

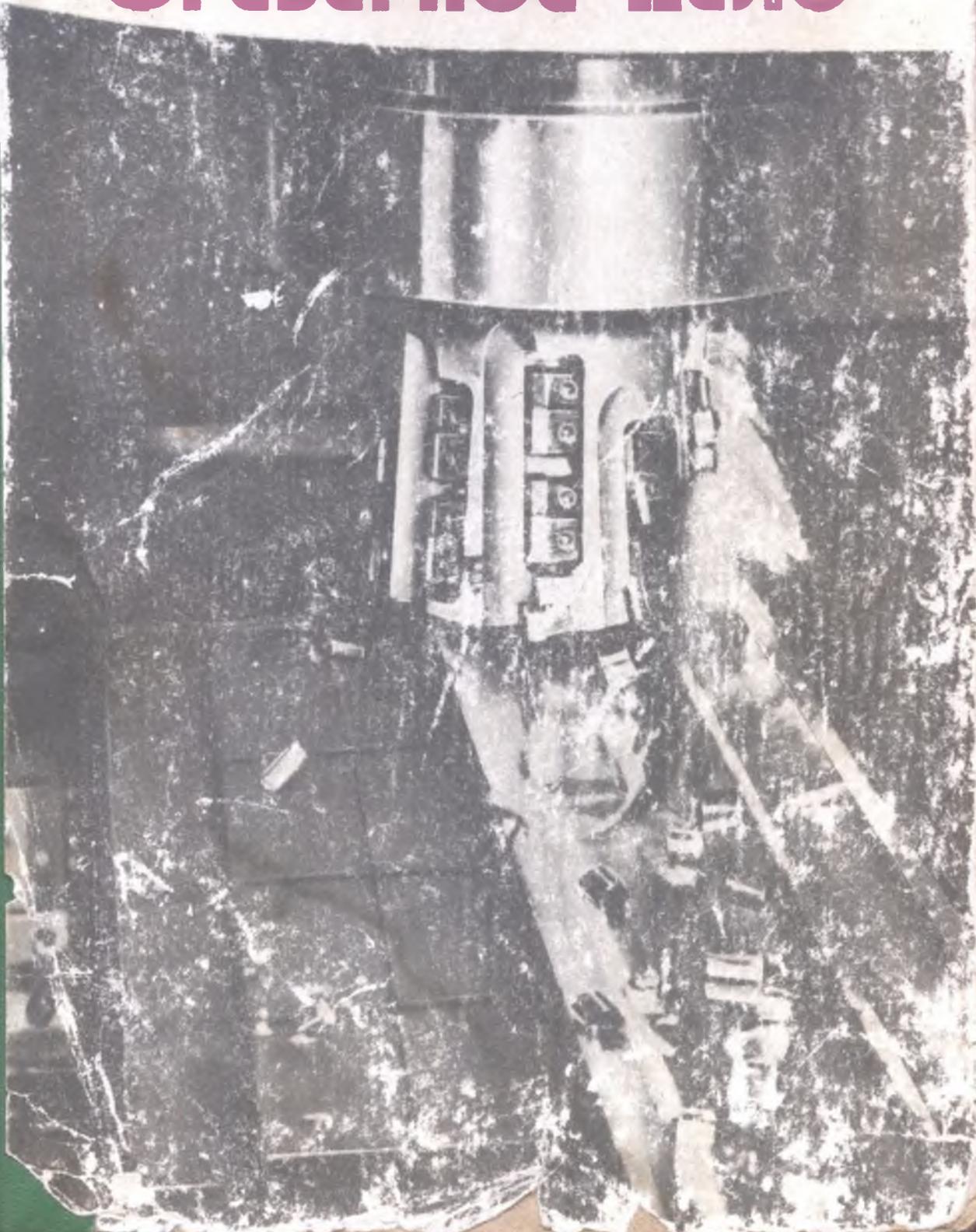
210  
Б 24  
513

ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ



ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ

Ф.А. БАРБАШОВ  
**ФРЕЗЕРНОЕ ДЕЛО**



«Библиотечная серия»

Ф.А. БАРБАШОВ

# ФРЕЗЕРНОЕ ДЕЛО

ИЗДАНИЕ 2-е  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Одобрено  
Ученым советом  
Государственного комитета  
Министр  
по профессионально-техническому  
образованию  
в качестве учебного пособия  
для средних  
профессионально-технических  
училищ

г. БУХАРА  
Биб-ка вечернего ф-та  
ТашМН 3513

БИБЛИОТЕКА  
Бух ТИ  
№ 3326



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1975

6П4.64  
Б 24

Отзывы и замечания просим направлять по адресу:  
Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство  
«Высшая школа».

Б 31207-310 86-75  
052(01)-75

© Издательство «Высшая школа», 1975 г.

# Введение

Для построения коммунистического общества необходимо решить главную экономическую задачу — создать материально-техническую

базу коммунизма предполагает высокие темпы роста промышленного производства. при этом основная доля прироста промышленной продукции должна быть обеспечена за счет повышения производительности труда.

Повышение производительности труда является одной из важнейших задач, стоящих перед социалистической промышленностью, решение которой должно быть неразрывно связано с уменьшением себестоимости и снижением трудоемкости выпускаемых изделий. Важнейшим условием роста производительности труда является технический прогресс.

Директивами предусматривается опережающий рост производства металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением, с увеличением их выпуска к 1975 г. не менее чем в 3,5 раза. Предусмотрено также расширение выпуска станков высокой и особо высокой точности, автоматических и полуавтоматических линий.

Потребность народного хозяйства в квалифицированных рабочих непрерывно возрастает, поэтому Директивой предусмотрено за пятилетие в профессионально-технических учебных заведениях подготовить не менее 9 млн. квалифицированных рабочих для всех отраслей народного хозяйства. Одной из форм подготовки кадров для промышленности

является также обучение молодых рабочих непосредственно на производстве.

В речи на тему «О подготовке молодежи к труду» товарищ Сталин говорил: «Молодежи необходимо прежде всего, чтобы основная ее масса проходила подготовку в профессионально-технических учебных заведениях с тем, чтобы еще до поступления на работу молодые люди получили специальность».

Будет значительно расширена сеть профессионально-технических училищ, выпускники которых наряду с профессией получают общее среднее образование. К концу этой пятилетки число таких училищ удвоится.

Повышение эффективности общественного производства, его интенсификация — основная линия экономического развития страны на ближайшие годы и на длительную перспективу, как первейшее условие создания материально-технической базы коммунизма и повышения народного благосостояния.

Важным в настоящее время является внедрение в производство прогрессивной технологии, высокопроизводительного оборудования и режущего инструмента, а также современных форм организации и управления.

Последовательность изложения и содержание материала книги соответствуют программе подготовки фрезеровщиков в средних профессионально-технических училищах, утвержденной Государственным комитетом по профессионально-техническому образованию.

# Основные сведения о фрезеровании

## § 1. Понятие о процессе резания металлов

Процесс резания металлов заключается в срезании с заготовки лишнего слоя в виде стружки с целью получения детали требуемой формы, размеров и классов шероховатости обработанных поверхностей.

Основными видами механической обработки являются: точение, строгание, сверление, фрезерование, шлифование и др. Все эти виды обработки осуществляют на металлорежущих станках с помощью различных режущих инструментов — резцов, сверл, фрез и др. Основой всех разновидностей процесса резания является точение, а основой всех видов режущего инструмента — токарный резец.

Для осуществления процесса резания необходимо иметь два движения — главное (рабочее) и движение подачи. Главное движение при точении — это вращательное движение обрабатываемой заготовки (рис. 1, *a*). При фрезеровании главным движением является вращение фрезы (рис. 1, *b*). Скорость главного движения определяет скорость резания.

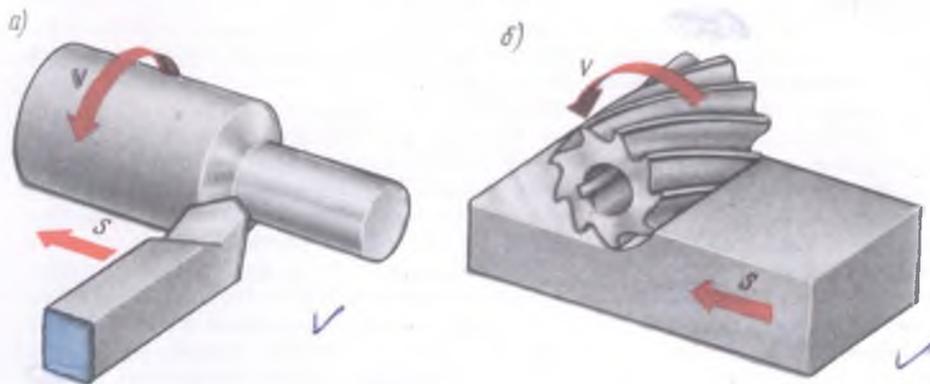
Поступательное перемещение резца в продольном или поперечном направлении является движением подачи при точении. При фрезеро-

вании движением подачи является поступательное перемещение обрабатываемой заготовки в продольном, поперечном или вертикальном направлениях. Скорость главного движения всегда больше скорости движения подачи. В процессе резания образуется стружка.

На рис. 2 показана схема образования стружки при резании материалов. Заготовка и резец закреплены на станке. Резец, установленный на некоторую глубину резания, перемещается под действием силы, передаваемой станком.

При резании пластичных материалов различают следующие фазы образования элемента стружки (по И. А. Тиме). В начале резания происходит соприкосновение резца с обрабатываемой заготовкой (рис. 2, *a*). Затем резец своей вершиной вдавливаются в материал (рис. 2, *b*), который претерпевает деформацию сдвига. Дальнейшее внедрение резца преодолевает силы сцепления между отделяемым слоем и основным материалом и приводит к скалыванию (или сдвигу) первого элемента стружки (рис. 2, *в*). Затем резец, продолжая движение, отделяет от основной массы материала последующие элементы стружки (второй, третий и т. д.).

Цифрами 1, 2, 3..., 10 (рис. 2, *в*, *г*,) показаны последовательно образуемые элементы стружки.



1 Главное движение и движение подачи

Срезанный в виде стружки слой металла может иметь различный вид в зависимости от условий обработки, обрабатываемого материала и других факторов.

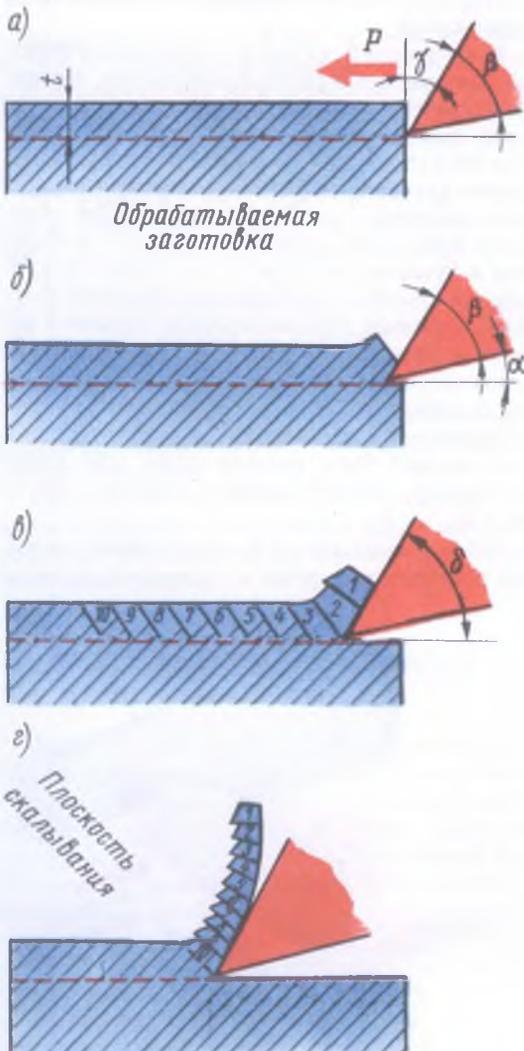
Различают следующие виды стружек (рис. 3). Стружка надлома (рис. 3, а) получается при обработке хрупких материалов (чугуна, бронзы и др.). Частицы стружки не связаны между собой. Даже при обработке стали с большими подачами и очень малыми скоростями резания образуется стружка надлома. Стружка скалывания (рис. 3, б) образуется при обработке стали со средними скоростями резания. Сторона стружки, которая касалась передней поверхности инструмента (прирезовая сторона), гладкая, блестящая, а внешняя сторона — с зазубринами. Сливная стружка (рис. 3, в) получается при резании пластичных материалов (медь, алюминий, сталь

и др.) с большими скоростями резания. Стружка имеет вид ленты, завивающейся в плоскостную или винтовую спираль (при точении), или отдельных стружек (при фрезеровании) без зазубрин, свойственных стружке скалывания.

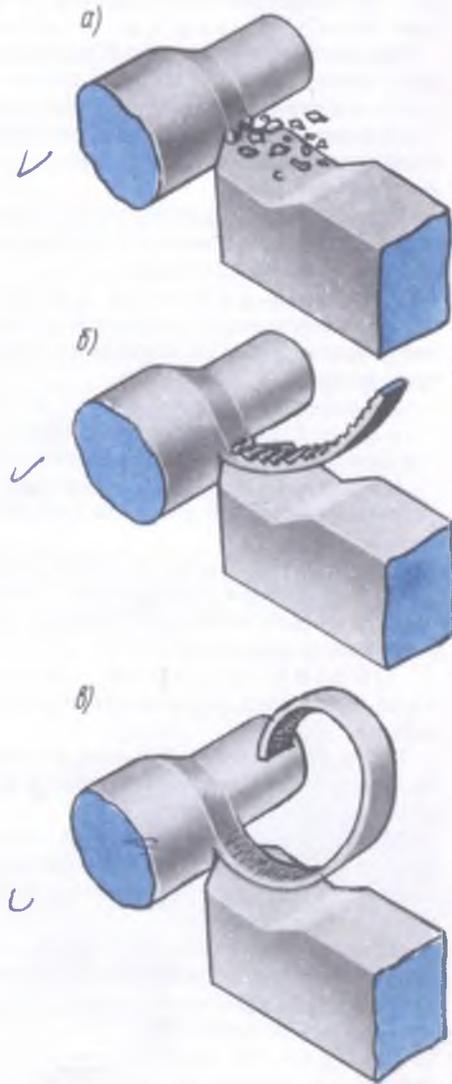
## § 2. Понятие о геометрии резцов

Резцы являются простейшими и наиболее распространенными режущими инструментами.

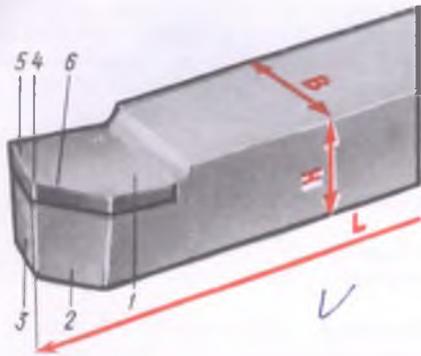
**Элементы резцов.** Резец состоит из головки (рабочей части) и державки (рис. 4). Державка служит для закрепления резца в резцедержателе, установленном на суппорте станка. Державка характеризуется размерами по высоте  $H$ , ширине  $B$  и длине  $L$ . Иногда применяют резцы с державками круглого сечения.



2 Схема образования стружки



3 Виды стружек



4 Элементы рабочей части резца

Головка резца образуется специальной заточкой и состоит из следующих элементов: передней поверхности (грани), задних поверхностей (граней), режущих кромок и вершины (рис. 4).

Передней поверхностью 1 называют поверхность, по которой сходит стружка.

Задними поверхностями называют поверхности, обращенные к обрабатываемой заготовке. У резцов их две — главная 2 и вспомогательная 3.

Режущие кромки образуются пересечением передней и задних поверхностей. Их также две — главная и вспомогательная.

Главная режущая кромка 6 образуется пересечением передней и главной задней поверхностей. Она выполняет основную работу резания.

Вспомогательная режущая кромка 5 образуется пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей.

Вершиной резца 4 называется место сопряжения главной режущей кромки со вспомогательной.

На обрабатываемой заготовке в процессе резания различают следующие поверхности (рис. 5): обрабатываемую 1, обработанную 3 и поверхность резания 2.

Обрабатываемой поверхностью называется поверхность, подлежащая обработке.

Обработанной поверхностью называется поверхность, полученная на заготовке после снятия стружки.

Поверхностью резания называется поверхность, образуемая на обрабатываемой заготовке непосредственно режущей кромкой инструмента.

Углы заточки резца. Для определения углов заточки режущего инструмента устанавливают координатные (исходные) плоскости: основную и плоскость резания.

Основной плоскостью 5 (рис. 5) называется плоскость, параллельная продольной и поперечной подачам. У токарных резцов

с призматическим сечением державки за основную плоскость принимают нижнюю опорную поверхность резца.

Плоскостью резания 4 называют плоскость, перпендикулярную основной плоскости и проходящую через главную режущую кромку резца.

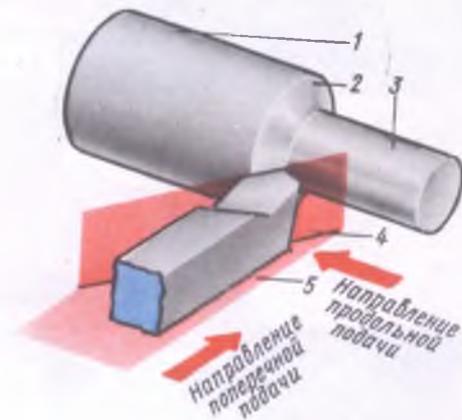
Главные углы резца измеряются в главной секущей плоскости, перпендикулярной проекции главной режущей кромки на основную плоскость (рис. 6).

Главный заданный угол  $\alpha$  — угол между касательной к главной задней поверхности резца в данной точке режущей кромки и плоскостью резания. Задний угол нужен для того, чтобы уменьшить трение задней поверхности инструмента об обрабатываемую заготовку. Он выбирается обычно в пределах от 2 до 12°.

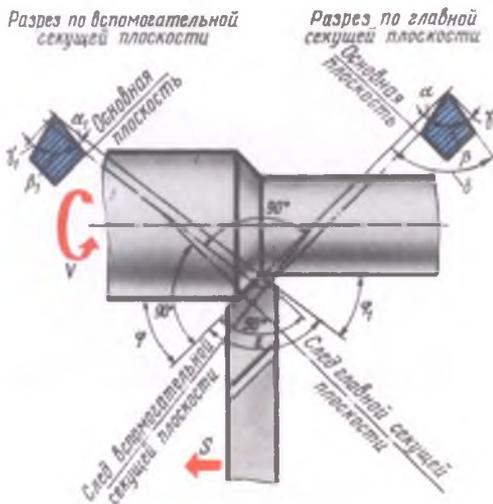
Угол заострения  $\beta$  — угол между передней и главной задней поверхностью резца. От этого угла зависит прочность режущей части инструмента.

Передний угол  $\gamma$  — угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку резца. Этот угол необходим для уменьшения силы резания, а также для уменьшения трения сходящей стружки о переднюю поверхность резца. При обработке вязких металлов передний угол выбирается в пределах от 10 до 20° и более. При обработке сталей, в особенности твердыми сплавами, передний угол выбирается близким к нулю или даже отрицательным. При работе фасонными инструментами (фасонными резцами, фасонными фрезами, резьбовыми фрезами, зуборезным инструментом и др.) передний угол должен быть равным нулю либо иметь небольшие положительные значения (от 2 до 4°).

Угол резания  $\delta$  — угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.



5 Поверхности при точении



### 6 Геометрические параметры резца

Вспомогательные углы резца  $\alpha_1$ ,  $\gamma_1$  и  $\beta_1$  измеряют по вспомогательной секущей плоскости (рис. 6) и определяют по аналогии с главными углами резца.

Углы в плане измеряют в основной плоскости.

Главный угол в плане  $\phi$  — угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  — угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, обратным направлению подачи.

Угол при вершине в плане  $\epsilon$  — угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость.

Геометрические параметры (углы заточки) любого режущего инструмента (фрез всех видов, сверл, разверток и др.) определяют так же, как и для резцов.

## § 3. Общие сведения об устройстве фрез

Фрезерование осуществляется режущим инструментом, называемым фрезой. Режущие зубья могут быть расположены как на цилиндрической поверхности, так и на торце. Каждый зуб фрезы представляет собой простейший инструмент — резец (рис. 7). Фрезы, как правило, многозубый инструмент. Иногда применяют однозубые фрезы.

Режущую часть фрез изготавливают из инструментальных углеродистых сталей, быстрорежущих инструментальных сталей, твердых сплавов и минералокерамических сплавов (подробнее см. § 62).

Поверхности, кромки и другие элементы. Поверхности и режущие кромки зубьев фрез (рис. 7) имеют следующие названия (по аналогии с резцами).

Передняя поверхность зуба 1 — поверхность, по которой сходит стружка.

Задняя поверхность зуба 4 — поверхность, обращенная в процессе резания к поверхности резания.

Спинка зуба 5 — поверхность, смежная с передней поверхностью одного зуба и задней поверхностью соседнего. Она может быть плоской, ломаной или криволинейной.

Торцовая плоскость — плоскость фрезы, перпендикулярная к ее оси.

Осевая плоскость — плоскость, проходящая через ось фрезы и рассматриваемую точку на ее режущей кромке. Режущая кромка 2 (рис. 7) — линия, образованная пересечением передней и задней поверхностей зуба.

Главная режущая кромка — кромка, выполняющая основную работу резания.

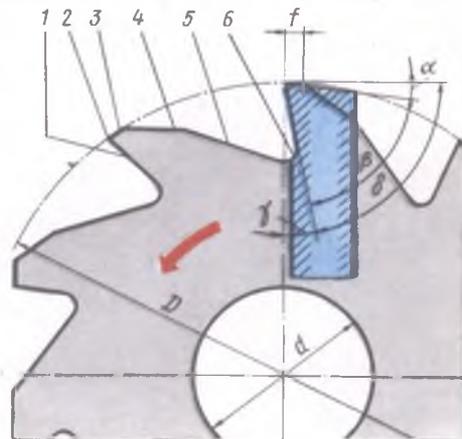
У цилиндрических фрез главная режущая кромка может быть прямолинейной (по образующей цилиндра), наклонной к образующей цилиндра и винтовой.

Вспомогательной режущей кромки у цилиндрических фрез нет.

У фрез, работающих торцовыми зубьями, как и у резцов (см. рис. 4), различают:

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

Форма и элементы зубьев. В зависимости от поверхности, по которой производится заточивание фрезы, различают две конструкции зубьев:



7 Сравнение резца и зуба фрезы

остроконечный зуб — зуб, затачиваемый по его задней поверхности (рис. 8, а); затылованный зуб — зуб, затачиваемый только по его передней поверхности (рис. 8, б). Различают следующие элементы зуба (рис. 9). Высота  $h$  — расстояние между точкой режущей кромки зуба и дном канавки, измеренное в радиальном сечении фрезы перпендикулярно к его оси.

Ширина задней поверхности зуба (фаска  $З$ , рис. 7) — расстояние от режущей кромки до линии пересечения задней поверхности зуба с его спинкой, измеренное в направлении, перпендикулярном к режущей кромке.

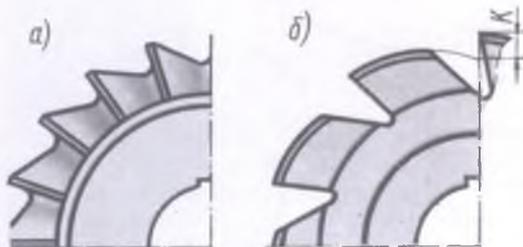
Окружной шаг зубьев — расстояние между одноименными точками режущих кромок двух смежных зубьев, измеренное по дуге окружности с центром на оси фрезы и в плоскости, перпендикулярной к этой оси. Окружной шаг может быть равномерным и неравномерным.

Величина затылования  $K$  (рис. 8, б) — величина понижения кривой затылования между режущими кромками двух соседних зубьев.

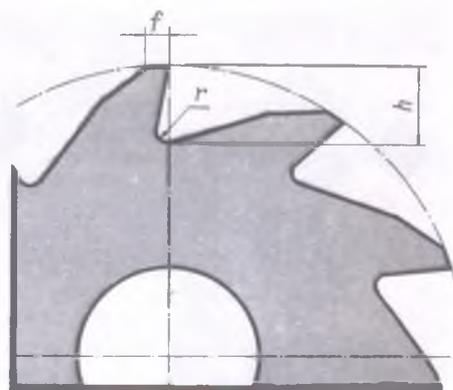
Элементы и форма канавок. Канавка (рис. 7, поз. б) — выемка для отвода стружки, ограниченная передней поверхностью одного зуба и задней поверхностью и спинкой соседнего зуба. Канавки делятся на прямые и винтовые.

Канавка прямая — канавка, параллельная оси фрезы. На рис. 10 показано образование винтовой линии. Если гибкий треугольник  $ABC$  накрутить на цилиндр так, чтобы катет  $AB = \pi D$  совпал с основанием цилиндра диаметром  $D$ , тогда гипотенуза  $AC$  образует на цилиндре винтовую линию левую (рис. 10, а) или правую (рис. 10, б). Шагом  $H$  винтовой линии называется величина ее подъема за один оборот вокруг цилиндра. Угол  $\omega$  называется углом наклона винтовой линии, а угол  $\beta$  — углом подъема винтовой линии. Эти углы, как видно из рис. 10, связаны между собой соотношением

$$\omega = 90^\circ - \beta.$$



8 Форма зубьев фрезы



9 Элементы зуба фрезы

Их определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{H};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{\pi D},$$

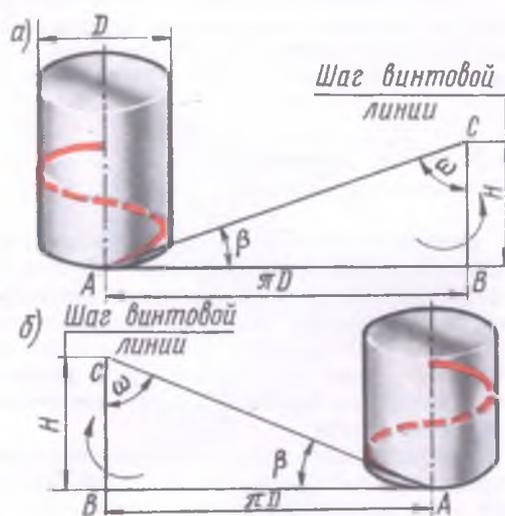
где  $\pi = 3,14$ .

Канавка винтовая левая (рис. 11, а) — канавка, направленная по винтовой линии с подъемом справа налево.

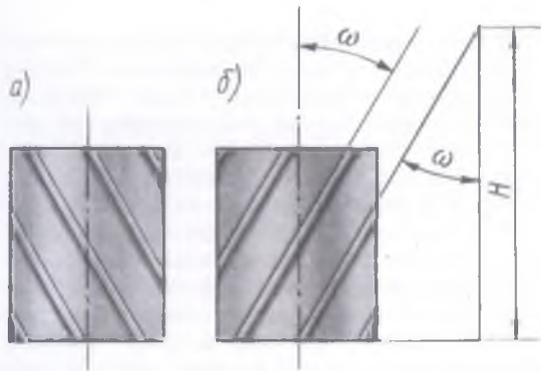
Канавка винтовая правая (рис. 11, б) — канавка, направленная по винтовой линии с подъемом слева вверх направо.

Шаг винтовой канавки  $H$  — расстояние между двумя последовательными точками на режущей кромке фрезы, лежащими на одной образующей цилиндрической поверхности.

Профиль канавки в нормальном сечении — линия пересечения поверх-



10 Схема образования винтовой линии



11 Направление винтовых канавок

ности канавки с плоскостью, нормальной к режущей кромке.

Профиль канавки в поперечном сечении — линия пересечения поверхности канавки с плоскостью, перпендикулярной к оси фрезы (торцовой плоскостью).

Радиус канавки — радиус закругления дна канавки.

#### § 4. Элементы режимов резания при фрезеровании

Скорость резания  $v$  — длина пути (в метрах), которую проходит за одну минуту наиболее удаленная от оси вращения точка главной режущей кромки.

За один оборот фрезы точка режущей кромки, расположенная на окружности фрезы диаметром  $D$ , пройдет путь, равный длине окружности, т. е.  $\pi D$ .

Чтобы определить длину пути, пройденного этой точкой в минуту, надо умножить длину пути за один оборот на число оборотов фрезы в минуту, т. е.  $\pi Dn$  мм/мин. Если скорость резания выражается в метрах в минуту, то формула для скорости резания при фрезеровании будет

$$v = \frac{\pi D n^*}{1000} \text{ м/мин.} \quad (1)$$

Если необходимо определить число оборотов фрезы в минуту, то формула примет вид

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \text{ об/мин.} \quad (2)$$

При фрезеровании различают следующие виды подач (рис. 12): подачу на один зуб, подачу на один оборот и минутную подачу. По направлению различают продольную, поперечную и вертикальную подачи.

Подачей на зуб ( $s_z$ , мм/зуб) называется величина перемещения стола с обрабатываемой заготовкой или фрезы за время ее поворота на один зуб.

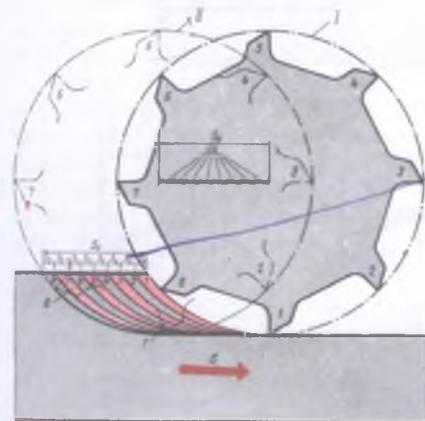
Подачей на один оборот фрезы ( $s_o$ , мм/об) называется величина перемещения стола с обрабатываемой заготовкой или фрезы за один оборот фрезы.

Подача на один оборот равняется подаче на зуб, умноженной на число зубьев фрезы:

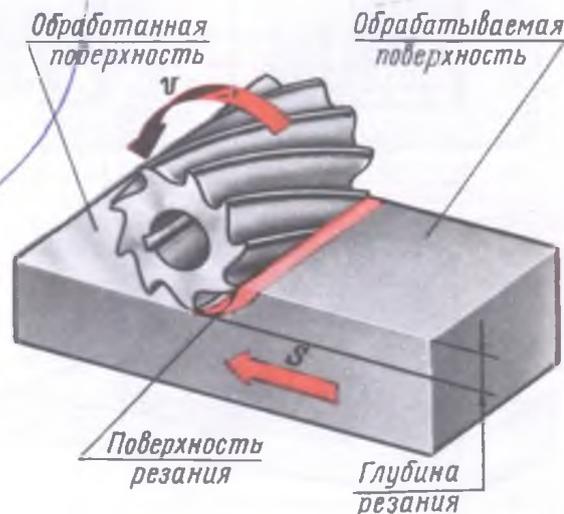
$$s_o = s_z \cdot z. \quad (3)$$

Минутной подачей ( $s_m$ , мм/мин) называется величина относительного перемеще-

\* О выборе скорости резания см. § 64.



12 Виды подач



13 Поверхности при фрезеровании

ния стола с обрабатываемой заготовкой или фрезы за одну минуту.

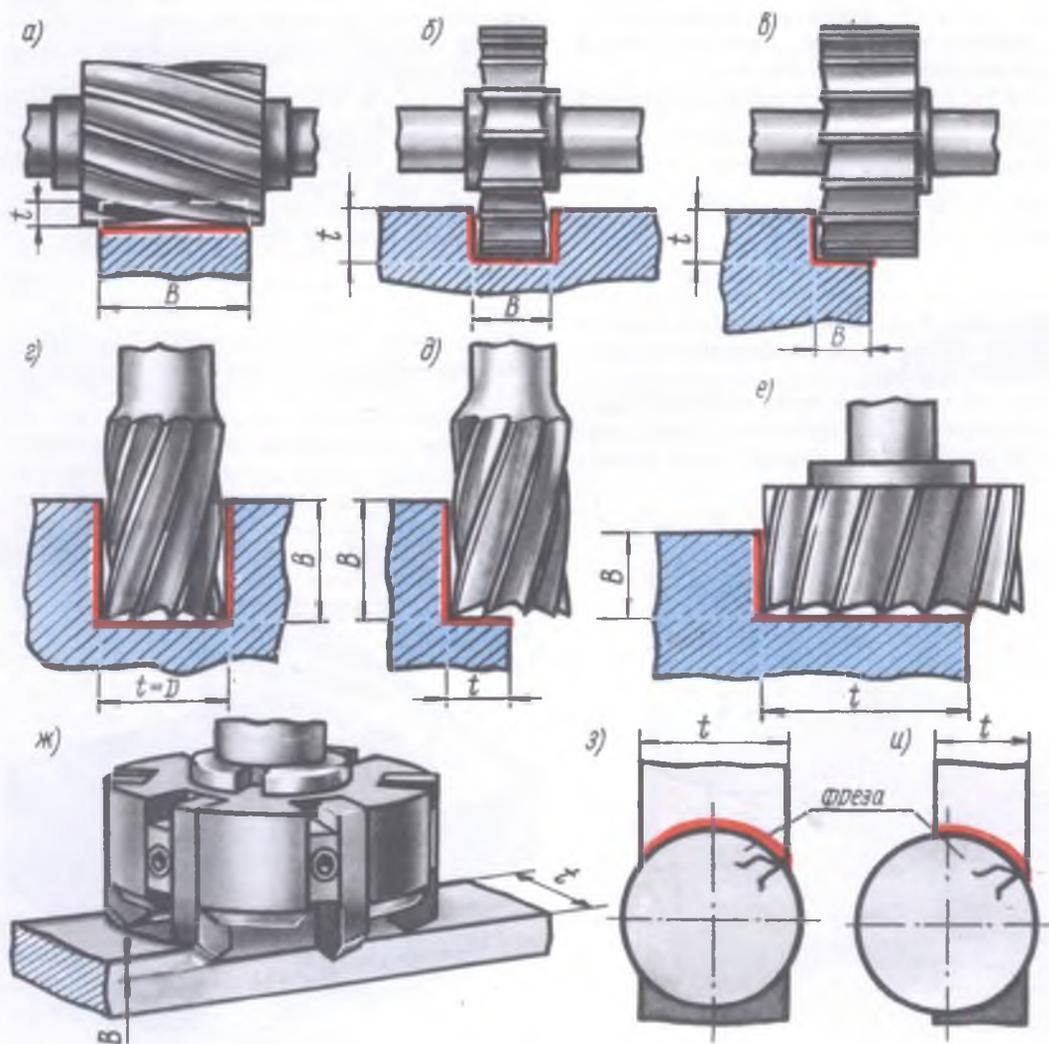
Минутная подача равна произведению подачи на один оборот фрезы на число оборотов фрезы в минуту:

$$s_m = s_o \cdot n = s_z \cdot z \cdot n \text{ мм/мин.} \quad (4)$$

Как видно на рис. 12, каждый зуб фрезы снимает одинаковую стружку в виде заготовки. Стружка, снимаемая одним зубом, определяется двумя дугами контакта соседних зубьев. Расстояние между этими дугами, измеренное по радиусу фрезы, переменное. Оно определяет толщину среза. Из рис. 12 видно, что толщина среза изменяется от нуля до максимального значения.

На обрабатываемой заготовке при фрезеровании различают обрабатываемую поверхность, обработанную поверхность и поверхность резания (рис. 13).

Для всех видов фрезерования различают глубину резания и ширину фрезерования. Глубина фрезерования — расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями (см. рис. 13). Ширина фрезерования — ширина обработанной за один проход поверхности. Обычно глубину фрезерования принято обозначать буквой  $t$ , а ширину фрезерования —  $B$ . Это справедливо в том случае, когда указанные параметры рассматриваются как технологические. Параметр (глубина или ширина фрезерования), который оказывает влияние на длину контакта главных режущих кромок фрезы с обрабатываемой заготовкой, будем обозначать буквой  $B$ , второй, не влияющий на указанную длину, — буквой  $t$ . На рис. 14 видно, что параметром, влияющим на длину контакта главных режущих кромок с обрабатываемой заготовкой и обозначенным буквой  $B$ , будет ширина фрезерования при фрезеровании плоскости цилиндрической



14 Глубина резания и ширина фрезерования

фрезой (рис. 14, а), паза или уступа дисковой фрезой (рис. 14, б и в), или глубина фрезерования при фрезеровании паза или уступа концевой фрезой (рис. 14, г и д), уступа торцевой фрезой (рис. 14, е), торцевой фрезой с угловым лезвием (рис. 14, ж), симметричное фрезерование торцевой фрезой (рис. 14, з) и несимметричное фрезерование торцевой фрезой (рис. 14, и).

Поэтому в дальнейшем буквой *B* будем обозначать ширину фрезерования при обработке цилиндрическими, дисковыми, отрезными и фасонными фрезами или глубину фрезерования при обработке торцовыми и концевыми фрезами. Буквой *t* — глубину фрезерования при обработке цилиндрическими, дисковыми, отрезными и фасонными фрезами или ширину фрезерования при обработке торцовыми и концевыми фрезами.

Слой материала, который необходимо удалить при фрезеровании, называется припуском на обработку. Припуск можно удалить в зависимости от его величины за один или несколько проходов. Различают черновое и чистовое фрезерование. При черновом фрезеровании обработку производят с максимально допустимыми по условиям обработки глубинами резания и подачами на зуб. Чистовым фрезерованием получают детали с окончательными размерами и поверхностью высокого класса шероховатости.

## § 5. Встречное и попутное фрезерование

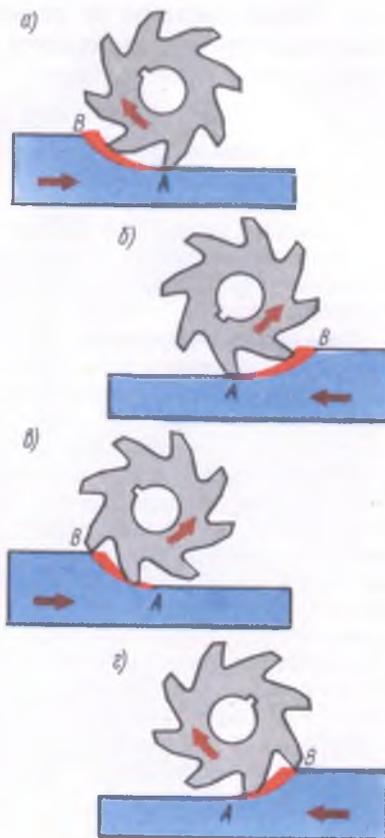
При фрезеровании цилиндрическими и дисковыми фрезами различают встречное фрезерование (фрезерование против подачи) и попутное фрезерование (фрезерование по подаче).

Встречным называется фрезерование, которое осуществляется при противоположных направлениях движения фрезы и обрабатываемой заготовки в месте их контакта (рис. 15, а, б).

Попутное фрезерование производится при совпадающих направлениях вращения фрезы и движения обрабатываемой заготовки в месте их контакта (рис. 15, в, г).

При встречном фрезеровании толщина среза изменяется от нуля при входе зуба в точку *A* до максимального значения при выходе зуба из контакта с обрабатываемой заготовкой в точке *B*. При попутном фрезеровании толщина среза изменяется от максимальной величины в момент входа зуба в контакт с обрабатываемой заготовкой в точке *B* до нуля при выходе в точке *A*.

При встречном фрезеровании процесс резания происходит спокойнее, так как толщина среза нарастает плавно, следовательно, нагрузка на станок возрастает постепенно. При попутном фрезеровании в момент входа зуба в контакт с обрабатываемой заготовкой сказыва-



15 Схемы фрезерования

ется удар, так как именно в этот момент будет максимальная толщина среза. Поэтому попутное фрезерование можно производить на станках, обладающих достаточной жесткостью и виброустойчивостью, и главным образом при отсутствии зазора в сопряжении ходовой винт — маточная гайка продольной подачи стола.

Кроме того, при попутном фрезеровании заготовка прижимается к столу, а стол — к направляющим, что обеспечивает лучшее качество поверхности.

При попутном фрезеровании значение угла наклона главной режущей кромки будет положительным, при встречном — отрицательным (независимо от направления подъема винтовой канавки).

При прочих равных условиях стойкость\* фрезы при попутном фрезеровании выше, чем при встречном, кроме случаев работы по твердой корке. Недостатком встречного фрезерования является также стремление фрезы оторвать заготовку от поверхности стола.

\* Под стойкостью понимают время непрерывной работы фрезы между двумя ее переточками (подробнее см. § 63).

## § 6. Общие сведения об устройстве консольно-фрезерных станков, управлении и уходе за ними

В гл. VI дано подробное описание фрезерных станков. В этом параграфе ограничимся рассмотрением основных узлов консольно-фрезерных станков и правил ухода за ними. В зависимости от расположения шпинделя консольно-фрезерные станки делятся на горизонтальные и вертикальные.

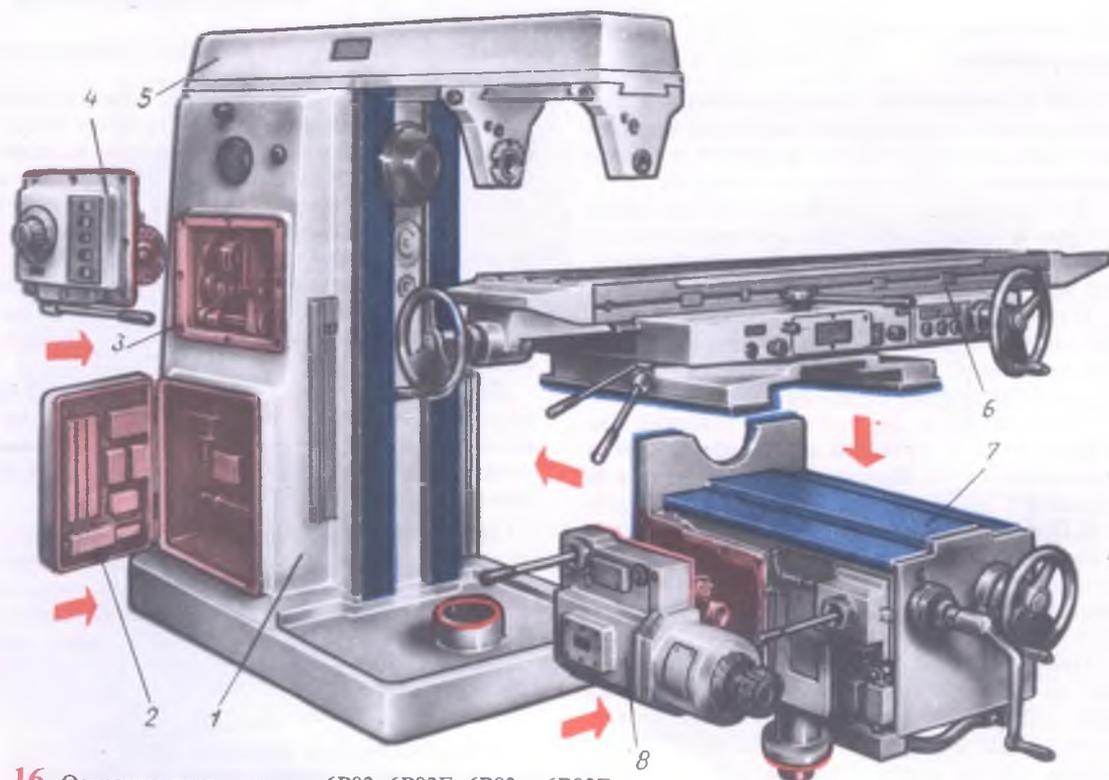
**Горизонтально-фрезерные станки** характеризуются горизонтальным расположением шпинделя и наличием у станка трех взаимно перпендикулярных движений — продольного, поперечного и вертикального. Горизонтально-фрезерные станки делятся на две разновидности — простые и универсальные. В универсальных горизонтально-фрезерных станках рабочий стол помимо указанных перемещений может еще поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол до  $45^\circ$  в каждую сторону. Для установки стола на требуемый угол к оси шпинделя между салазками и рабочим столом имеется поворотная часть, на периферии которой нанесены градусные деления.

На рис. 16 показан общий вид консольно-фрезерных станков 6P82, 6P82Г, 6P83 и 6P83Г

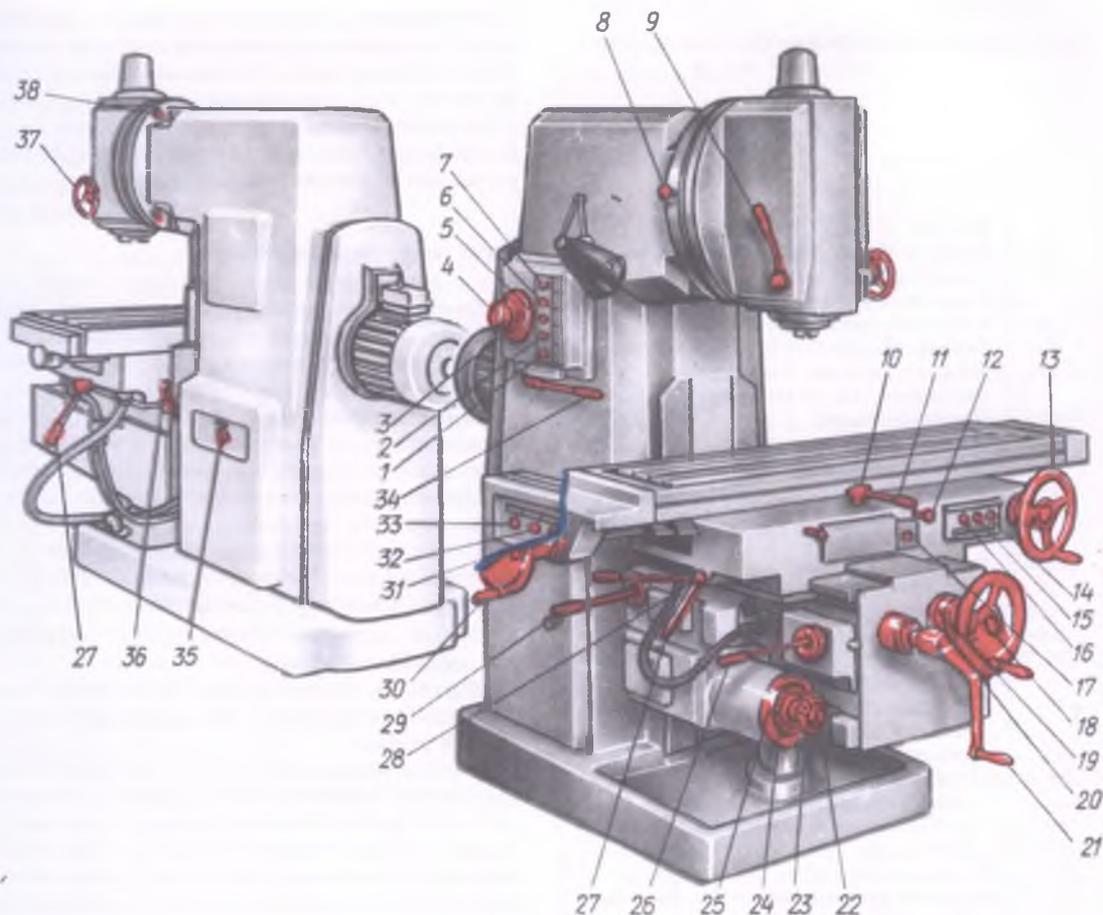
с обозначением составных частей станка. Основными составными частями станка являются: станина 1, шкаф для электрооборудования 2, коробка скоростей 3, коробка переключения 4, хобот 5, стол и салазки 6, консоль 7 и коробка подач 8.

Станина станка служит для крепления всех узлов и механизмов станка. Хобот перемещается по верхним направляющим станины и служит для поддержания при помощи серги конца фрезерной оправки с фрезой. Он может быть закреплен с различным вылетом. Серги можно перемещать по направляющим хобота и закреплять гайками. Следует иметь в виду, что перестановка серг с одного станка на другой не допускается. Для увеличения жесткости крепления хобота применяют поддержки, которые связывают хобот с консолью.

Консоль представляет собой отливку коробчатой формы с вертикальными и горизонтальными направляющими. Вертикальными направляющими она соединена со станиной и перемещается по ним. По горизонтальным направляющим перемещаются салазки. Консоль закрепляется на направляющих специальными зажимами и является базовым узлом, объединяющим все остальные узлы цепи подач и распределяющим движение на продольную, поперечную и вертикальную подачи. Консоль под-



16 Основные части станков 6P82, 6P82Г, 6P83 и 6P83Г



17 Органы управления станков 6P12, 6P12Б, 6P13 и 6P13Б

держивается стойкой, в которой имеется телескопический винт для ее подъема и опускания.

Стол монтируется на направляющих салазках и перемещается по ним в продольном направлении. На столе закрепляют заготовки, зажимные и другие приспособления. Для этой цели рабочая поверхность стола имеет продольные Т-образные пазы.

Салазки являются промежуточным звеном между консолью и столом станка. По верхним направляющим салазок стол перемещается в продольном направлении, а нижняя часть салазок вместе со столом перемещается в поперечном направлении по верхним направляющим консоли.

Шпиндель фрезерного станка служит для передачи вращения режущему инструменту от коробки скоростей. От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависит точность обработки.

Коробка скоростей предназначена для передачи шпинделю станка различных чисел оборотов.

Она находится внутри станины и управляется с помощью коробки переключения. Коробка переключения скоростей позволяет выбрать требуемую скорость без последовательного прохождения промежуточных ступеней.

Коробка подач обеспечивает получение рабочих подач и быстрых перемещений стола, салазок и консоли.

**Вертикальные консольно-фрезерные станки** характеризуются вертикальным расположением шпинделя. Основными узлами вертикальных консольно-фрезерных станков являются: станина, поворотная головка, консоль, коробка скоростей с рабочим шпинделем, коробка переключения, коробка подач, электрооборудование, стол и салазки. Назначение узлов такое же, как и у горизонтально-фрезерных станков. В вертикально-фрезерных станках нет хобота. Поворотная головка крепится к горловине станины и может поворачиваться в вертикальной плоскости на угол от 0 до 45° в обе стороны.

На рис. 17 показано размещение органов управления вертикальных консольно-фрезерных станков 6P12, 6P12Б, 6P13 и 6P13Б (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1

## Органы управления консольно-фрезерных станков

Номер позиции на рис. 17	Органы управления
1	Кнопка «Стоп» (дублирующая)
2	Кнопка «Пуск шпинделя» (дублирующая)
3	Стрелка-указатель скоростей шпинделя
4	Указатель скоростей шпинделя
5	Кнопка «Быстро стол» (дублирующая)
6	Кнопка «Импульс шпинделя»
7	Переключатель освещения
8	Поворот головки
9	Зажим гильзы шпинделя
10	Звездочка механизма автоматического цикла
11	Рукоятка включения продольных перемещений стола
12	Зажимы стола
13	Маховичок ручного продольного перемещения стола
14	Кнопка «Быстро стол»
15	Кнопка «Пуск шпинделя»
16	Кнопка «Стоп»
17	Переключатель ручного или автоматического управления продольным перемещением стола
18	Маховичок ручных поперечных перемещений стола
19	Лимб механизма поперечных перемещений стола
20	Кольцо-нониус
21	Рукоятка ручного вертикального перемещения стола
22	Кнопка фиксации грибка переключения подач
23	Грибок переключения подач
24	Указатель подач стола
25	Стрелка-указатель подач стола
26	Рукоятка включения поперечной и вертикальной подач стола
27	Зажим салазок на направляющих консоли
28	Рукоятка включения продольных перемещений стола (дублирующая)
29	Рукоятка включения поперечной и вертикальной подач стола (дублирующая)
30	Маховичок ручного продольного перемещения стола (дублирующий)
31	Переключатель направления вращения шпинделя «влево — вправо»
32	Переключатель насоса охлаждения «включено — выключено»
33	Переключатель ввода «включено — выключено»
34	Рукоятка переключения скоростей шпинделя
35	Переключатель автоматического или ручного управления и работы круглого стола
36	Зажим консоли на станине
37	Маховичок выдвижения гильзы шпинделя
38	Зажим головки на станине

Управление станка — кнопочно-рукояточное. Основными движениями в станке можно управлять спереди и сбоку станка. Работая на станке пользуются переключателями, расположенными с наружной стороны дверок электрошкафов. Открывать дверки электрошкафов разрешается только электрослесарям.

## Уход за фрезерным станком

Приступая впервые к управлению фрезерным станком, необходимо тщательно изучить его устройство, ознакомиться с паспортом и руководством по уходу и обслуживанию станка.

Перед пуском станка очистить все направляющие от пыли и стружки, проверить исправность работы его смазочной и охлаждающей систем, наличие в них смазки и охлаждающей жидкости.

Перед установкой оправки или фрезы надо тщательно протереть коническое отверстие шпинделя и оправку. Выколачивать оправку или фрезу из шпинделя рекомендуется латунным или медным молотком.

Шпиндель станка должен быть затянут так, чтобы биение шпинделя не превышало установленной нормы.

Особое внимание должно быть уделено состоянию поверхности стола. Перед установкой на стол станка тисков, зажимного приспособления или заготовки необходимо тщательно очистить поверхность стола от стружки. Нельзя класть на стол станка никаких инструментов и посторонних предметов во избежание повреждения поверхности стола (забоины, царапины и др.). При работе с продольной подачей надо закреплять (стопорить) консоль и салазки для увеличения жесткости системы и обеспечения устойчивости процесса фрезерования без вибраций (дрожания). Консоль необходимо стопорить и при работе с поперечной подачей.

Большое значение для увеличения срока службы станка и повышения надежности его работы имеет регулярная смазка трущихся частей станка.

Для смазки станков используют масло марки «ИС-30» (ГОСТ 8672—62) или густые консистентные смазки.

При смазке станков различных моделей нужно пользоваться рекомендуемыми схемами и режимами смазки, которые приведены в руководстве по уходу и обслуживанию станка.

При первоначальной смазке или после смены смазки необходимо заливать масло в коробки станка до уровня рисок маслоуказателей.

Ежедневно после окончания смены станок следует очищать от стружки и пыли, протирать насухо направляющие и поверхность стола и смазывать их тонким слоем смазки.

Знание станка, налаженный и правильный уход за ним увеличивают производительность труда, повышают срок его службы и улучшают качество обработанных деталей.

### § 7. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей при фрезеровании

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) применяют главным образом для отвода тепла от режущего инструмента. Они снижают температуру в зоне обработки и тем самым повышают стойкость режущего инструмента, улучшают качество обрабатываемой поверхности и предохраняют от коррозии режущий инструмент и обрабатываемую заготовку. К смазочно-охлаждающим жидкостям предъявляются следующие требования: высокая охлаждающая и смазывающая способность, антикоррозионность, безвредность для работающего.

Подвод СОЖ в зону резания осуществляется поливом в зону резания, поливом под давлением со стороны задней поверхности инструмента, распылением и другими способами.

Рациональное применение СОЖ позволяет в ряде случаев повысить стойкость режущего инструмента от 1,5 до 4 раз. Смазочно-охлаждающие жидкости и способы их применения, эффективные для одной группы обрабатываемых материалов и видов обработки, могут быть малоэффективными для других обрабатываемых материалов и видов обработки и даже оказывать вредное влияние. Каждой комбинации: обрабатываемый материал — вид обработки — инструментальный материал — режим резания должна соответствовать определенная, наиболее эффективная для данных условий смазочно-охлаждающая жидкость.

В табл. 2 приведены рекомендации по применению СОЖ при работе фрезами из быстрорежущей стали.

Фрезами, оснащенными пластинками твердого сплава, обычно обрабатывают без СОЖ или с обильным охлаждением эмульсией.

В ряде случаев получены положительные результаты, например, на Горьковском автозаводе при охлаждении распыленной жидкостью или сжатым воздухом.

Фрезерование серого чугуна на универсальных фрезерных станках обычно производится без охлаждения, а ковкого — с охлаждением эмульсией. Однако иногда рекомендуется применять СОЖ при обработке серого чугуна. Так, например, при обработке длинных чугунных деталей типа станин и кареток металлорежущих станков, которые при фрезеровании без охлаждения могут нагреваться до 60—70°, рекомендуется применять охлаждение во избежание деформации.

ТАБЛИЦА 2

#### Применение СОЖ при фрезеровании фрезами из быстрорежущей стали

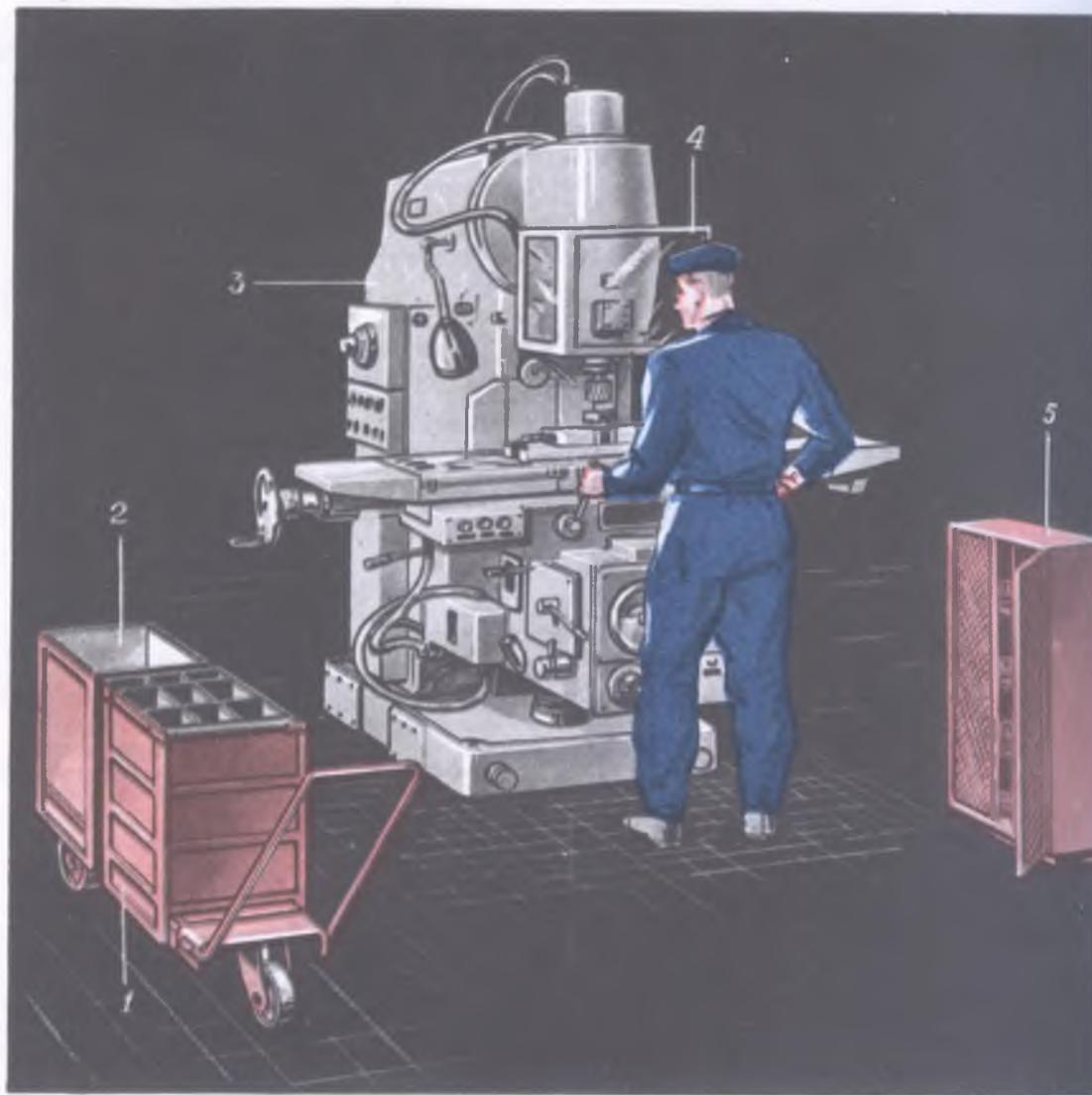
Обрабатываемый материал	Наименование СОЖ
Сталь конструкционная	3—5%-ная эмульсия на основе эмульсола марки Э различной модификации (рекомендуется применять с бактерицидной добавкой — гексахлорфенолом) Укринол-1
Легированные стали	3—5%-ная эмульсия на основе эмульсола Э-2(Б) или ЭТ-2; ОСМ-3; Аквол
Сталь инструментальная	3—5%-ная эмульсия на основе эмульсола марки Э; 5—10%-ная эмульсия на основе эмульсола СДМУ; МР-1 (масляная)
Нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы Титановые и жаропрочные сплавы Чугун	Сульфозфрезол (ГОСТ 122—54); МР-1; 10%-ная осерненная эмульсия из эмульсола ЭТ-2 РЗ-СОЖ-8; СДМУ-2
Алюминий и алюминиевые сплавы	3—5%-ная эмульсия на основе эмульсола марки Э; 3—12%-ная эмульсия на основе эмульсола НГЛ-205; 50%-ный раствор хлорированного парафина в масле «велосит»; жидкость МОТ-2, жидкость В-31, Укринол-1
Медь и медные сплавы	3—5%-ная эмульсия на основе эмульсола марки Э; масло «индустриальное 20» (ГОСТ 1707—61)

Разработанные в последнее время новые СОЖ имеют, как правило, высокие антикоррозионные свойства. Так, например, при фрезеровании чугуна можно применять Укринол-1.

Алюминиевые сплавы твердосплавными фрезами целесообразно фрезеровать с охлаждением эмульсией, Укринолом-1, распыленным маслом или распыленной эмульсией.

### § 8. Понятие об организации рабочего места и его обслуживании

Рабочее место — часть производственной площади, оснащенная оборудованием, инструментами и приспособлениями, необхо-



**18** Рабочее место фрезеровщика

димыми для выполнения производственного задания.

Основным оборудованием рабочего места фрезеровщика является один или несколько фрезерных станков. В состав вспомогательного оборудования и оснащения рабочего места фрезеровщика входят:

комплект технологической оснастки (приспособления, режущий, измерительный и вспомогательный инструмент) постоянного пользования;

комплект технической документации, постоянно находящейся на рабочем месте (инструкции, справочники, вспомогательные таблицы и т. д.);

комплект стандартного оборудования (инструментальные шкафы или тумбочки, подстав-

ки или стеллажи для размещения заготовок и готовых деталей или переносной тары для них, передвижная или переносная тара общесехового пользования для заготовок и обработанных деталей);

подножные решетки;  
рабочая мебель;  
средства сигнализации и др.

На рис. 18 приведен пример типовой планировки рабочего места фрезеровщика-универсала. Около вертикально-фрезерного станка 3 расположены: справа — инструментальный шкафчик 5 и слева — ящики для заготовок 2 и обработанных деталей 1. В ящиках для обработанных деталей предусмотрены перегородки для раздельного хранения деталей. Защитный экран 4 предохраняет станочника от стружки.

Ниже приводятся некоторые рекомендации по организации рабочего места:

на рабочем месте не должно быть ничего лишнего;

рабочее место должно содержаться в чистоте;

каждый предмет надо класть на одно и то же отведенное для него место. При этом те предметы, которыми приходится пользоваться чаще, следует располагать ближе предметов, которыми приходится пользоваться реже;

чертежи деталей, операционные карты, рабочие наряды и т. п. должны быть вывешены на специальной подставке, расположенной на рабочем месте;

заготовки не должны загромождать рабочее место фрезеровщика. Их нужно складывать на специально отведенные стеллажи. Готовые детали укладывают в передвижную тару и увозят по мере их накопления;

проходы между станками должны быть свободными;

на полу вокруг станка не должно быть подтеков и капель масла. Система трубопроводов в местах соединений должна быть плотной;

следует своевременно очищать станок от стружки.

Перед началом работы фрезеровщик обязан:

проверить исправность станка и наличие заземления, смазать его в соответствии с инструкцией;

ознакомиться по технической документации (конструкторской и технологической) с предстоящей работой, проверить наличие и исправность инструмента и приспособлений;

подготовить рабочее место;

убедиться в правильности наладки станка.

Во время работы фрезеровщик должен:

строго соблюдать установленную настройку станка на заданный режим;

детали, инструменты и приспособления класть только на свои места и использовать только по прямому назначению;

не класть режущий и измерительный инструмент, ключи, заготовки и детали на рабочие поверхности станка. Работать только исправным, хорошо заточенным инструментом;

следить за прочностью крепления обрабатываемых заготовок, инструмента и приспособлений;

не производить измерений и не сметать стружку при работе станка;

следить за правильным подводом охлаждающей жидкости в зону резания;

экономить электроэнергию, не допускать работу станка вхолостую;

обязательно выключать станок при уходе от него даже на короткое время, при перерывах в подаче электроэнергии, уборке и смазке стан-

ка, а также при закреплении и измерении обрабатываемой заготовки.

По окончании работы фрезеровщик должен:

выключить станок, сдать обработанные детали, очистить станок от стружки, а инструменты убрать в шкаф. При двух- или трехсменной работе станок убирают и сдают сменщику; необходимо сообщить своему сменщику и мастеру о замеченных недостатках в работе станка.

В организационно-техническом обслуживании рабочего места большое значение имеет своевременное объяснение рабочему сменного производственного задания, а также, в зависимости от характера производства, задания на месяц, декаду. Такая организация работы дает возможность фрезеровщику заранее ознакомиться с чертежом, техническими условиями, заблаговременно затребовать и подготовить необходимый режущий и измерительный инструмент и приспособления.

Действующими нормативами для серийного и массового производства предусмотрены следующие основные условия по организационно-обслуживанию рабочего места:

наряды на работу, заготовки, инструменты и приспособления доставляет к рабочему месту вспомогательный персонал;

инструменты затачивают в централизованном порядке;

рабочее место обеспечивают необходимыми комплектами технологической оснастки (комплектами оправок, быстродействующими гидравлическими и пневматическими приспособлениями и т. д.), способствующими сокращению затрат времени на выполнение вспомогательных операций.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие движения необходимы для осуществления процесса резания?
2. Какие поверхности и режущие кромки различают у резцов?
3. Какие геометрические параметры (углы заточки) различают у резцов?
4. Расскажите о назначении основных узлов консольно-фрезерных станков.
5. Какие правила ухода за станком вы знаете?
6. Какие поверхности и режущие кромки различают на фрезях?
7. Чем отличается затылованный зуб фрезы от остроконечного?
8. Чем отличается правая канавка фрезы от левой?
9. Что называется скоростью резания при фрезеровании?
10. Какие виды подач различают при фрезеровании?
11. Какие правила организации рабочего места вы знаете?



# Фрезерование плоских поверхностей цилиндрическими, торцовыми, ротационными фрезами и набором фрез

## § 9. Требования, предъявляемые к обработке плоскостей

С точки зрения геометрии плоскостью можно назвать поверхность, обладающую следующим свойством: если две любые точки поверхности соединить прямой, то все точки прямой будут находиться на этой поверхности. Отсюда вытекает простейший способ контроля плоских поверхностей деталей. Если к плоскости\* детали приложить ребро лекальной линейки, то величина образовавшегося между ними зазора будет характеризовать качество ее изготовления. Чем точнее изготовлена плоскость, тем меньше зазор.

Качество обработки плоскостей характеризуется следующими показателями:

1. Точностью размеров, т. е. соответствием фактических размеров детали размерам, указанным на чертеже.

2. Допустимые отклонения от правильной геометрической формы полученной поверхности не должны выходить за пределы допуска на неточность изготовления (неплоскостность, непрямолинейность).

3. Отклонением расположения отдельных граней поверхности детали относительно других поверхностей (непараллельность, перпендикулярность, отклонение от требуемого угла между плоскостями, несимметричность и др.).

### Отклонения формы

Неплоскостность (отклонение от плоскости) — наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости, допускается нормирование плоскостности числом пятен на заданной площади при контроле «на краску».

\* Под плоскостью в дальнейшем будем понимать часть плоской поверхности, представляющей собой грань детали — плоский многоугольник (треугольник, прямоугольник, квадрат и др.).

Непрямолинейность (отклонение от прямолинейности) — наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой. Элементарными (простейшими) видами неплоскостности и непрямолинейности являются:

вогнутость — отклонение, при котором удаление точек реальной поверхности (профиля) от прилегающей плоскости (прямой) увеличивается от краев к середине; выпуклость — отклонение, при котором удаление точек реальной поверхности (реального профиля) от прилегающей плоскости (прямой) уменьшается от краев к середине.

### Отклонения расположений

Непараллельность (отклонение от параллельности) плоскостей — разность наибольшего и наименьшего расстояния между прилегающими плоскостями на заданной площади или длине.

Непараллельность оси поверхности вращения и плоскости — разность наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающей плоскостью и осью поверхности вращения на заданной длине.

Неперпендикулярность (отклонение от перпендикулярности) плоскостей или оси и плоскости — отклонение угла между осями или осью и плоскостью от прямого угла, выраженное в линейных единицах на заданной длине.

Несимметричность (отклонение от симметрии) — наибольшее расстояние между плоскостью симметрии (осью симметрии) рассматриваемой поверхности и плоскостью симметрии (осью симметрии) базовой поверхности.

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными обозначениями (по ГОСТ 2.308—68) или в технических требованиях текстом.

## § 10. Приспособления для установки и закрепления заготовок

Универсальные приспособления (прихваты, угловые плиты, призмы, машинные тиски и др.) предназначены для закрепления различных заготовок. Их применяют главным образом в единичном и мелкосерийном производстве.

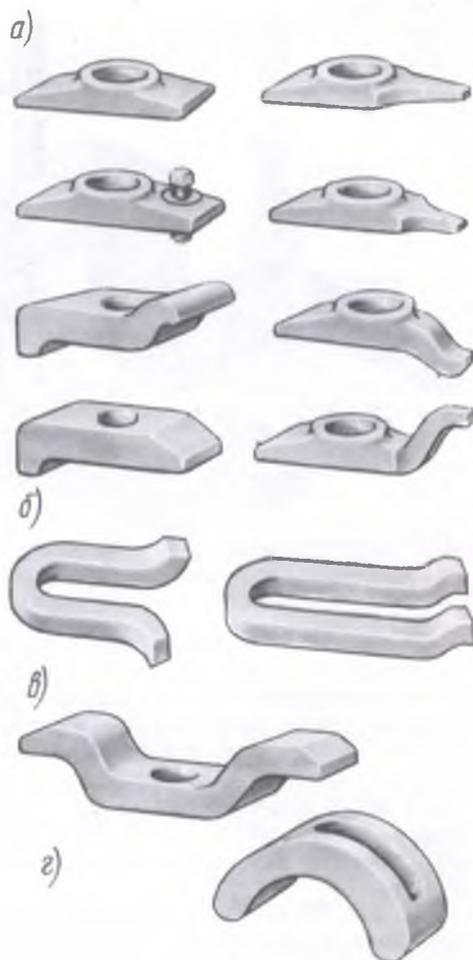
Прихваты используют для закрепления заготовок сложной формы или больших габаритов непосредственно на столе станка.

На рис. 19 показаны различные типы прихватов: плиточные (а), вилкообразные (б), корытообразные (в), изогнутые универсальные (г). Все прихваты имеют овальные отверстия для перемещения прихвата относительно обрабатываемой заготовки.

На рис. 20, а показано закрепление обрабатываемой заготовки 5 на столе станка плиточным прихватом 2, который одним концом опирается на заготовку 5, а другим — на подкладку 1. Головка болта 4 заводится в Т-образный паз стола через отверстие прихвата. Завертывая ключом гайку 3, тем самым прижимают прихват к заготовке, крепят ее. В качестве подкладки под прихваты используют ступенчатые подставки (рис. 20, б), различные бруски требуемой высоты или специальные опоры для плиточных прихватов (рис. 20, в). Весьма удобным в работе является регулируемый по высоте изогнутый универсальный прихват б (рис. 20, г). Таким прихватом можно прижимать разные по высоте заготовки.

Разные по высоте заготовки можно закреплять с помощью универсального прижима (рис. 21). Он позволяет производить закрепление различных по высоте заготовок 1. Заготовка крепится прихватом 3 Г-образной формы с выемкой, в которую устанавливается сухарь 5. Закрепление заготовки осуществляется с помощью болта 2 и гайки 4.

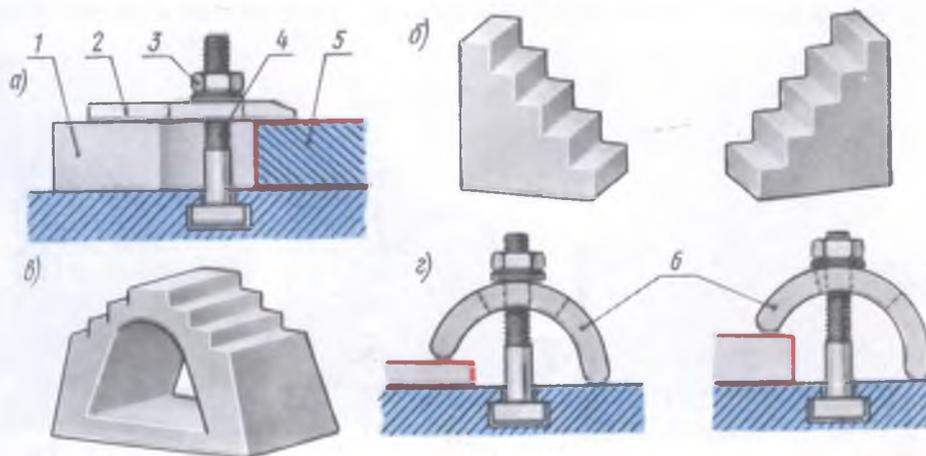
При чистовом фрезеровании затяжка болтов



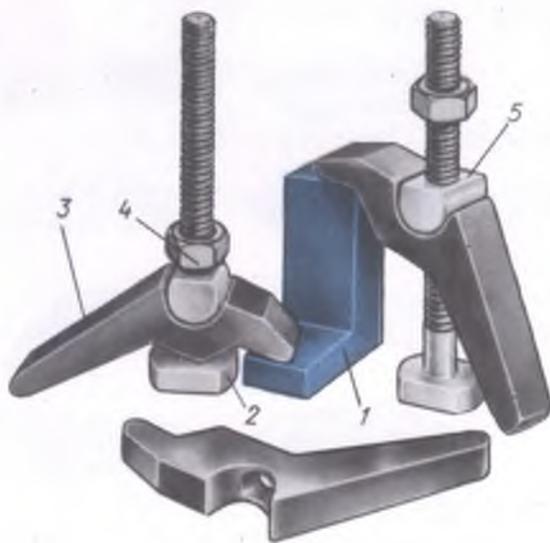
19 Прихваты

не должна вызывать деформаций обрабатываемой заготовки.

Угловые плиты применяют для установки и крепления заготовок, имеющих две плоскости, расположенные под углом 90°.



20 Закрепление заготовки на столе станка



**21** Универсальный прижим

На рис. 22, а показана обычная угловая плита. Она имеет одно или два ребра жесткости *1* и две полки (равнобокие или неравнобокие, широкие или узкие), расположенные под углом  $90^\circ$ . На рис. 22, б показана поворотная угловая плита, полку которой можно поворачивать вокруг оси *1* после освобождения гайки и устанавливать на требуемый угол по шкале *2*. Такие плиты применяют при обработке наклонных плоскостей.

На рис. 22, в показана универсальная угловая плита, допускающая поворот закрепленной заготовки в двух плоскостях: горизонтальной — рукояткой *1* и вертикальной — поворотом колодки *4*, закрепляемой болтами *5*. Плита представляет собой поворотный стол *3* с тремя Т-образными пазами. Угол поворота стола отсчитывают по шкале *2*.

На рис. 23 показано крепление к угловой плите *2* с помощью струбцинок длинной и широкой, но тонкой планки *1*. Для правильной установки

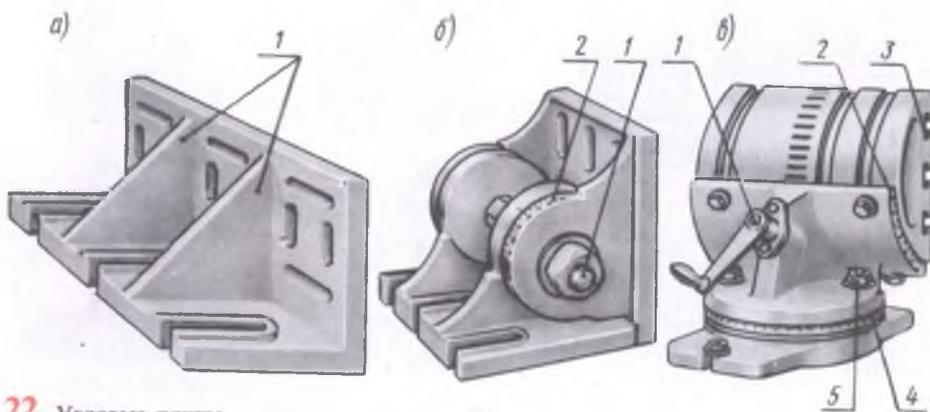
угловой плиты на столе ее основание имеет шип *3*, который входит в паз стола.

Прежде чем закреплять заготовку на угловой плите, надо тщательно выверить правильность установки самой плиты на столе станка с помощью рейсмаса или индикатора.

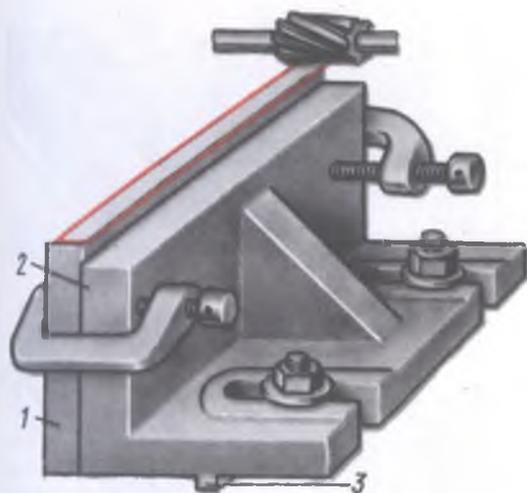
Машинные тиски по конструкции подразделяют на простые, поворотные и универсальные (рис. 24). Основным отличием поворотных тисков (рис. 24, б) от простых (рис. 24, а) является то, что верхняя часть тисков вместе с обрабатываемой заготовкой может быть повернута на требуемый угол. Универсальные тиски (рис. 24, в) могут поворачиваться не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной. Их применяют при фрезеровании плоскостей, расположенных под углом к горизонтальной плоскости. Применяют также тиски, у которых подвижная губка может поворачиваться вокруг вертикальной оси (рис. 24, г). Такими тисками можно пользоваться без применения специальных подкладок при обработке деталей с наклонными опорными поверхностями. Тиски с эксцентриковым зажимом (рис. 24, д) применяют для быстрого и надежного закрепления сравнительно небольших заготовок.

В настоящее время широко применяют машинные тиски с ручным быстродействующим пневматическим или гидравлическим приводом.

На рис. 25 показаны машинные тиски с ручным зажимом. Они представляют собой упрощенную модификацию пневматических машинных тисков с высокой степенью унификации (80%). Для питания гидропривода машинных гидрофицированных или пневматических тисков используется индивидуальная гидростанция типа ГМТ или пневмогидроусилитель типа ПМТ, работающий от заводской пневмосети. Применение специальных съемных губок и подкладок к машинным тискам приводит к значительному сокращению затрат времени на установку заготовок. На рис. 26 приведено несколько



**22** Угловые плиты



**23** Закрепление заготовки на угловой плите

ко примеров конструкций сменных губок для закрепления заготовок (*a* — с наклонными плоскостями; *b* — обрабатываемых по наружным плоскостям и торцам; *в*, *г* — валов). Подобные губки можно изготовить при необходимости для любых обрабатываемых заготовок.

Гидравлические и пневмогидравлические тиски обеспечивают большую силу зажима, чем тиски с пневматическим приводом. На рис. 27 показаны гидравлические поворотные тиски, особенностью которых является одновременное перемещение обеих губок, обеспечивающее самоцентрирование детали.

Закрепление заготовок осуществляется под давлением масла  $50 \text{ кг/см}^2$ , поступающего из гидравлической системы станка или от отдельного насосного агрегата в полость основания 9. Под давлением масла поршень 8 перемещается вниз, а рычаги 7, поворачиваясь вокруг своих

осей 6 на винтах 3 и 4, обжимают обе губки на равные расстояния.

Для установки и закрепления обрабатываемых заготовок или специальных наладок на верхней и боковых плоскостях губок предусмотрены T-образные пазы 2. Предварительная наладка тисков производится винтами. Возможность поворота корпуса 1 относительно основания 9 позволяет производить обработку заготовок с поворотом вокруг оси в пределах  $360^\circ$  с точностью до  $1^\circ$  по шкале 5.

Механизированный ход подвижных губок в этих тисках составляет 24 мм. При настройке губки разводятся от 0 до 200 мм. Сила зажима при указанном давлении масла достигает 5500 кг.

В последнее время начали применять приспособления с окисдно-бариевыми магнитами (рис. 28) для закрепления стальных и чугунных заготовок с плоской опорной поверхностью. Приспособления с окисдно-бариевыми магнитами имеют ряд преимуществ по сравнению с ранее применявшимися магнитными устройствами, а именно:

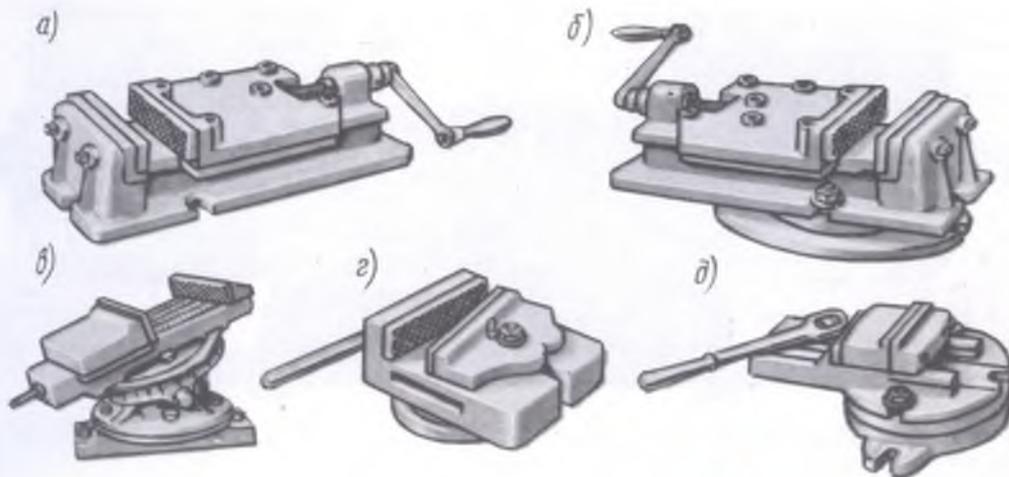
в закрепленных заготовках отсутствует остаточный магнетизм;

металлорежущий инструмент не намагничивается;

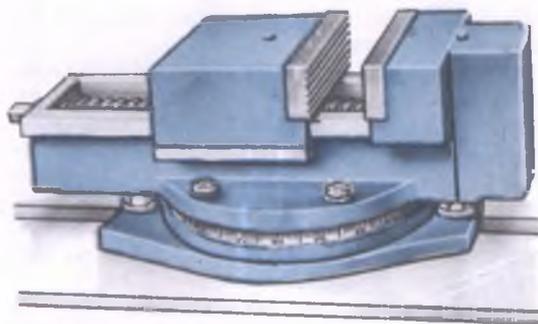
для изготовления таких приспособлений используют недефицитные материалы.

Установку машинных тисков можно производить с помощью шпонок (сухарей), вставляемых в паз основания тисков. Эти шпонки заводят в средний паз стола станка.

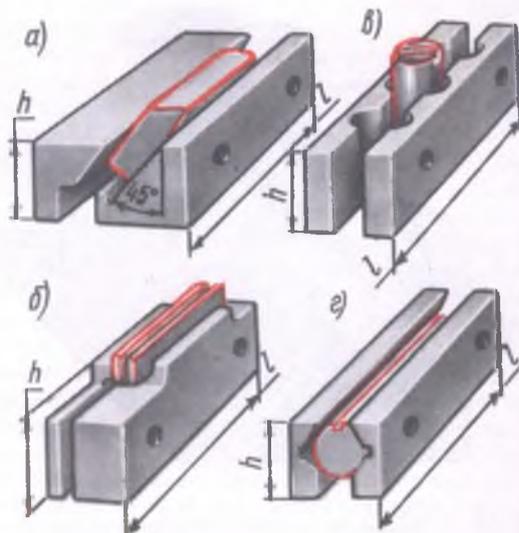
Завинчивание гаек прижимных болтов производится постепенно. Если сильно затянуть одну гайку, а затем все остальные, то это может привести к перекосу тисков. Установка тисков может быть осуществлена непосредственно по фрезерной оправке (рис. 29). Губки тисков уста-



**24** Типы машинных тисков



**25** Машинные тиски с ручным (пневматическим) зажимом



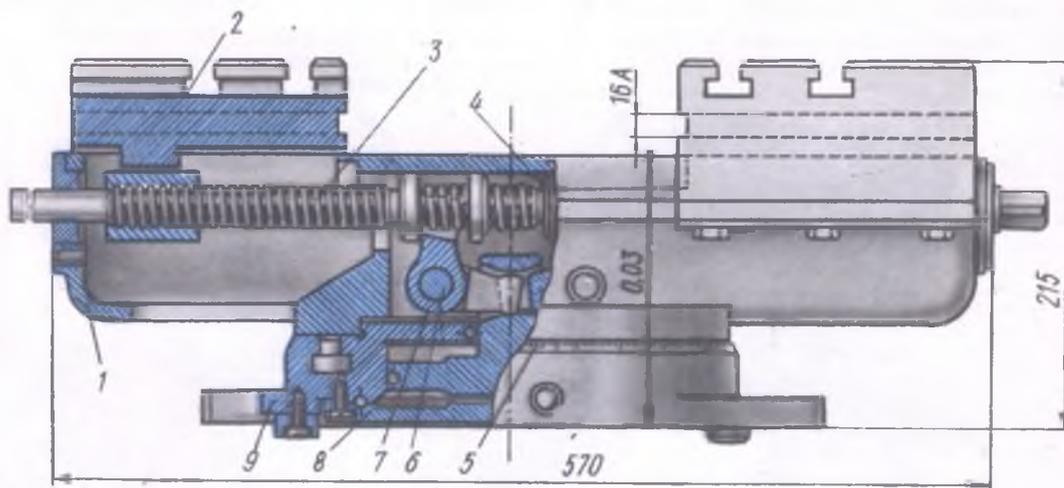
**26** Сменные губки к машинным тискам

навливают параллельно оси фрезерной оправки. В этом случае оправку 2 приводят в соприкосновение с неподвижной губкой тисков 1 (рис. 29, а) и затем затягивают гайки прижимных болтов. На рис. 29, б показана установка тисков для случая, когда губки расположены перпендикулярно оси фрезерной оправки. В губках тисков 1 закрепляют угольник 3, который свободной полкой прижимают к фрезерной оправке 2. Во избежание деформации оправки необходимо пользоваться шупом, который вводят между фрезерной оправкой и неподвижной губкой или свободной полкой угольника. При правильной установке шуп можно вытащить при небольшом усилии.

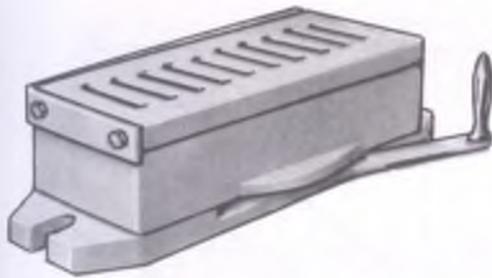
**Выверка заготовок, обрабатываемых в тисках.** Одновременно с закреплением обрабатываемой заготовки производят проверку правильности ее положения и исправление погрешностей установки. Правильность установки заготовки в тисках по отношению к столу станка проверяется с помощью рейсмаса (рис. 30). Для более точной установки заготовки вместо рейсмаса используют индикатор со стойкой.

При использовании различных съемных подкладок к тискам упрощается процесс установки заготовки и в ряде случаев не требуется последующая выверка.

Плотное прилегание нижней плоскости заготовки к подкладке достигается постукиванием медным или латунным молотком. Перед закреплением в тисках заготовок с уже обработанными поверхностями надо обязательно снять



**27** Гидравлические самоцентрирующие поворотные тиски

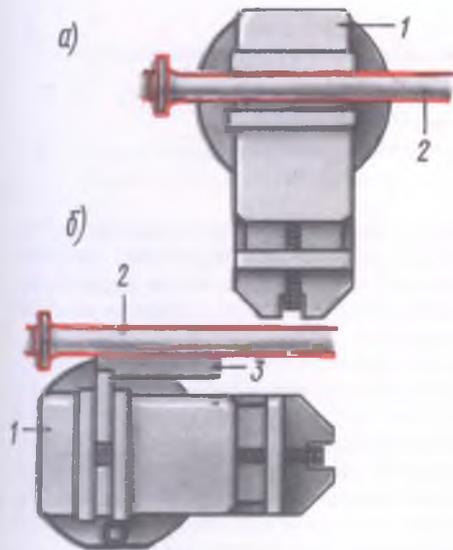


**28** Приспособление с оксидно-бариевыми магнитами

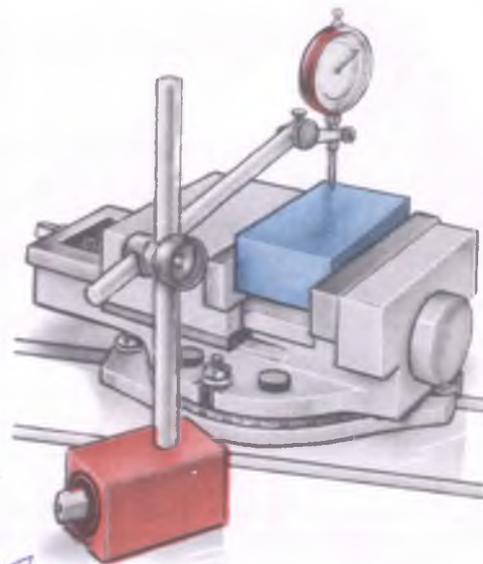
заусенцы, образовавшиеся во время предшествующего перехода, если они могут помешать правильной установке или закреплению заготовки. На губки тисков следует надеть накладки из листовой меди, латуни или алюминия для предохранения от вмятин обработанных поверхностей. Кроме того, необходимо всегда перед обработкой сметать стружку со стола, опорных поверхностей заготовки, зажимных приспособлений, тисков, подкладок. Тонкостенные заготовки малой жесткости не следует зажимать с большой силой во избежание их деформаций, а следовательно, и искажения размеров и формы после обработки.

В крупносерийном и массовом производстве находят широкое применение специальные приспособления для установки и закрепления определенной детали.

Закрепление заготовок в специальных приспособлениях позволяет не только сократить время на ее установку и выверку, но и обеспечивает более высокую точность обработки. Пнев-



**29** Установка тисков на столе фрезерного станка



**30** Выверка заготовки при ее установке в тисках

матическая система должна быть проверена в действии на утечку воздуха. То же самое должно быть проделано в отношении гидравлических зажимов.

## § 11. Фрезерование плоскостей цилиндрическими фрезами

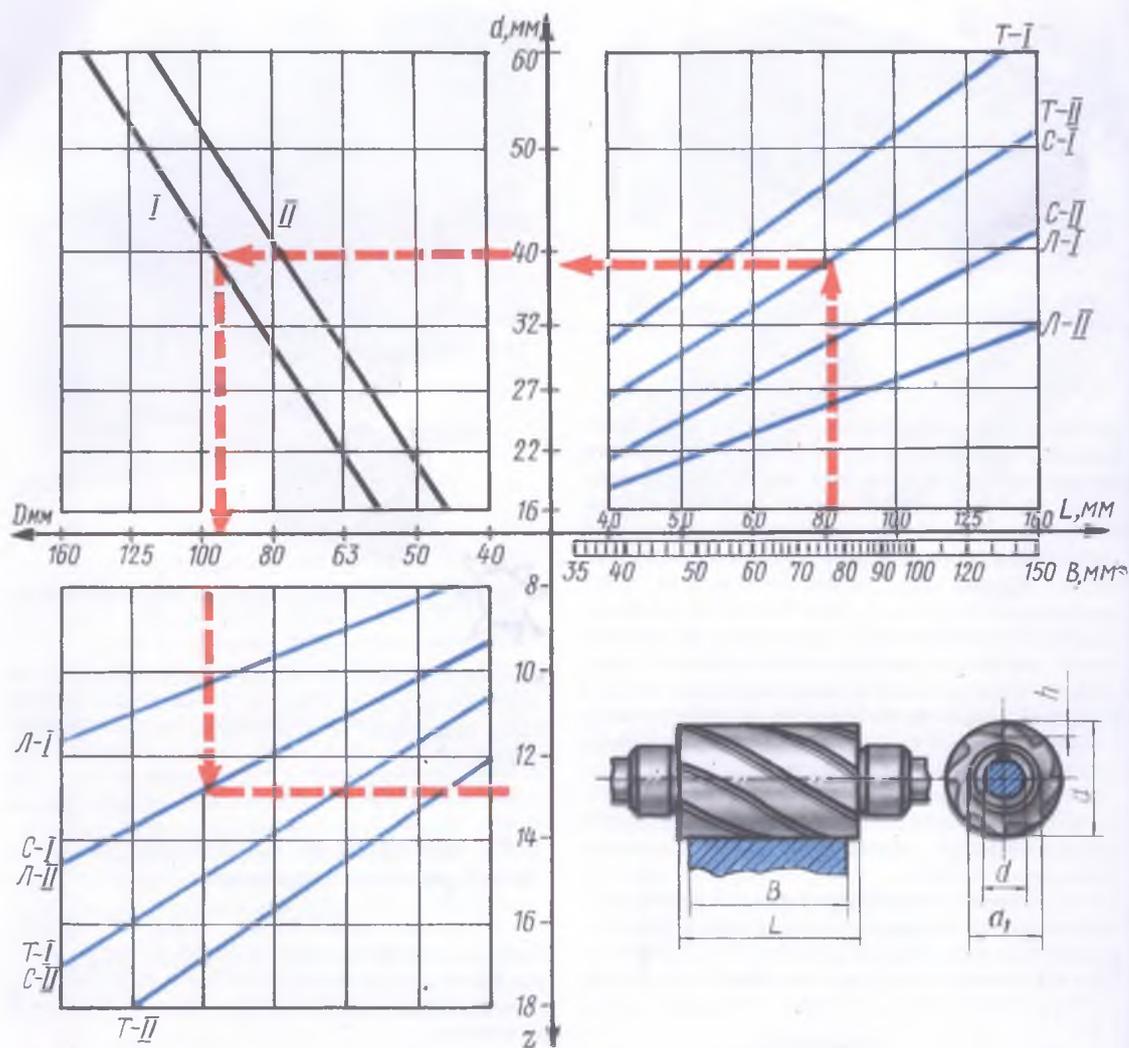
Цилиндрические фрезы применяют для обработки плоскостей. Зубья цилиндрической фрезы располагают по винтовой линии с определенным углом наклона винтовой канавки  $\omega$ .

Цилиндрические фрезы изготовляют по ГОСТ 3752—71 с мелкими зубьями и с крупными зубьями, со вставными ножами по ГОСТ 9926—61 и со вставными ножами составные. Фрезы, оснащенные винтовыми пластинками твердого сплава, изготовляют по ГОСТ 8721—69.

Основными размерами цилиндрических фрез являются длина фрезы  $L$ , диаметр фрезы  $D$ , диаметр отверстия  $d$ , число зубьев  $z$ .

Цилиндрические фрезы изготовляют из быстрорежущей стали, а также оснащают пластинками твердых сплавов. Изготовление цилиндрических фрез со вставными ножами (зубьями) позволяет более экономно использовать дорогостоящий инструментальный материал.

По направлению вращения фрезы делят на право- и леворежущие (см. табл. 3). Праворежущими называют такие фрезы, которые при работе должны вращаться по часовой



**31** Номограмма для выбора оптимального типоразмера цельных цилиндрических фрез

стрелке, если на фрезу смотреть со стороны заднего конца шпинделя (или против часовой стрелки, если смотреть со стороны подвески-серьги). **Леворезущими фрезами** называют такие фрезы, которые при работе должны вращаться против часовой стрелки, если смотреть со стороны заднего конца шпинделя (или по часовой стрелке, если смотреть со стороны подвески).

Если смотреть на фрезу со стороны подвески, то праворезущая фреза отбрасывает стружку вправо, а леворезущая — влево.

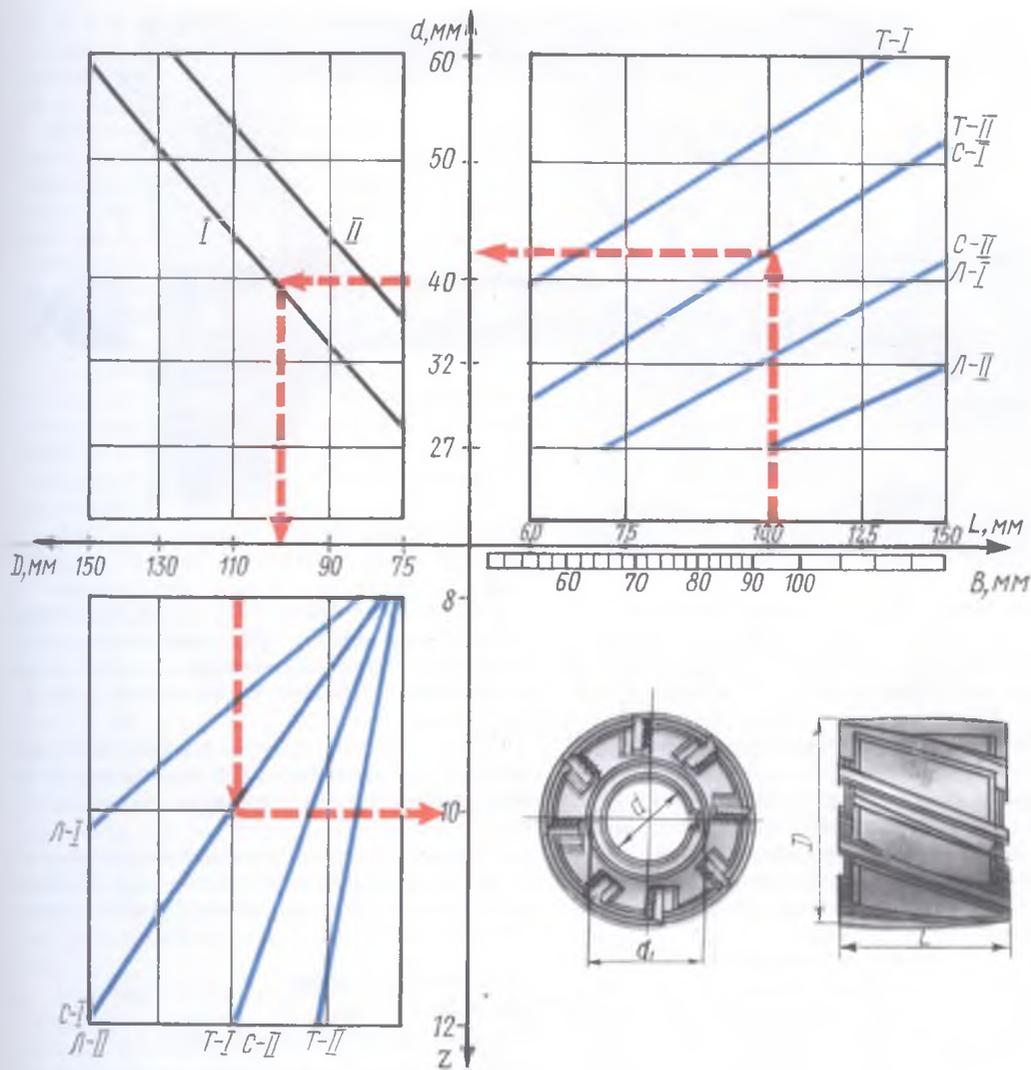
Цилиндрические фрезы в зависимости от того, какой стороной они установлены на оправке, могут быть использованы и как праворезущие, и как леворезущие. Направление резания можно изменить, перевернув фрезу на оправке.

#### Выбор типа и размера цилиндрической фрезы

Выбор типа и размера фрезы зависит от данных конкретных условий обработки (размеры обрабатываемой заготовки, марка обрабатываемого материала, величины припуска на обработку и др.).

Фрезы с крупным зубом применяют для черновой и получистовой обработки плоскостей, фрезы с мелким зубом — для получистовой и чистовой обработки.

На рис. 31 приведена номограмма для выбора оптимального размера цельных цилиндрических фрез с мелкими и крупными зубьями для заданных условий обработки. На рис. 31 приняты следующие обозначения материалов:



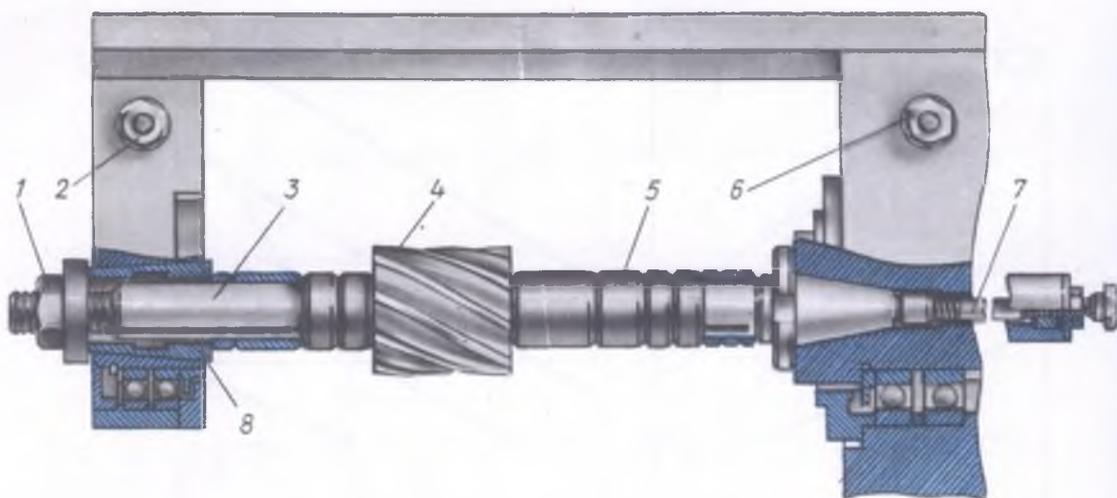
32 Номограмма для выбора оптимального типоразмера цилиндрических фрез со вставными ножами

- Т — труднообрабатываемые материалы (нержавеющая жаропрочная сталь и др.);  
 С — материалы средней трудности обработки (конструкционная сталь, серый чугун и др.);  
 Л — легкообрабатываемые материалы (медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др.);  
 I — черновая обработка; II — чистовая обработка.

Порядок пользования номограммой поясним на примере. Требуется определить размеры цельной цилиндрической фрезы при черновом фрезеровании заготовки из стали 45 ( $\sigma_b = 75 \text{ кг/мм}^2$ ), ширина фрезерования  $B = 75 \text{ мм}$ , глубина резания  $t = 5 \text{ мм}$ .

1. Определяем длину фрезы. Длина фрезы должна быть больше ширины обрабатываемой заготовки. В правой верхней части номограммы по оси абсцисс даны две шкалы: нижняя, по которой откладывается ширина фрезерования  $B$ , и верхняя, по которой отложены стандартные значения длины цилиндрических фрез, соответствующие различным значениям ширины фрезерования. Так, для нашего случая для ширины  $B = 75 \text{ мм}$  ближайшая длина фрезы  $L = 80 \text{ мм}$ .

2. Далее необходимо определить диаметр отверстия фрезы (или диаметр оправки). Из точки, соответствующей  $L = 80 \text{ мм}$ , проводим вертикальную линию до пересечения с наклонной линией, соответствующей условиям обработки — С-I (черновая обработка материала средней трудности обрабатываемости). Из по-



### 33 Оправка для закрепления фрез

лученной точки проводим горизонтальную линию до пересечения с осью  $d$  (диаметр оправки). Точка пересечения находится ближе к  $d = 40$  мм. Поэтому выбираем фрезу с диаметром отверстия  $d = 40$  мм.

3. Определяем диаметр фрезы. Из точки, соответствующей  $d = 40$  мм, проводим горизонтальную линию до пересечения с наклонной линией I (черновая обработка). Из полученной таким путем точки проводим вертикальную линию вниз до пересечения с осью  $D$  — диаметр фрезы. Как видно из графика, ближайший диаметр фрезы равен 100 мм.

4. Находим число зубьев фрезы. Из точки, соответствующей  $D = 100$  мм, проводим вертикальную линию вниз до пересечения с линией, соответствующей заданным условиям обработки С-Е. Из точки пересечения указанных линий проводим горизонтальную линию до пересечения с осью  $z$  (число зубьев фрезы) — нижняя левая часть номограммы. Эта точка находится между  $z = 12$  и  $z = 14$ . Принимаем

$z = 12$ , так как фрезы полученных параметров с  $z = 14$  по стандарту нет. Таким образом, искомые параметры фрезы: цилиндрическая фреза с крупными зубьями  $L = 80$  мм,  $D = 100$  мм,  $d = 40$  мм,  $z = 12$ .

Для заданных условий фрезерования определяем по справочникам технолога оптимальные геометрические параметры фрезы:  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\alpha = 5^\circ$ .

На рис. 32 приведена номограмма, по которой можно произвести выбор оптимального типоразмера цилиндрических фрез со вставными ножами.

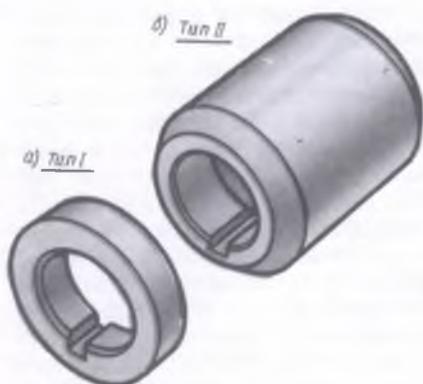
### Наладка и настройка фрезерного станка для выполнения различных работ

Н а л а д к а — подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции (установка оправки на станке; установка фрезы и установочных колец на оправке; проверка биения фрезы; установка приспособления на станке; проверка заготовки относительно инструмента; установка упоров, ограничивающих ход стола и др.).

Н а с т р о й к а фрезерного станка заключается в установлении требуемого числа оборотов шпинделя станка, заданной минутной подачи и глубины фрезерования.

У с т а н о в к а и з а к р е п л е н и е ф р е з ы. После того как выбран оптимальный для данных условий обработки типоразмер цилиндрической фрезы, производят ее установку и закрепление. В соответствии с размером диаметра отверстия фрезы выбирают необходимый диаметр оправки.

На отечественных заводах применяются оправки стандартных диаметров: 16, 22, 27, 32.



### 34 Установочные кольца

40, 50 и 60 мм. На рис. 33 показана фрезерная оправка 3 для крепления цилиндрической или дисковой фрез или набора фрез с установочными кольцами 5.

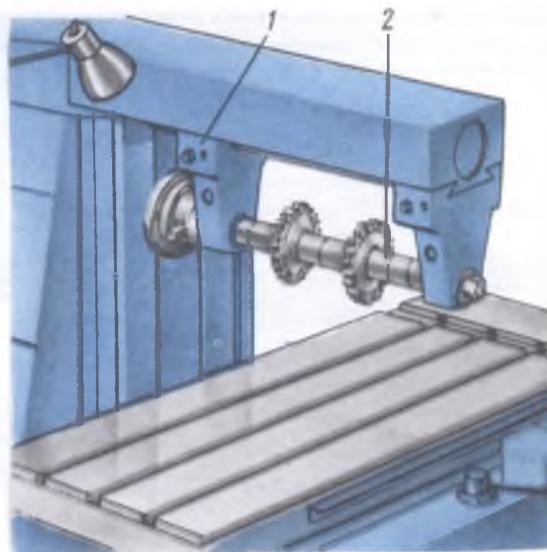
Фрезерная оправка ставится в конус шпинделя и затягивается шомполом 7. На оправку надевают установочные (проставные) кольца и на требуемом расстоянии от торца шпинделя — фрезу 4. Затем снова надевается ряд колец и конусная втулка 8 под серьгу с учетом желаемого удаления серьги от фрезы. Набор колец с фрезой (или набором фрез) и конусной втулкой затягивается на оправке гайкой 1. После этого серьга подвигается на конусную втулку оправки до отказа и крепится на хоботе гайки 2. Хобот также должен быть закреплен на станине гайками 6. При тяжелых работах устанавливается вторая серьга, для чего в набор включается и вторая конусная втулка.

Для расположения одной или нескольких фрез на оправке пользуются установочными кольцами двух типов различной ширины (рис. 34, а, б).

Нормальный набор установочных колец, прилагаемых к фрезерному станку, состоит из колец шириной от 1 до 50 мм; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 3,0; 5,0; 8,0; 10; 15; 20; 30; 40 и 50 мм.

Когда устанавливают на оправке одну фрезу, ее желательно располагать ближе к шпинделю станка, так как в этом положении прогиб оправки будет минимальным. Требуемое положение фрезы относительно обрабатываемой заготовки при этом достигается соответствующей установкой стола в поперечном направлении.

Если невозможно установить фрезу вблизи шпинделя, рекомендуется применять дополнительную подвесную серьгу 1 (рис. 35). Если на оправке должно быть установлено несколько фрез, не имеющих торцового контакта, то правильность их взаимного расположения достигается набором промежуточных колец 2, которые устанавливают между ними.



35 Установка дополнительной серьги

#### Порядок установки и закрепления фрезы

1. Выдвинуть хобот станка поворотом торцового ключа, предварительно отвернув стопорящие винты (рис. 36).

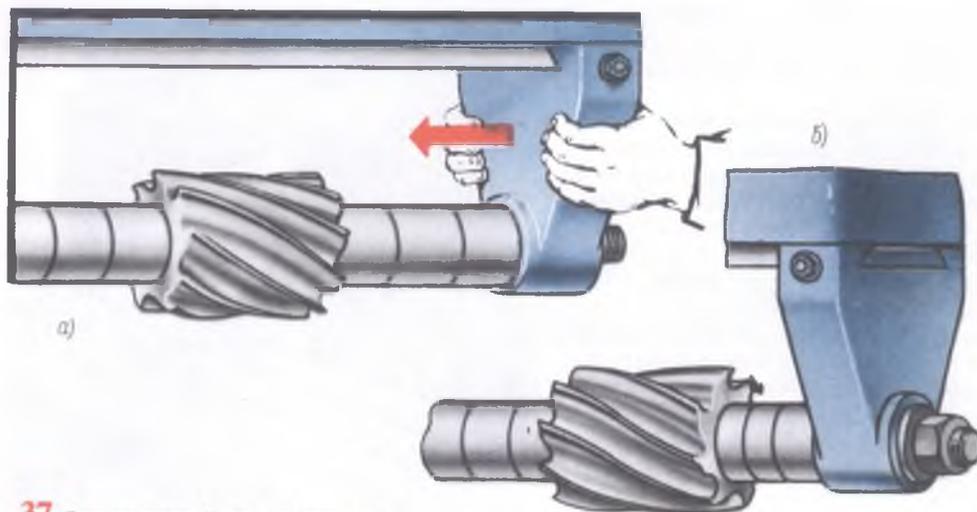
2. Снять серьгу, предварительно отвернув винт.

3. Вставить оправку коническим концом в отверстие шпинделя, совместить пазы во фланце оправки с сухарями на конце шпинделя и закрепить оправку шомполом. Конический хвостик оправки должен плотно входить в коническое отверстие шпинделя. Поэтому необходимо оберегать конический хвостик оправки и гнездо в шпинделе от забоин, тщательно очищать их от пыли перед закреплением.

4. Надеть на оправку подобранные установочные кольца и фрезу. Обратит внимание на соответствие направления вращения шпинделя станка направлению винтовых канавок фрезы.



36 Выдвижение хобота и снятие серьги



**37** Закрепление фрезы на оправке

Следует запомнить, что надо выбирать обязательно схемы с разноименными направлениями винтовых канавок фрезы и направлением вращения шпинделя (табл. 3).

Из таблицы видно, что при работе на горизонтально-фрезерных станках следует приме-

нять цилиндрические фрезы с левым направлением винтовых канавок при правом вращении фрезы (вариант 1, табл. 3) или с правым направлением винтовых канавок при левом направлении вращения фрезы (вариант 2, табл. 3). Это объясняется тем, что в случаях с разноименным

ТАБЛИЦА 3

№ варианта	Эскизы	Направление винтовой канавки фрезы	Направление вращения шпинделя	Направление осевой составляющей силы резания	Выбор сделан
1		Правое	Левое	В шпиндель	Правильно
2		Левое	Правое	То же	*
3		»	Левое	От шпинделя	Неправильно
4		Правое	Правое	То же	»

направлением винтовых канавок фрезы и направлением ее вращения осевая составляющая силы резания  $P_x$  направлена в сторону шпинделя, т. е. более жесткой опоры. При этом она будет вдавливать оправку в отверстие шпинделя, а не вытягивать фрезу с оправкой из гнезда шпинделя и давить на менее жесткую опору — серьгу. Теперь возвратимся к установке и закреплению фрезы. После того как надели на оправку установочные кольца и фрезу, далее следует надеть на оправку остальные установочные кольца и затянуть гайку на конце оправки. При этом надо следить за тем, чтобы гайка не закрывала шейки оправки, которая входит в подшипник серьги.

5. Установить серьгу так, чтобы конец оправки (шейка) вошел в подшипник серьги (рис. 37, а).

6. Закрепить фрезу на оправке, затянув ключом гайку (рис. 37, б).

7. Закрепить хобот и смазать подшипник серьги.

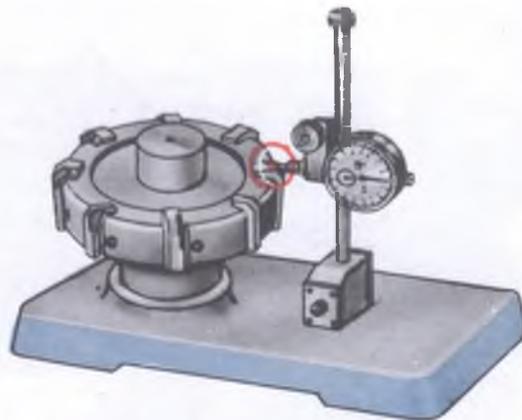
8. Проверить биение фрезы и оправки, которое должно соответствовать существующим нормам. Для проверки биения оправки и фрезы следует пользоваться индикатором со штативом.

#### Проверка биения фрезы

Для проверки биения фрезы применяют прибор, показанный на рис. 38. Радиальное биение режущих кромок относительно отверстия для фрез диаметром до 100 мм не должно превышать 0,02 мм для двух смежных зубьев и 0,04 для двух противоположных зубьев. Биение опорных торцов при проверке на оправке 0,02 мм для фрез длиной до 50 мм и 0,03 мм для фрез длиной более 50 мм.

Радиальное биение двух смежных зубьев фрез диаметром от 100 до 125 мм не более 0,02 мм, а фрезы — не более 0,05 мм; для фрез диаметром свыше 125 мм — соответственно 0,03 мм и 0,08 мм.

**Применение упоров.** Фрезерные станки снабжены устройствами для автоматизации рабочего цикла, которые позволяют настроить станок на быстрый подвод стола, переключение его на рабочую подачу и останов в конечном положении. На рис. 39 показана расстановка упоров, ограничивающих продольный ход стола широкоуниверсального станка 6Р82Ш. Упорные кулачки 1 и 2 устанавливаются и закрепляются в боковом продольном пазу стола, в положении, соответствующем началу и окончанию рабочего хода стола, в зависимости от требуемой длины фрезерования. После включения вправо рычагом 3 механической подачи стол с обрабатываемой заготовкой начинает перемещаться слева направо до тех пор, пока кулачок 1 не упрется в выступ рычага 3 и не поставит его в среднее



38 Прибор для проверки фрез на биение

положение, выключив тем самым механическую подачу.

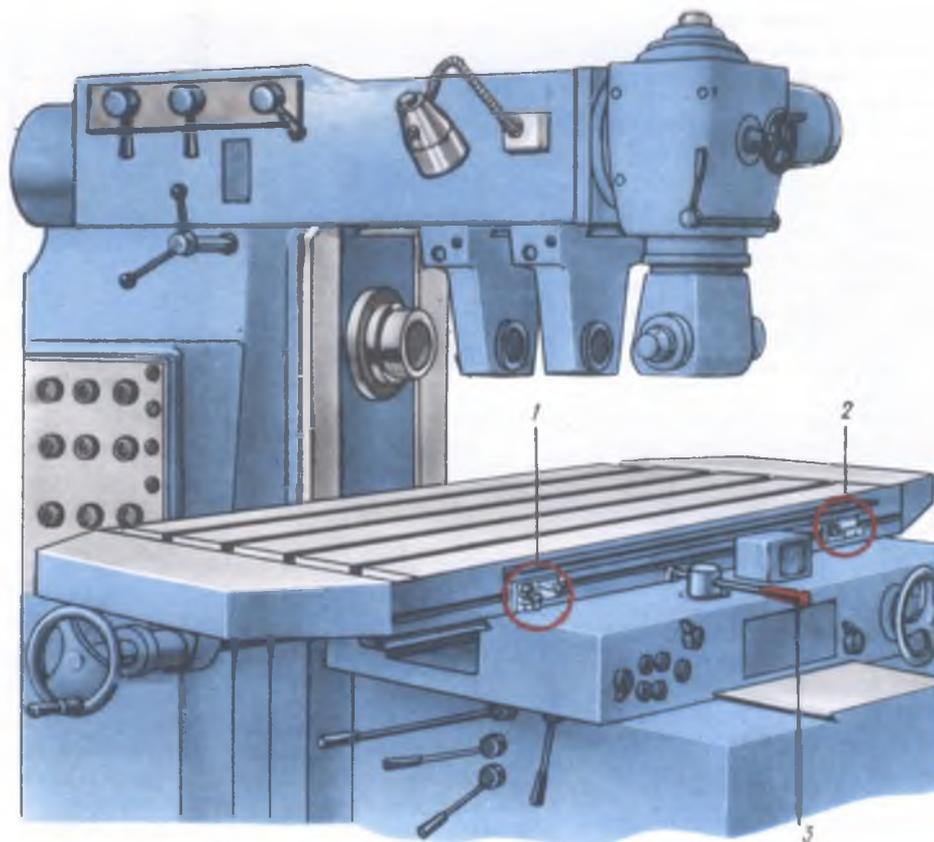
После поворота рычага 3 влево стол получит автоматическую подачу справа налево и будет перемещаться до тех пор, пока кулачок 2 не упрется в выступ на рычаге 3 и не поставит его в среднее положение, выключив механическую подачу. Подобные устройства применяют во фрезерных станках для ограничения и автоматического выключения поперечной и вертикальной подачи. В тех случаях, когда по условиям обработки не требуется автоматическое выключение подачи стола, кулачки устанавливают и закрепляют в крайних рабочих положениях стола (подробнее см. стр. 99).

**Подача смазочно-охлаждающей жидкости.** Следует подобрать для данных условий обработки соответствующую СОЖ (см. § 7) и убедиться в надежности работы системы подачи жидкости.

**Выбор режимов фрезерования.** Выбрать режимы фрезерования означает, что для заданных условий обработки (материал и марка заготовки, ее профиль и размер) выбрать оптимальный тип и размер фрезы, марку материала фрезы и геометрические параметры режущей части, а также оптимальные параметры режимов фрезерования: ширина фрезерования, глубина фрезерования, подача на зуб, скорость резания, число оборотов шпинделя, минутная подача, эффективная мощность фрезерования и машинное время.

В гл. IX подробно разобран вопрос об установлении режимов фрезерования. Здесь ограничимся лишь некоторыми сведениями по этому вопросу\*.

\* В серийном производстве все данные для выбора фрезы и режимов фрезерования указывают в операционных технологических картах.



**39** Расстановка упоров для автоматического выключения продольной подачи

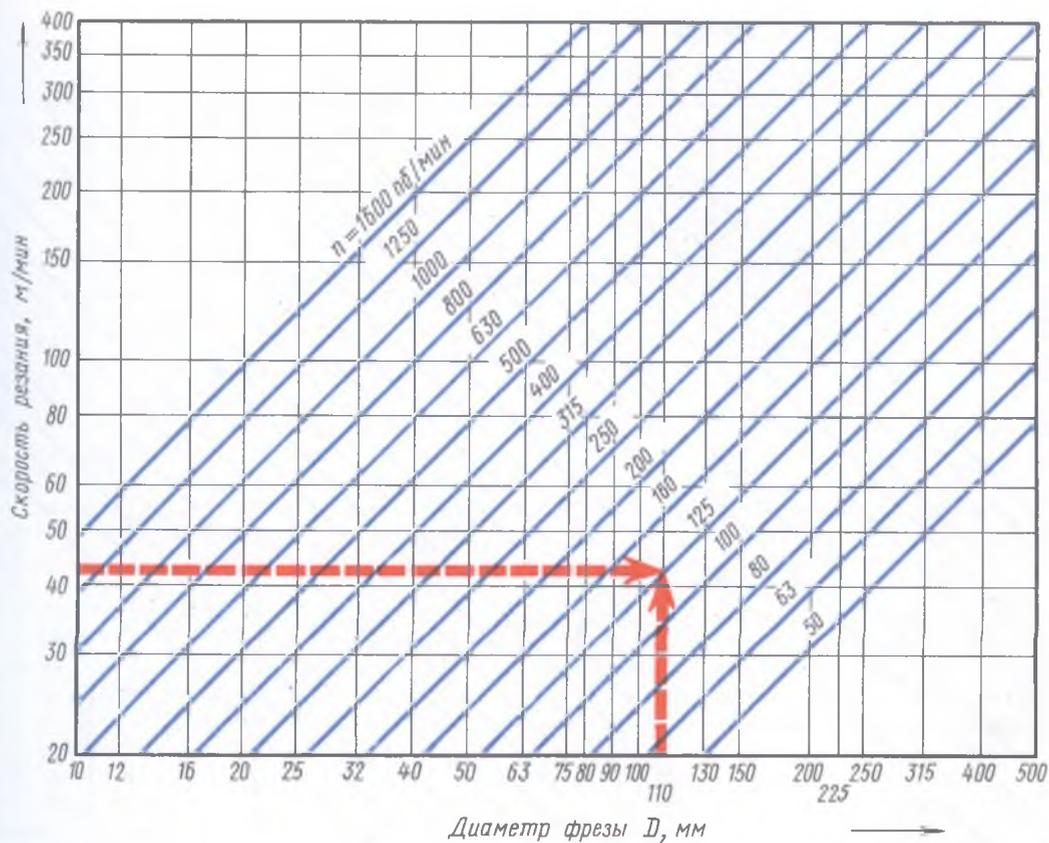
Выбор типа и размера цилиндрических фрез и их геометрических параметров разобран ранее. Режим резания определяют по таблицам, которые приведены в справочниках фрезеровщика, технолога, нормировщика или в справочниках по режимам резания. Ширину фрезерования, как правило, не выбирают, так как она зависит от размеров заготовки детали. Глубина чернового фрезерования зависит от припуска на обработку и мощности электродвигателя станка. Припуск на обработку желательно снять за один проход. При чистовом фрезеровании глубина резания не превышает  $1 \div 2$  мм.

Подача на зуб фрезы выбирается в зависимости от характера обработки (черновое или чистовое фрезерование). При черновом фрезеровании подача на зуб больше, чем при чистовом, так как чем меньше подача на зуб, тем выше класс шероховатости обработанной поверхности.

По выбранным значениям глубины, ширины фрезерования и подачи на зуб определяют скорость резания. Разберем подробно настройку горизонтально-фрезерного станка 6Р82 на случай чернового фрезерования заготовки из стали 45 ( $\sigma_b = 75$  кг/мм<sup>2</sup>), ширина фрезерования

$B = 75$  мм, глубина резания  $t = 5$  мм. В данном примере выберем типоразмер цилиндрической фрезы со вставными ножами, а не цельной.

**Решение.** По номограмме (см. рис. 32) определяем типоразмер цилиндрической фрезы со вставными ножами. Решение примера на рис. 32 показано стрелками. Для ширины фрезерования  $B = 75$  мм ближайший размер длины фрезы равен 100 мм. Из точки с отметкой  $L = 100$  мм проводим вертикальную прямую до пересечения с линией С-1 (черновая обработка, материал средней трудности обработки). Далее из полученной точки проводим горизонтальную линию до пересечения с осью  $d$  (диаметр оправки). Ближайший размер оправки  $d = 40$  мм. Из точки с отметкой  $d = 40$  мм проводим горизонтальную прямую до пересечения с линией 1 (черновая обработка). Затем из полученной точки проводим вниз вертикальную линию до пересечения с осью, на которой обозначен диаметр фрезы  $D$ . Получаем промежуточное значение диаметра фрезы (между 90 и 110 мм). Из точки, соответствующей выбранному диаметру, например 110 мм, проводим вертикальную линию до пересечения с линией С-1. Из полученной точки проводим горизонтальную ли-



40 График выбора числа оборотов фрезы

нию до пересечения с линией  $z$  (число зубьев фрезы). Таким образом, для данного случая оптимальные размеры фрезы будут:  $L = 100$  мм,  $d = 40$  мм,  $D = 90$  мм,  $z = 8$  или  $L = 100$  мм,  $d = 40$  мм,  $D = 110$  мм,  $z = 10$ .

Предпочтительнее взять второй вариант, так как здесь  $z = 10$ , а не 8, как в первом случае. Теперь для заданного обрабатываемого материала и материала режущей части фрезы Р6М5 находим по таблицам оптимальные геометрические параметры режущей части  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ .

В порядке, указанном ранее, определяем режим резания по таблицам. Для фрез со вставными ножами и крупным зубом подача на зуб задается в пределах  $0,05\text{--}0,4$  мм/зуб. Примем подачу на зуб  $s_z = 0,02$  мм/зуб. Скорость резания при обработке стали этими фрезами назначается в пределах  $35\text{--}55$  м/мин. Для нашего случая  $v = 42$  м/мин.

Далее в зависимости от диаметра фрезы и принятой скорости резания определяем число оборотов шпинделя по формуле (2) и выбираем ближайшую ступень чисел оборотов, которая имеется на данном станке.

Для определения числа оборотов шпинделя по заданной скорости резания и выбранному

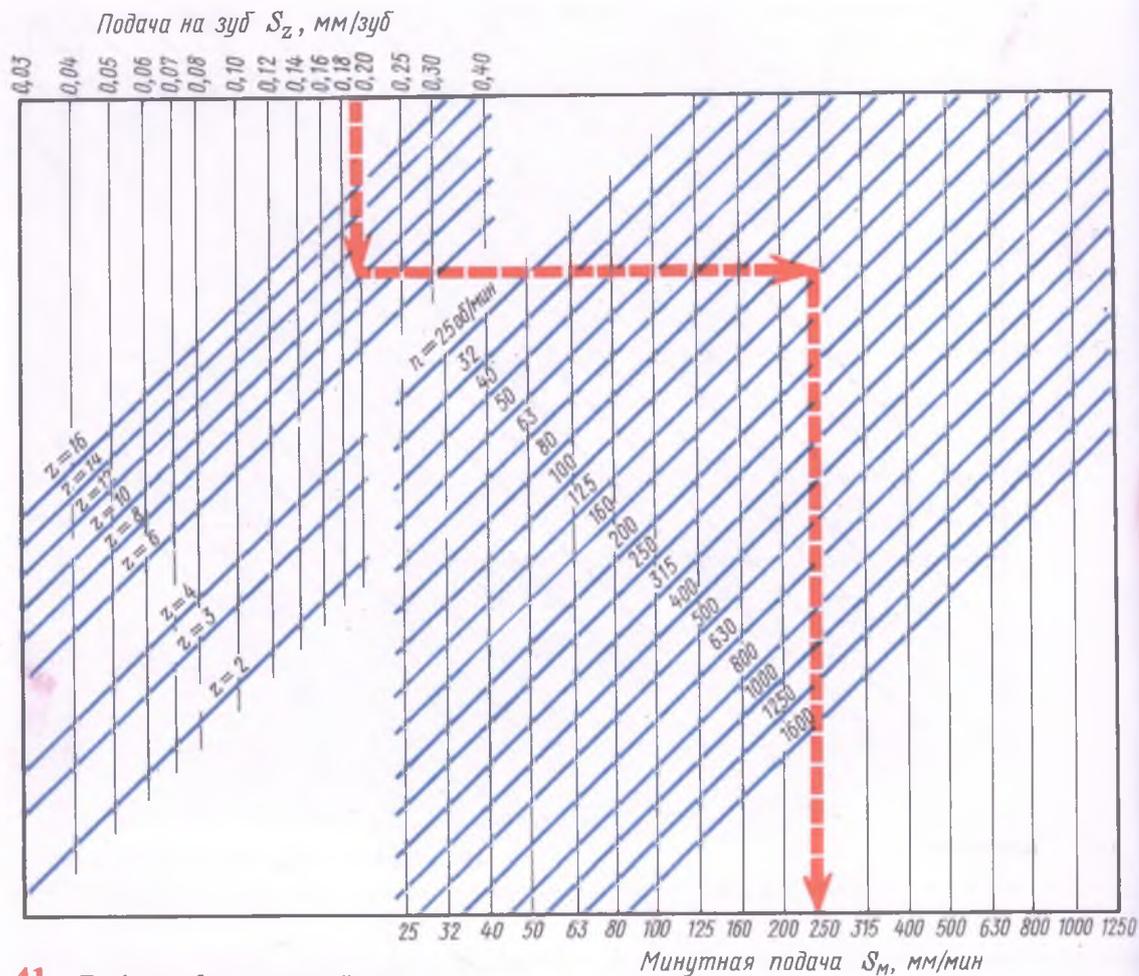
диаметру фрезы можно воспользоваться графиком (рис. 40). Из точки, соответствующей принятой скорости резания, проводят горизонтальную линию, а из точки с отметкой выбранного диаметра фрезы — вертикальную. В точке пересечения указанных линий определяют ближайшую ступень чисел оборотов фрезы, имеющих на данном станке. Так, например, в нашем примере число оборотов шпинделя при фрезеровании цилиндрической фрезой диаметром  $D = 110$  мм при скорости резания  $42$  м/мин согласно графику будет равно  $125$  об/мин.

Искомое число оборотов обычно находится между двумя соседними значениями чисел оборотов шпинделя. В таких случаях выбирают ближайшую ступень чисел оборотов к найденному значению по графику (рис. 40).

Теперь можно определить величину минутной подачи по формуле (4):

$$s_m = 0,2 \cdot 10 \cdot 125 = 250 \text{ мм/мин.}$$

Численное значение минутной подачи и соответственно выбор имеющейся на данном станке величины  $s_m$  можно определить без подсчета, пользуясь графиком (рис. 41).



**41** График выбора минутной подачи

Для нашего примера определим минутную подачу при фрезеровании фрезой с числом зубьев  $z = 10$ , при  $s_z = 0,2$  мм/зуб и  $n = 125$  об/мин. Из точки, соответствующей подаче на зуб,  $s_z = 0,2$  мм/зуб, проводим вертикальную до пересечения с наклонной линией, соответствующей числу зубьев фрезы  $z = 10$ . Из полученной точки проводим горизонтальную линию до пересечения с наклонной линией, соответствующей принятому числу оборотов шпинделя  $n = 125$  об/мин. Далее из полученной точки проводим вертикальную линию. Точка пересечения этой линии с нижней шкалой минутных подач, имеющихся на данном станке, определяет ближайшую ступень минутных подач.

Для нашего примера, как видно из графика, минутная подача совпадает с одной из ступеней минутных подач, имеющихся на горизонтально-фрезерных станках серии М и Р, и равна 250 мм/мин. Для других типов станков легко построить подобные графики.

Если бы в разобранный выше примере была дана заготовка не из стали, а из серого чугуна твердостью  $HB = 180$ , то при той же ширине фрезерования  $B = 75$  мм и глубине резания  $t = 5$  мм и для той же фрезы со вставными ножами ( $L = 100$  мм,  $d = 40$  мм,  $D = 110$  мм,  $z = 10$ ) следовало бы внести следующие изменения. Геометрические параметры фрезы для этого случая —  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ . Подача на зуб при обработке чугуна выбирается в пределах  $0,1—0,5$  мм/зуб, т. е. соответственно больше, чем при обработке стали. Скорость резания при обработке чугуна назначается в пределах  $15—45$  м/мин, т. е. меньше, чем при обработке стали 45.

Режим чистового фрезерования отличается от режимов чернового фрезерования тем, что при чистовом фрезеровании стали и чугуна назначается сравнительно малая подача на зуб фрезы ( $s_z = 0,05 \div 0,12$  мм/зуб) при больших скоростях резания (по указанному выше верхнему пределу скоростей для обоих случаев).

Режимы фрезерования обычно указывают в операционных картах механической обработки. Следует иметь в виду, что несоблюдение этих режимов фрезерования приводит к нерациональному использованию станка и инструмента, снижению производительности труда или даже к получению бракованных деталей.

Настройка коробки скоростей и подач на заданное число оборотов в минутную подачу осуществляется путем установки рукоятки и лимба переключения скоростей и подач в соответствующие положения.

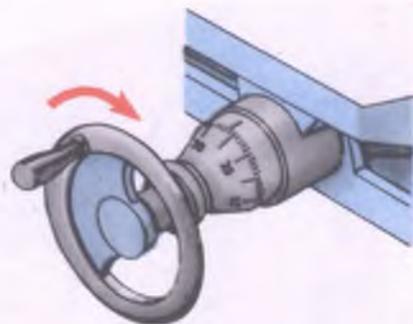
**Установка на глубину фрезерования.** Прежде чем поднимать или опускать стол, надо ослабить затяжку стопорных винтов. При вращающемся шпинделе осторожно подвести вручную стол вместе с закрепленной заготовкой под фрезу до момента легкого касания. Далее ручным перемещением стола в продольном направлении вывести заготовку из-под фрезы.

Затем вращением рукоятки вертикальной подачи поднять стол на величину, равную глубине резания. Отсчет величины перемещения стола производят по лимбу, т. е. кольцу с делениями (рис. 42). Отсчет по лимбу можно принципиально вести от любого деления шкалы, однако для удобства и упрощения отсчета, после того как фреза коснулась обрабатываемой заготовки, лимб следует установить на нулевое положение (т. е. риску лимба с отметкой 0 совместить с визирной риской).

Ценой деления лимба называется величина, на которую переместится стол станка, если рукоятку винта подачи стола повернуть на одно деление лимба. Если, например, цена деления лимба равна 0,05 мм и лимбовое кольцо имеет 40 делений, то это означает, что за один оборот рукоятки ручного подъема стола он переместится на величину  $0,05 \times 40 = 2$  мм. Чтобы поднять стол на 3 мм, нужно повернуть лимб на  $3 : 0,05 = 60$  делений, т. е. на полтора оборота.

При вращении рукоятки вертикальной подачи стола нужно учитывать наличие «мертвого хода». В результате износа винта и гайки в соединении винт-гайка образуется зазор. Поэтому если вращать рукоятку подачи винта в одном направлении, а затем изменить направление вращения винта, то он повернется на какую-то часть оборота вхолостую (пока не будет выбран зазор в соединении винт-гайка), т. е. стол перемещаться не будет.

Поэтому подводить лимб до нужного деления надо очень плавно и по возможности осторожно (без рывков). Если же случайно все-таки повернули, скажем до 40-го деления, а нужно до 35-го, то нельзя исправить ошибку путем поворота лимба в обратном направлении на 5 делений. В таких случаях необходимо повернуть маховичок с лимбом в обратном направлении почти на полный оборот и остано-



42 Лимб для отсчета перемещений

можно подвести лимб заново до требуемого деления.

После установки фрезы на требуемую глубину фрезерования необходимо застопорить консоль и салазки поперечной подачи и установить кулачки включения механической подачи на требуемую длину фрезерования.

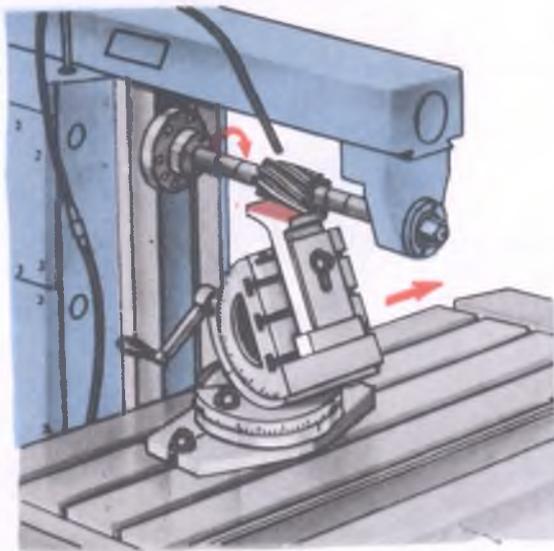
После осуществления наладки и настройки станка плавным вращением рукоятки продольной подачи стола подвести обрабатываемую заготовку к фрезе, немного не доводя, включить станок, включить механическую подачу и приступить к работе.

Перед подачей стола в исходное положение (вывод детали из-под фрезы) надо удалить с помощью щетки всю стружку с обработанной поверхности, а стол немного опустить, чтобы не испортить обработанной поверхности детали при обратном ходе. Затем произвести измерение обработанной детали, размеры которой должны соответствовать размерам, указанным в операционной карте. В случае необходимости произвести исправление размера путем дополнительного прохода.

**Фрезерование наклонных плоскостей и скосов.** Плоскость детали, расположенную под некоторым углом к горизонтальной плоскости, называют наклонной плоскостью. Наклонную плоскость детали, имеющую небольшие размеры, называют скосом. Фрезерование наклонных плоскостей и скосов цилиндрическими фрезами может быть осуществлено путем установки заготовки под требуемым углом к оси фрезы. Этот поворот можно произвести разными путями.

Установка заготовки в универсальных тисках. При установке универсальных тисков на требуемый угол следует иметь в виду, что подлежащая обработке наклонная плоскость должна быть расположена горизонтально, т. е. параллельно оси фрезы.

Установка заготовки на универсальной поворотной плите. На рис. 43 показана заготовка, установленная

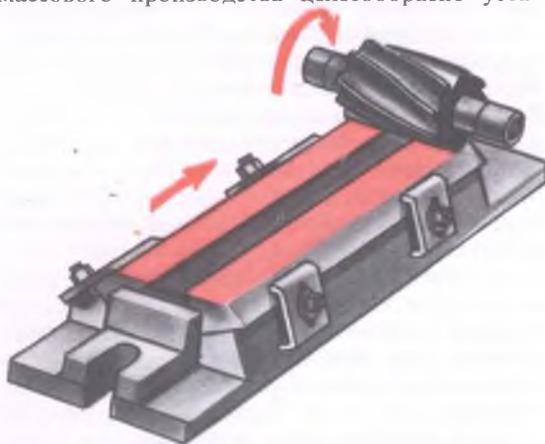


**43** Фрезерование наклонной плоскости на универсальной поворотной плите

под требуемым углом на универсальной поворотной плите.

Поворотные плиты позволяют обрабатывать плоскости с любым углом наклона в пределах от 0 до 90° при возможности одновременного поворота обрабатываемой заготовки в горизонтальной плоскости на угол до 180°. Заготовку крепят к столу универсальной плиты прихватами или болтами, как и при закреплении на столе фрезерного станка. Универсальные тиски и универсальные поворотные плиты применяют в единичном или мелкосерийном производстве.

Установка заготовок в специальных приспособлениях. При обработке заготовок с наклонными плоскостями или скосами в условиях крупносерийного и массового производства целесообразно уста-



**44** Приспособление для фрезерования наклонных плоскостей

новку заготовок под требуемым углом к оси фрезы производить в специальных приспособлениях.

На рис. 44 показано приспособление для фрезерования наклонных плоскостей. В приспособлении устанавливают две обрабатываемые заготовки и фрезеруют одновременно торцовой или цилиндрической фрезой.

## § 12. Фрезерование плоскостей торцовыми фрезами

Торцовые фрезы предназначены для обработки плоскостей на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках. Торцовые фрезы в отличие от цилиндрических имеют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности и на торце.

Торцовые фрезы делятся на насадные (ГОСТ 9304—69) с мелкими зубьями и с крупными зубьями и насадные со вставными ножами по ГОСТ 1092—69.

Основными размерами торцовых фрез являются: диаметр —  $D$ , длина фрезы —  $L$ , диаметр отверстия —  $d$  и число зубьев —  $z$ .

Торцовые фрезы по сравнению с цилиндрическими имеют ряд преимуществ, главными из которых являются:

более жесткое крепление на оправке или шпинделе;

более плавная работа из-за большого числа одновременно работающих зубьев.

Поэтому обработку плоскостей в большинстве случаев целесообразно проводить торцовыми фрезами.

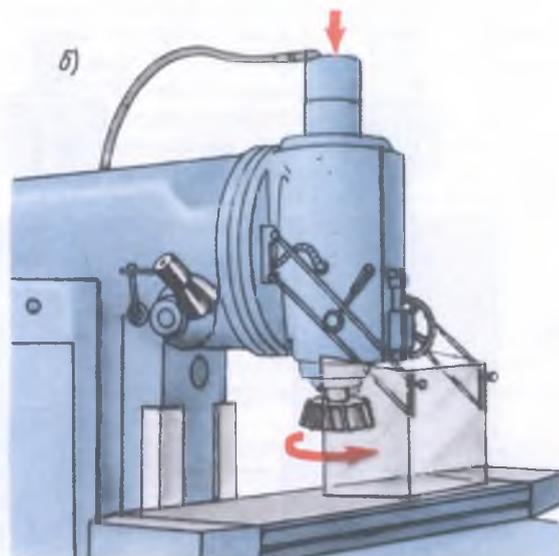
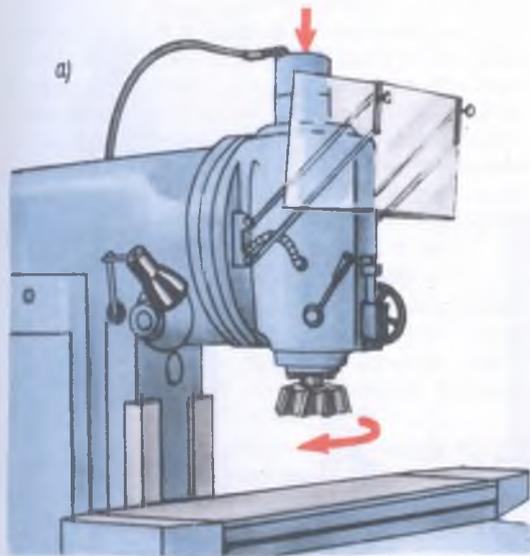
Торцовые фрезы, как и цилиндрические, делятся на праворежущие и леворежущие.

Праворежущими называют такие фрезы, которые при работе должны вращаться по часовой стрелке (рис. 45, а), а леворежущие — против часовой стрелки (рис. 45, б), если смотреть на фрезу или фрезерную головку сверху (при работе на вертикально-фрезерном станке).

Широкое распространение получили торцовые фрезы, оснащенные пластинками твердых сплавов. Фрезерование плоскостей торцовыми твердосплавными фрезами является более производительным, чем фрезерование цилиндрическими фрезами.

В последнее время большое распространение получили торцовые фрезы с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками.

**Наладка и настройка станка для выполнения различных работ.** При работе на вертикально и горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами наладка и настройка принципиально ничем не отличаются от наладки и настройки горизонтально-фрезерного станка при работе цилиндрическими фрезами. Поэтому остав-



45 Направление вращения фрез

наладки и настройки при фрезеровании торцовыми фрезами.

Установка и закрепление торцовых фрез на вертикально-фрезерных станках. В зависимости от вида применяемой фрезы крепление ее на вертикально-фрезерном станке может производиться несколькими способами:

Торцовые фрезы, имеющие калиброванное сквозное отверстие, центрируются по цилиндрической части оправки 3 конусной частью, устанавливаются в конусное отверстие шпинделя и закрепляются в нем шомполом 1 и гайкой 2 (рис. 46, а). Базовый торец фрезы опирается на один из торцов переходного фланца 4, второй торец которого опирается на торец оправки 3. Шипы шпинделя 6 входят в пазы переходного фланца, а выступы фланца в пазы фрезы, передавая крутящий момент от шпинделя фрезе. Фреза крепится на оправке винтом 5 с помощью специального ключа.

Торцовые фрезы, имеющие центрирующую выточку ( $\phi 128,57A$ ), устанавливают непосредственно на головку шпинделя и закрепляют на нем четырьмя винтами 1 (рис. 46, б). Шипы шпинделя 2 входят в пазы корпуса фрезы, передавая крутящий момент от шпинделя фрезе.

Торцовые фрезы с конусным хвостиком номинальным размером наибольшего диаметра конуса  $\phi 59,85$  мм и конусностью 7:24, выполненным за одно целое с корпусом фрезы, вставляют в конусное отверстие шпинделя, закрепляют в нем шомполом 1 и гайкой 2 (рис. 46, в). Крутящий момент передается шипами 3, входящими в пазы корпуса фрезы.

Торцовые фрезы, имеющие сквозное калиброванное отверстие и пазы в корпусе, по ширине соответствующие размерам шипов шпинделя.

устанавливают на оправке, закрепленной в шпинделе станка. Фрезу закрепляют на оправке винтом 1. Крутящий момент передается шипами 3, входящими в пазы корпуса фрезы (рис. 46, з).

Концевые фрезы, имеющие хвостовик с конусом «Морзе» и резьбовым отверстием, центрируют в переходной втулке 1, вставленной в конусное отверстие шпинделя и крепят шомполом 2 и гайкой 3. Шипы шпинделя 4 входят в пазы переходной втулки, передавая крутящий момент от шпинделя фрезе (рис. 46, д).

Настройка вертикально-фрезерных станков на соответствующие режимы резания производится так же, как и настройка горизонтально-фрезерных станков.

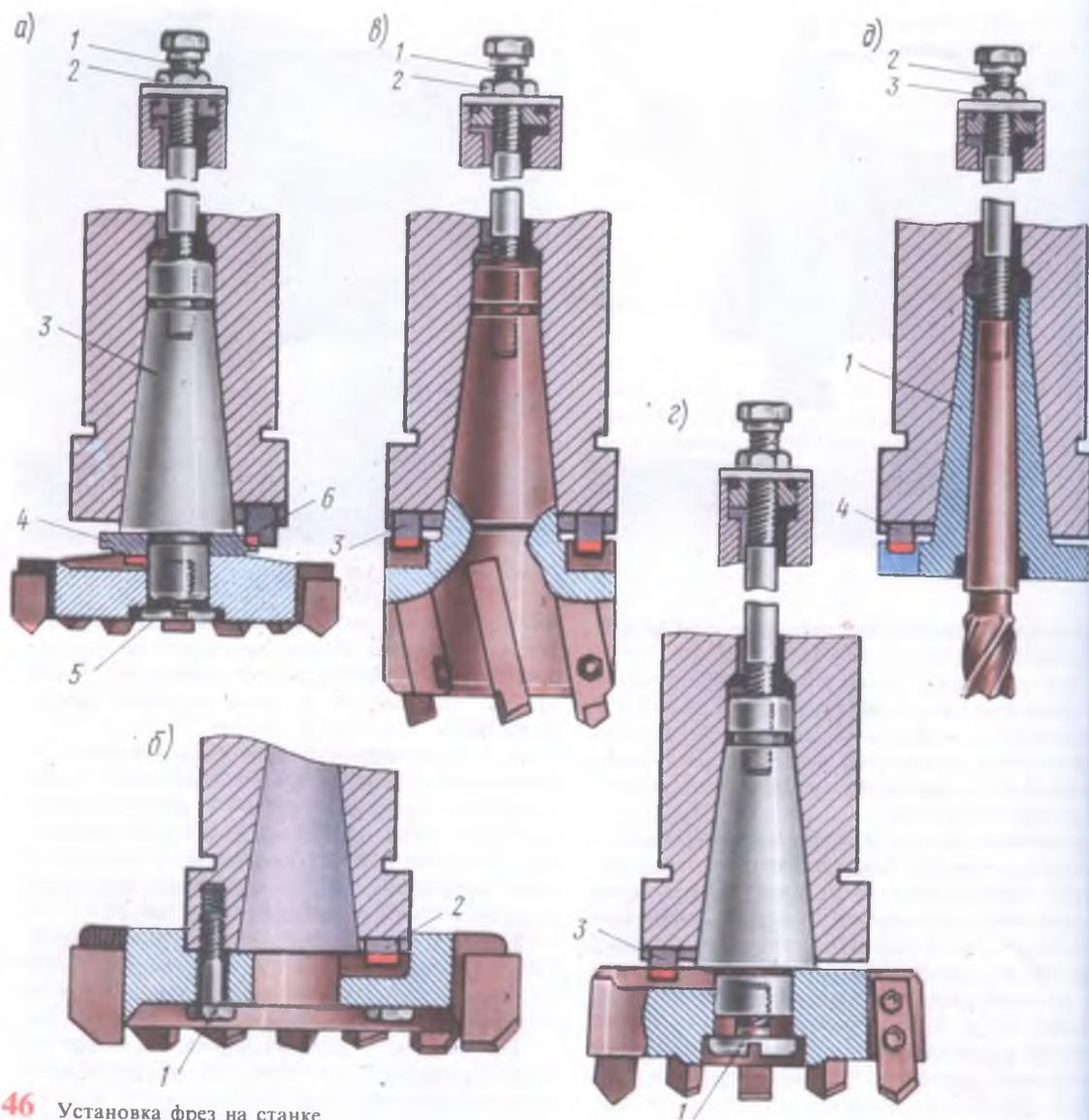
**Выбор типа и размера фрезы.** Стандартом предусмотрено, что у торцовых насадных фрез параметры определены однозначно, т. е. каждому диаметру торцовой фрезы соответствует определенное значение длины фрезы  $L$ , диаметра отверстия  $d$  и числа зубьев  $z$ .

Диаметр торцовой фрезы выбирается в зависимости от ширины фрезерования  $t$  по формуле

$$D = (0,6 + 0,8)t$$

Для черновой обработки выбирают торцовые насадные фрезы со вставными ножами или с крупными зубьями. При чистовой обработке следует взять торцовые насадные фрезы с мелкими зубьями.

Однако во всех случаях надо отдать предпочтение торцовым фрезам, оснащенным твердыми сплавами, так как машинное время обработки в этом случае значительно сокращается за счет увеличения скорости резания.



46 Установка фрез на станке

Рассмотрим настройку горизонтально-фрезерного станка 6Р82 или вертикально-фрезерного станка 6Р12П на черновое фрезерование той же заготовки (см. стр. 30) из стали 45 ( $\sigma_b = 75 \text{ кг/мм}^2$ ), ширина фрезерования  $t = 75 \text{ мм}$ , глубина резания  $B = 5 \text{ мм}$ .

В данном случае выберем торцовую фрезу с пластинками твердого сплава Т15К6. Диаметр фрезы  $D = 150 \text{ мм}$ ,  $z = 6$ . Геометрические параметры:  $\gamma = 5^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ . Подача на зуб  $s_z$  выбирается в пределах  $0,1 \div 0,3 \text{ мм/зуб}$ . При глубине резания  $B = 5 \text{ мм}$  и  $s_z = 0,2 \text{ мм/зуб}$  скорость резания по нормативам режимов резания  $v = 250 \text{ м/мин}$ .

Число оборотов шпинделя легко определить по графику (см. рис. 40). На графике

видно, что при  $D = 150 \text{ мм}$  и  $v = 250 \text{ м/мин}$  ближайшая ступень чисел оборотов станка будет  $n = 500 \text{ об/мин}$ . Теперь по номограмме (см. рис. 41) определим ближайшую минутную подачу, имеющуюся на указанных консольных фрезерных станках  $s = 630 \text{ мм/мин}$ .

Непосредственный подсчет дает примерно тот же результат:

$$s_M = s_z \cdot z \cdot n = 0,2 \cdot 500 = 600 \text{ мм/мин}$$

Ближайшая ступень минутных подач будет  $s_M = 630 \text{ мм/мин}$ .

Итак, сопоставляя значения минутных подач при фрезеровании цилиндрической фрезой из быстрорежущей стали Р6М5:  $s_M = 250 \text{ мм/мин}$

(см. стр. 31) и  $s_m = 630$  мм/мин — при фрезеровании торцовой фрезой с пластинками твердого сплава Т15К6 видим, что минутная подача в последнем случае в 2,4 раза больше. Во столько же раз сокращается и машинное время обработки той же детали при фрезеровании торцовой твердосплавной фрезой. При черновом фрезеровании такой же заготовки из серого чугуна необходимо взять фрезу, оснащенную пластинками твердого сплава ВК8 и ВК6. Геометрические параметры фрезы:  $\gamma = 0^\circ$ ;  $\alpha = 6 \div 8^\circ$ . Подача на зуб соответственно больше, чем при обработке стали ( $s_z = 0,2 \div 0,6$  мм/зуб), скорость резания значительно меньше, чем при обработке стали, а именно,  $v = 50 \div 130$  м/мин.

При чистовом фрезеровании стали и чугуна твердосплавными фрезами для получения поверхности более высокого класса шероховатости подачи на зуб уменьшают, а скорость резания соответственно повышают в зависимости от марки обрабатываемого материала, марки твердого сплава и других условий обработки.

Установка торцовой фрезы на глубину резания при работе на вертикально-фрезерном станке ничем не отличается от рассмотренного ранее случая установки цилиндрической фрезы на глубину резания.

При фрезеровании торцовой фрезой на горизонтально-фрезерном станке (рис. 47) применяют следующий порядок установки глубины фрезерования.

Включить станок и вращение шпинделя и с помощью рукояток продольной, поперечной и вертикальной подачи осторожно подвести заготовку к фрезе до легкого касания. Рукояткой продольной подачи вывести заготовку из-под фрезы, выключить вращение шпинделя. Рукояткой поперечной подачи переместить стол в поперечном направлении на величину, соответствующую глубине резания 3 мм. После установки фрезы на требуемую глубину резания застопорить консоль стола и салазки поперечной подачи, установить кулачки включения механической подачи. Затем плавным вращением рукоятки продольной подачи стола подвести обрабатываемую заготовку к фрезе, не доводя до касания с ней, включить шпиндель, включить механическую подачу, профрезеровать плоскость, выключить станок и произвести измерение обработанной заготовки.

При фрезеровании торцовыми твердосплавными фрезами с большими скоростями резания надо уделить внимание соблюдению правил техники безопасности. В таких случаях следует применять защитные экраны или защитные очки во избежание получения ожогов лица или повреждения глаз раскаленной стружкой.

**Фрезерование наклонных плоскостей и скосов.** Наклонные плоскости и скосы можно фрезеровать торцовыми фрезами на вертикально-

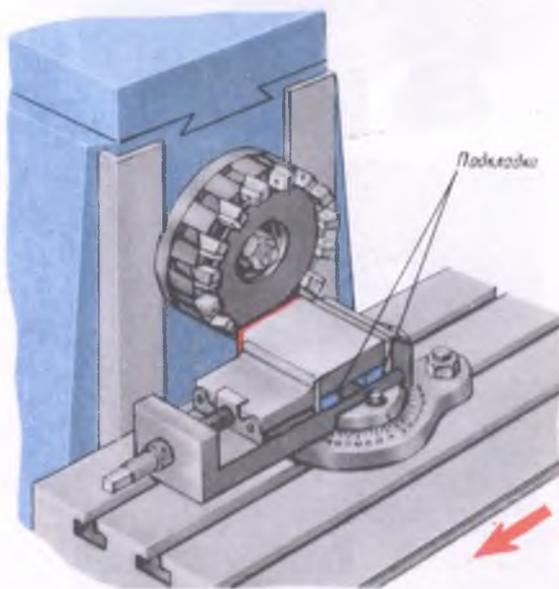
фрезерных станках, устанавливая заготовки под требуемым углом, как и при обработке цилиндрическими фрезами, применяя универсальные тиски (рис. 48, а), поворотные столы или специальные приспособления (рис. 48, б). Фрезерование наклонных плоскостей 1 и скосов торцовыми фрезами 2 можно производить также путем поворота шпинделя, а не заготовки. Это возможно на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная бабка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости, например, как у станков 6Р12, 6Р13 (см. рис. 17), а также на широкоуниверсальных станках типа 6Р82Ш, у которых вертикальная головка имеет поворот в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Фрезерование наклонных плоскостей и скосов торцовыми фрезами можно производить с помощью накладной вертикальной головки.

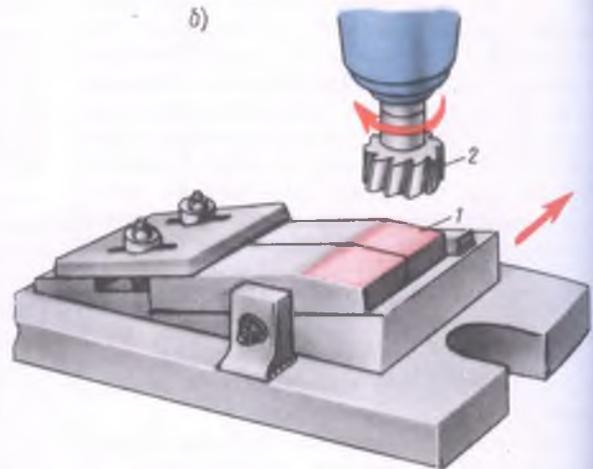
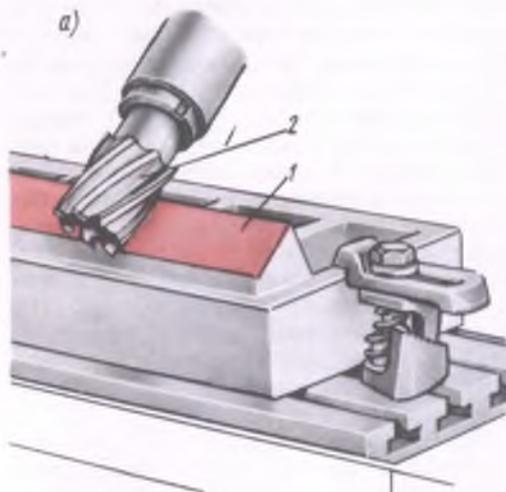
Накладная вертикальная головка является специальной принадлежностью горизонтально-фрезерного станка.

На рис. 49, а показана одна из конструкций накладной вертикальной головки, а на рис. 49, б — различные положения шпинделя. Корпус 2 (рис. 49, а) накладной головки установлен на вертикальных направляющих станины станка и закреплен болтами 1. Шпиндель 5 вращается в поворотной части б головки. Освободив болты, соединяющие поворотную часть б головки с корпусом, шпиндель можно повернуть в вертикальной плоскости и под любым углом по шкале 4.

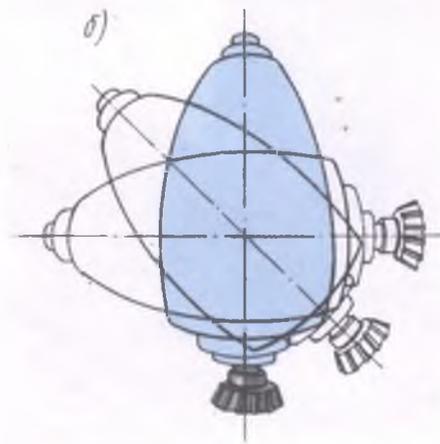
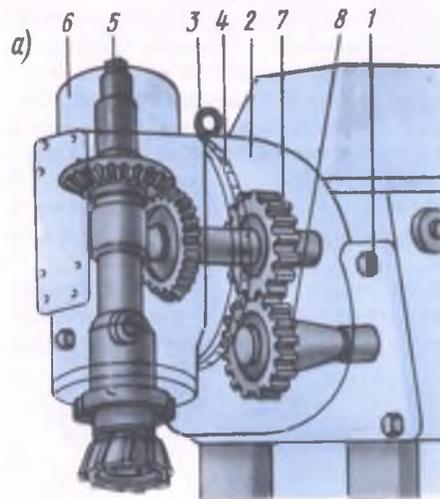
Кольцо 3 служит для съема головки. Вращение от шпинделя станка к шпинделю головки передается при помощи пары цилиндрических



47 Фрезерование торцов фрезой на горизонтально-фрезерном станке



**48** Фрезерование наклонной плоскости торцовыми фрезами



**49** Накладная вертикальная головка

зубчатых колес 7 и 8. Колесо 8 конусным хвостовиком насаживают на шпиндель горизонтально-фрезерного станка, оно передает вращение от шпинделя станка колесу 7, а затем через пару конических колес шпинделю 5 накладной вертикальной головки. В коническое отверстие шпинделя 5 устанавливают фрезу. С помощью пары конических зубчатых колес шпиндель накладной головки можно повернуть вокруг шпинделя станка на  $360^\circ$ , а следовательно, установить фрезу под любым углом к плоскости стола (рис. 49, б). Наличие накладной вертикальной головки значительно расширяет технологические возможности горизонтально-фрезерных станков.

**Проверка биения торцовых фрез.** Схема проверки биения зубьев торцовых фрез аналогична рассмотренной ранее (см. рис. 38).

Биение главной и вспомогательных режущих кромок не должно превышать величин, указанных в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Диаметр фрезы, мм	Радиальное биение главных режущих кромок относительно оси отверстия, мм		Торцовое биение вспомогательных режущих кромок, мм
	двух смежных зубьев	на всей фрезе	
160	0,03	0,05	0,03
160—250	0,04	0,06	0,04
250—400	0,05	0,08	0,06
400—630	0,06	0,10	0,07

### § 13. Фрезерование плоскостей ротационными фрезами

Ротационные фрезы были разработаны Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом (ВНИИ) и физико-техническим институтом АН БССР.

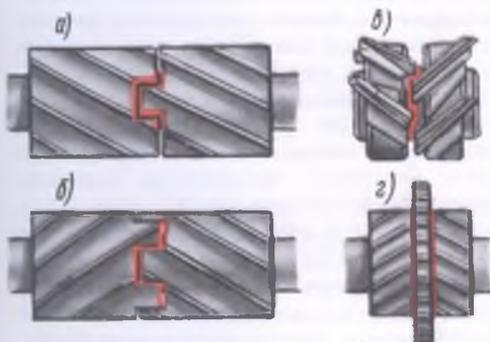
Они отличаются от обычных торцовых фрез тем, что режущая кромка зуба (чашка) во время резания поворачивается на некоторый угол за счет тангенциальной составляющей силы резания. Режущим элементом у них являются быстрорежущие или твердосплавные чашки, установленные на опорах скольжения или качения. Эти фрезы предназначены для чистового и получистового фрезерования открытых плоскостей при обработке трудно обрабатываемых материалов на основе титана и вольфрама, нержавеющей, жаропрочных сталей, чугуна и т. п.

Ротационные фрезы с поворачивающимися режущими кромками отличаются высокой стойкостью, что в отдельных случаях является важным фактором, так, при обработке длинных плоскостей стандартная торцовая фреза из-за недостаточной размерной стойкости не позволяет обеспечить непрерывность обработки без переточки ее или замены пластинок. После замены фрезы на обрабатываемой плоскости обязательно образуется уступ.

Фрезы с поворачивающимися режущими кромками обеспечивают получение плоскостей 7-го класса шероховатости и неплоскостность в пределах 0,01 мм на 500 мм длины.

### § 14. Фрезерование плоскостей набором фрез

Набором фрез называют группу фрез, установленных и закрепленных на одной общей оправке для одновременной обработки нескольких поверхностей.



50 Способы соединения фрез в наборе

Применение наборов фрез распространено в крупносерийном и массовом производстве при обработке деталей, требующих большого объема фрезерной обработки.

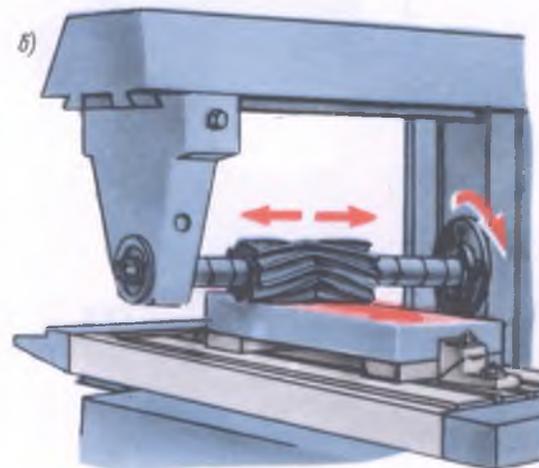
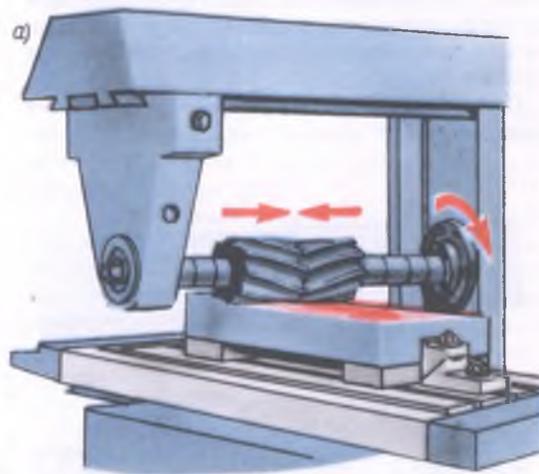
Наборы составляют из стандартных фрез специальных фрез и их комбинаций.

Существует несколько способов соединения фрез в наборе (рис. 50).

Так, соединение фрез одинакового диаметра осуществляют одним из следующих способов: замком — торцовое шпоночное соединение, когда выступ на торце одной фрезы входит в паз другой фрезы (рис. 50, а и б).

соединение встык с помощью выступающих зубьев одной фрезы, входящих во впадины другой фрезы (рис. 50, в).

Соединение фрез разных диаметров чаще всего производится непосредственно встык с перекрытием (рис. 50, г). При наличии пере-



51 Установка спаренных фрез

крытия даже небольшой сдвиг фрез в осевом направлении не окажет никакого влияния на работоспособность такого набора. Способ крепления фрез по схеме с разноименным направлением винтовых канавок (см. рис. 50, б) предпочтительнее схемы с одноименным направлением винтовых канавок (см. рис. 50, а).

Однако и в этом случае их необходимо устанавливать так, чтобы осевые составляющие силы резания были направлены навстречу друг другу и тем самым стремились сблизить обе фрезы (рис. 51, а).

На рис. 51, б показана неправильная установка спаренных фрез с винтовой канавкой, при которой осевые составляющие силы резания стремятся раздвинуть фрезы.

По виду обрабатываемого профиля наборы можно разделить на наборы для обработки сплошного профиля детали и для обработки прерывистого профиля детали.

Наборы для фрезерования сплошного профиля требуют применения фрез нестандартных размеров, перекрытия зубьев двух соседних фрез во избежание образования заусенцев и риск на детали.

При сборке наборов фрез и регулировке размеров между фрезами на оправке исполь-

зуют жесткие кольца (см. рис. 34) и регулируемые.

На рис. 52, а показано регулируемое распорное кольцо, состоящее из наружного кольца с круговой шкалой, навинченного на внутреннее кольцо с линейной шкалой (по типу микрометра). Внутреннее кольцо устанавливают на оправку.

Регулирование расстояния между фрезами 4 с точностью до 0,01 мм осуществляется поворотом с помощью ключа 5 наружного регулируемого установочного кольца 6, имеющего лимб для отсчета перемещений. Предварительная установка фрез производится с помощью жестких установочных колец 3. Оправка с фрезами крепится одним концом в коническом отверстии шпинделя и затягивается шомполом, второй устанавливается в подшипник серьги 2 и затягивается гайкой 1. При выборе размеров фрез в наборе необходимо избегать применения несоизмерных по диаметру фрез. Надо стремиться к тому, чтобы отношение диаметра большей фрезы к диаметру меньшей фрезы было не более 1,5.

На рис. 52, б показан регулируемый набор фрез. Такой набор позволяет регулировать расстояние между фрезами при помощи гайки с лимбом без мерных промежуточных колец. Фреза крепится к оправке винтами, расположенными в ее корпусе.

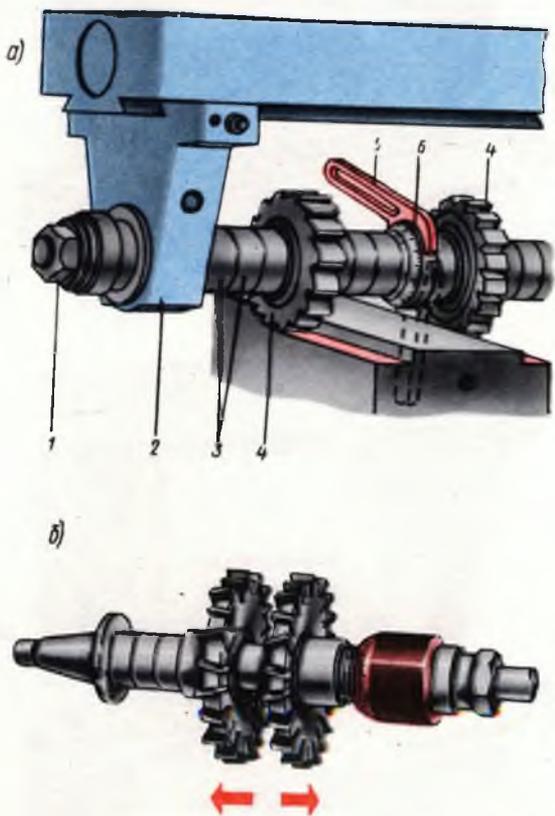
При фрезеровании набором фрез следует применять оправки больших диаметров, чем при одноинструментной обработке. Следует также применять дополнительные подвески. Контроль правильности расположения фрез в наборе производится по шаблонам или на оправке вне станка на специальных приборах. После сборки и установки фрез в наборе рекомендуется произвести пробную обработку на болванке или бракованной детали.

## § 15. Контроль плоскостей

Измерительный инструмент, применяемый при контроле плоскостей, выбирают с учетом необходимой точности измерения, шероховатости измеряемой поверхности, типа производства (единичное, серийное, массовое).

Для измерения линейных размеров (наружных и внутренних) применяют следующие измерительные инструменты: измерительную линейку (жесткую), кронциркуль, нутромер, штангенциркуль (с величиной отсчета 0,1 и 0,05 мм), штангенглубиномер, штангенрейсмас и др.

Для определения отклонения обработанных плоскостей от горизонтального или вертикального положения служит уровень. Неперпендикулярность плоскостей можно установить с помощью угольников. При грубом



**52** Регулируемые наборы фрез (с промежуточными кольцами и без них)

контроле угла между двумя плоскостями применяют малку. Для точных измерений углов — универсальные и точные угломеры. Контрольные плиты применяются для контроля плоскостности и прямолинейности плоскостей. Линейки (лекальные, прямоугольные, двутавровые, мостиковые и угловые) используют для проверки прямолинейности плоскостей на просвет или по количеству пятен на краску.

Щупы необходимы для контроля зазоров между поверхностями в пределах от 0,03 до 1 мм.

Шероховатость обработанной поверхности контролируют либо непосредственным измерением высоты микронеровностей, либо путем сравнения с образцами (эталоны) различных классов шероховатости поверхности. В цеховых условиях применяют эталоны (цилиндрическое и торцовое фрезерование) 4, 5, 6 и 7-го классов шероховатости поверхности. При пользовании эталонами можно определить шероховатость обработанной поверхности с ошибкой в пределах одного класса.

В измерительной лаборатории шероховатость поверхности определяют с помощью специальных приборов — профилометров, профилографов, двойных микроскопов и др.

Измерительный и поверочный инструмент необходимо содержать в чистоте, в особенности его измерительные поверхности; соприкосновение измерительных поверхностей инструмента с деталью производить плавно; предохранять инструмент от нагрева (измерение производить при температуре 20° С); не измерять нагретые детали во время обработки; измеряемые поверхности детали перед измерением тщательно очистить от стружки, пыли, эмульсии и т. д.; оберегать от ударов.

## § 16. Виды брака и меры его предупреждения

На обработанных цилиндрическими и торцовыми фрезами деталях возможны такие виды брака:

1. Несоблюдение размеров детали из-за погрешностей отсчета перемещения стола станка в требуемых направлениях при установке глубины фрезерования или из-за погрешностей измерения.

2. Погрешности формы (неплоскостность, непрямолинейность) появляются при обработке заготовок с большой глубиной фрезерования, особенно с неравномерным припуском при недостаточной жесткости системы станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД).

3. Погрешности расположения обработанных плоскостей (непараллельность, перпен-

дикулярность) или отклонения от заданного угла наклона (для наклонных плоскостей и скосов) и др.

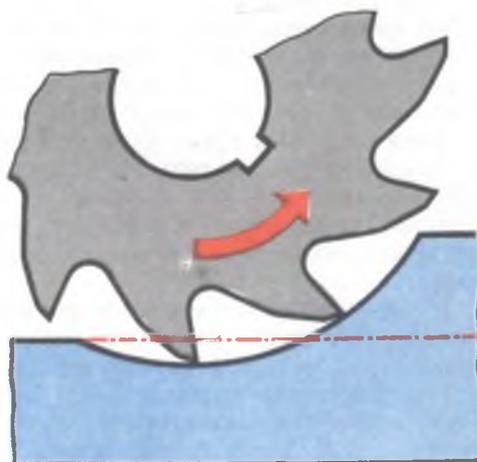
Причиной такого брака может быть неправильная установка заготовки в поворотных тисках, на поворотных столах или в приспособлениях. Этот вид брака может быть и при правильном отсчете углов поворота заготовки оси фрезы, но при плохой очистке от стружки поверхностей стола и опорных поверхностей тисков, поворотных столов и др., а также при наличии заусенцев на ранее обработанной плоскости. Причиной неточного угла наклона сопрягаемых плоскостей может быть и неточная разметка угла.

Для устранения возможности появления брака из-за погрешностей расположения сопряженных плоскостей детали необходимо обратить особое внимание на точность установки обрабатываемых заготовок, точность отсчета угловых величин, а также на очистку поверхностей стола станка и опорных поверхностей приспособлений от стружки и на снятие заусенцев с ранее обработанных опорных поверхностей заготовки.

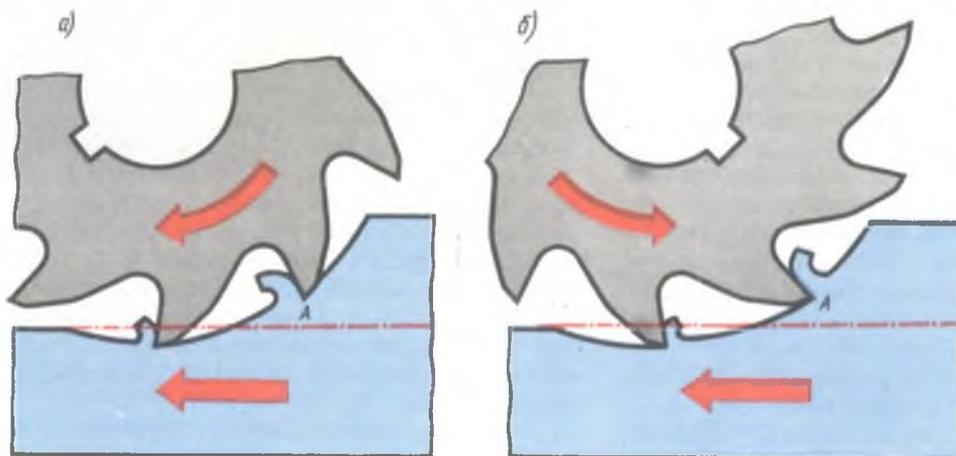
4. При работе набором фрез брак может быть вызван неправильным расположением фрез по длине на оправке или неправильным выбором размера фрез.

5. Пониженный класс шероховатости поверхности может возникнуть и вследствие неправильной заточки фрезы, биения фрезы, большого износа или выкрашивания режущих кромок зубьев, неправильного выбора режимов резания и смазочно-охлаждающей жидкости, недостаточно жесткого закрепления заготовки, недостаточной жесткости оправки и т. д.

В этом случае следует выявить причину брака, т. е. проверить правильно ли выбраны тип и размер фрезы, геометрические параметры режущей части, режимы резания и прежде всего



53 Явление подрезания при фрезеровании плоскостей



**54** Явление подхватывания при фрезеровании плоскостей

подача на зуб, условия закрепления заготовки, биение фрезы и др. Многие причины можно предотвратить при внимательном наблюдении за работой станка и инструмента в процессе фрезерования.

6. Брак обработанной поверхности из-за подрезания при фрезеровании. Иногда приходится выключать подачу, когда проход еще не закончен, а фреза продолжает вращаться. Так как оправка была нагружена силой резания и немного изогнулась, а процесс резания прекращен, то под действием упругих деформаций она вернется в исходное положение (разогнется). При этом фреза врежется в металл несколько глубже в том месте, которое окажется под фрезой в момент выключения подачи (рис. 53). Это явление носит название «подрезание» и приводит к браку обработанной поверхности.

Явление подхватывания может иметь место при попутном фрезеровании и наличии большого зазора в соединении винт — гайка. В этом случае процесс резания протекает с неравномерной подачей (толчками), оправка прогибается и фреза подхватывает деталь (рис. 54, а), фреза стремится повернуться вокруг зуба А с наибольшей толщиной среза. Если своевременно не прекратить процесс резания, то дальнейшая работа может привести к быстрому износу винтовой пары, порче обработанной поверхности заготовки и даже к поломке оправки или фрезы.

В таких случаях необходимо устранить люфт в соединении винт — гайка или производить обработку по методу встречного фрезерования. И при встречном фрезеровании (рис. 54, б) может произойти подхватывание, если производить фрезерование с чрезмерно большой подачей на зуб при закреплении фрезы на нежесткой оправке, особенно в условиях неравномерного фрезерования.

При чрезмерно большой нагрузке на зуб А фреза будет стремиться повернуться вокруг него и последующий зуб будет подрезать обрабатываемую поверхность.

7. Брак из-за вибрации при фрезеровании.

Следует особо остановиться на вибрациях, которые могут иметь место в процессе фрезерования.

Наличие вибрации оказывает отрицательное влияние не только на шероховатость обработанной поверхности, но и значительно сокращает стойкость фрезы и уменьшает срок службы станка.

Вибрации при фрезеровании вызываются прежде всего неравномерностью самого процесса фрезерования. Для устранения или уменьшения вибраций необходимо стремиться к тому, чтобы число одновременно работающих зубьев фрезы было бы как можно больше. При фрезеровании цилиндрическими фрезами следует соблюдать условия равномерного фрезерования, при фрезеровании торцовыми фрезами в ряде случаев можно применить схему несимметричного фрезерования, при которой интенсивность колебаний уменьшается. Кроме того, снижения интенсивности вибраций можно достичь применением фрез с неравномерным окружным шагом зубьев, а также путем соблюдения оптимальных геометрических параметров для данных условий обработки. Причинами появления вибраций могут быть также и следующие: ослабленное крепление консоли, поперечных салазок, гайки серьги и хобота, неправильная установка фрезы относительно опор. В некоторых случаях приходится применять специальное устройство для гашения колебаний — виброгаситель.

Во всех случаях появления брака необходимо остановить станок и попытаться выяснить и устранить причины брака. В случае затрудне-

ний следует обратиться к наладчику или мастеру участка.

При обработке плоскостей цилиндрическими и торцовыми фрезами необходимо соблюдать правила техники безопасности, изложенные в § 85.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под неплоскостностью и непрямолинейностью?
2. Что такое непараллельность и перпендикулярность плоскостей?
3. Какие надо соблюдать правила при закреплении заготовок прихватами?
4. Для чего применяют сменные съемные губки и подкладки?
5. Как произвести выверку заготовок, обдываемых в тисках?
6. Какие вы знаете типы цилиндрических фрез?
7. Может ли быть одна и та же цилиндрическая фреза праворежущей и леворежущей?
8. Что такое наладка и настройка фрезерного станка?
9. Как произвести установку и закрепление цилиндрических и торцовых фрез?
10. Как правильно выбрать направление вращения шпинделя в зависимости от направления винтовой канавки для цилиндрических и торцовых фрез?
11. Что такое набор фрез и в каких случаях его применяют?
12. Какие виды брака возможны при фрезеровании плоскостей и каковы меры его предупреждения?

# 3 Фрезерование уступов и пазов. Отрезка и разрезка заготовок. Фрезерование пазов и шлицев

## § 17. Фрезерование уступов и пазов

Уступом называют выемку, ограниченную двумя взаимно перпендикулярными плоскостями, образующими ступень. Деталь может иметь один, два, три и более уступов (рис. 55). Паз — выемка в детали, ограниченная плоскостями или фасонными поверхностями. В зависимости от формы выемки пазы делятся на прямоугольные, T-образные и фасонные (рис. 56, а, б, в, г, д, е). Пазы любого профиля могут быть сквозными (рис. 57, а), открытыми или с выходом (рис. 57, б) и закрытыми (рис. 57, в).

Обработка уступов и пазов является одной из операций, выполняемых на фрезерных станках.

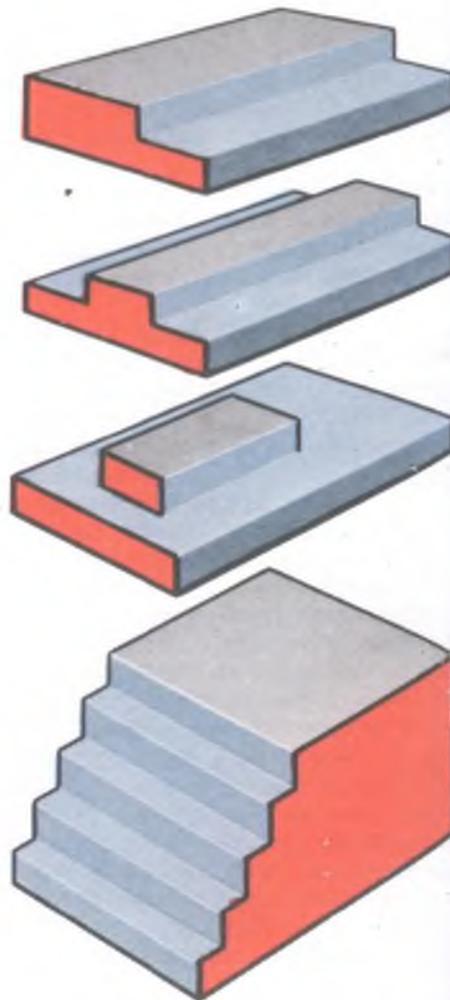
К обработанным фрезерованием уступам и пазам предъявляют различные технические требования в зависимости от назначения, серийности производства, точности размеров, точности расположения и шероховатости поверхности. Все эти требования оказывают влияние на выбор метода обработки.

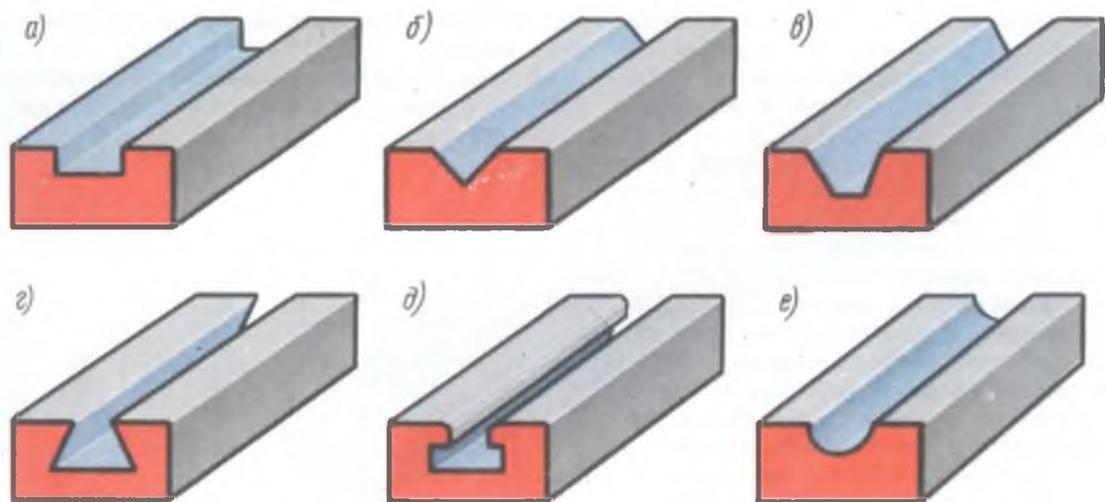
Фрезерование уступов и пазов производят дисковыми концевыми фрезами, а также набором дисковых фрез. Кроме того, уступы можно фрезеровать торцовыми фрезами.

### Фрезерование уступов и пазов дисковыми фрезами

Дисковые фрезы предназначены для обработки плоскостей, уступов и пазов.

Различают дисковые фрезы цельные и со вставными зубьями. Цельные дисковые фрезы



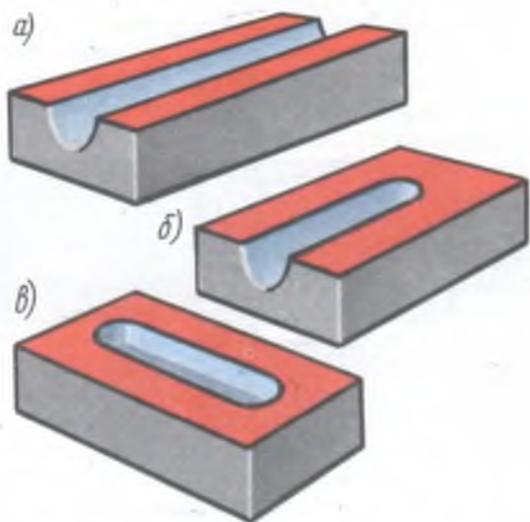


56 Типы пазов по форме

делятся на пазовые (ГОСТ 3964—69), пазовые затылованные (ГОСТ 8543—72), трехсторонние с прямыми зубьями (по ГОСТ 3755—69), трехсторонние с разнонаправленными мелкими и нормальными зубьями (ГОСТ 8474—60). Фрезы со вставными зубьями выполняются трехсторонними (ГОСТ 1669—69). Дисковые пазовые фрезы имеют зубья только на цилиндрической части, их применяют для фрезерования неглубоких пазов. Основным типом дисковых фрез являются трехсторонние. Они имеют зубья на цилиндрической поверхности и на обоих торцах. Их применяют для обработки уступов и более глубоких пазов. Они обеспечивают более высокий класс шероховатости боковых стенок паза или уступа. Для улучшения условий резания дисковые трехсторонние фрезы снабжены наклонными зубьями с переменным чередующимся направлением канавок, т. е. один зуб имеет правое направление канавки, а другой, смежный с ним, — левое. Поэтому такие фрезы и называют разнонаправленными. Благодаря чередующемуся наклону зубьев осевые составляющие силы резания правых и левых зубьев взаимно уравновешиваются. Эти фрезы имеют зубья и на обоих торцах. Основным недостатком дисковых трехсторонних фрез является уменьшение размера по ширине после первой же переточки по торцу. При использовании регулируемых фрез, состоящих из двух половинок одинаковой толщины с перекрывающимися друг друга зубьями в разьеме, после переточки можно восстановить начальный размер. Это достигается с помощью прокладок соответствующей толщины из медной или латунной фольги, которые помещают в разъем между фрезами.

Дисковые фрезы со вставными ножами, оснащенными пластинками твердого сплава, бывают трехсторонние (ГОСТ 5348—69) и двусторонние (ГОСТ 6469—69). Трехсторонние дисковые фрезы применяют для фрезерования пазов, а двусторонние для фрезерования уступов и плоскостей.

Крепление вставных ножей в корпус у обоих типов фрез осуществляется при помощи осевых рифлений и клина с углом  $5^\circ$ . Достоинством такого способа крепления вставных ножей является возможность компенсации износа и слоя, снятого при переточке. Восстановление размера по диаметру достигается перестановкой ножей на одно или несколько рифлений, а по ширине — соответствующим выдвиганием но-



57 Пазы: сквозные, с выходом и закрытые

жей. Трехсторонние фрезы имеют ножи с попеременно чередующимся наклоном с углом  $10^\circ$ , у двусторонних — в одном направлении с углом наклона  $10^\circ$  (для праворежущих и леворежущих фрез).

Применение дисковых трехсторонних фрез с пластинками твердых сплавов дает наиболее высокую производительность при обработке пазов и уступов. Дисковая фреза лучше «выдерживает» размер, чем концевая.

**Выбор типа и размера дисковых фрез.** Тип и размер дисковой фрезы выбирают в зависимости от размеров обрабатываемых поверхностей и материала заготовки. Для заданных условий обработки выбирается тип фрезы, материал режущей части и основные размеры —  $D$ ,  $B$ ,  $d$  и  $z$ . Для фрезерования легко обрабатываемых материалов и материалов средней трудности обработки с большой глубиной фрезерования применяют фрезы с нормальным и крупным зубом. При обработке труднообрабатываемых материалов и фрезеровании с небольшой глубиной резания рекомендуется применять фрезы с нормальным и мелким зубьями.

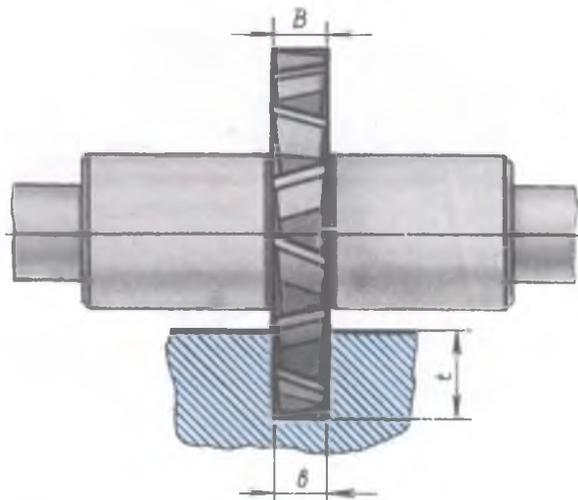
Диаметр фрезы следует выбирать минимально возможным, так как чем меньше диаметр фрезы, тем выше ее жесткость и виброустойчивость. Кроме того, с увеличением диаметра фрезы возрастает ее стоимость.

Как видно на рис. 58, при глубине фрезерования  $t$  и гарантированном зазоре между установочным кольцом и заготовкой в пределах  $(6 \div 8)$  мм должно быть выполнено условие

$$\frac{D - d_1}{2} = t + (6 \div 8) \text{ мм,}$$

откуда получим выражение для выбора минимального диаметра фрезы

$$D = 2t + d_1 + (12 \div 16) \text{ мм,}$$



где  $d_1$  — диаметр ступицы фрезы (установочного кольца).

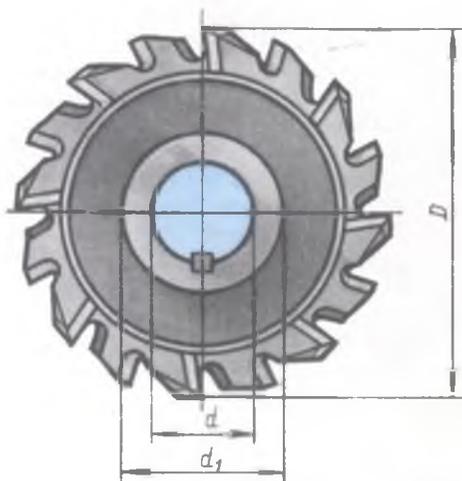
В табл. 5 приведена зависимость диаметра ступицы фрезы  $d_1$  от диаметра отверстия для дисковых фрез.

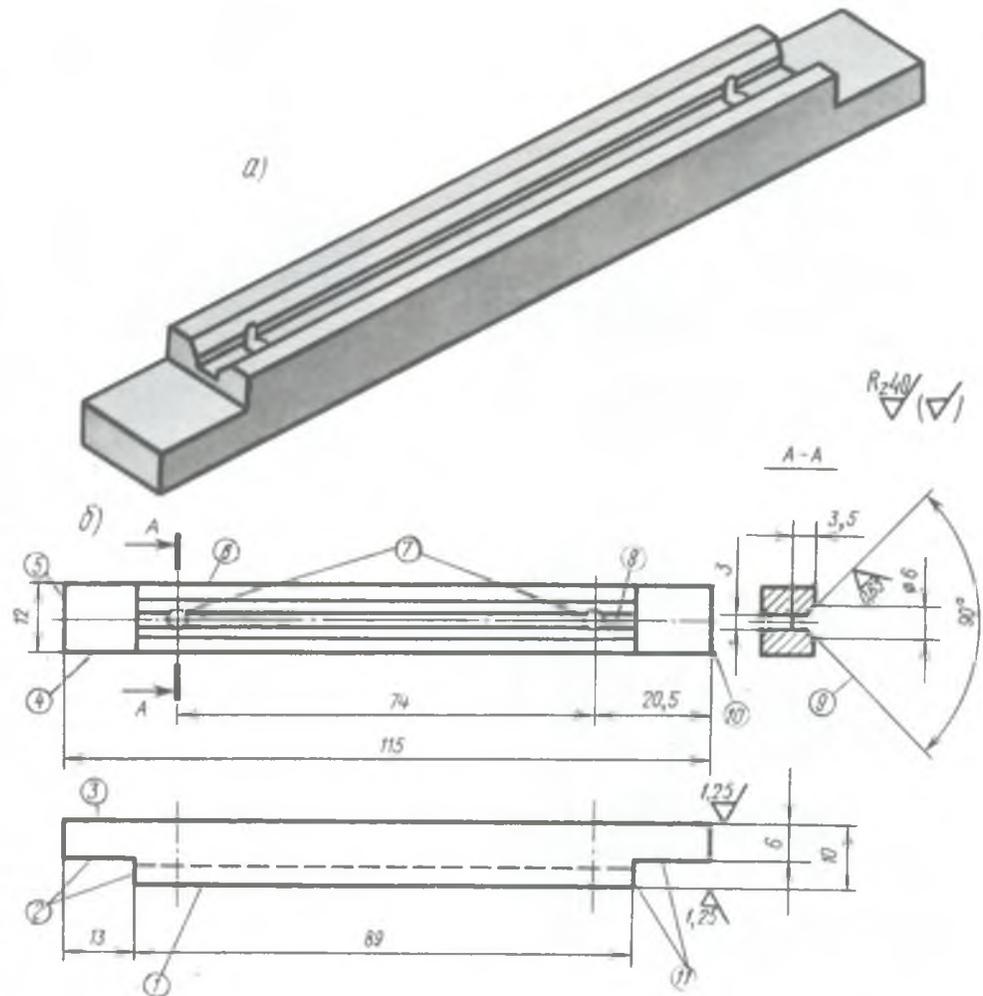
ТАБЛИЦА 5

$d$	$d_1$	$d$	$d_1$
13	21	32	48
16	25	40	58
22	35	50	68
27	40		

Наладку и настройку станка на фрезерование уступов дисковыми фрезами поясним на примере обработки уступов призмы (рис. 59, а, б). Выбор типоразмера дисковой фрезы зависит от размеров уступа, марки обрабатываемого материала, мощности электродвигателя станка и других условий.

Фрезерование уступов дисковыми фрезами, как указывалось выше, обычно производят двусторонней дисковой фрезой. Однако в нашем случае следует выбрать трехстороннюю фрезу, так как надо поочередно обработать по одному уступу с каждой стороны призмы (рис. 60, а, б). Выбираем трехстороннюю фрезу со вставными ножами по ГОСТ 5348—69, оснащенными пластинками твердого сплава Т15К6. Диаметр фрезы  $D = 100$  мм, ширина  $B = 18$  мм, число зубьев  $z = 8$ . При фрезеровании пазов и уступов тиски должны быть выверены с помощью рейсмуса или индикатора со стокой и закреплены. Установку и закрепление заготовки





59 Призма

производим в машинных тисках с подкладкой. Закрепление дисковой фрезы на оправке производят так же, как и цилиндрической. Режимы фрезерования выбирают либо по справочникам, если они не указаны в операционных картах, либо непосредственно по операционным или инструкционным картам.

Режим фрезерования для нашего случая:  $B = 13$  мм,  $t = 4$  мм,  $s_z = 0,06$  мм/зуб,  $v = 335$  м/мин. По графику (см. рис. 40) определяем число оборотов шпинделя станка — 1000 об/мин.

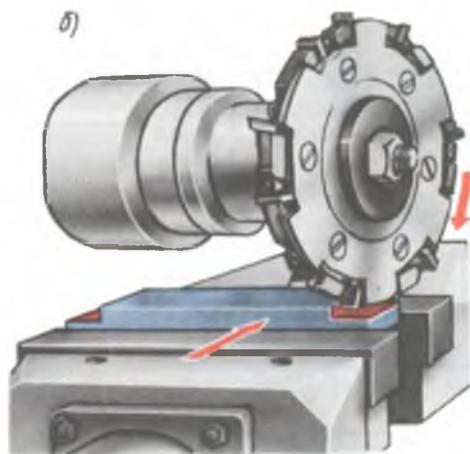
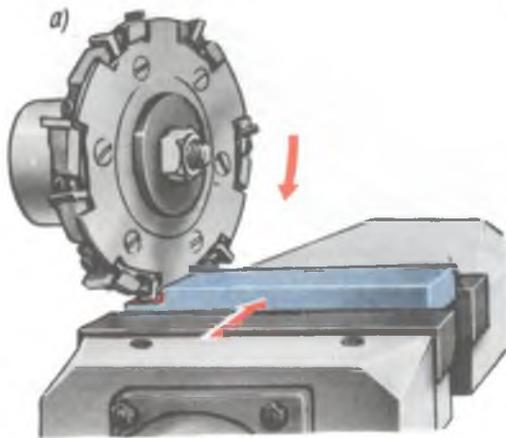
По графику (см. рис. 41) определяем минутную подачу —  $s_m = 500$  мм/мин. Затем производим настройку станка на требуемое число оборотов шпинделя станка и требуемую минутную подачу.

Фрезерование каждого уступа состоит из следующих основных приемов:

1. Нажатием кнопки «Пуск» включить электродвигатель. Шпиндель должен вращаться в направлении, противоположном направлению винтовой канавки фрезы.

2. Подвести заготовку ручным перемещением стола рукоятки продольного, поперечного и вертикального перемещения под вращающуюся фрезу до легкого касания боковыми режущими кромками заготовки. Затем вращением рукоятки вертикальной подачи опустить стол до выхода фрезы за пределы обрабатываемой заготовки. Далее вращением рукоятки поперечной подачи передвинуть заготовку в направлении фрезы на 13 мм, пользуясь лимбом поперечной подачи. Поднять стол до легкого касания вращающейся фрезой верхней плоскости заготовки. Вращением рукоятки продольной подачи вывести заготовку из-под фрезы, выключить станок и поднять стол на 4 мм, пользуясь лимбом вертикальной подачи. Застопорить вертикальные и поперечные салазки.

3. Установить кулачки механического выключения продольной подачи стола на длину фрезерования. Включить вновь вращение шпинделя, подать вручную заготовку вращением рукоятки продольной подачи стола по направлению к вращающейся фрезе, включить меха-



**60** Фрезерование уступа дисковой фрезой

ническую продольную подачу и произвести фрезерование первого уступа (см. рис. 60, а). Выключить станок, не производя перемещений стола.

Проверить размер обработанного уступа по ширине и глубине с помощью штангенциркуля. Если размер выдержан неточно, следует исправить дефекты обработки.

4. Порядок установки фрезы относительно заготовки при обработке второго уступа (см. рис. 60, б) зависит от того, какой из размеров надо выдержать точно (размер 13 мм или размер выступа между уступами 89 мм). Так как в нашем примере задан размер 13 мм, то порядок обработки второго уступа будет точно такой же, как и первого. Если бы требовалось выдержать размер выступа по длине, то после обработки первого уступа обработку второго уступа можно проводить по одному из двух вариантов в зависимости от длины выступа следует возвратить стол в исходное положение до выхода фрезы за пределы обраба-

тываемой заготовки. Затем переместить стол в поперечном направлении на расстояние, равное ширине выступа плюс ширины фрезы, и профрезеровать второй уступ.

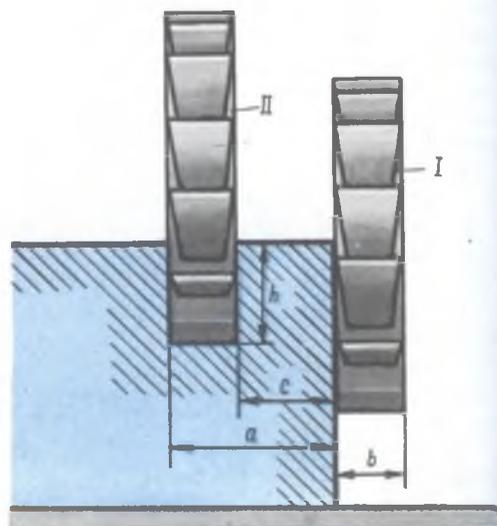
Последовательность обработки по второму варианту дадим лишь в общем виде.

Так как в нашем случае ширина выступа составляет 89 мм, а ширина фрезы равна 18 мм, то для перемещения стола в поперечном направлении на расстояние, равное ширине выступа плюс ширина фрезы, т. е.  $89 + 18 = 107$  мм, потребовалось бы сделать свыше 17 оборотов лимба поперечной подачи (при шаге винта поперечной подачи  $t = 6$  мм). Поэтому в таких случаях получения точного размера выступа можно достичь фрезерованием за два перехода — предварительное фрезерование можно производить по разметке, оставляя припуск по длине выступа на окончательное фрезерование в пределах 1—2 мм.

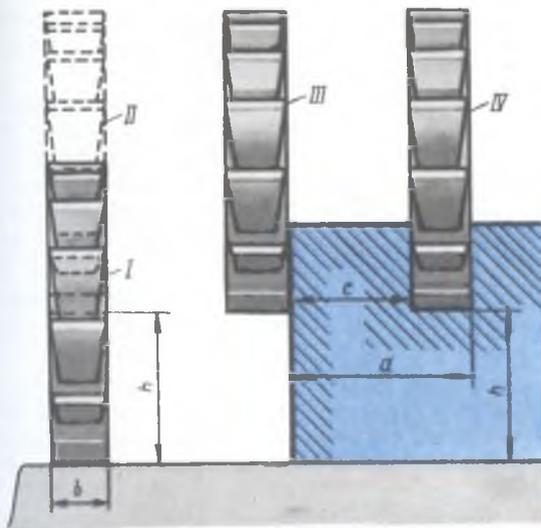
После предварительного фрезерования произвести измерение длины выступа и в соответствии с полученным размером, определить число делений, на которое следует повернуть лимб поперечной подачи, не нарушая установки по высоте, и произвести окончательное фрезерование второго уступа. Второй вариант обработки уступов в единичном и мелкосерийном производстве является предпочтительным.

**Наладка станка на фрезерование скважных прямоугольных пазов дисковыми фрезами.** При фрезеровании уступов точность размера уступа по ширине не зависит от ширины фрезы. Необходимо выполнять лишь одно условие: ширина фрезы должна быть больше ширины уступа (по возможности не более чем на 3—5 мм).

При фрезеровании прямоугольных пазов ширина дисковой фрезы должна быть равна



**61** Установка фрезы на размер  $h$ , заданный от верхней плоскости



**62** Установка фрезы на размер  $h$ , заданный от нижней плоскости

ширине фрезеруемого паза в том случае, если биение торцовых зубьев равно нулю. При наличии биения зубьев фрезы размер профрезерованного такой фрезой паза будет соответствен но больше размера ширины фрезы. Это следует иметь в виду, особенно при обработке точных по ширине пазов.

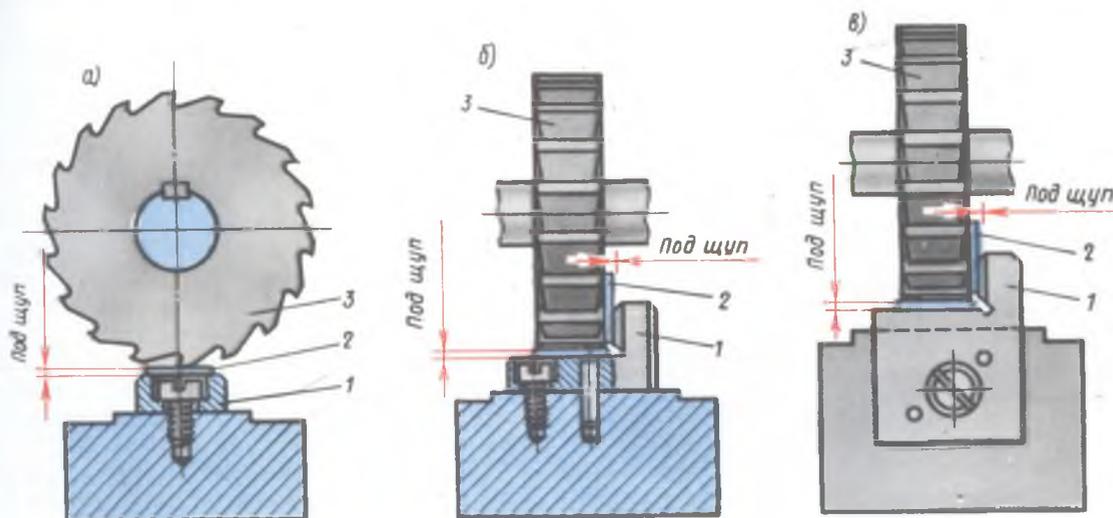
Установка на глубину резания может осуществляться по разметке. Для четкого выделения линий разметки заготовку предварительно окрашивают меловым раствором и на прочерченной чертилкой рейсмаса линии кернером наносят углубления (керны). Установку на глубину резания по линии разметки осуществляют пробными проходами. При этом следят за тем, чтобы фреза срезала припуск только на половину углублений от кернера.

При наладке станка на обработку пазов очень важно правильно установить фрезу относительно обрабатываемой заготовки. В том случае, когда заготовку устанавливают в специальном приспособлении, ее положение относительно фрезы определяется самим приспособлением.

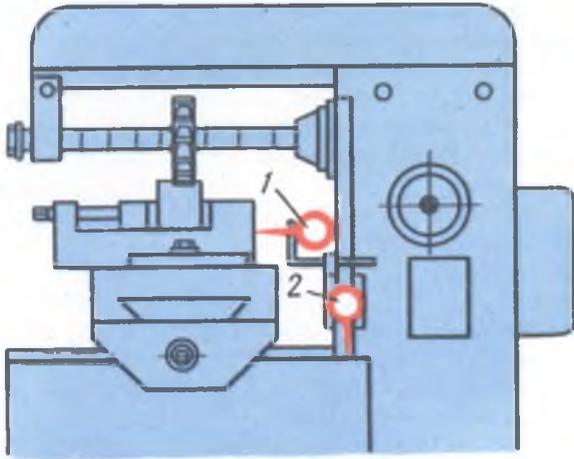
В том случае, когда обработка производится без специального приспособления, задача усложняется и решение ее зависит прежде всего от того, какие размеры должны быть выдержаны при обработке паза. Поясним это на примере. Допустим, требуется профрезеровать прямоугольный паз шириной  $b$  с размерами  $a$  и  $h$ , определяющими его положение на детали. На рис. 61 размер  $h$  отсчитывается от верхней плоскости заготовки, а на рис. 62 размер  $h$  задается от нижней опорной поверхности заготовки.

Порядок установки дисковой фрезы в первом случае (см. рис. 61) следующий. Вращающуюся фрезу подвести к боковой поверхности обрабатываемой заготовки до касания в виде следа (приложение I). Затем опустить стол так, чтобы фреза оказалась выше верхней поверхности заготовки и переместить его рукояткой поперечной подачи на размер  $a$ . Затем поднять стол на высоту, при которой фреза оставит легкий след на верхней поверхности детали. Далее надо продвинуть стол в продольном направлении, вывести фрезу за габариты обрабатываемой заготовки и, подняв стол на размер  $h$ , включить продольную подачу и отфрезеровать паз (положение II).

Порядок установки на размер  $h$ , заданный от основания детали (рис. 62). Поднять стол до соприкосновения фрезы с поверхностью стола, если деталь установлена непосредственно на столе, или до соприкосновения с опорой, если деталь установлена в приспособлении (по-



**63** Применение установок для фрез



64 Схема расположения индикаторных упоров

ложение I). Затем опустить стол на размер  $h$  (положение II). После этого включить вращение фрезы и переместить стол до соприкосновения фрезы с обрабатываемой заготовкой и образования слабого следа от фрезы (положение III). Продвинуть теперь стол в продольном направлении, вывести фрезу за пределы обрабатываемой заготовки и переместить стол рукояткой поперечной подачи на размер  $a$  (положение IV). Включить продольную подачу и произвести фрезерование паза.

Если вместо размера  $a$  в обоих случаях был бы задан размер  $c$ , то перемещение стола в поперечном направлении следовало бы производить на величину  $c + B$ , где  $B$  — ширина фрезы.

Точную установку фрез на заданную глубину производят с помощью специальных установов или габаритов, предусмотренных в приспособлении. На рис. 63 приведены схемы установки фрез на размер  $c$  помощью установов. Габарит 1 представляет собой стальную закаленную пластинку (рис. 63, а) или угольник (рис. 63, б, в), закрепленные на корпусе приспособления. Между установом и режущей кромкой зуба фрезы прокладывают мерный шуп 2 толщиной 3—5 мм, во избежание соприкосновения зуба фрезы 3 с закаленной поверхностью установка.

Если обработку одной и той же поверхности производят за два прохода (черновой и чистовой), то для установки фрезы от одного и того же габарита применяют шупы разной толщины.

#### Фрезерование уступов и пазов набором дисковых фрез

При обработке партии одинаковых деталей одновременное фрезерование двух уступов, двух и более пазов может осуществляться набором фрез (см. рис. 52). Для получения требуемого

размера между уступами и пазами на оправку между фрезами помещают соответствующий набор установочных колец (см. рис. 34).

При обработке заготовок набором фрез по габариту устанавливается одна фреза, так как взаимное расположение набора на оправке достигается подбором установочных колец.

При установке фрез на заданный размер прибегают к использованию специальных установочных шаблонов.

Для точной установки фрез применяют плоскопараллельные концевые меры и индикаторные упоры.

На рис. 64 показана схема расположения индикаторных упоров 1 и 2 на горизонтально-фрезерном станке для точной установки фрез при поперечных и вертикальных перемещениях стола.

Для упрощения отсчета перемещений стола вместо лимба фрезеровщик Кировского завода Н. М. Пронин предложил приспособление, снабженное счетчиком величин перемещения стола. Подъем и опускание стола на заданную величину с помощью такого приспособления можно производить при ускоренном перемещении, не боясь ошибиться в отсчете.

Целесообразность обработки уступов и пазов набором фрез можно установить, исходя из суммарных затрат времени (калькуляционное время), приходящихся на одну деталь для сопоставляемых вариантов обработки пазов.

#### Фрезерование уступов и пазов концевыми фрезами

Уступы и пазы могут быть обработаны концевыми фрезами на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках.

Концевые фрезы (ГОСТ 8237—57) предназначены для обработки плоскостей, уступов и пазов. Их изготавливают с цилиндрическим и коническим хвостовиком.

Концевые фрезы изготавливают с нормальными и крупными зубьями. Фрезы с нормальными зубьями применяют при получистовой и чистовой обработке уступов и пазов. Фрезы с крупными зубьями используют для черновой обработки.

Концевые фрезы обдирочные с затылованными зубьями по ГОСТ 4675—71 предназначены для черновой обработки заготовок, полученных литьем, свободной ковкой и т. д.

Концевые твердосплавные фрезы (ГОСТ 8720—69) изготавливают двух типов: оснащенные коронками твердых сплавов для диаметров 10—20 мм и винтовыми пластинками (для диаметров 16—50 мм).

В настоящее время инструментальные заводы выпускают цельные твердосплавные концевые фрезы диаметром 3—10 мм и концевые фрезы с целой твердосплавной рабочей частью,

впаянной в стальной конический хвостовик. Диаметр фрез  $14 \div 18$  мм, число зубьев 3.

Применение твердосплавных фрез особенно эффективно при обработке пазов и уступов в заготовках из закаленных и труднообрабатываемых сталей.

Точность пазов по ширине при обработке их мерным инструментом, каким являются дисковые и концевые фрезы, в значительной степени зависит от точности применяемых фрез, а также от точности, жесткости фрезерных станков и от биения фрезы после закрепления в шпинделе. Недостаток мерного инструмента — потеря его номинального размера при износе

и после переточек. У концевых фрез после первой же переточки по цилиндрической поверхности искажается размер по диаметру, и они оказываются непригодными для получения точных размеров паза по ширине.

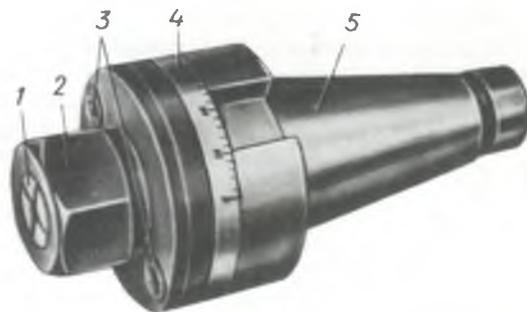
Получение точного размера по ширине паза можно достичь путем его обработки за два прохода: черновой и чистовой. При чистовой обработке фреза будет лишь калибровать паз по ширине, сохраняя в течение длительного периода времени свой размер. В последнее время появились патроны для закрепления концевых фрез, позволяющие устанавливать фрезу с регулируемым эксцентриситетом, т. е. регулируемым биением.

На рис. 65 показан цанговый патрон, применяемый на Ленинградском станкостроительном объединении им. Я. М. Свердлова. В корпусе патрона расточено отверстие эксцентрично на 0,3 мм относительно его хвостовика 5. В это отверстие вставляется втулка под цанги 1 с таким же эксцентриситетом относительно внутреннего диаметра. Втулка крепится к корпусу двумя болтами 3. При повороте втулки с помощью гайки 2 при слегка отпущенных болтах происходит условное увеличение диаметра фрезы (одно деление на лимбе 4 соответствует увеличению диаметра фрезы на 0,04 мм).

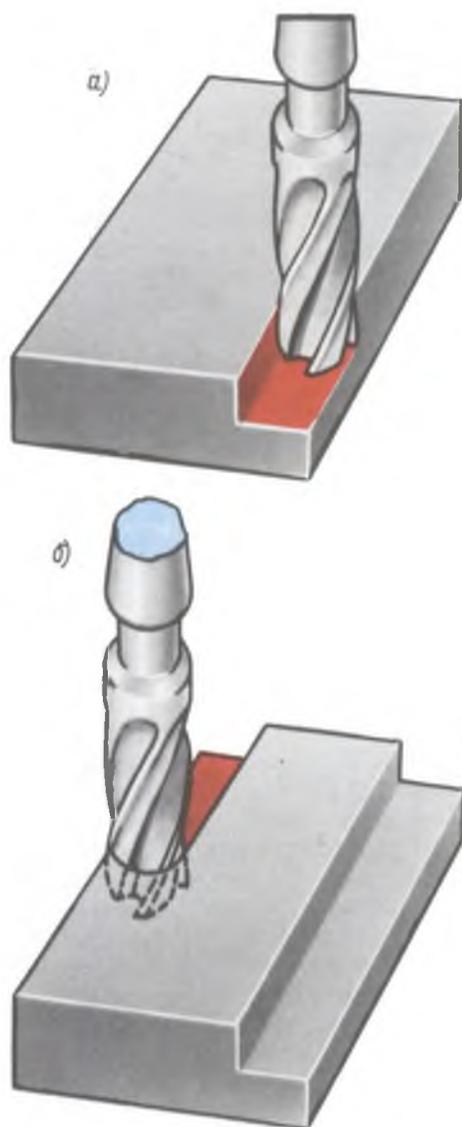
При обработке пазов концевой фрезой стружку необходимо отводить вверх по винтовой канавке фрезы, чтобы она не портила обработанной поверхности и не вызвала поломки зуба фрезы. Это возможно лишь в том случае, когда направление винтовой канавки совпадает с направлением вращения фрезы, т. е. при их одноименном направлении (табл. 6). Однако осевая составляющая силы резания  $P_x$  при этом будет направлена вниз и стремиться вытолкнуть фрезу из гнезда шпинделя. Поэтому при обработке пазов крепление фрезы приходится выполнять более надежно, чем при обработке концевой фрезой открытой плоскости. Направление вращения фрезы и винтовой канавки, как и в случае обработки торцовыми и цилиндрическими фрезами, должно быть разноименным, так как в этом случае осевая составляющая сила резания будет направлена в

ТАБЛИЦА 6

Характер обработки	Эскиз	Направление винтовой канавки фрезы	Направление вращения шпинделя
Фрезерование пазов		Правое	Правое
		Левое	Левое
Фрезерование плоскостей		Правое	»
		Левое	Правое



65 Патрон для фрезерования мерных пазов стандартными фрезами



**66** Фрезерование уступа концевой фрезой

сторону гнезда шпинделя и стремиться затянуть оправку с фрезой в шпиндель (см. табл. 6).

В табл. 6 указаны правила выбора направления вращения шпинделя при фрезеровании пазов и открытых плоскостей концевыми фрезами с винтовыми канавками.

**Наладка и настройка на фрезерование уступа.** Рассмотрим пример фрезерования уступов в детали (см. рис. 59). Выбираем концевую фрезу с пластинками твердого сплава T15K6 и коническим хвостиковым диаметром  $D = 40$  мм, с числом зубьев  $z = 6$ . Чтобы стружка отводилась вверх по винтовым канавкам для правого направления шпинделя, выбираем фрезу с правым направлением винтовых канавок.

Заготовку устанавливают, выверяют и закрепляют точно так же, как и в случае фрезерования дисковой фрезой. Концевую фрезу за-

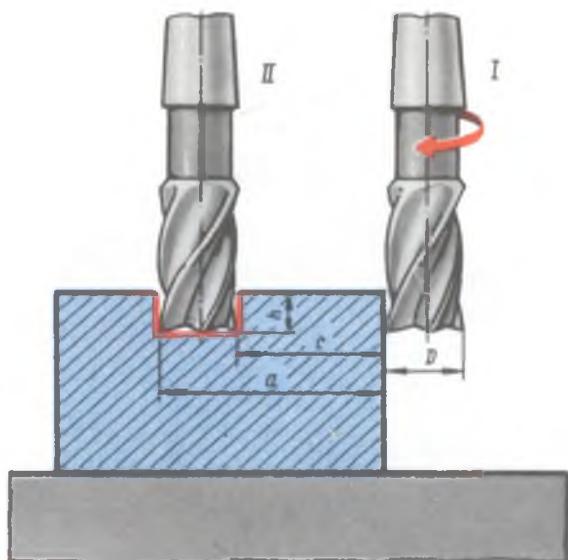
крепляем в переходной втулке и вместе с втулкой вставляем в коническое отверстие шпинделя, предварительно протерев все посадочные поверхности, и закрепляем шомполом. Для детали (см. рис. 59) ширина фрезерования  $B = 13$  мм, глубина резания  $t = 4$  мм.

Принимаем подачу на зуб  $s_z = 0,05$  мм/зуб. Скорость резания для концевой фрезы с пластинками твердого сплава составляет  $v = 180$  м/мин. По графику (см. рис. 40) определяем ближайшую ступень чисел оборотов. Принимаем  $n = 1250$  об/мин. Фактическая скорость резания при этом будет  $v = 160$  об/мин. Определяем минутную подачу (см. рис. 41):  $s = 400$  мм/мин.

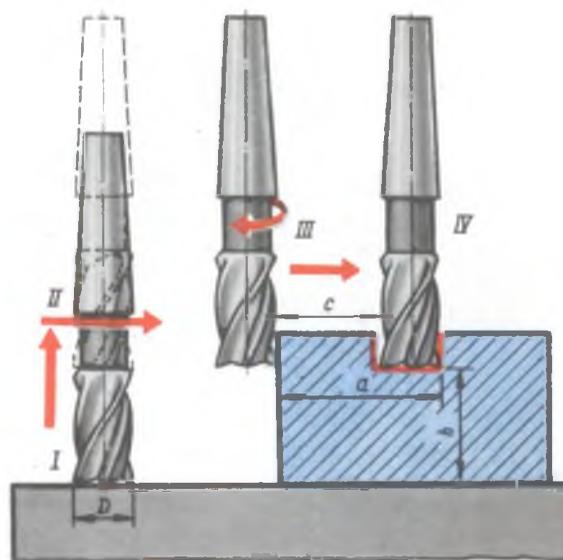
Обработка первого уступа (рис. 66. а) включает следующие приемы. Вращающуюся фрезу довести до контакта с торцевой поверхностью заготовки призмы; опустить стол до выхода фрезы за габариты заготовки, рукояткой поперечной подачи передвинуть стол с заготовкой в направлении фрезы на 13 мм; поднять стол до легкого касания верхней плоскости заготовки с вращающейся фрезой; вывести заготовку из-под фрезы и поднять стол на 4 мм; включить механическую продольную подачу и произвести фрезерование.

Обработку второго уступа (рис. 66. б) также можно производить двумя способами, в зависимости от длины выступа. При небольшой длине выступа надо вывести фрезу за пределы обрабатываемой заготовки и переместить стол в поперечном направлении на расстояние, равное ширине выступа плюс диаметр фрезы. Затем включить продольную подачу и профрезеровать второй уступ. Обработать второй уступ в том случае, если ширина выступа достаточно велика, можно за два перехода: черновой и чистовой.

**Наладка станка на обработку пазов,** как и в случае их обработки дисковыми фрезами, зависит от способа отсчета размера  $h$ . Сначала разберем случай, когда размер  $h$  задан от верхней плоскости заготовки (рис. 67). Вращающуюся фрезу подвести к боковой поверхности заготовки (положение I). Опустить стол и переместить рукояткой поперечной подачи на размер  $a$  (положение II). Далее поднять стол до касания фрезы с верхней поверхностью обрабатываемой заготовки. Затем продвинуть стол в продольном направлении, вывести фрезу за пределы обрабатываемой заготовки и поднять стол на размер  $h$ ; включить продольную подачу и профрезеровать паз. Теперь рассмотрим случай, когда размер паза отсчитывается от нижней опорной поверхности заготовки, установленной непосредственно на столе или на подкладке (рис. 68). В этом случае следует сначала фрезу довести до соприкосновения с подкладкой или очень аккуратно до соприкосновения с поверхностью стола, если заготовка установлена непосред-



67 Установка фрезы на размер  $h$ , заданный от верхней плоскости



68 Установка фрезы на размер  $h$ , заданный от нижней плоскости

ственно на столе (положение I). Далее надо опустить консоль на размер  $h$  (положение II). Включить вращение фрезы и переместить стол в поперечном направлении до легкого соприкосновения с боковой поверхностью заготовки (положение III). Продвинуть стол в продольном направлении, вывести фрезу за пределы обрабатываемой заготовки и переместить поперечные салазки на размер  $a$  (положение IV).

В ряде случаев для достижения требуемого размера паза по ширине целесообразно обработку производить за две операции: черновую и чистовую. При этом чистовую обработку желательнее производить твердосплавными концевыми фрезами.

#### Фрезерование закрытых пазов

Закрытые пазы обрабатывают на вертикально-фрезерных или горизонтально-фрезерных станках с вертикальной накладной головкой концевыми фрезами. Фрезерование закрытых пазов поясним на примере. В планке из стали 45 толщиной 12 мм необходимо профрезеровать закрытый паз шириной 16 мм и длиной 40 мм.

**Выбор типоразмера фрезы.** Диаметр фрезы определяется шириной паза. В данном случае  $D = 16$  мм. Примем концевую фрезу с цилиндрическим хвостовиком и нормальными зубьями ( $z = 4$ ) из быстрорежущей стали Р6М5.

**Наладка и настройка станка.** Заготовка поступает на фрезерную операцию размеченной, с просверленными отверстиями для выхода концевой фрезы и образования радиуса закругления (рис. 69, а). Заготовку закрепляют в тисках. Верхняя плоскость находится на уровне

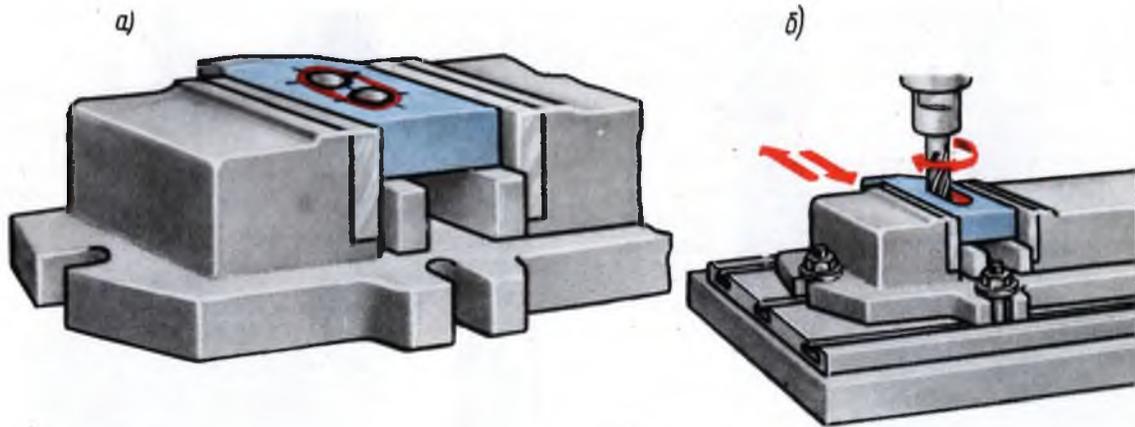
губок тисков. Следует обратить внимание на правильность расположения параллельных подкладок — они не должны мешать свободному выходу фрезы при фрезеровании паза (рис. 69, б).

**Настройка станка на режимы фрезерования.** Обработку паза производим за три прохода с глубиной резания  $B = 4$  мм, подачей на зуб  $s_z = 0,01$  мм/зуб, скоростью резания  $v = 60$  мм/мин. Ближайшая ступень чисел оборотов по графику (см. рис. 40)  $n = 1250$  об/мин. Минутную подачу определяем по графику (см. рис. 41) или непосредственно по формуле (4)  $s_m = 0,01 \times 4 \times 1250 = 50$  м/мин.

На рис. 69, б показано фрезерование паза. После ввода фрезы в ранее просверленные отверстия сначала дают ручную вертикальную подачу стола на глубину фрезерования (4 мм). Затем включают механическую продольную подачу в одну сторону, выключают ее; дают вертикальную подачу на глубину резания, изменяют направление подачи, включают механическую подачу в другую сторону и т. д., попеременно изменяя направление движения стола и давая подачу на глубину на каждый ход стола. Надо соблюдать особую осторожность при подаче на глубину перед последним проходом в момент выхода фрезы со стороны нижней опорной поверхности.

#### Другие виды работ, выполняемых концевыми фрезами

Помимо обработки уступов и пазов концевые фрезы применяются для выполнения других работ на вертикально-фрезерных и горизонтально-фрезерных станках.



**69** Фрезерование закрытого паза

Концевые фрезы применяются для обработки открытых плоскостей: вертикальных, горизонтальных и наклонных.

На рис. 70 показано фрезерование наклонной плоскости в универсальных тисках. Приемы обработки плоскостей концевыми фрезами ничем не отличаются от приемов обработки уступов и пазов. Концевыми фрезами можно производить обработку различных выемок (гнезд).

На рис. 71 показано фрезерование выемки концевой фрезой. Фрезерование выемок в заготовках производится по разметке.

Удобнее сначала произвести предварительное фрезерование контура выемки (не доходя до линий разметки), а затем — окончательное фрезерование контура.

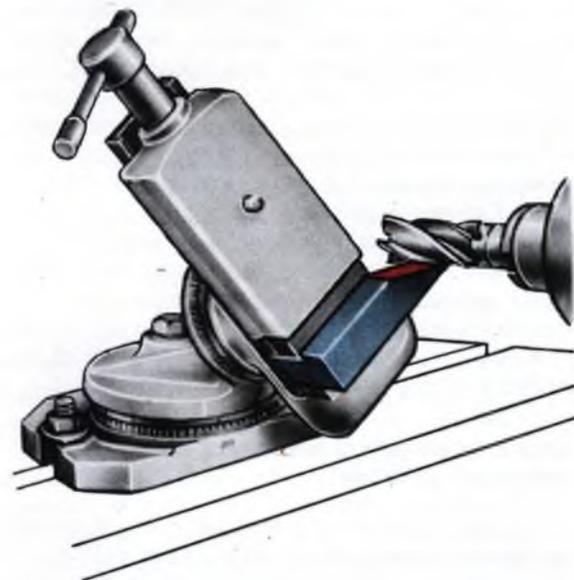
В тех случаях, когда требуется выфрезеровать окно, а не выемку, необходимо под заготовку подложить соответствующую подкладку,

чтобы не повредить тиски в момент выхода концевой фрезы.

#### Фрезерование уступов торцевой фрезой

Фрезерование уступов можно производить как на вертикально-фрезерных, так и на горизонтально-фрезерных станках.

Обработку деталей с симметрично расположенными уступами можно производить при закреплении заготовок в двухпозиционных приспособлениях или в двухпозиционных поворотных столах. После фрезерования первого уступа приспособление поворачивают на  $180^\circ$  и ставят во вторую позицию для фрезерования второго уступа (см. рис. 212).



**70** Фрезерование наклонной плоскости в тисках

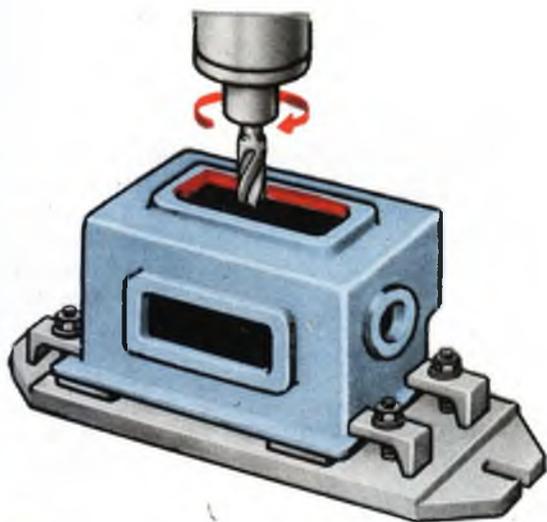
### § 18. Фрезерование шпоночных пазов

Шпоночные соединения весьма распространены в машиностроении. Шпоночные соединения бывают с призматическими, сегментными, клиновыми и другими сечениями шпонок. На рабочих чертежах вала должны быть проставлены размеры: для вала с призматической шпонкой (рис. 72, а) и для вала с сегментной шпонкой (рис. 72, б).

Шпоночные пазы (рис. 73) делятся на сквозные 2, открытые (с выходом) 1 и закрытые 3. Фрезерование шпоночных пазов является весьма ответственной операцией. От точности шпоночного паза зависит характер посадки на шпонку сопрягаемых с валом деталей. К обработанным фрезерованием шпоночным пазам предъявляют жесткие технические требования согласно ГОСТ 7227—58.

Ширина шпоночного паза должна быть выполнена по 2-му или 3-му классу точности:

по глубине шпоночный паз должен быть выполнен по 5-му классу точности;



71 Фрезерование выемки корпусной детали

длина паза под шпонку по 8-му классу точности.

Невыполнение этих требований при фрезеровании шпоночных пазов приводит к необходимости применения трудоемких пригоночных работ при сборке — припиливанию шпонок или других сопрягаемых деталей.

Кроме указанных выше требований в отношении точности к шпоночному пазу предъявляется также требование в отношении точности его расположения и шероховатости поверхности. Боковые грани шпоночного паза должны быть расположены симметрично относительно плоскости, проходящей через ось вала: шероховатость поверхности боковых стенок должна находиться в пределах 5-го класса шероховатости, а иногда и выше.

Сопоставляя допуски на фрезы с допусками

на размер шпоночного паза, можно убедиться в трудности выполнения паза требуемой точности на станках, работающих мерным инструментом. Возьмем для примера паз шириной 12ПШ. Размер шпоночного паза по ГОСТ 7227—58 составляет  $12_{-0,075}^{-0,020}$ , а фреза имеет размер  $12_{-0,059}^{-0,031}$  (рис. 74).

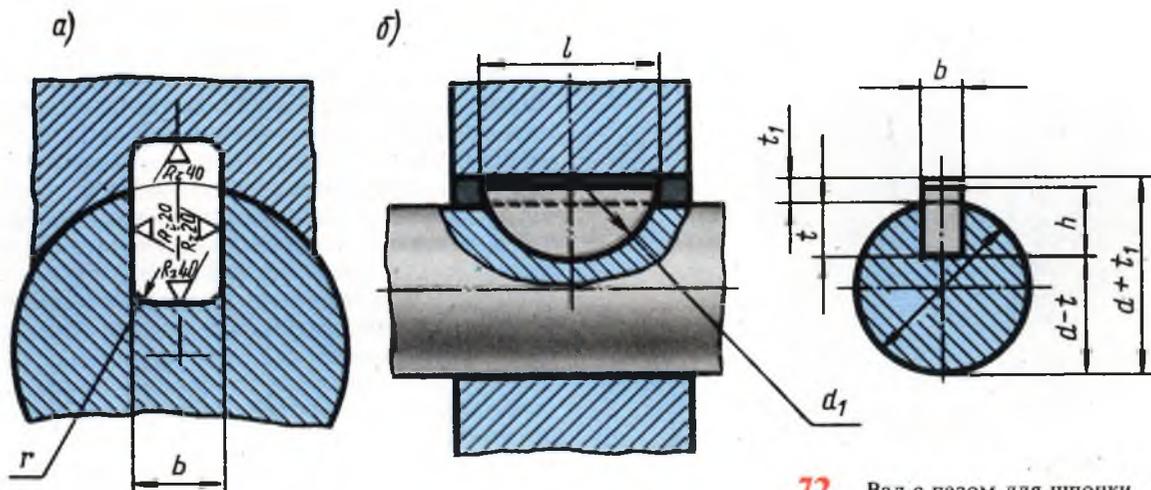
Если фреза изготовлена по верхнему предельному отклонению, то чтобы уложиться в допуск по ширине паза, на все погрешности системы деталь — фреза — станок остается всего 0,016 мм, в то время как допустимое биение фрезы может быть 0,02 мм. При этом не учтены еще погрешности крепления фрезы.

Практика показывает, что для обработки шпоночного паза, укладываемого в поле допуска ПШ, приходится тщательно производить подбор фрез и делать пробные проходы. В серийном и массовом производстве стремятся по возможности шпоночные соединения заменять шлицевыми.

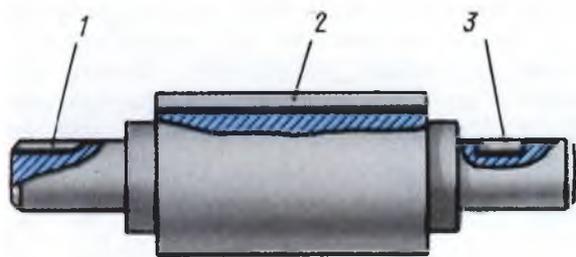
Дисковые фрезы пазовые по ГОСТ 3964—69 предназначаются для фрезерования неглубоких пазов. Они имеют зубья только на цилиндрической части.

Пазовые фрезы заточенные по ГОСТ 8543—71 предназначаются также для обработки пазов. Их затачивают только по передней поверхности. Достоинством этих фрез является то, что они не теряют размера по ширине после переточек. Они выпускаются диаметром от 50 до 100 мм и шириной от 4 до 16 мм.

Шпоночные фрезы по ГОСТ 9140—68 применяются для фрезерования шпоночных пазов и изготавливаются с цилиндрическим и коническим хвостовиком. Шпоночные фрезы имеют два режущих зуба с торцовыми режущими кром-



72 Вал с пазом для шпонки

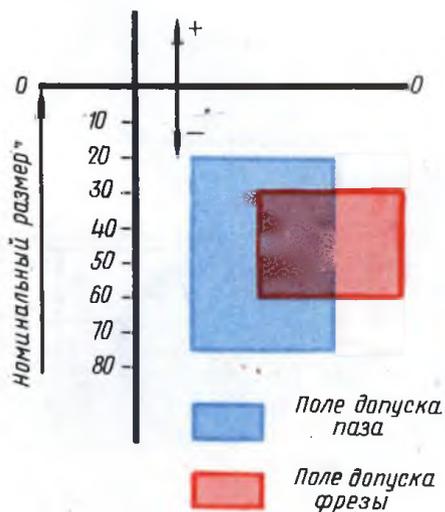


**73** Вал со шпоночными пазами

ками, выполняющими основную работу резания. Режущие кромки фрезы направлены не наружу, как у сверла, а в тело инструмента. Такие фрезы могут работать с осевой подачей (как сверло) и с продольной подачей. Переточка фрез производится по торцовым зубьям, вследствие чего диаметр фрезы практически остается неизменным. Это является очень важным для обработки пазов.

Фрезы с цилиндрическим хвостовиком изготовляют для диаметра от 2 до 20 мм с коническим хвостовиком от 16 до 40 мм. В настоящее время инструментальные заводы выпускают цельные твердосплавные шпоночные фрезы диаметром 3, 4, 6, 8, и 10 мм с углом наклона винтовой канавки  $20^\circ$  из сплава ВК8. Эти фрезы применяют главным образом при обработке закаленных сталей и трудно обрабатываемых материалов. Применение этих фрез позволяет увеличить производительность труда в два-три раза и повысить шероховатость обработанных поверхностей на два класса шероховатости.

Фрезы для пазов под сегментные шпонки хвостовые по ГОСТ 6648—68 предназначаются для фрезерования всех пазов под сегментные шпонки диаметром  $4 \div 5$  мм.



**74** Схема расположения полей допусков шпоночного паза и фрезы

Фрезы для пазов под сегментные шпонки насадные по ГОСТ 6648—68 предназначаются для фрезерования всех пазов под сегментные шпонки диаметром  $55 \div 80$  мм.

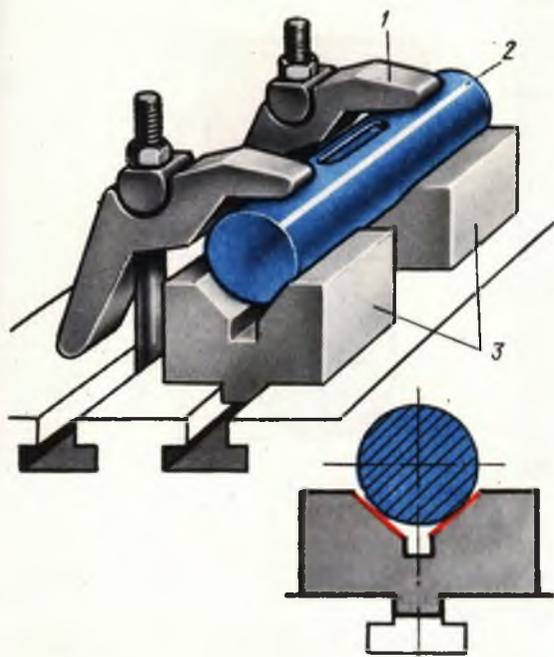
**Закрепление заготовок.** Заготовки валов для фрезерования в них шпоночных пазов и лысок удобно закреплять в призмах. Для коротких заготовок достаточно одной призмы. При большой длине вала 2 заготовку устанавливают на двух призмах 3 (рис. 75). Правильность расположения призмы на столе станка обеспечивается шипом в основании призмы, входящим в паз стола, как показано на рисунке справа. Валы закрепляют прихватками 1. Во избежание прогиба вала при закреплении необходимо следить, чтобы прихваты опирались на вал над призмой. Под прихваты следует положить тонкую медную или латунную прокладку, чтобы не повредить окончательно обработанной цилиндрической поверхности вала. На рис. 76 показаны тиски для закрепления валов. Тиски на столе можно закреплять либо в положении, показанном на рис. 76, либо можно повернуть их на  $90^\circ$ . Поэтому они пригодны для закрепления валов как на горизонтально-фрезерных, так и на вертикально-фрезерных станках. Вал устанавливается цилиндрической поверхностью на призму 5 и при вращении маховичка 1 зажимается губками 3 и 6, которые поворачиваются вокруг пальцев 2 и 7. Призму 5 можно установить в тисках другой стороной для закрепления вала большего диаметра. Упор 4 служит для установки вала по длине.

На рис. 77 показана магнитная призма с постоянным магнитом. Корпус призмы состоит из двух частей, между которыми размещен оксидно-бариевый магнит. Для закрепления валика достаточно повернуть рукоятку выключателя на  $90^\circ$ . Сила зажима вполне достаточна для фрезерования на валиках шпоночных пазов, лысок и т. д.

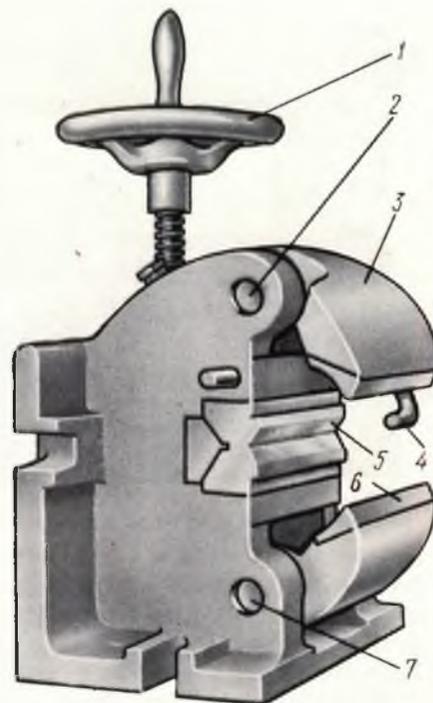
Одновременно с закреплением детали призма притягивается к опорной поверхности стола станка.

**Фрезерование сквозных шпоночных пазов.** Шпоночные пазы фрезеруют после окончательной обработки цилиндрической поверхности. Сквозные пазы и открытые пазы с выходом канавки по окружности с радиусом, равным радиусу фрезы, обрабатывают дисковыми фрезами. Превышение размера ширины паза по сравнению с шириной фрезы составляет 0,1 мм и более. После заточки дисковых пазовых фрез ширина фрезы несколько уменьшается, поэтому использование фрез возможно лишь до определенных пределов, после чего фрезы применяют для других работ, когда не столь важен размер по ширине.

Фрезерование сквозных шпоночных пазов разберем на примере. Пусть требуется профре-



75 Закрепление вала на призмах



76 Тиски для закрепления валов

зеровать шпоночный паз (см. рис. 72) с размерами  $d = 40$  мм;  $b = 2$  мм;  $t = 5$  мм; материал — сталь 45.

**Выбор типоразмера фрезы.** Для выполнения этой операции выберем дисковую пазовую фрезу из быстрорежущей стали Р6М5. Размеры фрезы:  $D = 80$  мм,  $B = 12$  мм,  $d = 27$  мм,  $z = 18$ .

На рис. 78 показана установка заготовки и фрезы при фрезеровании сквозного шпоночного паза.

При установке фрезы на оправку необходимо добиться, чтобы фреза имела минимальное биение по торцу. Заготовку закрепляют в машинных тисках с медными или латунными накладками на губках.

При правильно установленных тисках точность установки закрепленного в них вала можно и не проверять. Установить фрезу следует так, чтобы она была расположена симметрично относительно диаметральной плоскости, проходящей через ось вала. Для выполнения этого условия пользуются следующим приемом. После закрепления фрезы и проверки ее биения индикатором фрезу устанавливают предварительно в диаметральной плоскости вала. Точная установка производится с помощью угольника и штангенциркуля.

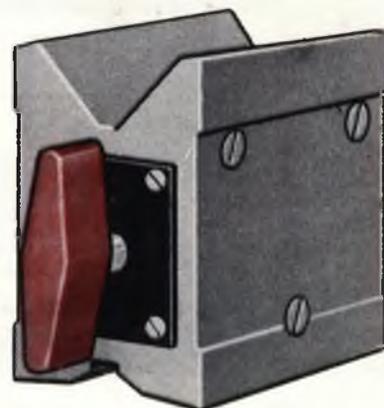
Из рис. 79 видно, что размер  $S$  равен

$$S = T + \frac{d}{2} + \frac{B}{2}, \quad (5)$$

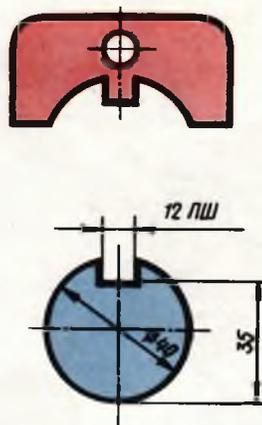
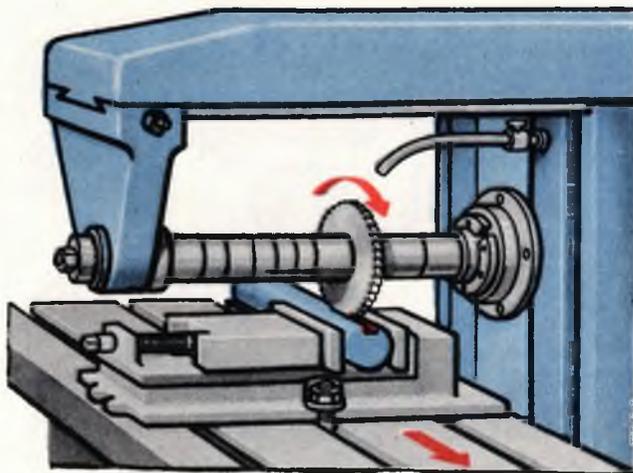
где  $T$  — ширина полки угольника, мм,  
 $d$  — диаметр вала, мм,  
 $B$  — ширина фрезы, мм.

Для установки фрезы необходимо поставить фрезу в поперечном направлении на размер  $S$  со стороны одного из выступающих над тисками концов вала. Проверить этот размер штангенциркулем. Затем поставить угольник с другой стороны вала, как это показано на рис. 79 пунктиром, и еще раз проверить размер  $S$ . Если оба отсчета по штангенциркулю совпадут, то это означает, что фреза относительно вала установлена правильно.

Для точной и быстрой установки дисковой фрезы в диаметральной плоскости применяют



77 Магнитная призма для закрепления валов



**78** Фрезерование сквозного паза дисковой фрезой

приспособление (рис. 80). Дисковую фрезу 1 устанавливают по вырезу двусторонней призмы 2, которая в свою очередь установлена по цилиндрической поверхности валика 3. Точность расположения шпоночного паза в диаметральной плоскости обеспечивается соосностью V-образных пазов призмы 2. Правильность изготовленного паза проверяется по шаблону (см. рис. 78).

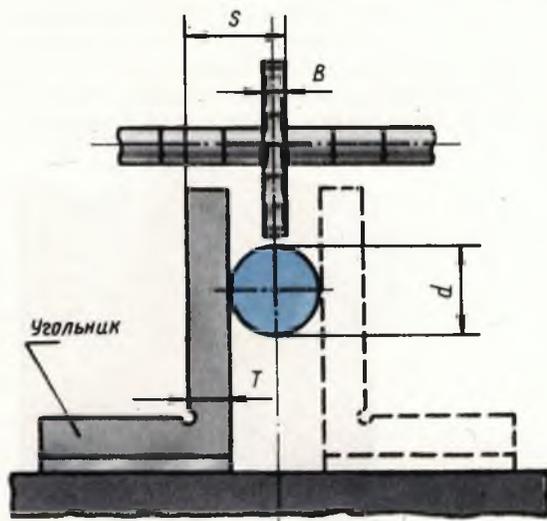
При фрезеровании шпоночных пазов быстрорежущими шпоночными фрезами на вадах, изготовленных из сталей 45 и 40Х, рекомендуется применение следующих режимов резания:  $s_z = 0,15 \div 0,25$  мм/зуб, скорость резания  $v = 30 \div 40$  м/мин. Режимы резания при фрезеровании твердосплавными шпоночными фрезами тех же сталей отличаются тем, что при тех же подачах на зуб скорость резания можно

увеличить в два-три раза и довести до 80—100 м/мин.

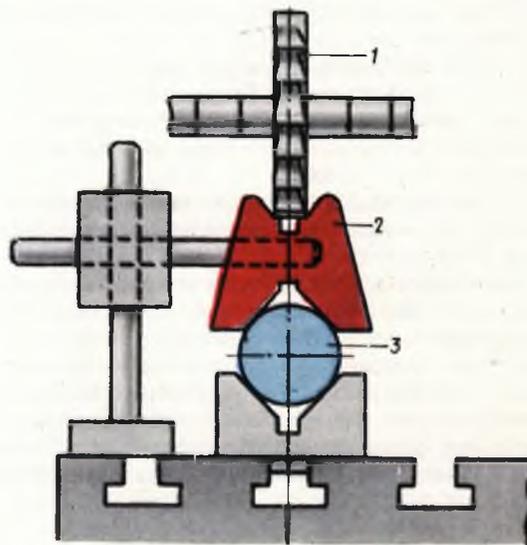
Следует иметь в виду, что подача на врезание при работе как быстрорежущими, так и твердосплавными шпоночными фрезами должны быть в 1,5 раза меньше продольных. В случаях фрезерования шпоночных пазов в два прохода подачи при втором проходе могут быть в 1,5—2 раза больше, чем при первом проходе.

Настройка станка на выбранные режимы фрезерования ничем не отличается от ранее рассмотренных случаев.

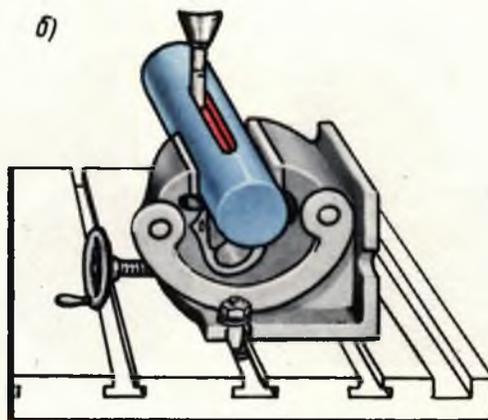
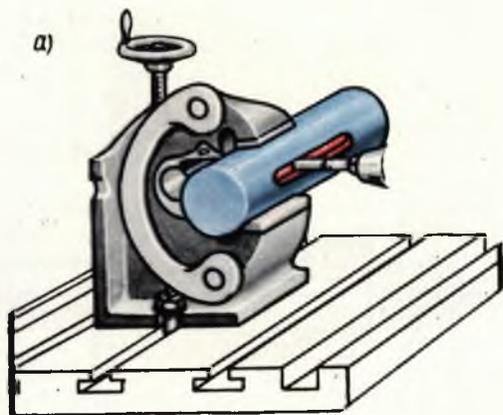
**Установка на глубину фрезерования.** Начальный момент касания фрезы с цилиндрической поверхностью заготовки происходит по линии, если после установки фрезы над валом производить одновременно медленный подъем стола



**79** Проверка установки дисковой фрезы



**80** Приспособление для установки дисковой фрезы



**81** Фрезерование закрытых шпоночных пазов на станке

до касания с фрезой и перемещение в продольном направлении. Установив момент касания фрезы с валом, отвести стол из-под фрезы. Выключить станок и вращением рукоятки вертикальной подачи поднять стол на глубину шпоночной канавки  $t = 5$  мм. Закрепить вертикальные салазки.

**Фрезерование паза.** Осторожно подвести фрезу к валу, включить продольную подачу и произвести фрезерование паза. Выключить станок, снять заусенцы напильником и проверить размеры паза. Глубину паза проверяют по размеру 35 мм (см. рис. 78) штангенциркулем. Ширину паза, как правило, лучше проверять по специальному шаблону (см. рис. 78).

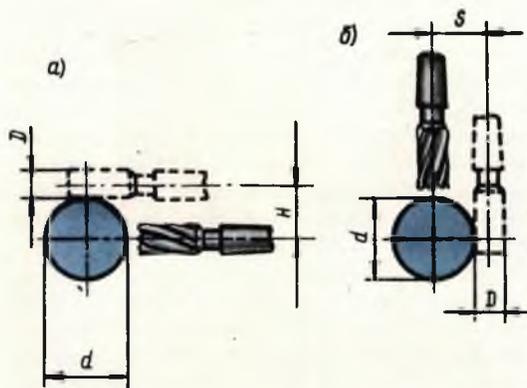
**Фрезерование закрытых шпоночных пазов.** Фрезерование закрытых шпоночных пазов можно производить на горизонтально-фрезерных станках. На рис. 81, а показана установка заготовки и фрезы на горизонтально-фрезерном, а на рис. 81, б — на вертикально-фрезерном станке. Рассмотрим обработку паза:  $d = 60$  мм;  $b = 18$  мм;  $h = 7$  мм; обрабатываемый материал

сталь 40Х. Выберем для фрезерования шпоночную фрезу из быстрорежущей стали с коническим хвостовиком диаметром  $D = 18$  мм,  $z = 2$ .

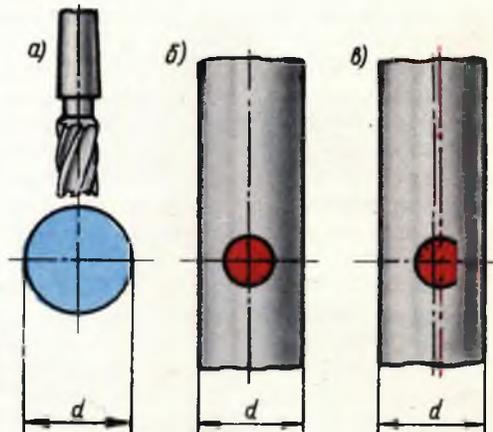
**Подготовка к работе.** Для закрепления вала пользуются специальными самоцентрирующимися тисками (см. рис. 76) или призмами (см. рис. 75). Так как установка для фрезерования по рис. 81, а отличается от установки по рис. 81, б лишь расположением шпинделя, разберем только порядок фрезерования шпоночного паза на горизонтально-фрезерном станке.

Установив и закрепив вал в тиски и вымерив его по разметке рейсмасом, приступить к установке фрезы.

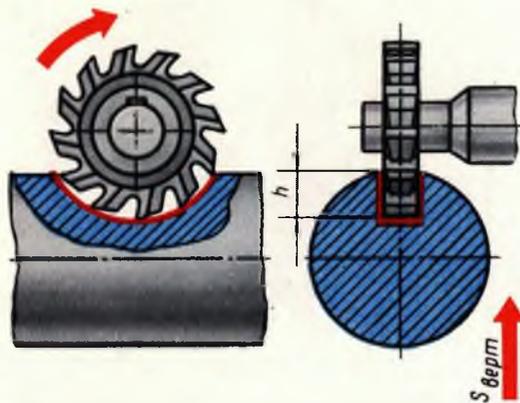
Установка шпоночной (или концевой) фрезы в диаметральной плоскости вала показана на рис. 82, а. Стол станка переместить рукояткой вертикальной подачи до соприкосновения с фрезой (показана пунктиром). После этого стол переместить в поперечном направлении до выхода фрезы за пределы вала и поднять на величину  $H$ :



**82** Схема установки концевой фрезы в диаметральной плоскости вала для отсчета перемещений



**83** Установка концевой фрезы в диаметральной плоскости вала



**84** Фрезерование шпоночных пазов под сегментные шпонки

$$H = \frac{d}{2} + \frac{D}{2}, \quad (6)$$

где  $H$  — величина перемещения стола в вертикальном направлении, мм;

$d$  — диаметр вала, мм;

$D$  — диаметр фрезы, мм.

Установка шпоночной (или концевой) фрезы в диаметральной плоскости вала при обработке в нем шпоночного паза на вертикально-фрезерном станке показана на рис. 82, б. Отсчет перемещения стола на величину  $S$  производится по лимбу винта поперечной подачи.

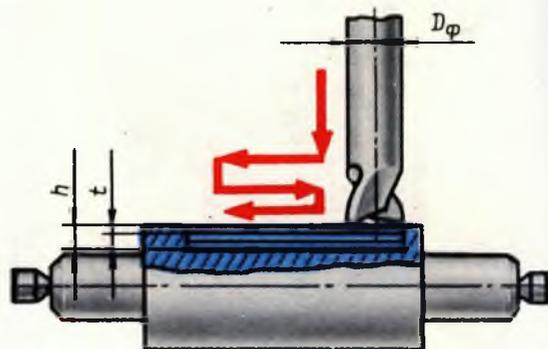
Другой способ установки («по яблочку») шпоночной или концевой фрезы в диаметральной плоскости фрезы состоит в следующем. Вал устанавливают по возможности точно (на глаз) относительно фрезы (рис. 83, а) и вращающуюся фрезу медленно приводят в соприкосновение с обрабатываемым валом до тех пор, пока на поверхности вала не появится едва заметный след фрезы. Если этот след получается в виде полного круга (рис. 83, б), то это означает, что фреза расположена в диаметральной плоскости вала. Если след имеет форму неполного круга (рис. 83, в), то необходимо сместить стол.

Установка на глубину паза. Обрабатываемый вал, диаметральной плоскостью которого совпадает с осью фрезы, подводят до соприкосновения с фрезой. При этом положении стола отмечаем показание лимба винта поперечной или вертикальной подачи, затем перемещаем или поднимаем стол на глубину резания  $B$ .

Закрытые шпоночные пазы, допускающие пригонку, фрезеруют двумя способами:

а) срезанием вручную на глубину 4—5 мм и продольной механической подачей, затем снова врезанием на ту же глубину и продольной подачей, но в другом направлении;

б) врезанием вручную на полную глубину паза и дальнейшей механической продольной подачей.



**85** Схема фрезерования шпоночных пазов способом «маятниковая подача»

Этот способ применяют при фрезеровании шпоночными фрезами диаметром свыше 12—14 мм.

Контроль ширины шпоночного паза следует производить калибром согласно допуску, указанному на чертеже.

Фрезерование открытых шпоночных пазов с выходом канавки по окружности с радиусом, равным радиусу фрезы, производят дисковыми фрезами. Пазы, в которых не допускается выход канавки по радиусу окружности, фрезеруют концевыми или шпоночными фрезами.

Фрезерование пазов сегментных шпонок производится хвостовыми или насадными фрезами под сегментные шпонки, диаметр которых должен быть равен двойному радиусу канавки. Подача производится в вертикальном направлении, перпендикулярном оси вала (рис. 84).

Фрезерование пазов на шпоночно-фрезерных станках. Для получения точных по ширине пазов обработку ведут на специальных шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей, работающих двузубыми шпоночными фрезами. При этом способе фреза врезается на 0,2—0,4 мм и фрезерует паз по всей длине, затем опять врезается на ту же глубину, как и в предыдущем случае, и фрезерует паз опять на всю длину, но в другом направлении (рис. 85). Отсюда и происходит название метода — «маятниковая подача». По окончании фрезерования шпиндель автоматически возвращается в исходное положение и выключается продольная подача фрезерной бабки. Этот метод является наиболее рациональным при изготовлении шпоночных пазов в серийном и массовом производстве, так как дает точный паз, обеспечивающий взаимозаменяемость в шпоночном соединении. Кроме того, поскольку фреза работает торцовыми и режущими кромками, она будет долговечнее, так как не будет изнашиваться по периферии. Недостатком этого способа является зна-

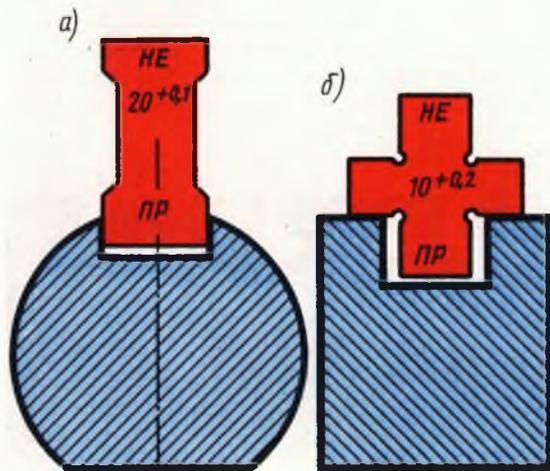
чительно большая затрата времени по сравнению с фрезерованием за один-два прохода.

Фрезерование пазов на автоматизированных шпоночно-фрезерных станках немерным инструментом производится с осциллирующим (колебательным) движением инструмента. Регулируя размах осциллирования от нуля до требуемой величины, можно фрезеровать шпоночные пазы с требуемой точностью по ширине.

При фрезеровании с осциллированием ширина фрезы меньше ширины обрабатываемого паза. Так, станок, модели МА-57 предназначена для фрезерования открытых шпоночных пазов на валах электродвигателей дисковыми трехсторонними фрезами в автоматизированном производстве. Станок модели БД92 предназначен для фрезерования закрытых шпоночных пазов немерными концевыми фрезами. Требуемая ширина паза достигается за счет того, что фрезе придается осциллирующее движение в направлении, перпендикулярном продольной подаче. Станок может быть встроен в автоматическую линию.

#### Контроль размеров пазов и канавок

Контроль размеров пазов и канавок можно производить как штриховыми измерительными инструментами (штангенциркуль, штангенглубиномер), так и калибрами. Измерение и отсчет размеров пазов с помощью универсальных инструментов не отличаются от измерений других линейных размеров (длина, ширина, толщина, диаметр). Контроль ширины паза может быть произведен круглыми и листовыми предельными калибрами — пробками. На рис. 86, а приведен контроль ширины паза заданного размером  $20^{+0,1}$  мм. В этом случае



86 Контроль размеров паза калибрами

проходная сторона калибра имеет размер 20,0 мм, а непроходная — 20,1 мм. Глубина паза контролируется предельным шаблоном — глубиномером.

На рис. 86, б показан контроль глубины паза, заданного размером  $10^{+0,2}$  мм. Непроходная (большая) сторона шаблона имеет размер 10,2 мм, а проходная — 10,0 мм.

Симметричность расположения шпоночного паза относительно оси вала контролируется специальными шаблонами и приспособлениями.

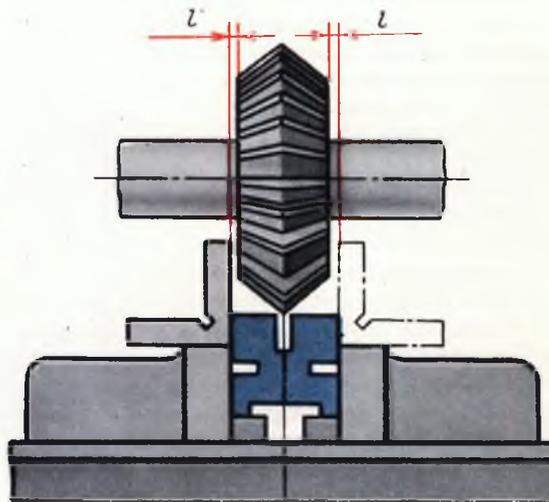
#### § 19. Фрезерование фасонных канавок, Т-образных пазов и пазов типа «ласточкин хвост»

Фрезерование фасонных канавок дисковыми фасонными фрезами. К фасонным канавкам относятся канавки с непрямоугольным профилем: полукруглые вогнутые, угловые треугольные, трапециевидные, фасонного профиля (для стружечных канавок инструментов и др.).

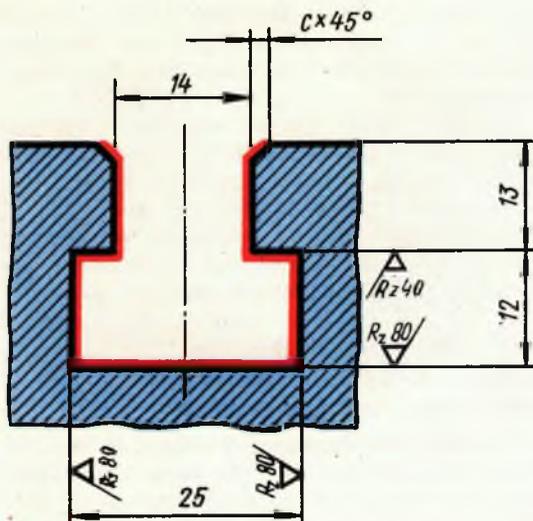
Полукруглые фрезы (по ГОСТ 9305—69) выпуклые и вогнутые предназначены для фрезерования полукруглых (радиусных) канавок и полукруглых выступов. Для фрезерования канавок, имеющих угловой профиль, применяют угловые фрезы. Они находят широкое применение в инструментальном производстве для фрезерования стружечных канавок различных режущих инструментов, пазов типа «ласточкин хвост», а также для фрезерования двух сопряженных наклонных плоскостей детали.

Различают насадные одноугловые, насадные двугловые симметричные и несимметричные, а также концевые угловые фрезы.

Одноугловые фрезы имеют угол конуса  $\theta = 45 \div 120^\circ$  через каждые  $5^\circ$  до  $90^\circ$ , затем 100, 105, 110 и  $120^\circ$ . Одноугловые фрезы изготов-



87 Установка двугловой фрезы



**88** Т-образный паз стола консольно-фрезерного станка

ляют диаметром  $D = 40 \div 80$  мм с числом зубьев  $z = 12 \div 18$  и применяют для фрезерования прямых канавок на инструментах и заготовках.

Двуугловые симметричные фрезы применяют для фрезерования канавок у фрез с винтовыми затылованными зубьями, а также пазов у призм и т. д. Угол конуса  $\theta = 18, 22, 25, 30^\circ$ . Двуугловые несимметричные фрезы имеют угол конуса  $\theta = 55 \div 110^\circ$  через каждые  $5^\circ$  до  $90^\circ$ .

Для фрезерования паза «ласточкин хвост» (см. рис. 56, з) применяют концевые угловые фрезы с углом, равным углу паза ( $55$  или  $60^\circ$ ). Угловые фрезы изготавливают с остроконечными зубьями.

Основная особенность угловых фрез состоит в том, что зубья, расположенные на конических поверхностях, имеют неодинаковую высоту. У таких фрез для увеличения прочности зуба приходится делать очень неглубокие канавки, которые затрудняют удаление стружки. Насадные угловые фрезы крепят на оправке горизонтально-фрезерных станков так же, как цилиндрические и дисковые фрезы.

Рассмотрим пример фрезерования угловой канавки призмы (см. рис. 59). Выбираем симметричную двуугловую фрезу с углом конуса  $\theta = 90^\circ$ , размером  $35 \times 10 \times 22$  из быстрорежущей стали Р6М5,  $z = 18$ . При этом длина режущих кромок фрезы по образующей конуса должна быть больше длины угла канавки призмы.

Установив двуугловую фрезу по центру заготовки при помощи угольника (рис. 87), за два прохода врезаются на глубину канавки, проверяя ширину после каждого прохода. Припуск на чистовой проход оставить в пределах  $0,5$ — $1,0$  мм.

Не останавливаясь подробно на наладке и настройке станка, укажем лишь режимы фрезерования: черновой проход  $t = 2$  мм;  $s_z =$

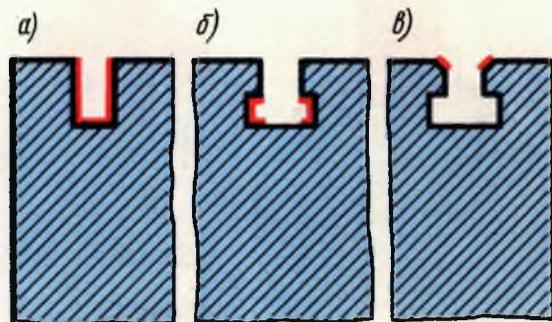
$= 0,05$  мм/зуб,  $v = 43$  мм/мин, чистовой:  $t = 0,5$  мм,  $s_z = 0,03$  мм/зуб,  $v = 50$  м/мин.

**Фрезерование Т-образных пазов.** В машиностроении находят широкое применение Т-образные станочные пазы с номинальным размером паза  $10$ — $54$  мм (по ГОСТ 1574—62), например, в столах фрезерных станков. Для их обработки служат фрезы (ГОСТ 7063—63) диаметром  $D = 17,5$ — $83$  мм и шириной  $B = 7,5 \div 40$  мм с коническим хвостиковым, конус Морзе № 1—5 без лапки и с лапкой. Число зубьев  $z = 6 \div 14$ . Для улучшения условий резания фрезы имеют разнонаправленные зубья с углом наклона  $15^\circ$ .

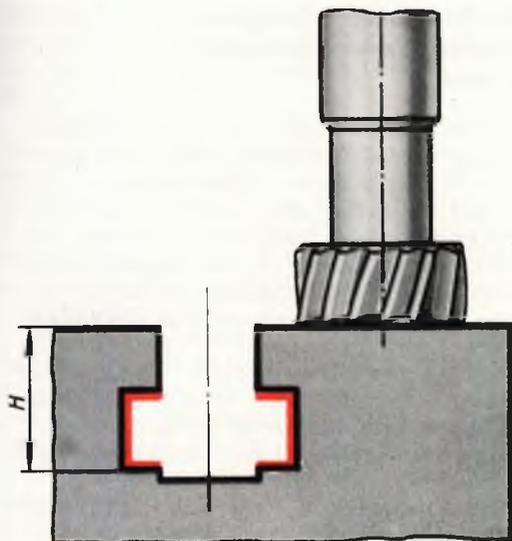
Фрезерование Т-образных пазов рассмотрим на примере обработки пазов (рис. 88). Обрабатываемый материал — серый чугун НВ=180. Т-образные пазы фрезеруют обычно за три перехода (рис. 89). Сначала концевой, реže дисковой фрезой, обрабатывают канавку прямоугольного профиля (рис. 89, а). Затем фрезой для Т-образных пазов фрезеруется нижняя часть паза (рис. 89, б) после этого производится фрезерование фасок (рис. 89, в) угловой концевой фрезой.

Размеченную заготовку устанавливают непосредственно на столе вертикально-фрезерного станка. Выверяют правильность установки заготовки на горизонтальность с помощью рейсмаса или индикаторной стойкой с индикатором. Далее выверяют правильность продольного расположения размеченных пазов относительно шпинделя станка. После проверки производят окончательное закрепление заготовки.

Настройка станка на режим фрезерования. Первый проход — фрезерование прямоугольного паза глубиной  $25$  мм и шириной  $14$  мм (см. рис. 88) — производится концевой фрезой с крупными зубьями и коническим хвостиком из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром  $D = 14$  мм с числом зубьев  $z = 3$ . Припуск по глубине паза —  $25$  мм удаляется за два прохода с глубиной резания  $B = 12,5$  мм. Режим фрезерования: ширина паза  $t = 14$  мм,  $B = 12,5$  мм, подача на зуб  $s_z = 0,05$  мм/зуб, скорость резания  $v = 28$  м/мин. По графику (см. рис. 40) определяем ступень



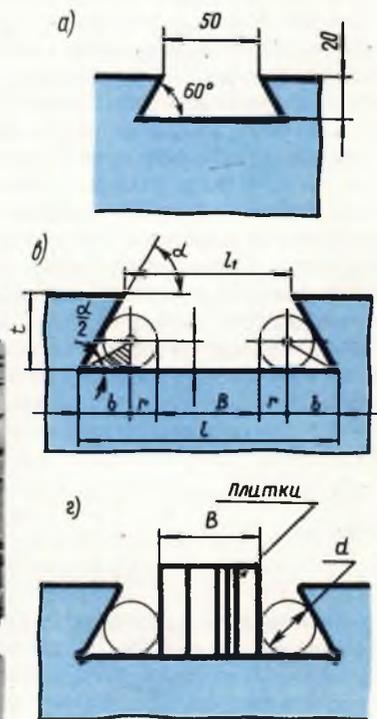
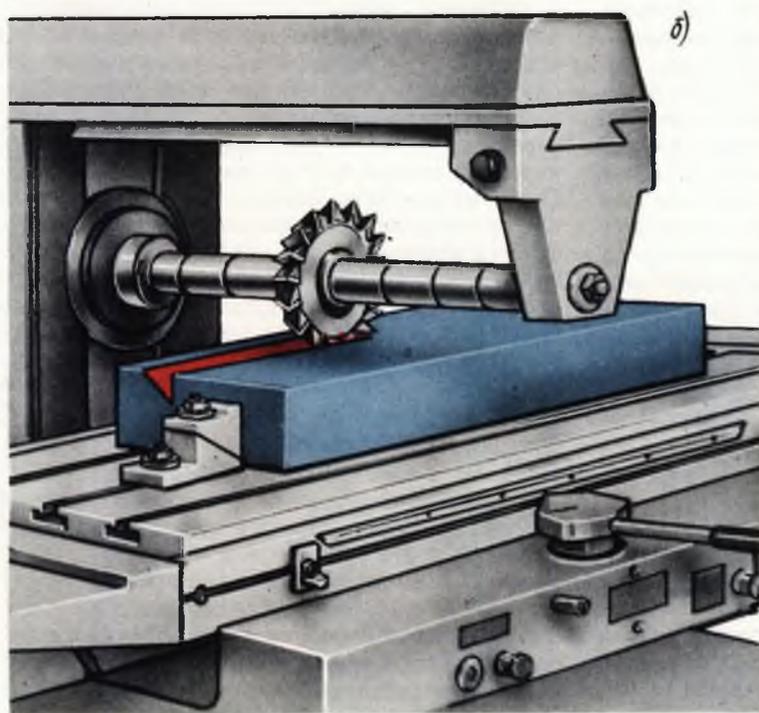
**89** Последовательность обработки Т-образного паза



**90** Установка фрез по высоте для обработки Т-образных пазов

чисел оборотов шпинделя станка  $n = 630$  об/мин. Ближайшая ступень минутных подач (см. рис. 41)  $s_m = 100$  мм/мин. Режим фрезерования фрезой из быстрорежущей стали Р6М5 для обработки станочных Т-образных пазов диаметром  $D = 25$  мм с числом зубьев  $z = 8$ , с шейкой диаметром 14 мм. Глубина резания  $t = 5,5$  мм; ширина паза  $B = 12$  мм (25—13);

подача на зуб  $s = 0,05$  мм/зуб; скорость резания  $v = 30$  м/мин. Ближайшая ступень чисел оборотов по графику (см. рис. 40)  $n = 315$  об/мин. Минутная подача по графику (см. рис. 41)  $s_m = 125$  мм/мин. Для фрезерования первого паза надо подвести заготовку под вращающуюся концевую фрезу до легкого касания. Установить фрезу точно по линии разметки первого паза. Рукояткой продольной подачи отвести стол за пределы обрабатываемой заготовки и вращением рукоятки вертикальной подачи поднять стол на величину, равную глубине паза, т. е. на 25 мм (см. рис. 88). Застопорить консоль и поперечные салазки стола. Установить в требуемое положение кулачки автоматического включения продольной подачи стола и вручную подвести заготовку к фрезе. Медленно подводя стол с заготовкой к фрезе, врезаться в заготовку, после чего включить механическую продольную подачу и произвести фрезерование первого паза. Пользуясь приемами обработки пазов, описанными ранее (см. стр. 53), произвести фрезерование остальных пазов. Далее, не перемещая стол в поперечном направлении, установить в шпиндель станка фрезу и произвести настройку станка на фрезерование паза фрезой для Т-образных пазов. При этом ось паза профрезерованного в первом проходе должна совпадать с осью шейки фрезы. Установка фрезы по высоте производится путем легкого касания вращающейся фрезы верхней плоскости заготовки



**91** Фрезерование паза типа «ласточкин хвост»

(рис. 90) с последующим выводом фрезы за пределы обрабатываемой заготовки и подъемом стола на величину  $H$ .

По окончании обработки первого паза, не перемещая стол в вертикальном направлении, произвести измерение Т-образного паза шаблоном или штангенциркулем. В случае годности Т-образного паза установку по высоте при обработке двух других пазов не следует нарушать. Третий переход — фрезерование фасок — производится угловой концевой фрезой. Первый переход — фрезерование трех прямоугольных пазов в серийном производстве — целесообразнее производить набором дисковых трехсторонних фрез, оснащенных пластинками твердого сплава.

**Фрезерование пазов типа «ласточкин хвост»** (рис. 91, а) производят за два перехода: сначала фрезеруют прямоугольный паз концевой фрезой диаметром 45 мм. Далее фрезеруют скосы паза концевой одноугольной фрезой для пазов типа «ласточкин хвост» так, как это показано на рис. 91, б. Второй переход может быть выполнен и одноугловой дисковой фрезой (с углом  $60^\circ$ ). Контроль пазов типа «ласточкин хвост» производят обычно с помощью специальных шаблонов, позволяющих контролировать угол наклона боковых сторон, а также симметричность и высоту паза. В ряде случаев приходится прибегать к более сложным, косвенным измерениям. При косвенных измерениях измеряется не искомая, а другая величина, по результатам измерения которой определяют размеры искомой величины. Так, например, если на чертеже паза типа «ласточкин хвост» заданы размеры: угол наклона боковых сторон  $\alpha$ , высота  $t$  и ширина  $l$  (рис. 91, в), то измерить ширину непосредственно практически невозможно. Даже если вместо размера  $l$  на чертеже был бы задан размер  $l_1$ , то и в этом случае измерение его было бы затруднительным, так как на острых кромках могут быть небольшие заусенцы. Кроме того, сами кромки могут сминаться под действием измерительного давления. Поэтому ширину паза  $l$  в этом случае определяют путем косвенных измерений с использованием двух калиброванных роликов диаметром  $d$  и блока плоскопараллельных концевых мер (плиток) с искомым размером  $B$ . Из рис. 91, в видно, что

$$b = r \cdot \operatorname{ctg} \alpha / 2, \quad l = B + 2r + 2b,$$

откуда

$$B = l - d - 2b.$$

Таким образом, для контроля размера  $l$  нужно составить блок из плоскопараллельных плиток размером  $B$  и произвести им измерение, как показано на рис. 91, г. Размер роликов может выбираться произвольно, так чтобы размер  $B$  оказался меньше размера  $l_1$ .

## § 20. Отрезание и разрезание заготовок, прорезание пазов и шлицев

**Отрезание** (отрезка) — процесс полного отделения одной части материала от целого (прутка, бруска, уголка и т. д.) с помощью режущего инструмента на металлорежущих станках.

**Разрезание** (разрезка) — процесс полного разделения целого (прутка, бруска, уголка и т. д.) на равные или неравные части с помощью режущего инструмента на металлорежущих станках.

**Прорезание** (прорезка) — процесс образования одного или нескольких мерных узких пазов (прорезей, шлицев) в заготовке с помощью режущего инструмента на металлорежущих станках.

**Фрезы отрезные и прорезные (шлицевые).** Отрезка заготовок на фрезерных станках производится отрезными фрезами, прорезка пазов и шлицев — прорезными (шлицевыми) фрезами. Отрезные и прорезные фрезы имеют режущие кромки, расположенные по периферии, и не имеют режущих кромок по торцам. По ГОСТ 2679—61 прорезные и отрезные фрезы изготовляют трех типов: тип I — с мелким зубом, тип II — со средним (нормальным) зубом, тип III — с крупным зубом. Прорезные фрезы типов I и II диаметром от 32 до 80 мм служат в основном для прорезки пазов и шлицев и изготовляются двух классов точности: AA и A (точное исполнение). Отрезные фрезы всех типов и диаметров шириной от 1 мм и выше изготовляются по классу точности B (нормальное исполнение). Отрезные фрезы предназначаются для разрезания целого на части (например, разрезать заготовку на несколько равных или неравных частей) и отрезания от целой части, например, отрезать от бруска одну заготовку. Отрезные фрезы с мелким и средним зубом предназначаются для обработки стали и чугуна, фрезы с крупным зубом — для обработки алюминиевых, магниевых и других легких сплавов.

Отрезные фрезы с мелким зубом выпускаются диаметром  $D = 32 \div 250$  мм, шириной  $B = 0,2 \div 5$  мм, с числом зубьев  $z = 56 \div 140$ ; фрезы со средним зубом имеют соответственно  $D = 50 \div 250$  мм,  $B = 0,5 \div 5$  мм,  $z = 32 \div 80$ ; фрезы с крупным зубом —  $D = 50 \div 250$  мм,  $B = 1 \div 5$  мм и  $z = 14 \div 40$ . Разрезание заготовок больших размеров производят пилами со вставными сегментами. Эти пилы имеют диаметр  $D = 275 \div 2000$  мм, ширину  $B = 5 \div 14,5$  мм, диаметр посадочного отверстия  $d = 32 \div 240$  мм и число сегментов  $14 \div 44$ . Сегменты изготовляют из быстрорежущей стали и крепят на диске из стали 50Г или 65Г тремя или четырьмя заклепками.

Прорезные фрезы с мелким и средним зубом предназначаются для прорезания неглубоких

шлицев в головках винтов или корончатых гаек, прорезания неглубоких пазов. Прорезные фрезы с крупным зубом — для прорезания глубоких шлицев и пазов.

Для уменьшения трения при обработке отрезные и прорезные фрезы имеют угол поднутрения  $\varphi_1$  (ширина фрезы уменьшается от периферии к центру). Для прорезных фрез  $\varphi_1 = 5-30^\circ$ , и для отрезных  $\varphi_1 = 15^\circ-1^\circ$ . С целью улучшения условий работы фрез и повышения их стойкости на зубьях делают переходные режущие кромки.

Переходные режущие кромки могут иметь три разновидности. Для фрез, выпускаемых в централизованном порядке, переходные режущие кромки выполняются по форме 1 и служат для разделения стружки по ширине.

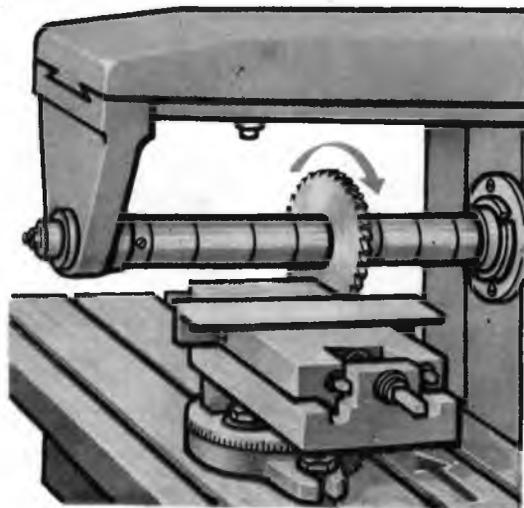
Отрезные и прорезные фрезы  $D = 32-250$  мм крепят на оправках диаметром  $d = 8, 10, 13, 16, 22, 27$  и  $32$  мм. Оптимальный диаметр отрезных фрез выбирается исходя из тех же условий, что и для дисковых фрез (см. стр. 46).

Цельные твердосплавные прорезные фрезы предназначены для прорезания пазов в заготовках из нержавеющей, хромистых, кислотоупорных, жаропрочных и других трудно обрабатываемых материалов. Их изготавливают по отраслевым нормам диаметром от 7 до 60 мм и толщиной от 0,5 до 3,5 мм из твердых сплавов различных марок. Применение твердосплавных фрез из быстрорежущей стали позволяет значительно поднять производительность труда за счет повышения скорости резания и повышения стойкости в 10—20 раз. Качество обработанной поверхности повышается на два класса шероховатости.

**Резка заготовок на части.** Требуется разрезать стальной уголок длиной 315 мм на пять равных частей размером  $60 \pm 10$  мм.

Выбор типа и размера фрезы. Диаметр отрезной фрезы следует выбирать по возможности минимальным, так как чем меньше диаметр фрезы, тем выше ее жесткость и виброустойчивость. Поэтому при отрезке фрезами малых диаметров можно давать большие подачи на зуб и получить лучшее качество обработанной поверхности, чем при работе отрезными фрезами большого диаметра. Стойкость фрез большого диаметра будет меньше, а стоимость их выше. Оптимальный диаметр фрезы как и для дисковых фрез можно определить по формуле  $D = 2t + d_1 + (12 \div 16)$ . В нашем случае  $t = 50$  мм при  $d = 32$  мм,  $d_1 = 48$  мм (см. стр. 46). Следовательно,  $D = 2 \cdot 50 + 48 + 12 = 160$  мм. Возьмем отрезную фрезу из быстрорежущей стали 6PM5  $D = 160$  мм,  $B = 3$  мм,  $d = 32$  мм,  $z = 56$  (тип Н — средний зуб).

При закреплении заготовки особое внимание надо уделить жесткости крепления заготовки и фрезы. Заготовку устанавливают и закрепляют в машинных тисках, как показано на рис. 92,



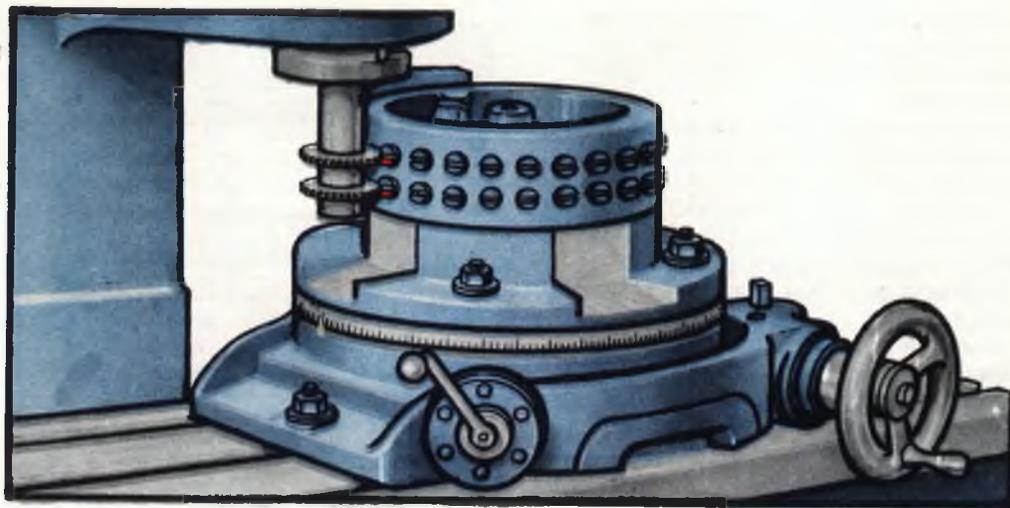
92 Закрепление заготовки в тисках

с упором на полку для большей жесткости закрепления. Стол с закрепленной заготовкой надо подвести как можно ближе к станине. Отрезная фреза не должна задевать за тиски. Фреза крепится на оправке по возможности ближе к шпинделю станка, а серья — ближе к фрезе для обеспечения большей жесткости. Чтобы фреза не вырывала заготовку из тисков, а прижимала к тискам, применяют попутное фрезерование (по подаче). Однако при этом способе в соединении винт — гайка продольной подачи стола не должно быть люфта.

**Настройка на режим фрезерования.** Подачу на зуб отрезных и прорезных фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали выбирают в пределах  $0,01-0,03$  мм/зуб. Скорость резания в пределах  $30-60$  м/мин. Отрезка и прорезка — с охлаждением СОЖ.

Отрезку тонкого листового материала и его разрезку на полосы предпочтительнее производить при попутном фрезеровании, так как сила резания в этом случае будет прижимать заготовку к столу. Однако, как указывалось ранее, фрезерование по подаче можно производить лишь при отсутствии механизма продольной подачи стола. Если заготовка крепится непосредственно на столе станка, без подкладок, то фрезу на оправке следует располагать против Т-образного паза в столе станка.

Фрезерование шлицев в головках винтов или корончатых гаек, как правило, производится в приспособлении. На рис. 93 показана схема приспособления для непрерывного фрезерования шлицев в головках винтов, установленных в два ряда. Здесь вспомогательное время на загрузку заготовок и разгрузку обработанных деталей перекрывается с временем непосредственного фрезерования шлица. Уста-



93 Схема приспособления для непрерывного фрезерования шлицев в головках винтов

новку заготовок производят вручную на непрерывно вращающемся диске.

Закрепление заготовок в приспособлении может осуществляться автоматически в зажимных призмах перед подходом к прорезной фрезе. После фрезерования шлицев происходит разжатие призм, обработанные детали выпадают и по желобу попадают в ящик. Если осуществить автоматическую загрузку заготовок через бункерное устройство, то цикл обработки будет полностью автоматизирован.

Процесс фрезерования шлицев в приспособлении при круговой подаче принципиально ничем не отличается от случая обычного фрезерования с продольной подачей при установке обрабатываемых заготовок на столе станка.

**Пример.** Произвести настройку станка и приспособления на прорезку шлица шириной 2 мм и глубиной 5 мм. Материал — сталь 45.

Выбираем прорезную фрезу  $D = 75$  мм,  $B = 2$  мм,  $d = 22$  мм,  $z = 72$  из быстрорежущей стали Р6М5.

По таблицам режимов резания выбираем режимы фрезерования для нашего случая:  $t = 5$  мм;  $B = 2$  мм,  $s_z = 0,015$  мм/зуб,  $v = 58$  м/мин. Определяем по графику (см. рис. 40) ближайшую ступень чисел оборотов шпинделя станка  $n = 250$  об/мин.

Определяем минутную подачу по графику (см. рис. 41) или рассчитываем  $s_m = 0,015 \cdot 72 \cdot 250 = 270$  мм/мин.

С такой минутной подачей 270 мм/мин должна производиться прорезка шлицев. Эту подачу в данном случае обеспечивает не коробка подач, а механизм привода вращательного движения диска, в котором закреплены заготовки. Таким образом, диск приспособления должен вращаться со скоростью 270 мм/мин, т. е.

$$s_m = \pi D n_d \text{ мм/мин.} \quad (7)$$

где  $D$  — диаметр окружности, по которой происходит фрезерование (см. рис. 93), мм;

$n_d$  — число оборотов диска, об/мин.

Зная диаметр диска (в нашем случае  $D = 450$  мм) и требуемую минутную подачу  $s_m = 270$  мм/мин, можно определить число оборотов диска  $n_d$  по формуле (7):

$$n_d = \frac{s_m}{\pi D} = \frac{270}{\pi \cdot 450} = 0,19 \text{ об/мин.}$$

Полный оборот диска произойдет за время

$$t = \frac{1}{n_d}, \text{ т. е. } t = \frac{1}{0,19} = 5,25 \text{ мин.}$$

Если на диске помещается  $m$  обрабатываемых заготовок в одном ряду, а в диске устанавливается два ряда деталей, то число обработанных в минуту деталей  $q$  выразится формулой

$$q = \frac{2m}{t} \text{ шт.}$$

Для нашего примера при  $m = 64$  число обработанных деталей в минуту будет

$$q = \frac{2m}{t} = \frac{2 \cdot 64}{5,25} = 25,4 \text{ шт.}$$

## § 21. Виды брака и меры его предупреждения

При фрезеровании уступов, прямоугольных шпоночных и шлицевых пазов возможны появления следующих видов брака.

1. Погрешности размеров уступа или паза. Избежать погрешности размеров можно при условии правильной установки, закрепления и выверки обрабатываемой заготовки, а также правильного и вниматель-

ного отсчета размеров при перемещениях стола. Чаще других можно ожидать погрешностей размера уступа или паза по ширине. Для предупреждения этих погрешностей следует перед установкой фрезы измерить ширину дисковых и диаметр концевых и шпоночных фрез.

При выборе фрезы следует учитывать, что ширина паза или шлица, обработанного данной фрезой, всегда будет больше ширины дисковой или прорезной фрезы и больше диаметра концевой или шпоночной фрезы из-за биения инструмента (торцовое биение дисковых и прорезных фрез и радиальное биение концевых и шпоночных фрез).

Во избежание погрешностей размера уступа или паза по ширине можно производить пробные проходы и промеры. После обработки паза или уступа не следует производить перемещений стола с обрабатываемой заготовкой в двух других направлениях, по которым не осуществлялась подача при выполнении данного перехода, так как при этом условии легче будет исправить обнаруженные при измерении погрешности размеров. Если после измерения оказалось, что ширина уступа или паза больше требуемой, то дефект неисправимый.

Если ширина уступа или паза оказалась меньше требуемого размера, то для устранения дефекта необходимо добавить проход с предварительным перемещением стола станка в требуемом направлении на величину погрешности размера по ширине паза или канавки.

Брак по глубине уступов паза, прорезей и шлицев будет тогда, когда их глубина будет больше предусмотренной чертежом. Причина брака — неправильная установка на глубину фрезерования из-за несоблюдения правил установки на глубину или невнимательности при отсчете величин перемещений стола по лимбу.

В случае, когда глубина уступов пазов, прорезей и шлицев окажется меньше требуемой по чертежу, такой дефект можно исправить дополнительным проходом.

Брак по длине может возникнуть при фрезеровании открытых и закрытых пазов, когда эта длина окажется больше предусмотренной чертежом. Причины брака по длине: неправильная установка кулачков включения и выключения продольной подачи стола, несвоевременное выключение продольной подачи при работе с ручным управлением.

Дефекты по длине открытых и закрытых пазов можно исправить, если их длина меньше требуемой по чертежу.

2. Погрешности расположения уступа или паза относительно других поверхностей детали. Для шпоночных пазов эта погрешность проявляется прежде всего в несовпадении оси шпоночной канавки с диаметральной плоскостью вала (не-

симметричность). Причина брака — неправильная установка фрезы относительно вала при фрезеровании паза.

Погрешности расположения вызываются главным образом погрешностями установки обрабатываемой заготовки непосредственно на столе станка, в тисках или приспособлении. Они могут быть следствием непрочного крепления обрабатываемой заготовки, попадания стружки под опорные поверхности заготовок тисков или приспособлений и из-за нежесткого крепления консоли и поперечных салазок.

3. Погрешности формы обработанной поверхности. Эти погрешности появляются в большинстве случаев при обработке фасонных канавок и специальных пазов и выражаются в несоответствии полученного профиля фасонной канавки или паза профилю заданному чертежом. Основной причиной такого несоответствия является неправильный выбор фрезы или неправильная заточка фасонной фрезы с затылованными зубьями (изменение первоначального значения переднего угла). Такой брак является неисправимым.

При правильно выбранной фасонной фрезе, правильной заточке, но при неправильной ее установке относительно обрабатываемой заготовки почти всегда появляется брак. Для предотвращения возможности появления брака при фрезеровании фасонных канавок и специальных пазов надо прежде всего тщательно проверить правильность выбранной фрезы, правильность ее установки на глубину фрезерования.

4. Несоответствия класса шероховатости обработанной поверхности требованиям чертежа. Брак по шероховатости обработанной поверхности при фрезеровании дисковыми, концевыми, шпоночными, фасонными, отрезными и другими фрезами вызывается теми же причинами, что и при фрезеровании цилиндрическими и торцевыми фрезами (см. стр. 41).

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое уступ?
2. Какие дисковые фрезы вы знаете?
3. В каких случаях целесообразно фрезеровать уступы и пазы набором фрез?
4. Каковы преимущества концевых твердосплавных фрез перед фрезами из быстрорежущей стали?
5. Как крепят дисковые и концевые фрезы?
6. Какие виды работ можно выполнить концевыми фрезами?
7. Какие виды шпоночных пазов вы знаете?
8. Какие требования предъявляются к обработанным фрезерованием шпоночным пазам?
9. Какие виды брака могут быть при фрезеровании уступов, прямоугольных шпоночных и шлицевых пазов?



# Фрезерование фасонных поверхностей на универсальных фрезерных станках

## § 22. Общие сведения о фасонных поверхностях

Поверхностью вращения называется поверхность, которая получается от вращения какой-нибудь линии  $AB$ , называемой образующей, вокруг неподвижной прямой  $OO_1$ , называемой осью вращения. При этом любая точка  $M$  образующей  $AB$  остается на постоянном расстоянии от оси  $OO_1$  и, следовательно, сделав полный оборот вокруг нее, возвращается в свое первоначальное положение, т. е. описывает окружность с радиусом  $MN$  и с центром в точке  $N$  (рис. 94, а).

Цилиндрической поверхностью называется поверхность, создаваемая движением некоторой прямой (образующей), перемещающейся в пространстве параллельно данной прямой и пересекающей при этом некоторую кривую (направляющую) (рис. 94, б).

Конической поверхностью называется поверхность, производимая движением прямой (образующей), перемещающейся в пространстве так, что она постоянно проходит через неподвижную точку  $S$  (вершину) и пересекает данную линию (направляющую). Если направляющей будет окружность, то полученная таким образом коническая поверхность является конической поверхностью вращения (рис. 94, в).

**Классификация поверхностей.** В технике находят широкое применение детали с фасонными поверхностями.

Все многообразие фасонных поверхностей можно разделить на следующие типы:

1. Фасонные поверхности вращения (см. рис. 94, а, б, в).
2. Фасонные поверхности замкнутого криволинейного контура с прямолинейной образующей (рис. 94, г). Эти поверхности являются цилиндрическими поверхностями, ограниченными двумя плоскостями (основаниями). От цилиндрических поверхностей тел вращения они отличаются тем, что направляющей таких поверхностей является замкнутая кривая, а не

окружность. Эти поверхности в большинстве случаев представляют собой плоские кулачки.

3. Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной направляющей или, наоборот, с прямолинейной образующей и криволинейной направляющей (рис. 94, д), например, зуб фасонной фрезы, фасонные пазы и др.

4. Пространственно-сложные фасонные поверхности. К этой группе фасонных поверхностей относятся все остальные фасонные поверхности, не вошедшие в предыдущие группы, например, поверхности лопаток турбин, кузовов автомобилей, пресс-форм и т. д. (рис. 94, е).

Поверхности зубьев зубчатых колес и шлицев, поверхности винтовых канавок и резьб также относятся к фасонным поверхностям. Они находят широкое применение в машиностроении и для их обработки применяют, как правило, специальные (реже универсальные) станки и режущие инструменты.

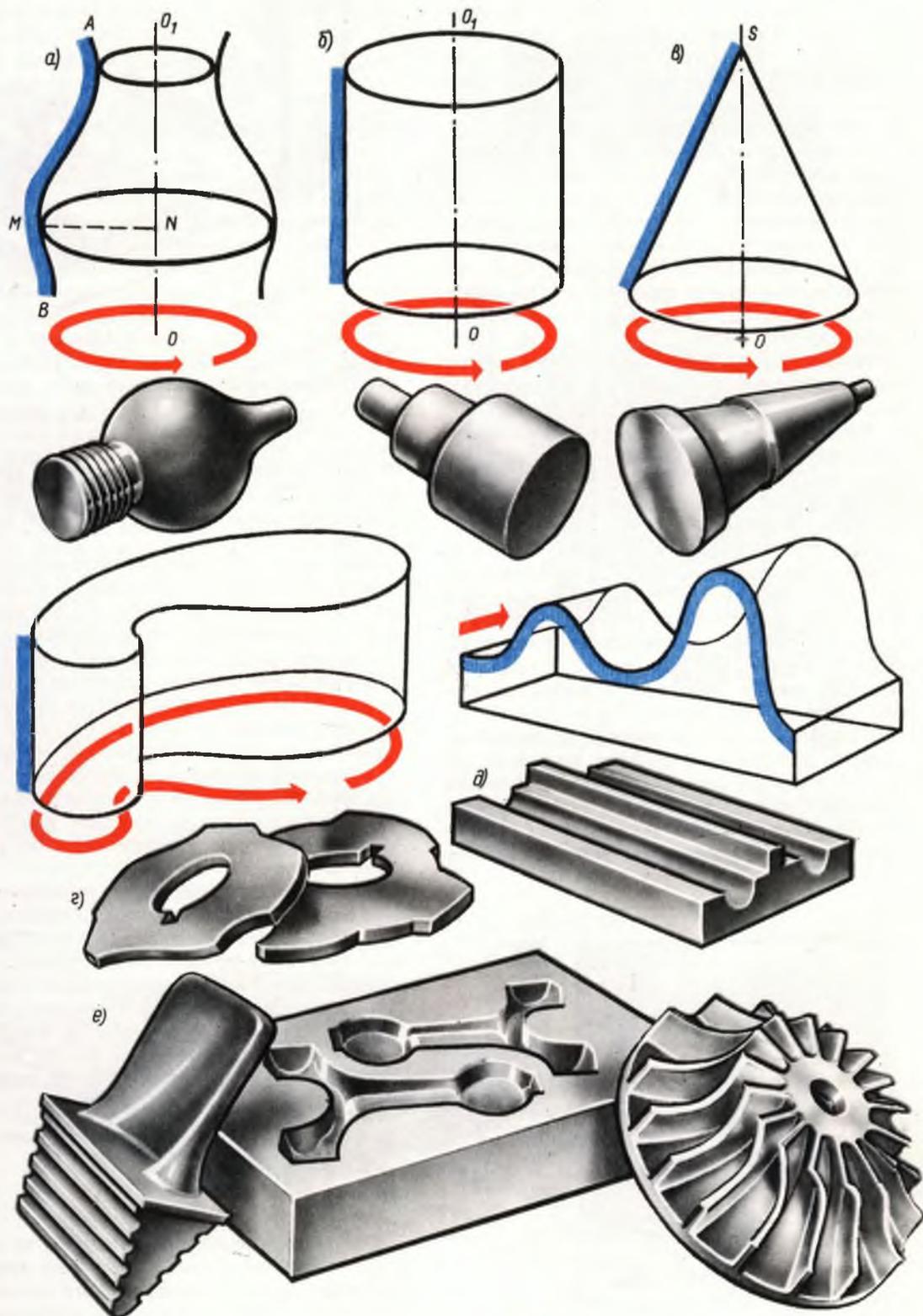
Обработка зубчатых колес и винтовых канавок рассматривается в гл. VIII

Метод обработки фасонных поверхностей зависит от конфигурации, размеров, требуемой точности, материала заготовки, количества обрабатываемых деталей и других условий.

В большинстве случаев такие детали обрабатывают на универсальных фрезерных станках, копировально-фрезерных станках и на фрезерных станках с программным управлением.

## § 23. Фрезерование фасонных поверхностей замкнутого контура

Фасонные поверхности замкнутого контура можно обрабатывать фрезерованием на вертикально-фрезерных станках с помощью: ручного управления по разметке, круглого стола по разметке, накладного копира, копировального фрезерования.



## Фрезерование с помощью ручного управления

Фрезерование фасонной поверхности замкнутого криволинейного контура по разметке с помощью ручного управления заключается в том, что предварительно размеченную заготовку (рис. 95, а) закрепляют либо непосредственно на столе вертикально-фрезерного станка, либо в тисках, либо в приспособлении.

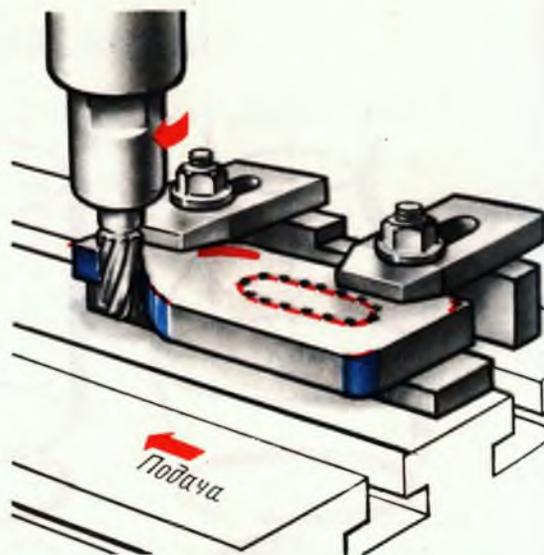
Фрезерование фасонной поверхности производят концевой фрезой путем одновременного перемещения стола в продольном и поперечном направлениях так, чтобы снять лишний слой металла в соответствии с размеченным контуром. Такой метод фрезерования применяется лишь в условиях единичного или мелкосерийного производства и требует высокой квалификации рабочего.

Разберем пример фрезерования замкнутого криволинейного контура прихвата из стали 45 (рис. 95, б).

**Выбор типоразмера фрезы.** Выбираем концевую фрезу с коническим хвостовиком из быстрорежущей стали Р6М5  $D = 36$  мм,  $z = 6$ . Такой фрезой получим заданный радиус закругления контура  $R = 18$  мм.

**Подготовка к работе.** Заготовку следует устанавливать не на столе станка, а на подкладке, закрепив прихватами и болтами, чтобы фреза при обработке не касалась рабочей поверхности стола (рис. 96). При установке заготовки необходимо следить за тем, чтобы стружка не попадала между соприкасающимися плоскостями стола, подкладки и заготовки.

**Настройка станка на режимы фрезерования.** Глубина фрезерования  $t = 3$  мм, подачи на зуб  $s_z = 0,015$  мм/зуб (при работе с механической подачей). Скорость резания для заданных условий обработки по нормативам режимов резания составляет  $v = 40$  м/мин. Ближайшая ступень



96 Фрезерование фасонной поверхности

чисел оборотов шпинделя станка по графику (см. рис. 40) соответствует  $n = 315$  об/мин. Установить лимб коробки скоростей на эту ступень.

Фрезерование фасонной поверхности по разметке производят комбинированием ручных подач (продольной и поперечной). Фрезеровать по контуру начисто за один проход невозможно.

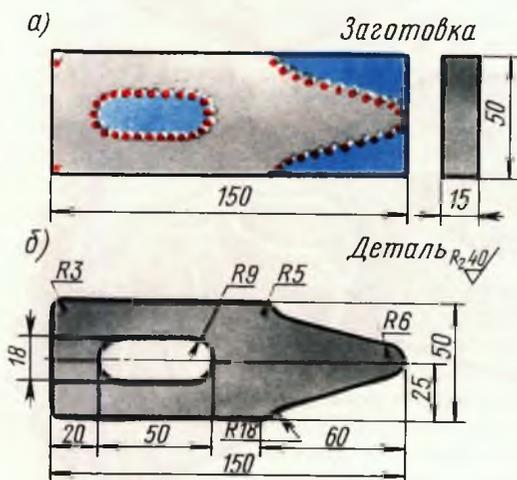
Сначала производят черновое фрезерование. Врезание фрезы должно происходить плавно. Вывод фрезы за границы контура производят ручным управлением поперечной подачей. Фрезерование фасонных поверхностей требует от фрезеровщика постоянного наблюдения за ходом процесса. После того как произведено черновое фрезерование и оставлен небольшой (1—2 мм) припуск, приступают к чистовому фрезерованию.

При чистовом фрезеровании, тщательно следя за разметочной риской, следует производить очень плавные перемещения стола во избежание получения брака по качеству поверхности. При фрезеровании фасонной поверхности в нашем случае (см. рис. 95) особое внимание следует обратить на обработку участков фасонного контура по дугам окружностей  $R6$  и  $R18$ . Способ фрезерования закрытого паза длиной 50 и шириной 18 мм описан ранее (см. стр. 53).

## Фрезерование с применением круглого поворотного стола

Фасонные поверхности фрезеруют на круглом поворотном столе, являющемся принадлежностью вертикально-фрезерного станка.

Круглые поворотные столы выпускают с ручным приводом, с ручным и механическим

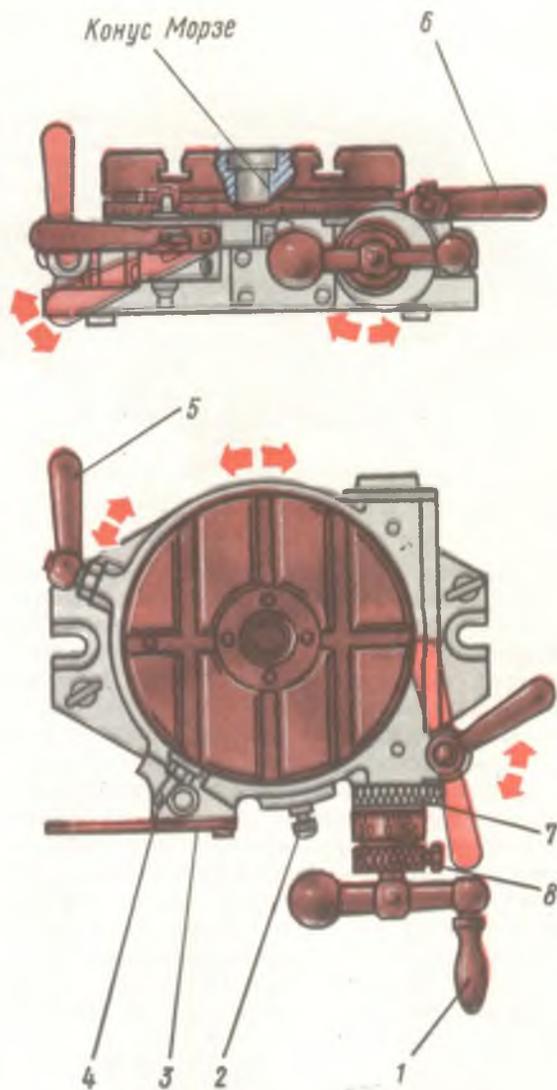


95 Прихват

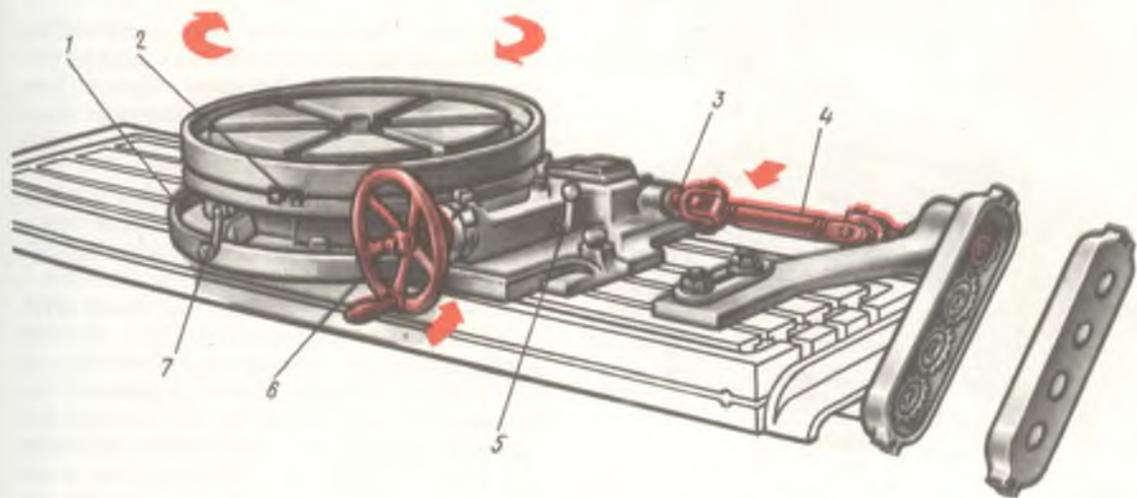
приводом от станка, с приводом от индивидуального электродвигателя. Поворотные столы с ручным приводом нормализованы, имеют общую конструкцию. Диаметры стола 160, 200, 250 и 320 мм. На рис. 97 показан общий вид стола.

Каждый стол состоит из основания (плиты) и поворотной части (планшайбы). Плиту поворотного стола крепят к столу станка с помощью болтов, вставляемых в Т-образные пазы стола. При вращении рукоятки 1 через червячную пару (передаточное отношение червячной пары 1:90) поворачивается поворотная часть стола. После поворота планшайбу жестко закрепляют на плите рукояткой 5. Центральное коническое отверстие с конусом Морзе № 3 или 4 на планшайбе служит для центрирования поворотного стола, а Т-образные пазы — для закрепления приспособлений или заготовок. На боковой поверхности стола нанесены градусные деления для отсчета стола на требуемый угол. Винт 2 служит для фиксации рискоуказателя на круговой шкале стола, а винт 8 — для фиксации лимба на рукоятке 1. Эксцентриковая гильза 7 предназначена для регулировки зазора червячной пары, а также для вывода ее из зацепления в случае, когда нужно быстро повернуть стол на требуемый угол. Стопят гильзу 7 рукояткой 6. Ограничение угла поворота стола производится передвижным регулируемым ограничителем 4 поворота стола, а освобождают ограничитель поворота стола рукояткой 3.

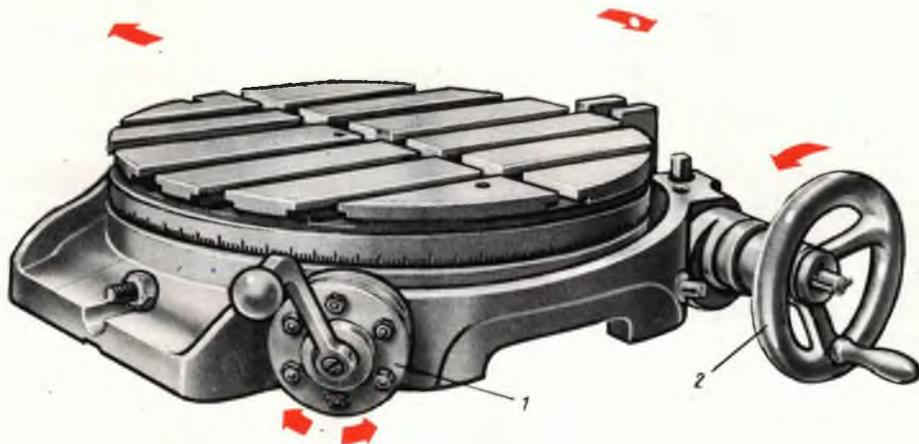
Поворотные столы с ручным и механическим приводом выпускают с диаметрами стола 320, 400, 500 и 630 мм (рис. 98). Эти столы имеют два червяка: один для ручного, другой для механического поворота планшайбы от привода станка. Вручную стол можно вращать маховичком 6.



97 Круглый поворотный стол с ручным приводом



98 Круглый поворотный стол с ручным и механическим приводом



**99** Круглый стол с диафрагменным пневмоприводом для закрепления заготовок

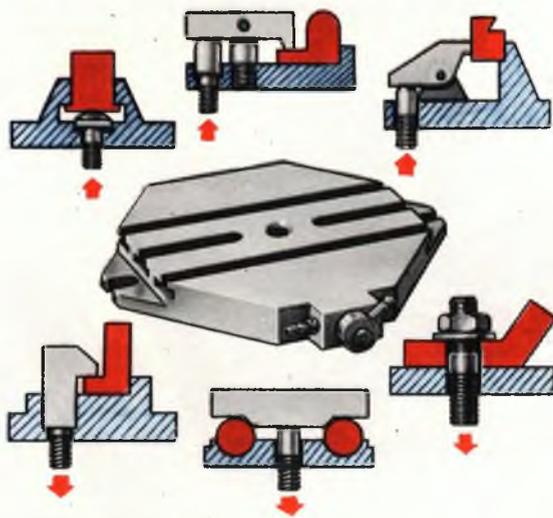
Для привода круглых столов на фрезерных станках моделей 6Н11, 6Р12 и 6Р13 в механизме подачи стола имеется специальный валик. На некоторых моделях консольно-фрезерных станков передача вращательного движения столу осуществляется от ходового винта продольной подачи стола. В обоих случаях вращение планшайбы производится через вал, расположенный под рабочим столом станка параллельно ходовому винту продольной подачи, зубчатую передачу, заключенную в специальной кронштейне, через шарнир 3 и телескопический вал 4. Включение вращения от привода производится рукояткой 5. Каждый стол снабжен кулачками 2, ограничивающими участки круговой обработки, передвигаемыми и закрепляемыми в круговом пазу 1, и реверсивным

механизмом для изменения направления вращения планшайбы. Эти столы как и столы с ручным управлением, имеют стопорное устройство, позволяющее жестко закреплять планшайбу в требуемом положении с помощью рукоятки 7.

На поворотном столе обрабатываемые заготовки закрепляют вручную. Для сокращения вспомогательного времени на крепление заготовок применяют поворотные столы со встроенным пневматическим или гидравлическим приводом. На рис. 99 показан общий вид поворотного стола с диафрагменным пневмоприводом для закрепления обрабатываемых заготовок. Крепление заготовок происходит следующим образом. В столе имеется шток с резьбовым отверстием, в которое винчивают сменные тяги. С помощью этих тяг производят закрепление обрабатываемых заготовок или освобождение их поворотом рукоятки распределительного крана 1. Маховиком 2 осуществляется вращение стола.

На рис. 100 показаны схемы наладок для закрепления заготовок на столе с диафрагменным пневмоприводом. На таких столах заготовки крепят через сменные тяги различных конструкций, винчиваемые в резьбовые отверстия штока стола.

Столы с индивидуальным электроприводом. Вращение стола от привода станка связано с большой затратой времени на наладку станка (установка кронштейна с зубчатыми колесами, установка промежуточного валика с шарнирами и др.). Поэтому целесообразно применять переносный накладной стол с индивидуальным приводом. Его можно установить на любом вертикально-фрезерном станке. Такие столы имеют необходимый комплект сменных зубчатых колес, позволяющих получить требуемую окружную скорость (круговую подачу) планшайбы.



**100** Схемы наладок для закрепления заготовок на столе с диафрагменным пневмоприводом

Рассмотрим наладку и настройку станка на фрезерование кругового Т-образного паза (рис. 101). Материал заготовки — серый чугун (НВ-180). Размеры Т-образного паза прием такими же, как и в ранее рассмотренном примере обработки прямолинейных Т-образных пазов (см. рис. 88). Как и в ранее рассмотренном случае, обработку кругового паза производят за два прохода: сначала фрезеруют прямоугольный паз концевой фрезой, а затем фрезой для Т-образных пазов.

**Установка круглого поворотного стола.** Перед установкой стола необходимо тщательно протереть основание поворотного стола и поверхность станка, на которой его устанавливают. Ввести в соответствующие пазы стола станка с двух сторон прижимные болты с гайками и шайбами и закрепить поворотный стол. Вставить в центральное коническое отверстие круглого поворотного стола центрирующий штифт. Заготовку устанавливают и закрепляют с помощью центрирующего штифта, прихватов или сменных тяг в случае применения стола с пневмоприводом для закрепления заготовок.

При фрезеровании круговых пазов необходимо совместить центр окружности кругового паза с центром поворотного стола. При вращении кругового поворотного стола вокруг вертикальной оси каждая точка заготовки будет перемещаться по окружности радиусом, равным расстоянию этой точки от центра стола.

Кроме совмещения центра оси стола с центром окружности кругового контура необходимо также совместить ось концевой фрезы с осью симметрии паза, иначе говоря, расстояние между центром поворотного стола и центром концевой фрезы должно быть равно радиусу окружности оси паза.

Таким образом, при обработке круговых пазов очень важно правильно установить заготовку. Правильность установки можно проверить путем легкого касания заготовки вращающейся фрезой в двух диаметрально противоположных положениях, т. е. при повороте стола на  $180^\circ$ .

**Настройка станка на режим фрезерования.** Так как размеры Т-образного паза и материал в данном примере выбраны такими же, как и в примере (см. стр. 62), то принимаем те же режимы фрезерования, а именно: при фрезеровании концевой фрезой  $n = 630$  об/мин,  $s_m = 100$  мм/мин; при фрезеровании фрезой для обработки Т-образных пазов — соответственно  $n = 315$  об/мин и  $s_m = 125$  мм/мин.

**Настройка стола на минутную подачу.** При фрезеровании на круглом столе минутная подача определяется по формуле

$$s_m = \pi D n, \quad (8)$$

где  $s_m$  — минутная подача (нормативная), мм/мин;

$D$  — диаметр окружности оси паза, мм;

$n$  — число оборотов круглого стола, об/мин.

Получим формулу настройки для круглого поворотного стола с ручным приводом (см. рис. 97) на заданную величину минутной подачи  $s_m$ .

По формуле (8) можно определить число оборотов заготовки:

$$n = \frac{s_m}{\pi D}. \quad (9)$$

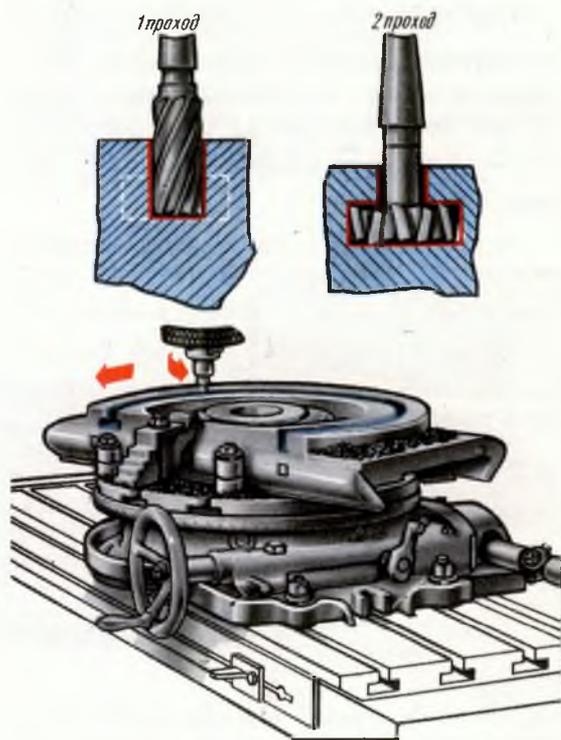
Так как для круглых столов диаметром 160—500 мм передаточное отношение червячной пары равно 1 : 90, то число оборотов рукоятки  $n_p$  поворота стола в минуту должно быть в 90 раз больше, т. е.

$$n_p = \frac{90 s_m}{\pi D}, \quad (10)$$

где  $n_p$  — число оборотов рукоятки поворота стола (планшайбы).

Для стола диаметром 630 мм передаточное отношение червячной пары равно 1 : 120.

Так, для нашего примера при фрезеровании прямоугольного паза концевой фрезой диаметром 18 мм с тремя крупными зубьями и коническим хвостовиком при диаметре окружности оси паза  $D = 250$  мм и  $s_m = 100$  мм/мин число



101 Фрезерование кругового Т-образного паза

оборотов рукоятки поворота стола

$$n_p = \frac{90 \cdot 100}{\pi \cdot 250} = 11,4 \text{ об/мин.}$$

При фрезеровании Т-образной фрезой для таких пазов при  $s_m = 125$  мм/мин соответственно

$$n_p = \frac{90 \cdot 125}{\pi \cdot 250} = 14,7 \text{ об/мин.}$$

Определим формулы настройки стола на заданную минутную подачу  $s_m$  для случая, когда привод вращательного движения стола осуществляется от ходового винта продольной подачи стола с шагом  $t = 6$  мм.

Требуется определить, какую ступень минутных подач станка надо включить, чтобы обеспечить требуемую минутную подачу, исходя из режимов резания.

Если включена какая-то ступень минутных подач станка  $s_{m.ст}$ , то легко определить, сколько оборотов в минуту делает ходовой винт продольной подачи. В самом деле, за один оборот ходового винта с шагом  $t = 6$  мм стол переместится в продольном направлении на величину, равную шагу ходового винта, т. е. на 6 мм. Но у нас включена ступень с продольной подачей, равной не 6 мм, а какой-то величине  $s_{m.ст}$ . Чтобы стол переместился на эту величину за одну минуту, ходовой винт должен сделать  $\frac{s_{m.ст}}{t}$  оборотов.

При передаточном отношении стола, равном единице, столько же оборотов, т. е.  $\frac{s_{m.ст}}{t}$ , сделает и червяк стола. За один оборот червяка стол повернется на  $\frac{1}{90}$  часть оборота, за  $\frac{s_{m.ст}}{t}$  оборотов он повернется на  $\frac{s_{m.ст}}{90 \cdot 6}$  оборота, т. е.  $\frac{s_{m.ст}}{540} \cdot t$ .

За один оборот стола точка, лежащая на расстоянии от центра стола, пройдет путь, равный  $\pi D$ , а за  $\frac{s_{m.ст}}{540}$  оборота в минуту она пройдет путь, равный  $\frac{s_{m.ст} \cdot \pi D}{540}$  мм. По условию требуется, чтобы указанная точка сделала путь, равный  $s_m$ .

Отсюда получаем уравнение настройки стола на требуемую минутную подачу:

$$\frac{s_{m.ст} \cdot \pi D}{540} = s_m$$

$$s_{m.ст} = \frac{540 s_m}{\pi D}$$

Произведем настройку круглого стола на требуемую минутную подачу при фрезеровании Т-образного паза. При фрезеровании концевой

фрезой с  $s_m = 100$  мм/мин

$$s_{m.ст} = \frac{540 \cdot 100}{\pi \cdot 250} = 68,7 \text{ мм/мин.}$$

Принимаем ближайшую ступень минутных подач  $s_{m.ст} = 50$  мм/мин. Для фрезерования фрезой для Т-образных пазов имеем

$$s_{m.ст} = \frac{540 \cdot 125}{\pi \cdot 250} = 86,5 \text{ мм/мин.}$$

Ближайшая ступень минутных подач — 80 мм/мин.

Настройка круглых столов с индивидуальным электроприводом на требуемую минутную подачу при фрезеровании фасонных поверхностей, контур которых представляет собой дуги сопряженных окружностей различных диаметров, производится путем подбора соответствующих сменных зубчатых колес для различных участков контура.

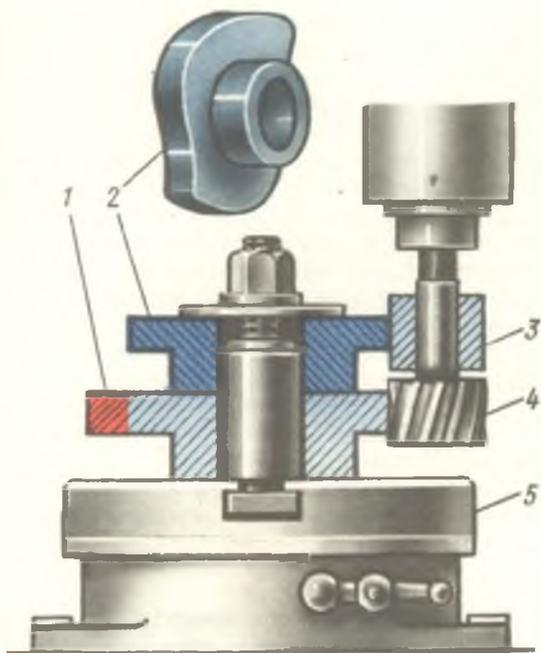
Непрерывное фрезерование на круглом вращающемся столе (см. рис. 101) является одним из наиболее производительных методов обработки деталей фрезерованием, так как в этом случае вспомогательное время перекрывается машинным, т. е. процесс фрезерования происходит непрерывно, без остановки для загрузки и снятия детали.

#### Фрезерование по накладным копирам

Этот метод применяется в условиях единичного и мелкосерийного производства при обработке фасонных поверхностей замкнутого криволинейного контура — дисковых кулачков и деталей с фасонным и прямолинейным контуром. На рис. 102 показана наладка для обработки кулачка на вертикально-фрезерном станке с поворотным столом.

Обработка по замкнутому контуру осуществляется концевой фрезой, которой сообщается траектория движения, соответствующая заданному контуру обрабатываемой детали. Требуемая форма заготовки 1 достигается с помощью накладного копира 2. Накладной копир представляет собой дисковый кулачок, профиль которого повторяет профиль обрабатываемой детали. Копир накладывают на заготовку и крепят в оправке вместе с ней. Оправку вставляют в центральное отверстие поворотного стола 5. На хвостовике концевой фрезы 4 устанавливают закаленный ролик 3 с наружным диаметром, равным диаметру фрезы. Фрезерование осуществляется при одновременном вращении стола 5 (с ручным или механическим приводом) и ручном управлении рукоятками продольной и поперечной подач, которые координируются таким образом, чтобы обеспечить постоянный контакт ролика с копиром. Если

**Копировальное фрезерование  
фасонных поверхностей  
замкнутого контура  
на вертикально-фрезерных станках**



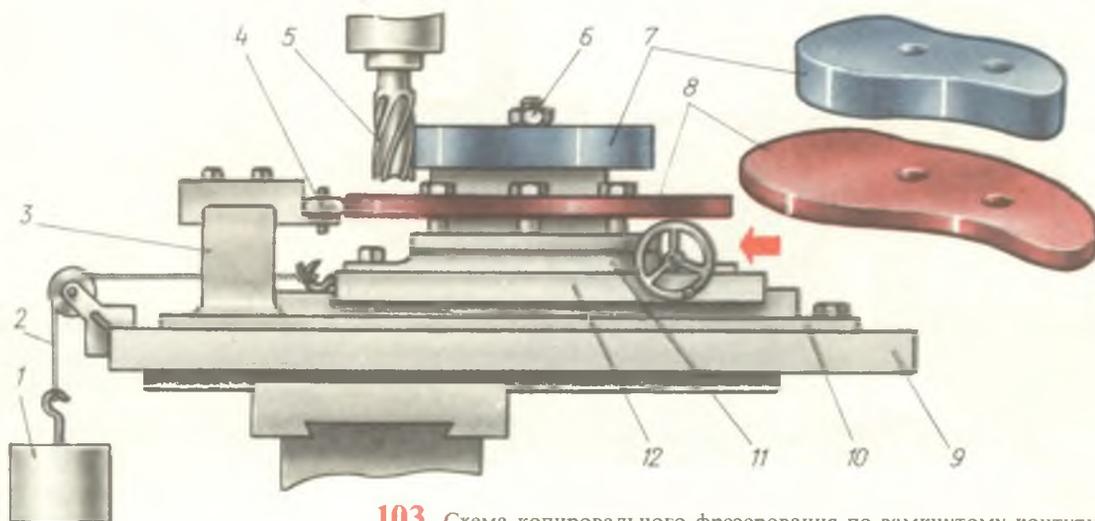
**102** Фрезерование кулачка по накладному копиру

ролик все время катится по копиру, то фреза точно воспроизведет профиль копира. При этом методе обычно достигается точность профиля обработанного кулачка в пределах 0,05—0,15 мм. При таком методе обработки кулачков брак практически исключается, так как фреза, направляемая роликом по копиру, не может «зарезать» контур детали. Чтобы не было искажения профиля детали после каждой переточки фрезы, ролик также следует шлифовать на размер переточенной фрезы.

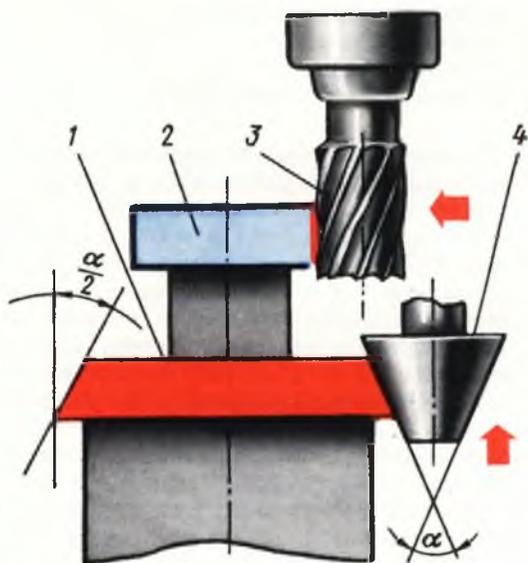
Сущность копировального фрезерования состоит в том, что обрабатываемой заготовке сообщают движение по определенной программе в соответствии с формой контура обрабатываемой детали. На рис. 103 приведена схема копировального фрезерования фасонной поверхности замкнутого контура (кулачка). На стол 9 вертикально-фрезерного станка устанавливают плиту 10. По ее направляющим свободно перемещается под действием груза 1 плита 12. На плите 12 установлен поворотный стол 11 с приспособлением. На оси стола закреплены с помощью болта и гайки 6 копир 8 и заготовка 7. На плите 10 установлена стойка 3 с копировальным роликом 4. Под действием груза 1 обеспечивается постоянный контакт между роликом 4 и копиром 8, так как груз 1 прикреплен тросом 2 к плите 12. В процессе фрезерования столу 11 вместе с заготовкой сообщается вращательное движение.

Получение фасонной поверхности криволинейного замкнутого контура достигается тем, что копир 8 имеет профиль, соответствующий профилю детали. При этом винт продольной подачи стола станка отсоединяют и перемещение стола в продольном направлении задается профилем копира, прижатого к кулачку. Обработка фасонной поверхности кулачка производится за один оборот стола (заготовки).

После переточки фрезы 5 диаметр ее уменьшается и, следовательно, при обработке такой фрезой деталь будет получаться «полнее», т. е. с контуром больших размеров.



**103** Схема копировального фрезерования по замкнутому контуру



**104** Компенсация износа ролика и копира

Компенсация износа фрезы 3 и неточности изготовления копира 1 достигается тем, что ролик 4 изготавливают коническим (с углом конуса  $\alpha$ ), а не цилиндрическим (рис. 104), копира — наклонным с углом  $\frac{\alpha}{2}$ . Такая форма ролика и копира позволяет компенсировать износ фрезы подъемом ролика на величину, при которой размеры обрабатываемой детали 2 достигнут первоначальных, как при обработке неизношенной фрезой. Применение конического ролика желательно также при обработке кулачков по накладному копиру (см. рис. 102).

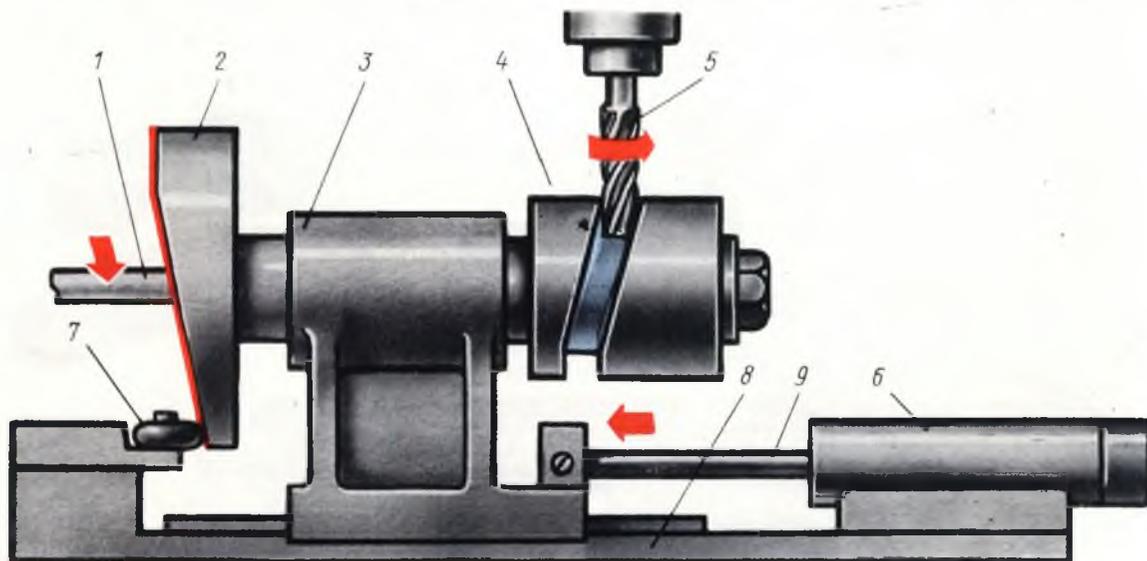
На рис. 105 приведена схема для фрезерования концевой фрезой 5 замкнутых канавок по цилиндрической поверхности с переменным шагом (цилиндрические кулачки). В стойке 3 перемещается шпиндель 1, получающий равномерное вращательное движение от привода подачи стола. На шпиндель жестко посажен торцовый копира 2. На правом конце шпинделя установлен патрон, в котором крепится заготовка 4. Стойка 3 перемещается по направляющим плиты 8, закрепленной на столе вертикально-фрезерного станка. Программа этого движения задается профилем копира 2, в который упирается ролик 7. Постоянный контакт ролика и копира обеспечивается пружиной или пневмоцилиндром 6, поршень которого через шток 9 соединен со стойкой 3.

Такие поверхности можно фрезеровать на станках с программным управлением (см. гл. XII).

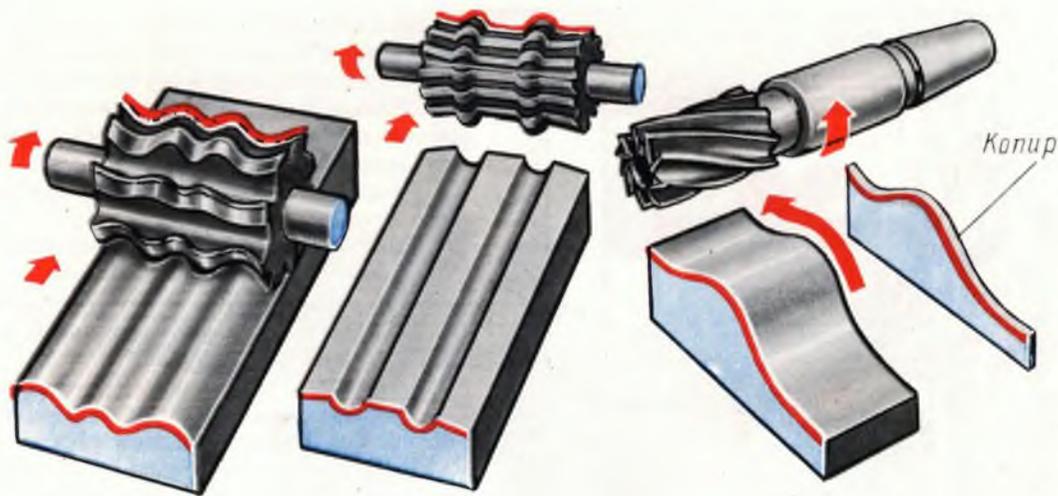
## § 24. Фрезерование фасонных поверхностей незамкнутого контура

На рис. 106 приведены некоторые детали с фасонными поверхностями рассматриваемого типа. Такие поверхности могут быть обработаны фрезерованием на обычных фрезерных станках фасонными фрезами или, в отдельных случаях, цилиндрическими фрезами с применением копирующих приспособлений, а также на копирующе-фрезерных станках и на станках с программным управлением.

**Фрезерование фасонными фрезами.** Фасонные фрезы применяют при обработке самых разнообразных фасонных поверхностей незамкнутого контура с криволинейной образующей и



**105** Схема копирующего фрезерования канавок по замкнутому контуру



**106** Детали с фасонными поверхностями незамкнутого контура с прямолинейной образующей

прямолинейной направляющей, а также для образования стружечных винтовых канавок режущих инструментов (фрез, сверл, разверток, метчиков и др.).

Следует отметить, что в ряде случаев фасонная фреза является единственным инструментом, при помощи которого может быть образован сложный фасонный профиль детали.

Профиль зуба фасонных затылованных фрез должен соответствовать фасонному профилю детали. Это достигается при условии, что передний угол  $\gamma$  фрезы будет равен нулю. Как видно из рис. 107, наличие переднего угла  $\gamma$  увеличивает высоту профиля фрезы на величину  $x$ . Поэтому если при расчете фрезы задан какой-то положительный передний угол для данных условий обработки (например,  $\gamma = 5^\circ$ ), то необходимо произвести корректирование профиля зуба фрезы, т. е. найти сокращенный профиль фрезы. Сокращенный (корректированный) на величину  $x$  профиль зуба фрезы с заданным передним углом  $\gamma$  дает требуемый профиль готовой детали. При заточке затылованных фрез по передней поверхности не следует изменять значение переднего угла, принятого при расчете и конструировании фрезы, во избежание искажения фасонного профиля детали. На торце фрезы должно быть клеймо — величина переднего угла  $\gamma$ .

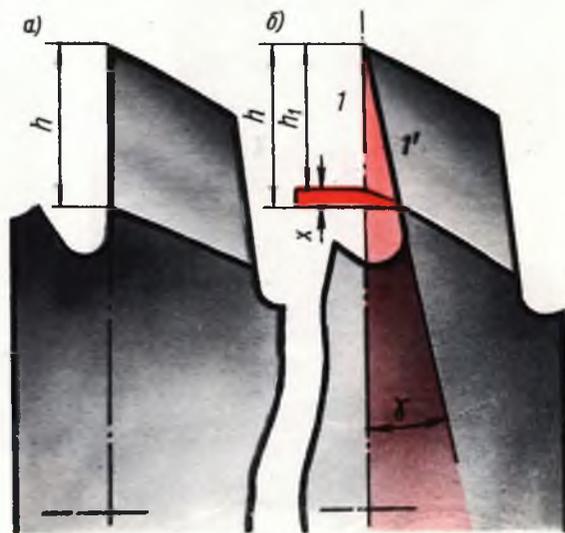
Точность фасонного профиля обработанной детали зависит непосредственно от точности профиля фрезы. Все погрешности профиля инструмента сказываются на обработанной детали. Профиль фасонной фрезы проверяют по шаблону.

Фасонные фрезы в зависимости от метода образования задней поверхности разделяются на две группы: затылованные — с задними поверхностями зубьев, образованными архимедо-

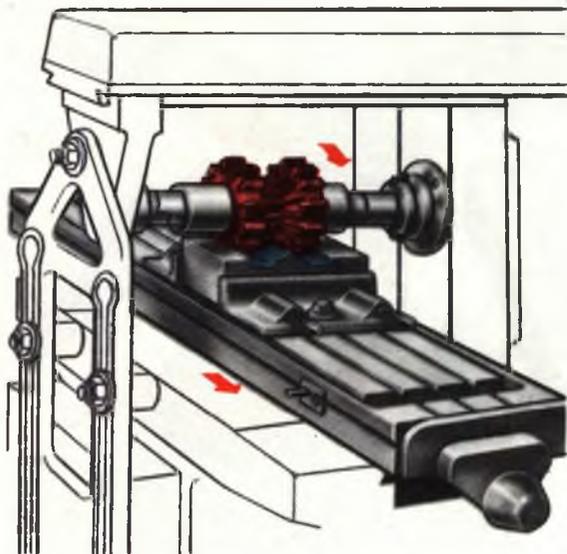
вой спиралью (см. рис. 8, б) и острозаточенные (незатылованные, см. рис. 8, а). Затылованные фасонной фрезы для сохранения профиля зубьев при переточке затачивают по передней поверхности.

В массовом производстве чаще применяют острозаточенные фасонные фрезы, так как они обеспечивают большую производительность и более высокий класс шероховатости обработанной поверхности. Острозаточенные фасонные фрезы затачивают по задней поверхности. Однако трудоемкий процесс изготовления и заточки фрез, а также необходимость тщательного контроля профиля фрез после каждой переточки ограничивают их применение.

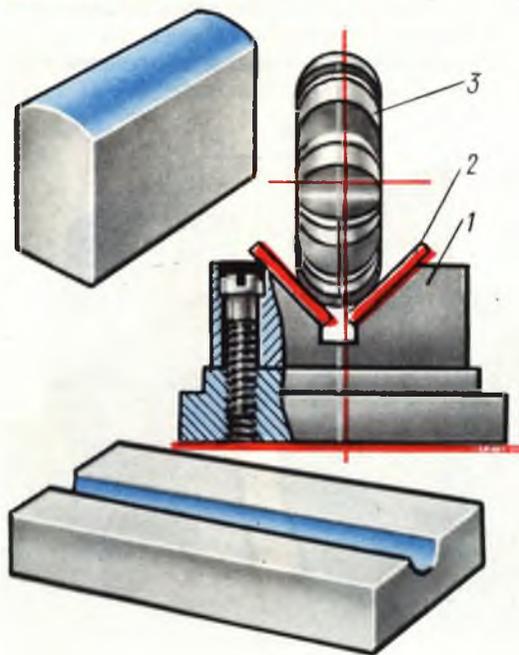
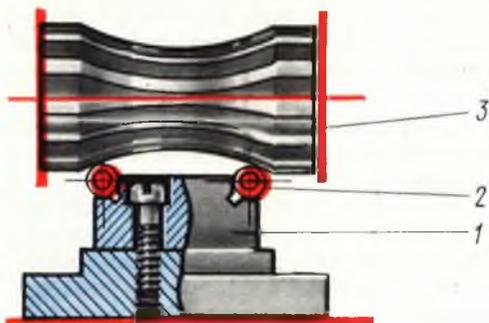
Обычно фасонные фрезы изготавливают из быстрорежущей стали. Фасонные фрезы, осна-



**107** Искривление профиля при наличии положительного переднего угла



**108** Фрезерование фасонной поверхности набором фрез



**109** Установка фасонных фрез по габариту

шенные пластинками твердого сплава, не получили пока широкого применения из-за трудности получения пластинки фасонного профиля и ее заточки. В настоящее время спроектировано несколько типов фасонных фрез, оснащенных круглыми неперетачиваемыми твердосплавными пластинками для обработки деталей сложного профиля.

Фасонные фрезы изготовляют цельными и сборными (со вставными зубьями).

Применение фасонных фрез особенно эффективно при обработке узких и длинных фасонных поверхностей.

Для обработки широких профилей применяют наборы из двух и более фасонных затылованных или острозаточенных фрез.

На рис. 108 показан набор фасонных фрез из стали Р6М5 для фрезерования детали на горизонтально-фрезерном станке.

Диаметр крайних фрез 125 мм, число зубьев  $z = 12$ . Диаметр средних фрез 80 мм с числом зубьев  $z = 8$ . Материал заготовки — серый чугун,  $HB = 180$ .

Установка набора фасонных фрез 3 может производиться по габариту 2 на призме 1 (рис. 109). При этом, как указывалось ранее, по габариту устанавливают только одну фрезу.

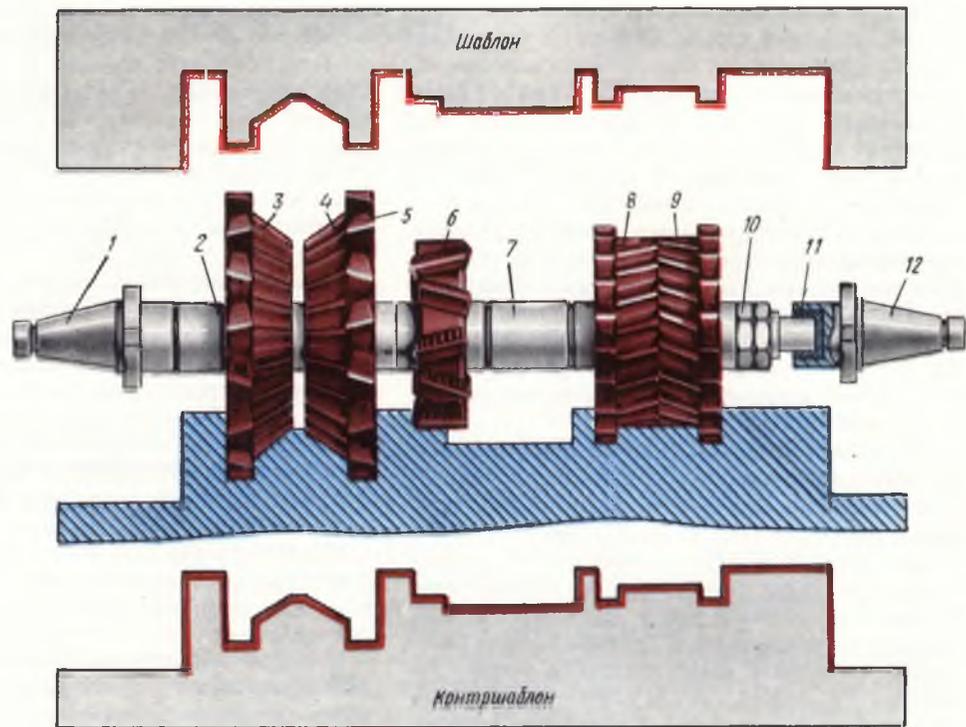
Так как все четыре фрезы вращаются с одним и тем же числом оборотов, то скорость резания фрез меньшего диаметра будет меньше скорости резания крайних фрез большего диаметра.

Выбор числа оборотов шпинделя станка производится следующим образом. Сначала определяют оптимальную скорость резания для каждой фрезы комплекта. По скорости резания и диаметру фрезы находят число оборотов шпинделя станка для каждой фрезы набора. Из полученных значений чисел оборотов выбирают наименьшее значение, так как в противном случае для фрезы, по которой выбрано число оборотов (лимитирующая фреза), другие значения чисел оборотов давали бы завышенную скорость резания, а следовательно, малую стойкость.

Минутная подача также назначается по лимитирующему инструменту, т. е. по наименьшему ее значению. Это значит, что для каждой фрезы комплекса назначают максимально допустимую подачу на зуб. Число зубьев каждой фрезы известно.

Так как число оборотов для всех фрез набора одинаковое, то можно определить по формуле (3) подачу на один оборот для каждой фрезы. И из всех значений подач на один оборот  $s_0$  принять наименьшее (лимитирующее), далее следует определить минутную подачу по формуле (4). Может случиться, что число оборотов шпинделя фрезы ограничивается одной фрезой, а минутная подача  $s_m$  — другой.

Контроль фасонного профиля обработанной поверхности производят при помощи шаб-

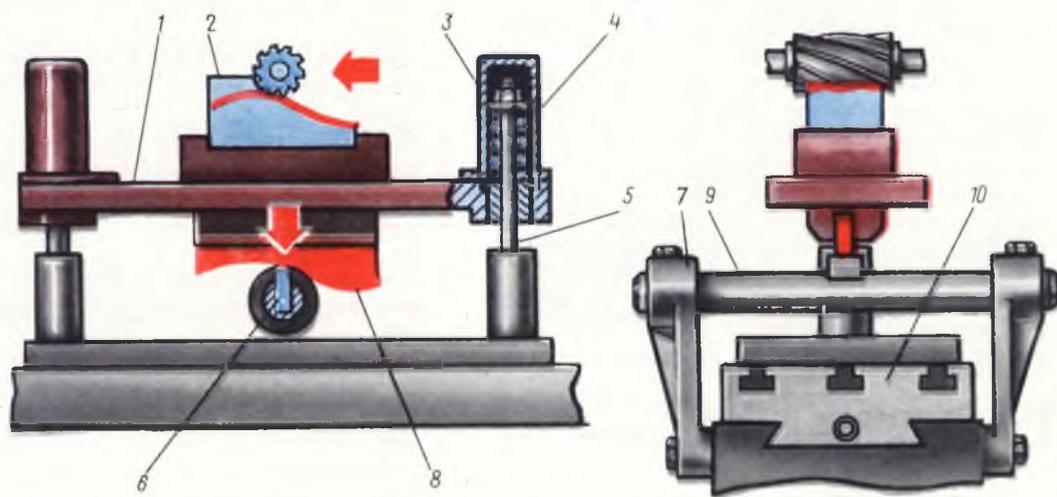


**110** Набор фрез, профиль детали, шаблон и контршаблон

лона. Для проверки фрез служит контршаблон, изготовленный из листового материала в соответствии с профилем детали.

Во избежание брака необходимо клеить фрезу, шаблон и контршаблон. На рис. 110 показаны набор фрез, шаблон и контршаблон, применяемые при фрезеровании фасонной поверхности детали с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей.

Оправка с набором фрез, разработанная Воронежским станкостроительным заводом имени 50-летия Ленинского комсомола, предназначена для обработки деталей сложного профиля из трех- и четырехшпиндельных продольно-фрезерных станках. На оправке 1 закрепляют комплект фрез: 3, 4, 5, 6, 8 и 9. Между фрезами устанавливают распорные втулки 2 и 7. Весь набор крепят гайками 10. Диаметр и про-



**111** Схема копирующего приспособления для фрезерования фасонной поверхности цилиндрической фрезой

филь фрез выбирают в соответствии с профилем обрабатываемой детали. Оправку 1 устанавливают в один горизонтальный шпиндель станка, поддерживающую оправку 12 — в другой горизонтальный шпиндель. Шлифованный цилиндрический хвостовик оправки 1 входит в бронзовую втулку 11 оправки 12. Оправка 1 получает вращение от одного шпинделя, оправка 12 — от второго шпинделя станка. Происходит одновременное вращение всего набора. Втулка 11 работает только при пуске и выключении станка. Подобные наборы фрез позволяют значительно повысить производительность обработки деталей сложного профиля при обработке на горизонтально-фрезерных или продольно-фрезерных станках.

Фасонные поверхности незамкнутого контура с прямолинейной образующей и криволинейной направляющей могут быть обработаны цилиндрической фрезой. Однако криволинейная направляющая (контур) в этом случае должна быть образована плавной кривой с достаточно большими радиусами закруглений. Кроме того, ширина обрабатываемых деталей должна перекрываться длиной цилиндрической фрезы. Такие детали можно обрабатывать на горизонтально-фрезерном станке с помощью копировального приспособления. На рис. 111 приведена схема такого приспособления. Заготовку 2 устанавливают на плите 1, на которой снизу закреплен копир 8. Плита 1 может перемещаться вверх и вниз по двум стойкам 5.

На двух кронштейнах 7, закрепленных на поперечных салазках, смонтирован стержень 9 с пальцем 6. Под действием двух пружин 4 копир 8 будет всегда прижат к пальцу 6. При продольном перемещении стола 10 палец 6 в зависимости от профиля копира то поднимает, то опускает плиту 1 с обрабатываемой заготовкой 2. Таким образом, будет профрезерована фасонная поверхность по заданному профилю копира. Пружины 4 закрыты колпачками 3, которые предохраняют их от засорения.

**Фрезерование пространственно-сложных фасонных поверхностей.** Пространственно-сложные фасонные поверхности, как правило, ни в одном из сечений двумя взаимно перпендикулярными плоскостями не образуют прямолинейного контура. Они не могут быть получены фрезерованием фасонными фрезами. Такие поверхности обрабатывают на копировально-фрезерных станках (см. § 39) или на станках с программным управлением (см. гл. XII) координатными (пальцевыми) фрезами.

## § 25. Виды брака и меры его предупреждения

Основным видом брака при обработке фасонных поверхностей является несоответствие профиля обработанной поверхности профилю,

заданному чертежом. Погрешности профиля возникают по следующим причинам.

При обработке концевыми фрезами с ручным управлением — из-за низкой квалификации рабочего, недостаточно точно выполненной разметки, невнимательности фрезеровщика.

При обработке по копиру погрешности профиля могут быть вызваны погрешностью изготовления самого копира или потерей размера фрезы после ее переточки.

В случае обработки фасонных поверхностей фасонными фрезами погрешности профиля могут быть вызваны погрешностями профиля инструмента или изменениями его геометрических параметров (переднего угла  $\gamma$ ) после переточки. Для предупреждения брака по этой причине перед фрезерованием необходимо убедиться в правильности профиля выбранной фрезы и ее заточки. Реже погрешности формы могут возникнуть в результате неправильной установки обрабатываемой заготовки относительно фрезы, неправильного комплектования набора фрез или неправильной установки на глубину фрезерования.

Брак по шероховатости поверхности возникает в результате тех же причин, что и при фрезеровании плоскостей, пазов и уступов. Исправление подобных дефектов практически невозможно, поэтому в процессе фрезерования следует не превышать подачи на зуб, указанной в операционных картах, не доводить фрезу до большого затупления, не производить обработку фасонными фрезами на станках пониженной жесткости и виброустойчивости.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируют фасонные поверхности?
2. Для чего предназначены круглые поворотные столы?
3. Какие преимущества имеет поворотный стол с индивидуальным приводом?
4. Какие вы знаете правила установки круглого стола?
5. Как произвести настройку на режим фрезерования при обработке заготовок на круглом столе?
6. Что такое непрерывное фрезерование?
7. Как производится фрезерование по накладным копиям?
8. Какие схемы копировального фрезерования вы знаете?
9. Каковы преимущества и недостатки фасонных фрез с затылованным и острозаточенным зубом?
10. Каковы особенности настройки на режим фрезерования при фрезеровании набором фрез?
11. Как обеспечить требуемый класс шероховатости поверхности детали?
12. Какие основные виды брака могут быть при обработке фасонных поверхностей и меры его предупреждения?

# Основы построения 5 технологического процесса механической обработки деталей

## § 26. Понятие о производственном и технологическом процессах и их элементах

Производственный процесс представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

В производственный процесс входят не только основные, непосредственно связанные с изготовлением деталей и сборкой изделий, но и все вспомогательные процессы, обеспечивающие возможность изготовления продукции (например, транспортирование материалов и деталей, контроль деталей, изготовление приспособлений и инструмента, ремонт оборудования, заточка инструмента и т. д.).

Технологическим процессом механической обработки называют часть производственного процесса, непосредственно связанную с изменением формы, размеров или свойств обрабатываемой заготовки, выполняемую в определенной последовательности.

Технологический процесс состоит из ряда операций. Операцией называют законченную часть технологического процесса обработки одной или нескольких одновременно обрабатываемых заготовок, выполняемую на одном рабочем месте одним рабочим или бригадой. Операция начинается с момента установки заготовки на станок, включает всю последующую ее обработку и снятие со станка. Операция является основным элементом при разработке, планировании и калькуляции технологического процесса обработки заготовок или сборки машин. Операцию можно выполнять за одну или несколько установок заготовки.

Установом (установкой) называют часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок.

Позицией называется фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента

или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Операция может быть выполнена за один или несколько переходов.

Переходом (технологическим переходом) называется часть операции, которая характеризуется неизменностью обрабатываемой поверхности, режущего инструмента и режима работы станка (число оборотов, подача и глубина резания).

Следующий переход начинается тогда, когда изменится какой-либо из этих параметров.

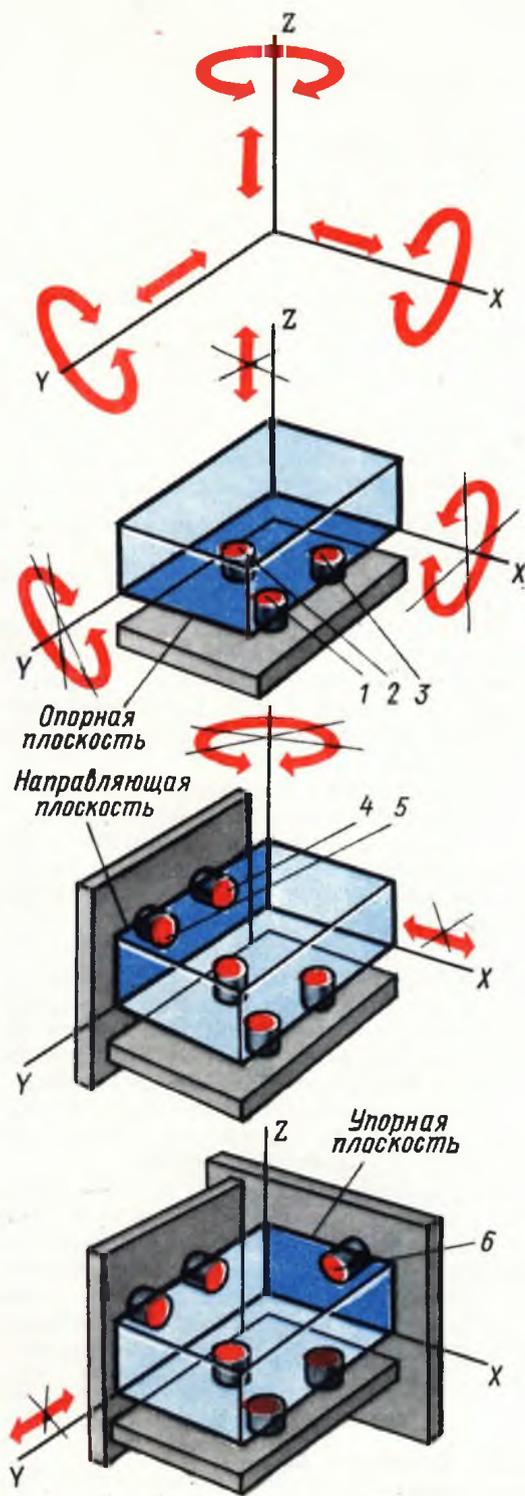
Если производится одновременная обработка нескольких поверхностей (например, фрезерование набором фрез), то такой переход называется сложным переходом.

Проходом называется часть перехода, когда снимается слой материала без изменения настройки станка. Переход состоит из нескольких одинаковых, следующих друг за другом проходов. Например, черновое фрезерование плоскости с большим припуском на обработку может быть произведено за два и более проходов (с одинаковой глубиной резания, минутной подачей и числом оборотов фрезы).

Вспомогательный переход — часть операции, состоящая из действия человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода (например, установка заготовки, закрепление фрезы на оправке, смена, подвод и отвод инструмента и т. д.).

## § 27. Понятие о базах и их выборе

При разработке технологического процесса механической обработки важным является правильное базирование заготовки.



**112** Схема установки призматической заготовки на шесть точек

Под термином *база* понимают совокупность поверхностей, линий или точек, по отношению к которым ориентируются другие поверхности данной детали или другие детали изделия при их обработке, измерении или сборке.

Базированием заготовки называют установку и закрепление ее в определенном положении относительно станка и режущего инструмента. От правильности расположения заготовки относительно станка и режущего инструмента будет зависеть точность размера, точность геометрической формы и взаимного расположения обработанных поверхностей.

Различают базы конструкторские и технологические. Конструкторскими базами называют поверхности, линии и точки на чертежах, от которых проставлены размеры. Поверхности, используемые в технологическом процессе механической обработки и сборки, называют технологическими базами. Они подразделяются на установочные, сборочные и измерительные.

Установочными базами называют поверхности обрабатываемой заготовки, используемые при установке ее в приспособлении или непосредственно на станке. В первой стадии механической обработки, когда ни одна поверхность заготовки еще не обработана, ее устанавливают на необработанные поверхности, которые называют *черновыми базами*. Обработанные поверхности, используемые для закрепления заготовки на станке при выполнении последующих операций, называют *чистовыми базами*.

Измерительными базами называют те поверхности или сочетание поверхностей, линий и точек, от которых производят отсчет размеров при измерении деталей.

Для выполнения большинства операций обработки заготовки стараются использовать одну и ту же базу.

Если невозможно обработать все поверхности заготовки с одной установки или в случае, когда деталь обрабатывается на различных станках, можно менять установочные базы.

Однако каждый переход от одной базы к другой увеличивает накопление погрешностей базирования — погрешностей положения обрабатываемой детали относительно станка, приспособления и инструмента. При выборе баз различного назначения надо стремиться использовать одну и ту же поверхность в качестве различных баз, так как это способствует повышению точности обработки и измерения. Например, целесообразно в качестве измерительной базы использовать установочную базу.

При выборе черновых баз нужно исходить из следующих основных положений:

1. Для заготовок, не обрабатывающихся кругом, следует, как правило, использовать в качестве черновой базы поверхность, которая

не будет обрабатываться вовсе. Это позволит получить наименьшую погрешность относительно обработанных поверхностей.

2. При обработке заготовок кругом следует принимать за черновые базы такие поверхности, которые имеют наименьший припуск на обработку. Это позволит избежать брака из-за недостатка припуска на принятую за базу обрабатываемую поверхность.

3. Поверхности, принятые за черновые базы, должны позволять надежно закрепить заготовку, чтобы производить обработку при заданных режимах резания.

При выборе чистовых баз следует руководствоваться следующими основными положениями:

1. При обработке точных деталей за чистовую базу следует по возможности принимать ту поверхность, по которой готовая деталь устанавливается при сборке машин.

2. Чистовые базы должны обеспечивать наименьшие деформации заготовки при ее закреплении и обработке.

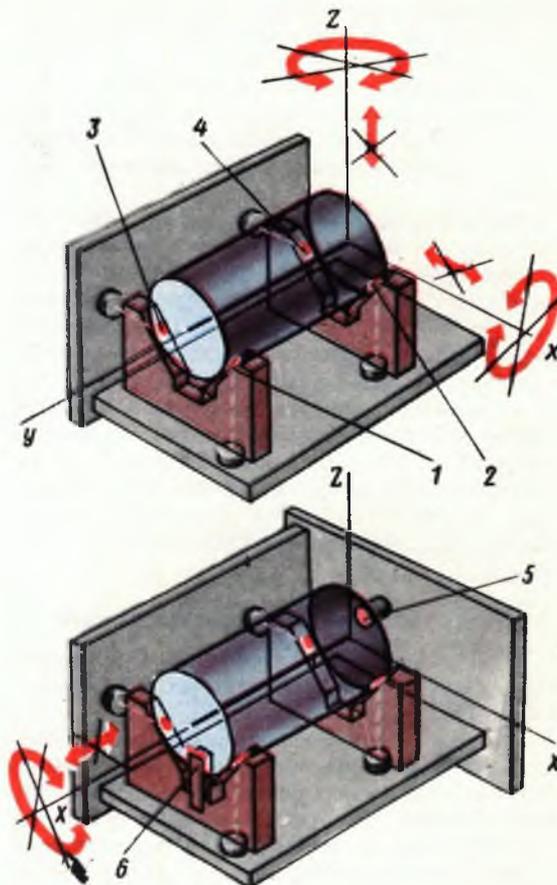
**Базирование обрабатываемых деталей.** Из механики известно, что каждое абсолютно твердое тело в пространстве имеет шесть степеней свободы, т. е. оно может перемещаться в трех взаимно перпендикулярных направлениях по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  и поворачиваться вокруг этих осей. Чтобы однозначно определить положение твердого тела в пространстве, надо лишить его этих шести степеней свободы.

При установке заготовки на станке необходимо обеспечить вполне определенное ее положение относительно режущего инструмента, так как от этого в значительной мере зависит точность обработанной детали. На рис. 112 показана схема установки на шесть точек заготовки, имеющей форму параллелепипеда. Нижней опорной базой заготовку устанавливают на три точки (штифта) 1, 2 и 3. Заготовка при этом лишилась трех степеней свободы, а именно: поворота вокруг осей  $x$ ,  $y$  и перемещения вдоль оси  $z$ . Прижав заготовку к двум боковым точкам (штифтам) 4 и 5, мы лишаем ее еще двух степеней свободы — поворота вокруг оси  $z$  и перемещения вдоль оси  $x$ . Чтобы лишить заготовку последней, шестой, степени свободы — перемещения вдоль оси  $y$ , достаточно упорную плоскость прижать к штифту 6. Таким образом, для получения вполне определенной установки заготовки в приспособлении необходимо и достаточно иметь шесть опорных точек, из которых три — в опорной плоскости, две — в направляющей и одна — в упорной. Это правило в технологии машиностроения носит название «правила шести точек».

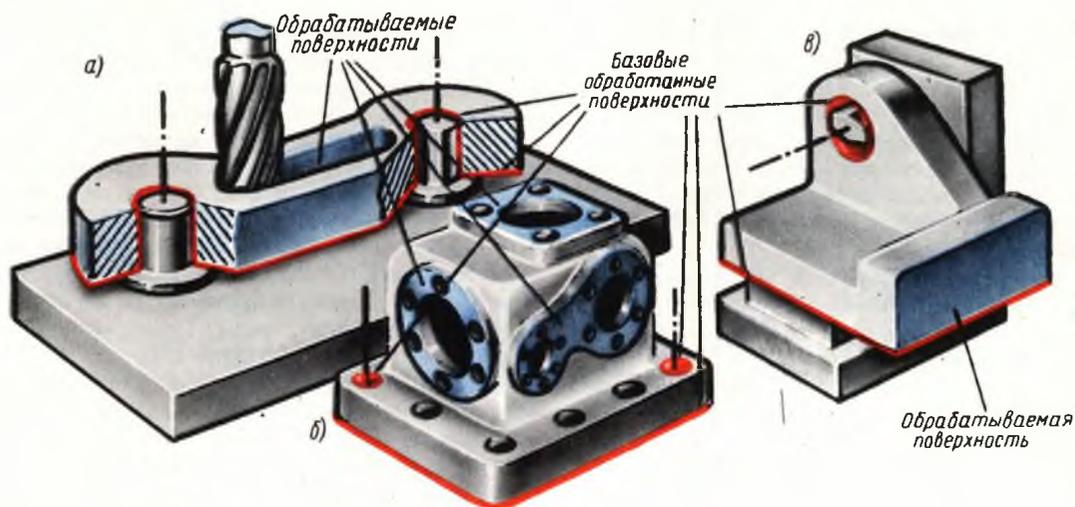
При базировании цилиндрической детали на призму (рис. 113) она лишается четырех степеней свободы четырьмя неподвижными одноточечными опорами 1, 2, 3 и 4. Оставшихся двух степеней свободы — перемещение детали

вдоль оси  $y$  (вдоль призмы) и вращение детали вокруг своей оси — она лишается с помощью еще двух одноточечных опор 5 и 6. Для этого необходимо в точке 5 поставить упор, а в точке 6 — шпонку. Ступенчатые валы нельзя устанавливать на две неподвижные призмы, как показано, например, на рис. 75. В этом случае неточность размеров по диаметрам ступеней вала, полученная после их токарной обработки, будет изменять положение оси вала по высоте. Поэтому при установке ступенчатых валов следует применять одну призму неподвижную по высоте, а другую — регулирующую.

Иногда при фрезеровании заготовки устанавливают на магнитном столе, закрепленном на столе фрезерного станка, только по трем опорным точкам. Для фиксации положения заготовок, имеющих точные отверстия и плоскости (шатуны, блоки цилиндров, корпусные детали и т. д.), вместо базирования по опорной, направляющей и упорной плоскостям применяют базирование по плоскости и двум отверстиям, перпендикулярным к ней (рис. 114, а, б), и по плоскости и параллельному ей отверстию (рис. 114, в).



113 Базирование бруска и вала



## 114 Базирование заготовки с отверстиями

### § 28. Общие и межоперационные припуски на обработку

Общим припуском на обработку называется слой металла или материала, удаляемый в процессе выполнения всех операций обработки данной поверхности детали. Он равен разности размеров заготовки и готовой детали.

Межоперационным припуском на обработку называется слой металла или материала, оставленного после данного перехода для выполнения последующего перехода обработки.

Вопрос о выборе припусков имеет большое значение. От величины припуска зависит количество стружки. Удаление лишних слоев металла требует дополнительной затраты времени, расхода электроэнергии и т. д. Поэтому чрезмерно большие припуски снижают производительность и экономичность обработки.

При выборе припусков следует уменьшать общие и межоперационные (промежуточные) припуски на обработку, в особенности в условиях массового и крупносерийного производства. Заготовки по своим размерам и форме должны максимально приближаться к готовой детали.

### § 29. Технологическая документация

В последнее время разработана и внедряется Единая система технологической документации (ЕСТД).

ЕСТД — комплекс государственных стандартов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения разработки, оформления, комплектации и обращения технологической документации, применяемой в производстве всеми машиностроительными и приборостроительными организациями и предприятиями Советского Союза.

Основное значение стандартов ЕСТД — установить во всех организациях и на всех предприятиях единые правила выполнения, оформления и обращения технологической документации. Внедрение стандартов ЕСТД дает возможность использовать технологическую документацию как информационную базу автоматизированной системы управления производством (АСУП) в условиях различных масштабов и характера производства. Создание Единой системы технологической документации является важным этапом работ по совершенствованию технологической подготовки производства.

ЕСТД дает возможность обмена технологическими документами между организациями и предприятиями без их переоформления.

Основными видами технологических документов (ГОСТ 3.1102—73) являются: маршрутная карта, карта эскизов, технологическая инструкция, ведомость оснастки, операционная карта и др.

Маршрутная карта — технологический документ, содержащий описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещения) по всем операциям различных видов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах в соответствии с установленными формами.

Карта эскизов — технологический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения технологического процесса, операции, технологического перехода или ремонта изделия (включая контроль и перемещения).

Технологическая инструкция — технологический документ, содержащий описание приемов работы, или технологических процессов изготовления, или ремонта изделия

(включая контроль и перемещения), правил эксплуатации средств технического оснащения, описание физических и химических явлений, возникающих при отдельных операциях.

**Ведомость оснастки** — документ, содержащий перечень стандартных и специальных приспособлений, необходимых для оснащения технологического процесса изготовления изделия.

**Операционная карта** — технологический документ, содержащий описание технологической операции с указанием переходов, режимов обработки и данных о средствах технологического оснащения.

### § 30. Оформление маршрутной и операционной карт механической обработки

Технологический процесс механической обработки оформляется на специальных картах, форма которых установлена ГОСТ 3.1105—74 и ГОСТ 3.1404—74. ГОСТ 3.1104—74 устанавливает общие требования к выполнению технологических документов.

Карту эскизов следует разрабатывать для операций и переходов. На карте эскизов должны быть указаны данные, необходимые для выполнения технологического процесса механической обработки (размеры, предельные отклонения, обозначение шероховатости поверхностей, технические требования и т. д.). Обрабатываемые поверхности следует обводить сплошной линией от 2s до 3s (s — толщина сплошной основной линии). На эскизах все обрабатываемые поверхности нумеруют арабскими цифрами. Номер обрабатываемой поверхности проставляют в окружности диаметром 6—8 мм и соединяют выносной линией с изображением этой поверхности. Эскиз показывает состояние обрабатываемых поверхностей детали, полученных в результате окончания данной операции или перехода. На эскизе приводится изображение режущего инструмента в конце хода и способ крепления заготовки. При этом размеры и предельные отклонения обрабатываемой поверхности в содержании операции (перехода) не указываются, например: «фрезеровать шпоночную канавку 1, развернуть отверстие 2». Нумеровать поверхности следует в направлении часовой стрелки. В документах допускается применение краткой формы наименования операции, например, «фрезерная» вместо «фрезерная операция». В содержание операции (перехода) должно быть включено: наименование метода обработки, выраженное глаголом в повелительной форме (например, точить, фрезеровать, сверлить и т. д.); наименование обрабатываемой поверхности детали (например, торец, плоскость, отверстие и т. д.).

При одновременной обработке нескольких поверхностей в описании операции (перехода)

перечисляются в тексте все обрабатываемые поверхности, например, «фрезеровать поверхности 1, 2, 3, 4 и 5 набором фрез». Допускается указывать в содержании операции (перехода) характер обработки (например, предварительная, окончательная, одновременная и т. д.). Операции и переходы следует нумеровать арабскими цифрами в технологической последовательности.

ГОСТ 3.1502—74 устанавливает правила оформления документов на технический контроль — операционной карты технического контроля и ведомости операций технического контроля.

Деталь (см. рис. 59) в серийном производстве изготавливается по следующему технологическому маршруту (см. табл. 7). В табл. 8 и 9 показаны заполненные операционные карты механической обработки (6 и 4-я операции, см. табл. 7).

Строгое выполнение разработанного технологического процесса, оформленного в виде маршрутных и операционных карт механической обработки, карт термической обработки и т. д., т. е. соблюдение технологической дисциплины, является основным условием, обеспечивающим нормальный ход производства и получение высококачественной продукции.

ТАБЛИЦА 7

№ операции (см. рис. 59)	Наименование и содержание операции
1	Заготовительная — отрезка заготовки под поковку
2	Кузнечная — ковка заготовки
3	Термическая — отжиг заготовки
4	Фрезерная — фрезерование 4 плоскостей 1, 3, 4 и 6 под шлифование
5	Фрезерная — фрезерование 2 торцов 5 и 10 и 2 уступов 2 и 11 начисто
6	Фрезерная — фрезерование паза 8 начисто
7	Фрезерная — фрезерование призмы 9 в 90° под шлифование
8	Сверлильная — сверление 2 отверстий 7 φ 4,2 мм под резьбу М5
9	Слесарная — зачистить заусенцы, притупить острые кромки; нарезать резьбу М5
10	Термическая — термообработка стали ШХ15
11	Шлифовальная — шлифование 4 плоскостей 1, 3, 4 и 6 начерно
12	Шлифовальная — шлифование призмы 9 начерно
13	Старение
14	Шлифовальная — шлифование 4 плоскостей 1, 3, 4 и 6 начисто
15	Шлифовальная — шлифование призмы 9 начисто
16	Контроль

ГОСТ 3.1404—74 Форма 1

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата						
<b>Операционная карта механической обработки</b>														
Номер цеха	Номер участка	Номер операции	Наименование операции			Наименование и марка материала			Заготовка					
									Профиль и размеры		Твердость	Масса		
			Фрезерная. Фрезерование паза начисто			Ст. ШХ15			Поковка		0.07			
Кол. одновременно обраб. деталей		Оборудование (наименование, модель)				Приспособление (код и наименование)		Тиски		Охлаждение				
1		Консольно-фрезерный станок модели 6Р82												
Номер перехода	Содержание перехода		Инструмент (код и наименование)			Расч. размеры		Режим обработки						
			вспомогательный	режущий	измерительный	Диаметр, ширина	Длина	<i>t</i>	<i>i</i>	<i>s</i>	<i>п</i>	<i>у</i>	$T_0$	$T_B$
1	Установить и снять Фрезеровать паз 8 В = 3 мм на глубину 3,7 мм начисто		Оправка	Фреза 75×3×30 Р6М5	Штабген- циркуль	75	110	3,7	1	80	100	23	1,5	1,0
										Разраб.				Лист
														Листов
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н. контр.				



## § 31. Принципы построения технологического процесса

Одним из основных принципов построения технологических процессов является принцип совмещения технических, экономических и организационных задач, решаемых в данных производственных условиях. Технологический процесс должен безусловно обеспечить выполнение всех требований к точности и качеству деталей и изделия в целом, предусмотренных чертежами и техническими условиями, при наименьших затратах труда и минимальной себестоимости. Существует обычно несколько вариантов обработки деталей, одинаково удовлетворяющих требованиям чертежа и техническим условиям, но стоимость обработки различна.

Для заданных условий и масштаба производства следует выбрать тот вариант, который в большей мере удовлетворяет решению указанных выше требований.

Выбор оптимального варианта технологического процесса требует в ряде случаев расчета экономической эффективности и сравнения экономичности вариантов обработки.

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

Существуют два случая разработки технологических процессов.

Первый, когда для производства машин проектируются новые заводы или цехи завода и, следовательно, свободен выбор оборудования, производственных площадей и прочих технических средств, составляющих производственный процесс.

Второй, наиболее распространенный, когда на базе действующего завода с учетом технической оснащенности организуют производство нового изделия. В этом случае разработка технологии изготовления подчинена конкретной производственной обстановке. Разработка технологических процессов ведется по следующему плану.

1. Знакомятся с назначением изделия, изучают чертежи деталей и технические условия на их изготовление.

2. Выбирают способ получения заготовки для деталей в зависимости от размера партии и материала. Определяют размеры припусков на обработку.

3. По чертежам деталей определяют базисные поверхности (черновые и чистовые), по которым будет производиться крепление детали. Назначают первую исходную операцию, используя правило черновых баз.

4. Последовательность и характер операций определяются конфигурацией, точностью и классом шероховатости обрабатываемых поверхностей, заданных по чертежу детали.

В большинстве случаев обработку заготовки целесообразно производить в несколько операций:

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

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

в) отделочная обработка, при которой обеспечивается требуемый класс чистоты поверхности и точность формы и размеров детали.

5. Для каждой операции выбирают станок, приспособление, режущий, вспомогательный и измерительный инструменты, охлаждение с учетом количества одновременно обрабатываемых деталей.

6. Для каждого перехода определяют расчетные размеры обрабатываемых поверхностей, число проходов и режимы резания.

7. Для каждого перехода нормируют основное технологическое (машинное) и вспомогательное время и др.

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

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

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

При конструировании машин следует уделять внимание технологичности конструкции.

Под технологичностью конструкции понимают ее свойства, обеспечивающие в конкретных производственных условиях минимальные затраты на подготовку производства и на изготовление машин без ущерба для их качества. Технологичность конструкции машины обеспечивается при выполнении следующих основных требований: применении деталей несложных форм, стандартных и нормализованных деталей, правильном выборе материала и заготовок, возможности расчленения машины на отдельные сборочные единицы, собираемые и разбираемые независимо друг от друга и др.

Разработка технологического процесса механической обработки представляет собой довольно сложную и трудоемкую работу. Технолог, разрабатывающий технологический процесс, обычно руководствуется своим личным

опытом. Поэтому иногда одни и те же технологические задачи технологами решаются по-разному. Создание типовых технологических процессов для определенных типов деталей (валов, втулок, зубчатых колес, станин, плит и др.) позволяет ускорить и улучшить разработку технологических процессов.

Заводские технологи при разработке технологического процесса механической обработки заготовок ориентируются на уже разработанный типовой технологический процесс и используют его применительно к конкретным производственным условиям данного завода.

В условиях индивидуального и мелкосерийного производства находит применение метод групповой обработки деталей.

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

### **§ 32. Точность обработки при фрезеровании**

Точность является одним из важнейших показателей качества изделий.

Под точностью обработки в машиностроении понимают степень соответствия геометрических параметров обработанной детали и параметров, заданных чертежом. Чтобы оценить степень точности детали, необходимо установить:

точность размеров, отклонение формы, отклонение расположения и класс шероховатости обработанной поверхности.

Основными причинами, влияющими на точность обработки при фрезеровании, являются: погрешности, вызванные неточной установкой обрабатываемой заготовки на станке; погрешности обработки, возникающие в результате упругих деформаций технологической системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь) под действием силы резания; погрешности, возникающие в результате деформации, заготовки и других элементов оснастки при креплении заготовки; погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента; погрешности наладки станка (погрешности установки на глубину фрезерования, погрешности пробных промеров и т. д.);

погрешности, обуславливаемые неточностью станка (биение шпинделя, погрешности перемещения стола и т. д.); погрешности обработки, возникающие в результате температурных деформаций обрабатываемой детали, станка, инструмента и др.; погрешности, вызванные действием остаточных напряжений в материале заготовок и готовых деталей.

В условиях единичного производства точность обработки обеспечивают индивидуальной выверкой устанавливаемых на станок заготовок и последовательным снятием стружки пробны-

ми проходами, сопровождаемыми пробными промерами. Заданный размер получается методом последовательного приближения. Точность обработки в этом случае зависит в значительной мере от квалификации рабочего. В условиях серийного и массового производства точность обеспечивается методом автоматического получения размеров на предварительно настроенном станке. Установку заготовки производят без выверки в специальном приспособлении на заранее выбранные базовые поверхности. Точность обработки в этом случае зависит в значительной мере от квалификации наладчика.

**Обеспечение заданного класса шероховатости поверхности.** Требуемый класс шероховатости поверхностей деталей проставляет на рабочих чертежах конструктор с учетом назначения и условий работы данной детали в изделии. Задача фрезеровщика — обеспечить требуемый класс шероховатости поверхности детали при обработке.

Поверхности 2-го и 3-го класса шероховатости можно получить уже при черновом фрезеровании (с большой глубиной фрезерования и большой подачей на зуб).

Поверхности, соответствующие 4, 5 и 6-му классам шероховатости, можно получить при правильном выборе режимов резания, соответствующих геометрическим параметрам фрезы, и условий охлаждения. Поверхности 7-го, 8-го классов шероховатости и выше получают при чистовом фрезеровании фрезами высокой точности на станках повышенной жесткости, а также путем правильного выбора режимов фрезерования.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что называют операцией, установкой, позицией, переходом, проходом и приемом?
2. Что такое конструкторская и технологическая база, измерительная, установочная база?
3. Какие правила выбора черновых и чистовых баз вы знаете?
4. Что такое правило шести точек?
5. Что называют общим и промежуточным припуском на обработку?
6. Какие вопросы решаются при разработке технологического процесса механической обработки?
7. В чем заключаются преимущества ЕСТД?
8. Какие прищипы построения технологического процесса вы знаете?
9. Что понимают под технологичностью конструкции?
10. Что понимают под точностью обработки и от чего она зависит?
11. Как обеспечить требуемый класс шероховатости поверхности детали?



## § 33. Основные сведения

### Краткий обзор истории отечественного станкостроения

Производство примитивных станков известно с давних времен.

Достоверные сведения об истории отечественного станкостроения относятся к XVIII столетию. Значительный вклад в развитие станкостроения внес Андрей Константинович Нартов (1680—1756 гг.), впервые создавший ряд оригинальных металлорежущих станков с механическими крестовыми суппортами.

Нартов А. К. создал также ряд оригинальных токарно-копировальных станков, которые предназначались для обработки выпуклых (рельефных) изображений на медалях, табакерках и других подобных изделиях.

На Тульском оружейном заводе в 1715 г. русский мастер Яков Батищев создал многошпиндельный сверлильный станок для одновременной обработки 24 ружейных стволов. Много сделал для развития русского станкостроения тульский механик Павел Дмитриевич Захава (1780—1835 гг.). Он построил специальные операционные станки для обработки ружейных стволов (токарные, сверлильные, фрезерные, протяжные), значительно опередив в этой области передовые страны того времени.

Основоположником теории металлорежущих станков является русский ученый, академик А. В. Гадолин. В своем труде «Теория устройства перемены скоростей рабочего движения на токарных и сверлильных станках», изданном в 1876 г., он доказал, что наилучшей эксплуатационной характеристикой будет обладать станок, у которого ряд чисел оборотов составляет геометрическую прогрессию. Это положение остается в силе и до настоящего времени.

В дореволюционное время потребность страны в металлорежущих станках удовлетворялась главным образом за счет импорта. Великая Октябрьская социалистическая революция корен-

ным образом изменила это положение. Наряду с другими отраслями машиностроения было создано и отечественное станкостроение.

Большой вклад в развитие советского станкостроения внесли академик Дикушин В. И., профессора Решетов Д. Н., Каширин А. И., Ачеркан Н. С., Головин Г. М. и др.

Для создания научной и экспериментальной базы станкостроения в 1931 г. был создан научно-исследовательский институт станков и инструментов, преобразованный в 1933 г. в ЭНИМС, сделавший очень много для превращения этой отрасли машиностроения в одну из передовых.

### Условные обозначения элементов кинематических цепей

✓ Кинематическая схема — графический конструкторский документ, содержащий условные графические изображения или обозначения кинематических составных частей изделия и связей между ними (ГОСТ 2.701—68).

В табл. 10 приведены условные обозначения основных элементов передач на кинематических схемах по ГОСТ 2.770—68.

## § 34. Классификация станков фрезерной группы

В СССР принята Единая система классификации и условных обозначений для станков отечественного производства, основанная на присвоении каждому станку особого шифра (номера). Первая цифра означает группу станка (токарная, сверлильная, фрезерная и т. д.), вторая — его тип, третья (иногда и четвертая) характеризует размер станка.

ТАБЛИЦА 10

№ п/п	Наименование	Обозначение	№ п/п	Наименование	Обозначение	
1	Вал			г) дисковые односторонние		
2	Подшипники скольжения: радиальный			д) дисковые двусторонние		
3	Подшипники качения: а) радиальный (общее обозначение)			7	Передачи плоским ремнем: а) открытые	
	б) радиальный роликовый			б) перекрестные		
4	Соединение детали с валом:			8	Передача клиновидным ремнем	
	а) свободное при вращении					
	б) подвижное без вращения					
	в) при помощи вы- тяжной шпонки					
	г) глухое					
5	Муфты сцепления кулачковые:			9	Передача цепью (общее обозначение без уточнения типа цепи)	
	а) односторонняя					
	б) двусторонняя					
6	Муфта сцепления фрикционная:			10	Передачи зубчатые (ци- линдрические): а) внешнее зацепление (общее обозначение без уточнения типа зубьев)	
	а) общее обозначение без уточнения типа					
	б) конусные односторонние					
	в) конусные двусторонние					

№ п/п	Наименование	Обозначение	№ п/п	Наименование	Обозначение
11	б) то же, с прямыми, косыми и шевронными зубьями		13	в) винтовые	
	а) общее обозначение без уточнения типа зубьев			Передачи зубчатые реечные:	
12	а) общее обозначение без уточнения типа зубьев		14	а) общее обозначение без уточнения типа зубьев	
	б) с прямыми, спиральными и круговыми зубьями			б) с прямыми, косыми и шевронными зубьями	
12	б) с прямыми, спиральными и круговыми зубьями		15	Винт, передающий движение	
	а) гипоидные			Гайка на винте, передающем движение:	
12	б) червячные с цилиндрическим червяком		а) неразъемная		
	а) гипоидные		б) разъемная		

В ряде случаев между первой и второй цифрами вводится прописная буква русского алфавита, указывающая на то, что станок улучшен или модифицирован. Иногда прописная буква ставится в конце шифра, что указывает на ту или иную область применения данной модификации

(например, П — повышенной точности; ПБ — повышенной точности, быстроходный; Ш — широкоуниверсальный; Ф — с программным управлением и т. д.).

Фрезерные станки в принятой классификации составляют шестую группу, поэтому обозначение

ние (шифр) любого фрезерного станка начинается с цифры 6. Станки фрезерной группы делятся на следующие типы: 1 — консольные вертикально-фрезерные, 2 — фрезерные станки непрерывного действия; 3 — свободная группа; 4 — копировально- и гравировально-фрезерные станки; 5 — вертикальные бесконсольные; 6 — продольно-фрезерные; 7 — консольные широкоуниверсальные; 8 — горизонтальные консольные; 9 — разные.

Так, например, цифрами 612 обозначается консольный вертикально-фрезерный станок 2-го номера.

Обозначение 6P82 характеризует новую (P) модель консольного горизонтально-фрезерного станка 2-го номера, отличную от предыдущей модели — 6M82.

Ниже приводится более подробная классификация станков фрезерной группы.

1. Станки консольно-фрезерные:

- а) горизонтально-фрезерные (с неповоротным столом);
- б) горизонтально-фрезерные с поворотным столом (универсальные);
- в) вертикально-фрезерные;
- г) широкоуниверсальные.

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

3. Станки продольно-фрезерные:

- а) одностоечные;
- б) двухстоечные.

4. Фрезерные станки непрерывного действия:

- а) карусельно-фрезерные;
- б) барабанно-фрезерные.

5. Станки копировально-фрезерные.

6. Станки шпоночно-фрезерные.

7. Торцефрезерные станки.

8. Станки фрезерные специализированные.

### § 35. Консольно-фрезерные станки

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

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

Консольно-фрезерные станки предназначены для выполнения различных фрезерных работ цилиндрическими, дисковыми, торцовыми, угловыми, концевыми, фасонными и другими фрезами в условиях единичного и серийного производства. На них можно фрезеровать разнообразные заготовки соответствующих размеров

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

В табл. 11 приведены значения основного параметра — ширины стола в зависимости от размера (номера) станка.

ТАБЛИЦА 11

Ширина стола в зависимости от номера станка

№ станка	—	—	0	1	2	3	4
Ширина стола	125	160	200	250	320	400	500

#### Консольно-фрезерные станки малых размеров с шириной стола

##### 160 мм

Эти станки предназначены для обработки заготовок небольших размеров, главным образом из цветных металлов и сплавов, пластмасс и для чистового фрезерования заготовок из стали и чугуна. Автоматизированные станки позволяют вести обработку по заданному циклу.

#### Консольно-фрезерные станки № 0 с шириной стола 200 мм

Станки предназначены для фрезерования заготовок небольших размеров из стали, чугуна, цветных металлов и сплавов, пластмасс. Их изготавливают на Вильнюсском станкостроительном заводе «Жальгирис» в трех основных исполнениях: горизонтальные модели 6M80Г, универсальные модели 6M80 и вертикальные модели 6M10. На базе этих моделей завод выпускает широкоуниверсальные (модели 6П80Ш), копировальные (модели 6П10К) и операционные автоматизированные станки.

#### Консольно-фрезерные станки № 1 с шириной стола 250 мм

Станки изготавливает Дмитровский завод фрезерных станков (ДЗФС). Завод выпускает станки серии Р следующих моделей: 6P81Г —

горизонтально-фрезерный, 6P81 — универсально-фрезерный, 6P11 — вертикально-фрезерный и 6P81Ш — широкоуниверсальный. Все указанные модели станков унифицированы (коробка скоростей, коробка подач, коробка реверса, консоль, механизм переключения коробки скоростей и др.). Некоторые группы отличаются в основном корпусными деталями (столы, станины и др.). Ранее завод выпускал консольно-фрезерные станки серии Н: 6Н81Г, 6Н81 и 6Н11.

#### Кинематическая схема станков

На рис. 115 приведена кинематическая схема станков 6P81Г и 6P81. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка 6P11 отличается от кинематической схемы станков 6P81Г и 6P81 вертикальным расположением шпинделя.

Цепь главного движения. От электродвигателя мощностью 5,5 кВт с числом оборотов 1450 об/мин движение передается через полужесткую муфту (вал XXII) на вал XXIII посредством двух возможных вариантов передач: 35:27 или 21:41. В дальнейшем всегда номер зубчатого колеса на кинематической схеме означает число его зубьев. Таким образом, вал XXIII может получить две различные скорости, а именно:

$$1450 \cdot \frac{35}{27} \text{ об/мин} \quad \text{и} \quad 1450 \cdot \frac{21}{41} \text{ об/мин.}$$

Следует отметить, что при постоянном модуле теоретически условие сцепляемости зубчатых колес состоит в том, что сумма чисел зубьев сцепляемых пар колес должна быть постоянной:

$$z_1 + z_2 = z_3 + z_4 = z_5 + z_6 = \text{const} \quad (11)$$

При различных модулях зубчатых колес сцепление обеспечивается при соблюдении условия

$$(z_1 + z_2) m_1 = (z_3 + z_4) m_2, \quad (12)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  — числа зубьев первой пары колес,  $m_1$  — их модуль, мм;

$z_3$  и  $z_4$  — числа зубьев второй пары колес,  $m_2$  — их модуль, мм.

В нашем случае при одинаковом модуле зубчатых колес  $m$  мм выполнено условие (11), т. е.  $35 + 27 = 21 + 41$ . Практически допускается отклонение сумм чисел зубьев сцепляемых колес на единицу.

Дальнейший разбор кинематической цепи главного движения для большей наглядности и ясности произведем одновременно по кинематической схеме (рис. 115) и по так называемой структурной диаграмме (сетке) чисел оборотов шпинделя (рис. 116). Показанная на рис. 116 сет-

ка чисел оборотов дает наглядное представление не только о всех числах об/мин всех валов механизма, но и о том, посредством каких передач получается каждое из этих чисел. На диаграмме проведено на равном расстоянии друг от друга 7 вертикальных линий в соответствии с количеством валиков коробки скоростей (валы XXII—XXVII, см. рис. 116), а также горизонтальные линии. Расстояния между вертикальными и горизонтальными линиями зависят от выбранного масштаба.

Точки пересечения вертикальных и горизонтальных линий по вертикали соответствуют числу оборотов (на любом из промежуточных валов), указанному числовым значением на шпинделе (вал XXVIII). От вала XXIII на вал XXIV движение передается через одну из четырех пар зубчатых колес: 34:27, 31:31, 27:34 или 24:38 (см. рис. 115 и рис. 116). Здесь также выполнено условие сцепляемости (11) с точностью до единицы: для всех четырех пар сумма чисел зубьев зубчатых колес составляет соответственно 61 или 62 (при постоянном модуле  $m = 2,5$  мм).

Нетрудно убедиться, что если с вала, имеющего  $n$  различных скоростей движение на следующий вал передается  $m$  вариантами ( $m = 2, 3, 4$  и т. д.), то число различных скоростей этого вала будет равно произведению  $m \cdot n$ , т. е. оно удваивается, утраивается и т. д. Так, в нашем случае вал XXIII имеет две скорости и движение на вал XXIV передается четырьмя различными вариантами. Следовательно, вал XXIV имеет восемь ( $2 \cdot 4$ ) различных скоростей (см. рис. 115 и 116). Числа оборотов вала XXIV составят:

$$n_1 = 1450 \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{34}{27};$$

$$n_2 = 1450 \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{31}{31};$$

$$n_3 = 1450 \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{27}{34};$$

$$n_4 = 1450 \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{24}{38};$$

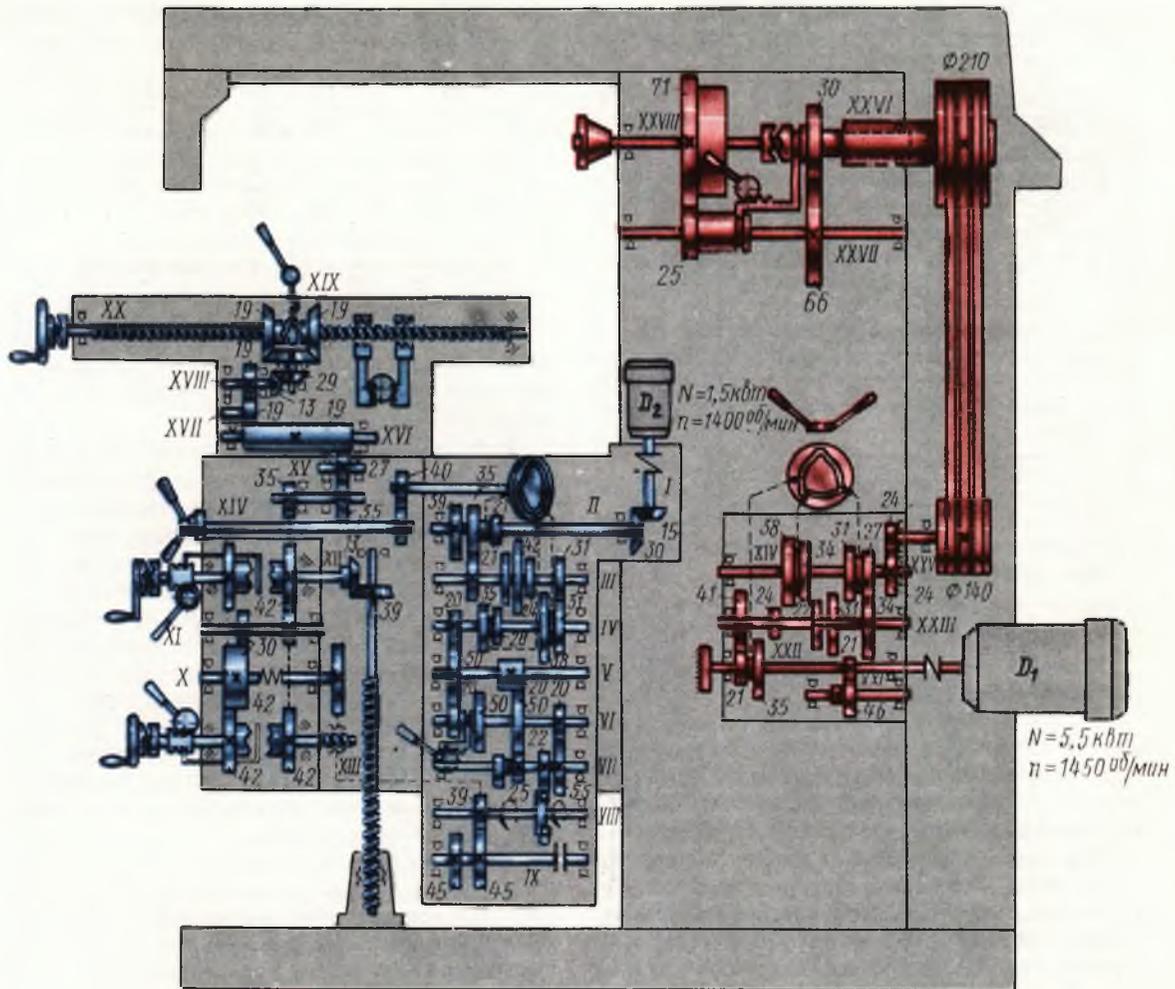
$$n_5 = 1450 \cdot \frac{21}{41} \cdot \frac{34}{27};$$

$$n_6 = 1450 \cdot \frac{21}{41} \cdot \frac{31}{31};$$

$$n_7 = 1450 \cdot \frac{21}{41} \cdot \frac{27}{34};$$

$$n_8 = 1450 \cdot \frac{21}{41} \cdot \frac{24}{38}.$$

Численные значения приведенных чисел оборотов можно определить с достаточной точностью и по графику (см. рис. 116). С вала XXIV на вал XXV движение передается через зубча-



115 Кинематическая схема консольно-фрезерных станков моделей 6Р81 и 6Р81Г

тые колеса 24:24. С вала XXV на вал XXVI движение передается посредством клиноременной передачи с передаточным отношением 2:3. При включенной муфте, связывающей вал XXVI со шпинделем (вал XXVIII) можно передавать наибольшие значения чисел оборотов шпинделя (1600, 1250, 1000, 800, 630, 500, 400, 315 об/мин). Движение с вала XXVI на шпиндель можно передать с помощью перебора, с вала XXVI на вал XXVII с помощью передачи 30:66 и с вала XVII на вал XVIII (шпиндель) передачей 25:71. Передаточное отношение перебора равно:  $i_{\text{пер}} = \frac{30}{66} \cdot \frac{25}{71} \approx \frac{1}{6}$ , т. е. перебор работает как понижающая передача. Таким образом, шпиндель имеет восемь наибольших чисел оборотов при работе без перебора и восемь наименьших чисел оборотов (250, 200, 160, 125, 100, 80, 63 и 50 об/мин), т. е. всего шестнадцать различных чисел оборотов.

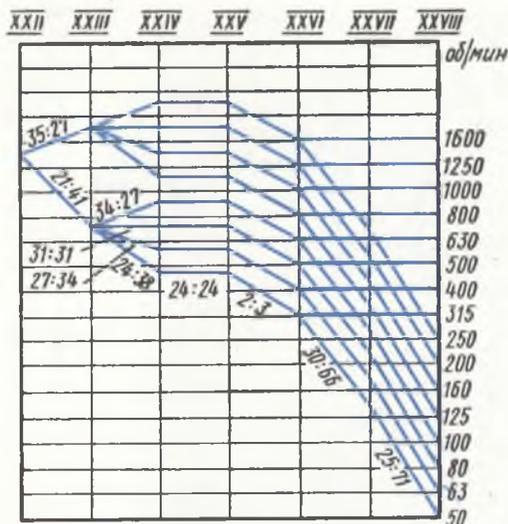
Непосредственно по кинематической схеме или по структурной диаграмме можно напи-

сать уравнения кинематических цепей для определения всех шестнадцати ступеней чисел оборотов шпинделя. Для определения максимального числа оборотов шпинделя надо из различных вариантов передач с одного вала на другой выбрать передачи с наибольшим передаточным отношением, а для определения минимального числа оборотов — с наименьшим. Уравнение кинематической цепи для максимального числа оборотов шпинделя с учетом упругого скольжения определяется

$$n_{\text{шп max}} = 1450 \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{34}{27} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{2}{3} \times \\ \times 0,985 = 1600 \text{ об/мин.}$$

Наименьшее число оборотов будет

$$n_{\text{шп min}} = 1450 \cdot \frac{21}{41} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{30}{66} \times \\ \times \frac{25}{71} \cdot 0,985 = 50 \text{ об/мин.}$$



**116** График чисел оборотов станков моделей 6P81, 6P81Г и 6P11

Изменяют направление вращения шпинделя реверсированием электродвигателя.

**Цепь подач.** Механизмы подач приводятся в движение от фланцевого электродвигателя мощностью 1,5 кВт, непосредственно связанного полужесткой муфтой с валом I. Коробка подач состоит из 9 валов (I—IX). На рис. 117 показан график привода коробки подач. По структурной сетке (рис. 117) и кинематической схеме (см. рис. 115) легко проследить, что на станке можно получить ряд подач по геометрическому ряду со знаменателем  $\phi = 1,26$  в диапазоне 25—800 мм/мин для продольной поперечной подач и в диапазоне 8,3—266,7 мм/мин для вертикальных подач. Уравнение кинематичес-

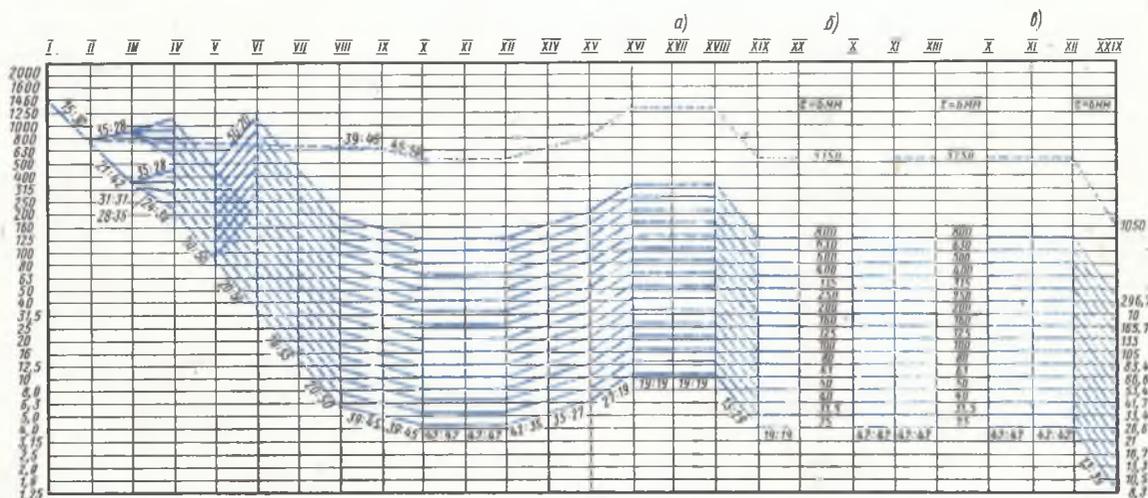
кой цепи для наибольшей продольной подачи (см. рис. 115 и 117).

$$S_{\max \text{ пр}} = 1450 \cdot \frac{15}{30} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \times \\ \times \frac{20}{55} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{39}{45} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{27}{19} \times \\ \times \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{13}{29} \cdot 6 = 800 \text{ мм/мин.}$$

Так же по графику привода коробки подач можно легко написать все другие уравнения кинематических цепей для продольных, поперечных и вертикальных подач.

Рабочее движение от коробки подач передается на коробку реверса при помощи обгонной муфты рабочего хода. Коробка реверса служит для преобразования крутящих моментов, снимаемых с выходного вала коробки подач, в соответствующее рабочее движение (продольное, поперечное и вертикальное) в двух взаимно противоположных направлениях. На приемном валу X установлена шариковая предохранительная муфта, отрегулированная на передачу предельного крутящего момента. Вал XIII является винтом поперечной подачи. На концах валов XII и XIII находятся рукоятка и маховичок для ручного перемещения в поперечном и вертикальном направлениях.

Ускоренные перемещения стола, поперечных салазок и консоли. Эти перемещения осуществляются по кинематическим цепям, показанным на рис. 117 пунктирной линией. Ускоренный ход для продольной и поперечной подач составляет 3150 мм/мин, а для вертикальной в три раза меньше — 1050 мм/мин.



**117** График привода коробки подач станков моделей 6P81, 6P81Г и 6P11

## Консольно-фрезерные станки № 2 шириной стола 320 мм и № 3 с шириной стола 100 мм

Эти станки изготавливают на Горьковском заводе фрезерных станков (ГЗФС). Завод выпускает станки следующих моделей: 6Р82Г и 6Р83Г — горизонтально-фрезерные; 6Р82 и 6Р83 — универсально-фрезерные; 6Р12 и 6Р13 — вертикально-фрезерные; 6Р12Б и 6Р13Б — вертикально-фрезерные, быстроходные; 6Р82Ш и 6Р83Ш — широкоуниверсальные.

Консольно-фрезерные станки серии «Р» являются более совершенными моделями по сравнению с ранее выпускавшимися станками серии «М». Новые модели обладают высокой жесткостью и виброустойчивостью, что в свою очередь повышает стойкость режущего инструмента и производительность труда. Конструкция зажима пиноли переработана и обеспечивает надежное крепление и предохраняет пиноль от осевого перемещения, обеспечивая стабильное положение оси шпинделя. Повышена надежность работы электрооборудования станков за счет размещения аппаратуры в изолированных электронишах и усовершенствования разводки электроприводов в станке. В новых моделях смазка направляющих консоли и узла «стол-лазки» осуществляется от плунжерного насоса централизованно. Благодаря эффективной смазке повышается долговечность работы этих узлов, обеспечивается более длительное сохранение первоначальной точности станка и сокращается время на его обслуживание. В опорах ходового винта применены шарикоподшипники вместо быстро изнашивающихся чугунных втулок, улучшена смазка подшипников. Введен защитный щиток на торце стола для предохранения направляющих стола от стружки при перемещении стола в крайнее левое положение.

Технологические возможности станков серии «Р» расширены за счет увеличения на 100 мм продольного хода стола. Для более точной установки стола в заданное положение применено новое крепление лимбов. Станки серии «Р» имеют совершенные формы, отвечающие современным требованиям технической эстетики.

Основные узлы указанных моделей станков унифицированы.

Для удобства управления и сокращения затрат вспомогательного времени помимо автоматизации цикла обработки на станках серии «М» и «Р» Горьковского завода фрезерных станков предусмотрено: дублированное (спереди и левой стороны станка) изменение чисел оборотов шпинделя и подач стола однорукоятками и выборочными механизмами, позволяющими установить требуемое число оборотов или подачу поворотом лимба без прохождения промежуточных ступеней; управление автомати-

ческими движениями стола от рукояток, направление поворота которых совпадает с направлением перемещения стола; пуск, остановка шпинделя и включение быстрых перемещений при помощи кнопок; торможение шпинделя постоянным током; наличие быстрых перемещений стола в продольном, поперечном и вертикальном направлениях.

### Кинематическая схема станков

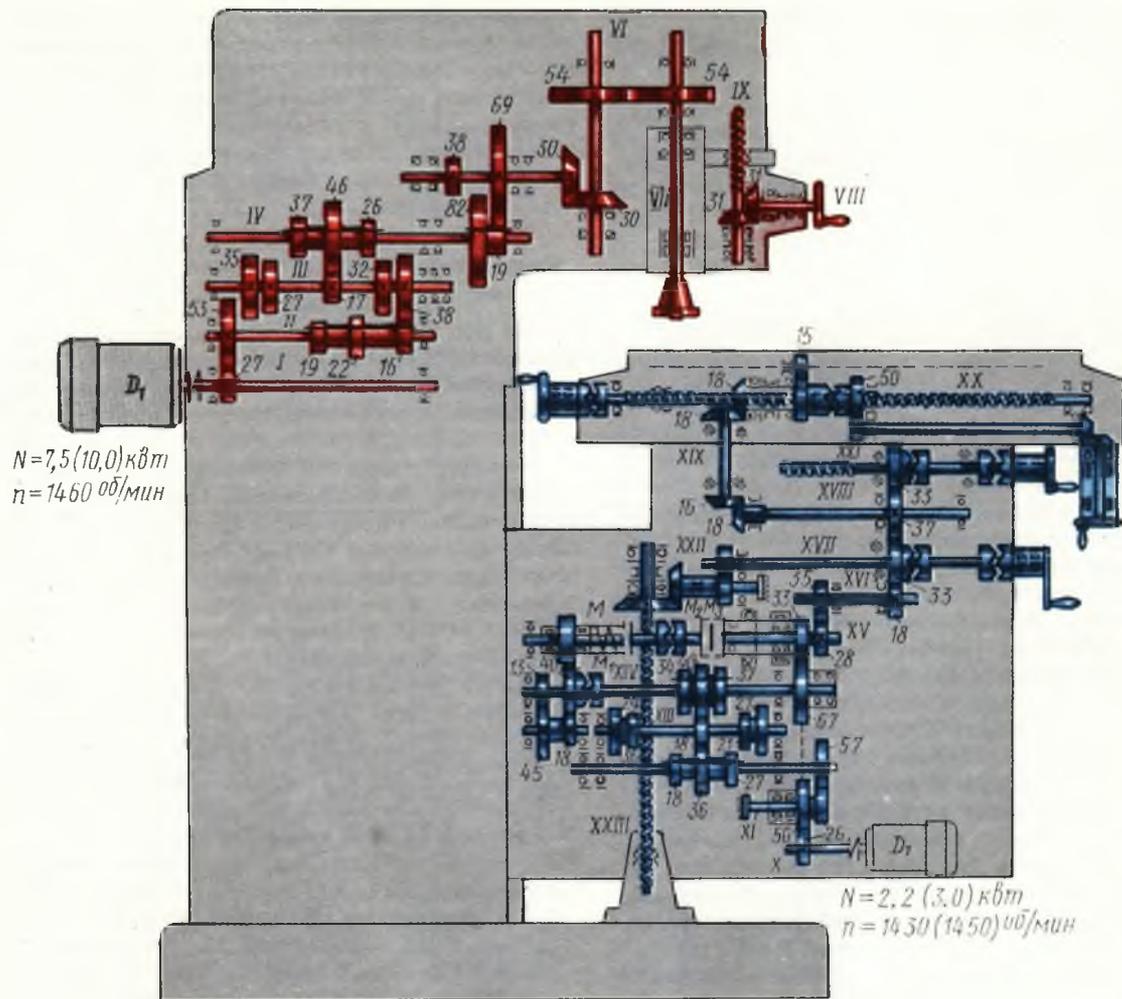
На рис. 118 показана кинематическая схема, а на рис. 119 график чисел оборотов шпинделя, поясняющий структуру механизма главного движения консольно-фрезерных станков 6Р12 и 6Р13.

Коробка скоростей станков 6Р82Г, 6Р82, 6Р83Г и 6Р83 отличается лишь горизонтальным расположением шпинделя, а коробка подач одинакова со станками 6Р12 и 6Р13. Коробка скоростей горизонтального шпинделя широкоуниверсальных консольных фрезерных станков 6Р82Ш и 6Р83Ш, а также их коробка подач полностью унифицированы.

Цепь главного движения станков 6Р12 и 6Р13. От электродвигателя мощностью 7,5 кВт для станка 6Р12 и (10 кВт для станка 6Р13) через упругую соединительную муфту движение передается на вал I, а с вала I на вал II через зубчатую передачу 27:53. На валу II находится тройной блок зубчатых колес, с помощью которого можно передать вращение валу III с тремя различными скоростями через передачи 22:32, 16:38 и 19:35. С вала III на вал IV движение может быть передано также тремя различными вариантами передач: 38:26, 27:37, 17:46. Следовательно, вал IV имеет девять различных чисел оборотов ( $3 \times 3 = 9$ ). Вал V получает движение от вала IV через двойной блок зубчатых колес с помощью передач 82:38 и 19:69. Таким образом, вал V имеет 18 различных скоростей ( $9 \times 2 = 18$ ). От вала V движение передается на вал VI конической зубчатой передачей 30:30, а с вала VI на шпиндель VII — через передачу 54:54. По графику (см. рис. 119) можно написать уравнение кинематической цепи для любого из 18 чисел оборотов. Так, например, для наибольшего числа оборотов шпинделя оно будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} n_{\max} &= 1460 \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{22}{32} \cdot \frac{82}{38} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{54}{54} = \\ &= 1600 \text{ об/мин.} \end{aligned}$$

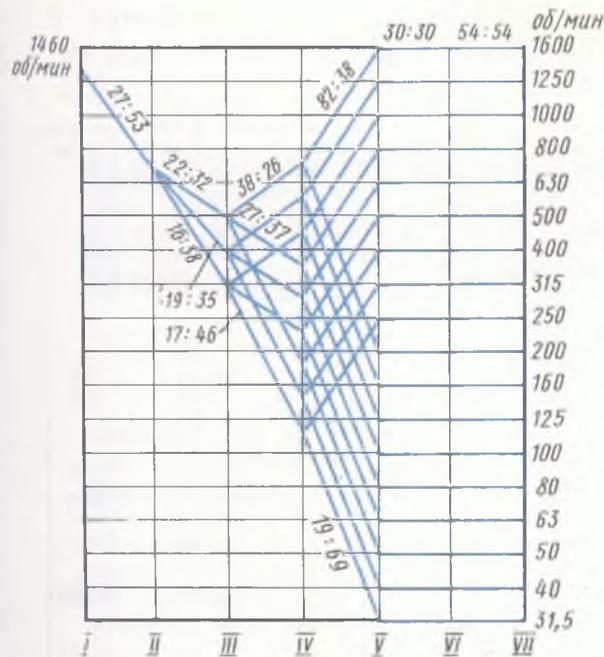
Ц е п ь п о д а ч. Привод подач осуществляется от отдельного фланцевого двигателя мощностью 2,2 кВт для станка 6Р12 и 3 кВт для станка 6Р13. По кинематической схеме станков (см. рис. 118) и графику подач (рис. 120) разберем кинематические цепи подач.



**118** Кинематическая схема станков моделей 6P12 и 6P13

Через передачу 26:50 получает вращение вал XI, затем через передачу 26:57 — вал XII. На валу XII находится тройной подвижной блок зубчатых колес, сообщающий валу XIII три скорости вращения посредством передач: 36:18, 27:27 и 18:36. На валу XIV находится тройной подвижной блок, с помощью которого движение с вала XIII на вал XIV можно передать также тремя вариантами передач 24:34, 21:37 и 18:40. Следовательно, вал XIV имеет девять различных чисел оборотов ( $3 \times 3 = 9$ ). Когда подвижное зубчатое колесо 40 с кулачками на торце передвинуто вправо и находится в зацеплении с муфтой  $M_1$ , жестко связанной с валом XIV, вращение от вала XIV на вал XV передается непосредственно. Если зубчатое колесо 40 ввести в зацепление с зубчатым колесом 18 (как показано на схеме), тем самым включив муфту  $M_1$ , то движение на вал XIV будет передаваться через перебор  $\frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40}$ . Перебор здесь работа-

ет как понижающая передача. Таким образом, коробка подач консольно-фрезерных станков 6P82Г, 6P82, 6P12, 6P12Б, 6P13, 6P13Б, 6P82Ш и 6P83Ш имеет 18 различных подач: девять при работе без перебора и девять при работе с перебором. С вала XIV на вал XV движение передается через передачу 40:40. От широкого зубчатого колеса 40, закрепленного на валу XV, предохранительную муфту  $M_n$  при включенной кулачковой муфте  $M_2$  движение передается валу XV, а от него на вал XVI посредством передачи 28:35. От вала XVI на вал XVII движение передается через передачу 18:33. С вала XVII можно передать все числа оборотов на ходовые винты продольной, поперечной и вертикальной подачи. Так, продольная подача далее осуществляется по следующей цепи: с вала XVII на вал XVIII передачей 33:37, с вала XVIII на вал XIX — через пару конических зубчатых колес 18:16, а с вала XIX на вал XX — ходовой винт продольной подачи так-



**119** График чисел оборотов станков моделей 6P12 и 6P13

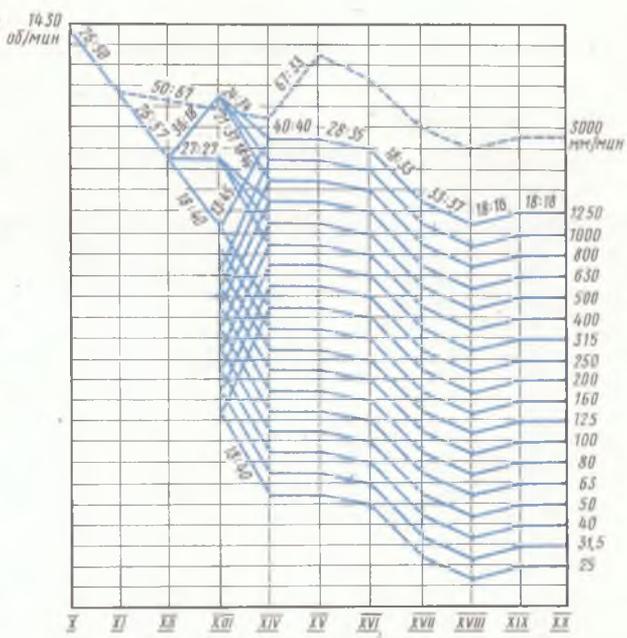
же через пару конических зубчатых колес 18:18.

Быстрые перемещения стола во всех направлениях осуществляются при включенной фрикционной муфте  $M_3$  и осуществляются по кинематической цепи, показанной на рис. 120 пунктирной линией. Как видно из рис. 118, вращение от электродвигателя подается валу XV через зубчатые передачи 26:50, 50:67 и 67:33 и далее по кинематическим цепям рабочих подач.

В табл. 12 приведены основные данные технической характеристики консольно-фрезерных станков № 1, № 2, № 3 серии «Р».

**Настройка станков на автоматические циклы работы**

У консольно-фрезерных станков серии «М» и «Р» управление продольным движением стола может осуществляться по полуавтоматическому или автоматическому циклам. В условиях единичного производства управление продольной подачей и быстрым перемещением стола производится вручную. В серийном производстве эти станки могут быть настроены на полуавтоматический (скачкообразный) и автоматический (маятниковый) циклы обработки. Для этой цели в боковом Т-образном пазу стола устанавливаются в определенной последовательности и на определенном расстоянии друг от друга кулачки (см. рис. 39), которые в нужные моменты воздействуют на звездочку управления быстрыми и рабочими движениями стола и на рукоятку переключения продольной пода-



**120** График привода продольных подач станков моделей 6P12 и 6P13

чи, обеспечивая работу станка по заданному циклу.

Стол может настраиваться на следующие автоматические циклы: полуавтоматический скачкообразный: а) быстро вправо — подача вправо — быстро назад (влево) — стоп и т. д. (рис. 121); б) быстро влево — подача влево — быстро назад (вправо) — стоп и т. д. (рис. 122), т. е. получается тот же цикл движений стола, но только в левую сторону;

автоматический маятниковый цикл: быстро вправо — подача вправо — быстро влево — подача влево — быстро вправо и т. д. (рис. 123). Для того чтобы настроить станок на автоматическую работу, необходимо:

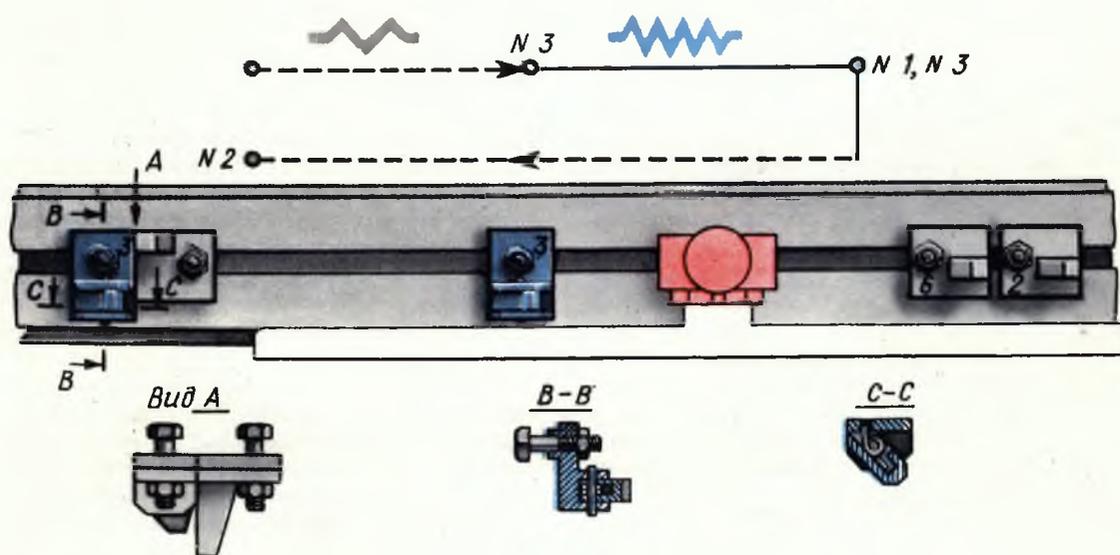
- отключить станок от сети переключателем ввода «включено — выключено»;
- поставить переключатели ручного или автоматического управления продольным перемещением стола и работы круглого стола в положение «Автоматическое управление»;
- включить станок переключателем ввода «Включено — выключено»;
- произвести установку кулачков в зависимости от принятого цикла.

При настройке на автоматическую работу необходимо иметь в виду, что переключение с подачи на быстрый ход или с быстрого хода на подачу осуществимо в любом месте хода и при любом направлении движения и ограничивается лишь возможностью установки кулачков в данной точке.

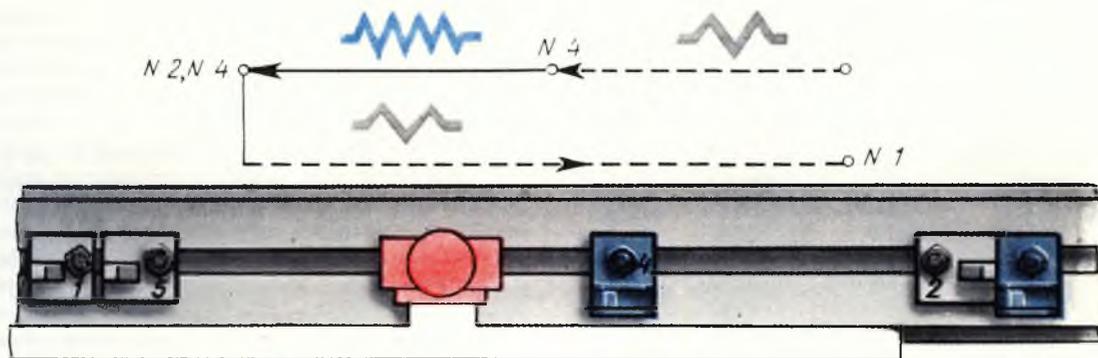
Установка переключателя ручного или автоматического продольного перемещения стола

Основные данные технической характеристики консольно-фрезерных станков №1, №2, №3 серии «Р»

Наименование параметров	Станки										
	6Р81Г	6Р81	6Р11	6Р82Г	6Р82	6Р12	6Р12Б	6Р83Г	6Р83	6Р13	6Р13Б
Размер рабочей поверхности стола (ширина × длина), мм	250 × 1000			320 × 1250				400 × 1600			
Наибольшее перемещение стола, мм:											
продольное	630			800				1000			
поперечное	210			240				300		320	
вертикальное	360	320	360	410	360	410	410	410	340	410	
Число оборотов шпинделя, об/мин											
наименьшее	50			31,5				50		31,5	
наибольшее	1600			1600				2500		1600	
Наименьшая и наибольшая продольная и поперечная подача стола, мм/мин	25—800			25—1250				40—2000		25—1250	
Наименьшая и наибольшая вертикальная подача стола, мм/мин	8,3—266,7			8,3—416				13—666		8,3—416	
Мощность электродвигателя шпинделя, кВт	5,5			7,3				10,0		10,0	
Мощность электродвигателя подачи, кВт	1,5			2,2				3,0		3,0	
Габарит станка, мм											
длина	1560			2305				2340		2560	
ширина	2045			1950				2260		2600	
высота	1610	1940		1670	2020		1770	2120		2120	
Масса станка, т	2,21	2,28	2,36	2,83	2,90	3,12	3,18	3,7	3,8	4,20	4,27



121 Установка кулачков при одностороннем полуавтоматическом цикле вправо



**122** Установка кулачков при одностороннем полуавтоматическом цикле влево

производится при нейтральном положении рукоятки продольного хода нажатием на него отверткой до упора и поворотом в фиксированное положение «Автоматическое управление». Если переключатель не фиксируется, надо маховичком на торце стола немного повернуть винт продольного хода.

Остановка движения стола вправо или влево производится кулачками № 5 или 6, которые воздействуют на выступы рукоятки продольного хода. Кулачки № 1 и 2 никогда не должны сниматься со станка, так как они ограничивают крайние положения стола.

Переключение с подачи на быстрый ход или с быстрого хода на подачу (при движении стола вправо или влево) производится кулачками № 3 и 4, которые воздействуют на звездочку.

Правый и левый кулачки различаются лишь положением рычага. При необходимости рычаг можно переставить в другую сторону.

При работе с ручным управлением кулачки № 3 и 4 рекомендуется с целью предохранения механизма от неоправданного износа снимать или переставлять на неработающую часть стола.

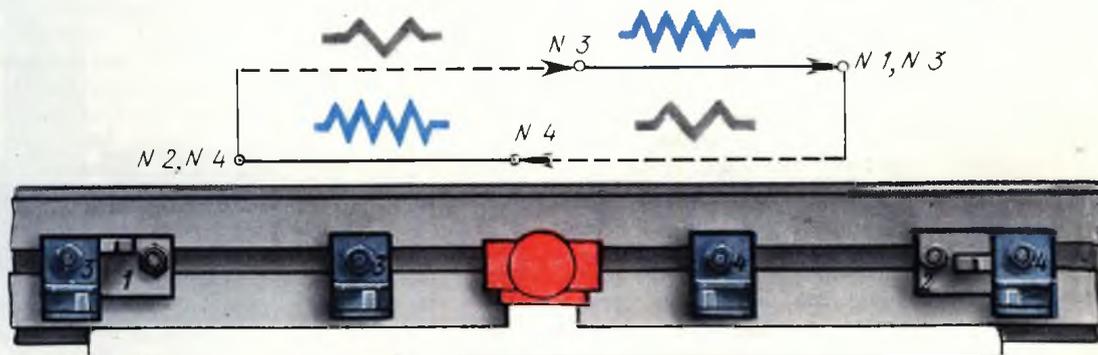
При одновременном фрезеровании комплекта заготовок, у которых обрабатываемые поверхности расположены на значительных рас-

стояниях друг от друга, станок может быть настроен для работы по скачкообразному циклу правой или левой подачи.

В соответствии с расположением обрабатываемых поверхностей стол станка будет получать то быстрые, то медленные перемещения по схеме: быстро вправо (или влево) — подача вправо (или влево) — быстро вправо (или влево) и т. д. — быстро назад — стоп.

При автоматическом маятниковом цикле обрабатываемые заготовки устанавливают поочередно то на правой стороне стола, то на левой. Во время обработки заготовки, установленной на одной стороне стола, на другой его стороне рабочий снимает обработанную деталь и устанавливает новую заготовку. Стол станка в этом случае непрерывно совершает замкнутый цикл движений: быстро вправо — подача вправо — быстро влево — подача влево — быстро вправо и т. д.

При работе стола в автоматическом цикле необходимо иметь в виду следующее: включение цикла производится при включенном вращении шпинделя рукояткой продольного хода в сторону подвода детали; установка рукоятки в положение «Стоп» (нейтральное) позволяет включать подачу или быстрый ход во всех случаях, независимо от настройки станка на авто-



**123** Установка кулачков при маятниковом цикле

матический цикл или ручное управление, за исключением момента поворота звездочки кулачком. В этот момент стол можно остановить только кнопками «Стоп». Перед включением стола после такой остановки необходимо проверить, зафиксирована ли звездочка.

В условиях автоматического цикла кнопки «Быстро стол» не работают.

#### **Консольно-фрезерные станки № 4 с шириной стола 500 мм**

Ульяновский завод тяжелых станков выпускает консольно-фрезерные станки: горизонтально-фрезерный станок модели 6Н84Г и вертикально-фрезерный станок модели 6Н14. Станки имеют бесступенчатый привод подач в продольном, поперечном и вертикальном направлениях от электродвигателя постоянного тока с магнитными усилителями. Станки можно настраивать на автоматический и полуавтоматический циклы работы.

#### **§ 36. Вертикально-фрезерные станки с крестовым столом (бесконсольные)**

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

Ульяновский завод тяжелых станков выпускает следующие модели бесконсольных станков: 654, 656 и 659 с шириной стола 630, 800 и 1000 мм. На базе этих моделей имеется ряд модификаций: с комбинированным (встроенным круглым) столом и с поворотной шпиндельной головкой.

Повышенная мощность и жесткость, а также высокие числа оборотов шпинделя позволяют производить на этих станках скоростное фрезерование торцовыми головками с пластинками твердых сплавов.

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

С целью удобства управления и сокращения вспомогательного времени на станках предусмотрено: управление всеми движениями станка с подвесного пульта; возможность изменения чисел оборотов шпинделя одной рукояткой с

помощью гидравлики; бесступенчатое изменение подач одной рукояткой, расположенной на подвесном пульте; наличие быстрых перемещений стола в продольном и поперечном направлениях и шпиндельной бабки — в вертикальном направлении; электрическое торможение шпинделя. Для точных перемещений стола предусмотрены замедленные подачи. Станки могут работать по полуавтоматическому циклу, включающему быстрый прямой и обратный ход, рабочий ход и остановку стола в требуемых положениях.

Вертикально-фрезерные станки с крестовым столом выпускают Вильнюсский станкостроительный завод «Коммунарас» и Львовский завод фрезерных станков.

#### **§ 37. Продольно-фрезерные станки**

Стол продольно-фрезерных станков расположен на неподвижной станине и имеет лишь одно продольное перемещение (медленное при рабочей подаче и быстрое при остальных движениях).

Эти станки предназначены для обработки заготовок корпусных и крупногабаритных деталей из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов в условиях единичного и серийного производства.

Фрезерование заготовок на этих станках производится главным образом торцовыми твердосплавными головками, а также цилиндрическими, концевыми и другими фрезами. Высокая жесткость и мощность продольно-фрезерных станков позволяют обрабатывать заготовки с большими сечениями среза. Эти станки изготовляют с шириной стола от 320 до 5000 мм, размерный ряд принят со знаменателем геометрической прогрессии  $\phi = 1,26$ .

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

Продольно-фрезерные станки имеют дистанционное управление с подвесного пульта, механизированный зажим подвижных узлов, автоматический отвод фрезы от детали при быстром ходе стола, дистанционное бесступенчатое регулирование скорости подач (для станков с шириной стола 500 мм и более), механизмы отвода стружки из зоны резания. Тяжелые станки оснащены механизмами для установки тяжелых фрез, накладными угловыми фрезерными головками, механизмами для отсчета перемещений. На станках с шириной стола 3200—5000 мм можно производить строгание, сверление и растачивание.

Продольно-фрезерные станки выпускают Дмитровский завод фрезерных станков (ДЗФС),

Горьковский завод фрезерных станков (ГЗФС), Минский завод им. Октябрьской революции (МЗОР) и Ульяновский завод тяжелых станков (УЗТС).

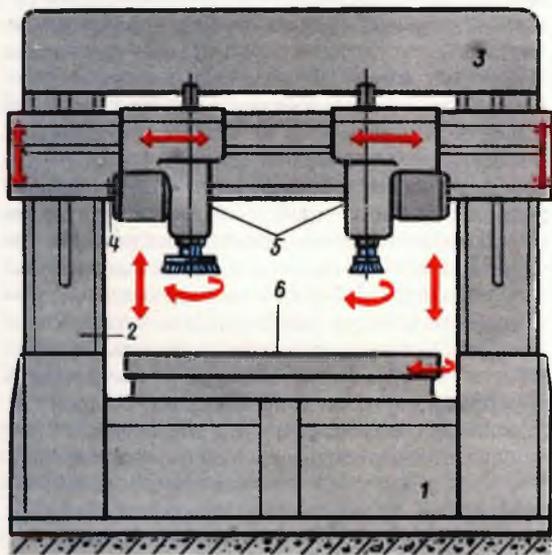
### § 38. Фрезерные станки непрерывного действия

На станках этого типа съем обработанных деталей, установка и закрепление заготовок производится без остановки станка. Фрезерные станки непрерывного действия подразделяются на карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные.

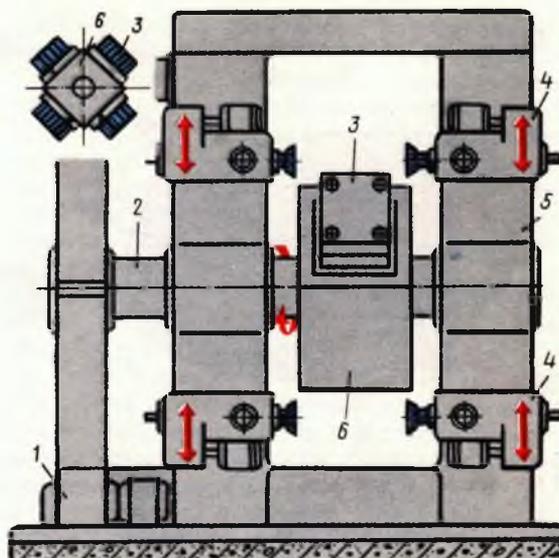
**Карусельно-фрезерные станки.** На рис. 124 показана схема карусельного станка. На станине 1 смонтированы две вертикальные стойки 2 с направляющими, которые соединены горизонтальной плитой 3, образующей замкнутую рамную систему. На стойках 2 смонтирована горизонтальная траверса 4, которая может перемещаться вверх и вниз. На траверсе 4 помещены шпиндельные головки 5 с самостоятельным приводом. Для удобства наладки на необходимую глубину фрезерования шпиндели фрезерных головок перемещаются в вертикальном направлении. Круглый поворотный стол 6 с вертикальной осью вращения приводится в действие от самостоятельного привода.

Благодаря медленному вращению стола (круговая подача) можно совместить машинное время обработки со вспомогательным временем.

Карусельно-фрезерные станки применяют в крупносерийном и массовом производстве для фрезерования больших партий заготовок.



124 Схема карусельно-фрезерного станка



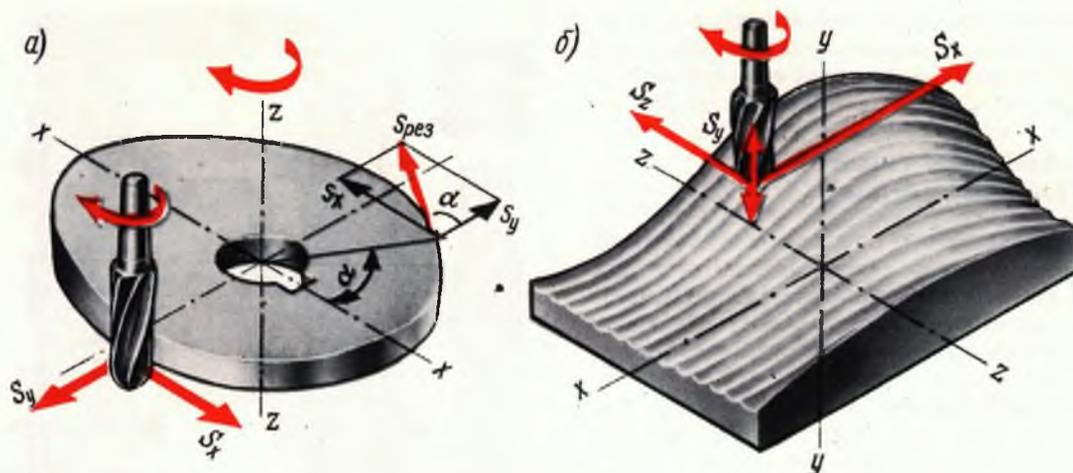
125 Барабанно-фрезерный станок

**Барабанно-фрезерные станки.** На рис. 125 приведены общий вид и схематическое изображение станка. Особенностью этих станков является наличие у них четырех- или восьмигранного барабана 6, смонтированного на валу 2 с горизонтальной осью вращения. Вал вместе с барабаном вращается от отдельного привода 1. Заготовки закрепляют в приспособлениях 3 на гранях медленно вращающегося барабана. Скорость вращения барабана может регулироваться коробкой подач. На двух стойках 5 размещены фрезерные головки 4, которые представляют собой самостоятельные узлы с индивидуальными приводами. Фрезерные головки можно перемещать по стойкам и закреплять в любом положении. На этих станках можно производить непрерывную обработку двух параллельных плоскостей заготовки. Для регулирования глубины фрезерования шпиндели кроме вращательного движения имеют поступательное перемещение по направлению оси вращения. Барабанно-фрезерные станки используют в крупносерийном и массовом производстве.

### § 39. Копировально-фрезерные станки

Детали сложной конфигурации, например, штампы, пресс-формы, лопатки турбин и др., в крупносерийном и массовом производстве обрабатывают на копировально-фрезерных станках концевыми фрезами. Различают контурное и объемное копировальное фрезерование.

При контурном фрезеровании фрезе или обрабатываемой заготовке необходимо сообщить одновременно движение в двух направлениях:  $x$  и  $y$  (продольном и поперечном) —



**126** Схема копирующего фрезерования пространственно-сложных фасонных поверхностей

по заданной программе (кривой копира) (рис. 126, а).

Для обеспечения точного обвода контура результирующая скорость перемещения шупа  $s_{рез}$  относительно копира и режущего инструмента по заготовке детали, так называемая подача копирования, всегда должна быть направлена по касательной и контуру в данной точке. Ее составляющие — задающая (продольная) подача  $s_x$  и следящая (поперечная) подача  $s_y$  — должны быть соответственно пропорциональны синусу и косинусу угла наклона касательной и кривой в данной точке (к направлению продольной подачи), т. е.

$$\begin{aligned} s_x &= s_{рез} \cdot \sin \alpha, \\ s_y &= s_{рез} \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Выполнение этого условия обеспечивается специальным устройством — синусным распределителем. Пространственно-сложные фасонные поверхности при объемном копировании (рис. 126, б) обрабатываются отдельными проходами концевой фрезы с закругленными торцовыми зубьями.

Во время каждого такого прохода фреза перемещается вдоль профиля обрабатываемой заготовки в данном сечении в направлении оси  $x$  (задающая подача  $s_x$ ).

В процессе продольного перемещения фреза должна изменять свое положение в направлении оси  $y$  (следящая подача  $s_y$ ). Для перехода к обработке соседнего сечения необходимо периодическое смещение фрезы в направлении оси  $z$ . Такое перемещение носит название строчечной подачи ( $s_z$ ).

Копировально-фрезерные станки имеют задающее устройство (копир, шаблон, эталонная деталь, чертеж, модель и др.), связанное через копирующее устройство (шуп, копируль-

ный палец, копирульный ролик, фотоэлемент), с исполнительным органом, который повторяет движение копирующего устройства для воспроизведения режущим инструментом формы задающего устройства.

Существуют две схемы работы копирульно-фрезерных станков: без следящей системы и со следящей системой. В первой согласование взаимного положения шупа (копирульного пальца) осуществляется с помощью жесткой связи между задающим и исполнительным устройствами. Вторая система имеет следующий механизм в системе исполнения команд. В задающем устройстве образуются управляющие сигналы, которые подаются в следующий механизм. Последний сравнивает заданную программу с выполненной и при их расхождении подает сигнал исполнительному устройству для корректирования траектории режущего инструмента. Копировальные станки со следящей системой характеризуются также наличием усилительных устройств, которых нет в станках с жесткой связью. В отличие от механических копирульных устройств, в которых сила резания воспринимается копиром (шаблоном), в следящих системах следящий орган (шуп), передвигаясь по копиру, только подает команду исполнительным органам, которые осуществляют соответствующие перемещения рабочих органов станка. Поэтому следящие копирульные устройства работают с очень малым давлением на копиры (шаблоны или модели), что дает возможность применять дешевые и простые в изготовлении копиры и производить обработку крутых и точных переходов профиля фасонной поверхности. Малые давления следящего органа (шупа) на копир обеспечивают высокую точность и класс шероховатости обработанной поверхности, позволяют производить обработку при оптимальных режимах фрезерования. Наибольшее применение получили копирульно-фрезерные станки с электро-

механической и гидравлической копировальными системами.

Копировально-фрезерные станки бывают следующих видов:

станки с вертикальным расположением шпинделя и горизонтальной поверхностью стола (станки консольного и бесконсольного типов);

станки с горизонтальным расположением шпинделя и с вертикальным расположением плоскости крепления заготовок.

К станкам с вертикальным расположением шпинделя относятся:

копировально-фрезерные станки с пантографом для контурного копирования;

вертикально-фрезерные консольные станки с копировальным устройством;

вертикально-фрезерные станки с крестовым столом и копировальным устройством;

копировально-фрезерные станки для контурного и объемного копирования с вертикальным шпинделем.

К станкам с горизонтальным расположением шпинделя относятся:

копировально-фрезерные станки для контурного и объемного копирования с горизонтальным шпинделем и неподвижной стойкой;

копировально-фрезерные станки для контурного и объемного копирования с горизонтальным шпинделем и подвижной стойкой.

#### § 40. Шпоночно-фрезерные, торцефрезерные, зубофрезерные и резьбофрезерные станки

**Шпоночно-фрезерные** станки предназначены для фрезерования на валах шпоночных канавок и пазов. На одних станках фрезеруют пазы под призматические шпонки, на других — пазы под сегментные шпонки. Станки для пазов под призматические шпонки бывают следующих типов:

а) работающие с вертикальным врезанием фрезы на полную глубину канавки с последующей медленной подачей на длину канавки;

б) работающие с быстрым многократным поступательно-возвратным перемещением фрезы относительно обрабатываемой заготовки при вертикальном врезании в конце каждого хода на часть глубины канавки (так называемая маятниковая подача) (см. рис. 85);

в) работающие эксцентрично установленной фрезой или с осциллирующим движением фрезы.

**Торцефрезерные** станки предназначены для подрезки торцов валов торцовыми твердосплавными фрезами (головками) в крупносерийном и массовом производстве.

Зубофрезерные и резьбофрезерные станки по принятой в СССР классификации металло-режущих станков относятся к пятой группе — зубообрабатывающие и резьбообрабатываю-

щие. Поэтому первая цифра номера любого станка этой группы начинается с цифры 5. Станки этой группы делятся на типы (вторая цифра в условных обозначениях станка): 1 — зубострогальные для цилиндрических зубчатых колес; 2 — зубострогальные для конических колес; 3 — зубофрезерные для цилиндрических зубчатых колес и шлицевых валов; 4 — зубофрезерные для червячных колес; 6 — резьбофрезерные и др.

Так, например, 5К301, 5К310, 5А312, 5К324, 5К328 и др. — зубофрезерные полуавтоматы, 5К63 — резьбофрезерный полуавтомат.

✓ **Зубофрезерные** станки. На зубофрезерных станках нарезают цилиндрические прямозубые, косозубые и червячные зубчатые колеса методом обкатки (огибания) с помощью червячных фрез. ✓

✓ **Червячная фреза** представляет собой червяк с продольными канавками для образования режущих зубьев. Червячная фреза для нарезания зубьев червячных колес является специальной, т. е. пригодна для нарезания того червячного колеса, для которого она сконструирована и изготовлена.

Фрезерование зубьев зубчатых колес на зубофрезерных станках, работающих по методу обкатки, основано на воспроизведении движущей червячной передачи, у которой червяк в виде фрезы является режущим инструментом, а сопряженное колесо — нарезаемой заготовкой. Червячной фрезе и заготовке сообщают согласованное вращение, которое они имели бы, если бы червячная фреза и нарезаемое зубчатое колесо находились бы в действительном и правильном зацеплении. Это и есть движение огибания (обкатки), и характеризуется оно тем, что за один оборот червячной фрезы (червяка) заготовка поворачивается на  $k$  зубьев, т. е.

на  $\frac{k}{z}$  оборота, где

$k$  — число заходов червячной фрезы,

$z$  — число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

Для получения профиля по всей длине зуба, червячной фрезе сообщают подачу вдоль оси заготовки.

Таким образом, в отличие от нарезания зубчатых колес по методу копирования на универсальных фрезерных станках с применением делительных головок дисковыми модульными фрезами и пальцевыми модульными фрезами при нарезании зубчатых колес по методу обкатки процесс нарезания зубьев зубчатого колеса происходит непрерывно. Нарезание продолжается только в течение времени, которое необходимо для перемещения фрезы вдоль оси заготовки на длину зуба колеса. ✓

**Резьбофрезерные** станки делятся на станки для фрезерования коротких резьбогребенчатыми фрезами и станки для фрезеро-

вания длинных резьб дисковыми фрезами и резцовыми головками.

Гребенчатые фрезы изготавливают с коническим хвостовиком и насадные (см. табл. 19). Оба типа предназначаются для нарезания наружных и внутренних резьб. Фрезами с коническим хвостовиком нарезают внутренние резьбы, когда небольшой диаметр резьбы исключает возможность применения насадных фрез. Насадные фрезы более распространены, чем хвостовые из-за относительной простоты их изготовления.

При фрезеровании резьбы гребенчатыми фрезами обрабатываемая заготовка получает медленное, а фреза быстрое вращение (главное движение). На обрабатываемой заготовке получают одновременно ряд винтовых канавок, образующих профиль резьбы. Помимо этих движений обрабатываемая заготовка или фреза получает продольное перемещение на величину шага резьбы за один оборот заготовки. Нарезание всех витков резьбы производится за  $1/16$  —  $1/3/8$  оборота заготовки. При этом дополнительное вращение на  $1/6$  —  $3/8$  оборота заготовки необходимо для подвода фрезы, врезания на глубину профиля резьбы и его отвода.

#### § 41. Испытание фрезерных станков

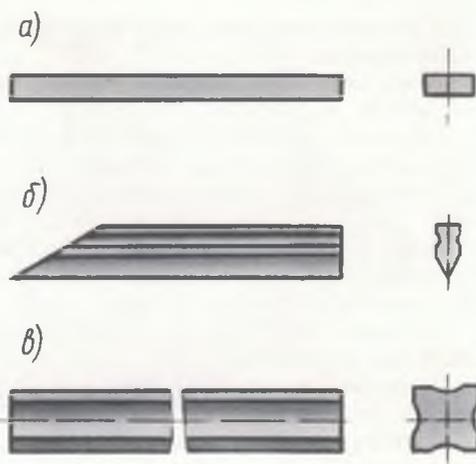
Приемочные испытания производят для определения эксплуатационной характеристики станка, а также правильности работы узлов станка. В них входят:

- проверка качества его изготовления;
- проверка электро-, гидро- и пневмооборудования станка, его системы смазки и охлаждения;
- проверка соответствия паспортных данных станка фактическим;
- испытание станка на холостом ходу;
- испытание станка при работе под нагрузкой;
- испытание станка на точность и возможный класс шероховатости обработанных поверхностей деталей и др.

Испытание станков на холостом ходу производится последовательным включением всех его рабочих скоростей от наименьшей до наибольшей, причем на наибольшей скорости до наступления установленной температуры в подшипниках, но не менее получаса. Температура подшипников шпинделя не должна подниматься выше  $70^{\circ}\text{C}$  для под-



**127** Поверочная линейка (чугунный мостик)



**128** Линейки

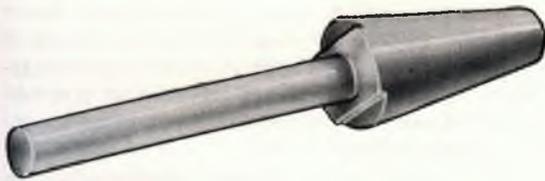
шипников скольжения и  $85^{\circ}\text{C}$  — для подшипников качения. В других механизмах (коробки подач и др.) температура подшипников при аналогичных испытаниях не должна превышать  $50^{\circ}\text{C}$ . Механизм подач испытывается на холостом ходу при наименьших, средних и наибольших рабочих подачах, а также при быстрых (ускоренных) подачах.

Испытание станков при работе под нагрузкой следует проводить в условиях, близких к эксплуатационным. При испытании под нагрузкой универсальных станков производится черновое и чистовое фрезерование. Испытания станков под нагрузкой в соответствии с действующей методикой производятся при тяжелых силовых режимах с использованием до 80% мощности главного привода, а также в условиях скоростного фрезерования при полном использовании мощности.

При испытаниях станков под нагрузкой, как и при испытаниях на холостом ходу, все его механизмы должны работать исправно; не допускаются вибрации, неравномерная скорость движений, буксование или перегрев фрикционных муфт, стук в коробке скоростей, перебои в работе системы смазки, охлаждения электроаппаратуры и др. Подлежат проверке на самовыключение фрикционные муфты при максимальных нагрузках и перегрузках до 25% сверх номинальной мощности, а также устройства, предохраняющие станок от опасных перегрузок.

Испытания на точность. По точности металлорежущие станки делятся на пять классов (ГОСТ 8—71), обозначаемых в порядке возрастания точности: Н, П, В, А и С\*.

\* Н — нормальной точности; П — повышенной точности; В — высокой точности; А — особо высокой точности; С — сверхточные.



**129** Контрольная оправка

Проверке на нормы точности должен подвергаться на предприятии-изготовителе каждый изготовленный станок.

Перед проверкой на нормы точности станок должен быть выверен по уровню относительно горизонтальной или другой заданной плоскости.

К каждому изготовленному заводом-изготовителем станку прилагается акт технической приемки, в котором указаны методы проверки станка на точность. Предельные значения допустимых отклонений при проверке на геометрическую точность станков определяются по ГОСТ 13—54.

Консольно-фрезерные станки подвергают следующим проверкам:

- радиальное биение наружной центрирующей шейки шпинделя;
- осевое биение шпинделя;
- радиальное биение оси конического отверстия шпинделя;
- плоскостность рабочей поверхности стола;
- параллельность рабочей поверхности стола продольным направляющим;
- параллельность рабочей поверхности стола направляющим консоли;
- перпендикулярность оси шпинделя к поверхности стола (для вертикальных станков) и др. (всего около 20 проверок).

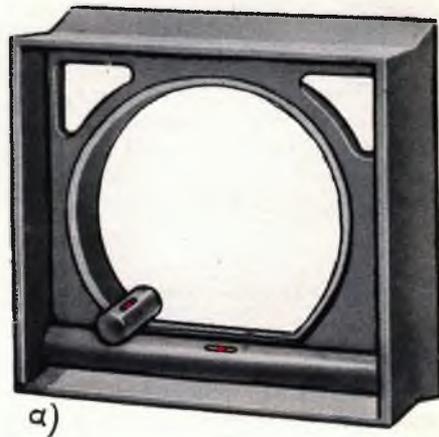
Для определения точности станков применяют универсальные и специальные контрольно-измерительные инструменты и приборы. При проверке направляющих плоскостей по краске применяют чугунные и стальные поверочные линейки 1-го класса точности размером от 40×500 до 110×4000 мм (рис. 127).

Для проверки прямолинейности направляющих большой длины на просвет пользуются простыми контрольными стальными шаброванными линейками (рис. 128, а) длиной от 300 до 500 мм, а для небольших плоскостей — лекальными стальными линейками с двусторонним скосом (рис. 128, б), трех- или четырехгранными (рис. 128, в) нулевого или первого класса длиной от 75 до 400 мм. Для определения зазоров между проверяемой плоскостью и контрольной линейкой применяют щупы и плоскопараллельные концевые меры (плитки).

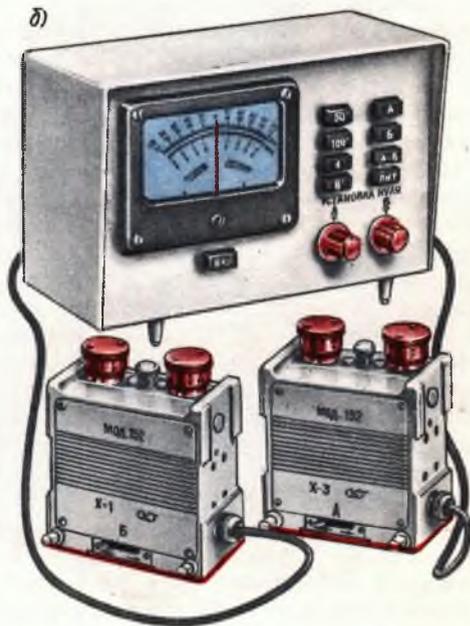
При многих проверках используют контрольные оправки, изготовленные с высокой точностью (отклонение от цилиндричности не

свыше 3 мк). Один конец оправки представляет собой конус, точно соответствующий коническому отверстию шпинделя (рис. 129), а другой — цилиндрическую поверхность диаметром от 16 до 65 мм и длиной от 100 до 300 мм.

Большую часть измерений при испытаниях станков на точность производят с помощью индикаторов нулевого класса точности. Для крепления индикаторов при различных проверках используют стойки. Очень удобны стойки с магнитной пяткой, позволяющие устанавливать индикатор почти в любом положении на станке. Уровни (рис. 130) служат для проверки точности установки станка в горизонтальной и вертикальной плоскостях, проверки перпендикулярности и параллельности плоскостей, направляющих, отсутствия перекосов при переме-



а)



б)

**130** Уровни

шениях. Чаще всего пользуются горизонтальным и рамным (рис. 130, а) уровнями. Рамный уровень особенно удобен для проверки перпендикулярности плоскостей.

На рис. 130, б показан дифференциальный электроиндуктивный уровень модели 152 завода «Калибр». Он предназначен для непосредственного и дистанционного измерения углов наклона поверхностей относительно горизонта или базовой плоскости, а также без измерения угла наклона двух поверхностей относительно друг друга. Уровень обладает высокой точностью измерения: он позволяет выставлять и определять отклонение рабочих поверхностей относительно горизонта или базовой плоскости в пределах  $\pm 8'$ . Уровень и показывающий отсчетный прибор соединены кабелем, что позволяет производить контроль в малодоступных местах. Производительность измерения дифференциальным электроиндуктивным уровнем по сравнению с жидкостными уровнями значительно выше.

Помимо перечисленных выше видов испытаний в ряде случаев проводят также испытание станков на мощность, жесткость, виброустойчивость, производительность, шум и др.

## § 42. Эксплуатация станков

Долговечность работы станка в значительной мере зависит от условий его эксплуатации. Во избежание повреждений станков при транспортировке следует соблюдать правила упаковки, перевозки и переноски станков.

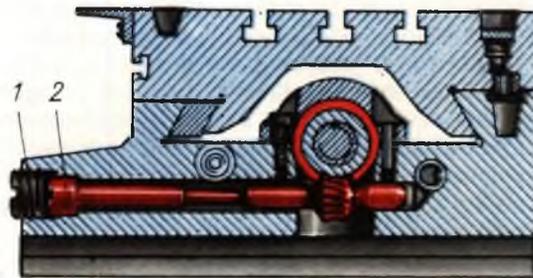
Качество работы станка зависит от правильной его установки на фундаменте. Без фундамента разрешается установка станка только на бетонированном полу достаточной толщины (200—300 мм). В остальных случаях для достижения спокойной и точной работы необходимо подготовить бетонный фундамент. Установку станка на фундамент производят после полного затвердевания раствора цемента. В отверстия основания станины закладывают фундаментные болты с навинченными гайками и при установке станка на фундамент опускают болты в заранее подготовленные колодцы. Выверку правильности положения станка производят при помощи точных уровней, которые устанавливают на обработанные горизонтальные или вертикальные плоскости станка (направляющие стола и т. п.). Для придания станку правильного положения применяют стальные клинья или регулируемые башмаки, которые устанавливают по периметру станины на определенных расстояниях друг от друга. После выверки станка по уровню в продольном и поперечном направлениях производят заливку основания станка раствором цемента.

Каждый станок, находящийся в цехе, имеет паспорт, выданный заводом-изготовителем и хранящийся в отделе главного механика завода. Паспорт станка является основным техническим документом, содержащим полную характеристику станка.

В паспорте даны сведения, характеризующие тип станка, модель, завод-изготовитель, год выпуска, заводской номер, место установки, дату пуска в эксплуатацию и т. п.; помещена фотография станка со спецификацией органов управления. В разделе «Основные данные станка» приведены сведения, характеризующие габарит и массу станка, основные размеры, стол, направляющие станины, шпиндель, хобот и сергу, принадлежности и приспособления для настройки и обслуживания станка, прилагаемые к станку, сведения о ремонте, комплект поставки и др. В разделе «Механика станка» приведены данные по механике главного движения (число оборотов шпинделя в минуту, мощность на шпинделе) и по механике подачи (подачи стола в мм/мин — продольная, поперечная и вертикальная, ускоренные подачи стола). Кроме паспорта к каждому станку прилагают руководство по эксплуатации, которое хранится у цехового механика или на рабочем месте. В руководстве кроме сведений, имеющих в паспорте, приведены рекомендации по транспортировке и распаковке, установке станка на фундамент, подготовке станка к первоначальному пуску, смазке станка, охлаждению фрез при резании. В руководстве имеется также кинематическая схема станка со спецификацией зубчатых и червячных колес, червяков и реек, описание конструкции станка и его узлов, рекомендации по настройке, наладке и режимам работы, регулированию и эксплуатации электрооборудования и др. В конце руководства прилагают чертежи быстроизнашивающихся деталей.

### Регулирование станков

**Регулирование зазора между ходовым винтом и гайкой.** В процессе эксплуатации станков возникает необходимость в регулировании отдельных узлов и элементов с целью восстанов-



131 Регулирование зазора в ходовом винте

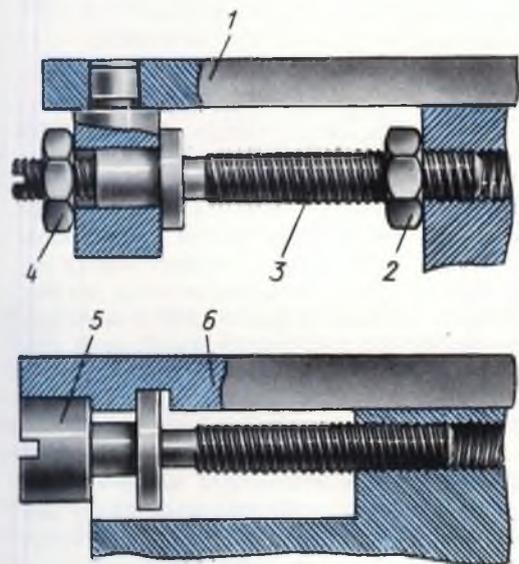
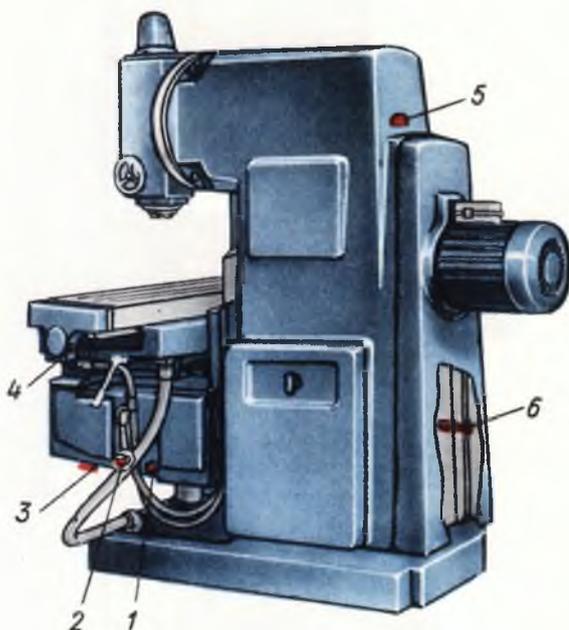
ления их нормальной работы. Между ходовым винтом и гайкой имеется небольшой зазор (люфт). Поэтому, как указывалось ранее (см стр. 33), при точных перемещениях необходимо маховичок ручного перемещения стола вращать в одном направлении, чтобы выбрать мертвый ход. Если некоторая доля оборота маховичка происходит без перемещения стола, то это означает, что между ходовым винтом и гайкой имеется зазор (мертвый ход). Если мертвый ход превышает  $\frac{1}{8}$  оборота рукоятки, надо сообщить об этом мастеру. При наличии зазора в ходовом винте продольного перемещения стола нельзя производить фрезерование по подаче.

Для регулирования зазора между ходовым винтом и гайкой стола консольно-фрезерных станков № 2 и 3 серии «Р» необходимо ослабить контргайку 1 (рис. 131) и вращая валик 2 произвести подтягивание гайки ходового винта. Выбор люфта необходимо производить до тех пор, пока люфт ходового винта, проверяемый поворотом маховичка продольного хода, окажется не более  $3-5^\circ$  и пока при перемещении стола вручную не произойдет заклинивание винта на каком-либо участке, необходимом для рабочего хода.

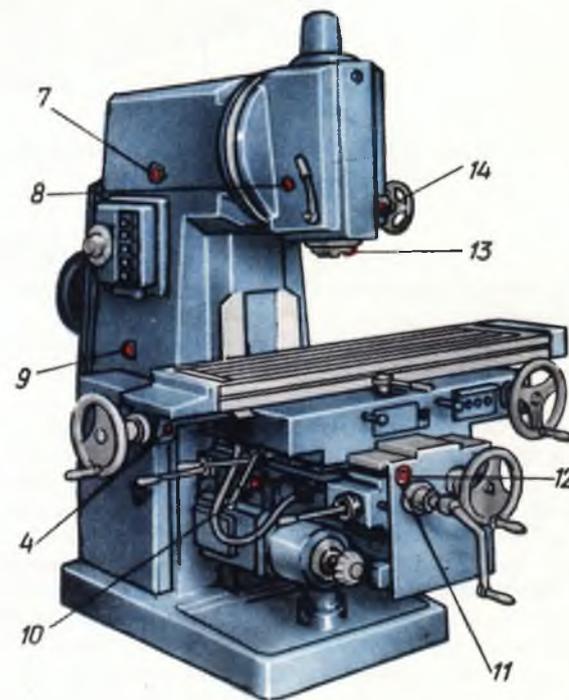
После регулирования затягивают контргайку 1, фиксируя валик 2 в установленном положении.

**Регулирование клиньев стола и салазок.** Зазор в направляющих стола и салазок консольно-фрезерных станков № 2 и 3 серии «Р» выбирается клиньями. Регулирование клина 1 стола (рис. 132) производится при ослабленных гай-

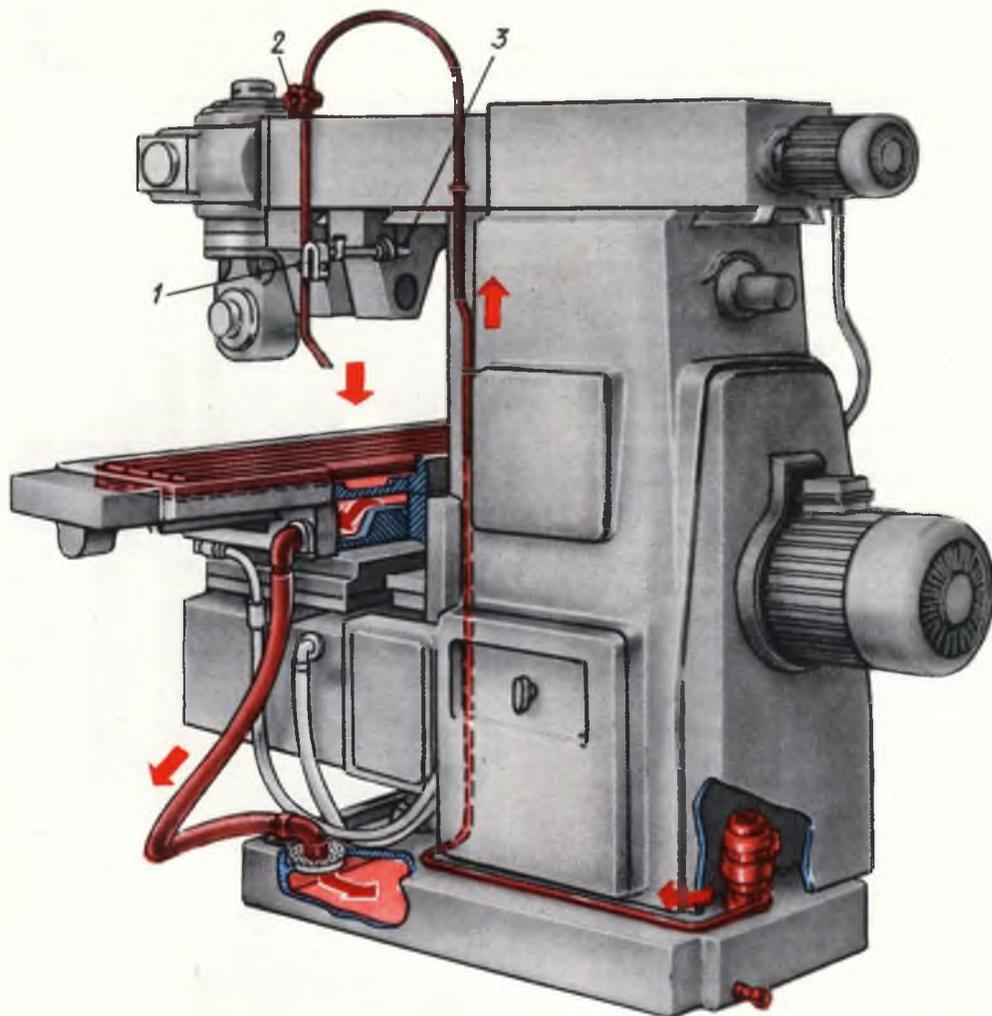
ках 2 и 4 подтягиванием винта 3 отверткой. После проверки регулирования ручным перемещением стола гайки надежно затягиваются. Зазор в направляющих салазок регулируется



**132** Регулирование клиньев



**133** Схема смазки моделей 6Р12, 6Р12Б, 6Р13 и 6Р13Б



**134** Схема охлаждения инструмента консольно-фрезерных станков моделей 6Р82, 6Р82Г, 6Р83 и 6Р83Г

клином 6 при помощи винта 5. Степень регулирования проверяется при перемещении салазок вручную.

В процессе эксплуатации кроме указанных элементов регулируются:

- зазор в переднем подшипнике;
- пружины фиксатора лимба скоростей и лимба подач;
- предохранительная муфта коробки подач и др.

**Смазка станков.** Основное назначение смазки сводится к уменьшению потерь на трение, повышению износостойкости трущихся поверхностей и обеспечению допустимой температуры. От правильности смазки станка зависит срок службы станка и надежность его работы.

На рис. 133 и в табл. 13 приведены схемы и режимы смазки консольно-фрезерных станков 6Р12, 6Р12П, 6Р13, 6Р13Б.

Для смазки этих станков рекомендуется масло «индустриальное 30».

**Охлаждение в процессе фрезерования.** Смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ) следует подавать непосредственно в зону резания. Подвод СОЖ в нужную зону обеспечивается маневренностью системы подвода сопла. На рис. 134 приведена схема подвода СОЖ к режущему инструменту для станков № 2 и 3 серии «Р». Если отвернуть гайку 1, то сопло можно поворачивать под любым углом и устанавливать по высоте. Для перемещения сопла вдоль сколов хобота необходимо также ослабить гайку 3 со стороны, противоположной соплу. При изменении направления фрезерования вся система может быть перенесена на другую сторону хобота. Регулятором подачи требуемого количества СОЖ является кран 2, расположенный сверху сопла. Этим краном разreshается поль-

Перечень элементов смазки консольно-фрезерных станков 6Р12, 6Р12Б, 6Р13 и 6Р13Б

№ позиции на рис. 133	Наименование элементов смазки	Способ обслуживания	Периодичность обслуживания	Смазочный материал	Норма расхода
1	Указатель уровня масла в резервуаре консоли	—	—	—	—
2	Залив масла в резервуар консоли	Вручную	Менять: первый раз через 15 дней, второй раз через 30 дней, далее каждые 3 месяца	Масло ИС-30 ГОСТ 8775—62	6
3	Слив масла из резервуара консоли	—	—	—	—
4	Пресс-масленка для смазки концевых подшипников стола	Шприцем	1 раз в месяц	Смазка 1—13 ГОСТ 1631—61	—
5	Залив масла в резервуар станины	Вручную	Менять: первый раз через 15 дней, второй раз через 30 дней, далее каждые 3 месяца	Масло ИС-30 ГОСТ 8675—62	12—14
6	Слив масла из резервуара станины	—	—	—	—
7	Контроль работы насоса коробки скоростей	—	—	—	—
8	Пресс-масленка для смазки переднего подшипника шпинделя	Шприцем	1 раз в месяц	ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267—59	—
9	Указатель уровня масла в резервуаре станины	—	—	—	—
10	Контроль работы насоса консоли	—	—	—	—
11	Кнопка для смазки вертикальных направляющих консоли	—	—	Масло ИС-30 ГОСТ 8675—62	—
12	Кнопка для смазки механизма и направляющих узла «стол — салазки»	—	—	То же	—
13	Пресс-масленка для смазки верхних подшипников шпинделя	Шприцем (гильзу выдвинуть)	1 раз в месяц	Смазка ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267—59	—
14	Пресс-масленка для смазки подшипников механизма перемещения гильзы	Шприцем	То же	Смазка 1—13 ГОСТ 1631—61	—

зоваться, так же как краном-выключателем СОЖ, если время выключения не превышает 10 мин. На более продолжительное время отключение эмульсии необходимо производить выключением насоса с помощью переключателя на дверке электроники.

Насос подачи СОЖ смонтирован за одно целое со своим электродвигателем и расположен в нише основания под кожухом электродвигателя главного движения. Наибольшая производительность насоса — 22 л/мин. Включение и выключение насоса охлаждения происхо-

дит при установке переключателя на дверке левого электрошкафа в положение «Охлаждение включено» или «Охлаждение выключено».

Для периодической очистки основания и замены СОЖ в основании имеется пробка 4, а в фундаменте — приямок для слива СОЖ. В передней части основания имеется решетчатая крышка, через которую СОЖ стекает с верхней поверхности во внутреннюю полость. Эта крышка задерживает стружку, тряпки, грязь и т. д. Снятие ее недопустимо, так как приводит к порче насоса и загрязнению всей системы.

Систему охлаждения следует периодически (через 6 месяцев) демонтировать и промывать под давлением. При смазке станков других моделей нужно пользоваться рекомендуемыми схемами и режимами смазки, аналогичными приведенным на рис. 134 и в табл. 13.

**Ремонт станков.** Система планово-предупредительного ремонта (ППР) предусматривает выполнение ряда мероприятий по уходу, надзору и ремонту станков.

Основными мероприятиями в системе ППР являются межремонтное обслуживание и периодические плановые ремонты. Межремонтное обслуживание предусматривает ежедневный осмотр станков и устранение обнаруженных недостатков; периодический плановый осмотр в установленные сроки; периодическую плановую проверку станков на точность. Периодические плановые ремонты подразделяют на малый, средний и капитальный.

На каждый станок должен быть заведен журнал, в котором отмечают осмотры, ремонты, аварии, переделки, мероприятия по модернизации и т. п.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют кинематической схемой металлорежущих станков?
2. По какому закону выбирают ряд чисел оборотов станка?
3. Как классифицируются станки фрезерной группы?
4. Как характеризуются консольно-фрезерные станки? Разберите по кинематической схеме консольно-фрезерного станка цепь главного движения.
5. Разберите по кинематической схеме консольно-фрезерного станка цепи главного движения, а также продольных, поперечных и вертикальных подач.
6. Чем отличаются бесконсольные вертикально-фрезерные станки от консольных и каково их назначение?
7. Каково назначение продольно-фрезерных и вертикально-фрезерных и фрезерных станков?

# 7 Делительные головки

Делительные головки являются важнейшими принадлежностями консольно-фрезерных станков, в особенности универсальных, и значительно расширяют технологические возможности станков. Их используют при изготовлении различных инструментов (фрез, разверток, зенкеров, метчиков), нормализованных деталей машин (головки болтов, грани гаек, корончатые гайки), при фрезеровании зубчатых колес, пазов и шлицев на торцах (зубчатые муфты) и других деталей. Делительные головки служат:

1) для установки оси обрабатываемой заготовки под требуемым углом относительно стола станка;

2) для периодического поворота заготовки вокруг ее оси на определенный угол (деление на равные и неравные части);

3) для непрерывного вращения заготовки при нарезании винтовых канавок или винтовых зубьев зубчатых колес.

Делительные головки бывают:

1. Лимбовые с делительными дисками:
  - а) непосредственного деления;
  - б) простого деления;
  - в) полууниверсальные;
  - г) универсальные.

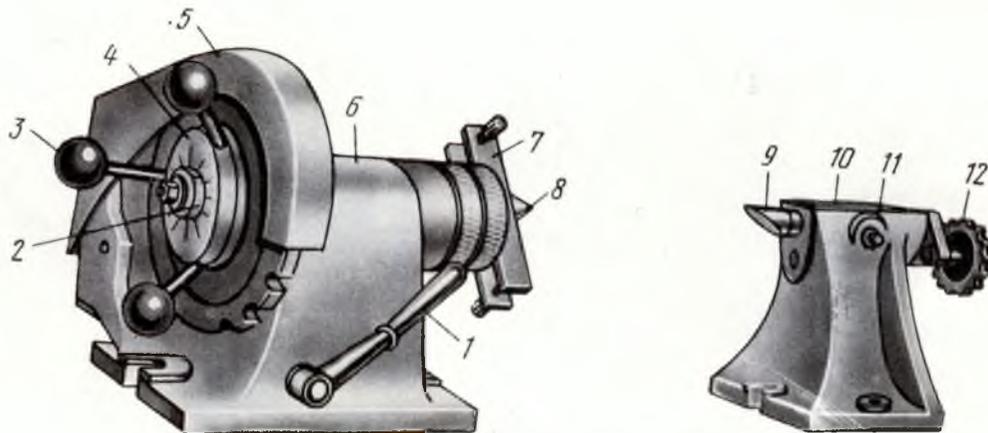
2. Безлимбовые (без делительного диска) с зубчатым планетарным механизмом и набором сменных зубчатых колес.

3. Оптические (для точных делений и контрольных операций).

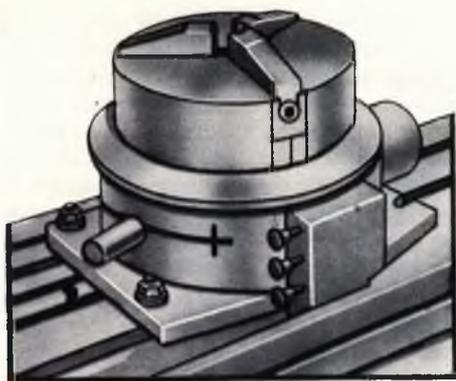
Обычно делительные головки изготавливают одношпиндельными. Иногда применяют многошпиндельные (двух- и трехшпиндельные) для одновременной обработки соответственно двух или трех заготовок. Безлимбовые делительные головки позволяют производить процесс деления посредством сменных зубчатых колес. При этом рукоятку делительной головки поворачивают на один или несколько полных оборотов. Однако конструкция и кинематическая схема безлимбовых делительных головок значительно сложнее, чем лимбовых.

## § 43. Делительные головки непосредственного и простого деления

Делительные головки непосредственного деления. При выполнении многих фрезерных работ, связанных с непосредственным делением, более производительными и экономичными

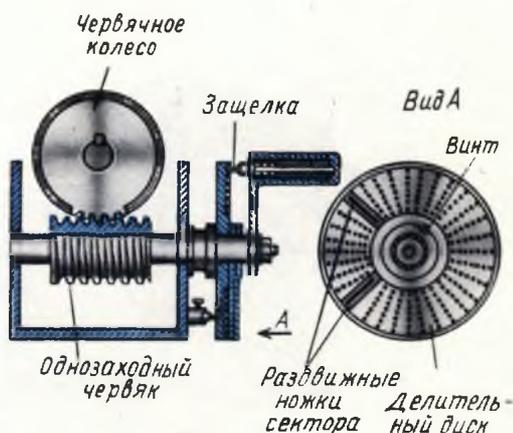
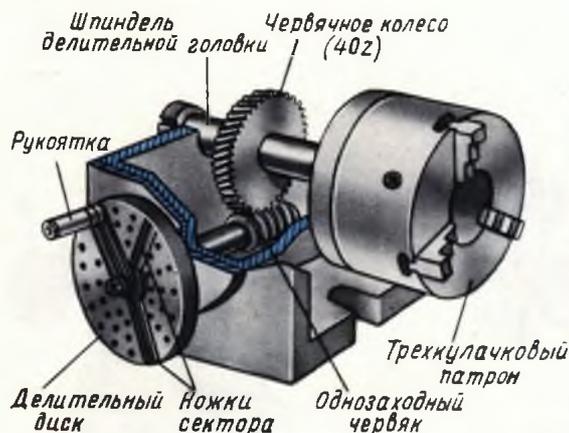


135 Делительная головка непосредственного деления



**136** Пневматическая делительная головка непосредственного деления

являются головки, с помощью которых осуществляется только непосредственное деление. На рис. 135 показана делительная головка с отсчетом угла поворота шпинделя по диску, имеющему 12 делений, и, следовательно, допускающая деление на 2, 3, 4, 6 и 12 равных частей. В корпусе 6 головки вращается шпиндель, на правом конце которого надет поводковый патрон 7. Центр 8 вставлен в шпиндель головки. На левом конце насажен диск 4, на котором имеется двенадцать прорезей. Гайка 2 служит для регулировки зазора в подшипниках шпинделя. Вращение осуществляется рукояткой 3. Поворот шпинделя фиксируется диском 4, который устанавливают в требуемое положение при помощи стопорного рычага 1. Кожух 5 служит для защиты головки от стружки и грязи. Задняя бабка 10 поддерживает второй конец заготовки. Центр 9 задней бабки может перемещаться в продольном направлении с помощью маховичка 12 и закрепляется винтом 11 в требуемое положение. Подобные головки изготавливают и с вертикальным расположением шпинделя.



**137** Простое деление (пространственная кинематическая схема делительной головки простого деления)

На рис. 136 показана пневматическая делительная головка, обеспечивающая деление на 4, 5, 6, 10 и 12 частей. Зажим обрабатываемой заготовки и ее поворот осуществляется при помощи встроенных пневмоцилиндров, управляемых кнопочным золотниковым устройством, расположенным сбоку головки. Ее надежная работа обеспечивается при давлении сжатого воздуха 4—5 атм, при котором заготовка зажимается с силой 1400—1500 кг. Патрон имеет разделительную настройку кулачков, что дает возможность закреплять заготовки круглой и некруглой формы. Она может быть установлена как на горизонтальном, так и вертикальном фрезерных станках.

**Делительные головки простого деления.** Делительными головками простого деления называют такие, у которых отсчет производится по неподвижному делительному диску, а деление рукояткой, связанной со шпинделем делительной головки, — через червячную передачу. Пространственная кинематическая схема головки простого деления показана на рис. 137. Обычно в делительных головках простого деления червячное колесо имеет 40 зубьев, а червяк выполнен однозаходным. Следовательно, для того чтобы шпиндель головки сделал полный оборот, рукоятке (червяку) следует сообщить 40 оборотов. Для получения половины оборота рукоятке сообщают 20 оборотов и т. д. Число оборотов рукоятки, которое необходимо произвести, чтобы шпиндель делительной головки повернулся на один оборот, называется характеристикой делительной головки и обозначается буквой  $N$ . Число оборотов  $n$  рукоятки головки, необходимое для получения требуемого деления фрезеруемой заготовки, находят по формуле

$$n = \frac{N}{z}, \quad (14)$$

где  $N$  — характеристика делительной головки;  
 $z$  — требуемое число делений.

Подставляя вместо  $N$  его значение ( $N=40$ ), получим

$$n = \frac{40}{z}. \quad (15)$$

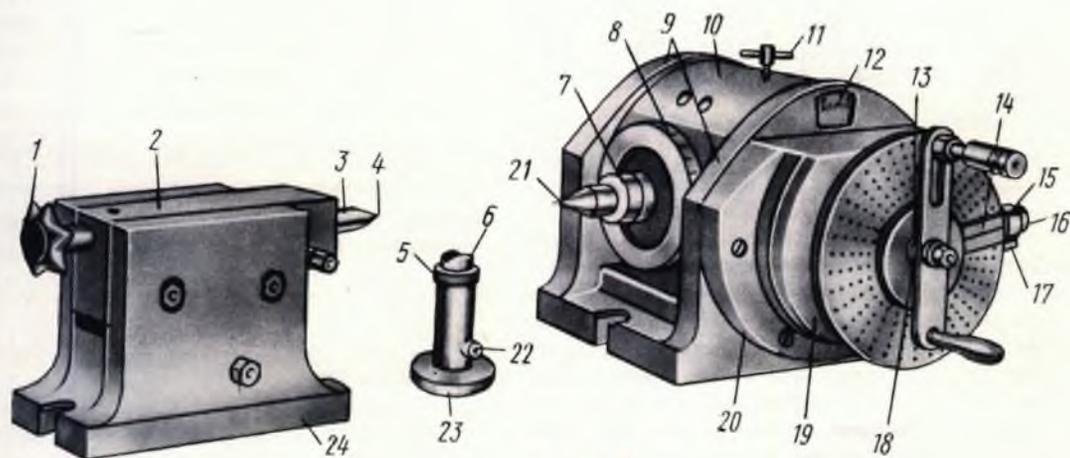
#### § 44. Универсальные делительные головки

Ранее нашей промышленностью выпускались универсальные делительные головки УДГ-Н-135 и УДГ-Н-160 с высотой центров  $H=135$  и  $H=160$  мм. По новому стандарту (ГОСТ 8615—69) за основной размер делительных головок принят наибольший диаметр обрабатываемой заготовки  $D$ . По стандарту принят ряд из шести типоразмеров головок  $D$ : 160; 200; 250; 320; 400 и 500 мм. Универсальные головки используют для комплектации фрезерных станков отечественного производства и зарубежных.

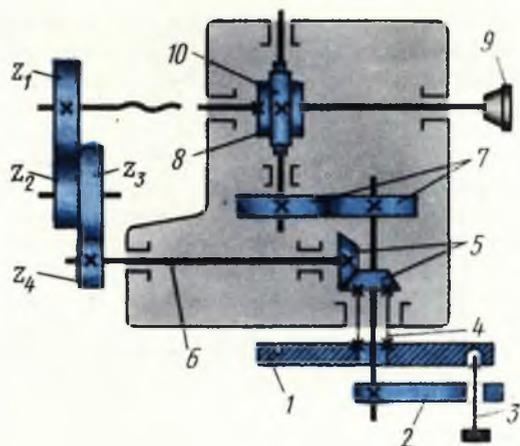
Каждому размеру станка (по ширине стола) должен соответствовать определенный типоразмер делительной головки. Так, к консольно-фрезерным станкам № 2 (с шириной стола 320 мм) рекомендуется делительная головка с наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки  $D=250$  мм, а к фрезерным станкам № 3 (с шириной стола 400 мм) — делительная головка УДГ-Д-320 и т. д. На рис. 138 показана универсальная делительная головка. На чугунном основании 20 со стяжными дугами 9 установлен корпус 10. Ослабив гайки, можно поворачивать корпус на угол, определяемый по шкале и нониусу 12. На опорной плоскости основания делительной головки имеются два, параллельных шпинделю, сухаря, предназначенных для установки головки в пазы стола фрезерного станка. В корпусе расположен шпиндель со сквозным отверстием. Его концы расточены на конус Морзе. На одном из них уста-

навливается центр 21, на другом — оправка для дифференциального деления. На переднем конце шпинделя имеются резьба и центрирующий поясок 7, необходимые для крепления трехкулачкового самоцентрирующего или поводкового патрона. На буртике шпинделя установлен лимб 8 непосредственного деления с 24 отверстиями. В средней части шпинделя расположено червячное колесо с круговой выточкой на торце, в которую входит конец зажима 11. Оно получает вращение от червяка, расположенного в эксцентричной втулке. Поворотом втулки с помощью рукоятки червяк можно ввести в зацепление или вывести из него. Делительный диск сидит на валу, смонтированном в подшипниках скольжения, установленных в крышке 19. Крышка фиксируется на корпусе 10 центрирующей расточкой и крепится неподвижно к основанию. К делительному диску с помощью пружины прижат раздвижной сектор 18, состоящий из линеек 14 и зажимного винта 13, с помощью которого линейки устанавливают под требуемым углом. Пружинная шайба предотвращает самопроизвольный поворот сектора.

Вал 16 механического привода от станка смонтирован в подшипниках скольжения и расположен во втулке 15, закрепленной на крышке 19. На конце вала размещено коническое зубчатое колесо, находящееся в постоянном зацеплении с коническим зубчатым колесом, сидящим на валу делительного диска. Делительный диск фиксируется в требуемом положении стопором 17. Центр задней бабки можно перемещать в горизонтальном и вертикальном направлениях. В основании 24 расположен корпус 2, который штифтом связан с рейкой. Вращением головки зубчатого вала можно перемещать корпус вверх и поворачивать относительно оси штифта. В требуемом положении задняя бабка крепится на столе станка с помощью болтов и гаек. Пиноль 3 перемеща-



138 Универсальная делительная головка



**139** Кинематическая схема головок УДГ-Д-250 и УДГ-Д-320 простого деления

ется с полуцентром 4 при вращении маховичка 1, укрепленного на винте.

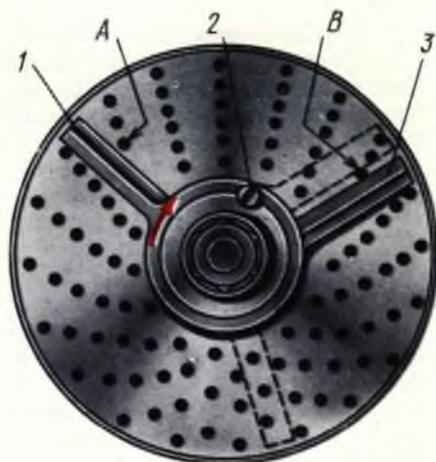
На опорной плоскости основания имеются два направляющих сухаря, выверенных относительно оси пиноли, которые обеспечивают совпадение центров делительной головки и задней бабки при установке их на столе станка. Люнет служит дополнительной опорой при обработке нежестких заготовок. В корпусе 23 люнета расположен винт, перемещающийся с помощью гайки 5 и имеющий призматическую головку 6, которая крепится стопорным винтом 22. Полууниверсальная делительная головка по устройству аналогична универсальной делительной головке.

**Непосредственное деление.** При непосредственном делении червяк головки должен быть выведен из зацепления с червячным колесом. Поворот обрабатываемой заготовки осуществляется вращением шпинделя. Отсчет угла поворота производится по градуированному на  $360^\circ$  диску с ценой деления  $1^\circ$ . Нониус позволяет производить отсчет угла поворота шпинделя с точностью до  $5'$ . Угол поворота шпинделя при делении на  $z$  частей определяется по формуле

$$\alpha = \frac{360}{z}, \quad (16)$$

где  $\alpha$  — угол поворота шпинделя, град;  
 $z$  — заданное число делений.

При каждом повороте шпинделя головки к отсчету, соответствующему положению шпинделя до поворота, следует прибавлять величину  $\alpha$ , найденную по формуле (16). У некоторых головок делительный диск (лобовой) для непосредственного деления не градуированный, а имеет три делительных круга с 24, 30 и 36 отверстиями. Три ряда отверстий в делительном диске позволяет производить непосредственное деление на 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 24, 30 и



**140** Сектор диска для простого и дифференциального делений делительных головок УДГ-Д-250 и УДГ-Д-320

36 частей. Число промежутков между отверстиями выбранного делительного круга на лобовом делительном диске, пропускаемых при повороте шпинделя головки, определяется по формуле

$$n = \frac{a}{z}, \quad (17)$$

где  $a$  — число отверстий выбранного круга на лобовом диске;

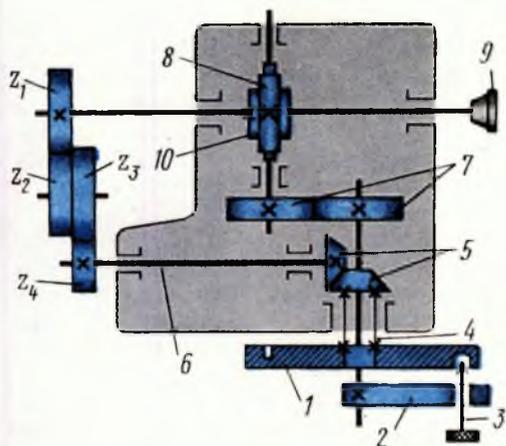
$z$  — заданное число делений.

**Простое деление.** На рис. 139 показана кинематическая схема универсальных делительных головок (Д-250 и Д-320) простого деления. В этом случае червяк 8 должен быть введен в зацепление с червячным колесом 10. Поворот шпинделя 9 (деление) производится вращением рукоятки 2 с фиксатором 3 относительно неподвижного закрепленного бокового делительного диска 1, имеющего концентрические окружности с отверстиями. При настройке фиксатор 3 устанавливают против выбранной окружности на делительном диске. Поворот рукоятки передается через цилиндрические зубчатые колеса 7 с передаточным отношением  $i=1$  и червячную пару с передаточным отношением  $i=\frac{1}{40}$  на шпиндель. Шпиндель при этом должен повернуться на  $\frac{1}{2}$  часть оборота для деления окружности на  $z$  равных частей. Следовательно, уравнение кинематической цепи движения шпинделя будет

$$n \cdot 1 \cdot \frac{1}{40} = \frac{1}{z},$$

откуда получим, что  $n = \frac{40}{z}$ .

Пусть требуется разделить заготовку на  $z$  частей (например, при фрезеровании зубчатого колеса с  $z$  зубьями). Это значит, что после фрезерования каждой впадины требуется повер-



**141** Кинематическая схема головок УДГ-Д-250 и УДГ-Д-320 для дифференциального деления

нуть шпиндель вместе с заготовкой на  $\frac{1}{z}$  оборота, следовательно, рукоятку 2 — на  $\frac{40}{z}$  оборота. Если  $z < 40$ , то дробь  $\frac{40}{z} > 1$  и ее можно написать в виде

$$\frac{40}{z} = A + \frac{a}{b} = A + \frac{ma}{mb}, \quad (18)$$

где  $A$  — число целых (полных) оборотов рукоятки;

$a$  и  $b$  — числитель и знаменатель правильной несокращенной дроби;

$m$  — общий множитель при  $a$  и  $b$ , выбираемый таким образом, чтобы  $mb$  представляло собой число отверстий на какой-либо окружности делительного диска. Тогда  $ma$  будет выражать число делений (шагов) на окружности лимба (или промежутков между соседними отверстиями, выбранного круга  $mb$ ), на которое должна быть повернута рукоятка 2, дополнительно к  $A$  целым оборотам. Отсчет требуемого поворота обрабатываемой заготовки производится по неподвижному делительному диску, в одно из отверстий которого входит подпружиненный штифт фиксатора. Диск этот двусторонний.

При простом делении гильза 4, конические колеса 5 и вал 6 в делении не участвуют (рис. 139).

Для удобства отсчета промежутков между отверстиями (или отсчета отверстий) делительного круга служит раздвижной сектор (рис. 140), который состоит из двух ножек 1 и 3. Эти ножки могут вращаться одна относительно другой.

Ножки сектора устанавливают так, чтобы между ними было число промежутков  $ma$ . Для установки сектора в рабочее положение надо ввести стержень фиксатора в одно из отверстий выбранного делительного круга, например в отверстие  $A$ . Освободив винт 2,

крепящий ножки 1 и 3 сектора, подводят ножку 1 к стержню фиксатора. Отсчитав число промежутков круга, ножку 3 фиксатора подводят к последнему отверстию  $B$  и закрепляют сектор винтом 2. Следует запомнить, что если отсчет производить по числу отверстий круга, начиная с того, в которое входит штифт фиксатора, то число отверстий должно быть на единицу больше числа промежутков между отверстиями  $ma$ . На рис. 140 отсчитано пять промежутков круга, ограниченных шестью отверстиями. После фрезерования поверхности заготовки при данном положении фиксатора следует повернуть рукоятку головки по часовой стрелке, ввести стержень фиксатора в отверстие  $B$  и повернуть сектор в том же направлении до соприкосновения с ножкой 3. Сектор в новом положении показан на рис. 140 пунктиром. Рукоятку надо вращать всегда по часовой стрелке, чтобы избежать влияния мертвых ходов в передаче от валика рукоятки к шпинделю головки. Когда фиксатор рукоятки окажется напротив последнего пропускаемого промежутка между отверстиями круга, рукоятку фиксатора необходимо отпустить и осторожно, постукивая по ней рукой, довести до требуемого положения. В этот момент фиксатор под действием пружины войдет в отверстие круга.

Если рукоятка была случайно повернута дальше, чем требуется, то необходимо ее повернуть против часовой стрелки несколько дальше пропущенного отверстия, после чего осторожным постукиванием вновь повернуть по часовой стрелке до требуемого положения.

**Пример.** Подобрать круг отверстий на делительном диске и настроить угол раствора ножек сектора, если  $z = 35$ ,  $N = 40$ .

**Решение.**

1. По формуле (18),

$$n = \frac{40}{z} = A + \frac{a}{b}.$$

Отсюда

$$n = \frac{40}{35} = 1 + \frac{5}{35} = 1 + \frac{1}{7}.$$

2. Принимаем на лимбе круг с 49 отверстиями; тогда  $mb = 49 = 7 \cdot 7$ ;  $ma = 1 \cdot 7 = 7$ . Следовательно,  $n = 1 + \frac{1}{7} = 1 + \frac{7}{49}$ , т. е. производим при делении один полный оборот рукояткой и перемещение защелки рукоятки на 7 шагов (т. е. на 7 промежутков между смежными отверстиями) на круге с 49 делениями.

**Дифференциальное деление.** Дифференциальное деление применяется тогда, когда ограниченное количество концентрических кругов с различным числом отверстий в них не дает возможности получить необходимый поворот фрезерной заготовки способом простого деления. Так, например, нельзя методом простого деления разделить окружность на 61, 79, 83, 97, 127 частей, т. е. на количество частей, вы-

раженное числом, не имеющим множителей, равных или кратных количеству отверстий в делительном диске.

На рис. 141 показана кинематическая схема универсальных делительных головок для дифференциального деления. Отличие дифференциального способа деления от всех других заключается в том, что отсчет поворотов рукоятки 2 производится не по неподвижному, а по вращающемуся делительному диску 1. В коническое отверстие заднего конца шпинделя вводят конический хвостовик оправки и с помощью гитары сменных зубчатых колес  $z_1, z_2, z_3$  и  $z_4$  связывают шпиндель 9 с конической зубчатой парой 5, гильзой 4 и в конечном счете с делительным диском 1.

Если теперь вывести пружинный фиксатор (защелку) 3 из отверстия делительного диска и вращать шпиндель 9 при помощи рукоятки 2 через пару цилиндрических зубчатых колес 7, червяк 8 и червячное колесо 10, то будут вра-

щаться и валик 6, пара конических зубчатых колес 5, гильза 4 вместе с делительным диском 1. Поскольку вращение шпинделя происходит в 40 раз медленнее вращения рукоятки, то и делительный диск будет вращаться медленно. Передаточное отношение конических зубчатых колес 5 и цилиндрических зубчатых колес 7 равно единице.

При дифференциальном делении выключают фиксатор 3 и стопор 17 (см. рис. 138), удерживающий делительный диск 1 в неподвижном состоянии. Выведем теперь формулу расчета настройки головки на дифференциальное деление. Пусть требуется произвести деление на  $z$  частей, причем  $z > 40$ , и не может быть осуществлено ни непосредственное, ни простое деление. Поворот червяка и шпинделя головки, а следовательно, и обрабатываемой заготовки получается в этом случае как сумма двух движений: поворота рукоятки головки, а следовательно и шпинделя, и поворота делительного диска от шпинделя через сменные и постоянные зубчатые колеса. Для осуществления первого из указанных движений вместо заданного числа  $z$  делений принимаем вспомогательное число  $x$  делений, которое должно быть таким, чтобы:

а) число  $x$  было близко к  $z$  (больше или меньше — безразлично);

б) деление на  $x$  частей было возможно способом простого деления;

в) передаточное отношение  $i$  было осуществимо с помощью имеющихся сменных зубчатых колес.

При делении на  $x$  частей число оборотов рукоятки будет

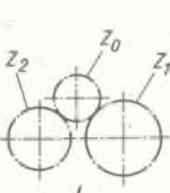
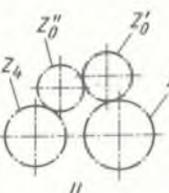
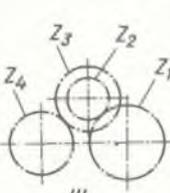
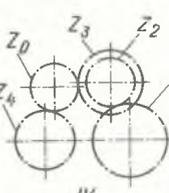
$$n = \frac{40}{x} \quad (19)$$

При вращении рукоятки 2 и шпинделя 9 делительный диск, связанный с последним передачей  $i = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4}$ , во время деления повернется на

$$n_d = \frac{1}{z} \cdot i.$$

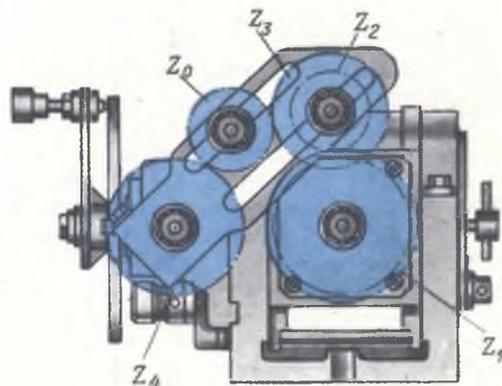
ТАБЛИЦА 14

Число промежуточных зубчатых колес при дифференциальном делении посредством универсальных делительных головок

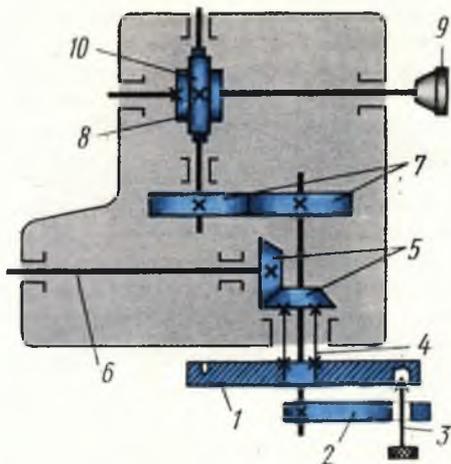
Число пар сменных зубчатых колес	При $i > 0$ , т. е. когда $x > z$	При $i < 0$ , т. е. когда $x < z$
Одна пара		
	Одно промежуточное колесо (схема I)	Два промежуточных колеса (схема II)
Две пары		
	Без промежуточных колес (схема III)	Одно промежуточное колесо (схема IV)

Примечания:

1. Зубчатое колесо  $z_1$  устанавливают на шпиндельном валике, а колесо  $z_2$  — на валике привода головки.
2. Зубчатое колесо  $z_0$  на схеме I и IV, колеса  $z_0'$  и  $z_0''$  на схеме II промежуточные.



142 Гитара для установки сменных зубчатых колес при дифференциальном делении



**143** Кинематическая схема настройки делительной головки УДГ-Д-250 и УДГ-Д-320 для фрезерования винтовых канавок

Очевидно, что в результате этих двух движений рукоятки число ее оборотов будет

$$n = \frac{40}{x} + \frac{i}{z} \quad (20)$$

При числе оборотов рукоятки, определенном по формуле, за операцию деления обрабатываемая заготовка будет поворачиваться на  $\frac{1}{z}$  часть оборота, что и требуется. При этом рукоятка сделает  $\frac{40}{z}$  оборота. Сопоставляя последнее равенство с формулой (19), получим

$$\frac{40}{x} + \frac{i}{z} = \frac{40}{z},$$

откуда после преобразований получим окончательно

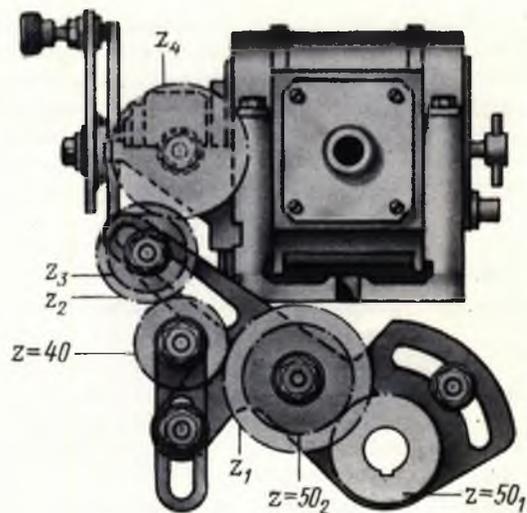
$$i = \frac{40}{x} (x - z), \quad (21)$$

где  $i$  — передаточное отношение сменных зубчатых колес;

$x$  — вспомогательное число делений;

$z$  — число требуемых делений.

Если  $x > z$ , то  $i > 0$  (положительное), если  $x < z$ , то  $i < 0$  (отрицательное). Если  $i$  положительное, то направление вращения совпадает с обычным направлением вращения рукоятки (по часовой стрелке). При отрицательном  $i$  и вращении рукоятки по часовой стрелке диск вращается в обратном направлении (против часовой стрелки). Для обеспечения указанного соотношения направлений вращения рукоятки и делительного диска в набор сменных зубчатых колес вводятся паразитные зубчатые колеса, число которых указано в табл. 14.



**144** Гитара для установки сменных зубчатых колес при фрезеровании

**Пример.** Определить число оборотов рукоятки и сменных зубчатых колес при фрезеровании зубчатого колеса с числом зубьев  $z = 123$ . Принимаем  $x = 120$ .

По формуле

$$i = \frac{40}{x} (x - z) = \frac{40}{120} (120 - 123) = -1,$$

$$i = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{100 \cdot 40}{50 \cdot 80} = 1.$$

Устанавливаем зубчатые колеса по схеме IV (табл. 14) на шпиндельном валике зубчатое колесо  $z_{100}$  (1-е ведущее), на промежуточном пальце гитары — зубчатое колесо  $z_{50}$  (1-е ведомое) и  $z_{40}$  (2-е ведущее), промежуточное колесо  $z_0$  — на второй палец гитары и на валике привода делительного диска зубчатое колесо  $z_{80}$ . Число оборотов рукоятки находим по формуле

$$n = \frac{40}{x} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} = \frac{10}{30}.$$

Берем круг с 30 отверстиями, при каждом повороте рукоятки пропускаем 10 промежутков между отверстиями круга и вставляем штифт в 11-е отверстие диска.

Гитару, применяемую для установки сменных зубчатых колес при дифференциальном делении (рис. 142), надевают на цилиндрический конец выступа коробки привода и закрепляют болтом. Зубчатое колесо  $z_1$  устанавливают на шпиндельном валике. Зубчатые колеса  $z_2$  и  $z_3$ , а также промежуточное зубчатое колесо  $z_0$  устанавливают на гитаре, а сменное зубчатое колесо  $z_4$  — на валике привода головки.

В справочниках фрезеровщика и в руководствах по делительным головкам приведены таблицы настройки для дифференциального деления на число делений от 51 до 399, с указанием делительного круга, числа пропускаемых промежуточных, числа зубьев сменных зубчатых колес и схемы установки зубчатых колес (см. табл. 12).

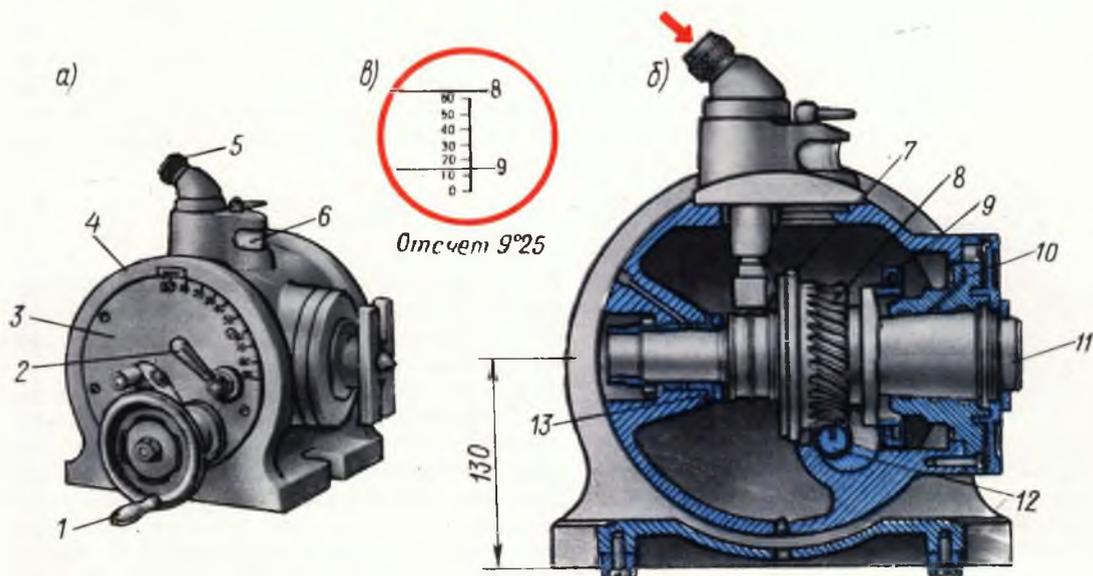
### Настройка делительных головок для фрезерования винтовых канавок

На рис. 143 показана кинематическая схема настройки универсальных делительных головок (см. табл. 14) для фрезерования винтовых поверхностей. Для образования винтовой канавки заготовку необходимо непрерывно вращать и одновременно перемещать вдоль оси на величину шага винтовой канавки за один оборот. Для этого ходовой винт продольной подачи стола соединяют с помощью гитары сменных зубчатых колес  $z_1, z_2, z_3$  и  $z_4$  со шпинделем 9 делительной головки (обозначения см. в тексте к рис. 141). Вращение ходового винта вызывает вращение шпинделя делительной головки с заготовкой и одновременно их перемещение совместно со столом. Чтобы определить передаточное отношение сменных зубчатых колес, необходимо знать шаг нарезаемой винтовой канавки и характеристику станка. Характеристикой универсально-фрезерного станка  $A$  называется шаг винтовой канавки, которая будет профрезерована на данном станке при передаточном отношении сменных зубчатых

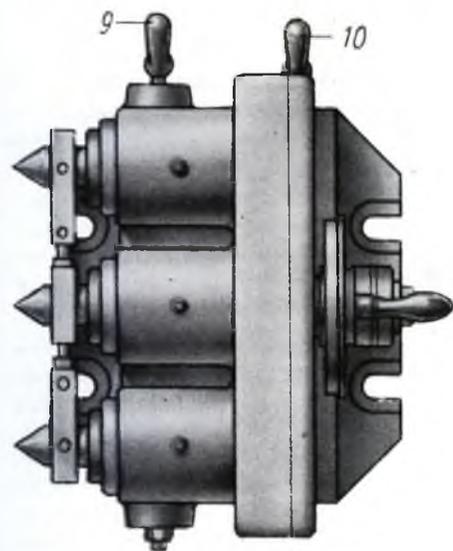
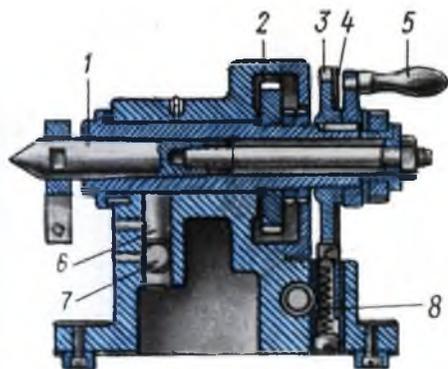
колес, соединяющих винт станка и валик привода делительной головки, равном единице. Допустим, что передаточное отношение сменных зубчатых колес, показанных на рис. 143, равно единице. Передаточное отношение всех постоянных колес делительных головок (см. табл. 14), связывающих винт продольной подачи стола с валиком червяка, равно единице. Ясно, что, когда винт продольной подачи стола делает один оборот, стол перемещается на величину шага винта, т. е. червяк головки делает один оборот, а шпиндель головки повернется на  $\frac{1}{40}$  оборота. Следовательно, шпиндель головки делает полный оборот, когда винт подачи стола сделает 40 оборотов, а стол станка переместится на величину, равную произведению числа оборотов винта (40) на его шаг (6 мм), т. е. составит  $40 \times 6 \text{ мм} = 240 \text{ мм}$ . Таким образом, за один оборот шпинделя делительной головки и, следовательно, обрабатываемой заготовки при принятом допущении ( $i_{ш} = 1$ ) на ней будет образована винтовая канавка с шагом 240 мм. Число  $240 = 40 \times 6$  и есть характеристика станка. В общем случае характеристика универсально-фрезерного станка  $A$  определяется по формуле

$$A = N \cdot t_{х.в.} \quad (22)$$

где  $t_{х.в.}$  — шаг винта продольной подачи стола, мм. Теперь легко получить формулу для определения передаточного отношения сменных зубчатых колес гитары. Если на станке с характеристикой 240 требуется профрезеровать винтовую канавку с шагом 120 мм, то за время,



**145** Оптическая делительная головка ОДГ-60



146 Многошпиндельная делительная головка

когда стол с обрабатываемой заготовкой переместится на 240 мм, заготовка должна сделать 2 оборота. Для этого необходимо, чтобы передаточное отношение сменных зубчатых колес было равно 2; при шаге винтовой канавки, равном 60 мм, это соотношение должно быть равно 4 и т. д.

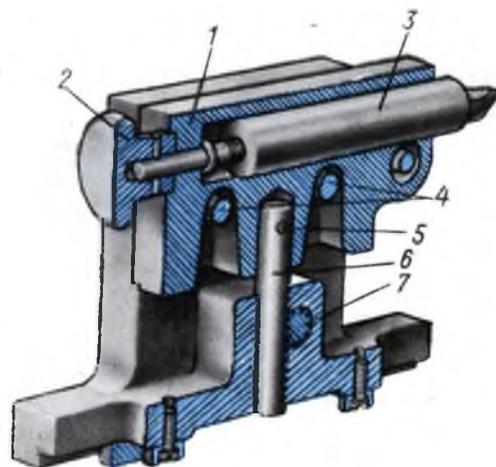
Таким образом, передаточное отношение сменных зубчатых колес, соединяющих винт продольной подачи стола и валик привода делительной головки, определяется по формуле

$$i = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{A}{H}, \quad (23)$$

где  $A$  — характеристика станка,

$H$  — шаг винтовой канавки, мм.

На рис. 144 показана гитара, применяемая для установки, сменных зубчатых колес при фрезеровании винтовых канавок. Зубчатые колеса  $z_{50_1}$ ,  $z_{50_2}$  и  $z_{40}$  — постоянные (т. е. по-

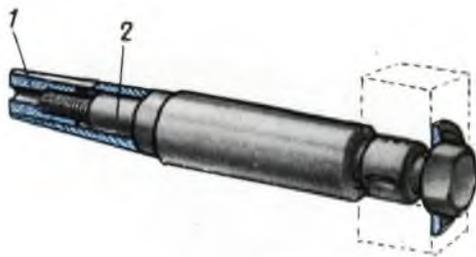


147 Задняя бабка делительных головок УДГ-Д-250 и УДГ-Д-320

стоянно находятся на гитаре), зубчатые колеса  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$  и  $z_4$  — сменные.

#### § 45. Оптические делительные головки

Оптические делительные головки применяют для выполнения особо точных делений, а также для проверки правильности выполненных делений. На рис. 145, *а* показан общий вид, а на рис. 145, *б* — разрез по шпинделю оптической делительной головки ОДГ-60 с высотой центров  $H=130$  мм. По внешнему виду головка напоминает механическую. Она состоит из корпуса 4, закрепляемого на столе станка, и шпинделя 11, установленного на подшипниках 10 и 13 в поворотной части 3 головки. Червячное колесо 8 приводится во вращение червячком 12, связанным с маховичком 1. Червячное колесо 8, а следовательно, и шпиндель могут быть закреплены в требуемом положении рукояткой 2, связанной с прижимной шайбой 9. Червяк 12 и червячное колесо 8 служат только для поворота шпинделя, их погрешности не оказывают влияния на точность работы головки. Один конец валика с червяком сидит в эксцентрической втулке, что позволяет опускать валик вместе с червяком вниз и, расцепив червяк с червячным колесом шпинделя, быстро вручную произвести поворот шпинделя головки. Внутри корпуса головки имеется стеклянный диск 7, жестко закрепленный на шпинделе 11. На диске имеется шкала разделенная на  $360^\circ$ . Сверху головки расположен окуляр 5 с микроскопом, в оптической системе которого имеется неподвижная шкала 6, состоящая из 60 частей с ценой деления  $1'$ . Эти деления видны в окуляре настолько крупно и четко, что при некотором навыке по ним можно вести отсчет с точностью до  $\frac{1}{4}$  минуты. На рис. 145, *в* показано поле



**148** Шпиндельный валик

зрения окуляра микроскопа с отсчетом делений угла  $9^{\circ}15'$ . Поворот шпинделя головки на требуемое число градусов и минут производится маховиком 1, а окончательная точная установка — медленным поворотом накатной головки (на рис. не показана) через пару конических зубчатых колес, связанную с маховичком 1. Угол поворота шпинделя определяется так же, как и при непосредственном делении с применением механической головки, по формуле (16):

$$\alpha = \frac{360^{\circ}}{z}$$

Если дан шаг делений, измеренный по окружности определенного диаметра, то угол поворота определяют по формуле

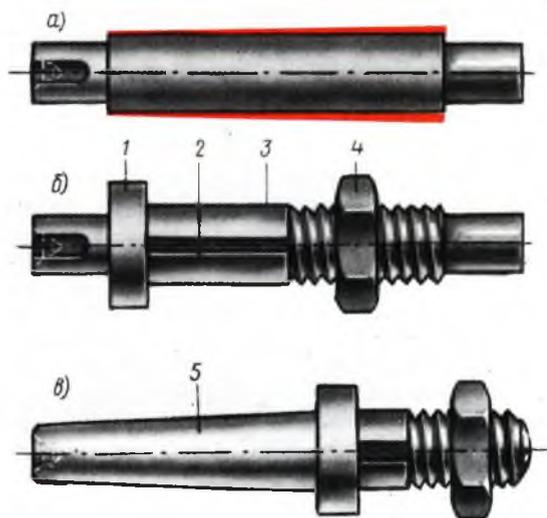
$$\alpha = \frac{t \cdot 360^{\circ}}{\pi D}, \quad (24)$$

где  $\alpha$  — угол поворота, град;

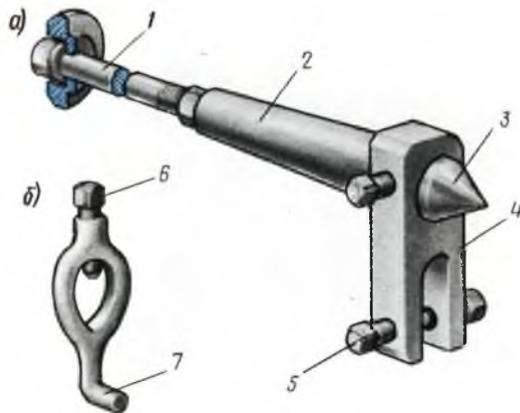
$t$  — шаг делений, измеренный по окружности диаметра,  $D$ , мм;

$D$  — диаметр поверхности заготовки (мм), по которой задается шаг деления.

При пользовании головкой следует учесть, что углы последовательных поворотов сумми-



**149** Оправки

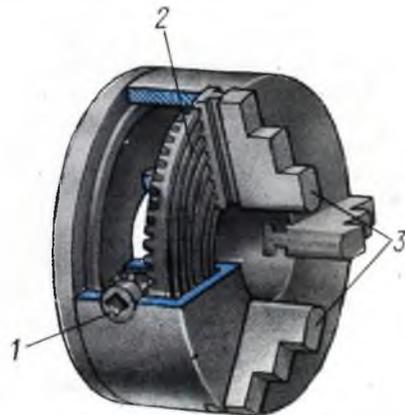


**150** Принадлежности для закрепления заготовок

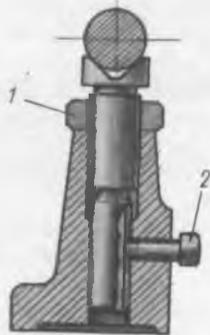
руются, что вызывает необходимость предварительного составления полной таблицы углов для всех поворотов шпинделя головки. Так, при делении на  $z=51$  части таблица должна содержать 50 строк (1-й поворот  $\alpha_1=3^{\circ}; 3^{\circ}18'$ ; второй поворот  $\alpha_2=6^{\circ}; 6^{\circ}36'$  и т. д.).

#### § 46. Многошпиндельные делительные головки

Обработку заготовок небольших размеров при большом размере партии целесообразно производить с помощью многошпиндельных делительных головок. Существуют двух-, трех- и четырехшпиндельные делительные головки для непосредственного деления и головки более сложные — для фрезерования винтовых каналов, конических зубчатых колес и т. д. На рис. 146 показана трехшпиндельная горизонтальная делительная головка общего назначения. Поворот среднего шпинделя 1 осуществляется вращением рукоятки 5. Два крайних шпинделя получают вращение от среднего через закрепленное на нем зубчатое колесо 2. Такие же зубчатые колеса закреплены и на крайних шпинделях.



**151** Трехкулачковый самоцентрирующий патрон



152 Люнет

Отсчет поворота всех трех шпинделей производится по диску 3 для непосредственного деления. Вспомогательный шаблон 4 предназначен для ускорения отсчета. Управление подпружиненным фиксатором 8 производится рукояткой 10. Закрепление всех трех шпинделей в рабочем положении осуществляется поворотом одной рукоятки 9, закрепленной на валике, эксцентричные шейки 7 которого поднимают при этом три сухаря 6. Таким же способом закрепляют и все три пиноли задней бабки. Аналогичные конструкции трехшпиндельных делительных головок применяются с вертикальным расположением шпинделей.

#### § 47. Принадлежности делительных головок для крепления заготовок

Задняя бабка показана на рис. 147. В прорези основания расположен корпус 1. Подъем и опускание корпуса осуществляются вращением зубчатого колеса 7, сцепленного с валиком-рейкой 6. Верхний конец этого валика-рейки соединен штифтом 5 с корпусом 1. После установки корпуса в требуемое положение его закрепляют в основании бабки и затягивают гайками болтов 4. Перемещение пиноли 3 осуществляется вращением маховичка 2, а закрепление ее — затягиванием гайки.

Шпиндельный валик (рис. 148) используется при дифференциальном делении, в шпинделе головки его закрепляют болтом 2. Коническая втулка 1 при этом перемещается вправо и разжимает нарезанный конец валика, расположенный в шпинделе.

В зависимости от размера и конструкции обрабатываемые заготовки могут быть установлены и закреплены в делительных головках одним из следующих способов:

в центрах делительной головки и задней бабки;

на оправке, установленной в центрах делительной головки и задней бабки;

на оправке, установленной в коническом гнезде шпинделя делительной головки;

в трехкулачковом патроне, накрутом на резьбовой конец шпинделя делительной головки;

в цанговых патронах и др.

Заготовки типа дисков и втулок надевают на оправки, которые устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки или на оправки, устанавливаемые в коническое гнездо шпинделя делительной головки. На рис. 149, а показана оправка, представляющая собой гладкий валик, средняя часть которого выполнена с небольшим конусом. Заготовка, насаженная на такую оправку, удерживается на ней только трением. Оправка с обеих сторон имеет центровые отверстия для установки в центрах задней бабки и делительной головки. Иногда для удобства установки и закрепления хомутика на одном конце оправки делают две лыски. Оправку с надетой на нее заготовкой следует располагать так, чтобы больший диаметр конуса оправки был обращен к делительной головке. В противном случае силы резания будут ослаблять посадку заготовки на оправке. Оправка, показанная на рис. 149, б, имеет заплечник 1, шпоночную канавку 2 и гайку 4. Заготовка надевается на гладкую часть оправки 3 и закрепляется гайкой 4. При фрезеровании с большими силами резания заготовка может быть поставлена на шпонку. Оправка 5, показанная на рис. 149, в, служит для закрепления заготовки, при фрезеровании которых не применяют задний центр. Эту оправку вставляют коническим хвостовиком в коническое отверстие шпинделя делительной головки (вместо центра) и затягивают специальным винтом-затяжкой. Длинные заготовки типа валов устанавливают в центрах (рис. 150). Центр 3 с поводком 4 (рис. 150, а) вставляют коническим хвостовиком 2 в гнездо шпинделя. На лыски, имеющиеся на центре, надевают поводок 4. Винт-затяжку 1 (см. рис. 150, а) вставляют в задний конец шпинделя головки и нарезанным концом ввинчивают в хвостовик центра или оправки. Хомутик, надеваемый на заготовку или оправку, показан на рис. 150, б. Своим загнутым концом 7 он входит в паз поводка и закрепляется в нем винтами 5. На заготовке хомутик крепят винтом 6. Заготовки круглой формы часто устанавливают в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне (рис. 151). Одновременное перемещение всех кулачков осуществляется с помощью диска 2 со спиральными канавками и плоской торцевой резьбы, в которую входят соответствующие выступы резьбы кулачков 3. Диск 2 приводится во вращение внутренним торцовым ключом от

конических зубчатых колес 1, находящихся в зацеплении с коническими зубьями на задней поверхности диска 2. При вращении зубчатого колеса 1 по торцу диска начинают перемещаться в радиальном направлении одновременно все три кулачка, т. е. кулачки либо сходятся к центру патрона, либо расходятся от центра, производя соответственно закрепление или освобождение заготовки. При обработке нежестких заготовок (при  $\frac{L}{D} > 10$ , где  $L$  — длина,  $D$  — диаметр заготовки) применяют люнеты (рис. 152) в качестве дополнительной опоры во избежание прогиба заготовки при фрезеровании.

Обрабатываемую заготовку располагают в призматическом вырезе, сделанном в головке винта домкрата. Установка винта в рабочее положение производится вращением накатной гайки 1. Винт следует поднимать осторожно во избежание прогиба обрабатываемой заготовки. В выбранном положении винт закрепляют болтом 2.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего служат делительные головки?
2. Какие типы делительных головок вы знаете?
3. Каковы преимущества и недостатки делительных головок для непосредственного деления?
4. Что называется характеристикой делительной головки?
5. Как производится непосредственное и простое деление на универсальной делительной головке?
6. Напишите формулу простого деления.
7. Каково назначение раздвижного сектора?
8. Как произвести дифференциальное деление на универсальной делительной головке?
9. Почему при дифференциальном делении необходимо освобождать делительный диск?
10. Какие преимущества и недостатки имеет оптическая делительная головка?
11. Какие принадлежности к универсальным делительным головкам вы знаете?

## 8

## Фрезерные работы, выполняемые с применением делительных головок

С помощью делительных головок выполняют следующие виды фрезерных работ:

- фрезерование многогранников;
- фрезерование прямых канавок на цилиндрических поверхностях;
- фрезерование пазов на торцовых поверхностях;
- деление заготовки по окружности на неравные части;
- фрезерование зубьев прямозубых цилиндрических и конических зубчатых колес;
- фрезерование торцовых зубьев кулачковых муфт и торцовых зубьев режущего инструмента;
- фрезерование винтовых канавок и спиралей;
- фрезерование зубьев зубчатых реек и др.

### § 48. Фрезерование многогранников

Фрезерование граней многогранников (трехгранников, четырехгранников, пятигранников и т. д.) в зависимости от конфигурации детали и размера партии производят дисковыми, концевыми, цилиндрическими или торцовыми фрезами, а также набором дисковых фрез.

Пусть требуется профрезеровать грани квадрата, например грани хвостовика метчика или

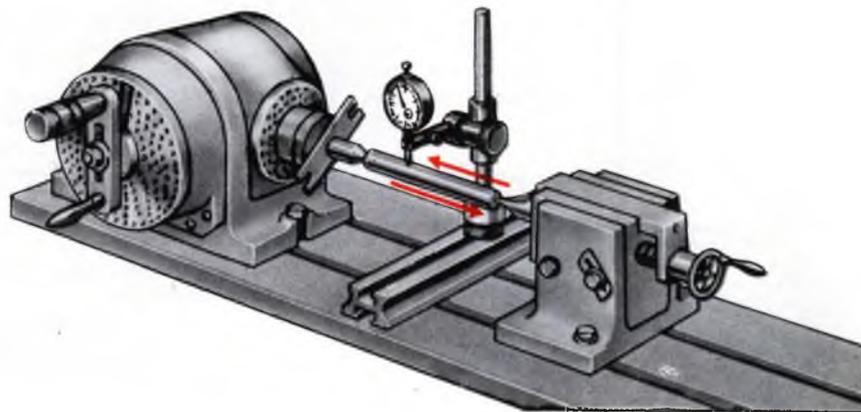
развертки. Фрезерование производим с помощью универсальной делительной головки на горизонтально-фрезерном станке концевой фрезой.

**Подготовка к работе.** Для установки на столе фрезерного станка делительной головки и задней бабки необходимо:

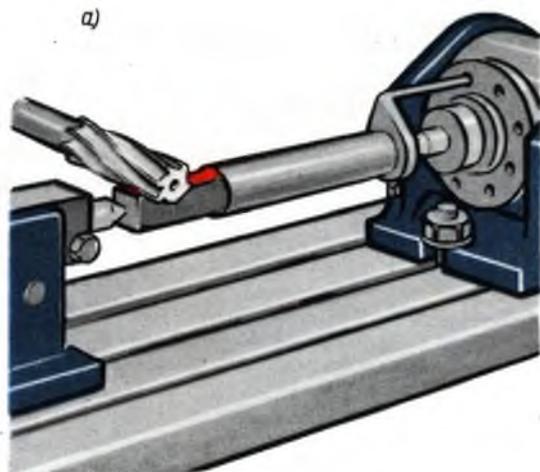
1. Очистить стол и пазы от стружки, смазать тонким слоем смазки плоскости стола и основания делительной головки. Установить делительную головку и заднюю бабку фиксирующими сухарями в средний паз стола.

2. Ввести в паз стола крепежные болты делительной головки и задней бабки и затянуть их.

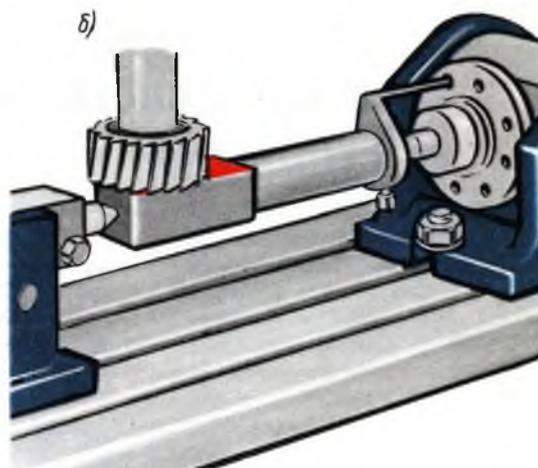
3. Проверить совпадение центров передней и задней бабок с помощью контрольного шлифованного валика и индикатора (рис. 153). Если при перемещении стойки индикатора параллельно оси валика отклонение стрелки будет не более 0,02 мм, то установка центров произведена правильно. При больших отклонениях следует отрегулировать положение заднего центра при помощи установочного винта в колодке, несущей центр задней бабки. Снять контрольный валик с центров.



153 Проверка установки делительной головки и задней бабки



**154** Фрезерование квадрата



4. Освободить болты, крепящие заднюю бабку, отодвинуть ее от делительной головки на требуемое расстояние по длине заготовки и закрепить болтами.

5. Надеть на заготовку хомутик, закрепив его болтом. Установить заготовку в центрах, вставить загнутый конец (рог) хомутика в вырез подвода и закрепить его.

На рис. 154, а показана установка заготовки для фрезерования квадрата концевой фрезой, а на рис. 154, б — торцевой фрезой.

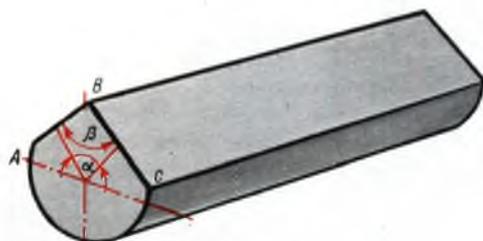
После того как профрезеровали одну грань, поворачивают шпиндель делительной головки вместе с обрабатываемой заготовкой на  $90^\circ$  и производят фрезерование второй грани и т. д.

Если в многограннике угол между плоскостями  $AB$  и  $BC$  детали равен  $\beta$ , то при последовательной обработке этих граней обрабатываемая заготовка должна быть повернута на угол  $\alpha$  (рис. 155), который определяют по формуле

$$\alpha = 180^\circ - \beta. \quad (25)$$

Поворот на угол  $\alpha$  можно осуществить методом непосредственного деления.

Определим число оборотов  $n$  рукоятки, соответствующее повороту шпинделя на угол  $\alpha$ .



**155** Определение угла поворота шпинделя делительной головки

Если рукоятка сделает 40 оборотов, то шпиндель повернется на один оборот, т. е. на  $360^\circ$ . Искомое число оборотов рукоятки легко получить из пропорции

$$40 - 360^\circ \\ n - \alpha^\circ,$$

откуда

$$n = \frac{40 \alpha^\circ}{360^\circ}. \quad (26)$$

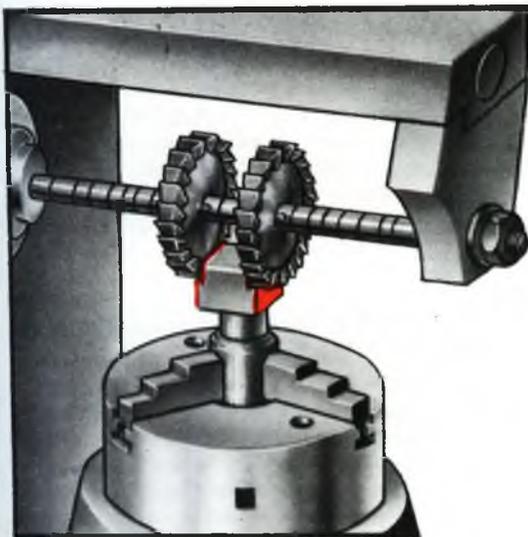
Фрезерование граней многогранников можно производить не одной фрезой, а набором дисковых фрез. Этот метод при обработке большой партии заготовок является более производительным и точным, чем фрезерование одной фрезой. На рис. 156 показана схема фрезерования граней головки винта набором из двух фрез. Расстояние между внутренними боковыми поверхностями фрез должно быть равно расстоянию между противоположными боковыми гранями детали. Оно достигается подбором установочных колец, так же как и при обработке уступов и пазов набором фрез (см. стр. 39).

Заготовка должна быть установлена так, чтобы ее ось была перпендикулярна оси оправки фрезы.

Для фрезерования многогранников в крупносерийном и массовом производстве применяют многоместные делительные приспособления для одновременной обработки партии заготовок.

#### Виды брака при фрезерании многогранников

1. Размер граней получился меньше требуемого из-за неправильно установленной глубины фрезерования. Причина — невнимательность при отсчете глубины фрезерования по шкале лимба.



**156** Схемы фрезерования граней головки винта набором из дисковых фрез

2. Размер граней получился меньше требуемого из-за неправильно установленного расстояния между двумя дисковыми фрезами набора. Причина — неправильный подбор установочных колец.

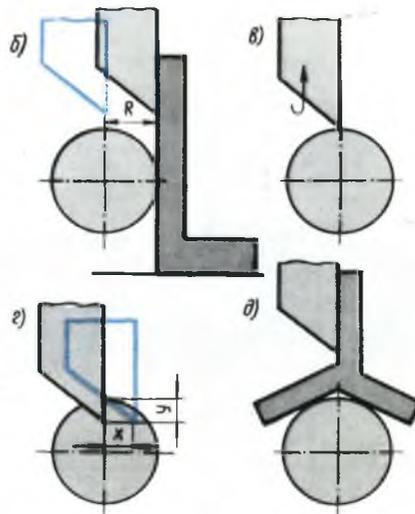
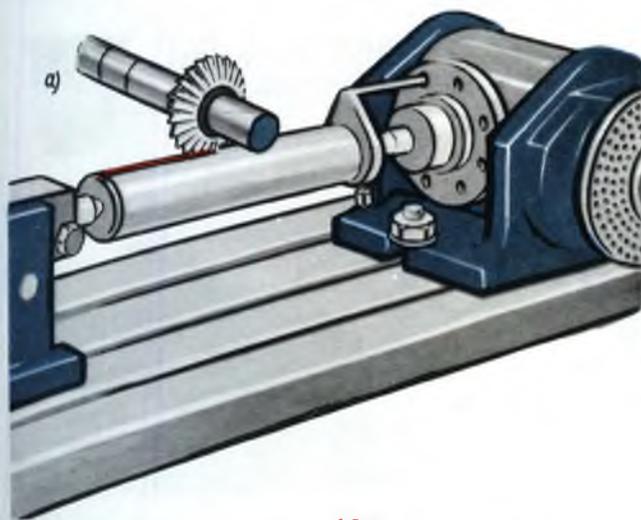
3. Неверное расположение граней. Причина — неправильный отсчет делений по делительному диску.

4. Недостаточный класс шероховатости обработанной поверхности. Причина — большая подача на зуб, биение фрезы, вибрации, работа изношенной фрезой, большой люфт шпинделя делительной головки, неправильный выбор смазочно-охлаждающей жидкости и условий охлаждения и др.

## § 49. Фрезерование прямых канавок и шлицев на цилиндрических поверхностях

В этом виде фрезерных работ помимо операции деления важным является правильная установка фрезы относительно заготовки. В качестве примера рассмотрим установку одноугловой фрезы для прорезания прямой стружечной канавки режущего инструмента (концевая фреза, развертка, зенкер и др.). При этом требуется, чтобы фреза была углублена в тело заготовки на величину  $y$  и смещена вправо от вертикальной оси заготовки на величину  $x$  (рис. 157, *a*). Установка начинается с того, что фреза торцом соприкасается с вертикальной полкой угольника, которая в свою очередь должна иметь касание с заготовкой (рис. 157, *b*). Затем перемещением поперечных салазков вправо на величину радиуса заготовки  $R$  приводят торец фрезы в вертикальную диаметрально плоскость заготовки. На рис. 157, *b* положение фрезы показано синим. После этого, включив вращение фрезы, поднимают стол станка до тех пор, пока на поверхности заготовки не появится едва заметный след от зубьев фрезы (рис. 157, *в*). Затем продольным перемещением стола выводят фрезу за пределы заготовки и производят поперечное и вертикальное перемещения стола с заготовкой соответственно на величины  $x$  и  $y$  (рис. 157, *г*). Установка фрезы в вертикальной диаметральной плоскости может быть осуществлена при помощи специального центроискателя (рис. 157, *d*) без угольника.

При симметричном расположении дисковых и концевых фрез относительно оси обрабатываемой заготовки координаты установки фрезы определяют по формулам (7) и (8).



**157** Установка одноугловой фрезы для фрезерования прямой канавки



**158** К определению числа оборотов рукоятки делительной головки по шагу между осями канавок

Обычно задается угол  $\alpha$  между осями канавок или число канавок. В этих случаях число оборотов рукоятки определяется соответственно по формулам (19) и (26). Если задан шаг  $t$  между осями канавок (рис. 158), измеренный по окружности диаметра  $D$ , то число оборотов рукоятки  $n$  делительной головки с характеристикой 40 определяется по формуле

$$n = \frac{40t}{\pi D} \quad (27)$$

Перед каждым делением необходимо освободить шпиндель делительной головки, а после каждого деления закрепить его.

Нарезание шлицев производят обычно на шлицефрезерных или зуборезных станках шлицевыми червячными фрезами, работающими по методу обкатки (без делительных головок).

Шлицы на валах можно фрезеровать на горизонтально- или продольно-фрезерных станках дисковыми фрезами с применением делительных головок. Заготовку в этом случае устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки. После фрезерования одной канавки

заготовка поворачивается на  $\frac{1}{z}$  оборота, где

$z$  — число шлицев. Фрезерование прямозубых шлицев может быть осуществлено фасонными фрезами, профиль которых соответствует профилю впадины между шлицами. Иногда чистовое фрезерование боковых поверхностей шлицев производят на тех же станках специальными фрезами, оснащенными твердым сплавом. Применяют и другие схемы фрезерования шлицев (набором двух дисковых фрез одновременно двух канавок и др.).

#### Виды брака при фрезеровании канавок на цилиндрических поверхностях

1. Неправильное количество нарезанных канавок или неравномерный шаг нарезанных канавок. Причина — неправильно произведена операция деления (выбран не тот делительный круг, рабочий не пользовался раздвижным сектором или вращал рукоятку то в одном, то в другом направлении).

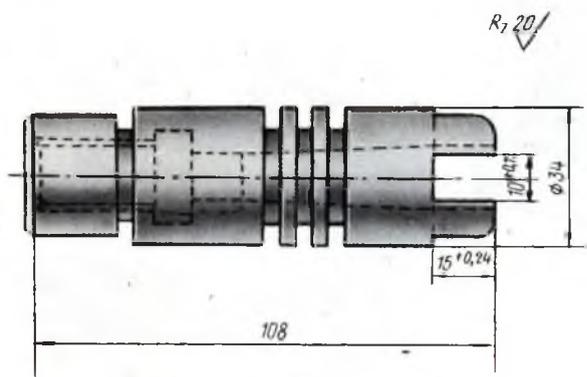
2. Глубина канавки больше требуемого по чертежу размера. Причина — невнимательность рабочего при отсчете по лимбу рукоятки подема стола.

3. Обработанные пазы оказались несимметричными относительно диаметральной плоскости. Причина — неправильная установка фрезы относительно заготовки.

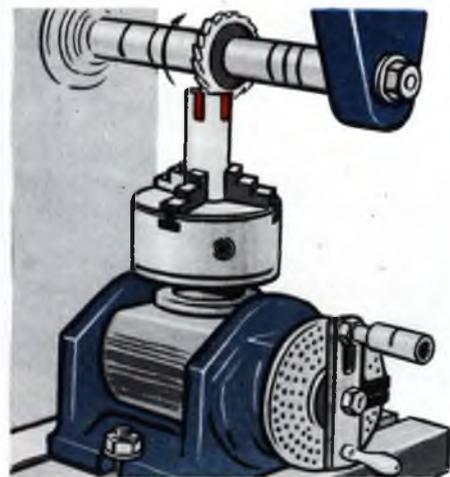
4. Недостаточный класс шероховатости обработанной поверхности. Причина та же, что и при фрезеровании многогранников.

#### § 50. Фрезерование пазов и шлицев на торцовых поверхностях

Фрезерование пазов на торцовых поверхностях. У валика (рис. 159) требуется профрезеровать два паза на горизонтально-фрезерном станке в трехкулачковом патроне делительной



**159** Валик с пазами на торце

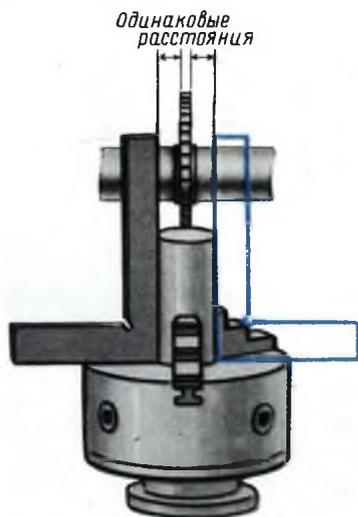


**160** Фрезерование пазов на торце вала

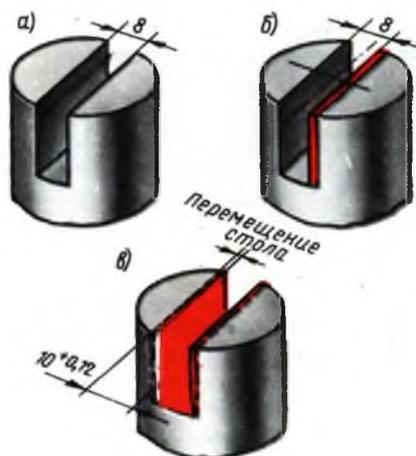
го приспособления или делительной головки, расположив шпиндель головки вертикально (рис. 160).

Для получения точного расположения пазов относительно центра валика надо выбрать фрезу относительно центра валика надо выбрать фрезу шириной меньше ширины паза. Возьмем дисковую трехстороннюю фрезу с разнонаправленными зубьями и диаметром  $D = 80$  мм, шириной  $B = 8$  мм, с числом зубьев  $z = 8$  и диаметром отверстия  $d = 27$  мм из быстрорежущей стали Р6М5.

После установки и закрепления заготовки в трехлапчатом патроне производят установку фрезы по центру заготовки при помощи угольника, как показано на рис. 161. Фрезеруют пазы при следующих режимах резания: глубина резания  $t = 15$  мм, ширина фрезерования  $B = 8$  мм, подача на зуб  $s_z = 0,03$  мм/зуб, скорость резания  $V = 25$  м/мин. По графику (см. рис. 40) определяем ступень чисел оборотов ( $n = 100$  об/мин), а по графику (см. рис. 41) определяем ближайшую минутную подачу ( $s_m = 25$  мм/мин). Последовательность фрезерования точных по размеру пазов видна на рис. 162. Сначала фрезеруют на полную глубину резания  $t = 15$  мм первый паз шириной  $B = 8$  мм (рис. 162, а), затем поворачивают шпиндель делительной головки (или делительного приспособления) на  $180^\circ$  и вновь фрезеруют паз по всей длине. В этом случае фреза будет срезать только одну сторону паза (рис. 162, б). После этого производят измерение ширины обработанного паза и перемещают стол с обрабатываемой заготовкой в поперечном направлении на величину, равную половине разности между 10 мм и фактическим размером паза, и фрезеруют сначала одну сторону паза, затем, повернув шпиндель делительной головки на  $180^\circ$ , — другую (рис. 162, в) до получения размера  $10^{+0,12}$  мм.



161 Установка фрезы по центру валика

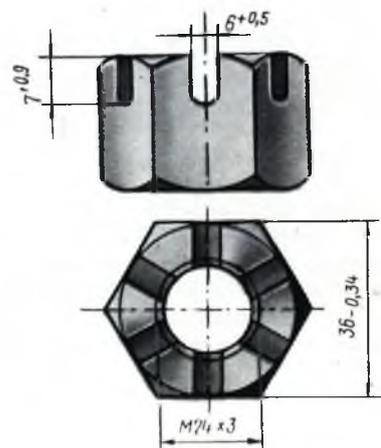


162 Последовательность фрезерования паза

Повернув шпиндель делительной головки (или делительного приспособления) на  $90^\circ$  (четверть оборота), производят фрезерование второго паза. При этом достаточно повторить только два последних прохода.

**Фрезерование шлицев в корончатой гайке.** В корончатой гайке (рис. 163) с резьбой  $M24 \times 3$  надо профрезеровать шесть шлицев (прорезей) для шплинта. Шлиц имеет размеры: ширина  $6^{+0,5}$  мм, глубина  $7^{+0,9}$  мм. Шлицы в корончатых гайках фрезеруют прорезными (шлицевыми) фрезами, так же как и пазы, с той разницей, что каждый шлиц прорезают за один проход.

Установку корончатых гаек можно производить на резьбовых оправках. В массовом производстве фрезерование шлицев в корончатых гайках производят в специальных приспособлениях, а также набором фрез.



163 Корончатая гайка

## § 51. Деление заготовки по окружности на неравные части

При фрезеровании стружечных канавок цилиндрических и концевых фрез, а также разверток с неравномерным шагом, приходится окружность делить на неравные части. Для этой цели выбирают подходящее число отверстий по окружности делительного диска и заранее составляют расчетную таблицу. Так, например, требуется профрезеровать канавки концевой фрезы с неравномерным шагом и соответствующими центральными углами в 85, 90 и 95°. Как указывалось выше, для поворота заготовки на один оборот, т. е. на 360°, рукоятку делительной головки с характеристикой 40 необходимо повернуть на 40 оборотов. Следовательно, для поворота заготовки на 1° рукоятку головки надо повернуть на  $\frac{40}{360} = \frac{1}{9} = \frac{3}{27}$  оборота. Теперь легко составить таблицу чисел оборотов рукоятки для поворота заготовки при фрезеровании стружечных канавок концевой фрезы соответственно на 85, 90 и 95°.

$$n_1 = \frac{85 \cdot 3}{27} = 9 + \frac{12}{27} \text{ об};$$

$$n_2 = \frac{90 \cdot 3}{27} = 10 \text{ об};$$

$$n_3 = \frac{95 \cdot 3}{27} = 10 + \frac{15}{27} \text{ об}.$$

Первую стружечную канавку фрезеруют произвольно, для фрезерования второй канавки с центральным углом 85° рукоятку делительной головки поворачивают на 9 полных оборотов и дополнительно на 12 промежутков (шагов) по окружности делительного диска с 27 отверстиями.

Для фрезерования третьей канавки под углом 90° рукоятку поворачивают на 10 полных оборотов и т. д.

При фрезеровании канавок режущих инструментов с неравномерным шагом для получения ленточек (фасок) одинаковой ширины придется измерять глубину фрезерования. Чем больше центральный угол канавки, тем глубже должна быть канавка, и наоборот, при меньшем угле канавка должна быть мельче. Необходимая глубина фрезерования определяется снятием пробных стружек, графическим построением или несложным геометрическим расчетом.

## § 52. Фрезерование прямозубых цилиндрических и конических зубчатых колес

**Основные сведения о зубчатом зацеплении.** Зубчатые колеса находят широкое применение в машиностроении. Зубья цилиндрических колес бывают прямыми, косыми и шевронными (см. табл. 10 п. 10). На рис. 164 показаны элементы цилиндрического прямозубого колеса.

Окружность выступа  $D_e$  представляет собой наружную окружность заготовленного колеса. Делительная окружность  $d_d$  делит зуб на две неравные части — верхнюю  $h'$ , называемую головкой зуба, и нижнюю  $h''$ , называемую ножкой зуба. Окружность впадин  $D_i$  проходит по основанию впадин зуба. Шаг  $t$  зубьев в  $t$  называется расстояние между одноименными (правыми или левыми) боковыми поверхностями (профилями) двух смежных зубьев колеса, взятое по дуге делительной окружности:

$$t = \frac{\pi d_d}{z}, \quad (28)$$

где  $t$  — шаг, мм;

$d_d$  — диаметр делительной окружности, мм;

$z$  — число зубьев зубчатого колеса.

Модуль  $m$  зацепления называется длиной, приходящаяся по диаметру делительной окружности на один зуб колеса, т. е.

$$m = \frac{d_d}{z}, \quad (29)$$

откуда следует, что  $d_d = m \cdot z$ .

Значение модулей гостированы. Стандарт устанавливает размерный ряд модулей от 0,05 до 100 мм для передач с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами, а также для червячных передач.

Из формулы (28) следует, что

$$\frac{d_d}{z} = \frac{t}{\pi},$$

$$\frac{d_d}{z} = m,$$

следовательно,  $m = \frac{t}{\pi}$ , откуда  $t = \pi \cdot m = 3,14 m$ .

Для нормальных зубчатых колес высота головки зуба  $h'$  равна модулю, т. е.  $h' = m$ . Высота ножки зуба  $h''$  равна 1,2 модуля:  $h'' = 1,2 m$ .

Высота зуба  $h = h' + h'' = m + 1,2 m = 2,2 m$ . Наружный диаметр зубчатого колеса (диаметр окружности выступов) равен диаметру делительной окружности (рис. 164) плюс высота двух головок зуба, т. е.

$$D_e = d_d + 2h' = m \cdot z + 2m = m(z + 2).$$

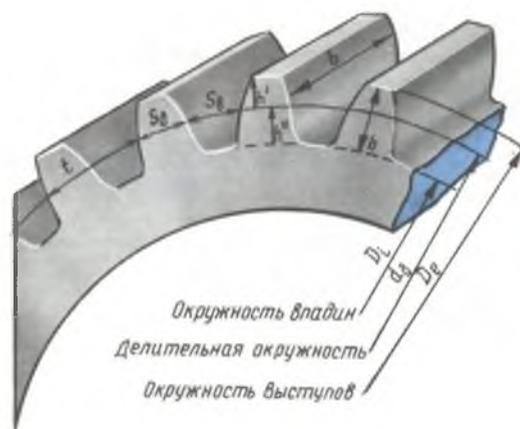
Толщина зуба по дуге делительной окружности

$$S_d = \frac{\pi \cdot m}{2} = 1,57 m.$$

ГОСТ 1643—56 установлено 12 степеней точности зубчатых колес, обозначаемых в порядке убывания точности 1, 2, 3, ..., 12.

**Дисковые и пальцевые модульные фрезы.** Дисковые модульные фрезы предназначены для нарезания зубьев зубчатых колес методом копирования. Сущность метода состоит в том, что режущим инструментом последовательно или одновременно нарезают впадины зубчатого колеса, причем профиль инструмента должен точно соответствовать контуру этих впадин. Нарезают зубья на специальных зуборезных станках, а также на горизонтально- или универсально-фрезерных станках с помощью делительной головки. В последнем случае, после того как профрезеруют одну впадину между зубьями зубчатого колеса, заготовку поворачивают на  $\frac{1}{z}$  оборота ( $z$  — число зубьев

нарезаемого зубчатого колеса) и т. д. Дисковыми фрезами нарезают зубья зубчатых колес 9—10-й степени точности. Дисковые модульные фрезы (ГОСТ 10996—64) изготавливают с затылованным зубом и передним углом  $\gamma = 0$ . Форма впадины двух зубчатых колес одного и того же модуля, но с разным числом зубьев неодинакова. Поэтому для каждого зубчатого колеса одного модуля, но с разным числом зубьев следовало бы иметь свою дисковую модульную фрезу, но практически это неприемлемо. Установлены комплекты дисковых модульных фрез, в которых каждая фреза данного модуля может



164 Элементы цилиндрического прямозубого зубчатого колеса

быть использована для нарезания зубчатых колес с определенным числом зубьев. Профиль зуба фрезы комплекта рассчитывается по наименьшему числу зубьев зубчатого колеса в данном интервале.

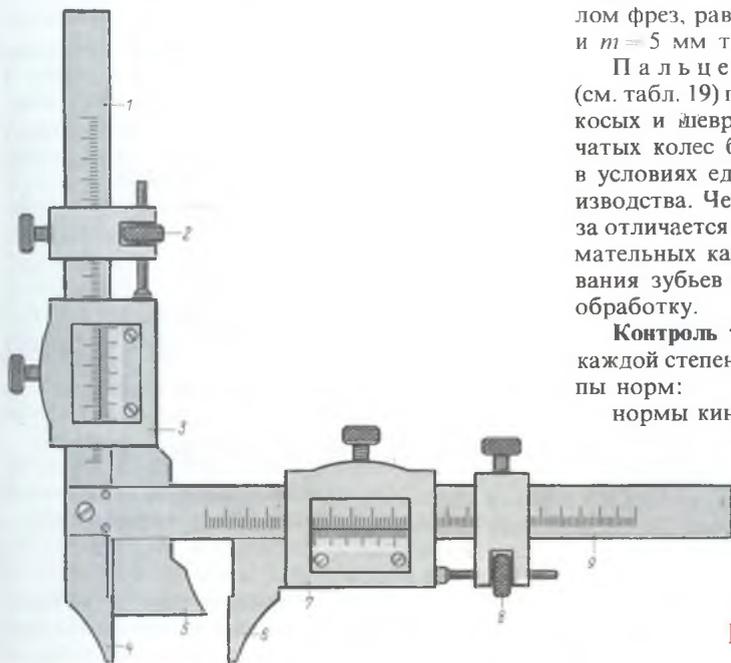
По ГОСТ 10996—64 принято три комплекта дисковых модульных фрез из 8, 15 и 26 шт. (табл. 15). Комплект из 8 шт. применяется для нарезания зубьев зубчатых колес с модулем до 8 мм, комплект из 15 шт. — для колес с модулем 9—16 мм и комплект из 26 шт. — для колес с модулем свыше 16 мм. Для нарезания прямозубых зубчатых колес фрезы выбирают по табл. 15 с учетом числа зубьев колеса.

**Пример.** Подобрать дисковую модульную фрезу для нарезания прямозубого зубчатого колеса:  $m = 5$  мм,  $z = 72$  — из комплекта с числом фрез, равным 8. По табл. 15 при  $z = 72$  мм и  $m = 5$  мм требуется фреза № 7.

Пальцевые модульные фрезы (см. табл. 19) применяют для нарезания прямых, косых и шевронных зубьев на заготовках зубчатых колес больших модулей (больше 8 мм) в условиях единичного и мелкосерийного производства. Черновая пальцевая модульная фреза отличается от чистовой наличием стружколомательных канавок. После чернового фрезерования зубьев оставляют припуск на чистовую обработку.

**Контроль толщины зуба.** По стандарту для каждой степени точности установлены три группы норм:

нормы кинематической точности колеса;



165 Кромочный штангензубомер для контроля толщины зуба

Комплекты дисковых модульных фрез для прямозубых зубчатых колес

№ фрезы	Число зубьев колеса			№ фрезы	Число зубьев колеса		
	комплекты из числа фрез				комплекты из числа фрез		
	8	15	26		8	15	26
1	12 и 13	12	5	5	26—34	26—29	26 и 27
1 $\frac{1}{2}$	—	13	13	5 $\frac{1}{4}$	—	—	28 и 29
2	14—16	14	14	5 $\frac{1}{2}$	—	30—34	30 и 31
2 $\frac{1}{4}$	—	—	15	5 $\frac{3}{4}$	—	—	32—34
2 $\frac{1}{2}$	—	15 и 16	16	6	35—54	35—41	35—37
3	17—20	17 и 18	17	6 $\frac{1}{4}$	—	—	38—41
3 $\frac{1}{4}$	—	—	18	6 $\frac{1}{2}$	—	42—54	42—46
3 $\frac{1}{2}$	—	19 и 20	19	6 $\frac{3}{4}$	—	—	47—54
3 $\frac{3}{4}$	—	—	20	7	55—134	55—79	55—65
4	21—25	21 и 22	21	7 $\frac{1}{4}$	—	—	66—79
4 $\frac{1}{4}$	—	—	22	7 $\frac{1}{2}$	—	80—134	80—102
4 $\frac{1}{2}$	—	23—25	23	7 $\frac{3}{4}$	—	—	103—134
4 $\frac{3}{4}$	—	—	24 и 25	8	135— рейка	135— рейка	135— рейка

нормы плавности работы колеса;  
нормы контакта зубьев.

Контроль параметров цилиндрических зубчатых колес осуществляется с помощью специальных приборов для каждой из указанных трех групп норм.

Для контроля толщины зуба по хорде применяют кромчатый и оптический штангензубомеры. Кромчатый штангензубомер состоит из двух взаимно перпендикулярных линеек 9 и (рис. 165), по которым скользят рамки 7 и 3 с нониусами. Нониусы связаны соответственно с губкой 6 и высотомером 5. Толщина зуба измеряется по шкале на линейке 9, а установка высотометра производится по шкале линейки 1.

Толщина зуба по постоянной хорде  $S_{п.х}$  определяется по формуле

$$S_{п.х} = 1,387 m,$$

где  $m$  — модуль измеряемого колеса, мм.

Высота от вершины зуба до постоянной хорды

$$h_{п.х} = 0,747 m.$$

На шкале высоты головки зуба, имеющейся на зубомере, при помощи винта с гайкой 2 устанавливаются размер  $h_{п.х}$  и после этого измеряют фактическую толщину зуба перемещения губки 6 относительно губки 4 при помощи винта с гайкой 8. Разность между измеренной величиной и расчетной и есть величина отклонения. Оптический зубомер (рис. 166) также предназначен для измерения толщины зуба по хорде. В корпусе прибора имеются две шкалы — вертикальная и горизонтальная. По первой устанавливают упор, а по второй определяют толщину зуба.

Длину общей нормали  $L$  определяют по формуле

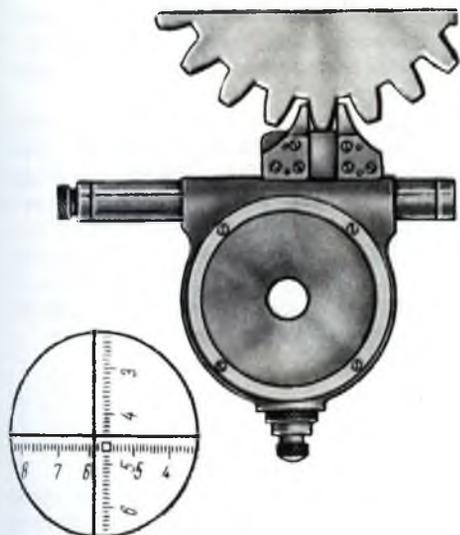
$$L = [1,476(2n - 1) + 0,014z] \cdot m, \text{ мм},$$

где  $z$  — число зубьев проверяемого колеса;

$n$  — число зубьев между губками инструмента;

$m$  — модуль, мм.

Длину общей нормали обычно не вычисляют по указанной формуле, а пользуются данными составленных по ней таблиц для зубчатых



**166** Оптический зубомер для контроля толщины зуба

колес с модулем  $m = 1$  мм, табличные данные затем умножают на модуль измеряемого колеса. Длину общей нормали можно измерять штангенциркулем, специальным зубомерным микрометром и другими приборами.

Зубомерный микрометр (рис. 167) в отличие от обычного имеет измерительные губки в виде дисков. Губками зубомерного микрометра изменяют длину  $L$  нескольких зубьев колеса трижды в одном и том же месте, покачивая всякий раз микрометр. За действительный размер  $L$  принимают среднее значение трех промеров.

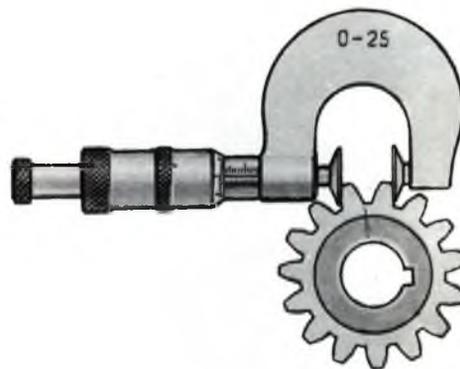
Если измеренный размер  $L$  нарезанного колеса больше допустимого, то производится дополнительная обработка колеса.

Требуется нарезать зубья зубчатого колеса на горизонтально-фрезерном станке. Для фрезерования согласно операционной карте необходимы следующие принадлежности и инструменты: делительная головка, задняя бабка, поводковый патрон, хомутик, центр к задней бабке делительной головки, оправка требуемого диаметра для закрепления заготовки, фрезерная оправка с набором установочных колец и, кроме того, дисковая модульная фреза требуемого модуля из набора фрез; штангензубомер для контроля толщины зуба, контрольный валик, индикатор, шаблон.

Как надо установить делительную головку, заготовку и фрезу, показано на рис. 168 и 169.

На рис. 168 показан случай фрезерования зубчатого колеса с горизонтальным расположением шпинделя делительной головки

Оправку устанавливают в центрах делительной головки. На конец шпинделя делительной головки надевают поводковый патрон, который при помощи хомутика, закрепленного на оправке, передает вращательное движение со шпин-



**167** Зубомерный микрометр

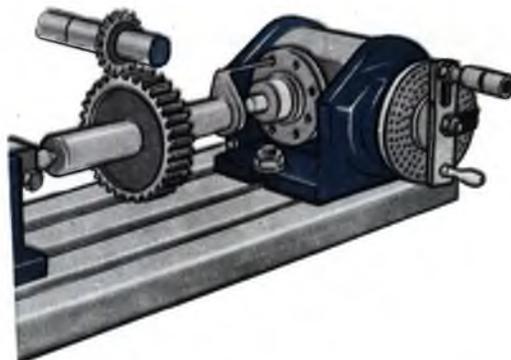
деля головки на оправку с насаженной на ней заготовкой. Если же конструкция детали не позволяет устанавливать ее на оправке, применяют трехкулачковый патрон.

Фрезу устанавливают в диаметральной плоскости относительно заготовки известным уже способом (см. стр. 127).

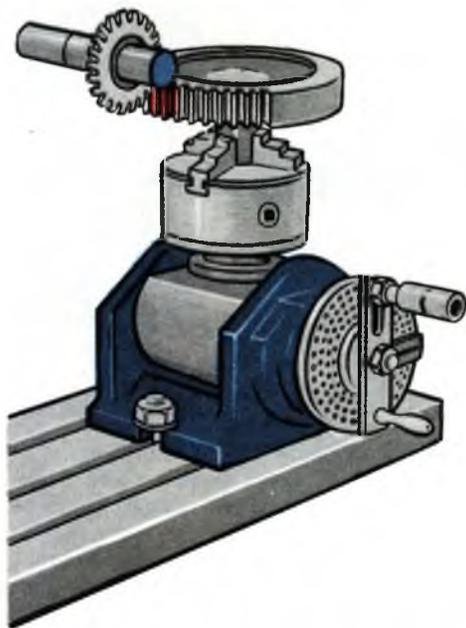
На рис. 169 показано фрезерование зубчатого колеса с вертикальным расположением шпинделя делительной головки. Заготовка закрепляется в трехкулачковом патроне. В этом случае необходимо выверить заготовку, например, с помощью индикатора и обеспечить биение по наружному диаметру в установленных пределах.

Порядок зубофрезерования следующий:

1. Установить упоры автоматического выключателя продольной подачи.
2. Включить кнопкой «пуск» станок.
3. Установить дисковую модульную фрезу по центру заготовки в диаметральной плоскости на высоту зуба, так же как и при обработке канавок на цилиндрических поверхностях. Установку фрезы на высоту зуба можно произвести также пробными проходами с проверкой правильности профиля зубомером или нормалемером.
4. Подвести заготовку к фрезе, включить систему охлаждения, включить механическую



**168** Фрезерование зубчатого колеса на станке с горизонтальным расположением шпинделя



**169** Схема фрезерования зубчатого колеса при вертикальном расположении шпинделя делительной головки

продольную подачу и профрезеровать первую впадину между зубьями. Проверить шаблоном профиль впадины зуба. При несоответствии профиля впадины и шаблона произвести необходимую корректировку по высоте стола.

5. Отвести стол в исходное положение, освободить шпиндель делительной головки и произвести деление. Застопорить шпиндель делительной головки и профрезеровать вторую впадину. Проверить штангензубомером толщину зуба по постоянной хорде в соответствии с формулами (см. стр. 132).

6. Произвести фрезерование остальных зубьев зубчатого колеса.

7. Выключить станок, снять оправку с обработанным зубчатым колесом и сдать на контроль.

#### Виды брака при фрезеровании зубьев зубчатых колес

1. Неправильное число зубьев нарезанного зубчатого колеса. Причина — ошибка при делении.

2. Неравномерный шаг зубьев (зубья имеют разную толщину). Причины: небрежность рабочего при отсчете отверстий делительного круга, неправильно выбран делительный круг, рабочий не пользовался раздвижным сектором либо вращал рукоятку в разных направлениях.

3. Неправильная высота и толщина зубьев. Причина — ошибка в отсчете глубины фрезерования.

4. Профиль зубьев несимметричен относительно диаметральной плоскости. Причина — неправильная установка фрезы в диаметральной плоскости.

5. Неправильные размеры зуба по одному или нескольким из параметров: высота зуба, толщина зуба, шаг зубьев. Причина — неправильно выбрана дисковая модульная фреза либо по модулю, либо по номеру в комплекте.

6. Низкий класс шероховатости обработанной поверхности профиля зубьев. Причина та же, что и при обработке канавок на цилиндрических поверхностях.

### § 53. Фрезерование торцовых зубьев кулачковых муфт и режущего инструмента

Фрезерование торцовых зубьев муфт сцепления и торцовых зубьев режущего инструмента производят с помощью универсальных или специальных делительных головок. Заготовки закрепляют в трехкулачковом патроне или цапговой оправке, устанавливаемой в шпинделе головки, и последовательно фрезеруют впадины между зубьями.

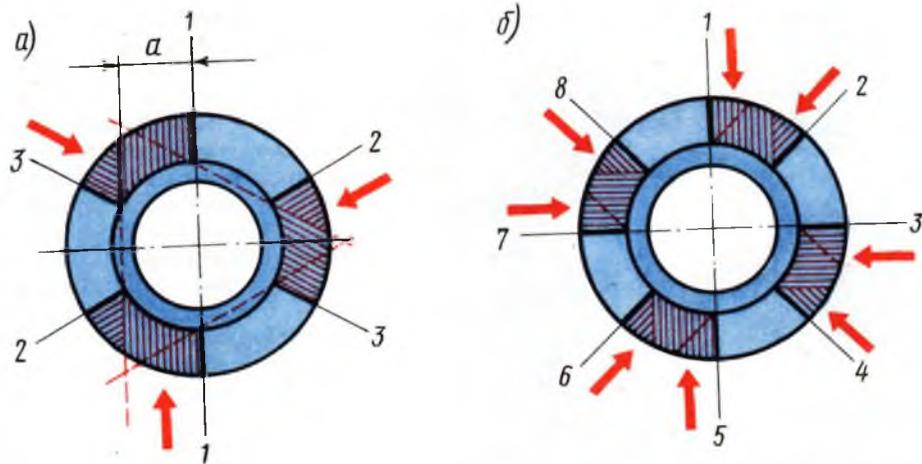
**Фрезерование муфт с прямыми зубьями.** Фрезерование зубьев этих муфт производят дисковыми или концевыми фрезами. При этом ось шпинделя головки располагают вертикально. На рис. 170 показаны схемы фрезерования зубчатых муфт с нечетным (рис. 170, а) и четным (рис. 170, б) числом зубьев. Ширина дисковой или диаметр концевой фрезы должны равняться наименьшей ширине  $a$  впадины. На схемах стрелками показано направление подачи, а штрихованными полосами — след фрезы в процессе обработки. При фрезеровании муфты с нечетным числом зубьев можно за один переход произвести обработку двух противоположных пазов. Обрабатываемые поверхности лежат в плоскостях 1—1, 2—2, 3—3 и т. д. Число переходов и соответственно поворотов муфты равно числу зубьев. Так, например, трехзубую муфту (рис. 170, а) фрезеруют за три перехода, пятизубую — за пять, семизубую — за семь переходов и т. д.

Однако это справедливо лишь для случаев, когда диаметр отверстия  $d$  и наружный диаметр муфты  $D$  связаны соотношением

$$d \geq 0,57 D.$$

В противном случае останутся необработанными участки  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (рис. 171) и для обработки потребуется дополнительный переход. Это относится к обработке муфт как с нечетным, так и с четным числом зубьев (кулачков).

При фрезеровании муфты с четным числом зубьев по рис. 170, б сквозной проход фрезы невозможен и поэтому за каждый переход обрабатывается только одна сторона зуба. Следо-



170 Схемы фрезерования зубчатых муфт

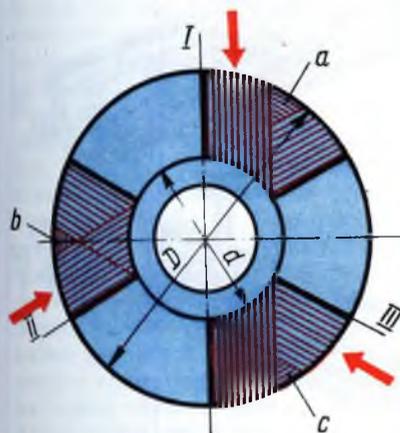
вательно, число переходов и соответственно число оборотов (делений) муфты вдвое больше числа зубьев (рис. 170, б). Дисконной фрезой можно производить фрезерование зубьев муфт большого диаметра, при меньших размерах зубья фрезы врезаются в зубья муфты.

Обработка муфт с четным числом зубьев производится с двух установок фрезы: при переходах 1, 3, 5 и 7 фреза работает одной стороной, а при переходах 2, 4, 6 и 8 — другой. Установку фрезы производят с помощью центра таким образом, чтобы торец дисконной фрезы (рис. 172, а) или образующая цилиндрической поверхности концевой фрезы (рис. 172, б) лежала бы в плоскости, проходящей через ось центра. Установка фрезы 3 (см. рис. 63) осуществляется по габариту 1 и шупу 2. Габарит устанавливают в отверстие шпинделя делительной головки и перед установкой обрабатываемой заготовки удаляют.

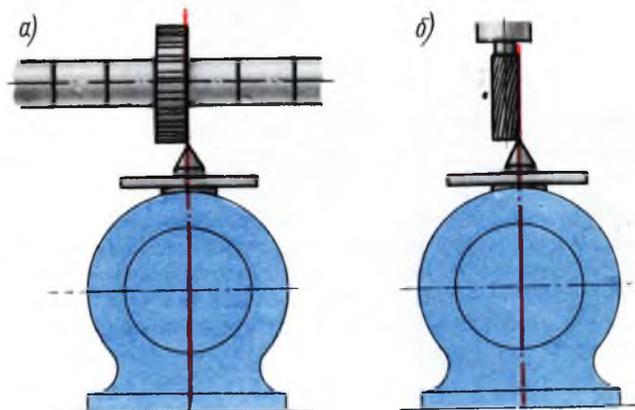
### Фрезерование муфт с трапецидальными треугольными зубьями (симметричного и несимметричного профиля)

При фрезеровании муфт с трапецидальными и треугольными зубьями (рис. 173, з) делительная головка должна быть установлена под некоторым углом  $\beta$  к вертикали. Величина угла  $\beta$  зависит от числа зубьев муфты и угла профиля впадины  $\gamma$ . Для муфт с трапецидальным профилем (рис. 173, а) и с симметричным треугольным профилем (рис. 173, б) расчет угла шпинделя производится по формуле

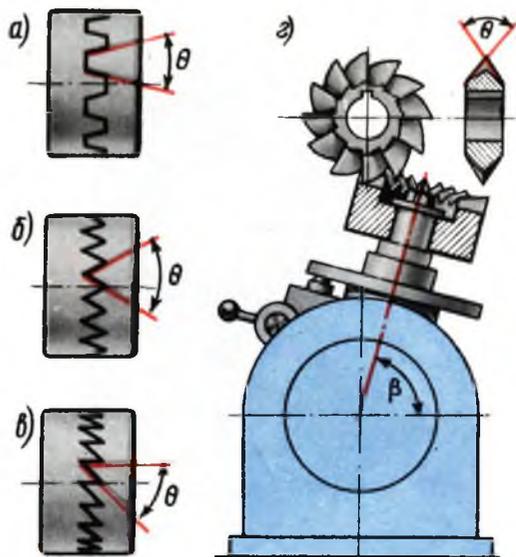
$$\cos \beta = \frac{\sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}}{\left(1 - \sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z}\right)}$$



171 К определению соотношения между диаметром отверстия и наружным диаметром муфты



172 Установка фрез относительно центра



173 Зубчатые муфты

и для несимметричного остроконечного профиля зуба (рис. 173, в) путем замены в ней  $\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}$  на  $\operatorname{ctg} \theta$ :

$$\cos \beta = \frac{\sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \theta}{\left(1 - \sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z}\right)}$$

С увеличением числа зубьев  $z$  выражение

$$1 - \sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z}$$

приближается к единице. Поэтому при числе зубьев  $z \geq 20$  следует пользоваться приближенными формулами:

$$\cos \beta = \sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}; \quad (30)$$

$$\cos \beta = \sin \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \theta. \quad (31)$$

При  $\theta = 90^\circ$  формула (31) примет вид

$$\cos \beta = \sin \frac{180^\circ}{z}.$$

Фрезерование торцовых зубьев режущего инструмента (дисковые, концевые и торцовые фрезы, зенкеры) производится угловыми фрезами. Ось заготовки устанавливается под углом  $\beta$  к горизонтальной плоскости, который определяется по формуле

$$\cos \beta = \operatorname{tg} \frac{360^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \theta,$$

где  $\theta$  — угол профиля угловой фрезы;  
 $z$  — число зубьев инструмента.

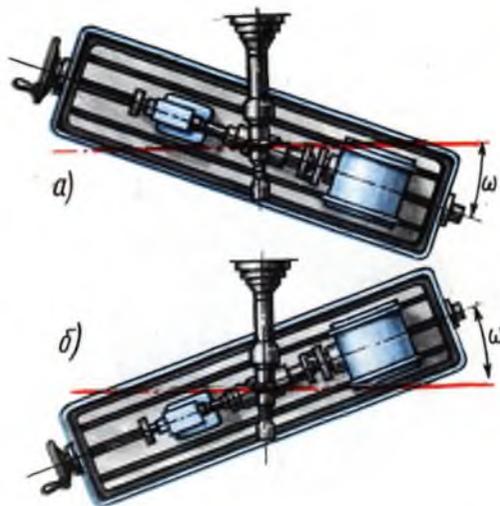
## § 54. Фрезерование винтовых канавок

Нарезание винтовых канавок является одной из сложных операций, выполняемых с помощью делительных головок. При фрезеровании винтовых канавок фреза получает быстрое вращательное движение, определяющее скорость резания. Обрабатываемая заготовка имеет сложное движение — медленное вращательное движение вокруг своей оси и согласованное с ним поступательное движение вдоль оси. Винтовые канавки (правые и левые) можно фрезеровать концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке и дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке. Дисковыми фрезами можно фрезеровать винтовые канавки также на специально приспособленных вертикально-фрезерных и бесконсольно-фрезерных станках с применением поворотной головки. Этот метод целесообразно применять при фрезеровании винтовых канавок с большим углом подъема, а также канавок на крупногабаритных заготовках. Настраивая универсально-фрезерный станок и делительную головку для фрезерования винтовых канавок, следует:

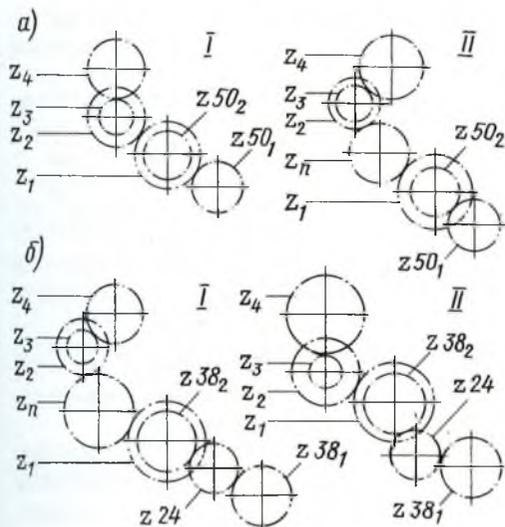
1. определить величину угла и направление поворота стола станка;

2) определить число зубьев сменных зубчатых колес, обеспечивающее заданное вращение обрабатываемой заготовки.

Винтовая канавка получит правильный профиль лишь при условии, что плоскость вращения дисковой фрезы совпадает с направлением канавки. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы при фрезеровании винтовой ка-



174 Направление поворота стола для фрезерования



**175** Схема расположения сменных зубчатых колес на гитаре при фрезеровании винтовых канавок

навки стол станка был повернут на угол наклона винтовой канавки, определяемый по формуле

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{H}, \quad (32)$$

где  $\omega$  — угол поворота стола, град;

$D$  — диаметр заготовки, мм;

$H$  — шаг винтовой канавки, мм.

В таком случае ось дисковой фрезы будет расположена перпендикулярно к развертке винтовой линии.

Угол  $\omega$  поворота стола отсчитывают по градусным делениям на лимбе поворотной части стола. Более точного отсчета и не требуется, так как небольшое отклонение угла поворота стола приводит к очень незначительному изменению формы поверхности винтовой канавки. При фрезеровании винтовой канавки концевой фрезой стол станка должен быть установлен в обычном положении. При повороте стола необходимо учитывать направление винтовой канавки обрабатываемой заготовки. Для фрезерования левой винтовой канавки стол поворачивают по часовой стрелке, как показано на рис. 174, а. Для фрезерования правой винтовой канавки стол поворачивают против часовой стрелки (рис. 174, б). Если винтовая канавка левая, то установку сменных зубчатых колес производят по схеме I, если правая — по схеме II (рис. 175, а, б). Зубчатое колесо  $z_1$  устанавливают на постоянном пальце гитары; ведомое колесо  $z_2$  и второе ведущее  $z_3$  — на переставном пальце; второе ведомое зубчатое колесо  $z_4$  — на валике привода делительного диска. При фрезеровании левой винтовой канавки между колесами  $z_1$  и  $z_2$  устанавливают промежуточное зубчатое колесо  $z_n = 40$ . Остальные зубчатые

колеса на схемах постоянные с передаточным отношением  $i = 1$ .

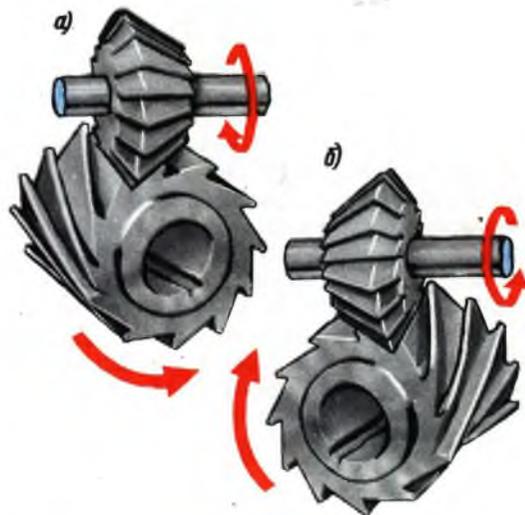
**Пример.** Определить передаточное отношение и подобрать сменные зубчатые колеса гитары, если  $A = 240$ ,  $H = 600$  мм. По формуле (23)

$$i = \frac{A}{H} = \frac{240}{600} = \frac{240}{600} = \frac{2}{5} = \\ = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{2,5} = \frac{25}{50} \cdot \frac{60}{75}$$

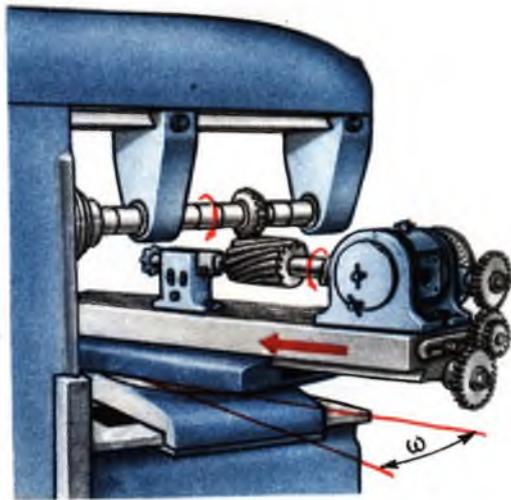
### Фрезерование зубьев цилиндрической фрезы с винтовыми канавками

Требуется настроить делительную головку для нарезания зубьев цилиндрической фрезы диаметром  $D = 100$  мм,  $z = 12$ , угол наклона винтовых канавок  $\omega = 30^\circ$ , винтовая канавка левая. Передний угол  $\gamma = 15^\circ$ . Фрезерование винтовых канавок треугольного профиля следует производить двугловыми дисковыми фрезами. В данном случае берем двугловую несимметричную фрезу с углом  $\theta = 55^\circ$ , который складывается из двух неравных углов большего  $40^\circ$  и меньшего  $15^\circ$ . Меньший угол соответствует переднему углу нарезаемой фрезы.

На рис. 176, а, б, показано направление вращения фрезы и обрабатываемой заготовки при фрезеровании правой и левой винтовых канавок фрез. На рис. 177 показана установка заготовки для фрезерования винтовых канавок. Обрабатываемая заготовка укрепляется на оправке в центрах делительной головки.



**176** Направление вращения фрезы и обрабатываемой заготовки при фрезеровании



**177** Установка заготовки при фрезеровании винтовых канавок

Последовательность обработки винтовой канавки:

1. Намечают на заготовке положение передней поверхности или всей впадины одного зуба.

2. Надевают хомутик на оправку, закрепляют заготовку, насаженную на оправку, в центрах делительной головки и затягивают винтом хомутик.

3. Поворачивают стол на угол  $\omega$  наклона винтовой канавки ( $\omega = 30^\circ$ ), согласно рис. 176, а. Если задан диаметр заготовки  $d_n$ , шаг винтовой линии, то угол поворота стола  $\omega$  определяют по формуле  $\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi d}{H}$ .

4. Перемещают стол в поперечном направлении до тех пор, пока между столом и станиной не останется промежуток 10—15 мм.

5. Устанавливают и закрепляют угловую фрезу и поворачивают стол в исходное положение.

6. Устанавливают угловую фрезу в диаметральной плоскости заготовки. Для этого, вращая маховичок вертикальной подачи, поднимают стол станка до тех пор, пока центр задней бабки не окажется на одном уровне с нижними режущими кромками фрезы. Затем, вращая маховичок поперечной подачи, перемещают стол в поперечном направлении до тех пор, пока острие центра задней бабки не совпадет с вершиной зуба угловой фрезы. Далее с помощью рукоятки делительной головки совмещают зуб угловой фрезы с размеченной на заготовке канавкой зуба.

7. Включают станок и с помощью рукояток вертикальной и поперечной подачи и делительной головки подводят фрезу к заготовке. Убедившись, что угловая фреза получила правиль-

ное положение для фрезерования винтовой канавки, стопорят поперечные и вертикальные салазки стола.

8. По формуле (15) настраивают делительную головку на простое деление:

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{12} = 3 \frac{4}{12} = 3 \frac{1}{3} = 3 \frac{10}{30}.$$

Из расчета видно, что для поворота шпинделя с заготовкой на  $\frac{1}{12}$  часть оборота рукоятку головки следует повернуть по делительной окружности с 30 отверстиями на 3 полных оборота и еще на  $\frac{10}{30}$  доли оборота. Раствор сектора делительного диска должен охватывать 10 промежутков (или 11 отверстий).

9. По формуле (23) определяют передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары:

$$i = \frac{A}{H} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4}.$$

В нашем случае

$$A = 240, H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{\pi \cdot 100}{0,577} = 544 \text{ мм.}$$

Подбор сменных зубчатых колес для настройки делительной головки при фрезеровании винтовых канавок производят по таблицам, прилагаемым к паспорту делительной головки. Так, в нашем случае при  $A = 240$  и  $H = 544$  мм по таблице принимаем  $H = 540$  мм;  $z_1 = 80$ ;  $z_2 = 70$ ;  $z_3 = 35$  и  $z_4 = 90$ , т. е.

$$i = \frac{240}{540} = \frac{80}{70} \cdot \frac{35}{90}.$$

Устанавливают сменные зубчатые колеса по схеме рис. 175, б так как винтовая канавка левая.

Проверяют правильность работы передаточного механизма вращением вручную винта продольной подачи стола. Перед вращением винта продольной подачи нужно освободить делительный диск от стопорного штифта (зашелки).

10. Устанавливают стол станка под углом подъема винтовой канавки ( $\omega = 30^\circ$ ) и закрепляют ее болтом.

11. Фрезеруют первую канавку на полную глубину по разметке и проверяют ее по шаблону. Опускают стол и возвращают заготовку в исходное положение.

12. Производят деление на  $\frac{1}{12}$  часть оборота.

Поднимают стол в исходное положение, подводят вручную заготовку под фрезу и фрезеруют вторую канавку и т. д.

Фрезерование затылка зуба производят цилиндрической или торцевой фрезой при помощи вертикальной накладной головки (см. рис. 49), установленной на универсально-фрезерном станке. Наладку делительной головки и поворот стола производят, как и при фрезеровании винтовой канавки двуугловой фрезой.

Фрезерование затылка зуба можно произвести той же самой двуугловой фрезой, которой была профрезерована винтовая канавка. Для этого необходимо опустить стол на такую величину, чтобы вращающаяся двуугловая фреза не касалась обрабатываемой фрезы, и переместить стол в поперечном направлении. Затем повернуть обрабатываемую заготовку на угол, равный углу между спинкой и затылком зуба (рис. 178). Затем поднять стол на такую высоту, чтобы получить заданную величину спинки зуба фрезы. Ширина затылка зубьев устанавливается методом пробных проходов. Приемами, как и при обработке канавки, произвести фрезерование затылка остальных зубьев.

### Фрезерование зубьев косозубых цилиндрических зубчатых колес

Фрезеруют зубья косозубых цилиндрических зубчатых колес так же, как и винтовые канавки, на универсально-фрезерных станках дисковыми или пальцевыми модульными фрезами.

Если известен диаметр  $D_0$  начальной окружности зубчатого колеса и угол наклона зубьев, то шаг винтовой канавки можно определить из формулы (32). Обычно на чертеже косозубого зубчатого колеса указывают:  $m_n$  — нормальный модуль,  $z$  — число зубьев,  $\omega$  — угол наклона зубьев колеса к оси.

$$\text{Тогда } H = \frac{\pi \cdot m_n \cdot z}{\sin \omega}.$$

Угол поворота стола равен углу наклона зубьев колеса. Передаточное отношение  $i$  сменных зубчатых колес определяется по формуле (23). Подбор и установка сменных зубчатых колес производится так же, как и при фрезеровании винтовых канавок. Номер дисковой модульной фрезы выбирается по табл. 14, исходя не из действительного числа зубьев, а по приведенному числу  $z_{пр}$ , т. е. по числу зубьев, находящихся в плоскости, перпендикулярной направлению зубьев. Приведенное число зубьев определяется по формуле

$$z_{пр} = k_\beta \cdot z,$$

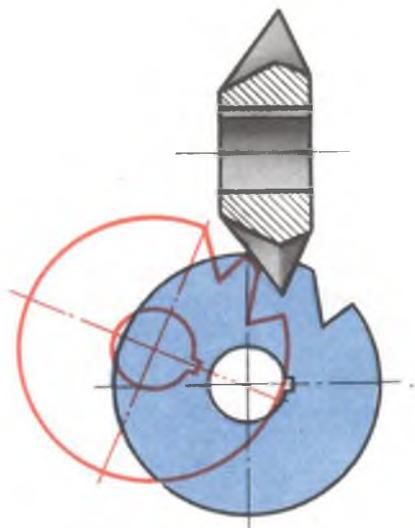
где  $k_\beta$  — коэффициент приведения, зависящий от угла наклона нарезаемого зубчатого колеса;

$z$  — действительное число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

В табл. 16 приведены значения коэффициентов приведения.

Приведенное число зубьев можно подсчитать и по формуле

$$z_{пр} = \frac{z}{\cos^3 \beta}.$$



178 Фрезерование затылка зуба двуугловой фрезой

### Фрезерование червяков дисковыми модульными фрезами

Шаг винтовой канавки червяка  $H$  определяется по формуле

$$H = \pi m k, \quad (33)$$

где  $m$  — модуль зацепления, мм;  
 $k$  — число заходов червяка.

Угол подъема винтовой канавки  $\beta$  червяка находят по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{\pi D_0},$$

где  $D_0$  — диаметр начальной окружности червяка, мм.

Подставляя вместо  $H$  значение по формуле (33), получим

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi m k}{\pi D_0} = \frac{m k}{D_0}. \quad (34)$$

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  и угол подъема  $\beta$  связаны известным соотношением (см. стр. 8).

**Пример.** Настроить делительную головку для фрезерования червяка, у которого диаметр начальной окружности  $D_0 = 100$  мм, модуль 10 мм, число заходов  $k = 3$ . Характеристика фрезерного станка  $A = 240$ .

По формуле (33) находим шаг винтовой канавки

$$H = 3,14 \cdot 10 \cdot 3 = 94,2 \text{ мм.}$$

По формуле (23) определяем передаточное отношение и подбираем сменные зубчатые колеса:

$$i = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{240}{94,2} = \frac{85}{30} \cdot \frac{45}{50}.$$

Фактический шаг резьбы червяка при данном

Коэффициенты приведения для косозубых колес

Угол наклона зубьев $\beta$ , град	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Коэффициент $k_p$	1,01	1,05	1,10	1,19	1,32	1,50	1,76	2,20	2,64

наборе сменных зубчатых колес получается равным 94,118 мм. Погрешность шага равна  $94,2 - 94,118 = 0,082$  мм. По формуле (15) определяем число оборотов рукоятки при простом делении:

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{3} = 13 \frac{1}{3} = 13 \frac{10}{30}.$$

Выбираем круг с 66 отверстиями на делительном диске. Для деления рукоятка делительной головки должна сделать по кругу с 30 отверстиями 13 полных оборота и еще 10:30 оборота с помощью раздвижного сектора.

Для определения угла  $\omega$  поворота стола найдем угол подъема  $\beta$  винтовой канавки червяка по формуле (34):

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{mk}{D_s} = \frac{10 \cdot 3}{100} = 0,3,$$

откуда  $\beta = 16^\circ 42'$ . Угол наклона винтовой канавки и поворота стола

$$\omega = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 16^\circ 42' = 73^\circ 18'$$

Стол станка на такой угол повернуть невозможно. В этом случае применяют специальную поворотную головку, предназначенную для обработки зубчатых реек. С помощью этой головки ось дисковой модульной фрезы располагают перпендикулярно к шпинделю станка, а стол устанавливают под углом, равным углу подъема винтовой канавки, т. е. под углом  $16^\circ 42'$ .

При фрезеровании однозаходных червяков, а также резьб с малым шагом, червячную передачу делительной головки отключают, а шпиндель делительной головки соединяют непосредственно с ходовым винтом стола.

В этом случае передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары находят по формуле

$$i = \frac{t_{x.v.}}{t_p},$$

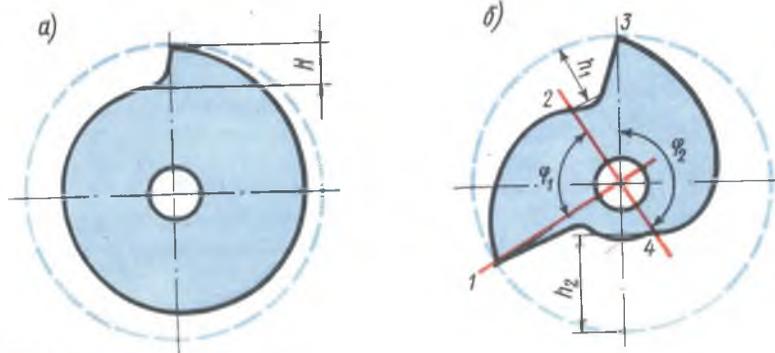
где  $t_{x.v.}$  — шаг ходового винта, мм;  
 $t_p$  — шаг фрезеруемой резьбы, мм.

#### Фрезерование кулачков с профилем по архимедовой спирали

Плоские (дисковые) кулачки, применяемые в токарных автоматах и других машинах, имеют участки профиля, очерченные по спирали Архимеда. На рис. 179, а показан кулачок, рабочий профиль которого представляет собой один полный виток спирали; размер  $H$  называется шагом спирали. В ряде случаев профиль кулачка состоит из нескольких спиралей с разным шагом, сопряженных между собой дугами окружностей и прямыми линиями. Так, например, кулачок на рис. 179, б имеет неполную спираль 1—2, охватываемую центральным углом  $\varphi_1$ , и спираль 3—4, охватываемую углом  $\varphi_2$ . Расстояния  $h_1$  и  $h_2$  называют подъемом спирали на участках, соответствующих центральным углам  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Если известен подъем спирали  $h$  и соответствующий ему центральный угол  $\varphi$ , то шаг спирали  $H$  можно определить по формуле

$$H = \frac{360^\circ}{\varphi} h. \quad (35)$$

Обычно центральный угол, охватывающий спиральный участок, дают не в градусах, а в сотых



179 Плоские кулачки

долях полной окружности, т. е. при построении профиля кулачка из его центра проводят не 360 лучей ( $360^\circ$ ), а 100 лучей. Тогда формула (35) примет вид

$$H = \frac{100}{n} h, \quad (36)$$

где  $H$  — шаг спирали (мм), отнесенный ко всей длине окружности;

$n$  — число лучей (сотых долей окружности), занимаемых спиралью Архимеда;

$h$  — подъем спирали на участке, содержащем  $n$  лучей или сотых долей окружности.

В большинстве случаев фрезерование спиралей производится концевыми фрезами на горизонтально-фрезерных станках, закрепляемыми в поворотном шпинделе накладной фрезерной головки. Обрабатываемый кулачок центрируют и закрепляют на консольной оправке, установленной в шпинделе делительной головки. При фрезеровании кулачков оси шпинделей фрезерной и делительной головок всегда расположены параллельно. Если шпиндель головки установлен вертикально (рис. 180, а), то передаточное отношение  $i$  сменных зубчатых колес, соединяющих винт продольной подачи стола станка с валиком привода головки, определяют по формуле (23), как и при обработке винтовых канавок:

$$i = \frac{A}{H},$$

При малых значениях шага спирали  $H$  ведущие сменные зубчатые колеса получаются настолько большими, что передача вращательного движения винта шпинделю делительной головки становится невозможной. Поэтому обработку кулачков с такими спиралями производят при наклонно установленных делительной головке и шпинделе.

Передаточное отношение  $i$  сменных зубчатых колес, соединяющих винт продольной по-

дачи стола с валиком привода делительной головки, при наклонном положении шпинделя (рис. 180, б) находят по формуле

$$i = \frac{A \cdot \sin \omega}{H},$$

где  $A$  — характеристика станка;

$H$  — шаг спирали (мм), отнесенный к полной окружности;

$\omega$  — угол наклона шпинделя делительной головки к направлению продольной подачи стола.

Настройка станка для обработки плоских кулачков, выполненных по спирали Архимеда, производится следующим образом:

1) устанавливают сменные зубчатые колеса для фрезерования винтовой канавки с произвольным шагом;

2) шпиндель делительной головки и фрезу располагают под углом  $\omega$ , величину которого находят по формуле

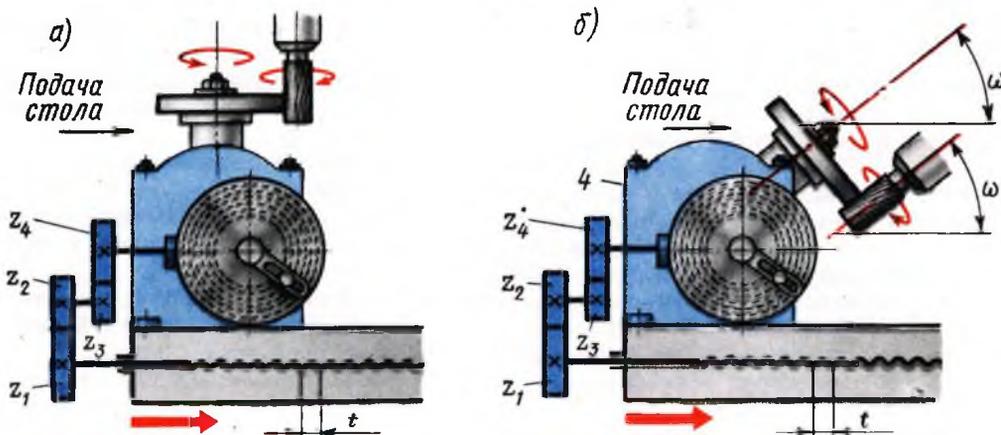
$$\sin \omega = \frac{H_k}{H},$$

где  $H_k$  — шаг спирали данного кулачка, отнесенный к полной окружности;

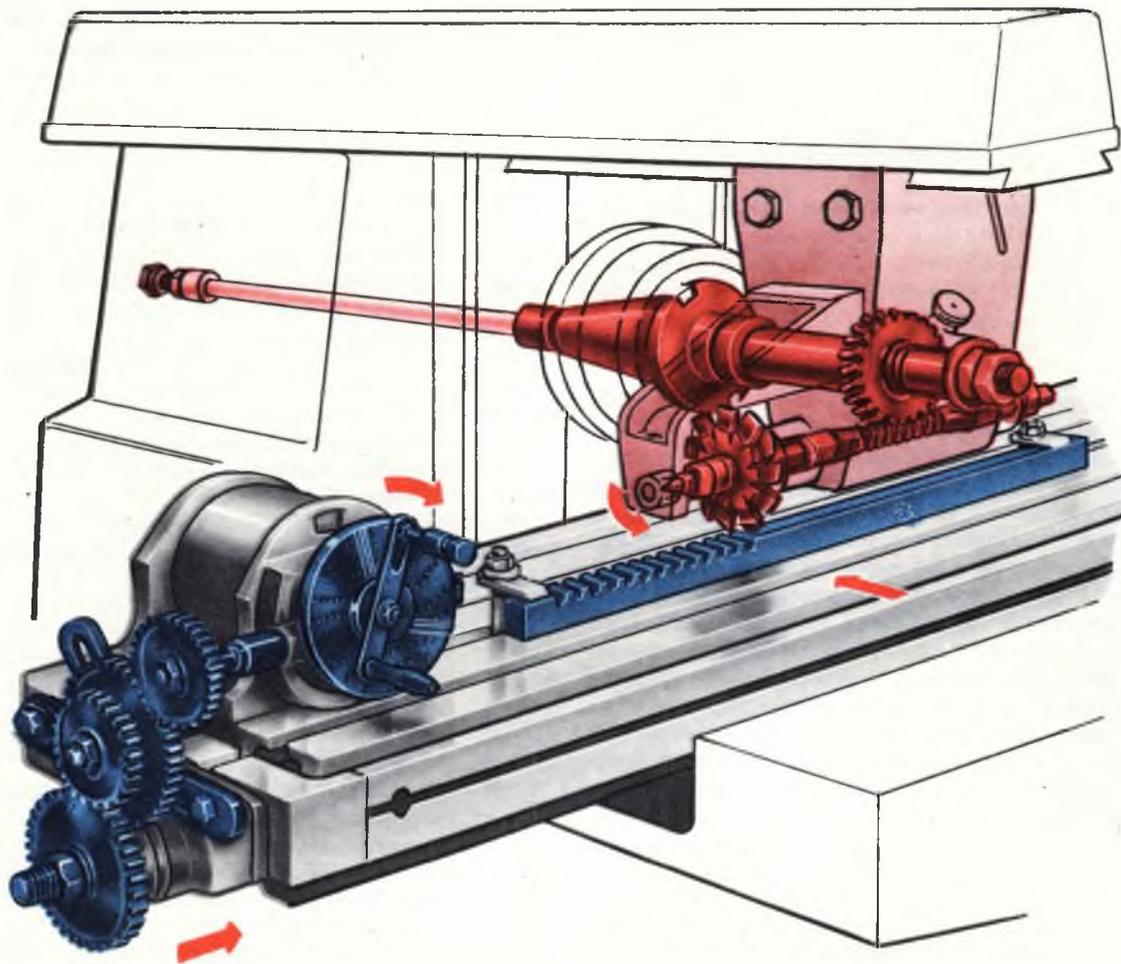
$H$  — шаг винтовой канавки, мм, для фрезерования которой выбраны сменные зубчатые колеса.

Установив сменные зубчатые колеса для фрезерования винтовой канавки с продольным шагом  $H$ , можно обрабатывать кулачок с несколькими спиралями, не меняя установку зубчатых колес, а только изменяя угол наклона шпинделя делительной головки и фрезы при переходе от одного участка кулачка к другому.

Если подлежащая обработке спираль ограничивает кулачок только на некотором участке и характеризуется подъемом  $h$ , то угол наклона шпинделя делительной головки определяется по следующим формулам: для спирального



180 Расположение шпинделей накладной и делительной головок



**181** Схема фрезерования реек на горизонтально-фрезерном станке

участка, ограниченного центральным углом,

$$\sin \omega = \frac{360^\circ h}{\beta \cdot H};$$

для спирального участка, выраженного в сотых долях полной окружности,

$$\sin \omega = \frac{100 \cdot h}{n \cdot H},$$

где  $h$  — подъем спирали на участке, соответствующем центральному углу, мм;

$\beta$  — центральный угол в градусах, соответствующий этому участку;

$n$  — число сотых долей окружности, содержащихся в данном участке;

$H$  — шаг винтовой канавки (мм), для обработки которой установлены сменные зубчатые колеса.

Длина режущей части фрезы должна быть больше толщины кулачка.

**Возможный брак при фрезеровании винтовых канавок**

1. Неправильное направление винтовой канавки. Причина — неправильно установлены сменные зубчатые колеса гитары (не поставлено промежуточное зубчатое колесо или, наоборот, его надо снять).

2. Неправильный шаг винтовой канавки. Причина — неправильно подобраны сменные зубчатые колеса или неверно установлены (перепутаны местами) ведущие и ведомые зубчатые колеса.

3. Количество канавок не соответствует числу, указанному на чертеже. Причина — неправильно произведено деление.

4. Неравномерный шаг канавок. Причина — небрежность в отсчетах при делении.

5. Неправильный профиль или размеры канавок по ширине и глубине. Причины — не-

правильно выбрана или установлена фреза по глубине или в поперечном направлении, не точен отсчет угла поворота стола.

6. Низкий класс шероховатости обработанной поверхности. Причина та же, что и при обработке многогранников и канавок.

### § 55. Фрезерование зубьев зубчатых реек

Рейку можно рассматривать как участок венца зубчатого колеса при бесконечном увеличении его диаметра.

Отсчет перемещения стола при обработке зубьев коротких и неточных реек можно производить по лимбу винта продольной подачи. Для отсчета перемещений стола при фрезеровании зубьев длинных и точных реек следует пользоваться универсальной делительной головкой или специальным приспособлением.

При фрезеровании зубчатых реек ось дисковой модульной фрезы с помощью специальной поворотной головки (рис. 181) для фрезерования зубьев зубчатых реек устанавливают перпендикулярно шпинделю горизонтально- или универсально-фрезерного станка.

Перемещение стола при переходе от обработки одной впадины к другой между прямыми зубьями рейки должно быть равно шагу между зубьями, измеренному параллельно оси рейки. Если рейка имеет косые зубья, то величину перемещения стола определяют по шагу  $t$ , величину которого вычисляют по формуле

$$t = \frac{m\pi}{\cos \alpha}, \quad (37)$$

где  $m$  — модуль (нормальный), мм;

$\alpha$  — угол наклона зубьев рейки, град;

$\pi = 3,14$  (при точных работах принимают  $\pi = 3,1416$ ).

Следует отметить, что формула (37) справедлива лишь для случая, когда стол станка повернут в горизонтальной плоскости на угол  $\alpha$ , а ось обрабатываемой рейки параллельна оси стола. Если стол станка не повернут, а ось рейки расположена под углом к оси стола, то  $t = m\pi$ .

На рис. 181 показана схема установки делительной головки при фрезеровании зубьев зубчатых реек.

Шпиндель делительной головки соединен с винтом продольной подачи сменными зубчатыми колесами, передаточное отношение которых определяют по формуле

$$i = \frac{Nt}{S \cdot n}$$

или

$$i = \frac{Nm\pi}{S \cdot n}, \quad (38)$$

где  $i$  — передаточное отношение сменных зубчатых колес;

$N$  — характеристика делительной головки;  
 $t$  — шаг зубьев фрезеруемой рейки, мм;  
 $m$  — модуль, мм;  
 $S$  — шаг винта продольной подачи стола, мм;  
 $n$  — число оборотов рукоятки делительной головки.

Первое (ведущее) колесо устанавливают на валике, закрепленном в шпинделе делительной головки, последнее (ведомое) — на винте продольной подачи стола.

**Пример.** Определить число зубьев сменных зубчатых колес при фрезеровании зубьев рейки с модулем  $m = 3$  мм на универсально-фрезерном станке. Шаг винта продольной подачи стола  $S$  равен 6 мм.

По формуле (38)

$$i = \frac{Nm\pi}{S \cdot n} = \frac{40 \cdot 3 \cdot 3,14}{6 \cdot n}$$

Принимаем  $n = 10 \cdot 3,14 = 31,4$ .

Следовательно,

$$i = \frac{40 \cdot 3 \cdot 3,14}{6 \cdot 31,4} = \frac{120}{60} = \frac{60}{30}$$

Берем сменные зубчатые колеса с числом зубьев 60 и 30. Число оборотов рукоятки

$$n = 3,14 = 31 \frac{4}{10} = 31 \frac{12}{30}$$

При переходе от фрезерования одной впадины рейки к другой необходимо рукоятку головки повернуть на 31 полный оборот, а по делительному кругу 30 пропустить 12 промежутков между отверстиями.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях многогранники целесообразно фрезеровать набором фрез?
2. Как производят фрезерование прямых канавок на цилиндрических поверхностях?
3. Какова последовательность фрезерования пазов на торцовых поверхностях?
4. Как произвести настройку делительной головки для деления окружности на неравные части?
5. Какие элементы цилиндрического прямоугольного колеса вы знаете?
6. Как выбирать номер дисковой модульной фрезы из комплекта для нарезания прямозубых зубчатых колес?
7. Для чего применяют пальцевые модульные фрезы?
8. Как правильно установить дисковую модульную фрезу?
9. Какими приборами контролируют толщину зуба?
10. Какие виды брака возможны при нарезании зубчатых колес и винтовых канавок?



## Основы резания металлов

Процесс резания при фрезеровании сложнее, чем при точении. При точении резец непрерывно находится в контакте с заготовкой и срезает стружку постоянного сечения. При всех видах фрезерования с заготовки срезается прерывистая стружка переменной толщины.

Кроме того, при фрезеровании каждый зуб фрезы входит в контакт с обрабатываемой заготовкой и выходит из контакта при каждом обороте фрезы. Вход зуба в контакт с обрабатываемой заготовкой сопровождается ударом.

Таким образом, условия работы фрезы значительно тяжелее условий работы резца при точении. Поэтому важно знать основные закономерности процессов фрезерования, чтобы в каждом конкретном случае производить обработку при наивыгоднейших условиях с наибольшей производительностью.

### § 56. Явления, сопровождающие процесс резания

Как указывалось выше, процесс резания металлов при фрезеровании не имеет принципиальных отличий от процесса резания при точении. Остановимся на некоторых явлениях, сопровождающих процесс резания.

Срезанный слой металла в виде стружки, как известно, может иметь различный вид в зависимости от условий обработки. По классификации проф. И. А. Тиме стружка может быть следующих типов: сливная, скалывания и надлома.

**Нарост при резании металлов.** При резании вязких металлов в некоторых случаях на передней поверхности инструмента образуется так называемый нарост. Это прикрепившийся (приварившийся) к передней поверхности резца сильно деформированный кусочек обрабатываемого материала в виде клина большой твердости (рис. 182). Этот кусочек металла непрерывно сходит со стружкой и снова образуется. Он по существу является режущей частью инструмента и предохраняет режущую кромку от износа. Однако если на передней поверхности

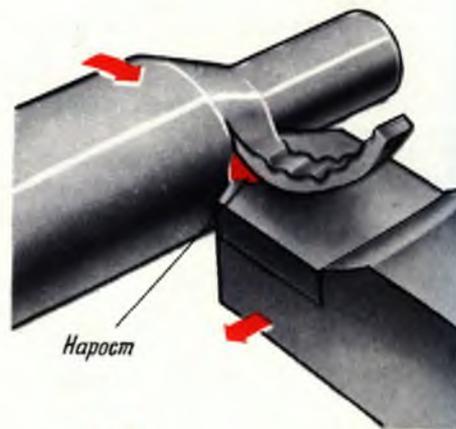
инструмента образовался нарост, то ухудшается качество обработанной поверхности. Поэтому при чистовой обработке металлов, а также при нарезании резьбы нарост является вредным явлением. Для его ликвидации следует тщательно доводить переднюю поверхность инструмента или изменять скорость резания (чаще в сторону ее увеличения до 30 м/мин и выше), а также применять соответствующие условиям обработки смазывающе-охлаждающие жидкости.

**Усадка стружки.** При резании металлов стружка деформируется и оказывается короче того участка, с которого она срезана (рис. 183).

Это явление укорочения стружки по длине называется продольной усадкой стружки.

Объем металла при деформировании практически не меняется. Следовательно, укорачивание стружки по длине должно сопровождаться увеличением площади поперечного сечения стружки. Увеличение площади поперечного сечения называется поперечной усадкой стружки.

Деформирование стружки приводит к ее завиванию. Канавки режущих инструментов (сверл, протяжек, фрез и др.) должны обеспечивать возможность свободного размещения завивающейся стружки.



182 Нарост при резании металлов

### Тепловые явления при резании металлов.

В процессе резания металлов обрабатываемая деталь, режущий инструмент и стружка нагреваются. При увеличении скорости резания, особенно во время снятия тонких стружек, температура в зоне резания увеличивается до  $60^\circ$ .

При дальнейшем повышении скорости резания в ряде случаев можно наблюдать сходящую стружку, нагретую до ярко-красного каления ( $900^\circ \text{C}$ ).

На обработанной поверхности стальной детали при этом могут быть заметны оттенки всех цветов побежалости, свидетельствующие о высокой температуре тончайшего поверхностного слоя детали в момент соприкосновения ее с задней поверхностью инструмента. Повышение температуры в зоне резания происходит в результате превращения затрачиваемой на процесс резания механической энергии в тепловую. Еще Я. Г. Усачев установил, что в стружку входит от 60 до 86% общего количества теплоты, образующейся при резании, в режущий инструмент — от 10 до 40% общего количества теплоты, а в обрабатываемую заготовку — от 3 до 10%. Необходимо отметить, что как в стружке, так и в инструменте теплота распределяется неравномерно. В режущем инструменте при непрерывной его работе устанавливается постоянный тепловой режим за несколько минут работы. Практически выравнивание температуры в обрабатываемой детали заканчивается уже после ее обработки. Образующееся в зоне резания тепло оказывает большое влияние на весь процесс резания и связанные с ним явления (наростообразование, износ инструмента и др.). Поэтому в теории резания металлов тепловым явлениям при резании металлов уделяется большое внимание.

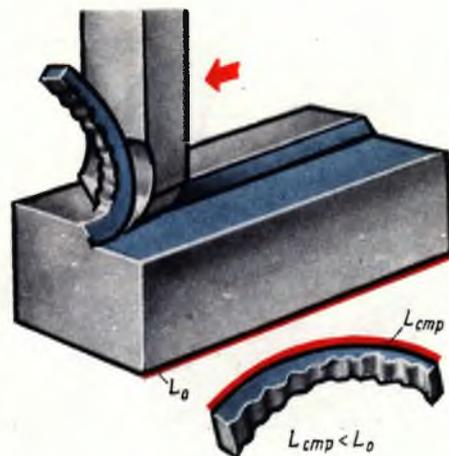
### Шероховатость обработанной поверхности.

Проблема улучшения качества выпускаемой продукции наряду с непрерывным повышением производительности труда является важнейшей в машиностроении.

При оценке качества готовой детали учитывают следующие основные показатели: точность размера, точность геометрической формы и шероховатость поверхности.

Шероховатость обработанной поверхности зависит от следующих факторов: правильного выбора геометрических параметров (углов заточки) инструмента и прежде всего переднего угла, углов в плане, правильного выбора подачи, скорости резания, а также применения соответствующих смазывающе-охлаждающих жидкостей.

Для получения высокого класса шероховатости поверхности необходимо также, чтобы передняя и задние поверхности инструмента были тщательно доведены (обработка алмазными или абразивными мелкозернистыми кругами из зеленого карбида кремния).



183 Усадка стружки

**Вибрации при резании металлов.** В процессе резания металлов при определенных условиях возникают вибрации (колебания). Появление вибраций во многих случаях является основной причиной, ограничивающей возможность повышения режимов резания и производительности труда. Вибрации при резании металлов вредно отражаются на стойкости инструмента. Даже слабые вибрации препятствуют достижению высокого класса шероховатости обработанных поверхностей. При прочих равных условиях возможность возникновения вибраций при обработке чугуна значительно меньше, чем при обработке стали.

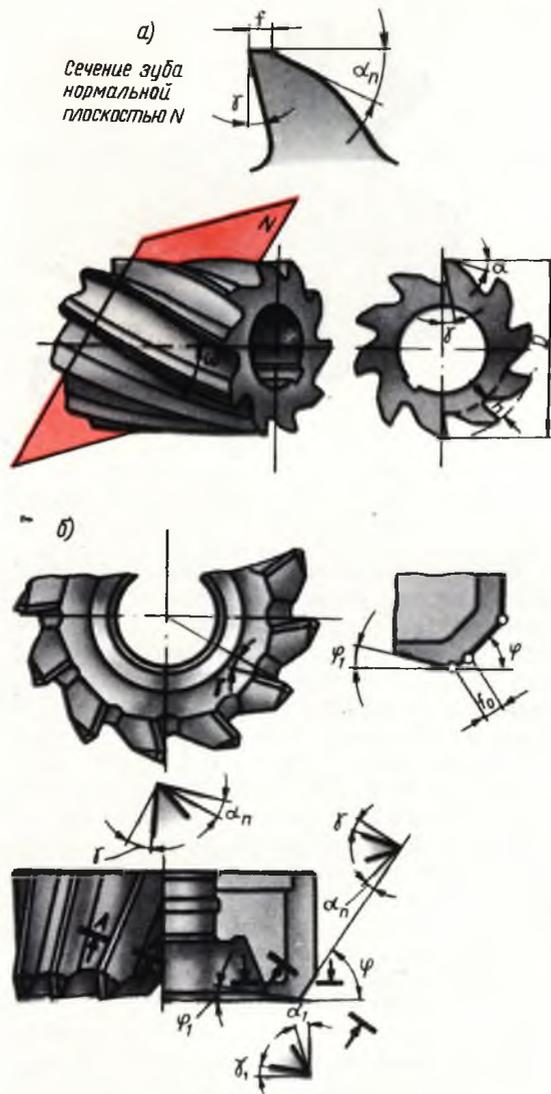
Вибрации можно устранить или уменьшить путем применения инструмента с малыми задними и большими передними углами, а также выбором соответствующих скоростей резания и условий охлаждения, при которых снижается интенсивность колебаний. Для устранения или уменьшения вибраций применяют специальные устройства — виброгасители.

## § 57. Геометрические параметры режущей части фрезы

Углы заточки фрез определяют по аналогии с углами резца (см. рис. 6). Эти углы измеряются в различных плоскостях сечения зуба (рис. 184).

Главный передний угол  $\gamma$  — угол между касательной к передней поверхности и осевой плоскостью, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке и проходящей через данную ее точку.

У цилиндрических фрез из быстрорежущих сталей (рис. 184, а) главный передний угол выбирают в пределах  $5 \div 25^\circ$ , у торцовых твердосплавных фрез (рис. 184, б) — в пределах —  $10^\circ \div +10^\circ$ .



**184** Геометрические параметры режущей части фрезы

Иногда передние углы задают в плоскости, нормальной к оси фрезы, так называемой поперечный передний угол  $\gamma'$ . Существуют формулы перехода от угла  $\gamma$  к углу  $\gamma'$ :

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cdot \cos \omega$$

для цилиндрических фрез,

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \omega \cdot \cos \varphi$$

для торцовых фрез.

Главный задний угол  $\alpha$  — угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке главной режущей кромки и касательной к окружности вращения данной точки, измеряемый в плоскости, нормальной к оси фрезы и проходящей через данную точку

главной режущей кромки. Иногда задний угол задают в нормальном сечении к главной режущей кромке — задний угол нормальный  $\alpha_n$ . Они связаны между собой соотношениями:  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \cos \omega$  для цилиндрических фрез.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\sin \varphi}, \text{ для торцовых фрез.}$$

Главный задний угол  $\alpha$  у фрез выбирают в пределах 6—15°.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  — угол между главной режущей кромкой и проекцией ее на осевую плоскость, проходящую через вершину угла между главной и вспомогательной режущими кромками, измеряемый в продольной плоскости, проходящей через данную точку режущей кромки. У цилиндрических, концевых и дисковых фрез угол  $\lambda$  равен углу наклона винтового зуба, т. е.  $\lambda = \omega$ . Угол влияет на прочность и стойкость зуба фрезы. Его выбирают в пределах от 0 до 15°.

Главный угол в плане угловой кромки  $\varphi$  — угол между проекцией главной режущей кромки на осевую плоскость, проходящую через рассматриваемую точку кромки, и торцовой плоскостью. Главный угол в плане обычно выбирают в пределах 45—60°. Малые значения угла  $\varphi = 10$ —30° требуют от станка повышенной жесткости и виброустойчивости.

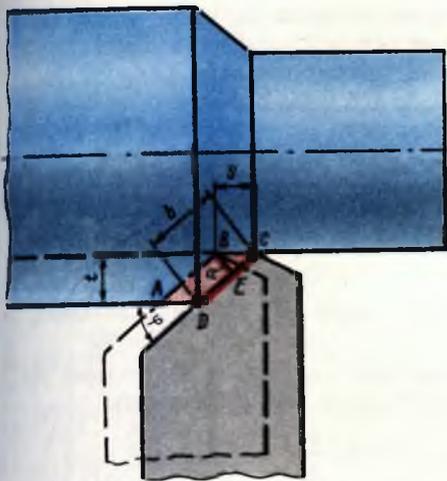
Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  — угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на осевую плоскость, проходящей через рассматриваемую точку кромки, и торцовой плоскостью. Он служит для уменьшения трения вспомогательной режущей кромки об обработанную поверхность и выбирается для торцовых фрез в пределах 1—10°.

Главный угол в плане переходной кромки  $\varphi_0$  — угол между проекцией переходной кромки на осевую плоскость, проходящей через рассматриваемую точку, и торцовой плоскостью. Его выбирают в пределах 15—30°.

Значения геометрических параметров для различных фрез и условий обработки приведены в справочниках по режимам фрезерования, в справочниках технолога или фрезеровщика.

## § 58. Элементы срезаемого слоя

**Точение.** Рассмотрим сначала толщину и ширину среза при точении, а затем толщину и ширину среза при фрезеровании. Толщина среза  $a$  и ширина среза  $b$  при точении (рис. 185) представляют собой не толщину и ширину уже срезанной стружки, а номинальные размеры до ее образования. Срезанная стружка после ее отделения (деформирования) будет по толщине больше толщины среза (поперечная усадка).



185 Элементы срезаемого слоя при точении

Толщина среза  $a$  — расстояние между двумя последовательными положениями главной режущей кромки резца (за один оборот заготовки). Ширина среза  $b$  — длина контакта режущих кромок инструмента с обрабатываемой заготовкой.

Из прямоугольного треугольника  $BEC$  следует, что  $a = s \cdot \sin \varphi$ .

Рассматривая треугольник  $DKC$ , можно установить, что

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

Площадь поперечного сечения среза  $ABCD$  будет  $F = ab = t \cdot s$ .

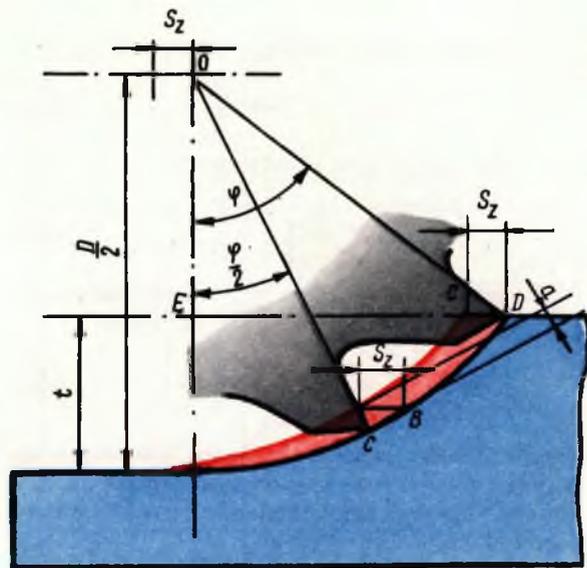
**Цилиндрическое фрезерование.** Рассмотрим сначала случай фрезерования прямозубой цилиндрической фрезой.

Толщина среза при фрезеровании — расстояние между двумя последовательными положениями линии контакта соответственных точек режущих кромок двух соседних зубьев фрезы с обрабатываемой заготовкой (рис. 186).

Из рис. 186 видно, что толщина среза меняется от нуля до максимального значения. Центральный угол  $\varphi$ , соответствующий длине дуги контакта с обрабатываемой заготовкой, называется углом контакта. Угол  $\varphi$  можно определить из прямоугольного треугольника  $OED$ :

$$\cos \varphi = \frac{\frac{D}{2} - t}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2t}{D}. \quad (39)$$

Если принять дугу  $CB$  за отрезок прямой треугольника  $ACB$ , то толщину среза для  $\frac{\varphi}{2}$



186 Элементы срезаемого слоя при фрезеровании цилиндрической прямозубой фрезой

(половины угла контакта) можно определить как

$$AC = AB \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$$

или

$$a = s_z \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (40)$$

но

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{2}}.$$

Подставляя вместо  $\cos \varphi$  его выражение из формулы (39), получим

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{t}{D}}.$$

Тогда средняя толщина среза будет

$$a = s_z \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = s_z \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (41)$$

При точении толщина среза  $a = s \cdot \sin \varphi$ .

Ширина среза  $b$  при фрезеровании — суммарная длина контакта режущих кромок фрезы с обрабатываемой заготовкой. Она равна произведению длины контакта одного зуба фрезы с обрабатываемой заготовкой  $B$  на число зубьев фрезы, находящихся в контакте с обрабатываемой заготовкой  $z'$ , т. е.  $b = Bz'$ . При точении, как известно,

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}. \quad (42)$$

Очевидно, что

$$z' = z \cdot \frac{\varphi}{2\pi}, \quad (43)$$

где  $\varphi$  — угол контакта фрезы с обрабатываемой заготовкой, выраженный в радианах.

Справедлива формула

$$\cos \varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2}. \quad (44)$$

Из формул (39) и (44) следует, что

$$\varphi = 2 \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (45)$$

Подставляя значение  $\varphi'$ , вычисленное по формуле (45), в формулу (43), получим

$$z' = \frac{z}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (46)$$

Умножая обе части последнего равенства на ширину фрезерования, получим выражение для ширины среза  $b$  при цилиндрическом фрезеровании, т. е.

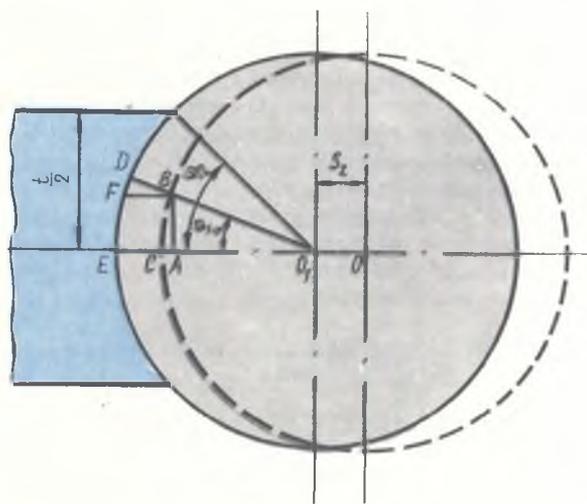
$$b = Bz' = \frac{Bz}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (47)$$

**Торцовое фрезерование.** Изложенное ниже относится к так называемому симметричному фрезерованию (рис. 187), но может быть принято и для несимметричного фрезерования.

Получим выражение средней толщины среза. Непосредственно из рис. 187 следует, что  $OO_1 = EC = FB = s_z$ . Отрезок  $BD$  на радиусе, соответствующем углу  $\frac{\psi}{4}$ , примем за среднюю толщину среза при ширине фрезерования  $t$ , т. е.  $BD = a$ . Принимая приближенно треугольник  $FDB$  за прямоугольный, получим:

$$BD = FB \cos \frac{\psi}{4}, \quad \text{т. е.}$$

$$a = s_z \cdot \cos \frac{\psi}{4}. \quad (48)$$



**187** Элементы срезаемого слоя при торцовом фрезеровании

Подсчеты величины средней толщины среза по формуле (48) показывают, что при отношении ширины фрезерования к диаметру фрезы  $t/D$  от 0,1 до 0,6 можно считать, что толщина среза практически не изменяется, так как для этих отношений  $\cos \frac{\psi}{4} \approx 1$  и, следовательно,

$$a \approx s_z; \quad \text{при } \frac{t}{D} = 0,8.$$

$$a \approx 0,9s_z; \quad \text{при } \frac{t}{D} = 0,9 \quad a = 0,85s_z.$$

Приняв приближенно и треугольник  $ABC$  за прямоугольный, можно написать

$$\cos \frac{\psi}{4} = \frac{AB}{BC}.$$

Так как

$$AB \approx \frac{t}{4}, \quad BC = \frac{D}{2} \cdot \frac{\psi}{4},$$

то

$$\cos \frac{\psi}{4} \approx \frac{2t}{D \cdot \psi},$$

тогда формула (48) примет вид

$$a = s_z \cdot \frac{2t}{D\psi}. \quad (49)$$

Так как  $\sin \frac{\psi}{2} = \frac{t}{D}$ , то величину  $\frac{\psi}{2}$  можно представить в виде

$$\frac{\psi}{2} = \left( \frac{t}{D} \right)^{k\psi}, \quad (50)$$

где  $k_\psi$  — коэффициент, зависящий от величины отношения.

Из формул (49) и (50) получим окончательное выражение для средней толщины среза:

$$a = s_z \cdot \left( \frac{t}{D} \right)^{1-k\psi}. \quad (51)$$

На рис. 188 приведена зависимость средней толщины среза от подачи на зуб для различных отношений  $\frac{t}{D}$ .

Ширину среза  $b = Bz'$  определяют так же, как и при цилиндрическом фрезеровании. Так как

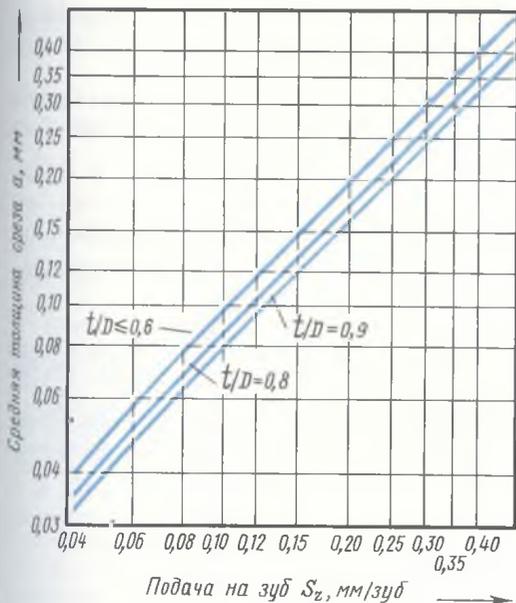
$$z' = z \frac{\psi}{2\pi} = \frac{z}{\pi} \cdot \frac{\psi}{2}, \quad (52)$$

то

$$b = Bz' = \frac{Bz}{\pi} \cdot \frac{\psi}{2}. \quad (53)$$

По формуле (53) построен график (рис. 189) зависимости от  $Bz'$  для различных отношений  $\frac{t}{D}$ .

Подставляя в формулу (53) вместо  $\frac{\psi}{2}$  его



**188** Зависимость толщины среза от подачи на зуб

значение, вычисленное по формуле (50), получим

$$Bz' = \frac{Bz}{\pi} \cdot \frac{t}{D}^{k\psi} \quad (54)$$

На основе приведенного анализа можно считать установленным, что элементы срезаемого слоя ( $a$  и  $Bz'$ ) при фрезеровании определяются так же, как и при точении.

Параметром, аналогичным глубине фрезерования  $t$  при цилиндрическом фрезеровании, при торцовом фрезеровании является ширина фрезерования, т. е. она наряду с другими параметрами оказывает влияние на толщину среза.

### § 59. Поперечное сечение и объем срезаемого слоя

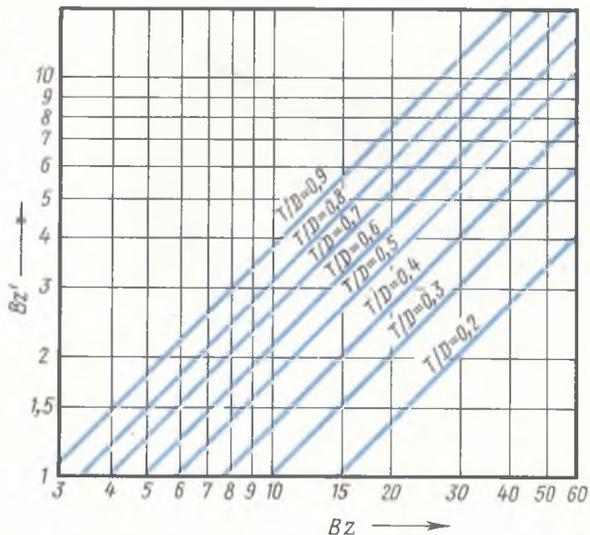
Площадь поперечного сечения среза при фрезеровании, как и при точении, равна произведению средней толщины среза на ширину, т. е.

$$F = a \cdot Bz' \quad (55)$$

Подставляя вместо  $a$  его выражение по формуле (41), а вместо  $Bz'$  — его значение по формуле (47), получим для случая цилиндрического фрезерования

$$F = aBz' = s_z \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \cdot \frac{Bz}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}} = \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z}{\pi D} \quad (56)$$

Подставив значения  $a$  и  $Bz'$ , по формулам (51) и (54) получим формулу площади



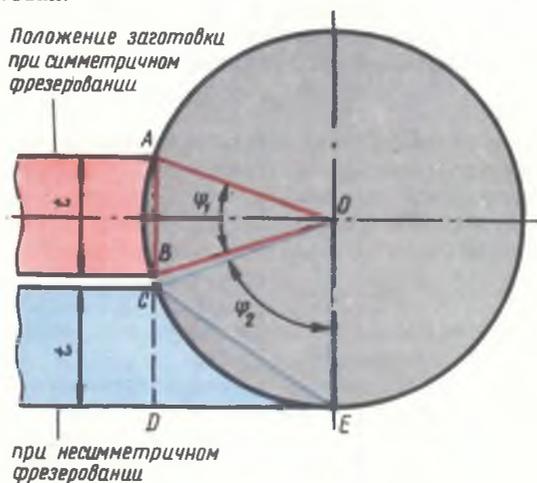
**189** Зависимость ширины среза  $Bz'$  от  $\frac{t}{D}$

поперечного сечения для торцового фрезерования:

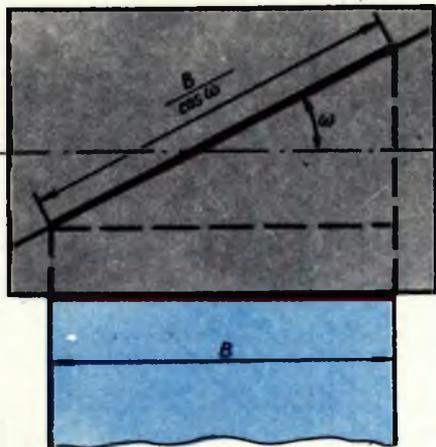
$$F = s_z \left(\frac{t}{D}\right)^{1-k\psi} \cdot \frac{Bz}{\pi} \left(\frac{t}{D}\right)^{k\psi} = \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z}{\pi D}$$

Эта формула справедлива для всех видов фрезерования.

В качестве примера рассмотрим случай так называемого несимметричного фрезерования (рис. 190), когда ось фрезы смещена относительно оси симметрии обрабатываемой заготовки.



**190** Сопоставление схем симметричного и несимметричного торцового фрезерования



191 Длина контакта зуба цилиндрической фрезы с винтовыми канавками

Нетрудно убедиться, что при симметричном фрезеровании (для одних и тех же значений ширины фрезерования  $t$  и диаметра фрезы  $D$ ) угол контакта фрезы с обрабатываемой заготовкой будет меньше, чем при несимметричном фрезеровании. В самом деле, при симметричном фрезеровании угол контакта  $\psi_1$  опирается на хорду  $AB = CD = t$ , а при несимметричном угол контакта  $\psi_2$  опирается на хорду  $CE$ .

Треугольник  $CDE$  — прямоугольный. Гипотенуза  $CE$  всегда больше катета  $CD = AB$ . Поэтому угол  $\psi_1$ , опирающийся на хорду  $AB$ , будет во столько раз меньше угла  $\psi_2$ , опирающегося на хорду  $CE$ , во сколько раз  $AB$  меньше  $CE$ , т. е.  $\frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{AB}{CE}$ . Это означает, что число зубьев, находящихся в контакте, а следовательно, и ширина среза при несимметричном фрезеровании всегда больше в указанном соотношении.

Но площадь поперечного сечения среза в соответствии с формулой (56) будет неизменной. Следовательно, толщина среза в том же соотношении  $\frac{CE}{AB}$  будет больше при симметричном фрезеровании. Таким образом, по мере смещения оси фрезы относительно заготовки во сколько раз увеличивается ширина среза, во столько же раз уменьшается толщина среза. Причем это соотношение изменяется тем больше, чем меньше отношение  $\frac{t}{D}$ , т. е. при фрезеровании узких плоскостей эффект от смещения будет больше.

Сравним цилиндрическое фрезерование прямозубой фрезой и фрезой с винтовыми канавками по величинам средней ширины и толщины среза при прочих одинаковых параметрах фрезерования.

Обозначим через  $b_1$  и  $a_1$  соответственно ширину и толщину среза для прямозубой фре-

зы и  $b_2$  и  $a_2$  — для фрезы с винтовыми канавками. Для прямозубой фрезы, как известно, ширина среза  $b_1 = Bz'$ .

Длина контакта одного зуба фрезы с винтовыми канавками (рис. 191) будет равна длине зуба, участвующего в резании, т. е.  $\frac{B}{\cos \omega}$ , где  $B$  — ширина фрезерования,  $\omega$  — угол наклона винтовой канавки. Следовательно, ширина среза

$$b_2 = \frac{Bz'}{\cos \omega},$$

т. е. соответственно больше, чем  $b_1$  (так как  $\cos \omega < 1$ ).

Так как все параметры фрезерования одинаковы в обоих случаях, то и площадь поперечного сечения среза будет одинаковой, т. е.

$$a_1 b_1 = a_2 b_2.$$

Из последней формулы следует

$$a_2 = a_1 \cdot \frac{b_1}{b_2}.$$

Подставляя вместо  $b_1$  и  $b_2$  соответственно их значения, получим

$$a_2 = a_1 \cos \omega.$$

Таким образом, при прочих равных условиях ширина среза при цилиндрическом фрезеровании фрезами с винтовыми канавками во столько раз больше, во сколько раз меньше толщина среза по сравнению с фрезерованием прямозубыми фрезами. Как будет установлено далее (см. § 60), такое соотношение выгодно отличает фрезерование фрезами с винтовыми канавками.

Объем срезаемого слоя за одну минуту работы при точении может быть вычислен по формуле

$$Q = Fv, \quad (57)$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения среза,  $F = ab = tS$  мм<sup>2</sup>.

Так как скорость резания выражается в метрах в минуту, то

$$Q = 1000 \cdot F \cdot v, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

или

$$Q = 1000 \cdot tS \cdot v \text{ мм}^3/\text{мин}.$$

Воспользуемся той же формулой (57) для подсчета объема срезаемого слоя в минуту при фрезеровании.

Подставляя в формулу (57) значение площади поперечного сечения при фрезеровании из формулы (56), получим

$$Q = 1000 \frac{Bts_z \cdot z}{\pi D} \cdot v.$$

Подставляя вместо  $v$  его значение по форму-

ле (1), получим

$$Q = B t s_z \cdot z \cdot n.$$

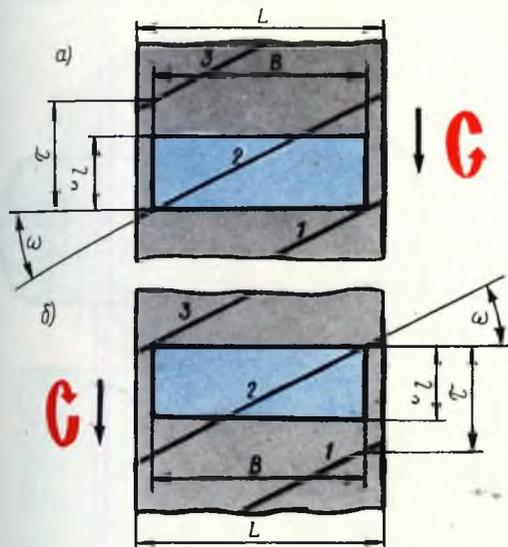
Но по формуле (4)  $s_z \cdot z \cdot n = s_m$ ,  
поэтому

$$Q = B t \cdot s_m \text{ мм}^3/\text{мин.}$$

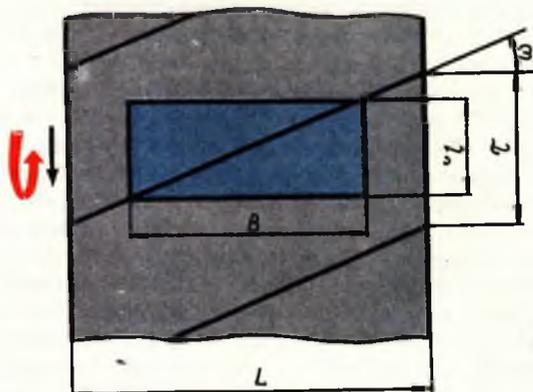
### § 60. Равномерность фрезерования

В процессе фрезерования прямозубой фрезой зуб фрезы входит в контакт с обрабатываемой заготовкой и выходит из него сразу по всей ширине фрезерования. При некоторых условиях может оказаться, что в работе будет находиться только один зуб прямозубой фрезы, т. е. когда впереди идущий зуб уже вышел из контакта с обрабатываемой заготовкой, а следующий за ним зуб не вошел в контакт. В этом случае площадь поперечного среза будет изменяться от нулевого значения до максимального с последующим падением до нуля, или от максимального значения до нуля. Так же неравномерно будет изменяться сила резания, а следовательно, будет неравномерная периодическая нагрузка на станок, инструмент и обрабатываемую заготовку. Указанное явление носит название неравномерности фрезерования. Чем больше число одновременно работающих зубьев прямозубой фрезы, тем больше равномерность фрезерования. Большую равномерность фрезерования можно обеспечить при работе с фрезами с винтовыми канавками.

Однако и при фрезеровании цилиндрическими фрезами с винтовыми канавками можно достичь разной степени равномерности фрезерования. Существуют условия, при которых



192 Условия равномерного и неравномерного фрезерования



193 Условия неравномерного фрезерования

можно обеспечить постоянство сечения среза, а следовательно, и постоянную силу резания.

Площадь поперечного сечения будет постоянной только тогда, когда ширина фрезерования  $B$ , угол наклона винтовой канавки фрезы  $\omega$  и окружной шаг фрезы связаны соотношением (рис. 192).

$$B = \tau \cdot \text{ctg } \omega.$$

Так как  $\tau = \frac{\pi D}{z}$ , то окончательное условие равномерности фрезерования запишется так:

$$B = \frac{\pi D}{z} \text{ctg } \omega. \quad (58)$$

Это условие можно сформулировать так: для обеспечения равномерного фрезерования ширина фрезерования должна равняться осевому шагу фрезы. В справедливости этого условия можно убедиться из рассмотрения рис. 192, на котором показаны положения зубьев цилиндрической фрезы относительно поверхности резания (см. рис. 13) (заштрихованная полоса, соответствующая дуге контакта зуба фрезы с обрабатываемой заготовкой, —  $l$  при условии выполнения соотношений по формуле (58).

Для данного диаметра фрезы длина дуги контакта зависит от глубины фрезерования. Проследим за изменением длины контакта зубьев фрезы с обрабатываемой заготовкой и время поворота фрезы на один зуб при соответственном перемещении заготовки на величину подачи на зуб  $s_z$ .

В момент выхода зуба 1 из контакта с обрабатываемой заготовкой (рис. 192, а) следующий зуб фрезы 2 имеет максимальную длину контакта. По мере дальнейшего поворота фрезы длина контакта его остается постоянной до положения, показанного на рис. 192, б. В этот период в контакте будет находиться только один зуб фрезы 2 и снимать стружку постоянного сечения. Так как сечение среза для этого периода будет постоянным, то будет постоянной и сила резания.

В момент, когда длина контакта зуба 2 начинает уменьшаться, вступает в контакт следующий зуб фрезы — 3 (см. рис. 192, б).

Легко видеть, что при дальнейшем повороте фрезы и перемещении заготовки длина контакта зуба 3 увеличивается на такую величину, на какую уменьшается длина контакта двух одновременно режущих зубьев (2 и 3), затем остается постоянной и равной длине контакта в предыдущем периоде (см. рис. 192, а). Это означает, что будет то же сечение среза и та же сила резания и в этот период. Увеличение длины контакта зуба 3 и соответственное уменьшение длины контакта зуба 2 будет продолжаться до момента его выхода из контакта с обрабатываемой заготовкой. Зуб 3 в этот период будет иметь максимальную длину контакта — до момента входа в контакт следующего зуба фрезы и т. д. Таким образом, при указанных ранее условиях фрезерование будет производиться с постоянным сечением среза, а следовательно, и с постоянной силой резания, т. е. будет осуществлено так называемое равномерное фрезерование.

Чем больше будет несоответствие между осевым шагом и шириной фрезерования при фрезеровании цилиндрическими фрезами с винтовыми канавками, тем больше будет неравномерность фрезерования. Так, на рис. 193 показан случай, когда ширина  $B$  фрезерования значительно меньше осевого шага  $t$  фрезы, т. е. когда размер фрезы значительно больше ширины фрезерования.

Как видно из рисунка, сечение среза в этом случае будет изменяться от нуля до максимального значения (изображенного на рис. 193) и до нуля. Также неравномерно будут изменяться и составляющие силы резания.

При торцовом фрезеровании всегда имеет место неравномерность фрезерования. Так, при фрезеровании однозубой торцовой фрезой окружная сила резания будет изменяться в соответствии с законом изменения толщины среза для данного отношения ширины фрезерования  $t$  к диаметру фрезы  $D$ . При  $\frac{t}{D} = 1$  сила резания будет увеличиваться от нуля до максимального значения и падать снова до нуля.

При  $\frac{t}{D} < 1$  сила резания будет изменяться, начиная с какого-то значения, до максимального значения с последующим падением до начального значения (при симметричном фрезеровании). При фрезеровании многозубой фрезой будет большая равномерность фрезерования, так как в этом случае в работе участвует несколько зубьев фрезы, следовательно, будет меньше периодически повторяющихся при каждом обороте фрезы колебаний окружной силы резания.

Чем больше число одновременно работающих зубьев торцовой фрезы и чем больше от-

ношение ширины фрезерования к диаметру фрезы, тем больше будет равномерность торцового фрезерования.

## § 61. Составляющие силы резания и мощность при фрезеровании

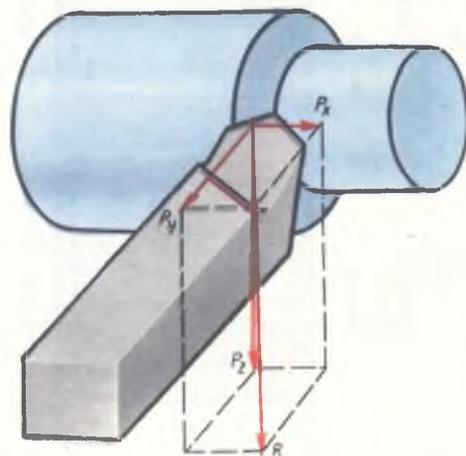
Для отделения стружки необходимо приложить силу. Отделяющаяся стружка при точении будет воздействовать на резец в виде равнодействующей силы  $R$  (рис. 194). Эту силу можно разложить на три составляющие: окружную  $P_z$ , радиальную  $P_y$  и осевую  $P_x$ .

Окружная (тангенциальная) составляющая сила резания  $P_z$  (ее иногда называют тангенциальной, окружной или касательной составляющей) направлена вертикально вниз. Эта составляющая является наиболее важной.

Она влияет на мощность, необходимую для осуществления процесса резания. Величина силы  $P_z$  зависит от ряда факторов: ширины и толщины среза (глубины резания и подачи), свойств обрабатываемого материала, износа инструмента и др.

Радиальная составляющая  $P_y$  направлена горизонтально, перпендикулярно оси вращения обрабатываемой заготовки. Она отжимает резец от обрабатываемой заготовки. Эта сила оказывает большое влияние на точность обработки и на вибрации, возникающие в процессе резания.

Осевая составляющая  $P_x$  действует параллельно оси вращения обрабатываемой заготовки в направлении, противоположном направлению подачи, и определяет силу, необходимую для осуществления подачи суппорта с закрепленным в нем резцом.



194 Составляющие силы резания при точении

Для прямозубой цилиндрической фрезы равнодействующую силу резания  $R$  всех одновременно режущих зубьев фрезы можно разложить на следующие составляющие: окружную (тангенциальную) составляющую  $P_z$ , направленную по касательной к траектории движения точки на лезвии фрезы (перпендикулярно радиусу), и радиальную составляющую  $P_y$ , направленную по радиусу (рис. 195).

Равнодействующую силу  $R$  можно разложить по правилу параллелограмма на две взаимно перпендикулярные составляющие: горизонтальную  $P_h$  и вертикальную  $P_v$ .

Окружная составляющая силы резания  $P_z$ , как и при точении, оказывает влияние на эффективную мощность резания. С учетом этой силы производят расчет звеньев механизма главного движения на прочность. При цилиндрическом фрезеровании радиальная составляющая силы резания отжимает фрезу от обрабатываемой заготовки, изгибает оправку и оказывает давление на подшипники шпинделя станка. Горизонтальная составляющая силы резания  $P_h$  воздействует на механизм подачи стола фрезерного станка. С учетом максимальной величины этой силы рассчитывают звенья механизма подачи и элементы крепления заготовки в приспособлении. Вертикальная составляющая силы резания  $P_v$  при фрезеровании против подачи стремится приподнять стол фрезерного станка над его направляющими (рис. 195, а), а при фрезеровании на подаче — прижать стол к направляющим (рис. 195, б). При фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями действует еще осевая составляющая силы резания  $P_x$ . Она стремится сдвинуть фрезу вдоль оправки. Резание праворежущими фрезами предпочтительнее, так как в этом случае осевая составляющая

силы резания направлена в сторону заднего конца фрезерного шпинделя, т. е. в сторону жесткой опоры.

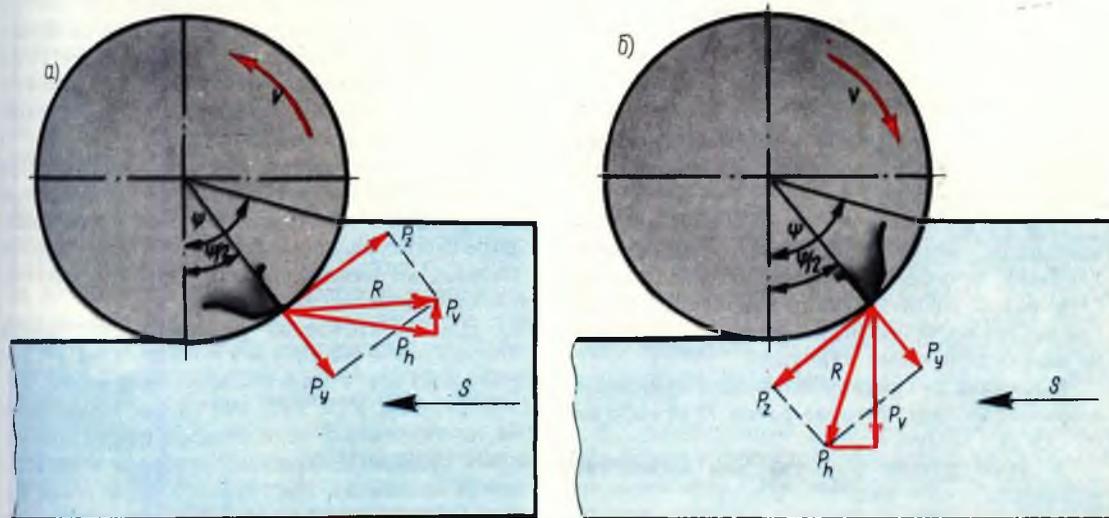
Составляющие силы резания измеряют с помощью динамометра. Существуют приборы для измерения только какой-либо одной составляющей (например, окружной) или двух-трех составляющих силы резания одновременно.

Иногда применяют динамометры месдозы. Прибор должен быть обязательно протарирован, т. е. снимаются показания прибора при воздействии определенной приложенной силы. По этим данным строится тарировочный график. Желательно, чтобы прибор тарировался до проведения экспериментов и после их окончания. Оба тарировочных графика должны совпадать между собой.

Эксперименты по определению составляющих сил резания проводятся по заранее разработанной методике в определенной последовательности, при строгом соблюдении постоянства всех факторов, кроме исследуемого.

Допустим, требуется определить влияние ширины фрезерования на окружную силу резания. В таком случае надо произвести измерение силы при различной ширине фрезерования. Все прочие факторы (геометрические параметры фрезы, марка обрабатываемого инструментального материала режущей части фрезы, условия охлаждения, станок, приспособление, величина износа зубьев фрезы и т. д.), а также параметры режимов резания (скорость резания, подача на зуб, глубина фрезерования) должны быть неизменными.

После экспериментов обрабатывают результаты. Обработка сводится к построению соответствующих графиков, получению математических зависимостей и т. д.



195 Разложение равнодействующей силы резания на составляющие при цилиндрическом фрезеровании

Тангенциальная (окружная) составляющая сила резания  $P_z$  при точении выражается следующей формулой:

$$P_z = c_p b a^{0.75}, \quad (59)$$

где  $c_p$  — постоянный коэффициент, зависящий от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Из формулы (59) следует, что ширина среза влияет на  $P_z$  в большей степени, чем толщина среза.

Если в формулу (59) подставить вместо  $a$  и  $b$  их выражения по формулам (см. стр. 148), то получим

$$P_z = \frac{c_p}{(\sin \varphi)^{0.25}} \cdot t s^{0.75} = C t s^{0.75}, \quad (60)$$

где

$$C = \frac{c_p}{(\sin \varphi)^{0.25}}.$$

Таким образом, легко перейти от выражения тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  через физические параметры процесса резания (ширину среза и толщину среза) к выражению через технологические параметры процесса (глубину резания и подачу).

Формула окружной составляющей силы резания  $P_z$  при фрезеровании может быть выражена также через ширину и толщину среза, а именно:

$$P_z = c_p (Bz') a^{0.75}. \quad (61)$$

Если в формулу (61) подставить вместо  $a$  и  $Bz'$  их выражения по формулам (51) и (54) — для цилиндрического фрезерования и по формулам (48) и (53) — для торцового фрезерования, то получим формулу для  $P_z$

$$P_z = c_p B z s_z^{0.75} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^q,$$

где  $q$  — показатель степени при  $\frac{t}{D}$ .

Формулу для силы  $P_z$  можно найти в справочниках по режимам фрезерования и в справочниках технолога.

Эффективная мощность  $N_e$  — мощность, необходимая для осуществления процесса резания (без учета к. п. д. станка). Она равна произведению окружной (тангенциальной) составляющей силы резания  $P_z$  (кГ) на скорость резания  $v$  (м/мин).

В технике за единицу мощности принимают лошадиную силу, которая равна 75 кГ·м/с или 60·75 кГ·м/мин.

В этом случае формула для вычисления мощности имеет вид

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{75 \cdot 60} \text{ л. с.} \quad (62)$$

Одна лошадиная сила (л. с.) равна 0,736 киловатта (кВт), или 1 кВт равен 1,36 л. с.

Следовательно, эффективная мощность резания, выраженная в киловаттах, будет

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1,36 \cdot 75 \cdot 60} = \frac{P_z \cdot v}{6120} \text{ кВт.}$$

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

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2} \text{ кГ} \cdot \text{мм},$$

где  $D$  — диаметр фрезы, мм.

Удельное давление  $p$  представляет собой отношение силы резания  $P_z$  к площади поперечного сечения среза  $F$ :

$$p = \frac{P_z}{F} \text{ кГ/мм}^2.$$

Если известно значение удельного давления, то можно приближенно определить окружную силу резания  $P_z$  по формуле

$$P_z = p \cdot F.$$

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

Так, например, для стали  $\sigma_b = 75$  кГ/мм<sup>2</sup> удельное давление  $p$  составляет 400—550 кГ/мм<sup>2</sup>, для чугуна  $p = 200$ —300 кГ/мм<sup>2</sup>.

## § 62. Материалы, применяемые для изготовления фрез

Материалы, применяемые для изготовления фрез, должны обладать следующими свойствами: высокой твердостью, повышающей твердость обрабатываемого материала, высокой износостойкостью и теплостойкостью, высокой механической прочностью.

Для изготовления режущих инструментов и, в частности, фрез применяют углеродистые легированные инструментальные стали, быстрорежущие инструментальные стали, твердые сплавы, минералокерамику, эльборы, синтетические и естественные алмазы.

Для изготовления режущего инструмента применяют инструментальные углеродистые стали следующих марок: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13 (буква У указывает на то, что сталь углеродистая, а цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента). Инструментальные стали повышенного качества, имеющие минимальное количество вредных примесей, отмечают буквой А: У10А, У8А и т. д.

Углеродистая инструментальная сталь обладает низкими режущими свойствами. Режущие инструменты, изготовленные из такой стали, позволяют вести обработку при температуре в зоне резания до 200—250°С и при скоростях резания в пределах 10—15 м/мин.

Легированная инструментальная сталь по химическому составу отличается от углеродистой инструментальной стали лишь наличием одного или нескольких легирующих элементов: хрома, вольфрама, молибдена, ванадия.

Чаще всего для изготовления прорезных, фасонных и концевых фрез малых диаметров применяют следующие марки стали: ХГ, ХВ5, 9ХС и ХВГ.

Легированная инструментальная сталь обладает более высокими режущими свойствами, чем углеродистая инструментальная сталь (температура в зоне резания 300—350°С, скорости резания 20—25 м/мин).

Быстрорежущая инструментальная сталь в отличие от углеродистой и легированной инструментальной стали обладает большим сопротивлением износу и большей теплостойкостью. Она обладает красностойкостью, т. е. не теряет своих свойств при температуре красного каления (550—600°С).

Быстрорежущие стали делятся на стали нормальной производительности (Р18, Р12, Р9, Р18М, Р9М, Р6М5, Р18Ф2) и стали повышенной производительности (Р18Ф2К5, Р9Ф2К5, Р9Ф2К10, Р9Ф5, Р14Ф4, Р6М3, Р10Ф5К5 и др.), легированные кобальтом (К), ванадием (Ф) и молибденом (М).

Из быстрорежущих сталей нормальной производительности лучшей является сталь Р18, которая легко обрабатывается шлифованием и малочувствительная к прижогам.

Стали повышенной производительности обладают более высокими красностойкостью и режущими свойствами. Быстрорежущая сталь нормальной производительности может работать при скоростях резания до 60 м/мин и выше, а повышенной производительности — до 100 м/мин и выше.

**Термическая обработка быстрорежущей стали.** Закалка применяется для повышения твердости и сопровождается уменьшением вязкости. Нагрев при закалке инструмента из стали 6РМ5 и 6РМ5К5 производят в соляных электродных ваннах, обычно применяемых для термической обработки инструмента из стандартных быстрорежущих сталей. Нагрев трехступенчатый: первый подогрев (400—500°С) в воздушной среде; второй подогрев (840—680 или 1050°С) в соляной электродной ванне. Окончательный нагрев — в соляной электродной ванне. Основной интервал температур закалки составляет 1200—1300°С. Быстрорежущую сталь после закалки обязательно подвер-

гают многократному отпуску. Для получения стабильных свойств отпуск инструмента из указанных выше сталей следует производить в жидкой среде в условиях регулирования температуры с точностью до  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Оптимальная температура отпуска для стали 6РМ5 — 560°, а для стали 6РМ5К5 — 570°.

Быстрорежущие стали повышенной производительности требуют тщательного соблюдения режимов термообработки. Отступление от рекомендуемых режимов (особенно при термообработке кобальтовых сталей) может привести к понижению твердости и сильному обезуглероживанию.

Твердые сплавы допускают работу со скоростями резания, превышающими в 5—10 раз скорости обработки быстрорежущими инструментальными сталями, и не теряют режущих свойств при температуре до 850°С и выше.

Металлокерамические твердые сплавы состоят из карбидов вольфрама, титана или тантала и кобальта, связывающего эти вещества. Различают вольфрамо-кобальтовые металлокерамические сплавы (ВК2, ВК3, ВК3М, ВК6, ВК6М, ВК6Н, ВК10, ВК10М, ВК15М, ВК8, ВК6-ОМ, ВК8-ОМ, ВК10-ОМ, ВК15-ОМ и другие и титаново-вольфрамо-кобальтовые Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, Т60К6 и др.). Цифры после буквы К указывают процентное содержание в сплаве кобальта, после буквы Т — карбидов титана; остальное составляют карбиды вольфрама. Например, сплав Т14К8 состоит из 14% карбида титана, 8% кобальта и 78% карбида вольфрама.

В настоящее время выпускают трехкарбидные твердые сплавы, состоящие из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта. Эти сплавы характеризуются высокой прочностью. Твердый сплав марки ТТ7К12 допускает работу с 1,5—2 раза большими подачами на зуб, чем сплав Т5К10. Твердые сплавы выпускаются в виде пластинок стандартных форм и размеров.

Вольфрамо-кобальтовые сплавы применяют для обработки хрупких материалов: чугуна, бронзы, закаленной стали, пластмасс, фарфора и т. п. Твердые сплавы титано-вольфрамовой группы предназначены главным образом для обработки сталей. Сплав ТТ20К9 специально предназначен для фрезерования стали (например, для фрезерования глубоких пазов); отличается повышенным сопротивлением тепловым и механическим циклическим нагрузкам. Наиболее прочными сплавами при черновой обработке стали являются сплавы марок ТТ7К12 и Т5К12Б.

С уменьшением размера зерен карбидов вольфрама износостойкость и твердость сплава увеличивается. Эту закономерность используют при создании сплавов различного назначения с требуемыми свойствами. Первыми мелкозернистыми сплавами были сплавы марок —

ВК3М и ВК6М. В последнее время разработаны твердые сплавы с особо мелкозернистой (ОМ) структурой — ВК6-ОМ, ВК10-ОМ и ВК15-ОМ. При выборке марок твердого сплава можно руководствоваться данными табл. 17.

Стойкость твердосплавного инструмента повышается при нанесении на его поверхность износостойких слоев (5—15 мкм) карбидов (титана, ниобия), боридов, нитридов и др.

Минералокерамические сплавы готовят на основе окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ) — корунда путем тонкого размола, прессования и спекания. Выпускают их, как и твердые сплавы, в виде пластинок стандартных форм и размеров.

В настоящее время промышленное применение имеют две марки минеральной керамики: ЦМ-332 и ВЗ. Минеральная керамика марки ВЗ обладает большей (в 1,5—2 раза) прочно-

стью по сравнению с керамикой марки ЦМ-332. В состав керамики марки ВЗ помимо окиси алюминия входят сложные карбиды тугоплавких металлов.

Минералокерамические пластинки обладают большей теплостойкостью и износостойкостью, чем некоторые твердые сплавы. Однако они имеют пониженную по сравнению с твердыми сплавами прочность и повышенную хрупкость. Минеральная керамика находит применение при чистовом и тонком фрезеровании торцовыми фрезами (головками) с неперетачиваемыми пластинками.

Эльбор (композит) — является поликристаллическим образованием на основе кубического нитрида бора, синтезированным при высоких давлениях. Этот инструментальный материал значительно превосходит минеральную керамику и твердые сплавы по термоустойчивой прочности, что способствует эффективной обработке закаленных сталей с применением СОЖ. Из эльбора изготавливают круги для шлифования и заточки режущего инструмента. Резцы из эльбора применяются для тонкого чистового точения закаленных деталей (HRC = 45—60), хромоникелевых чугунов высокой твердости.

В настоящее время в промышленности начали применяться торцовые фрезы, оснащенные эльбором. Опыт внедрения инструмента (в частности, торцовых фрез) показывает, что этот инструментальный материал является весьма перспективным при чистовой обработке закаленных сталей, чугунов, никеля, цветных сплавов на основе меди и алюминия, ряда стеклопластиков и др.

Чистовое фрезерование закаленной стали торцовыми фрезами, оснащенными эльбором, производят с глубиной резания в пределах 0,2—0,8 мм, при этом достигается шероховатость поверхности в пределах седьмого класса.

**Синтетические алмазы** (типа «карбонадо» и «баласс») выпускаются в виде порошков и кристаллов. Из синтетических алмазных порошков изготавливают алмазно-абразивные инструменты. Алмазные круги из синтетических алмазов успешно применяются при заточке и доводке твердосплавных режущих инструментов (в том числе и фрезы).

## § 63. Износ и стойкость фрез

В процессе резания на снятие стружки с подготовки затрачивается определенная работа на преодоление упругих и пластических деформаций, а также трения по передней и задней поверхностям инструмента.

Трение вызывает износ режущего инструмента и уменьшает периоды стойкости инструмента.

ТАБЛИЦА 17

Назначение марок твердого сплава

Марка твердого сплава	Область применения
Т30К4	Чистовое фрезерование углеродистых, легированных и нержавеющей сталей
Т15К6	Чистовое и получистовое фрезерование тех же материалов
Т14К8	Получистовое и черновое фрезерование тех же материалов
Т5К10, ТТ10К8Б	Черновое фрезерование тех же материалов
ТТ7К12, Т5К12Б	Черновое фрезерование углеродистых сталей и стального литья с большой глубиной резания и подачей на зуб
ВК10-ОМ	Черновое и чистовое фрезерование отливок из аустенитной нержавеющей стали
ВК3, ВК3М	Чистовое фрезерование чугуна, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов
ВК6М	Чистовое фрезерование высоко- и низколегированных чугунов, отбеленного чугуна, закаленной стали, жаропрочных сплавов
ВК6-ОМ	Фрезерование вольфрама и молибдена, закаленных сталей, алюминиевых сплавов
ВК6, ВК8	Черновое фрезерование чугуна, жаропрочных сплавов, меди, бронзы, цветных сплавов
ВК15-ОМ	Черновое фрезерование некоторых марок нержавеющей сталей, титановых и никелевых сплавов и особенно сплавов вольфрама и молибдена

Под стойкостью инструмента понимают период его работы (в минутах) между двумя последовательными переточками.

Каждый инструментальный материал, как указывалось выше, способен сохранять свои режущие свойства лишь до определенной температуры в зоне резания. При превышении этой температуры наступает мгновенная посадка режущего инструмента. В таких случаях иногда говорят, что инструмент «сгорел».

Образующееся в процессе резания тепло оказывает влияние не только на стойкость инструмента, но и на точность обработки заготовок. Дело в том, что при резании обрабатываемая заготовка нагревается, а при остывании размер детали, как известно, уменьшается.

Износ режущего инструмента происходит как по передней, так и по задней поверхности. При обработке хрупких металлов (чугун, бронза) износ инструмента происходит по задней поверхности (рис. 196, а) при этом образуется площадка износа с углом  $\alpha = 0$ . Главным образом по задней поверхности происходит износ твердосплавного инструмента.

При обработке вязких металлов наблюдается износ по передней поверхности в виде лунки на передней поверхности инструмента (рис. 196, б).

При работе изношенным инструментом увеличивается окружающая составляющая сила резания и расход мощности.

Износ режущего инструмента приводит к ухудшению обработанной поверхности.

При черновом фрезеровании торцовыми фрезами износ по задней грани допускается до 1,5–2 мм, при чистовом фрезеровании — до 1 мм.

При выборе режимов резания исходят из того, чтобы предельный износ происходил через определенный промежуток времени — период стойкости. Период стойкости фрез различных типов составляет 90–320 мин в зависимости от размера фрезы и ее назначения.

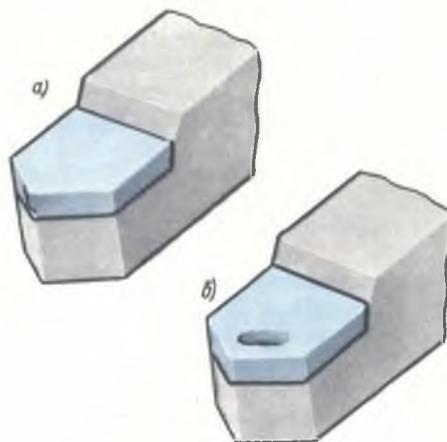
**Влияние различных факторов на стойкость.** Стойкость режущего инструмента  $T$  зависит от трех физических параметров: скорости резания  $v$ , толщины среза  $a$  и ширины среза  $b$ . Эта зависимость имеет вид

$$T = \frac{C_T}{v^{m_1} \cdot a^{x_1} \cdot b^{y_1}}, \quad (63)$$

где  $C_T$  — постоянный коэффициент, зависящий от физико-механических свойств обрабатываемого материала, материала режущей части инструмента и других условий обработки;

$m_1, x_1, y_1$  — показатели степеней  $v, a$  и  $b$ .

По многочисленным экспериментальным данным показатель степени  $m$  чаще всего равен 5. Если принять значения показателей сте-



196 Износ режущего инструмента

пней при  $a$  и  $b$  по экспериментальным данным автора, полученным при точении и фрезеровании стали 45 инструментом, оснащенным твердым сплавом Т15К6, а именно:  $x = 1,0$ ;  $y = 0,3$ , то формула (63) примет вид

$$T = \frac{C_T}{v^5 \cdot a \cdot b^{0,3}}$$

Следовательно, с увеличением скорости резания, толщины и ширины среза стойкость падает, однако все эти параметры по-разному влияют на стойкость инструмента. Наибольшее влияние на стойкость режущего инструмента оказывает скорость резания. Так, при увеличении скорости резания на 12–13% (при прочих постоянных условиях) стойкость режущего инструмента снижается в 2 раза. При увеличении скорости резания на 25% стойкость снижается в 4 раза, а при увеличении скорости резания в 2 раза стойкость снижается в 32 раза.

Стойкость режущего инструмента обратно пропорциональна толщине среза. Так, например, при увеличении подачи при точении или увеличении подачи на зуб при фрезеровании в два раза (следовательно, и толщины среза в два раза) стойкость снизится также в два раза.

Ширина среза оказывает еще меньшее влияние на стойкость инструмента. Это означает, что глубина резания при точении и торцовом фрезеровании или ширина фрезерования при цилиндрическом фрезеровании незначительно влияет на стойкость инструмента. Следует отметить, что формула (63) справедлива лишь в определенных пределах значений  $T$ ; с увеличением  $T$  показатель степени  $m$  уменьшается. При прочих равных условиях (скорость резания, толщина и ширина среза и др.) стойкость зуба фрезы ниже стойкости токарного резца в 7–10 раз (по данным автора). Это можно объяснить прерывистостью процесса фрезерования и переменным сечением среза при фрезеровании.

## § 64. Скорость резания

Формулу (63) для стойкости можно написать так:

$$T v^{m_1} a^{x_1} b^{y_1} = C_T,$$

откуда

$$v^{m_1} = \frac{C_T}{T a^{x_1} \cdot b^{y_1}}.$$

Если возвести обе части последнего равенства в степень  $\frac{1}{m_1}$ , то получим

$$v = \frac{C_T^{\frac{1}{m_1}}}{T^{\frac{1}{m_1}} a^{\frac{x_1}{m_1}} b^{\frac{y_1}{m_1}}}.$$

Последнее равенство можно записать так:

$$v = \frac{C_v}{T^m a^x b^y}, \quad (64)$$

где

$$C_v = C_T^{\frac{1}{m_1}}; \quad m = \frac{1}{m_1}; \quad x = \frac{x_1}{m_1};$$

$$y = \frac{y_1}{m_1}.$$

Формула (64) выражает зависимость скорости резания через физические параметры процесса резания.

Подставим в формуле (64) вместо  $a$  и  $b$  их выражения по формуле (41) и (47) для цилиндрического фрезерования и по формулам (51) и (47) для торцового фрезерования, получим формулу скорости резания при фрезеровании, выраженную через технологические параметры. При точении  $T$  означает время резания данного резца. Но при фрезеровании величина  $T$  (стойкость) — не время резания каждого зуба, как это имеет место при точении, а время работы всех зубьев фрезы, т. е. время резания всего инструмента  $T_\Phi$ :

$$v = \frac{C_v D^r}{T_\Phi^m \cdot s_z^x B^y z^y t^r}, \quad (65)$$

где  $m$ ,  $x$ ,  $y$  и  $r$  — показатели степеней.

Из формулы (65) видно, что скорость резания увеличивается с увеличением диаметра фрезы и уменьшается с увеличением стойкости, подачи на зуб, глубины фрезерования, ширины фрезерования и числа зубьев фрезы.

В нормативах по режимам фрезерования приведены таблицы режимов резания различными типами фрез, предназначенных для обработки различных материалов. Эти таблицы содержат по существу различные комбинации параметров фрезерования:  $B$ ,  $t$ ,  $s_z$ ,  $z$ ,  $v$ ,  $D$ ,  $T_\Phi$ , которые вызывают постоянный износ фрезы, принятый за критерий затупления.

Степень влияния отдельных параметров режима фрезерования на скорость определяется численным значением показателей степеней.

**Нормативы стойкости режущего инструмента.** Из формулы для объема снятого слоя следует, что с увеличением скорости резания увеличивается объем срезанного слоя, т. е. увеличивается и производительность фрезерования. Но беспредельное увеличение скорости резания (при соответственном уменьшении периода стойкости) экономически нецелесообразно. Оно приведет к уменьшению производительности труда.

Поэтому существуют оптимальные, экономически целесообразные нормативы стойкости режущего инструмента, которые определяют по формуле

$$T = (m_1 - 1) \left( t_{см} - \frac{S}{E} \right), \quad (66)$$

где  $m_1$  — показатель степени при  $v$  [см. формулу (63)];

$t_{см}$  — время на подналадку и смену затупившегося инструмента, мин (для фрез  $t_{см} = 4-5$  мин);

$S$  — затраты, связанные с эксплуатацией инструмента (стоимость одной переточки плюс стоимость инструмента, отнесенная к числу переточек до полного износа) за период его работы, коп.

$E$  — затраты, связанные с эксплуатацией станка плюс заработная плата станочника, коп./мин.

Из формулы (66) следует, что оптимальный период стойкости инструмента должен быть выше у дорогостоящего. При работе одним и тем же инструментом период стойкости зависит от стоимости станка: на более дорогих станках нормы стойкости должны быть меньше, чем на более дешевых станках.

Период стойкости для инструментальной обработки зависит от типа и размера режущего инструмента. При многоинструментальной обработке (работа набором фрез или многошпиндельное фрезерование) период стойкости  $T$ , по которому определяется скорость резания, равен

$$T = k_\Phi (T_1 + T_2 + \dots + T_n) \lambda, \quad (67)$$

где  $T_1$ ,  $T_2$ , ...,  $T_n$  — периоды стойкости первой, второй и других фрез;

$\lambda$  — коэффициент времени резания, инструмента, равный отношению длины резания  $l_{рез}$  к длине рабочего хода стола  $L_{p.x}$

$$\left( \lambda = \frac{l_{рез}}{L_{p.x}} \right);$$

$k_{\phi}$  — коэффициент, учитывающий количество инструмента в наладке.

Зависимость коэффициента  $k_{\phi}$  от количества фрез в наладке дана в табл. 18.

ТАБЛИЦА 18

Зависимость коэффициента  $K_{\phi}$  от количества фрез в наладке

Количество фрез	1	2	4	6 и более
Коэффициент $K_{\phi}$	1	0,85	0,7	0,5

### § 65. Выбор рациональных режимов фрезерования

Назначение рациональных режимов резания предусматривает выбор для заданных условий обработки (обрабатываемый материал, размеры заготовки, припуск на обработку и др.) типа и размера фрезы, материала и марки режущей части, условий охлаждения и др. После этого необходимо установить оптимальные значения следующих параметров режима резания:  $B$ ,  $t$ ,  $s_z$ ,  $v$ ,  $n$ ,  $N_e$ ,  $T_M$ .

Зависимость производительности фрезерования от объема снятого слоя металла выражена формулой

$$Q = Bt s_M = Bt s_z z n, \quad (68)$$

но

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

[см. формулу (2)].

Подставляя вместо  $n$  его выражение, получим

$$Q = 1000 \frac{Bt \cdot s_z z v}{\pi D}. \quad (69)$$

Следовательно, при постоянном диаметре фрезы на производительность фрезерования параметры  $B$ ,  $t$ ,  $s_z$  и  $v$  оказывают одинаковое влияние, так как каждый из них влияет в первой степени. Это означает, что при увеличении любого из них, например в два раза (при прочих неизменных параметрах), производительность также увеличивается в два раза.

Задача выбора рационального режима резания состоит в выборе наиболее выгодного для заданных условий режима резания. С учетом стойкости инструмента выгоднее прежде всего выбирать максимально допустимые значения тех параметров, которые в меньшей степени влияют на стойкость инструмента, т. е. в порядке, обратном их влиянию на стойкость фрезы. Так как скорость резания оказывает самое

большое влияние на стойкость, то ее выбирают исходя из принятой для данного инструмента нормы стойкости.

Выбор режимов резания при фрезеровании следует производить в следующей последовательности:

1. Определить максимально допустимую глубину резания исходя из припуска на обработку. Припуск на обработку желательно снять за один проход.

2. Найти максимально допустимую по условиям обработки подачу на зуб  $s_z$ . При черновом фрезеровании она ограничивается прочностью зуба фрезы, прочностью фрезы (концевые фрезы, фрезы малых диаметров и др.), недостаточной мощностью, жесткостью и виброустойчивостью станка и т. д. При чистовой обработке величина подачи должна отвечать требованиям точности и шероховатости обработанной поверхности.

3. При выбранной глубине резания и подаче на зуб (и заданной ширине фрезерования) определяют по таблицам нормативов режимов фрезерования скорость резания  $v$ .

4. Определяют эффективную мощность резания  $N_e$ . Выбранный режим может быть осуществлен, если  $N_e < N_{ст.}$ .

Если окажется, что  $N_e > N_{ст.}$ , то необходимо прежде всего снизить скорость резания пропорционально недостатку мощности по формуле

$$v_N = v_T \cdot \frac{N_e}{N_{ст.}}$$

где  $v_N$  — скорость резания по станку, м/мин;

$v_T$  — скорость резания по нормативам режима резания, м/мин;

$N_{ст.}$  — эффективная мощность станка, кВт;

$N_e$  — эффективная мощность резания, кВт.

5. В зависимости от принятой скорости резания  $v_T$  или  $v_N$  определяют ближайшую ступень чисел оборотов шпинделя станка из числа имеющихся на данном станке по формуле (2) или по графику (см. рис. 40).

6. Определяют минутную подачу по формуле или по графику (см. рис. 41) и выбирают ближайшую из имеющихся на данном станке.

7. Определяют машинное время.

### Машинное время

Время, в течение которого происходит процесс снятия стружки без непосредственного участия рабочего, называется машинным временем (например, на фрезерование плоскости заготовки с момента включения механической продольной подачи до момента ее выключения). Машинное время  $T_M$  при фрезеровании определяется по формуле, общей для всех видов обра-

ботки:

$$T_m = \frac{L}{s_m} \cdot i,$$

где  $L$  — длина перемещения инструмента или заготовки (с учетом врезания и перебега), мм;

$i$  — число переходов;

$s_m$  — минутная подача инструмента или заготовки, мм/мин.

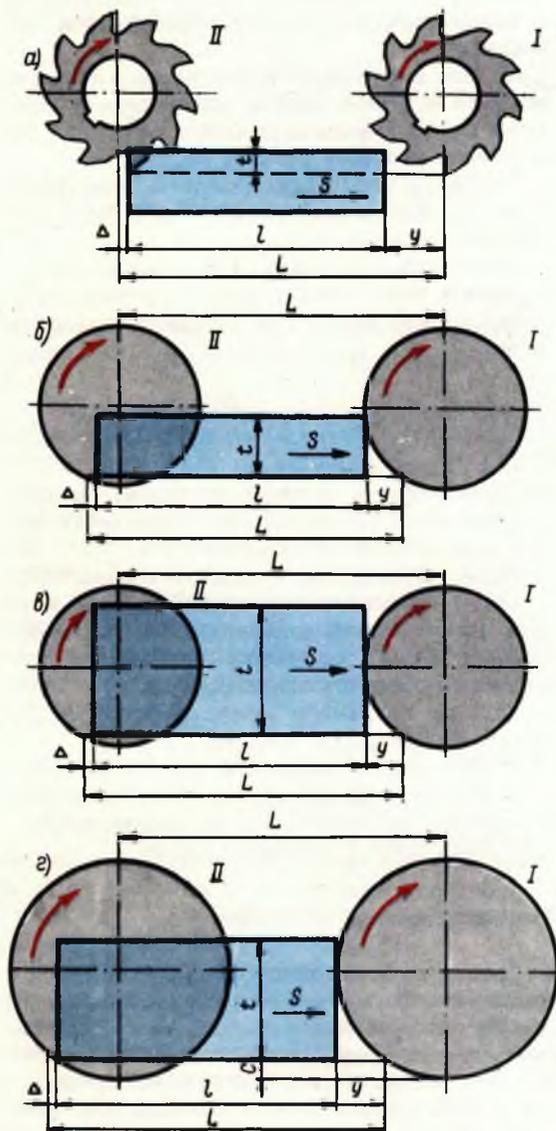
В свою очередь длина перемещения (рис. 197)

$$L = l + y + \Delta,$$

где  $l$  — длина обрабатываемой заготовки, мм;

$y$  — величина (путь) врезания, мм;

$\Delta$  — величина перебега (выхода) фрезы, мм.



197 Врезание и перебег

Величина врезания  $y$  определяется по формулам: для цилиндрических, дисковых, отрезных и фасонных фрез (рис. 197, а), а также для торцовых фрез при несимметричном фрезеровании (рис. 197, б):

$$y = \sqrt{t(D-t)},$$

для торцовых и концевых фрез при симметричном фрезеровании (рис. 197, в):

$$y = \frac{D - \sqrt{D^2 - t^2}}{2},$$

для торцовых фрез при несимметричном фрезеровании (рис. 197, г):

$$y = \frac{D}{2} - \sqrt{c(D-c)}.$$

Величину перебега  $\Delta$  выбирают в зависимости от диаметра фрезы в пределах 2—5 мм.

#### Использование производственных характеристик станков для выбора оптимальных режимов фрезерования

Повышение производительности при обработке на металлорежущих станках ограничивается двумя основными факторами: производственными возможностями станка и режущими свойствами инструмента. Если производственные возможности станка малы и не позволяют полностью использовать режущие свойства инструмента, то производительность такого станка будет составлять лишь некоторую часть от возможной производительности при максимальном использовании инструмента. В том случае, когда производственные возможности станка значительно превышают режущие свойства инструмента, на станке может быть достигнута максимально возможная при данном инструменте производительность, но при этом не будут полностью использованы возможности станка, т. е. мощность станка, максимально допустимые силы резания и т. д. Оптимальными с точки зрения производительности и экономичности использования станка и инструмента будут такие случаи, когда производственные мощности станка и режущие свойства инструмента будут совпадать или близки друг к другу.

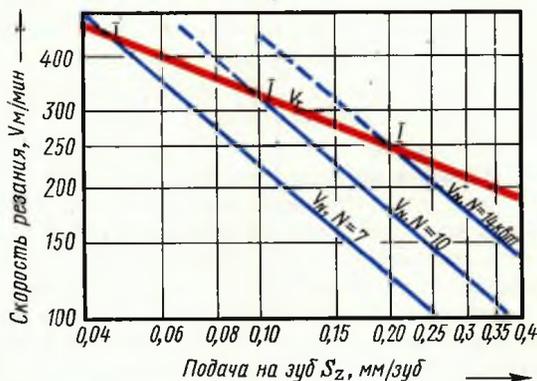
Это условие положено в основу так называемых производственных характеристик станков, которые были предложены и разработаны проф. А. И. Кашириным. Производственная характеристика станка представляет собой график зависимостей возможностей станка и инструмента. Производственные характеристики позволяют облегчить и упростить определение оптимальных режимов резания при обработке на данном станке.

Режущие свойства того или иного инструмента характеризуются режимами резания, которые допускаются в процессе обработки. Скорость резания с заданными условиями обработ-

ки можно определить по формуле. Практически же ее находят по таблице режимов резания, которые приведены в справочниках нормировщика или технолога. Однако следует отметить, что нормативы по режимам резания, как для фрезерования, так и для других видов обработки разрабатываются, исходя из режущих свойств инструмента для различных случаев обработки (тип и размер инструмента, вид и марка материала режущей части, обрабатываемый материал и др.) и не связаны со станками, на которых будет производиться обработка. Так как производственные возможности различных станков разные, то практически осуществимый оптимальный режим обработки на разных станках будет различным для одних и тех же заданных условий обработки. Производственные возможности станков зависят прежде всего от эффективной мощности станка, ряда чисел оборотов и подачи и др.

Поясним сказанное на примере. Пусть требуется профрезеровать плоскость на заготовке из стали 45 ( $\sigma_b = 75 \text{ кг/мм}^2$ ) торцевой фрезой с пластинками твердого сплава Т15К6. Диаметр фрезы  $D = 200 \text{ мм}$ ,  $z = 8$ . Отношение ширины фрезерования к диаметру  $\frac{f}{D} = 0,6$ . Глубина фрезерования  $B = 3 \text{ мм}$ . Требуется определить оптимальные режимы при обработке заготовки на трех станках соответственно с разной эффективной мощностью электродвигателя: 7, 10 и 14 кВт.

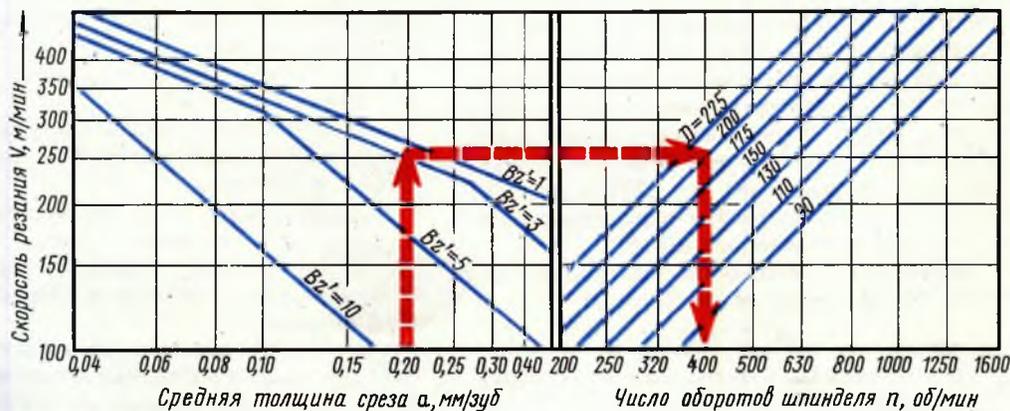
Из таблиц по режимам фрезерования для заданных условий находим, что при  $s = 0,1 \text{ мм/зуб}$   $v_T = 315 \text{ м/мин}$ ; при  $s = 0,18 \text{ мм/зуб}$   $v_T = 250 \text{ м/мин}$ ; при  $s = 0,3 \text{ мм/зуб}$   $v_T = 205 \text{ м/мин}$ . Полученные точки наносим на график (рис. 198) в осях  $v-s_z$  (на логарифмической сетке) и соединяем прямой линией. При этом тангенс угла наклона прямой  $v$  в логарифмической сетке равен показателю степени при  $s_z$  в формуле, по которой рассчитывались скорости резания, приведенные в нормативах по режимам фрезерования.



**198** Зависимость скорости резания от подачи при различных значениях эффективной мощности

В нашем случае он равен 0,4. Построенная таким путем прямая дает зависимость скорости резания  $v_T$  допускаемой режущими свойствами твердого сплава от подачи на зуб  $s_z$  для заданных условий обработки. Скорость резания  $v_T$ , как указывалось выше, не зависит от станка, на котором будет производиться обработка.

На том же графике показаны три линии скоростей резания, допускаемых соответственно по эффективной мощности электродвигателей станков с  $N_e = 7, 10$  и  $14$  кВт. Они построены по данным той же таблицы из нормативов по режимам резания с пересчетом по формуле (62). Тангенс угла наклона прямых  $v_N$  к оси абсцисс  $s_z$  должен быть равен показателю степени при  $s_z$  в формуле (60) для  $P_z$ . Так как углы наклона прямой  $v_T$  и прямых  $v_N$  всегда различны, то линия  $v_T$  должна пересекаться с линиями  $v_N$ . На графике эти точки пересечения обозначены цифрой 1. Таким образом, для каждого значения глубины резания  $B$  имеется только одна точка 1, соответствующая подаче на зуб  $s_z$ , при которой производственные возможности станка и инструмента одинаковы, т. е. когда имеет место полное использование режущих



**199** Производственная характеристика консольно-фрезерного станка

свойств фрезы и производственных возможностей станка. Этот режим и является оптимальным. Так, при  $N_e = 14$  кВт  $s_{z1} = 0,21$  мм/зуб, при  $N_e = 10$  кВт  $s_{z1} = 0,1$  мм/зуб и при  $N_e = 7$  кВт соответствующая точка  $s_{z1} = 0,05$  мм/зуб.

Вправо и влево от точки  $s_{z1}$  реальный предельный режим резания может осуществляться лишь по нижним ветвям пересекающихся прямых, характеризующих собой более низкий предел. Левее точки  $I$  (при  $s_z < s_{z1}$ ) предельная экономическая производительность может осуществляться лишь по линии экономической скорости резания  $v_T$ . При этом будет иметь место недогрузка электродвигателя станка.

Правее точки  $I$  (при  $s_z > s_{z1}$ ) картина обратная: инструмент позволяет работать с предельным режимом, большим чем это может обеспечить мощность электродвигателя станка. Поэтому в этой зоне подач на зуб максимальная производительность может осуществляться лишь по линии скорости резания, обусловленной полной нагрузкой электродвигателя станка  $v_N$ . В последнем случае режущие свойства будут использоваться неполностью.

Таким образом, по графику (рис. 198) легко определить скорость резания (при заданных условиях обработки) для любого значения подачи на зуб, при обработке на станке с данной эффективной мощностью. Так, например, при  $s_z = 0,15$  мм/зуб скорость резания составляет соответственно 265, 210 и 145 м/мин. При этом лишь при эффективной мощности электродвигателя станка  $N_e = 14$  кВт полностью используются режущие свойства твердосплавного инструмента. В других случаях скорость резания ограничивается мощностью электродвигателя станка. Производственная характеристика фрезерного станка строится в осях  $v$ — $a$  для различных значений  $Bz'$ .

Производственные характеристики фрезерных станков для случая фрезерования торцовыми фрезами были разработаны проф. А. И. Кашириным и автором. Характеристика станка 6P13 приведена на рис. 199. Построение линий скорости резания по стойкости  $v_T$  и линий скоростей резания по мощности  $v_N$  для различных значений  $Bz'$  осуществляется принципиально, так же как и в рассмотренном выше примере (см. рис. 198), по нормативам режимов резания. Только в этом случае надо с помощью вспомогательных графиков (см. рис. 188 и рис. 189) перейти от технологических параметров режима резания к физическим  $a$  и  $Bz'$ .

Эффективная мощность электродвигателя станка  $N_e$  определяется по формуле

$$N_e = N\eta,$$

где  $N_e$  — мощность электродвигателя станка, кВт;

$\eta$  — коэффициент полезного действия станка.

Асинхронные двигатели допускают кратковременную перегрузку. Поэтому для таких случаев можно принимать за эффективную мощность номинальную мощность электродвигателя без учета коэффициента полезного действия. В правой части диаграммы дана зависимость скорости резания от числа оборотов шпинделя для различных диаметров фрез по формуле (5). По лимитирующей скорости ( $v_T$  или  $v_N$ ) на этом поле определяется ближайшая ступень чисел оборотов станка.

**Пример.** Определить число оборотов шпинделя при фрезеровании заготовки из стали 45. На станке модели 6P13 с  $N = 10$  кВт. Инструмент — торцовая фреза диаметром  $D = 200$  мм с пластинками твердого сплава T15K6:

$$z = 8; \frac{f}{D} = 0,6; B = 2 \text{ мм}; s_z = 0,2 \text{ мм/зуб}.$$

При  $\frac{f}{D} \leq 0,6$ , как указывалось выше (см. рис. 188)  $a \approx s_z$ . Произведение  $Bz = 2 \cdot 8 = 16$ . Из графика (см. рис. 189) находим  $Bz'$ , соответствующее этому значению  $Bz$  (для  $\frac{f}{D} = 0,6$ ), т. е.  $Bz' = 3,3$ .

На рис. 199 стрелками показано решение примера. При принятых в примере режимах фрезерования полностью используются режущие свойства фрезы, а мощность станка используется также достаточно полно. По производственной характеристике можно легко определить режим фрезерования для любых других условий. Аналогичные производственные характеристики можно построить для других станков, любых обрабатываемых материалов.

## § 66. Классификация фрез

В настоящее время инструментальные заводы изготовляют свыше 75 типов нормализованных фрез, что составляет более 1300 типоразмеров, не считая фрез, изготавливаемых по спецзаказам. Фрезы классифицируют:

По технологическому признаку различают фрезы для обработки плоскостей; пазов и шлицев; фасонных поверхностей; зубчатых колес и резьб; тел вращения; для резки материала.

По конструктивному признаку фрезы различают:

по направлению зуба: а) с прямыми, б) с наклонными, в) с винтовыми и г) с разнонаправленными зубьями;

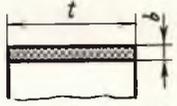
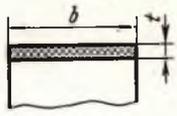
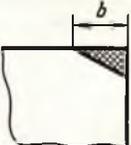
по конструкции зуба: а) с острозаточенными; б) с затылованными зубьями;

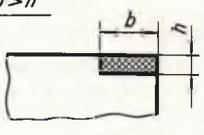
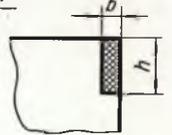
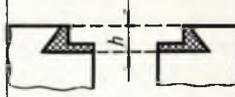
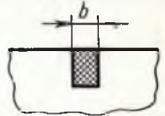
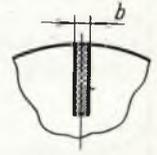
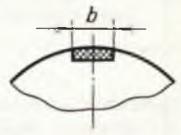
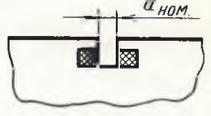
по внутреннему устройству: а) цельные, б) со вставными зубьями, в) сборные (разборные) головки;

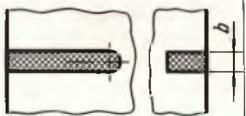
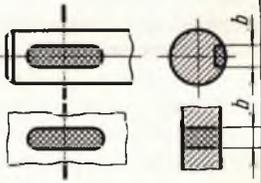
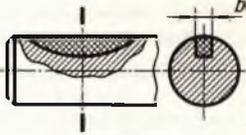
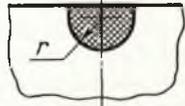
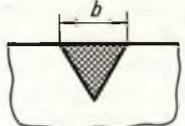
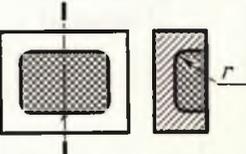
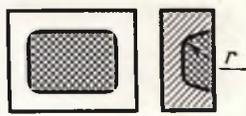
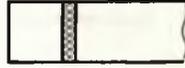
по способу крепления: а) фрезы с отверстием (насадные), б) концевые (хвостовые), с цилиндрическим или коническим хвостовиком.

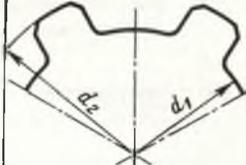
В табл. 19 приведена классификация фрез по технологическому назначению.

## Классификация фрез

п/п	Наименование фрез	Эскиз	Технологическое назначение	
			для образования (обработки)	эскиз
1	Торцовые проходные с углом $\varphi < 90^\circ$		Плоскостей (граней)	
2	Фрезы торцовые ступенчатые с неперетачиваемыми пластинками		То же	
3	Ротационные		»	
4	Цилиндрические		»	
5	Угловые (концевые) для снятия фасок		Плоских кромок (фасок)	
6	Одноугловые, дисковые		То же	
7	Четвертькруглые вогнутые, концевые		Закругленных кромок	
8	Четвертьугольные вогнутые, дисковые		То же	
9	Полукруглые вогнутые, дисковые			

п/п	Наименование фрез	Эскиз	Технологическое назначение	
			для образования (обработки)	эскиз
10	Торцовые упорные с углом $\varphi=90^\circ$		Прямоугольных уступов (ступеней)	$b > h$ 
11	Дисковые двусторонние		Прямоугольных уступов (ступеней)	$b < h$ 
12	Одноугловые (для пазов)		Пазов типа «ласточкин хвост»	
13	Трехсторонние дисковые		Прямоугольных пазов различного назначения	
14	Трехсторонние дисковые узкие		Прямоугольных пазов в роторах электродвигателей	
15	Шлицевые дисковые		Прорезей, шлиц	
16	Пазовые дисковые		Пазов под шпонки клиновые и призматические	
17	Для Т-образных пазов		Т-образных пазов	$a_{ном}$ 

п/п	Наименование фрез	Эскиз	Технологическое назначение	
			для образования (обработки)	эскиз
18	Концевые		Сквозных и открытых пазов	
19	Шпоночные, концевые		Закрытых пазов и окон	
20	Для пазов под сегментные шпонки		Пазов под сегментные шпонки	
21	Полукруглые выпуклые (дисковые)		Канавок радиусных	
22	Двуугольные симметричные (дисковые)		Канавок призматических	
23	Копирные с цилиндрической рабочей частью и закругленным торцом (сверло — фреза)		Впадин (штампов, прессформ, моделей) с отвесными стенками	
24	Копирные с конической рабочей частью и закругленным торцом (сверло — фреза)		Впадин (штампов, прессформ, моделей) с наклонными стенками	
25	Копирные с конической рабочей частью и закругленными углами		Предварительно имеющихся впадин, окон	
26	Отрезные		Отрезка, разрезка	

п/п	Наименование фрез	Эскиз	Технологическое назначение	
			для образования (обработки)	эскиз
27	Фасонные		Фасонных поверхностей незамкнутого контура	
28	Дисковые модульные		Зубчатых колес (прямозубых и косозубых) методом деления	
29	Пальцевые модульные		Зубчатых колес (прямозубых, косозубых и шевронных) методом деления	
30	Червячные		Цилиндрических прямозубых и косозубых зубчатых колес методом обкатки	
31	Гребенчатые: а) насадные		Коротких внутренних и наружных резьб	
	б) концевые		То же	
32	Шлицевые		Шлицев на валах	
33	Гравировальные		Гравировальные работы	

## § 67. Новые конструкции фрез

Конструкция фрезы оказывает большое влияние на работоспособность фрезы и эффективность ее применения.

Основным направлением в разработке новых конструкций твердосплавных фрез является применение сборных конструкций с неперетачиваемыми пластинками твердого сплава.

Механическое крепление пластинок дает возможность поворота их с целью обновления режущей кромки и позволяет использовать фрезы без затачивания. После полного износа пластинки она может быть быстро заменена новой. Резко сокращается время на восстановление фрез, так как в этих конструкциях оно сводится к замене износившихся пластинок или повороту на следующую грань, не прибегая к шлифовальным и заточным операциям. Завод-изготовитель каждую фрезу снабжает 8—10 комплектами запасных пластинок.

Применение неперетачиваемых пластинок имеет ряд преимуществ перед напаянными пластинками:

более высокая стойкость (на 30% и более) по сравнению с напаянными пластинками за счет исключения операций пайки и переточек, снижающих режущие свойства твердых сплавов; быстросменность;

возможность использования более износостойких марок твердого сплава, склонных к образованию трещин при пайке и заточке;

возможность нанесения на пластинку износостойких покрытий (карбида титана, нитриды титана и др.);

резкое увеличение процента возврата твердого сплава на переточку (с 15—20% для напаянного инструмента до 90% для многогранников);

сокращение вспомогательного времени на смену и наладку затупившегося инструмента; сокращение номенклатуры режущего инструмента и упрощение инструментального хозяйства;

возможность централизованного производства сменных элементов для различных видов режущего инструмента (резцы, фрезы, протяжки и др.);

возможность централизованной заточки на базе широкой механизации и автоматизации;

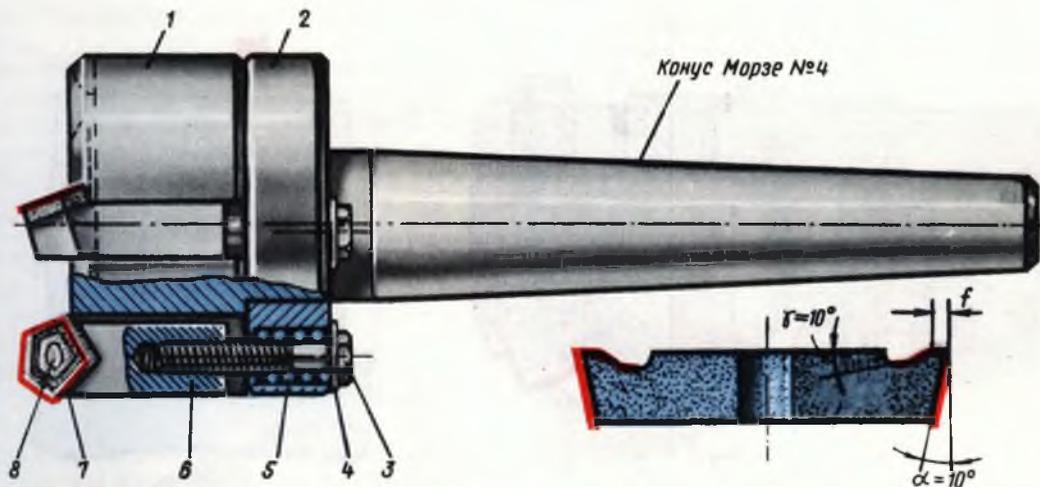
постоянство размерных и геометрических параметров режущего инструмента, что особенно важно для станков с числовым программным управлением и др.

Указанные преимущества определяют экономическую эффективность применения инструментов, оснащенных многогранными пластинками.

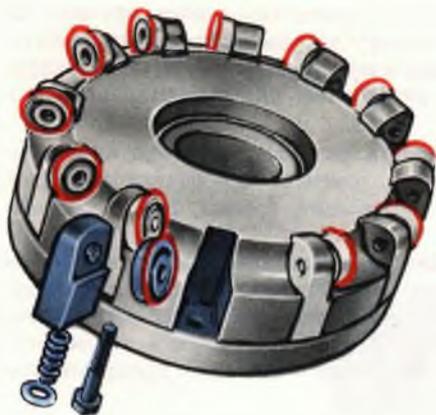
Применение специальных типов торцовых фрез с неперетачиваемыми пластинками вместо универсальных позволяет полнее использовать возможности станка и фрезы.

Торцовые фрезы общего назначения с неперетачиваемыми пластинками могут иметь пластинки следующих форм: круглые, шестигранные, пятигранные, четырехгранные и трехгранные. Причем для всех указанных форм пластинок предусматривается два исполнения: с нормальными зубьями и с мелкими зубьями.

На рис. 200 показана торцовая фреза конструкции ВНИИ с механическим креплением пятигранных неперетачиваемых пластинок. Фреза состоит из корпуса 1, вставных державок 6 с запрессованными в них штифтами 8, на которые могут быть свободно надеты сменные пластинки 7. Кольца 2 и винты 3 предназначены для крепления державок ножей и пластинок. Для более удобной сборки фрез предусмотрены шайбы 4 и пружины 5, которыми пластинки пред-



200 Торцовая фреза с механическим креплением пятигранных неперетачиваемых пластинок

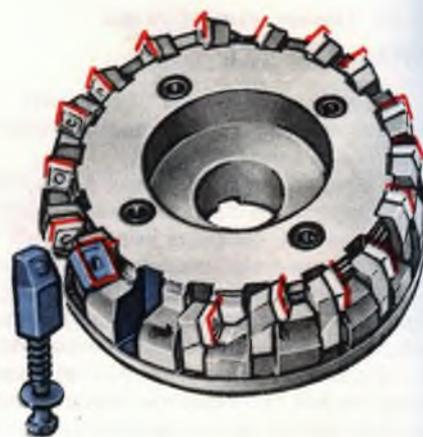


**201** Торцовая фреза с круглыми неперетачиваемыми пластинками

варительно поджимаются к базовым поверхностям корпуса.

На рис. 201 показана торцовая насадная фреза с круглыми неперетачиваемыми твердосплавными пластинками. Эти фрезы предназначены для получистовой и чистовой обработки плоских поверхностей, стальных и чугуновых заготовок. Фрезы можно применять и при черновой обработке для снятия припусков не более 5 мм. Биение торцовых режущих кромок пластинок 0,02—0,03 мм.

Круглые пластинки твердого сплава устанавливаются свободно на штифте-державки и прижимаются винтом к базовой сфере, выполненной в виде желоба. Завод «Фрезер» выпускает торцовые фрезы диаметрами 100, 125 и 160 мм с круглыми неперетачиваемыми пластинками твердого сплава марок ВК и ТК. Конструкция фрезы обеспечивает полное использование всего периметра режущей части пластинки. При правильной эксплуатации и износе пластинки

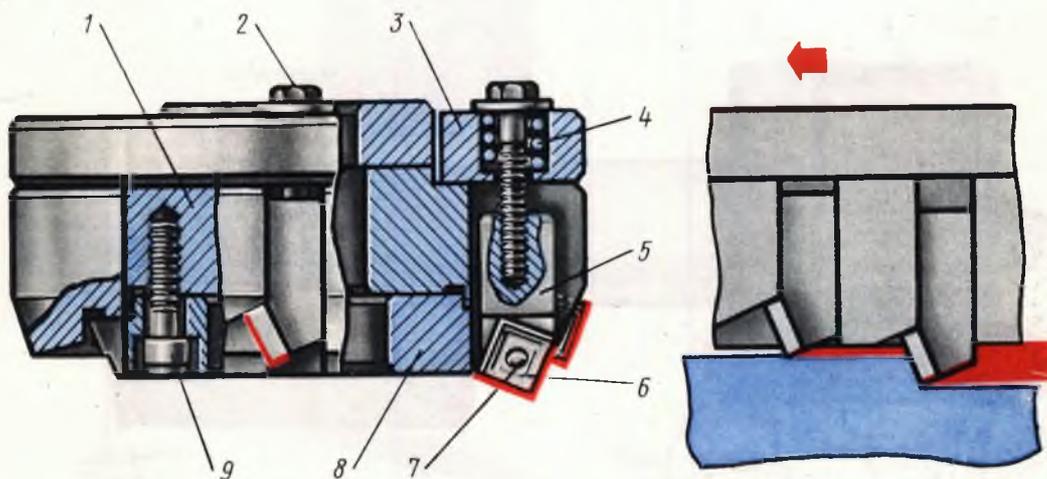


**202** Торцовая фреза с четырехгранными неперетачиваемыми пластинками

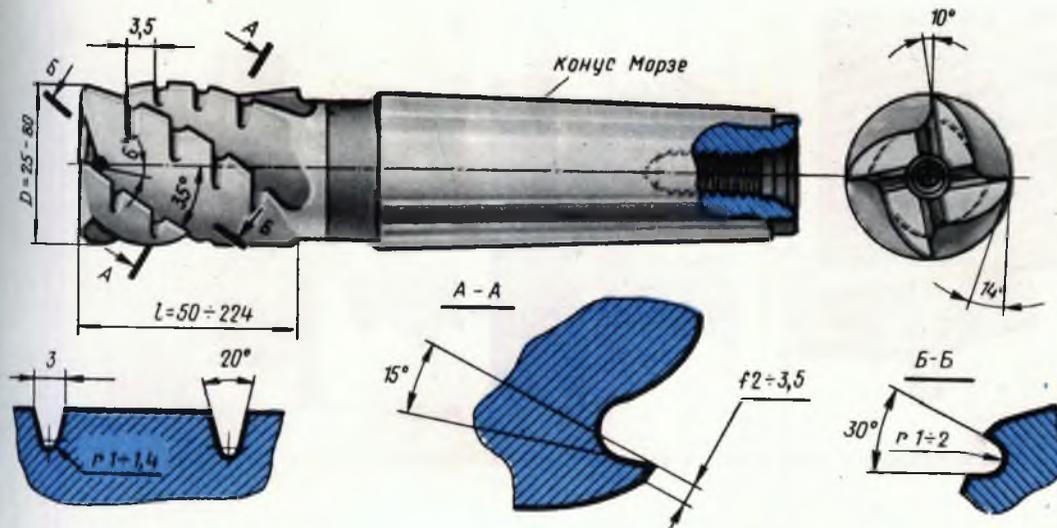
по задней грани не более 1,7 мм допускается применение режущей кромки пластинки со стороны второго торца. Общее возможное количество поворотов пластинок: 10—12 при чистовом и получистовом фрезеровании и 6—7 при черновом. После полного износа пластинки она заменяется новой. Возможность восстановления всех несущих элементов фрезы позволяет снабжать фрезы 8—10 комплектами запасных пластинок. Фрезы с четырехгранными неперетачиваемыми пластинками твердого сплава (рис. 202) изготавливаются диаметрами 100, 125, 166 и 200 мм.

**Ступенчатые фрезы** предназначены для обработки заготовок с большими припусками на обработку. Принцип работы этих фрез заключается в том, что зубья фрезы располагают на разной высоте и поэтому каждый зуб срезает лишь часть припуска.

Эти фрезы имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными, а именно:



**203** Торцовая ступенчатая фреза с многогранными пластинками



**204** Концевая фреза обдирочная с острозаточенными зубьями

дают возможность снимать большие припуски (18—22 мм) за один проход вместо двух или трех проходов при фрезеровании обычными фрезами;

при делении припуска между отдельными зубьями фрезы процесс фрезерования протекает спокойнее, с меньшей возможностью возникновения вибраций, а следовательно, и с повышенной в 1,5—2 раза стойкостью фрезы.

На рис. 203 показана ступенчатая фреза с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок конструкции ВНИИ. Она состоит из корпуса 1, в который вставляется кольцо 8, фиксируемое винтами 9. Крепление твердосплавной пластинки 6 к базам на корпусе и кольцо осуществляется при помощи державки 5 и запрессованного в ней штифта 7. Державку и кольцо 3 соединяют винтами 2. Пружинны 4 предохраняют винты от самоотвинчивания.

При износе одной из режущих граней пластинка поворачивается и в работу вступает следующая грань. Замена и поворот пластинок может производиться непосредственно на станке.

Двухступенчатые фрезы могут быть с пяти- и шестигранными пластинками для работы с припусками до 12—16 мм. Для снятия больших припусков (до 22—24 мм) рекомендуется трехступенчатые фрезы с четырехгранными пластинками. Рекомендуемая ширина фрезерования  $t = (0,6-0,7)D$ . Ступенчатые фрезы выпускаются диаметром 63—350 мм.

На рис. 204 показана новая конструкция обдирочной концевой фрезы. Зубья этой фрезы острозаточенные, а не затылованные, и с неравномерным окружным шагом. Такие фрезы обладают большей виброустойчивостью, повышенной стойкостью, более высокой (на 60—

70%) производительностью по сравнению со стандартными фрезами.

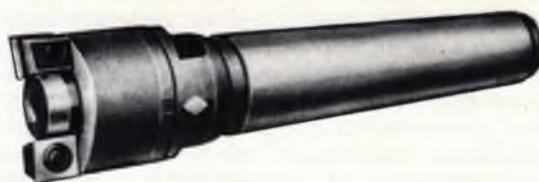
На рис. 205 показана концевая фреза со сменными твердосплавными пластинками, переставляемыми без съема фрезы со станка. Такие фрезы имеют диаметр 40; 50 и 63 мм.

### § 68. Заточка и контроль фрез после заточки

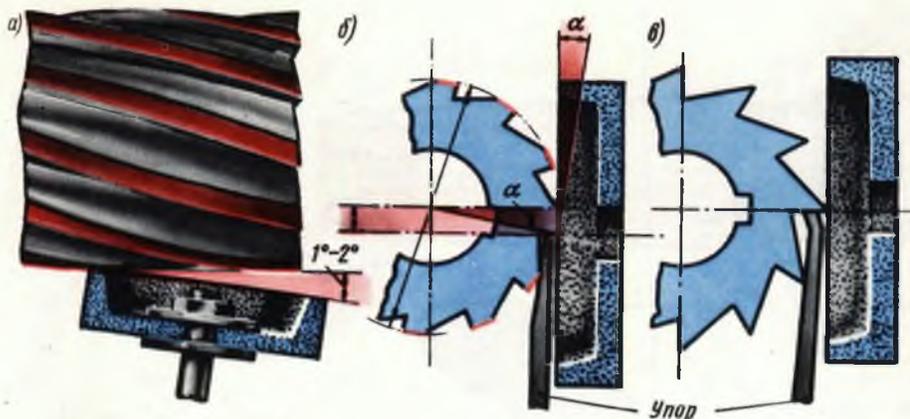
Заточка фрез — заключительная операция для получения заданных геометрических параметров, а также для восстановления режущих свойств, утраченных в результате износа зубьев.

Правильно выполненная заточка увеличивает стойкость фрезы, а следовательно, снижает расход режущего инструмента. При эксплуатации не следует доводить фрезы до величин износа, превышающих установленные оптимальные значения, принятые за критерий затупления. Поэтому необходимо следить за состоянием режущих кромок и производить своевременную заточку фрез, не допуская чрезмерно большого износа или поломки зубьев.

Заточка фрез производится на универсально-заточных станках например, модели 3А64 или на специальных заточных станках.



**205** Концевая фреза с пластинками твердого сплава



**206** Схема заточки цилиндрической фрезы с острозаточенными зубьями

Для обеспечения правильной заточки фрез, соблюдения установленных норм допускаемых биений, обеспечения установленного качества поверхностей и режущих кромок необходимо, чтобы заточные станки и приспособления удовлетворяли следующим требованиям:

1. Шпиндели станков и приспособлений должны обладать достаточной виброустойчивостью, хорошо смазываться и легко вращаться, осевое и радиальное биение не должно превышать 0,01 мм.

2. Механизмы подач должны работать без заеданий во всех направлениях, иметь минимальные зазоры и обеспечивать легкое и плавное перемещение закрепленной фрезы.

3. Сменные шпиндели и шайбы для крепления заточных кругов должны обеспечивать точную посадку заточного круга или доводочного диска на шпинделе станка, не вызывая вибраций при заточке и неравномерного износа круга или диска.

4. Суммарное биение шпинделя станка, приспособления и оправки должно быть меньше допустимого биения затачиваемой фрезы.

Правильный выбор шлифовального круга и режимов заточки дает возможность получить заданные геометрические параметры режущей части и требуемое качество заточенной поверхности, что связано с повышением режущих свойств фрезы.

В табл. 20 приведена характеристика абразивного инструмента и ориентировочные режимы заточки инструментов из инструментальных сталей и инструментов, оснащенных пластинками твердого сплава и минералокерамикой. Заточка фрез из быстрорежущих сталей, повышенной производительности — кобальтовых и ванадиевых — значительно отличается от заточки фрез из быстрорежущей стали P18. Указанные стали отличаются плохой шлифуемостью и повышенной склонностью к прижогам.

### Заточка цилиндрических фрез с остроконечными зубьями

Заточка инструмента с винтовым зубом, в том числе и цилиндрических фрез осуществляется на универсально-заточных станках. Цилиндрические фрезы с остроконечными зубьями затачивают по задней поверхности чашечными и дисковыми кругами (рис. 206). При заточке фрезу надевают на оправку. Ось чашечного круга устанавливают относительно фрезы так, чтобы круг касался затачиваемой фрезы только одной стороной. С этой целью торцовую плоскость чашечного круга наклоняют под углом  $1-2^\circ$  к оси фрезы (рис. 206, а). Для образования заднего угла ось чашечного круга располагают ниже оси затачиваемой фрезы на величину  $H$  (рис. 206, б), которая определяется в зависимости от диаметра фрезы и заднего угла  $\alpha$  по формуле

$$H = \frac{D}{2} \cdot \sin \alpha.$$

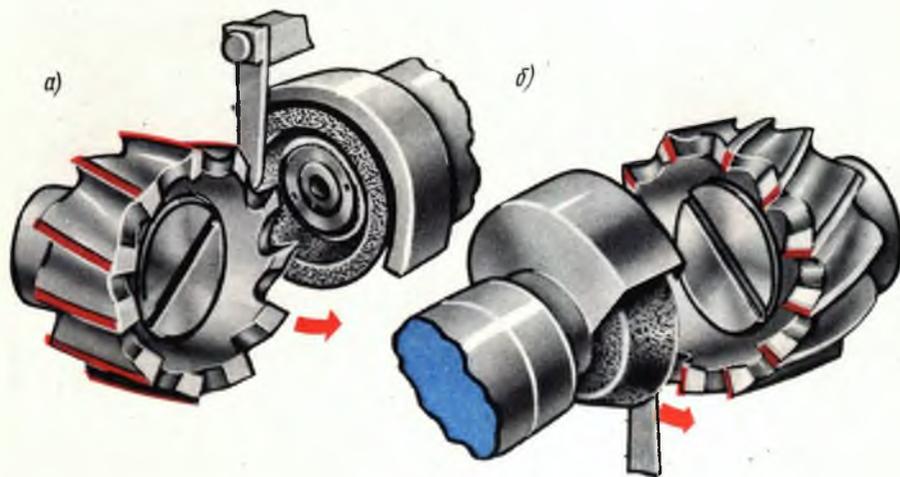
Если оси чашечного круга и затачиваемой фрезы будут расположены в одной горизонтальной плоскости, то задний угол  $\alpha$  после заточки будет равен нулю (рис. 206, в). Положение зуба фрезы при заточке фиксируется упором, который устанавливается очень близко к режущей кромке.

Иногда применяют специальный прибор для установки упора по высоте.

При заточке цилиндрических фрез дисковыми кругами задняя поверхность зуба получает несколько вогнутую форму с повышенным значением заднего угла. Однако при правильном выборе диаметра шлифовального круга эта вогнутость не оказывает никакого вредного влияния.

Характеристика абразивного инструмента и режимы заточки

Материал режущего инструмента	Характер заточки	Шлифовальный круг					Режим заточки			
		абразивный материал	условное обозначение	связка	зернистость	твёрдость	Подача		Скорость круга, м/с	Охлаждение
							продольная, мм/мин	поперечная, мм/дв. ход		
Углеродистая, легированная и быстрорежущая сталь нормальной производительности	Черновая	Электрокорунд	24А	Керамическая (К)	25	МЗ-СМ2	1,5—2	0,02—0,05	20—25	Без охлаждения
		Монокорунд	44А							
	Чистовая	Эльбор	Л	Бакелитовая (Б1)	10	100%-ная концентрация СМ2	1—2	0,02—0,05	25	С охлаждением; без охлаждения
		Монокорунд	44А							
	Черновая	Электрокорунд	24А	Керамическая (К)	25	МЗ-СМ2	1,5—2	0,01—0,03	20—25	Без охлаждения
			Монокорунд							
Чистовая	Эльбор	Л	Бакелитовая (Б1)	10	100%-ная концентрация СМ1	1—2	0,01—0,03	25	С охлаждением; без охлаждения	
		Монокорунд								44А
Черновая	Карбид кремния зеленый	64А	Керамическая (К)	40	М2	1,5—2	0,05—0,08	12—15	С охлаждением	
Твердые сплавы	Чистовая	Алмаз синтетический	АСО	Металлическая (М10)	120/100	100%-ная концентрация	1—2	0,02—0,05	20	С охлаждением
							—	1,6 мм/мин		



**207** Заточка торцовой фрезы

### Заточка торцовых фрез

Торцовые фрезы, изготовленные из быстрорежущей стали, а также ряд фрез, оснащенных пластинками твердого сплава, затачиваются в собранном виде.

Заточка главной задней поверхности торцовых фрез производится торцовой плоскостью чашечного шлифовального круга (рис. 207, а). При заточке вспомогательной задней поверхности (рис. 207, б) фрезу сначала устанавливают так, чтобы ее вспомогательная режущая кромка занимала горизонтальное положение. Затем ось фрезы поворачивают в горизонтальной плоскости на величину вспомогательного угла в плане  $\varphi$ , и одновременно наклоняют в вертикальной плоскости на торцовой задний угол  $\alpha_1$ . Заточка передней поверхности зуба фрезы производится как торцом тарельчатого шлифовального круга, так и периферией дискового круга. При заточке необходимо образовать заданные по чертежу величины углов  $\varphi$ ,  $\gamma$  и  $\lambda$ .

### Заточка концевых фрез

Заточка концевых фрез с винтовым зубом осуществляется также вручную на универсально-заточных станках.

Заточка концевых фрез по главной задней поверхности производится так же, как и цилиндрических фрез торцовой поверхностью чашечного круга, при установке концевой фрезы в центрах. Заточка по вспомогательной задней поверхности осуществляется подобно торцовым чашечным кругом. В настоящее время выпускается полуавтомат модели ВЗ125 для заточки концевых фрез диаметром 14—50 мм по передней и задней поверхностям.

### Заточка дисковых фрез

Заточка дисковых фрез по главной задней поверхности производится подобно заточке цилиндрических и концевых фрез чашечным кругом. Заточка по вспомогательной задней поверхности торцовых зубьев производится таким же способом, как и для торцовых фрез.

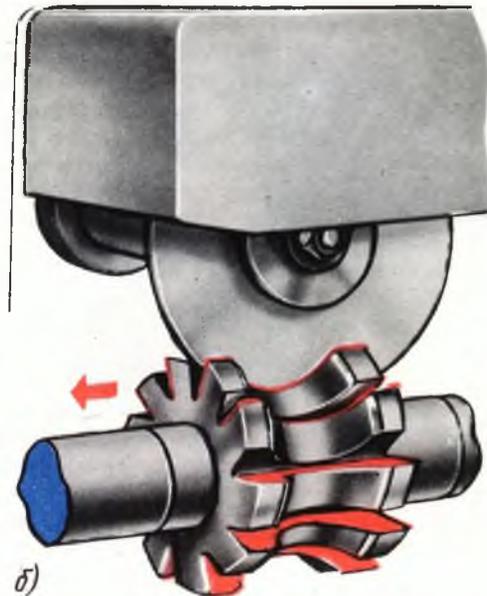
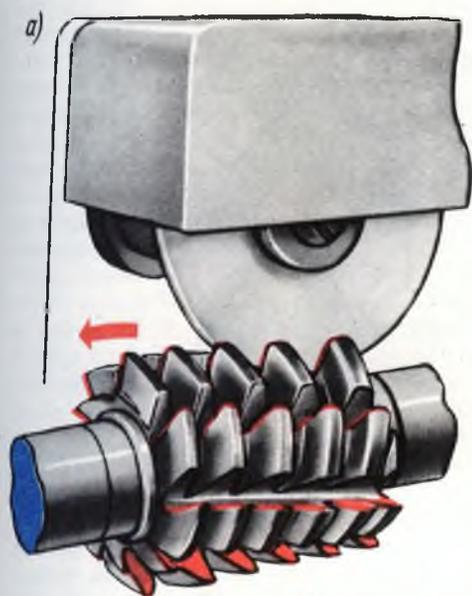
При заточке торцовых зубьев по передней поверхности затачиваемые зубья направлены вверх, а фрезы занимают вертикальное положение, когда фреза имеет простые зубья и наклонные — при заточке фрез с разнонаправленными зубьями. При этом угол наклона оси фрезы в вертикальной плоскости равняется углу наклона главной режущей кромки.

### Заточка фрез с затылованными зубьями

Фасонные фрезы с затылованным зубом затачиваются только по передней поверхности. При этом величина переднего угла  $\alpha$  после заточки должна отклоняться от заданного значения не более чем на  $\pm 1^\circ$ , так как изменение переднего угла вызывает искажение фасонного профиля.

Фрезы с прямыми канавками затачивают плоской стороной чашечного круга (рис. 208, а), а фрезы с винтовыми канавками — его конической стороной (рис. 208, б).

Чтобы после заточки режущие кромки имели минимальное биение, заточку рекомендуется производить по копиру, имеющему то же число зубьев, что и затачиваемая фреза (рис. 209). Износ затылованных фрез по задней поверхности допускается не более 0,5—0,75 мм. При большей величине износа фрезу следует затачивать по всему профилю, что значительно удорожает стоимость заточки.



208 Заточка передней поверхности фасонных фрез

#### Заточка сборных фрез (фрезерных головок)

Индивидуальная заточка вставных резцов сборных фрез может быть произведена лишь на точилье с подручником или на универсально-заточном станке с креплением резца в трехповоротных тисках. При закреплении резцов в тисках во избежание образования трещин в пластинках в качестве амортизатора рекомендуется ставить прокладку из пористой резины между подвижной губкой тисков и вставным зубом. Каждый вставной резец торцевой фрезы затачивают окончательно с одной установки. При таком методе заточки износ шлифовального круга не влияет на точность заточки. Вращение круга при заточке твердосплавной пластинки должно быть направлено от основания к лезвию фрезы для избежания микровыкрашиваний в процессе заточки.

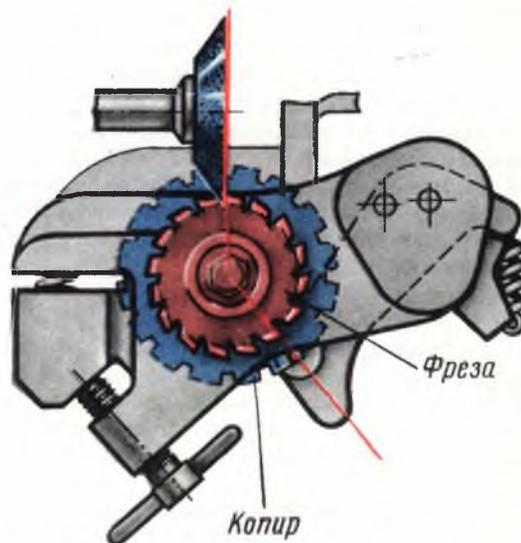
В промышленности применяются торцевые фрезы, ножи которых затачивают в сборе. Торцевые фрезы из композита затачиваются алмазными кругами АСО 8—10 Б1 100% на оборудовании, применяемом для заточки твердосплавных фрез.

#### Доводка фрез

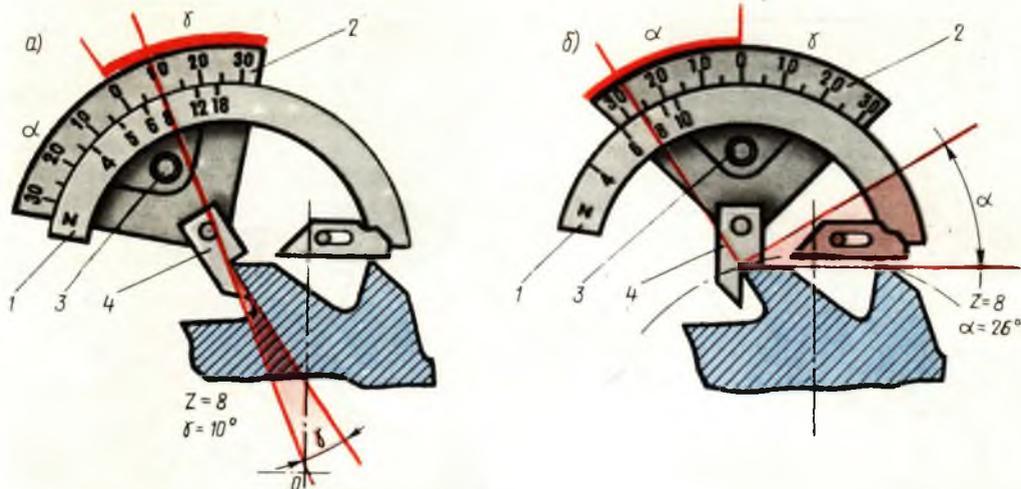
Доводка рабочих граней фрезы производят прежде всего с целью обеспечения заданных требований по шероховатости поверхностей. Кроме того, доводка позволяет в ряде случаев устранить тонкие поверхностные слои с прижогами и трещинами, возникшими при заточке, и другие дефекты доводимой поверхности.

Наибольшее распространение получили алмазная и абразивная доводки. Доводка твердосплавного инструмента осуществляется алмазными кругами на бакелитовой связке, абразивная доводка — мелкозернистыми кругами из зеленого карбида кремния.

Доводке подвергают главным образом инструменты, оснащенные пластинками твердых сплавов и минералокерамикой на специальных доводочных станках. Так, например, алмазная



209 Заточка передней поверхности фрез с затылованными зубьями по копиру



**210** Схема измерения геометрических параметров фрез

доводка по ленточке многогранных неперетачиваемых пластинок осуществляется на специальном доводном станке модели ЗВ-20 в специальных кассетах; доводку опорной плоскости целесообразно производить на плоскошлифовальном станке в специальных кассетах дисковыми алмазными кругами.

Доводка твердосплавных инструментов алмазными кругами обеспечивает качество поверхности более высокого класса шероховатости по сравнению с заточкой кругами из зеленого карбида кремния и доводкой карбидом бора. При фрезеровании пластичных материалов с невысокой прочностью и сильным истирающим действием алмазная доводка позволяет увеличить стойкость в два — пять раз по сравнению только с заточкой кругами из зеленого карбида кремния. Это различие с увеличением скорости резания возрастает. При фрезеровании высокопрочных, твердых сталей и титановых сплавов, в особенности на пониженных скоростях резания и при использовании хрупких твердых сплавов, доводка алмазными кругами либо малоэффективна, либо приводит к снижению стойкости инструмента вследствие выкрашивания режущих кромок фрез.

Применение алмазных кругов типа АПВ, АПВД, АЧК, АТ, АИТ и др. при заточке и доводке твердосплавного инструмента абразивными кругами позволяет повысить производительность обработки в 1,5—2 раза и получить высокое качество обработанной поверхности (шероховатость по  $R_a$  0,32—0,1 мкм).

Применение кругов из композита (эльбора) при заточке режущего инструмента из быстрорежущих сталей по сравнению с обычными абразивными кругами имеет также ряд преимуществ.

### Контроль фрез после заточки

При контроле фрез после заточки проверяют геометрические параметры режущей части фрезы, биение фрезы и класс шероховатости заточенных или доведенных поверхностей. Для контроля геометрических параметров фрез применяют ряд приборов.

Основное требование, предъявляемое к этим приборам, — простота в эксплуатации и возможность пользования ими непосредственно на рабочем месте. На рис. 210 показаны схемы измерения переднего и заднего углов фрезы с помощью угломера. Угломер состоит из дуги 1 со шкалой, разделенной на риски, соответствующие числу зубьев измеряемой фрезы. Сектор 2 перемещается по дуге 1 и фиксируется в требуемом положении винтом 3. Сектор снабжен градусными шкалами, по которым производится отсчет величин углов: передних — по шкале  $\nu$  и задних — по шкале  $\alpha$ . К сектору 2 прикреплена опорная линейка 4. Передний угол, как указывалось выше, измеряется в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромки фрезы. Поэтому при измерении опорную линейку 4 угломера располагают в этой плоскости (главной секущей плоскости). В процессе измерения переднего угла (рис. 210, а) угломер накладывают на два соседних зуба фрезы, причем на один из зубьев угломер опирается опорной линейкой 4 по режущей кромке зуба фрезы, а на другой зуб — по передней поверхности зуба своей измерительной линейкой 1. Линейку 1 в пазу устанавливают по высоте в соответствии с размером прямолинейного участка на передней поверхности зуба. Сектор 2 угломера поворачивают до совмещения вертикальной грани измеритель-

ной линейки 1 (ножевая сторона) с передней гранью и в этом положении закрепляют винтом 3. Правильность установки измерительной линейки 1 относительно передней поверхности определяется на просвет. При правильной установке не должно быть зазора между ними. Отсчет производится по правой стороне сектора с надписью «передний угол» против штриха с отметкой, соответствующей числу зубьев данной фрезы (например, 6, 8, 10 и т. д.). На рис. 210, а видно, что если, например,  $z=8$ , то  $v=10^\circ$ , и т. д. Задний угол фрезы измеряют в плоскости, перпендикулярной оси фрезы. В связи с этим опорная поверхность линейки 4 угломера должна располагаться также в этой плоскости. Опорной линейкой 4 угломер опирается в режущую кромку зуба фрезы, а в другой зуб — по задней поверхности горизонтальной гранью измерительной линейки 1. Сектор 2 угломера поворачивается до «беззазорного» совмещения задней поверхности с измерительной гранью линейки, определяемого также на просвет. Отсчет в этом случае производится по левой стороне сектора с надписью «задний угол» также против штриха с отметкой, соответствующей числу зубьев фрезы. В случае, показанном на рис. 210, б, при  $z=8$ ,  $\alpha=27^\circ$ . Погрешность угломера составляет примерно  $1^\circ 30'$ .

Контроль биения зубьев фрез осуществляется с помощью индикатора в тех приспособлениях, где они затачиваются в центровых бабках или в специальных приспособлениях.

Фрезы, у которых посадочным местом является отверстие, при контроле устанавливают на горизонтальной или вертикальной оправке. Фрезы с цилиндрическим или коническим хвостовиком при контроле устанавливают либо в направляющей призме, либо в приборе для контроля биения рабочей части концевых инструмен-

тов. Биение проверяют по цилиндрической поверхности зубьев, по торцовым зубьям, по угловым кромкам и по опорному торцу. Проверку биения фрезы производят после установки ее на оправку или на шпиндель фрезерного станка.

Проверку качества заточки или доводки производят внешним осмотром с помощью лупы. Режущие кромки фрез должны быть острыми, без зазубрин и выбоин. Наличие трещин на пластинках твердого сплава определяют, пользуясь лупой, смачивая пластины керосином или обдувая их песком. В этом случае при наличии трещин выступает керосин.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое нарост?
2. В чем заключается усадка стружки?
3. Что называется толщиной и шириной среза при точении, цилиндрическом фрезеровании, при торцовом фрезеровании?
4. От чего зависит площадь поперечного сечения при фрезеровании?
5. Как определить объем срезанного слоя при фрезеровании?
6. На какие составляющие можно разложить равнодействующую силу при фрезеровании?
7. Какие инструментальные материалы применяют для изготовления режущего инструмента? Область их применения?
8. Что называется стойкостью режущего инструмента и от чего она зависит?
9. Каков порядок выбора режимов фрезерования?
10. В чем преимущество торцовых фрез вообще и с многогранными неперетачиваемыми пластинками в частности?
11. Когда применяют алмазную заточку и доводку фрез?
12. Какие способы контроля фрез после заточки вы знаете?



# Технологический процесс изготовления типовых деталей

## § 69. Детали, обрабатываемые на фрезерных станках

Идея разработки типовых технологических процессов механической обработки (для деталей одного класса) принадлежит проф. А. П. Соколовскому.

Работа по типизации технологических процессов предусматривает предварительную классификацию деталей и приведение теоретически бесконечного числа комбинаций форм деталей и размеров к минимальному количеству типов, для которых можно разработать типовые технологические процессы обработки в нескольких вариантах с дальнейшим использованием применительно к конкретным деталям и условиям работы данного завода. При классификации деталей машин проф. А. П. Соколовский предлагает все многообразие деталей разделить на классы, которые в свою очередь подразделяют на подклассы, группы и подгруппы. Классом называется совокупность деталей, характеризующих общностью технологических задач, возникающих при обработке деталей определенной конфигурации. По классификации А. П. Соколовского предусмотрено 15 классов (валы, втулки, диски, эксцентриковые детали, крестовины, рычаги, плиты, шпонки, стойки, угольники, бабки, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали). При этом указывается, к какому классу целесообразно добавлять и другие виды деталей, характерные для отдельных отраслей промышленности (например, шариковые или роликовые подшипники, лопатки турбин и т. д.) Подгруппы в свою очередь делятся на типы деталей. К одному типу относятся детали, для которых можно разработать общую карту типового технологического процесса, но при этом допускаются некоторые отклонения в порядке обработки, а также исключение или добавление некоторых переходов или даже операций. Как отмечалось выше, на станках фрезерной группы можно обработать почти любые поверхности.

Детали, обрабатываемые на фрезерных станках, можно классифицировать по следующим основным признакам:

- 1) конфигурация обрабатываемых деталей;
- 2) тип инструмента, с помощью которого целесообразно производить обработку поверхностей деталей;
- 3) размеры обрабатываемых поверхностей деталей;
- 4) точность (размеров и формы) обрабатываемых поверхностей.

По первому признаку можно создать класс, состоящий из деталей с наиболее распространенными сочетаниями поверхностей (открытые плоскости, многогранники, плоскости с пазами, шпоночные пазы, сочетания вертикальных или горизонтальных плоскостей с наклонными, поверхности с винтовыми канавками, типовые фасонные поверхности и др.). По второму признаку (тип инструмента) можно образовать классы деталей, которые экономически выгодно обрабатывать различными типами фрез или набором фрез: торцовыми твердосплавными, цилиндрическими, торцовыми, дисковыми, концевыми, угловыми и др. — в зависимости от размера партии или размеров обрабатываемых поверхностей деталей в условиях фрезерования единичной детали или группы одновременно обрабатываемых деталей.

При этом в обоих случаях должны быть учтены размеры обрабатываемых поверхностей (масштабный фактор), требуемая точность размеров и класс шероховатости обработанной поверхности.

К каждому классу типовых деталей предъявляют специфические технологические требования.

Так, например, при обработке деталей, ограниченных плоскостями, необходимо выполнить в заданных пределах следующие параметры: плоскостность, точность размеров, точность расположения, класс шероховатости обработан-

ной поверхности, качество поверхностного слоя и др. Для пазов и уступов основные технологические требования — обеспечение точности размеров по ширине и глубине, симметричности расположения паза (или уступов) и др.

Основным требованием при обработке деталей, ограниченных фасонными поверхностями, является обеспечение заданного профиля, расположения, размеров и класса шероховатости поверхностей.

## § 70. Типы машиностроительных производств и характеристика их технологических признаков

Различают три вида производства: единичное, серийное и массовое. Следует отметить, что на одном и том же предприятии и даже в одном и том же цехе могут быть различные виды производства. Так, например, на предприятиях тяжелого машиностроения, выпускающих изделия единичного производства, мелкие детали, требующиеся в большом количестве, могут изготавливаться по принципу серийного или даже массового производства.

**Единичным** называют такое производство, при котором выпуск каждого наименования изделий производится в очень небольших количествах.

Для единичного производства характерны следующие основные технологические признаки:

применение универсального оборудования, применение универсальных приспособлений и стандартного режущего инструмента; разработка технологических процессов, как правило, по наиболее простым формам (маршрутные карты); расстановка станков группами по типам и размерам; применение пригоночных работ при сборке; высокая квалификация рабочих и др.

**Серийным** называется производство, при котором изготовление изделий данного наименования периодически повторяется.

В зависимости от величины партии или серии различают мелко-, средне- и крупносерийное производство.

Основные технологические признаки серийного производства: проведение на одном рабочем месте одной или нескольких операций; обработка заготовок по технологическому процессу, разделенному на отдельные операции; применение универсального оборудования, специальных и специализированных станков для изготовления основных деталей: расстановка оборудования соответственно технологическому процессу обработки деталей с учетом характерных направлений грузопотоков; широкое применение специальных приспособлений и инструментов; различная квалификация рабочих; взаимозаменяемость и в связи с этим небольшой объем пригоночных работ.

**Массовым** называется такое производство, при котором одинаковые изделия изготавливают в большом количестве в течение длительного времени. Производство, при котором операции обработки заготовок (или сборки машин) закреплены за рабочими местами, расположенными в порядке выполнения операций, а обрабатываемые заготовки или собираемые узлы машин последовательно перемещаются с одного рабочего места на другое, называется **поточным**. В основу массового производства положены следующие основные технологические признаки:

закрепление за каждым рабочим местом одной постоянно повторяющейся операции;

обработка заготовок и сборка машин по непрерывно поточному методу;

широкое применение агрегатных, автоматических и специальных станков, а также автоматических линий;

расстановка оборудования соответственно технологическому процессу обработки деталей: высокая степень оснащенности специальными приспособлениями, инструментами и автоматическими измерительными устройствами;

полная взаимозаменяемость;

невысокая квалификация рабочих на операционных станках;

Технология механической обработки деталей в автоматизированном производстве.

В условиях автоматизированного производства от каждой операции зависит надежность работы всей линии, поэтому здесь нет главных и второстепенных операций. В автоматизированном производстве все элементы технологического процесса — подача заготовки, ее ориентирование и закрепление, обработка, снятие готовой детали, контроль, межоперационное транспортирование и т. п. — решаются комплексно. Как правило, почти все технологические процессы, изготовления деталей в неавтоматизированном производстве при переходе к автоматизированному требуют коренной переработки.

Основными отличительными особенностями технологии автоматизированного производства являются: применение экономической заготовки, высокая степень концентрации операций, применение высокопроизводительных режущих инструментов с высокой стойкостью, синхронизация технологических операций, высокая стабильность технологических процессов, меньшая трудоемкость и сокращенный цикл изготовления детали, высокое качество готовых деталей. Технологические процессы, разработанные для автоматических линий, дают значительный экономический эффект за счет увеличения производительности труда, повышения качества продукции, ее стабильности, сокращения длительности производственного цикла, облегчения условий труда и др.

## § 71. Методы фрезерования

Фрезеровать заготовки можно при установке на столе одной заготовки или группы заготовок (множественная обработка). Кроме того, применяют позиционное фрезерование, непрерывное фрезерование, фрезерование набором фрез, одновременную обработку заготовок несколькими фрезами.

Фрезерование одной заготовки применяется главным образом в единичном производстве или при обработке крупногабаритных заготовок (рис. 211, а). Фрезерование нескольких заготовок обеспечивает сокращение как машинного, так и вспомогательного времени.

Различают две разновидности множественного фрезерования: последовательное и параллельное (рядами). При последовательном фрезеровании одной фрезой или набором фрез обрабатывают заготовки, установленные в один ряд (в направлении перемещения стола, рис. 211, б). При параллельном методе заготовки, установленные в два или несколько параллельных рядов, обрабатывают одновременно одной фрезой или набором фрез (рис. 211, в).

Позиционное фрезерование является одним из прогрессивных методов обработки.

Существуют два вида позиционного фрезерования: фрезерование с применением специальных или универсальных поворотных столов и маятниковое фрезерование с подачей в обе стороны, не требующие применения поворотных приспособлений. На столе 1 фрезерного станка (рис. 212) устанавливают поворотный стол 2 с двумя одинаковыми приспособлениями 4 и 5 для закрепления заготовок. В то время как в приспособлении 4 заготовку 3 фрезеруют, в приспособлении 5 устанавливают следующую заготовку 6. При этом способе большая часть

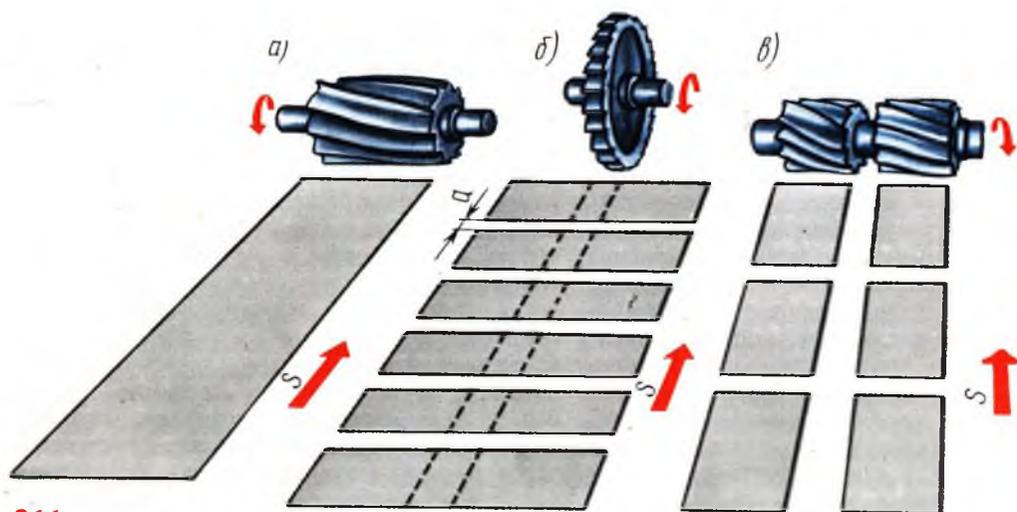
вспомогательного времени на установку заготовки и снятие обработанной детали совмещается с машинным временем.

Отличие метода фрезерования с применением маятниковой подачи (рис. 213) от позиционного фрезерования заключается только в том, что переход от обработки одной заготовки (или нескольких) к следующей производится реверсированием подачи стола, а не поворотом поворотного устройства. Консольно-фрезерные станки серий М и Р могут быть настроены на работу по маятниковому циклу (см. рис. 85). Этот способ применяется в тех случаях, когда форма и размеры обрабатываемых заготовок допускают их установку непосредственно на столе станка или в машинных тисках, патронах и других универсальных приспособлениях.

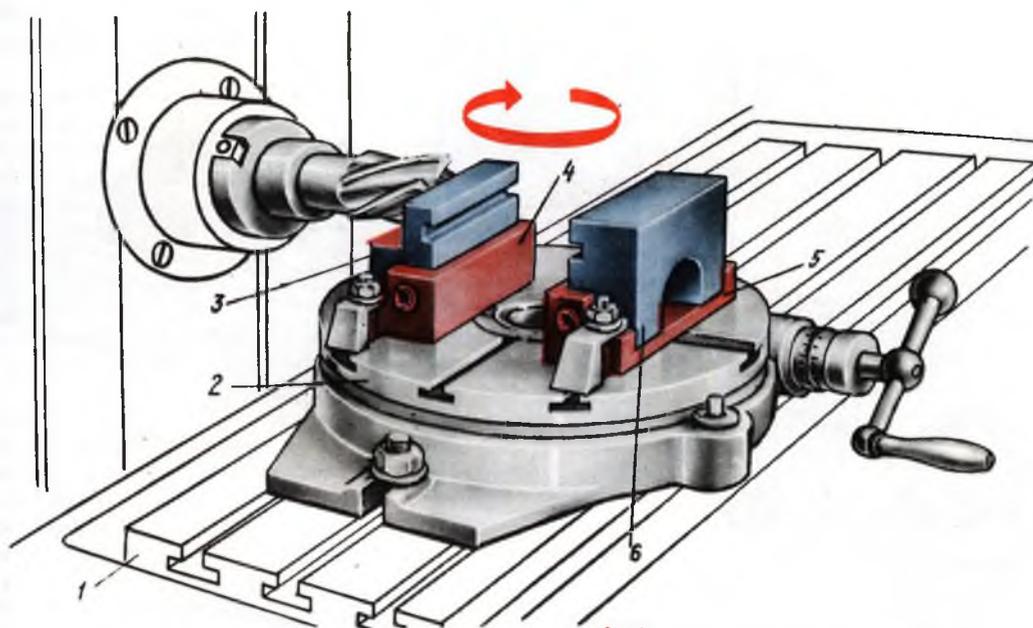
Непрерывное фрезерование осуществляется на станках непрерывного действия (см. § 38), а также на вертикально-фрезерных станках с помощью круглых столов, совершающих непрерывное вращение. В этом случае вспомогательное время полностью совмещается с машинным временем.

Одновременная обработка несколькими фрезами (многоинструментальная обработка) осуществляется на специальных многошпиндельных фрезерных станках с помощью многошпиндельных головок или набором фрез. Особое место занимает метод групповой обработки деталей на фрезерных станках. Сущность группового метода, разработанного проф. С. П. Митрофановым, в следующем.

В отличие от схем классификации деталей, применяемых при типизации технологических процессов, при групповом методе в основу положен принцип классификации деталей по видам обработки, т. е. создаются классы деталей обрабатываемых на автоматах, револьверных,



211 Схемы фрезерования



212 Схема позиционного фрезерования

токарных, фрезерных, сверлильных и других станках.

Для деталей, входящих в одну классификационную группу, разрабатывается общий технологический процесс, который позволяет обработать любую деталь группы без значительного отклонения от общей технологической схемы.

При групповом методе применяется общая технологическая оснастка, в том числе приспособления, в которых могут быть установлены детали нескольких наименований. Чаще всего эти приспособления снабжают сменными установочными элементами. На рис. 214, а показана группа деталей (рычагов), фрезерование которых производится в одном групповом приспособлении, а на рис. 214, б — группа сложных рычагов, для фрезерования которых используют также одно, легко переналаживаемое приспособление.

#### § 72. Универсальные и специальные приспособления

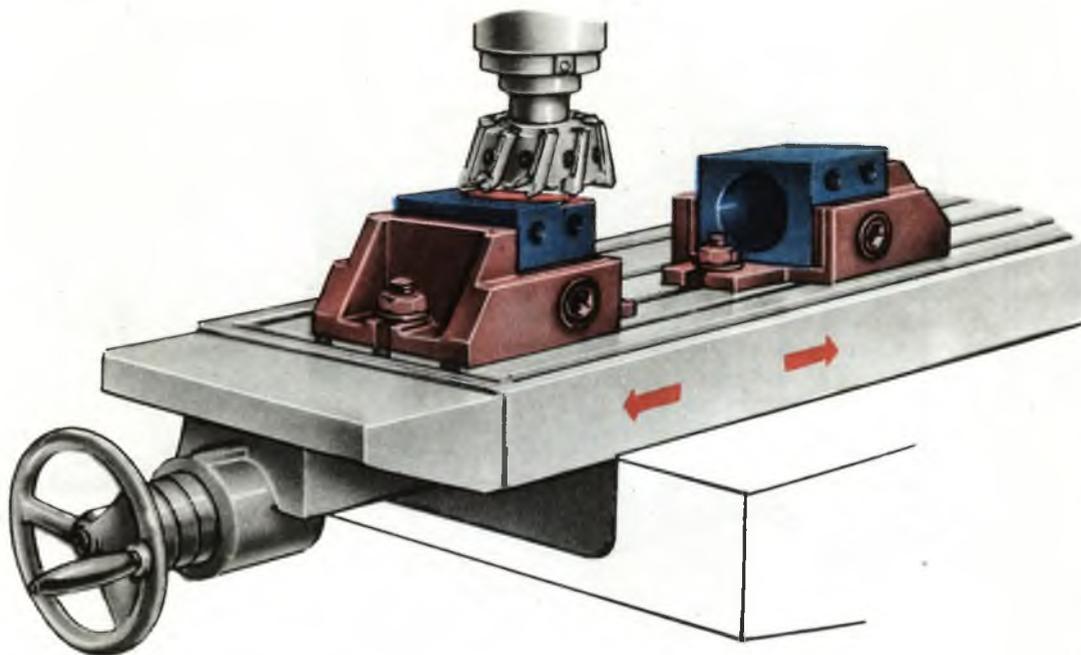
Универсальные приспособления предназначены для обработки разнообразных деталей. Такие приспособления применяют в единичном и мелкосерийном производствах. К числу универсальных приспособлений для закрепления обрабатываемых заготовок относятся: машинные тиски, самоцентрирующие патроны, самоцентрирующие тиски, делительные головки, круглые поворотные столы, а также различного рода домкраты, прихваты и т. п. Рациональ-

ное применение и усовершенствование универсальных приспособлений позволяет расширить область работ, выполняемых на фрезерных станках, упростить и облегчить работу фрезеровщика, сократить вспомогательное время на обработку.

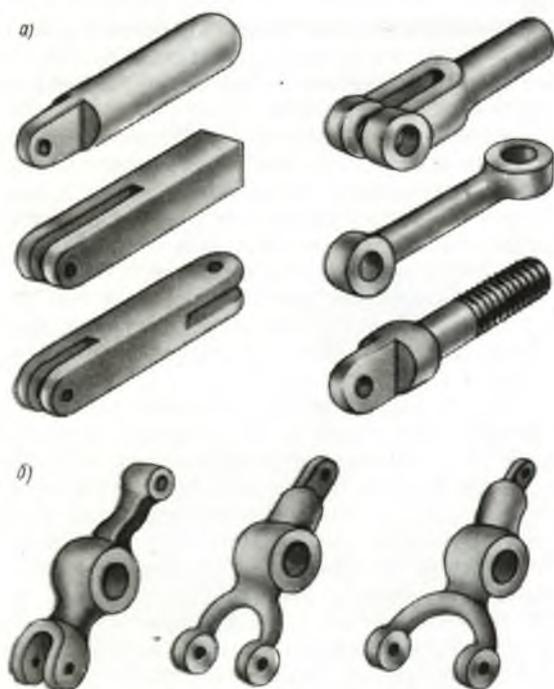
Применение специальных приспособлений является одним из основных путей повышения производительности труда в условиях серийного и массового производства, позволяет производить обработку заготовок без предварительной разметки и выверки.

Кроме того, обработка заготовок в специальных приспособлениях обеспечивает надежное их закрепление, повышенную точность размеров, позволяет производить одновременную обработку нескольких заготовок. При применении специальных приспособлений с пневматическими, гидравлическими и другими зажимами значительно облегчаются условия труда фрезеровщика, что сказывается на повышении норм выработки.

Процесс закрепления заготовок в таких приспособлениях сводится к повороту рукоятки вместо длительных и утомительных действий гаечным ключом. Основными путями расширения области применения приспособлений являются: 1) замена специальных приспособлений групповыми для обработки группы однотипных деталей, например, рычагов (см. рис. 214), деталей типа мелких планок, шпонок, клиньев и т. д., обрабатываемых в многоместных приспособлениях, или кассетного типа; 2) применение универсально-переналаживаемых и универсально-сборных приспособлений.



**213** Схема маятникового фрезерования



**214** Группа деталей (рычагов) для фрезерования

В последнее время все большее применение находят универсально-сборные приспособления (УСП). Из одних и тех же готовых, нормализованных, взаимозаменяемых и износоустойчивых деталей и узлов многократно собирают всевозможные приспособления для различных видов механической обработки.

После того как обработана партия заготовок, универсально-сборное приспособление разбирают, а его детали и узлы используют при сборке других приспособлений. Применение системы универсально-сборных приспособлений значительно сокращает срок технологической подготовки и освоения производства, в особенности в условиях единичного и мелкосерийного производства.

На рис. 215 показано приспособление для фрезерования проушины в штуцере 1, собранное из элементов УСП. Обработка производится на горизонтально-фрезерном станке набором фрез. Заготовка поступает на эту операцию с обработанной установочной базой, а также с двумя обработанными отверстиями, по которым она базируется на два ориентирующих пальца.

Приспособление смонтировано на базовой плите 6, на которой закреплены также четыре установочные планки 4. Эти планки с фиксирующими пальцами служат опорой для заготовки. Крепление заготовки осуществляется двумя вильчатыми прихватами 2 с помощью крепежных болтов 3, которые установлены в Т-образных пазах квадратных опор 5.

### § 73. Пути повышения производительности труда

Повышение производительности труда — одна из важных задач, стоящих перед социалистической промышленностью, решение которой должно быть неразрывно связано с уменьшением себестоимости и снижением трудоемкости выпускаемых изделий.

Основными путями повышения производительности труда и уменьшения себестоимости изделий являются:

повышение уровня комплексной автоматизации и механизации технологических процессов;

создание новых, более совершенных и технологических конструкций машин;

расширение применения станков-автоматов и полуавтоматов, а также станков с программным управлением;

увеличение числа автоматических линий и заводо-автоматов;

повышение режимов резания за счет улучшения старых и создания новых конструкций режущих инструментов, применения твердосплавных, минералокерамических и алмазных инструментов;

снижение вспомогательного времени за счет совершенствования приспособлений и методов контроля;

получение заготовок пластической деформацией (штамповкой, высадкой, выдавливанием, накатыванием и др.), точным литьем, профильным прокатом и другими прогрессивными методами;

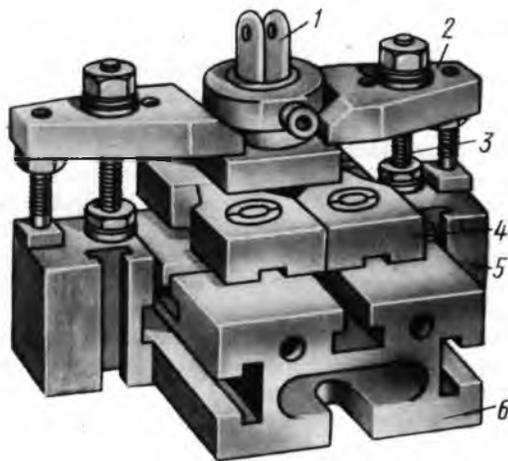
непрерывное совершенствование действующих и внедрение новых прогрессивных технологических процессов.

Система народного хозяйства обеспечивает все условия для непрерывного технического прогресса. Большой вклад в дело вносят новаторы производства, рационализаторы, изобретатели и инженерно-технические работники.

**Пути сокращения машинного времени.** Машинное время составляет значительную часть от времени, необходимого на обработку деталей. Даже в условиях мелкосерийного производства при работе на консольно-фрезерных станках оно составляет 40—50% штучного времени. В крупносерийном и массовом производстве доля машинного времени значительно возрастает. Рассмотрим мероприятия, позволяющие сократить машинное время.

1. Повышение технологичности конструкций обрабатываемых деталей.

Под технологичностью деталей и машин в целом понимают такую конструкцию, которая обеспечивает в конкретных производственных условиях минимальные затраты на подготовку и изготовление деталей и машин без ущерба для их качества. Чтобы снизить трудоем-



215 Универсально-сборочное приспособление для фрезерования проушины шуцера

кость изготовления деталей, необходимо при проектировании учитывать следующие основные технологические требования:

конфигурация детали должна состоять по возможности из поверхностей простых форм (плоскости, цилиндрические, конические, простые фасонные поверхности и др.);

деталь должна обладать достаточной прочностью во избежание деформаций и снижения режимов фрезерованием;

базовые поверхности должны иметь достаточную протяженность и давать возможность производить быструю установку заготовки;

обрабатываемые поверхности детали должны быть открыты, доступны для подхода режущего инструмента при врезании и для его выхода; должны соблюдаться: условие единства конструкторских, технологических и измерительных баз; правильный выбор материала и заготовок; возможность расчленения машин на отдельные сборочные единицы, собираемые и разбираемые независимо друг от друга и др.

2. Выбор рационального метода обработки.

Сокращение машинного времени обеспечивается за счет следующих факторов:

увеличения количества одновременно обрабатываемых заготовок;

увеличения количества одновременно работающих фрез;

уменьшения длины рабочего хода, приходящейся на одну деталь за счет рационального расположения заготовок; уменьшение величины врезания и перебега;

выбор оптимального для заданных условий варианта технологического процесса и др.

3. Применение оптимальных типоразмеров станков, рациональных конструкций фрез и режимов фрезерования.

Для сокращения машинного времени необходимо для заданных условий обработки про-

известии оптимальный выбор станка, фрезы, способа фрезерования (попутное или встречное, симметричное или несимметричное), направления вращения шпинделя при обработке цилиндрическими и концевыми фрезами с винтовыми зубьями; смазочно-охлаждающей жидкости; режимов фрезерования; средств, исключающих или снижающих интенсивность вибраций при фрезеровании.

4. Автоматизация операции может быть осуществлена за счет применения автоматических загрузочных, зажимных и других устройств, полуавтоматических и автоматических циклов обработки; обработки заготовок с применением быстросменных или групповых наладок; широкого использования станков с программным управлением; использования копировально-фрезерных станков для обработки фасонных поверхностей; внедрения автоматической сигнализации в случае неполадок в работе станка.

5. Рациональный выбор заготовки, общих и промежуточных припусков на обработку, а также применение прогрессивных способов получения заготовок, близких по форме и размерам готовой детали; уменьшение общих и промежуточных (межоперационных) припусков на обработку позволяет сократить машинное время.

**Пути сокращения вспомогательного времени.** В состав вспомогательного времени входит время, затрачиваемое на установку, выверку, крепление заготовки и снятие обработанной детали, на подвод и отвод заготовки относительно фрезы, на установку и смену фрез, на изменение деталей, на управление станком и др. Сокращение вспомогательного времени при фре-

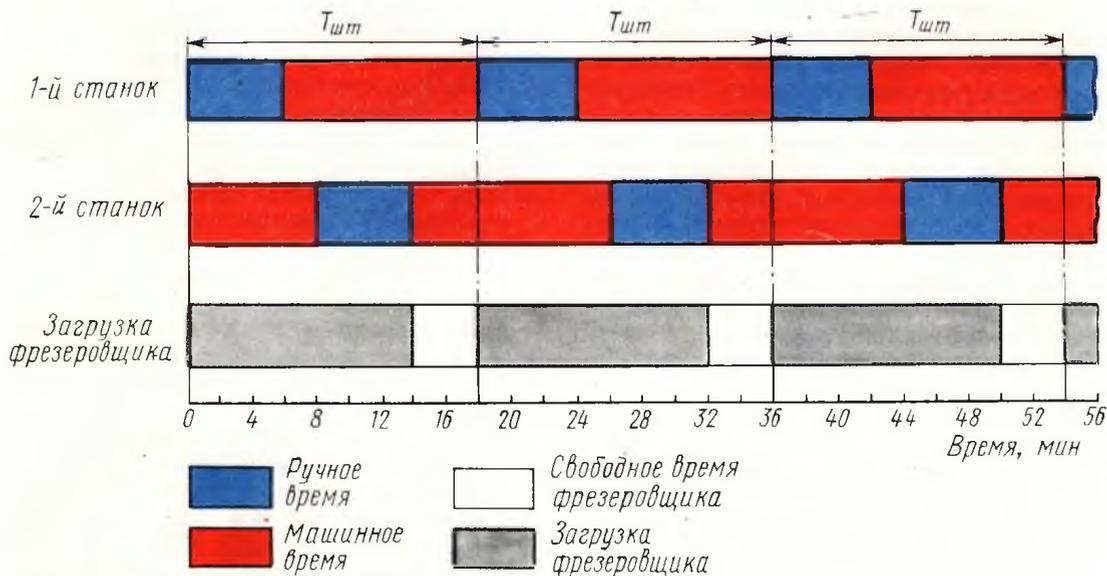
зеровании оказывает такое же влияние на повышение производительности труда, как и снижение машинного времени. Применение специальных съемных губок (см. рис. 26) позволяет упростить и ускорить установку мелких и средних заготовок деталей сложной конфигурации, а применение быстросъемных приспособлений значительно сокращает время на закрепление заготовок. Одним из таких приспособлений являются тиски с эксцентриковым зажимом (см. рис. 24). Особенно эффективно применение быстросъемных гидравлических и пневматических приспособлений.

Использование электромагнитных, магнитных и других плит (см. рис. 28 и 77), в особенности при обработке нежестких заготовок, также приводит к сокращению вспомогательного времени.

Сокращение затрат времени на управление станком достигается путем применения ускоренных холостых ходов стола; автоматизации обработки на различных циклах; введения преселективного включения и выключения скоростей и подач; применения мнемонического однокнопочного управления; введения одновременного трехкоординатного перемещения стола и др.

Вспомогательное время может быть сокращено за счет упрощения и усовершенствования установки и съема фрез, применения быстросъемных патронов для крепления фрез без шомпола, механизации закрепления фрез с коническими хвостовиками.

Существенная часть вспомогательного времени уходит на установку фрез на размер, измерения в процессе обработки и контрольные



**216** Циклограмма работы двух фрезерных станков

измерения обработанной поверхности. Сокращение времени на измерение может быть достигнуто при использовании калибров и шаблонов или универсальными инструментами, установленными заранее на заданный размер. Контроль размеров с помощью шаблонов и калибров занимает в 1,5—2 раза меньше времени, чем измерение с помощью универсальных измерительных инструментов (штангенциркулем, микрометром и др.). При установке фрез пользуются габаритами и специальными приспособлениями, сокращающими время на установку. Вспомогательное время, как указывалось выше, может быть уменьшено за счет его совмещения с машинным временем (позиционное фрезерование, непрерывное фрезерование, многостаночное обслуживание и др.).

#### § 74. Многостаночное обслуживание

Многостаночное обслуживание заключается в одновременной работе одного рабочего или бригады на нескольких станках. Все ручные работы на каждом из обслуживаемых станков (установка и закрепление обрабатываемой заготовки, пуск и остановка станка, снятие готовой детали и т. д.) производятся за время машинной работы всех остальных станков.

Возможность организации многостаночной работы определяется наличием такого соотношения машинного и ручного времени, при котором время машинной работы на одном станке должно быть равно или больше суммы времени, необходимого для выполнения ручных приемов на всех остальных одновременно обслуживаемых станках. Многостаночное обслуживание является эффективным способом повышения производительности труда.

При многостаночном обслуживании необходимо, чтобы обслуживаемые станки автоматически выключались после окончания цикла обработки; многостаночник должен быть освобожден от выполнения вспомогательных работ по обслуживанию рабочего места (доставка заготовок и инструмента на рабочее место,

транспортирование обработанных деталей и т. д.); расстановка одновременно обслуживаемых станков должна быть такой, чтобы максимально сократить время на переходы рабочего от одного станка к другому; максимальная механизация всех ручных приемов работы, требующих значительного физического напряжения (подъем, установка и снятие тяжелых заготовок и деталей и др.).

Для многостаночного обслуживания вопросы загрузки оборудования, планировки рабочего места и размещения на нем оборудования, инвентаря, заготовок обработанных деталей, режущего инструмента имеют особо важное значение.

На рис. 216 приведена циклограмма работы на двух фрезерных станках при выполнении одинаковых по продолжительности операций. Цикл продолжается 18 мин. Из них машинное время обработки заготовки составляет 12 мин, ручное 6 мин, на переход от одного станка к другому фрезеровщик может расходовать 2 мин. В этом примере он загружен 14 мин и имеет 4 мин свободного времени.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам можно классифицировать детали, обрабатываемые на фрезерных станках?
2. Какие исходные данные необходимы для разработки технологического процесса обработки деталей?
3. Какими основными технологическими признаками характеризуются единичное, серийное и массовое производства?
4. Какие преимущества имеет позиционное и непрерывное фрезерование?
5. Для чего применяют групповые приспособления?
6. Какие преимущества имеют универсально-сборные приспособления?
7. Какими путями можно сократить машинное время?
8. За счет чего можно сократить вспомогательное время?
9. Какие условия необходимы для многостаночного обслуживания?



# Сведения о механизации и автоматизации производства

## § 75. Значение механизации и автоматизации производства

Под механизацией технологических процессов обычно понимают замену человеческого труда работой машин. Автоматизация технологических процессов предусматривает механизацию обслуживания и управления машинами, их системами и производственными процессами в целом. Непрерывный рост производительности труда в настоящее время обеспечивается в первую очередь механизацией ручных работ и автоматизацией производственных процессов.

Основным направлением работ в области механизации и автоматизации является переход к комплексной автоматизации, к созданию полностью автоматизированных участков, цехов и заводов.

Комплексную механизацию и автоматизацию следует прежде всего внедрять в наиболее трудоемкие виды производства — литейное, прокатное и сварочное, при транспортировке материалов, в области механической обработки металлов и др.

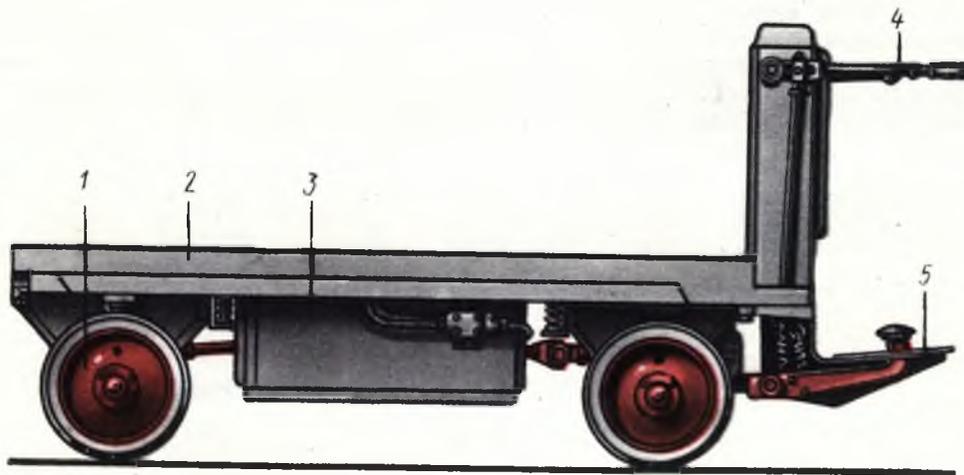
Наряду с работами по механизации и автоматизации производственных процессов в крупносерийном и массовом производстве проводятся работы по механизации и автоматизации в мелкосерийном и серийном производствах.

В настоящее время при создании новых машин учитывают их способность работать в автоматических линиях.

Для широкого развития автоматизации необходимым условием является разработка типовых решений по отдельным автоматическим агрегатам и автоматическим линиям во всех отраслях машиностроения.

Быстрая смена многих объектов производства требует повышения универсальности автоматических машин, расширения номенклатуры обрабатываемых на них заготовок и возможности быстрой переналадки.

Многие выпускаемые в настоящее время металлорежущие станки оснащают типовыми автоматическими загрузочными и разгрузочными устройствами, а также устройствами для авто-



**217** Электрокар ЭК-2

матической подналадки инструмента в процессе обработки заготовок и для контроля качества готовых деталей. Механизированное и автоматизированное производство должно базироваться на прогрессивных технологических процессах.

Экономическая эффективность механизации и автоматизации технологических процессов определяется следующими показателями: повышение производительности труда, снижение себестоимости выпускаемой продукции, облегчение условий труда, оптимальный срок окупаемости и др.

Механизация и автоматизация имеют не только большое экономическое, но и огромное социальное значение. В социалистических условиях автоматизация производственных процессов отвечает насущным интересам трудящихся, облегчает и коренным образом изменяет характер труда, создает условия для ликвидации различий между умственным и физическим трудом. Комплексная механизация и автоматизация производства являются основным направлением технического прогресса в СССР.

## § 76. Внутрицеховой транспорт

Внутрицеховой транспорт играет большую роль в производственных процессах, поэтому механизация транспортных операций придает большое значение. С помощью внутрицехового транспорта к рабочим местам подают материалы и заготовки, а к сборочным стандам — готовые детали и узлы. Ими пользуются при перемещении готовых изделий, оборудования и т. д.

В качестве привода для различных транспортных устройств в большинстве случаев применяются электродвигатели переменного и постоянного тока. В отдельных случаях для привода транспортных или подъемных механизмов применяют поршневые пневматические или гидравлические устройства, ротационные гидравлические и пневматические двигатели, питаемые от пневматических сетей завода или отдельных насосных установок. На заводах единичного и мелкосерийного производства применяют главным образом универсальные транспортные средства периодического действия: электрокары, тельферы, краны и др.

Электрокары (рис. 217) применяются для внутрицехового и межцехового транспортирования штучных и тарных грузов. Грузоподъемность их составляет 0,75—5 Т.

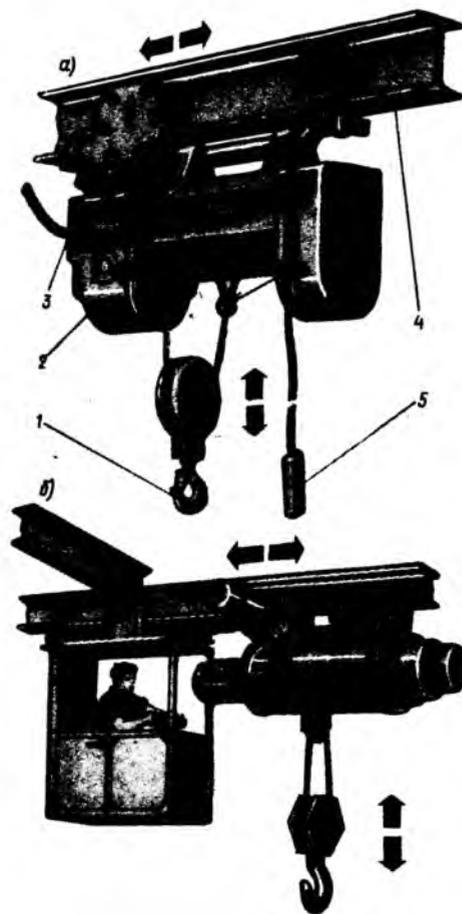
В качестве источника энергии для привода электрокаров служит аккумуляторная батарея 3, применяют также тележки с двигателями внутреннего сгорания (автоэлектротележка).

Электрокары выпускаются в нескольких исполнениях: с неподвижной грузовой платформой 2, с низким подъемом платформы (от ко-

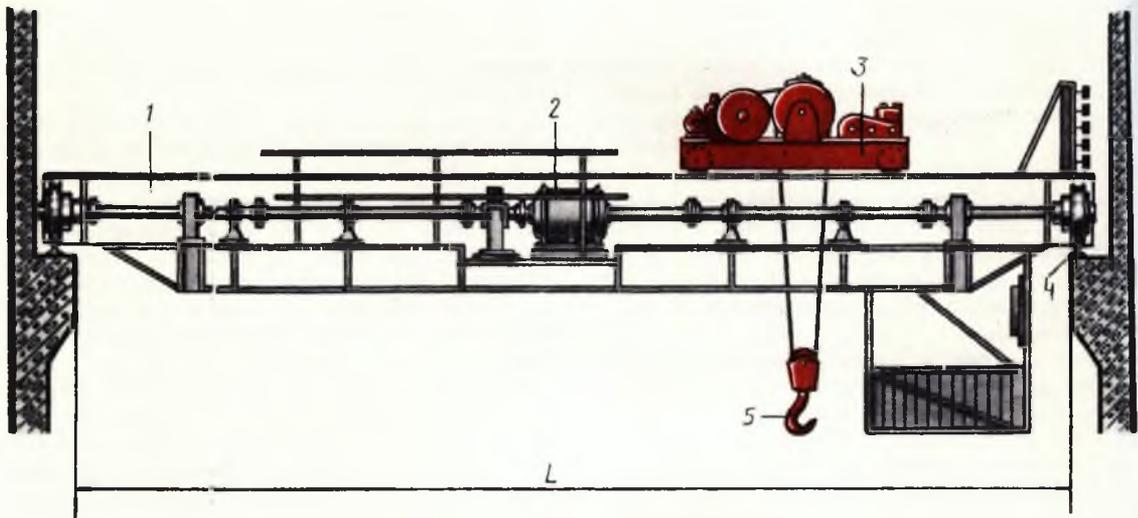
лес 1), с высоким подъемом платформы и подъемным краном для самопогрузки. Электрокары имеют платформы для водителя 5 с рукоятками управления 4.

Тельферы (рис. 218, а, б) представляют собой электрический подъемник (электродвигатель 2), установленный на ходовой тележке с двигателем 3, передвигающейся по однорельсовому подвесному пути (монорельсу 4). Тельферы снабжены, кроме того, групповым крюком 1 и кнопочной станцией управления 5.

В цехах среднего и тяжелого машиностроения наиболее распространенным видом транспорта являются мостовые краны (рис. 219). Мост крана 1, представляющий собой форму, опирается катками на рельсы 4, проложенные вдоль цеха на специальных выступах стен или колонн. Мост может перемещаться по длине пролета цеха. По рельсам, проложенным на мосту, может перемещаться тележка 3, на которой имеются механизм ее перемещения от электродвигателя 2 и механизм подъема грузового крюка 5.



218 Тельферы: управляемый с пола цеха (а) и управляемый из кабины (б)



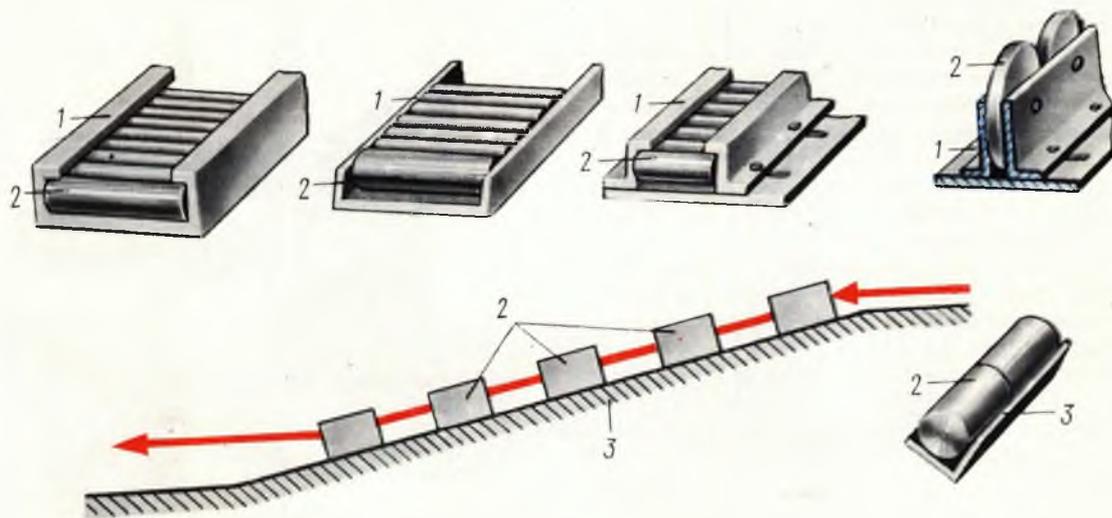
**219** Мостовой электрический кран

В массовом производстве все операции технологического процесса изготовления деталей и сборки выполняют в определенные промежутки времени. Такой характер производства обуславливает применение специфических транспортных средств, с непрерывным или периодическим перемещением. Цеховой транспорт в массовом производстве представляет собой одно из звеньев технологической цепи поточной линии, обеспечивающих непрерывную передачу заготовок от одного механизма к другому. Применяют следующие виды транспортных средств: скаты, склизы, рольганги, конвейеры, элеваторы и др. Скаты 1 и склизы 3 (рис. 220) применяются для передачи заготовок 2 от одного станка к другому. Они выполняются в виде наклонных

желобов, внутренний профиль которых соответствует форме обрабатываемой заготовки.

Рольганги, или роликовые транспортеры, изготавливаются в виде длинных роликовых столов (рис. 221, а), располагаемых вдоль рабочих мест, либо отдельных секций, устанавливаемых между соседними рабочими местами (рис. 221, б). Обычно рама 1 рольганга (см. рис. 221, а) укреплена на стойках 2 на полу цеха. В верхней части рамы устанавливают свободно вращающиеся ролики 3, по которым перемещаются заготовки. В механосборочных цехах перемещение заготовок по рольгангу производится обычно вручную.

Подвесной цепной конвейер представляет собой замкнутый в пространстве рельс, по кото-



**220** Скаты и склизы

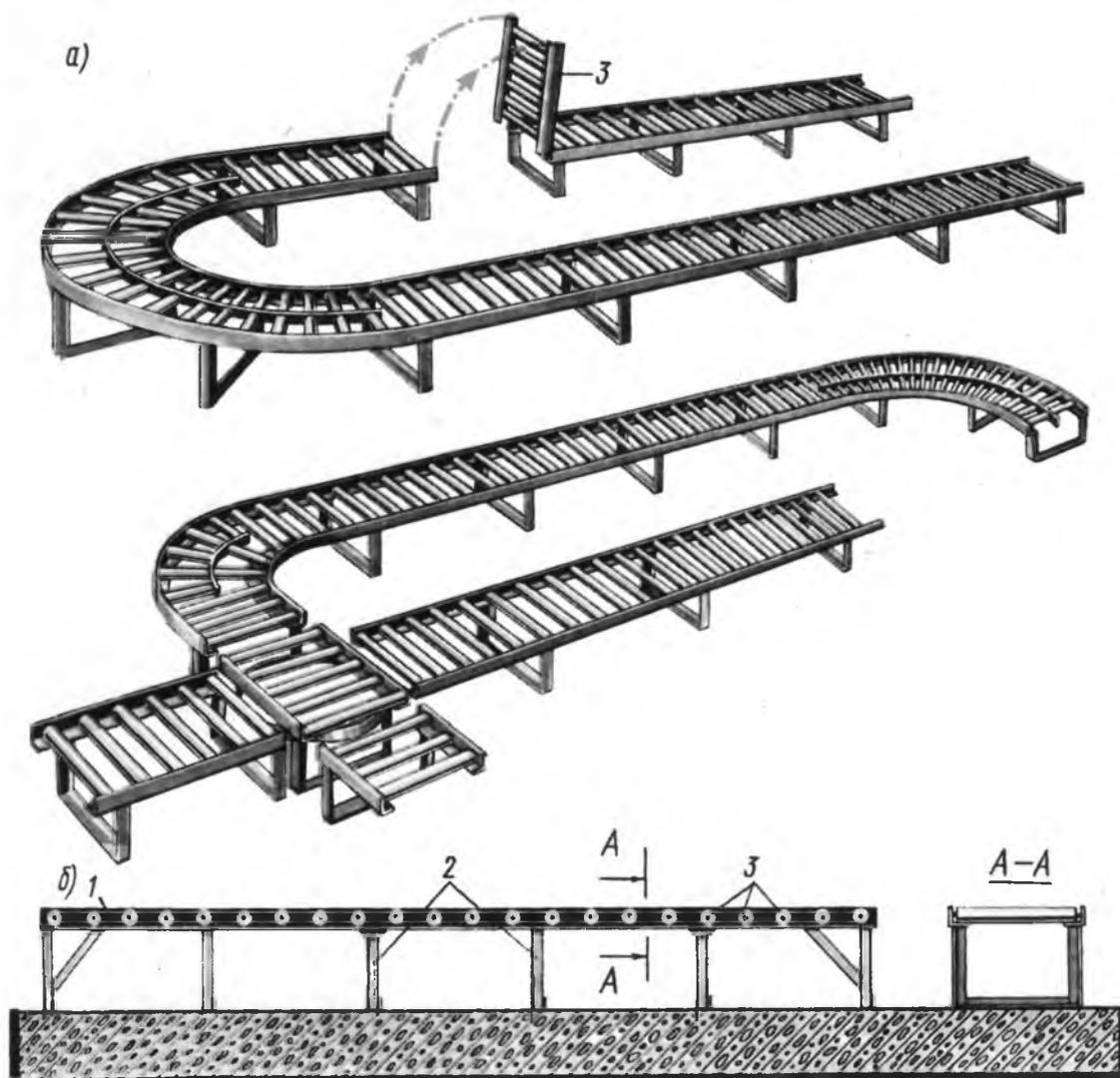
рому с помощью бесконечной цепи, приводимой в движение специальным приводом, передвигаются небольшие тележки с подвесками для груза. Такие конвейеры находят применение на заводах автотракторной промышленности, в сельхозмашиностроении и других предприятиях массового производства. Ленточный конвейер представляет собой бесконечную ленту, изготовленную обычно из прорезиненного материала, иногда со специальными гнездами для заготовок. Применяется главным образом в приборостроении, а также в обувной, швейной и резиновой промышленности.

Пластинчатый конвейер (рис. 222) имеет вместо ленты отдельные жесткие металлические или деревянные пластины, укрепленные концами на двух цепях, которые приво-

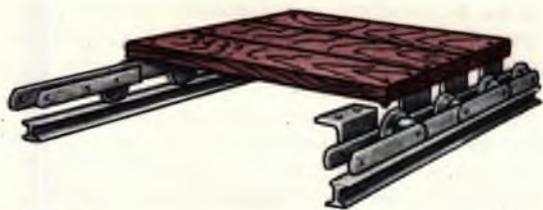
дятся в движение специальным механизмом; применяется для перемещения более тяжелых изделий, чем ленточный конвейер.

Конвейер тележечного типа применяется для передвижения тяжелых заготовок и изделий массой до 2—3 т. По рельсовому пути вручную или от привода передвигаются тележки с установленными на них заготовками, узлами или изделиями. Конвейеры тележечного типа часто используют в сборочных цехах для перемещения собираемых изделий с одной позиции на другую.

Элеваторы (рис. 223, а, б) представляют собой бесконечную цепь 1 с полками 2 для заготовок. Движение цепи обеспечивается приводом с цепными звездочками 3. Они используются в тех случаях, когда заготовки необходимо пе-



221 Рольганг



**222** Пластинчатый конвейер с деревянным плоским настилом

ремесить с одного этажа на другой или от одного станка к другому при разных уровнях их приемных устройств (бункеров, транспортеров).

Механизация уборки и транспортирования стружки является весьма важной задачей. Транспортирование стружки от станков к сборным цеховым пунктам осуществляется с помощью транспортеров, которые монтируются внутри бетонных траншей в полу цеха.

В автоматических линиях эти транспортеры встраивают в нижнюю часть станины станков.

## § 77. Элементы автоматических устройств

Системой автоматического управления называют совокупность всех элементов и устройств, обеспечивающих автоматическое управление объектом (станок, линии и т. д.) без непосредственного участия человека.

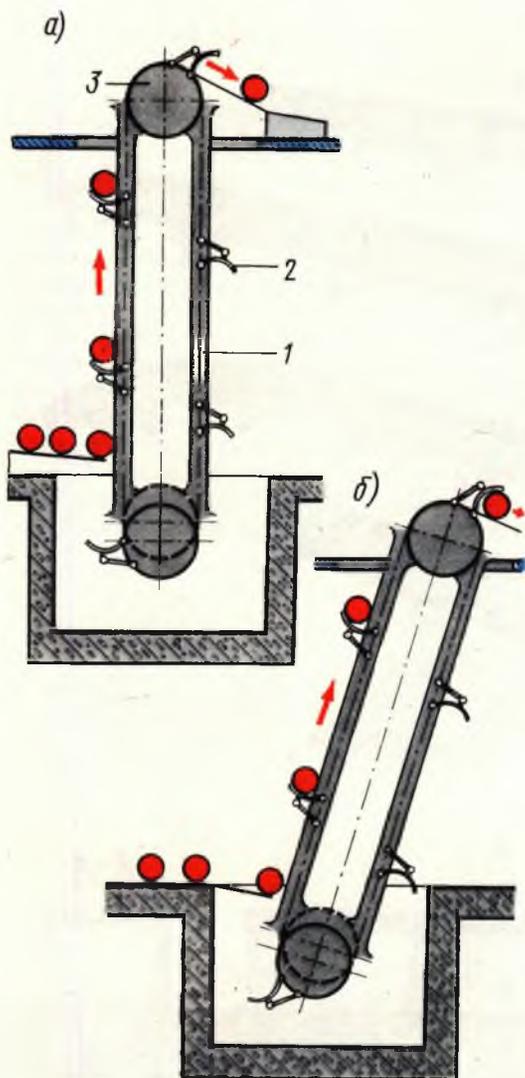
На рис. 224 представлены структурные схемы управления: без обратной связи (разомкнутые) и с обратной связью (замкнутые).

Элемент 1 этой схемы представляет собой устройство, задающее программу, которую выполняет система автоматического управления. Первичная информация подается в блок управления 2, который посылает сигналы управления в исполнительное устройство 3, воздействующее на управляемый объект 4 (рис. 224, а). Эта схема характеризуется сквозным прохождением сигналов управления через все элементы или «блоки» автоматической системы и полной независимостью действия блока управления от информации о текущем состоянии управляемого объекта. Подобные схемы называются разомкнутыми или без обратной связи. В организации процессов управления большую роль играет получение информации о текущем состоянии управляемого объекта (например, размер, форма и т. д.). Схемы управления, основанные на использовании информации о результатах управления, называются замкнутыми (с обратной связью, рис. 224, б). Принцип обратной связи лежит в основе большинства процессов управления.

### Классификация элементов автоматических устройств

Специфическими группами элементов автоматических устройств являются воспринимающие элементы, реле, усилители и исполнительные механизмы.

Источниками сигналов, поступающих в блок управления в разомкнутых системах (см.



**223** Элеваторы

рис. 224, а), являются задающие устройства. а в замкнутых — задающие и измерительные устройства, посылающие в блок управления сигналы и информацию обратной связи (см. рис. 224, б). Назначение этих элементов в том, чтобы воспринимать изменение величины регулируемого параметра управляемой системы. Они называются **в о с п р и н и м а ю щ и м и** (или чувствительными) элементами, или механизмами системы. Сигналы, поступающие от воспринимающих, или чувствительных, элементов, а также от задающих устройств, воспринимаются блоками управления. В состав этих блоков могут входить различные элементы и механизмы.

Основными элементами схем блоков управления являются реле — приборы, служащие для преобразования, размножения, а иногда и для усиления сигналов. От блока управления команды они направляются к исполнительным механизмам автоматической системы.

Однако обычно команды, выходящие из блока управления, не обладают достаточной мощностью для приведения в действие исполнительных органов. Поэтому в системах автоматических устройств часто используют **у с и л и т е л и**, предназначенные для усиления сигналов блока управления и передачи их исполнительным механизмам. Усилители бывают электрические, гидравлические и пневматические.

Отдельную группу элементов автоматических устройств составляют исполнительные механизмы, приводящие в действие рабочие органы станка.

Воспринимающие элементы по характеру работы делятся на датчики и чувствительные механизмы. **Д а т ч и к о м** называется такой чувствительный элемент, который воспринимает изменения величины какого-либо параметра

и преобразует эти изменения в электрический сигнал. Чувствительные механизмы — такие устройства, которые при соответствующем изменении параметра не только вырабатывают сигнал того или иного вида, но и непосредственно выполняют необходимое включение, выключение или переключение исполнительных органов. Датчики служат для подачи команд и регулирования процесса (например, скорости перемещения исполнительного органа).

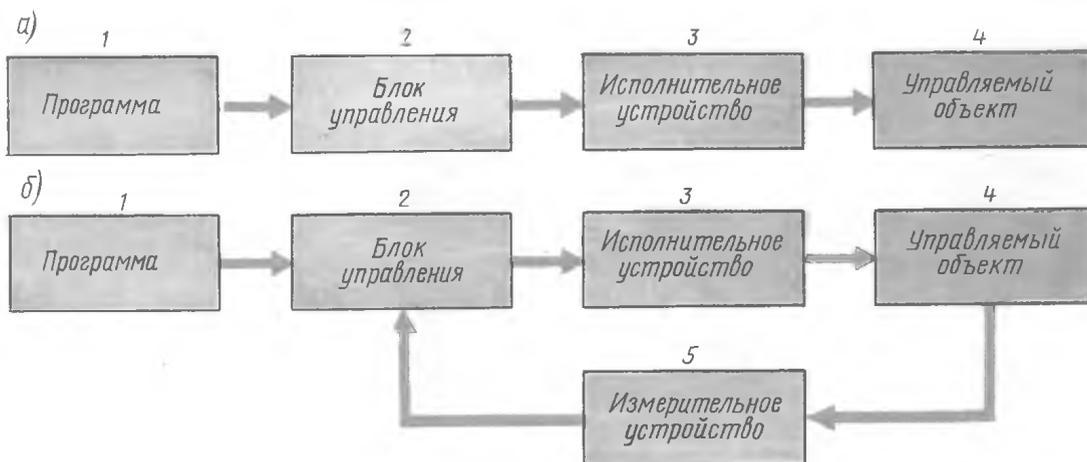
Для того чтобы станок выполнил требуемый прием обработки, на датчики должно быть оказано какое-то воздействие. Такое воздействие может быть оказано движущимися частями станка, изменением размера обрабатываемой заготовки скорости движения механизмов, давления рабочей среды и т. д.

В металлорежущих станках применяют путевые, размерные и силовые датчики. Путевыми датчиками механического типа являются подвижные и неподвижные упоры и кулачки. При встрече подвижной части станка с упором происходит необходимое движение промежуточного или исполнительного звена.

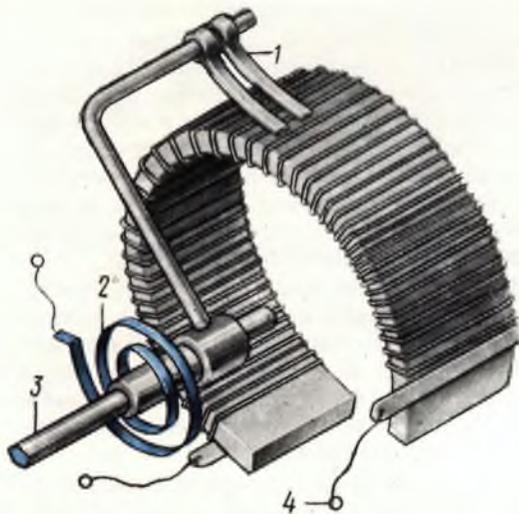
Путевые датчики (переключатели) выполняют чаще всего на электрической, пневматической или гидравлической основе, сигнал от которых поступает к исполнительным органам непосредственно или через промежуточные звенья.

Электрические путевые датчики контактного типа управления применяют для замыкания и размыкания электрической цепи управления в момент достижения движущейся частью станка заданной точки. Они называются переключателями и выключателями.

Путевые переключатели применяют чаще всего для переключения скорости (быстрый подвод, рабочая подача, отвод, обратный ход



224 Структурные схемы систем управления



**225** Кольцевой потенциометр

и т. д.), для ограничения хода и остановки движущихся частей в определенный момент пути.

Гидравлические и пневматические путевые датчики служат для того, чтобы открыть или закрыть в определенный момент доступ рабочей жидкости или воздуха к исполнительному звену.

Электрические размерные датчики применяются для замыкания или размыкания контактов электрической цепи управления при достижении на обрабатываемой поверхности заданного размера.

Силовые датчики создают командный импульс в момент, когда усилие в соответствующих механизмах станка или давление рабочей среды в системах управления достигает заданного значения.

В промежуточном звене происходит преобразование первоначального импульса, созда-

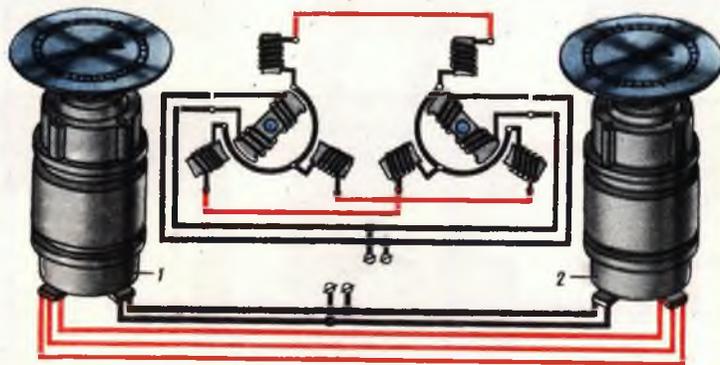
ваемого датчиком. Мощность сигналов, снимаемых с измерительных и преобразующих приборов, в большинстве случаев настолько ничтожна, что ее недостаточно для срабатывания исполнительного устройства. Поэтому необходимо усиливать выходные величины сигналов измерительных приборов.

### Измерительные элементы угловых положений

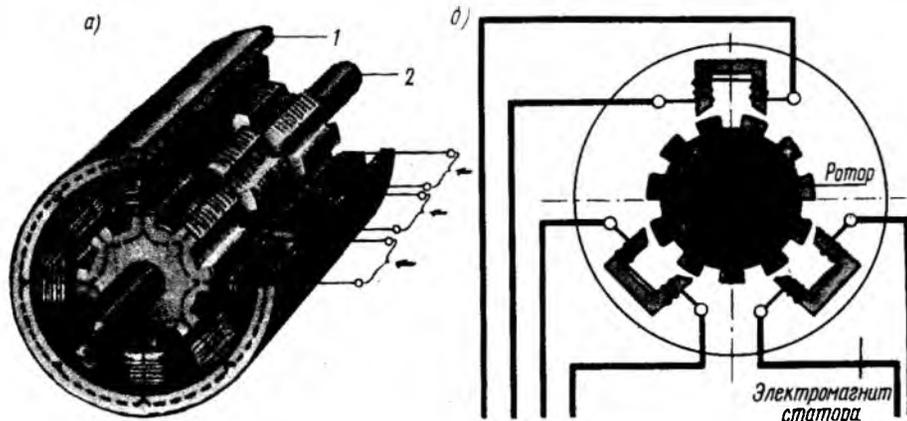
Измерительные элементы угловых положений механизмов — это датчики, предназначенные для точных измерений угловых положений исполнительных органов автоматических устройств. К ним относятся и потенциометры, сельсины и вращающиеся трансформаторы.

Кольцевые потенциометры (рис. 225) представляют собой реостатные датчики углового отклонения. Напряжение на входе изменяется пропорционально угловому повороту вала 3, с которым жестко соединен подвижный контакт 1. Изменение напряжения происходит в момент перехода от одного витка сопротивления к другому. Выходным сигналом в этих потенциометрах является напряжение на клеммах спирали 2 и контакта 4.

Сельсин (рис. 226) — маленький электродвигатель, состоящий из статора и ротора. Сельсины предназначены для дистанционной передачи углового поворота в различных системах автоматического управления. Статор сельсина-датчика имеет три обмотки, соединенные между собой. Три других конца обмотки статора сельсина-датчика 1 соединены с концами обмотки статора сельсина-приемника 2. Если повернуть ротор сельсина-датчика, то это вызовет «возмущение» электромагнитных полей в статоре сельсина-приемника, и его магнитное поле повернет ротор приемника на тот же угол.



**226** Сельсинная передача



227 Электрический шаговый двигатель

Вращающиеся трансформаторы — асинхронные двигатели с фазным ротором. Они также предназначены для дистанционной передачи углового поворота, но с большим, чем у сельсина, крутящим моментом.

#### Исполнительные механизмы

Исполнительный блок в системах автоматического регулирования и управления выполняет непосредственно действия, осуществляющие заданный прием управления (пуск и остановку станка, переключение золотников, открытие вентиля и т. д.). По принципу действия исполнительные механизмы делятся на электрические, гидравлические и пневматические.

К электрическим устройствам относятся электродвигатели переменного и постоянного тока.

В системах программного управления широкое применение находят шаговые электродвигатели.

Шаговый электродвигатель, как и любой электродвигатель, состоит из статора и ротора (рис. 227, а, б). На внутренней поверхности статора 1 расположены три ряда (секции) полюсов. Расстояние между полюсами электромагнита равно расстоянию между зубцами ротора 2. Полюса первого статора и ротора расположены точно друг против друга, полюса второго электромагнита смещены относительно зубцов ротора на  $\frac{1}{3}$  шага, а полюса третьего электромагнита — на  $\frac{2}{3}$  шага. Обмотки полюсов каждого ряда соединены последовательно. Если поочередно подавать импульсы тока постоянного напряжения на обмотки полюсов шагового электродвигателя, то ротор будет

прерывисто поворачиваться на строго определенную величину — один угловой шаг на каждый импульс тока. При малой частоте включений в единицу времени (до 30 имп./с) происходит импульсное движение стола, при большой частоте движение стола становится плавным.

Привод с шаговым электродвигателем применяют тогда, когда управление рабочими органами станка производится дискретными сигналами, т. е. отдельными импульсами, которые идут с определенной частотой и в определенном количестве. Вал шагового электродвигателя вращается прерывисто, так как каждому управляющему импульсу соответствует поворот вала на определенный угол (шаг), которому в свою очередь соответствует определенное перемещение исполнительного органа станка. Частота шаговых перемещений определяется скоростью перемещения, а количество шаговых перемещений — величиной перемещения исполнительного органа станка. Это свойство шагового электродвигателя дает возможность использовать его в системах программного управления без обратной связи, что значительно упрощает систему управления и делает её более надежной в работе.

Электромагниты предназначены для выполнения быстрых перемещений рабочих органов на небольшие расстояния. Их применяют для управления гидравлическими и пневматическими вентилями, кранами, золотниками.

Электромагнитные фрикционные муфты являются устройствами для передачи крутящего момента. Их применяют для сложных автоматических переключений станков, прессов и других машин. Применение электромагнитных муфт освобождает рабочего от переключений рычагов и рукояток, требующих затрат рабочего времени. С помощью электромагнитных

муфт осуществляется переключение зубчатых колес, реверсирование электродвигателей, соединение концов двух валов, регулирование величины передаваемого момента, обеспечивается дистанционное управление процессами переключения.

Гидроприводы применяют в станках главным образом для получения прямолинейных движений в механизмах подачи и главного движения в протяжных, строгальных, шлифовальных, агрегатных и других станках, а также в приспособлениях к металлорежущим станкам для закрепления обрабатываемых заготовок и в блокировочных механизмах для предохранения от одновременного включения двух механизмов.

Кроме того, гидроприводы применяют в механизмах управления станками, например, для переключения передвижных шестеренных блоков в коробках скоростей и подач, для переключения муфт, тормозов и т. д.

Основное преимущество гидропривода заключается в том, что он допускает возможность бесступенчатого регулирования скоростей и подач рабочих органов в значительных диапазонах, автоматического управления скоростями и подачами во время работы, получения значительных давлений и др. Гидравлические следящие устройства по сравнению с другими системами обладают наибольшей компактностью и надежностью в работе. Эти системы за последнее время получают все большее применение.

К недостаткам гидроприводов относятся: утечка рабочей жидкости (масла) через уплотнения и зазоры, проникновение воздуха в рабочую жидкость, изменение свойств рабочей жидкости в зависимости от температуры. Однако эти недостатки не могут существенно ограничивать область применения гидроприводов.

В гидравлических системах применяют шестеренные, лопастные и поршневые насосы. Поршневые и лопастные насосы могут быть регулируемые и нерегулируемые. Шестеренные насосы бывают только нерегулируемые, т. е. с постоянной производительностью.

### Пневматические приводы

Распространенным источником энергии является сжатый воздух. Он обладает следующими преимуществами:

сжатый воздух можно легко передавать на большие расстояния по трубам, а с присоединением к концам трубопроводов гибких резиновых шлангов можно легко изменять направление и длину передачи;

по сравнению с электрической и паровой энергией энергия сжатого воздуха более безопасна;

воздух упруг, он быстро передает колебания и давления;

трубы воздухопроводов не замерзают;

отработавший воздух не нуждается в отводе через особые трубы;

в некоторых случаях сжатый воздух не может быть заменен ни паром, ни другим видом энергии.

Для получения сжатого воздуха и газов применяют специальные машины — воздушные компрессоры.

Пневмоприводы могут быть вращающимися и стационарными. Для закрепления деталей в пневматических патронах часто применяют вращающийся пневмоцилиндр.

## § 78. Системы автоматических устройств

Системы автоматических устройств делятся на следующие группы:

1. Системы автоматического контроля, осуществляющие измерение, сортировку, сигнализацию и блокировку.

2. Системы автоматического управления для выполнения программного управления станками, копирования и автоматического регулирования процессов.

3. Системы связи и управления на расстоянии, осуществляющие дистанционное управление, телеуправление и телеконтроль.

### Системы автоматического контроля.

Контроль называют автоматическим, если контрольная операция выполняется без участия человека. Основными элементами этой системы являются: воспринимающий элемент (датчик), усилительный элемент (при мощном сигнале датчика он отсутствует) и исполнительный элемент. По назначению исполнительного органа автоматический контроль подразделяется на следующие виды: сигнализация, измерение, регистрация, сортировка.

Контрольная технологическая сигнализация предназначена для автоматического извещения о включении в работу или остановке отдельных вспомогательных механизмов, о положении запорных органов на различных коммуникациях и т. д.

Предупредительная сигнализация служит для автоматического извещения персонала о возникновении опасных изменений режима, грозящих аварией (например, поломка режущего инструмента, неправильная установка заготовки и др.). Аварийная сигнализация, как правило, имеет комбинированный сигнал (звуковой и световой), который подается при нарушении технологического режима.

К устройствам автоматического измерения относятся приборы и технические средства, автоматически регистрирующие размер изме-

ряемого объекта или интервал, в котором находится измеряемый параметр. Автоматическая регистрация предусматривает запись, выполненную регистрирующим (самопишущим) прибором, фиксирующим в виде линии (диаграммы) изменение значения измеряемого параметра по времени.

Устройства автоматической сортировки производят сортировку контролируемых деталей по размерам.

Устройства автоматической защиты (блокировки) служат для отключения контролируемого объекта при нарушении нормальных режимов работы, например при перегрузке электрооборудования и коротких замыканиях, поломке инструмента на станке автоматической линии и т. д.

## § 79. Автоматические линии

Автоматическими называют линии станков, связанных между собой транспортными устройствами. При этом заготовки обрабатываются без непосредственного участия рабочих под наблюдением наладчиков. Такие линии станков проектируют для массового изготовления изделий, устойчивых по конструкции, приспособленных для закрепления заготовок без индивидуальной выверки их положения и удобных для транспортирования.

Число станков в линии определяется технологическим процессом. На каждом станке обрабатываемая заготовка должна быть точно установлена, зафиксирована и закреплена. Эту роль выполняют устройства для фиксации и зажима.

Для управления и согласованной работы всех механизмов линии снабжают аппаратурой управления. Указанные устройства являются обязательными для любой автоматической линии.

Для загрузки заготовками в начале линии применяют загрузочные устройства, автоматический контроль осуществляют специальные контрольные устройства, создание заделов между отдельными станками и участками линии обеспечивается специальными устройствами для накопления заготовок. Накопители дают возможность сократить потери времени в случае вынужденной остановки какого-либо станка в линии.

Автоматические линии из агрегатных станков применяют главным образом для обработки корпусных деталей (блоков цилиндров, головок блоков, корпусов коробок передач, картеров и т. п.). В последние годы созданы комплексные автоматические линии, в которых автоматизированы не только операции механической обработки, но и другие технологические

операции (литейные, кузнечно-прессовые, сварочные, штамповочные, термообработка, окраска, мойка, сушка, сортировка, маркировка, консервация, упаковка, сборка и др.).

В СССР такими комплексными автоматическими линиями являются: завод-автомат по производству автомобильных поршней, где без участия рабочего выполняются все операции — от плавления чушек алюминия до упаковки комплекта поршней: автоматические цехи по производству шариковых, роликовых и карданных подшипников; автоматические линии для изготовления шестерен, лемехов и многих других изделий.

В массовом производстве автоматические линии из агрегатных станков создаются для изготовления какой-либо определенной детали.

В целях широкого внедрения комплексной автоматизации и механизации не только в массовом, но и в серийном производстве создаются быстропереналаживаемые автоматические линии. Их оснащают станками, допускающими возможность переналадки на изготовление деталей данного класса, но другого размера. Это серийные токарные, шлифовальные, зуборезные и другие автоматы, которые можно использовать в обычном, неавтоматизированном производстве, а также встраивать в автоматические линии. Такая линия создана на заводе «Вольта» в Таллине для изготовления валов электродвигателей различных размеров. Для переналадки линии на изготовление валов другого размера затрачивается лишь четыре часа. На этой линии осуществляются элементы сборки, в том числе и напрессовка ротора на вал.

Создание этой линии позволило уменьшить производственную площадь в 1,4 раза по сравнению с той, которая потребовалась бы при старой технологии обработки, трудоемкость обработки валов снизилась более чем в 6 раз, а число производственных рабочих уменьшилось в 6 раз.

Автоматические линии могут компоноваться не только из новых станков-автоматов, но и из действующего модернизированного оборудования.

Так, например, завод «Фрезер» построил 15 линий из модернизированных металлорежущих станков, которые обеспечивают значительное повышение производительности труда и высокий технико-экономический эффект.

Для изготовления наиболее распространенных деталей в крупносерийном и массовом производстве (валов, зубчатых колес, втулок, фланцев и др.) необходимо резко увеличить выпуск автоматических линий из легкопереналаживаемого типового оборудования.

В настоящее время в нашей промышленно-сти работают свыше двух тысяч автоматиче-

ских линий, на которых обрабатываются основные детали автомобилей, тракторов и электродвигателей, кольца подшипников, оси и валы различного назначения, зубчатые колеса, диски, фланцы и многие другие детали массового производства.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое механизация и автоматизация?
2. Какие виды внутрицеховых транспортных средств применяются на заводах единичного производства?
3. В чем заключается смысл систем автоматического управления?
4. Какой принцип работы датчиков?
5. Для чего нужны усилители?
6. Какой принцип работы шаговых электродвигателей?
7. Что такое предупредительная и аварийная сигнализация?
8. Для чего предназначены системы телемеханического управления и контроля?

# 12 Некоторые сведения о станках с числовым программным управлением

## § 80. Основные особенности станков с ЧПУ

Более 70% изделий в машиностроении изготовляют в условиях мелкосерийного и серийного производства. Эффективным средством автоматизации мелкосерийного и серийного производства является программное управление металлорежущими станками.

В станках с ЧПУ управление рабочими органами в процессе обработки производится автоматически по заранее разработанной программе без непосредственного участия рабочего. Программное управление — это такая система управления, которая обеспечивает автоматическую работу механизмов станка по легко переналаживаемой программе. Станок-автомат работает по программе, задаваемой кулачками или копирами. Переналадка станков-автоматов и копировальных станков на изготовление другой детали сложна. Поэтому их выгодно использовать лишь в крупносерийном и массовом производстве.

Принципиальное отличие станка с числовым программным управлением (ЧПУ) от обычного автомата заключается в задании программы обработки детали в математической (числовой) форме на специальной программоносителе (перфоленте или магнитной ленте). Отсюда и название — числовое управление.

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

По количеству управляемых перемещений различают системы двух-, трех-, четырехкоординатные и т. д. (например, перемещения в направлении осей координат  $x$ ,  $y$  и  $z$ , повороты и т. д.). Координату, работающую лишь при отсутствии перемещений по остальным координатам, называют половиной координаты. Так, систему называют системой с 2,5 координатами, если, например, перемещения по осям  $x$

и  $y$  могут осуществляться одновременно, а по оси  $z$  лишь при отсутствии перемещений по осям  $x$  и  $y$ .

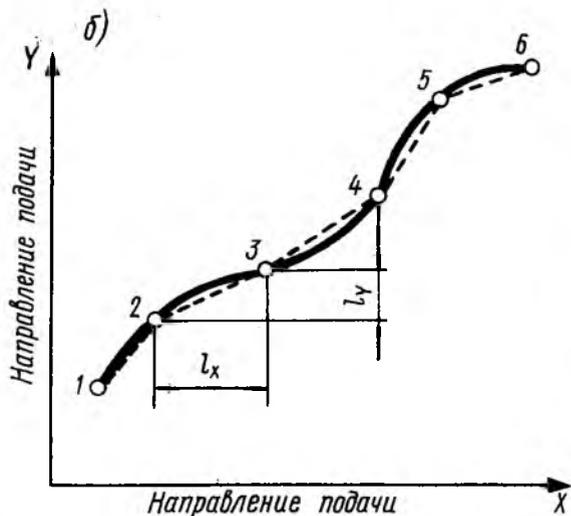
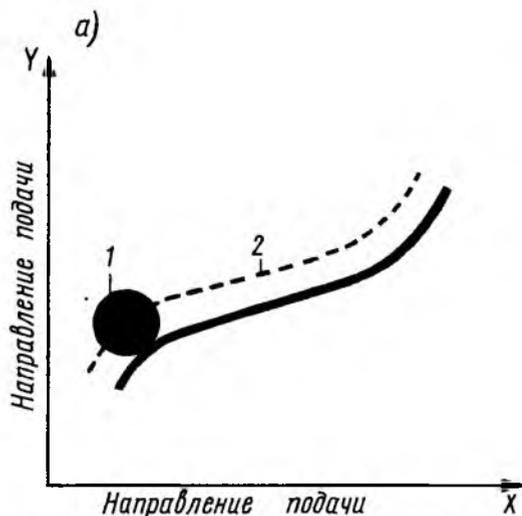
На станках с ЧПУ могут быть применены различные виды адаптивного управления, обеспечивающие оптимальное значение одного или нескольких параметров (составляющая силы резания; температуры инструмента или детали; шероховатость обработанной поверхности; оптимальные режимы резания; уровень шумов, вибраций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

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

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

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

В парке машиностроения страны доля станков с ЧПУ будет непрерывно увеличиваться при одновременном повышении их технического уровня.



228 Траектории движения центра фрезы

### § 81. Системы программного управления

Любая система программного управления состоит, как правило, из следующих устройств: программноноситель, на котором записана программа работы исполнительных механизмов станка;

устройство ввода программы;

считывающее устройство, которое превращает программу в электрические сигналы управления;

преобразующее устройство, которое преобразует полученные сигналы в рабочие команды и подает их приводу исполнительных органов станка;

привод исполнительных органов станка;

система обратной связи для активного контроля соответствия действительных перемещений исполнительных органов с заданными по программе.

Программа движения рабочих органов задается различными способами: упорами и конечными переключателями, контактами на барабанах командоаппаратов, перфорацией по определенному коду на бумажных перфокартах, лентах или кинолентах, магнитной записью на магнитных лентах и др.

Для ускорения вычислений программирование работы станка производится на электронных вычислительных машинах. Такие машины находятся в вычислительных центрах. Запись на лентах производят либо в виде отдельных импульсов (отверстия в ленте, световые штрихи и т. д.), каждый из которых соответствует определенному перемещению рабочего органа станка, либо в виде ряда чисел, каждое из кото-

рых соответствует определенному положению рабочего органа станка.

В станках с числовым программным управлением имеются задающее и следящее устройства, система исполнения команд. Некоторые станки имеют следящий механизм в системе исполнения команд. В задающем устройстве образуются управляющие сигналы, которые подаются в следящий механизм. Последний сравнивает заданную программу с выполненной и при их расхождении подает сигналы исполнительному устройству для корректирования траектории движения режущего инструмента.

Если, например, требуется обеспечить траекторию центра фрезы 1 по кривой 2 (рис. 228, а), то фактическая траектория центра фрезы будет ломаной линией (рис. 228, б), проходящей через опорные точки 1, 2, 3 и т. д. Координаты этих точек определяют числа, которые следует наносить на перфоленты или перфокарты. Движение в данном случае вызывается сочетанием двух подач — поперечной и продольной по осям  $X$  и  $Y$ . Минимальное перемещение исполнительного органа по координатным осям, соответствующее одному электрическому импульсу, называется элементарным шагом. Величина его должна быть меньше допустимой погрешности обработки.

**Перфорированные программы.** Запись программы производится на лентах или картах. При автоматизации технологических процессов с помощью вычислительных устройств используют различные способы кодированной записи чисел — в десятичной, двоичной или двоично-десятичной системе счисления.

Десятичная система счисления, которой обычно пользуются для записи чисел, имеет

десять различных знаков: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Любое число в десятичной системе счисления может быть представлено в виде многочлена. Так,  $245,170 = 2 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 + 1 \cdot 10^{-1} + 7 \cdot 10^{-2} + 0 \cdot 10^{-3}$ .

Для записи чисел в десятичной системе счисления каждому знаку на перфоленте должна быть отведена своя дорожка или канал, а каждому разряду своя строка или, наоборот, каждому знаку своя строка, а каждому разряду своя дорожка. Обычно в машиностроении числа записывают шесть разрядами: сотни, десятки, единицы, десятки, сотые и тысячные доли миллиметра. Поэтому для записи числа в десятичном коде нужны десять дорожек и шесть строк.

Например, число 245,170 может быть записано двояко (рис. 229, а и б). Более удобна первая форма записи. Однако такая запись громоздка, так как для записи только цифр нужно десять дорожек.

Большая краткость записи цифровой информации получается при кодировании в двоичной системе счисления. Основанием двоичной системы является число 2. Возводя число 2 в целую степень (0, 1, 2, 3, 4 и т. д.), получим ряд  $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4$  и т. д., который соответствует ряду 1, 2, 4, 8, 16, 32 и т. д. Любое число в двоичной системе счисления может быть представлено как сумма нескольких чисел, слагаемые которой являются числом 2 в разной степени. Так, например, число 13 можно записать следующим образом:  $13 = 2^3 + 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 2^0$ .

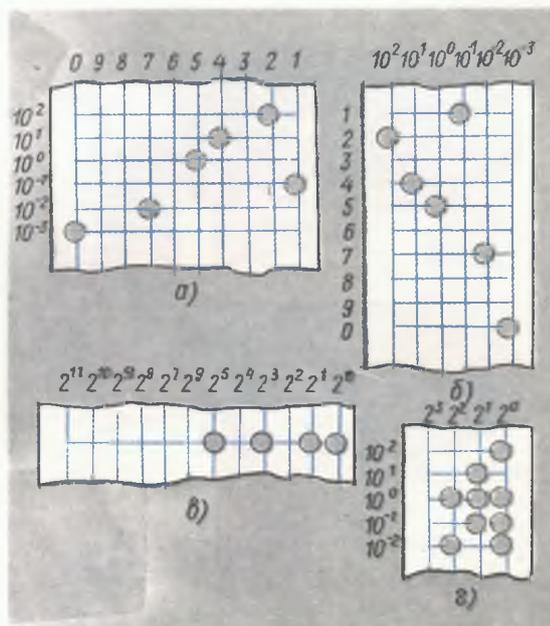
Для того чтобы преобразовать число из десятичной системы счисления в двоичную, необходимо производить последовательно деление десятичного числа на два, как показано в табл. 21 на примере числа 43.

Таблицу составляют следующим образом: делимое делят на два и частное записывают под делимым, а остаток рядом. Правый столбец, составленный из остатков после деления на два, и представляет собой изображение чисел в двоичной системе. При этом самый верхний знак записывают справа, т. е.  $43 = 101\ 011$ ; ( $43 = 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2^0$ ).

Для записи в двоичной системе ограничиваются одной строкой и пробивают отверстия круглой или прямоугольной формы только для знаков 1.

На рис. 229, в приведена запись перфорированной программы в двоичной системе счисления двоичного числа 1101 (десятичного 13) и числа 101 011 (десятичного 43).

Десятично-двоичная система счисления. В этом случае запись каждого разряда десятичного числа производится двоичным эквивалентом, называемым тетрадой, т. е. состоящей из четырех разрядов.



229 Запись чисел в различных кодах

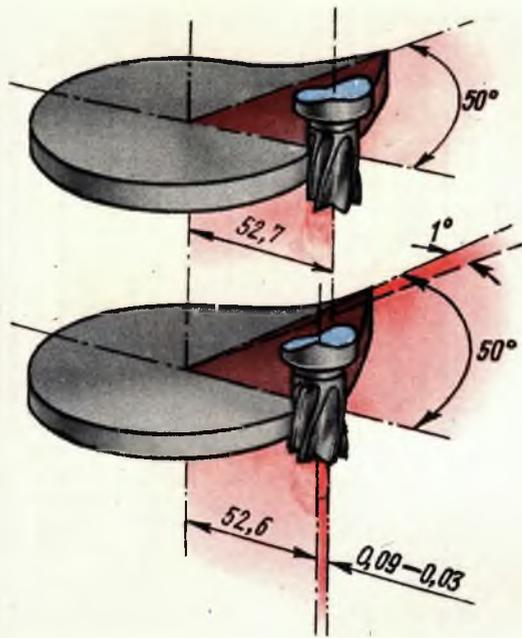
Знак	1	2	3	4	
Тетрада	0001	0010	0011	0100	
Знак	5	6	7	8	9
Тетрада	0101	0110	0111	1000	1001

В соответствии с этим правилом десятичное число 127,35 будет записано так:

1	2	7	3	5
0001	0010	0111	0011	0101

Переход от десятичных чисел к двоичным и обратно удобен тем, что для его осуществления нет необходимости в вычислениях — достаточно простой подстановки соответствующих значений. Для записи каждого десятичного разряда в этом коде нужны четыре дорожки, параллельные движению ленты, а для записи числа — столько строк поперек ленты, сколько разрядов имеет это число, т. е. для записи шестизначного числа — шесть строк. Запись числа 127,35 представлена на рис. 229, г.

В станках с ЧПУ при помощи кодирования числовая информация о положении или перемещении рабочего органа передается от управляющей программы к исполнительным органам станка. В последнее время проведена большая работа по унификации языков программирования. Эта работа координируется специальным Комитетом международной организации по стандартизации (ИСО). К языку программирования предъявляется ряд требований: мень-



**230** Подготовка программы по чертежу детали

шее число символов, возможность простой проверки правильности сделанной записи, однозначность чисел и слов, простота изучения, достаточный объем информации и др. Указанным требованиям наиболее полно отвечает код ИСО-7 битт для 8-дорожечной перфоленты шириной 25,4 мм. В этом коде обеспечивается всегда четное число перфораций (отверстий) в строке, что позволяет контролировать правильность считывания программы. Эта система имеет большую емкость и в настоящее время находит все большее применение в практике отечественного и зарубежного числового программного управления.

Процесс программного управления обработкой детали на металлорежущем станке разделяется на два этапа. Первый — составление программы обработки, второй — управление станком в соответствии с составленной программой.

Иногда в системах программного управления работой станка используются так называемые управляющие сигналы. Чаще всего это кратковременные значения (импульсы) электрического тока. С их помощью команда обозначается следующим образом. Один импульс соответствует определенному перемещению рабочего органа, два импульса — перемещению, большему в 2 раза, три — большему в 3 раза и т. д. Например, если один импульс соответствует перемещению на 0,02 мм, то два импульса на 0,04 мм, три — на 0,06 мм и т. д. Чтобы

получить электрические сигналы шифрованной программы, их записывают на ленте или карте. Каждому импульсу команды соответствует отверстие ленты. В качестве примера рассмотрим одну систему числового программного управления фрезерным станком, предназначенным для обработки дисковых кулачков на вертикально-фрезерных станках с круглым столом.

Станок работает по однокоординатной системе формообразования, при которой программные сигналы управляют только одним движением, в рассматриваемом случае — движением стола с заготовкой на фрезу или от нее, как в случае обработки кулачка по копии (см. рис. 103).

При подготовке программы по чертежу детали определяются через равные интервалы (например,  $1^\circ$  поворота заготовки) расстояния между центрами фрезы и кулачка (рис. 230). Величина интервала устанавливается так, чтобы разность между двумя смежными межцентровыми расстояниями или, иначе говоря, между двумя последовательными значениями радиуса-вектора центра фрезы не превышала 0,09 мм. На основании полученных данных составляют таблицу приращений радиуса-вектора центра фрезы на каждом интервале поворота заготовки. Приращения радиусов характеризуют величины последовательных перемещений стола, необходимых для получения требуемого профиля. В таблицу заносят также данные о направлении, в котором должны совершаться эти перемещения.

Носителем программы служит 7-дорожечная перфорированная бумажная лента. Четыре канала ленты используются для записи в двоичном коде величин приращений радиусов. Как уже отмечалось, разность между двумя смежными радиусами-векторами не превышает 0,09 мм; при этом величина приращения может иметь лишь одно из десяти возможных значений; а именно: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09 мм. Такие ограничения позволяют записывать для любого из интервалов поворота заготовки каждое из значений на одной строке, так как при четырех каналах ленты в двоичном коде на строке может быть записано любое из шестнадцати чисел от 0 до 16. В самом деле,  $2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^3 = 1 + 2 + 4 + 8 = 15$ . Два канала ленты служат для записи команд, связанных с прямым и обратным направлением движения стола. Наличие отверстий в одном канале обеспечивает команду на перемещение стола по направлению к фрезе, отверстия в другом канале изменяют направление движения на обратное. Еще один канал ленты используется для контроля правильности считывания. В этом канале пробиваются отверстия только в тех строках, которые имеют четное число отверстий. С учетом отверстий контрольного канала во всех строках программ-

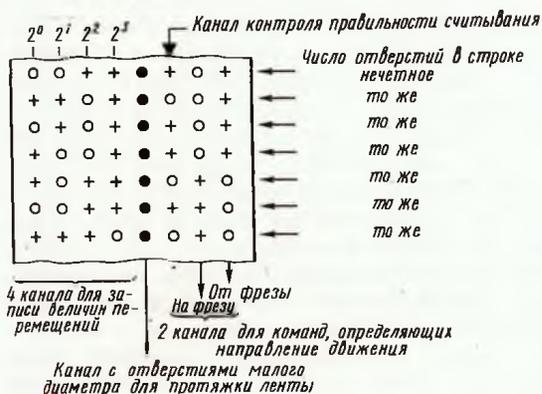
ной записи содержится нечетное число отверстий. Если в очередной строке программы считано нечетное число сигналов, то команда выполняется. Четное число сигналов свидетельствует о наличии ошибки, подается команда «стоп». Канал ленты с отверстиями меньшего диаметра по сравнению с отверстиями других каналов служит для протягивания ленты. Прорбитые подряд отверстия этого канала служат для протяжки ленты. На рис. 231 показан участок ленты с записью программы.

Для расшифровки записанной на ленте или карте программы применяют электрические, фотоэлектрические или пневматические дешифраторы.

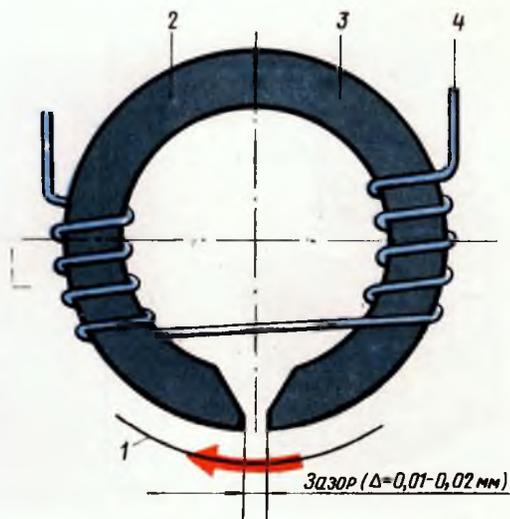
**Магнитные программы.** Принцип работы таких систем основан на записи движений на магнитную ленту и заключается в следующем (рис. 232).

Магнитная лента 1 состоит из двух слоев — нижнего нейтрального и верхнего ферромагнитного (обычно магнетит — суспензия порошкообразной окиси железа). Запись электрических импульсов (числовых кодов) на магнитную ленту 1 производится в результате местного намагничивания отдельных участков ферромагнитного слоя ленты при перемещении ее мимо записывающей головки, сердечник которой состоит из двух полуколец 2 и 3, а через катушки 4 пропускают переменный ток. Импульс тока, поданный в катушку 4 записывающей магнитной головки, создает в рабочем зазоре 1 поле, пропорциональное намагничивающим ампер-виткам. Участки носителя, проходящие в эти моменты времени над рабочим зазором, намагничиваются.

В двоичной системе счисления для изображения цифр требуются два состояния, одно из которых изображает 1, а другое — 0 (табл. 21).



**231** Участок перфорированной ленты с записью программы



**232** Головка для магнитной записи

ТАБЛИЦА 21

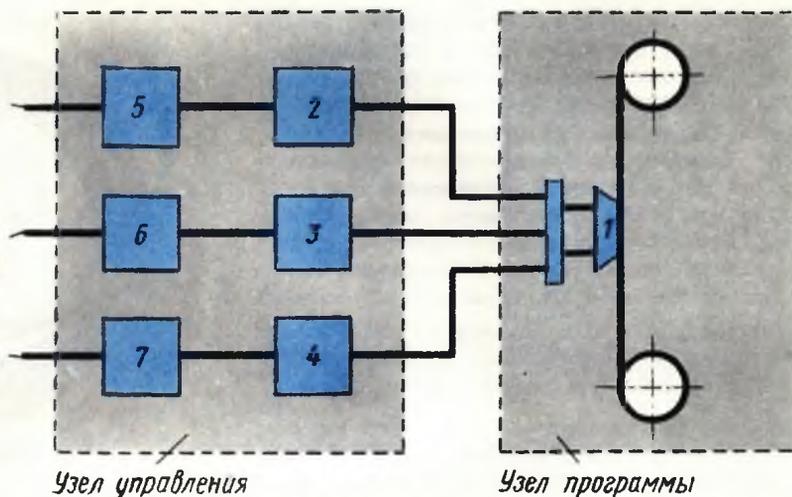
Делимое и частное	Остаток	Делимое и частное	Остаток
43	—	2	0
21	1	1	1
10	0	0	1
5	1		

При проигрывании магнитной ленты записанные на ней сигналы после прохождения через дешифратор (устройство для расшифровки записанной на ленте программы) заставляют рабочие органы станка совершать движения, необходимые для изготовления детали.

Запись программы может быть осуществлена непосредственно от станка при изготовлении на нем первой детали опытным рабочим.

Запись информации можно производить и при обводке чертежа с помощью специального фотокопировального устройства. Записанная на магнитную ленту программа работы станка может быть воспроизведена несколько тысяч раз.

Записанная на ленте программа воспроизводится при помощи прочитывающего устройства. В зависимости от вида записи прочитывающее устройство может иметь контактный или фотоэлектрический датчик в случае применения перфорированной ленты, электромагнитную головку при магнитной записи и фотоэлектрический датчик при световой записи.



**233** Схема программного управления с шаговым (импульсным) приводом подач

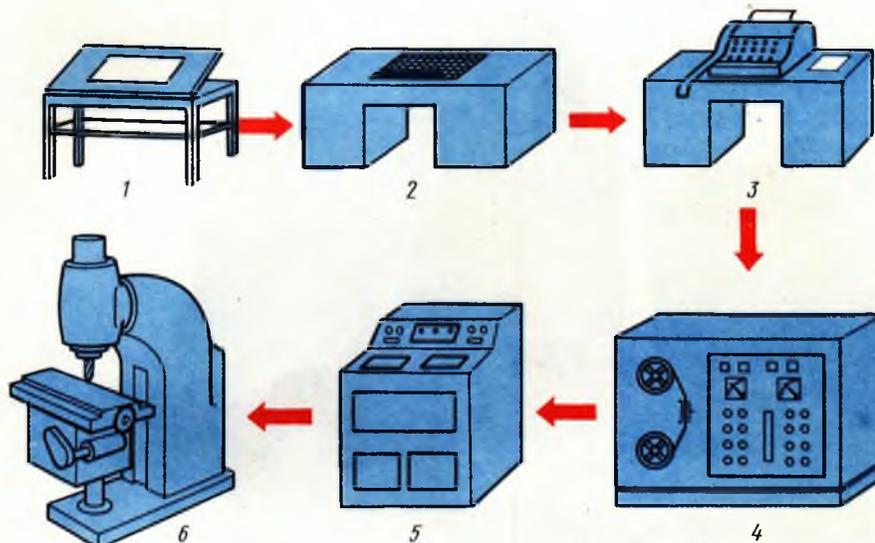
Самым ответственным элементом системы программного управления является воспроизводящее устройство — следящий привод подачи рабочих органов станка. Оно состоит из сравнивающего устройства, определяющего рассогласование между задающим сигналом и исполнением команды собственно привода, и системы обратной связи, контролирующей размер обрабатываемой детали или положения рабочих органов станка.

На рис. 233 показана структурная схема программного управления вертикально-фрезерного станка 6Н13Ф3.

Электрические импульсы с магнитной ленты считываются блоком магнитных головок 1 и направляются через трехкаскадные электроламповые усилители 2, 3 и 4 на вход распределения 5, 6, 7. Узел распределения управляет работой электрических шаговых двигателей, роторы которых при получении одного электрического импульса поворачиваются на определенную величину — один угловой шаг. Таким образом, электрические импульсы, поступающие с магнитной ленты, после усиления преобразуются шаговыми двигателями в угол поворота. Незначительная мощность шаговых электродвигателей не позволяет непосредственно управлять перемещениями исполнительного органа станка. Для получения большего момента шагового двигателя разработаны системы, в которых момент двигателя усиливается различными способами, например, с помощью гидравлических устройств. Шаговые двигатели управляют лишь поворотами крановых золотников гидравлических усилителей, которые приводят во вращение ходовые винты, перемещающие продольные и поперечные салазки и шпиндельную головку станка.

На рис. 234 показана схема подготовки программы для вертикально-фрезерного станка 6Н13Ф3. Исходным документом для составления программы служит чертеж детали и технологическая карта. Математические данные для составления программы получают в результате специальной обработки чертежа детали. Контур обрабатываемой детали разбивают на отдельные участки, определяют границы этих участков, называемые опорными точками. Для прямолинейного участка контура опорными точками являются начало и конец прямой линии; для части контура, изображенного дугой окружности, — точки на концах дуги и центр окружности. Опорными точками кривой могут быть точки на концах кривой и уравнение кривой. Отработанный таким образом чертеж дает возможность составить таблицу координат опорных точек в цифровом выражении.

Полученные данные для составления программы кодируются и наносятся в виде отверстий на перфоленту или перфокарту. Программа с записью значений координат опорных точек не может быть использована для управления станком, так как не определены промежуточные значения между всеми опорными точками. Эту трудоемкую работу выполняет электронная вычислительная машина. Результаты всех вычислений и необходимые вспомогательные команды записываются на окончательный программноноситель — магнитную ленту. Значения опорных и промежуточных точек, рассчитанные вычислительной машиной, представляют собой полную программу движения режущего инструмента по траектории, соответствующей профилю обрабатываемой детали.



234 Подготовка программы

## § 82. Станки с числовым программным управлением

В настоящее время в отечественной промышленности эксплуатируются тысячи станков с программным управлением.

Системы программного управления делятся на цикловые и числовые.

Конструкции металлорежущих станков с цикловым программным управлением отличаются многообразием устройств, задающих программу цикла обработки (штекерные и клавишные панели, панели с переключателями, барабаны с перфокартами, перфолентами и т. д.).

К станкам со штекерной системой программного управления относятся горизонтально-фрезерные станки моделей 6А82Г, 6А12П, 6В13П и др.

В станках моделей 6А82Г и 6А12П программируются перемещения стола в трех направлениях, включение механизма выбора зазора в винтовой паре продольного хода стола, автоматическое опускание консоли на 1,0 мм во время ускоренного хода стола и обратной подаче ее в прежнее положение.

На этих станках можно производить обработку по программе, включающей до 24 переходов. Настройка станка для работы по программе состоит из двух операций: расстановки штекеров на пульте согласно заданной программе и расстановки кулачков в Т-образных пазах стола.

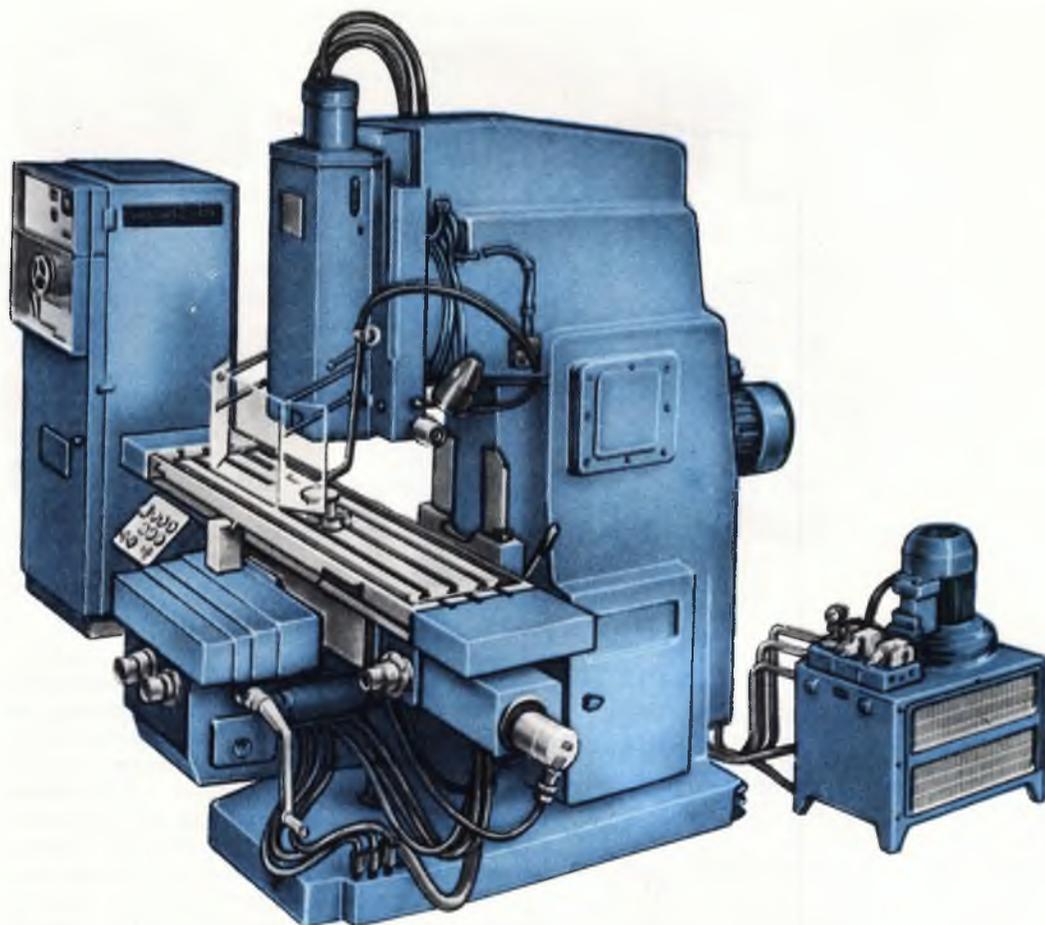
Носителем программы в станках с цикловым программным управлением является вращающийся барабан с рядами отверстий, в которые вставляются штифты. Расстановкой

штифтов задаются все необходимые команды, а также величины перемещений в десятичной системе счисления. Исполнение и точность перемещений осуществляются с помощью отсчетных устройств с применением индуктивных датчиков. В отличие от «жестких» программно-носителей (перфорированная лента или карта, магнитная лента, фотолента и др.) данный способ задания программы позволяет быстро подготовить новую программу при смене объекта производства. Кроме того, легко корректировать программу, не прерывая обработки.

Станок модели 6530Ц предназначен для полуавтоматической обработки деталей. Система циклового программного управления позволяет в соответствии с программой производить обработку плоскостей по трем координатам. Возможна также многопроходная обработка заготовок.

Числовые системы программного управления (ЧПУ), применяемые на фрезерных станках, бывают двух видов: замкнутые с приводом непрерывного перемещения рабочих органов и непрерывным контролем датчиками обратной связи и разомкнутые, в которых перемещение рабочих органов точно дозировано шаговыми двигателями, без применения датчиков обратной связи.

К станкам с числовым программным управлением относятся станки моделей 6М11Ф3, 6Р11Ф3, выпускаемые Дмитровским заводом фрезерных станков на базе вертикально-фрезерного консольного станка модели 6М11, станок 6М13ГЭ-2, 6М13ФЭ-2 (6Н13Ф3) вертикально-фрезерный консольный станок с числовым программным управлением и адаптивным контролем модели 6Р13Ф3 и вертикально-фрезер-



**235** Вертикальный консольно-фрезерный станок с числовым программным управлением модели 6P13Ф3

ный консольный станок с револьверной головкой и числовым программным управлением модели 6P13Ф3, выпускаемые Горьковским заводом фрезерных станков; вертикально-фрезерный станок с крестовым столом и числовым программным управлением модели ЛФ66Ф3 Львовского завода фрезерных станков; вертикально-фрезерный станок с числовым программным управлением модели МА655 ЭНИМСа и завода «Станкоконструкция»; вертикально-фрезерный станок с крестовым столом и числовым программным управлением модели 654Ф3 Ульяновского завода тяжелых и уникальных станков и др.

Станок ФП-4, аналогичный по техническим характеристикам станку 6Н3Ф3, оснащен круглым столом и предназначен для обработки деталей кольцевого типа. Многокоординатным станком является ФП-11 (5 координат), который предназначен для обработки крупногабаритных деталей пространственно-сложных фасонных поверхностей двойной кривизны.

На рис. 235 показан вертикальный консольно-фрезерный станок модели 6P13Ф3 с числовым программным управлением. Станок предназначен для обработки концевыми и радиусными фрезами заготовок деталей сложной конфигурации (штампы, кулачки, копиры и др.).

Обработка пространственно-сложных фасонных поверхностей достигается сочетанием движения стола станка с обрабатываемой заготовкой в горизонтальной плоскости по двум координатам ( $X$  — в продольном,  $Y$  — в поперечном направлениях) и вертикального перемещения  $Z$  шпиндельной головки с режущими инструментами. Станок снабжен серийно выпускаемым устройством (пультом) ЧПУ типа 2ПТ-71/3. В станке применена шаговая разомкнутая система числового программного управления с вводом информации на бумажную 5-дорожечную ленту шириной 17,4 мм (ГОСТ 10860—68) в виде последовательности символов, наносимых с помощью перфораторов и реперфораторов.

Продольное перемещение стол получает от редуктора с шаговым электродвигателем, установленным на правом торце салазок и от передачи винт — гайка качения. Возможны движения по оси  $X$  в пределах  $\pm 500$  мм. Поперечное перемещение салазок со столом (по оси  $Y$  в пределах  $\pm 200$  мм) осуществляется также от аналогичного привода, установленного в консоли. Ходовой шариковый винт для поперечного перемещения салазок со столом выполнен вращающимся в шарикоподшипниках и смонтирован в корпусе консоли.

Вертикальное перемещение консоли осуществляется от гидродвигателя, установленного на правой стенке консоли через пару конических зубчатых колес и винтовую пару. Когда ползун находится в крайнем верхнем положении, возможно движение по оси, равное  $+150$  мм.

Режущий инструмент в шпинделе крепится механизмом зажима инструмента, смонтированным в верхней части ползуна.

### Гидроборудование

Станок укомплектован стандартной гидростанцией. Гидравлический привод осуществляет: продольное и поперечное перемещения стола, вертикальное перемещение консоли и ползуна; кроме того, гидравлический привод включает: насосную станцию, три электрогидропривода, гидромотор, гидроцилиндр отжима инструмента, аппаратуру управления и коммуникации.

Насосная станция представляет собой автономный узел и включает в себя резервуар для масла, насосный аппарат, систему подпитки, фильтрации и охлаждения рабочей жидкости, а также необходимую контрольно-регулирующую аппаратуру. Насосная станция автоматически изменяет производительность насоса в соответствии с расходом, потребляемом гидросистемой при постоянном давлении в напорной и сливной магистральных. Электрогидроприводы предназначены для продольного и поперечного перемещений стола, а также для вертикального перемещения ползуна по заданной программе; гидромотор — для вертикального перемещения консоли.

Станок модели 6P13PФ3 предназначен для фрезерования, сверления, развертывания и зенкерования деталей. Смена инструмента осуществляется поворотной револьверной головкой по программе.

Один из пяти шпинделей револьверной головки (силовой шпиндель) предназначен для работ торцовыми фрезами диаметром до 125 мм и концевыми фрезами диаметром до 50 мм. Остальные четыре малых шпинделя рекомендуются использовать для фрезерных работ концевыми фрезами диаметром до 40 мм, для

сверления, зенкерования и развертывания отверстий до диаметра 20 мм, для рассверливания отверстий до диаметра 30 мм. Крепление оправки с инструментом в силовом шпинделе производится шомполом, а в малых шпинделях — накидной гайкой. Наличие гильзы в малых шпинделях позволяет регулировать вылет инструмента в пределах от 0 до 30 мм. Для установки различных инструментов в коническом отверстии шпинделей имеются переходные втулки и оправки. Обрабатываемые детали могут закрепляться непосредственно на рабочей поверхности стола прихватами или в приспособлении. Для выверки приспособлений на столе имеется калиброванный продольный (средний) паз, а также калиброванное отверстие  $\phi 40A_3$ .

Станок модели MA655 предназначен для обработки деталей криволинейной формы (шаблоны, кулачки), а также фасонных поверхностей (вырубные штампы, пресс-формы и др.). Станок быстро переналаживается на обработку новой детали.

Станок модели 654Ф3 предназначен для обработки по программе деталей, состоящих из плоскостей и объемных поверхностей. Система числового программного управления позволяет изменять величину подачи в процессе резания и вводит информацию о фактическом радиусе фрезы непосредственно с пульта управления. Отличительной особенностью конструкции станка является то, что большинство узлов станка собрано в отдельных корпусах, что облегчает сборку и разборку станка при ремонте.

### Обрабатывающие центры (многоцелевые или многооперационные станки)

Под обрабатывающими центрами понимают автоматизированный станок с числовым программным управлением, обеспечивающий выполнение большого количества технологических операций без переоборудования деталей и с автоматической сменой инструмента. Эти станки предназначены для последовательной обработки корпусных деталей несколькими инструментами. К ним относятся: вертикальный сверлильно-фрезерно-расточный станок с числовым программным управлением и автоматической сменой инструмента модели 243ВФ4 и горизонтальный фрезерно-сверлильно-расточный станок модели 6906ВФ4; продольно-фрезерный станок с горизонтальным шпинделем, числовым программным управлением и инструментальным магазином модели 6305Ф4 и горизонтальный фрезерно-сверлильно-расточный станок с крестовым поворотным столом, числовым программным управлением и инструментальным магазином модели ГЦ-08 и др. Станок модели 243ВФ4

предназначен для полустогового и чистого фрезерования плоскостей, сверления, зенкерования, растачивания, развертывания и нарезания резьбы метчиками по заданной программе.

Станок модели 6906ВФ4 предназначен для комплексной обработки корпусных деталей с четырех сторон без их переустановки. На станке можно производить фрезерование торцовыми и дисковыми фрезами, растачивание, сверление, зенкерование, развертывание и нарезание резьбы метчиками по заданной программе. На станке программируются: координатные перемещения стола и шпиндельной головки; их зажим; скорости перемещений; числа оборотов шпинделя; смена инструмента; циклы обработки. На станке можно производить фрезерование плоскостей и фасонных поверхностей, расфрезерование круглых отверстий взамен черного растачивания, сверление и растачивание отверстий. Станок имеет дисковый магазин емкостью 24 инструмента.

Обрабатываемые центры позволяют:

производить обработку деталей по методу концентрации операций при минимальном количестве переустановок детали;

осуществить ряд операций (фрезерование, сверление, растачивание, резьбофрезерование и др.), что позволяет заменять несколько универсальных станков.

Эти станки сочетают в себе свойства автоматических линий (многооперационность, автоматический цикл) с гибкостью универсальных станков.

### § 83. Автоматизированные участки станков с ЧПУ

Одним из способов получения максимального экономического эффекта от внедрения станков с ЧПУ является концентрация станков на отдельных участках или в цехах. Такая концентрация имеет следующие преимущества: дает возможность организовать технологический поток при обработке сложных деталей; применять обработку деталей по методу групповой обработки; применять многостаночное обслуживание; повысить надежность работы станков; снизить затраты на обслуживающий персонал и др. По мере увеличения станочного парка и накопления опыта эксплуатации станков структура участков (цехов) с ЧПУ будет совершенствоваться путем применения группового управления и централизованного управления станками с ЧПУ, а также путем создания автоматизированных участков станков с ЧПУ. Создание автоматизированных участков из станков с ЧПУ является первым шагом к созданию больших автоматизированных систем,

в которых планирование производства, определение оптимальной технологии и режимов обработки, а также управление станками осуществляется при помощи вычислительной техники.

Из металлорежущих станков с ЧПУ, в особенности станков типа «обрабатывающий центр», целесообразно организовывать автоматизированные участки для комплексной обработки определенных типов деталей.

Рядом организаций во главе с ЭНИМСом изготовлен, отлажен и внедрен в 1973 г. в первую стадию промышленной эксплуатации на заводе «Станкоконструкция» автоматизированный участок АУ-1 станков с ЧПУ от ЭВМ. Автоматизированный участок предназначен для комплексной механической обработки деталей: тел вращения (валы гладкие и ступенчатые, гильзы, стаканы, диски, фланцы, заготовки зубчатых колес), кулачков, эксцентров и др.

Построен также участок станков с ЧПУ для механической обработки мелких и средних корпусных деталей и деталей типа рычагов, планок, крышек и т. д. Этот участок имеет автоматизированную транспортно-складскую систему, созданную институтом Оргстанкинпром. Участок состоит из шести станков: горизонтально-расточного станка модели МА2612Ф2 с ЧПУ и автоматической сменной инструмента (до 100 шт.) завода «Станкоконструкция», четырех станков ГЗФС — горизонтально-фрезерно-сверлильно-расточного станка с ЧПУ с крестовым поворотным столом и магазином на 30 инструментов модели ГЦ-08, одностоечного продольно-фрезерного станка с ЧПУ и автоматической сменной инструмента модели 6305Ф4, вертикально-фрезерного консольного станка с ЧПУ модели 6Р13РФ3, вертикально-фрезерного консольного станка с ЧПУ модели 6Р13Ф3. Кроме того, на участке установлены консольный вертикально-фрезерный станок модели 6Р11Ф3 с ЧПУ производства ДЗФС и автоматизированная транспортно-складская система Оргстанкинпрома.

Существуют четыре режима управления:

1. Автоматический режим группового программного управления станками и транспортно-складской системой от ЭВМ.

2. Автоматический режим программного управления транспортно-складской системой от ЭВМ, а управление каждого станка — от одного группового или индивидуального пульта ЧПУ.

3. Полуавтоматический режим, который предусматривает, что программа работы транспортно-складской системы разработана ЭВМ лишь на определенный период.

4. Режим ручного ввода программы, который предусматривает применение автоматизированной транспортно-складской системы на предприятиях, не имеющих ЭВМ (сменное задание в этом случае разрабатывают вручную).

## § 84. Правила технической эксплуатации станков с числовым программным управлением

ЭНИМСом разработаны «Правила технической эксплуатации станков с устройством числового программного управления», М., 1972. Эти правила включают следующие разделы: устройство помещений; устройство оснований и монтаж станков с ЧПУ; работа на станках с ЧПУ; уход за станками с устройствами ЧПУ; надзор за соблюдением правил эксплуатации и состоянием станков с ЧПУ.

Приведем некоторые положения из указанных правил эксплуатации.

Длительное сохранение у металлорежущих станков с ЧПУ первоначальных технических показателей возможно только при установке их в закрытых отапливаемых помещениях. Станки с ЧПУ классов Н и П можно устанавливать в общих помещениях механических цехов; станки с ЧПУ классов В и А следует устанавливать только в изолированных помещениях.

Металлорежущие станки с ЧПУ независимо от класса точности должны использоваться для круга работ, ограничиваемого технологическим назначением станка; обеспечиваемой точностью и шероховатостью обрабатываемых поверхностей; наибольшими допускаемыми нагрузками при обработке деталей.

На станках с ЧПУ классов В и А производят только те виды работ, которые указаны в заводских руководствах по эксплуатации станков. Станки с ЧПУ более высокого класса точности не следует использовать для обработки деталей, которые по точности, заданной чертежом, могут быть обработаны на станках низшего класса. На станках с ЧПУ не допускается работа затупившимся инструментом. К наладке станков и устройств ЧПУ могут допускаться только квалифицированные наладчики. К работе на станках с ЧПУ и их обслуживанию допускаются только лица, изучившие конструктивные и технологические особенности станков и устройств ЧПУ и правила технической эксплуатации; прошедшие специальный инструктаж; сдавшие экзамены заводской квалификационной комиссии и получившие удостоверение на право работы на станках или их обслуживания и ремонта.

Уход за станками с устройствами ЧПУ состоит из ежедневного и периодического планового осмотра и проверки станков, их электрооборудования и устройств ЧПУ; постоянного поддержания чистоты станков и устройств ЧПУ, систематической смазки всех поверхностей трения и устройств ЧПУ и др.

Обязательный ежедневный профилактический осмотр станка и устройств ЧПУ производят оператор, дежурный слесарь, наладчик устройств ЧПУ в начале каждой смены. Проверив отсутствие у станка и устройств ЧПУ внешних

повреждений, препятствующих пуску станка, оператор включает устройство ЧПУ и проверяет его работоспособность на холостом ходу приводов станка. При этом проверяют наличие напряжений, функционирование органов управления и исправность сигнализации на пульте управления. Каждый раз перед вводом программы оператор производит проверку чистоты деталей лентопротяжного механизма, очищает его от пыли (без разборки), а при необходимости производит промывку спиртом (ГОСТ 5962—67).

Если рабочая программа выполняется со сбоями или не идет, оператор записывает дату и время остановки и предполагаемую причину отказа и вызывает соответственно дежурного слесаря, наладчика устройств ЧПУ или дежурного электрика. После устранения неисправности оператор отмечает в журнале время простоя станка в ремонте, причину сбоя и отказа и наименование замененных или отремонтированных деталей, узлов, блоков.

Перед началом работы следует тщательно осмотреть станок и пульт программного управления, установить все рукоятки ручного управления в нейтральное положение. Перед началом обработки необходимо: включить лентопротяжный механизм пульта управления и проверить его работу на всех режимах; проверить плавность перемещения рабочих органов станка от пульта и тумблеров ручного управления на всех подачах; убедиться в наличии нормального давления в гидросистеме при включении каждой подачи и при совместной работе всех подач на максимальных режимах.

В процессе работы станочник-оператор должен следить за уровнем масла в баке гидросистемы, а также за нормальной подачей СОЖ. Он должен внимательно смотреть за работой и смазкой шпинделя и всех частей станка и в случае замеченной неисправности (нагрев, стук и т. д.) немедленно остановить станок и вызвать ответственных лиц для устранения неисправностей. Устранение каких-либо неисправностей на ходу станка не производить. Проверку и установку обрабатываемой заготовки производить только после полной остановки станка. Необходимо следить за отсутствием сбоев. При наличии сбоев нажать кнопку остановки лентопротяжного механизма и вызвать наладчика.

Оператор должен удалять стружку со стола прецизионного станка после снятия каждой обработанной детали. Для удаления стружки со столов, салазок и станин станков с ЧПУ следует применять капроновые, волосяные или щетинные щетки. Для этой цели могут быть использованы пылесосы. Категорически запрещается обдувка станков с ЧПУ сжатым воздухом и применение металлических щеток и крючков.

По окончании смены станок и устройства ЧПУ необходимо тщательно очистить и оттереть. Наружные поверхности должны быть смазаны маслом, указанным в инструкции.

Все остальные обработанные поверхности обтирают чистыми (стиранными) хлопчатобумажными, льняными или фланелевыми техническими салфетками, пропитанными маслом. Недопустимо применение обтирочных концов, выпускаемых в виде спрессованных тюков, нестиранных лоскутов различных материалов, содержащих обрывки нитей, включения ваты и различный сор. Станочнику-оператору категорически запрещается: отлучаться во время работы от работающего станка (станков); передавать станок другому лицу; разрешать посторонним лицам подходить к станку и касаться органов управления; открывать пульт и шкафы

пускателей и электроаппаратуры. При двухсменной и трехсменной работе оператор, очистив и протерев станок, должен передать его сменщику.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1. Как записываются числа в двоичной системе счисления?**
- 2. В чем преимущество станков с программным управлением перед универсальными станками?**
- 3. Как задается программа на станках с числовым программным управлением?**
- 4. Какие станки относятся к обрабатывающим центрам?**
- 5. Какие вы знаете правила эксплуатации станков с числовым программным управлением?**

## § 85. Техника безопасности

Основное значение техники безопасности — обеспечение безопасности и безвредности труда без снижения его производительности. Осуществление этих требований сводится к проведению комплекса мероприятий, направленных на предохранение работающего от различного рода травм, предотвращение вредных, вызываемых условиями работы, воздействий на организм человека.

Производственной травмой считают телесное повреждение, в результате которого наступает временная или постоянная потеря трудоспособности. Причинами производственного травматизма являются механические, электрические, химические или другого рода воздействия на организм человека, а также острые отравления, ожоги, происшедшие в производственных условиях.

Невнимательность работающего как на рабочем месте, так и при передвижении по территории цеха, завода, неисправность подъемно-транспортного оборудования, станков, приспособлений, плохая организация рабочих мест и т. д. часто приводят к несчастным случаям. Иногда причиной производственных травм является загроможденность рабочих мест и проходов полуфабрикатами и готовой продукцией. В механических цехах к несчастным случаям может привести незнание рабочими правил техники безопасности, устройства станка, неисправности электрооборудования станка и проводки, отсутствие ограждений и предохранительных устройств, применение неправильных приемов работы на станке, неправильное ношение спецодежды, невнимательность самого рабочего, невыполнение правил техники безопасности и правил внутреннего распорядка и др.

Опасность представляют внутривозвездской автомобильный транспорт, безрельсовый электротранспорт, подъемные краны, ручные вагонетки и др.

Значительная часть несчастных случаев с фрезеровщиками происходит при транспорти-

ровке, установке и снятии фрез, приспособлений и обрабатываемых заготовок. Ниже приведены основные требования техники безопасности по транспортировке, установке и снятию фрез:

1. Фрезы должны храниться и транспортироваться в специальной таре или снабжаться защитными деревянными кольцами.

2. При установке фрез необходимо надевать рукавицы. Легкие фрезы массой до 3 кг устанавливают вручную, а фрезы массой от 3 до 8 кг следует устанавливать на вертикально-фрезерных станках следующим образом:

а) положить фрезу хвостовиком вверх на деревянную подкладку, уложенную на столе станка;

б) перемещая стол, подвести фрезу под шпиндель;

в) поднять стол вверх;

г) завести хвостовик фрезы в отверстие шпинделя и посадить фрезу на шпиндель;

д) закрепить фрезу.

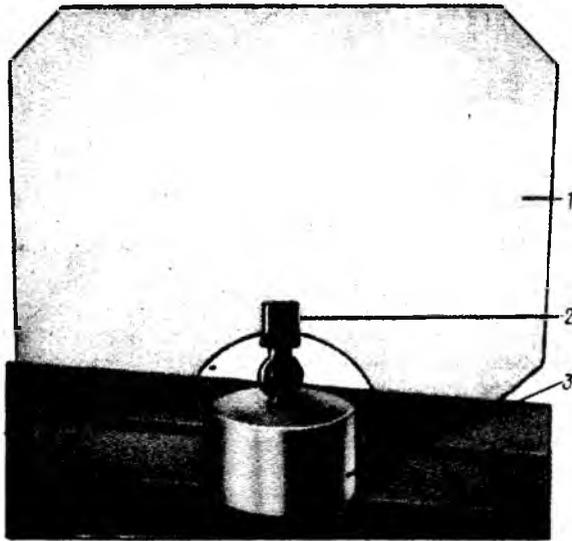
Съем фрез со станка производится в обратном порядке при соблюдении тех же мер предосторожности. Фрезы массой более 8 кг следует устанавливать при помощи специальных подъемных средств.

Приспособления и заготовки массой более 20 кг устанавливают и снимают подъемными средствами (кранами, тельферами и др.). Крепление обрабатываемых заготовок на столе станка или в приспособлении должно быть надежным.

Тяжелые универсальные приспособления (делительные головки, машинные тиски и др.), постоянно находящиеся на рабочем месте, хранятся на стеллажах и специальных подставках.

Поражение электрическим током опасно для жизни человека, поэтому запрещается прикасаться к любым проводам, в особенности неизолированным или плохо изолированным.

Для защиты рабочего от брызг смазочно-охлаждающей жидкости и стружки применяют защитные ограждения зоны резания. При отсут-



**236** Защитный экран на магнитной подставке

ствии указанных устройств работать на станке не разрешается. Для защиты глаз от ранений и ожогов стружкой применяют защитные очки, индивидуальные щитки, специальные кожухи для фрез и др.

На рис. 236 изображен защитный экран на магнитной подставке, применяемый при работе на фрезерных станках. Экран 1 из плексигласа крепится к подставке 3 с помощью шарнирной вилки 2. В подставку вмонтирован постоянный оксидно-бариевый или литой магнит, обеспечивающий прижатие ее к столу с силой 6 кг. Экран на магнитной подставке можно устанавливать в любом удобном месте стола в зависимости от характера обработки.

Для предотвращения притяжения мелкой стружки к магнитной подставке подставка закрывается кожухом.

Иногда ограждают всю поверхность стола для защиты рабочего от отлетающей стружки и брызг смазочно-охлаждающей жидкости.

Ввиду большого многообразия видов фрезерных работ и обрабатываемых заготовок конструкция ограждения к станкам может быть различной в зависимости от конкретных условий обработки. Один из вариантов ограждения, устанавливаемых на поворотную головку станков 6Р12 и 6Р13, показан на рис. 237. Ограждающее устройство состоит из отражательного щитка 1 и четырехзвенника 2 для его перемещения и установки по высоте.

Спецодежда предназначена для защиты рабочего от воздействия масел, смазочно-охлаждающих жидкостей, эмульсий и т. д. Спецодежда должна быть застегнута на все пуговицы. Волосы убраны под головной убор. Для защиты кожи рук следует пользоваться защитными пас-

тами и мазями. При несчастных случаях необходимо немедленно обращаться за помощью в медпункт. Так как техника безопасности непосредственно связана с технологией производства, то соблюдение технологической дисциплины, выполнение правил технической эксплуатации, высокая трудовая дисциплина являются важнейшими условиями, обеспечивающими безопасность труда. Большое значение для создания благоприятных условий труда имеют освещение, вентиляция, отопление, защита от шума, вибраций, от воздействия электрического тока, чистота и порядок как на каждом рабочем месте, как и на предприятии.

Правильное сочетание освещения и цвета окраски помещения и оборудования способствуют повышению производительности труда.

В красный цвет окрашивают внутренние поверхности ограждающих устройств, фон для быстро перемещающихся деталей и механизмов (например, фон в нишах для сменных быстро вращающихся зубчатых колес, внутренние поверхности коробок скоростей и коробок передач) и быстро перемещающиеся детали и механизмы, кнопки и рукоятки включения и аварийные кнопки «Стоп».

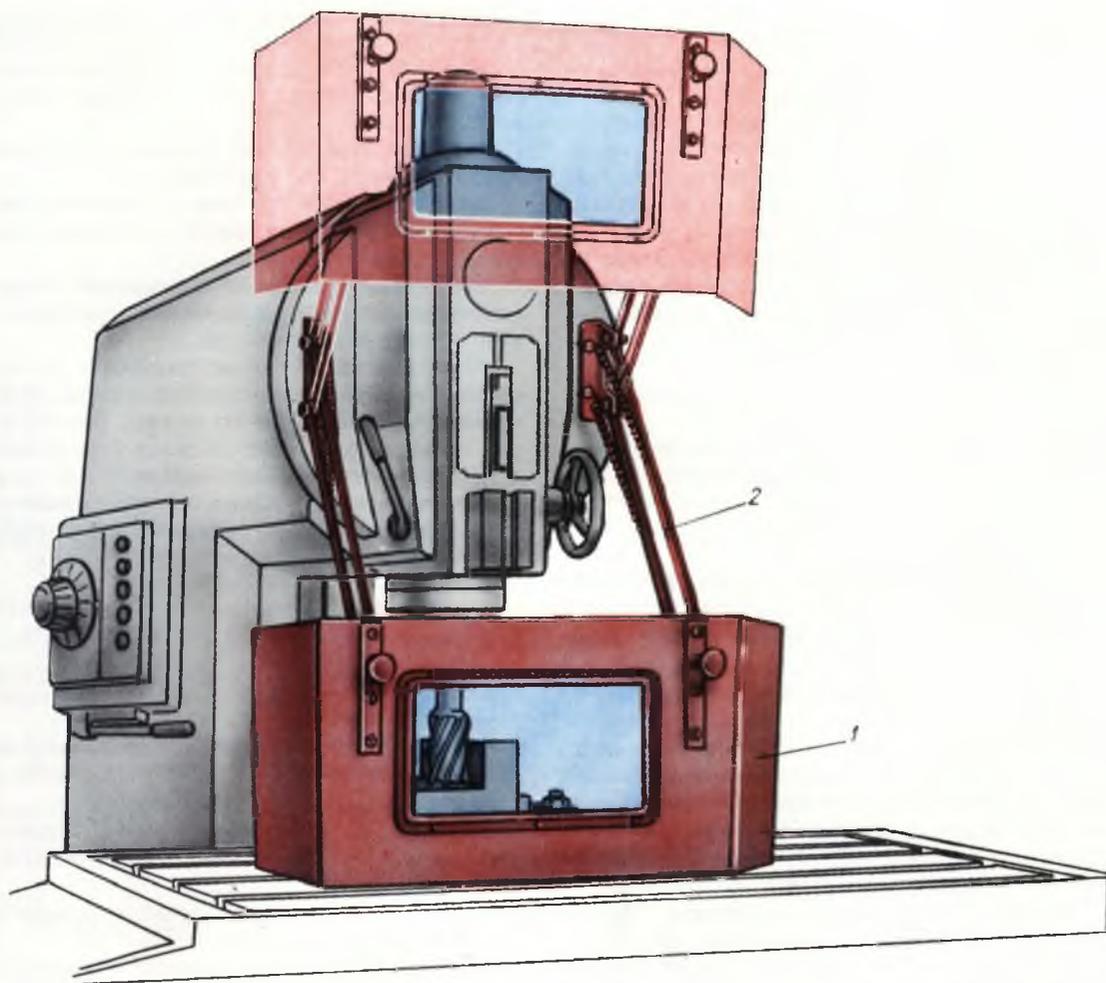
В желтый цвет окрашивают кромки ограждающих устройств, малозаметные места смазки. Желтым светом сигнальные лампы предупреждают о предстоящем переключении автоматических станков и линий с одного режима работы на другой.

Каждый рабочий должен хорошо знать и обязательно соблюдать все правила техники безопасности, изложенные в памятках, специальных инструкциях и плакатах по технике безопасности.

## § 86. Промышленная санитария и гигиена труда

На безопасность труда отрицательно влияет неудовлетворительно санитарно-техническое состояние производственных помещений и рабочих мест. Чистота рабочего места и воздуха, нормальная температура, хорошее освещение не только оздоравливают труд, но и создают у работающего хорошее настроение, способствуют повышению производительности труда. Для предупреждения загрязнения воздуха в производственных помещениях, удаления избытков влаги, тепла, а также для обеспечения воздухообмена устанавливается вентиляция. Предусматриваются также дополнительные устройства для проветривания помещений.

Хорошее освещение облегчает работу, уменьшает возможность травматизма, устраняет напряжение зрения. Освещение может быть естественным (дневной свет) и искусственным (электрические лампы или светильники дневного света). Окна, световые фонари, электри-



**237** Ограждение фрез

ческие лампы и светильники должны содержаться в чистоте.

Во время работы руки фрезеровщика покрываются металлической пылью, маслом, в результате кожа грубеет, трескается. После работы руки необходимо вымыть с мылом, а спецодежду повесить в специально отведенном для этого месте. Спецодежду следует регулярно отдавать в стирку.

На работе человек утомляется. Огромное значение для восстановления сил, улучшения сна и укрепления здоровья имеют физическая культура и спорт. Систематические занятия утренней зарядкой и производственной гимнастикой являются прекрасными средствами борьбы с утомляемостью и укрепляют здоровье.

### § 87. Противопожарные мероприятия

Соблюдение правил техники безопасности во многом способствует улучшению пожарной безопасности на производстве. Кроме того,

существуют специальные противопожарные правила, которые следует выполнять каждому работающему на производстве.

Пожары происходят в результате неосторожного обращения с огнем, небрежности рабочего и по другим причинам.

Огнеопасные материалы (бензин, керосин, растворители, масляные тряпки, обтирочные материалы и др.) необходимо хранить в специально отведенных для этого местах. Курить у станка и бросать окурки на пол воспрещается. По окончании работы или при перерывах в работе надо обязательно выключать все электродвигатели станка и местное освещение. Рабочий не должен сам исправлять повреждения в электрооборудовании и электропроводке станка. При любых неисправностях электрооборудования (перегреве или остановке электродвигателя, перегорании предохранителей и др.) следует немедленно вызывать электротехника.

В случае возникновения пожара надо выключить все электродвигатели и по ближайшему телефону или специальным сигналом

вызвать пожарную команду. До ее прибытия следует тушить пожар собственными силами, пользуясь огнетушителем, песком, брезентом и другими подручными средствами.

Горящий бензин, керосин, нефть, смазочные масла следует тушить пенными огнетушителями. При пожаре нельзя выбивать окна, так как при этом увеличивается приток кислорода, способствующего усилению огня.

Для проведения мероприятий по охране от пожаров промышленных предприятий организуются добровольные пожарные дружины из числа рабочих, инженерно-технических работников и служащих.

На добровольную пожарную дружину возлагается:

осуществление контроля за выполнением и соблюдением в цехе противопожарного режима;

надзор за исправным состоянием первичных средств пожаротушения;

вызов пожарных команд в случае возникновения пожара и принятия немедленных мер к тушению пожара имеющимися в цехе средствами.

На каждом предприятии инженерно-техническим персоналом должны быть разработаны цеховые (объектовые) противопожарные инструкции. В инструкции предусматриваются общие меры пожарной безопасности, противопожарный режим, специальные мероприятия в зависимости от технического процесса, способы вызова пожарной охраны и т. д.

На промышленных предприятиях должна проводиться повседневная пожарно-профилактическая работа. Она заключается в проведении комплекса мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность предприятия путем:

устранения причин, могущих вызвать возникновение пожара;

осуществления мероприятий, ограничивающих распространение пожара в случае возникновения;

создания условий для успешной эвакуации людей и имущества при пожаре;

проведения мероприятий, обеспечивающих успешную ликвидацию пожара подразделениями пожарной охраны;

обеспечения успешной ликвидации пожара местными силами и средствами в первоначальный момент возникновения.

Непосредственная ответственность за состояние пожарной безопасности и соблюдение правил противопожарного режима на отдельных объектах (цех, участок, склад и т. д.) возлагается на начальников объектов.

Во время пожара важно соблюдать спокойствие и беспрекословно выполнять все распоряжения руководителей производства.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1. Каковы причины производственного травматизма?**
- 2. Какие меры применяются для защиты от стружки, смазочно-охлаждающей жидкости и поражения электрическим током?**
- 3. Какое значение имеет правильное сочетание освещения и окраски помещения и оборудования?**
- 4. Какое значение имеют утрення зарядка и производственная гимнастика?**
- 5. Каковы причины возникновения пожара?**
- 6. Какие меры необходимо предпринять в случае возникновения пожара?**

# Литература

- А в р у т и н С. В. Фрезерное дело. М., «Профтехиздат», 1963.
- А р ш и н о в В. А., А л е к с е е в Г. А. Резание металлов. М., Машгиз, 1956.
- А н а н ь и н С. Г., А ч е р к а н Н. С. и др. Металлорежущие станки. М., Машгиз, 1958.
- А н с е р о в М. А. Справочное руководство фрезеровщика. Лениздат, 1964.
- Б а р б а ш о в Ф. А. Резьбофрезерные работы. М., «Высшая школа», 1970.
- Б л ю м б е р г В. А. Пути повышения производительности при фрезеровании. Л., «Машиностроение», 1964.
- Ж у р а в л е в С. А., Ш и ф р и н А. Ш. Фрезы. М., «Машиностроение», 1964.
- И с а е в П. П., Б о г д а н о в В. А. Обработка металлов резанием. М., Оборонгиз, 1959.
- К о в а л е в Н. М., П е р е л о м о в Н. Г. Фрезерные станки. Л., «Машиностроение», 1964.
- К у в ш и н с к и й В. В. Фрезерование. М.,—Свердловск, Машгиз, 1958.
- М е р ч а н с к и й А. П. Зуборезное дело. Л., «Машиностроение», 1969.
- М о с о л о в К. В. и др. Основы механизации и автоматизации производства. Л., «Машиностроение», 1968.
- О г л о б л и н Н. А. Справочник фрезеровщика. М., Машгиз, 1962.
- О г л о б л и н Н. А. Делительные головки. Л., «Машиностроение», 1964.
- П л о т и ц и н В. Г. Технология фрезерных работ. Л., «Машиностроение», 1964.
- Р е ж и м ы р е з а н и я м е т а л л о в (справочник). М., «Машиностроение», 1972.

# Оглавление

	Введение	3
Глава I. Основные сведения о фрезеровании	1	✓ § 1. Понятие о процессе резания металлов 4
		§ 2. Понятие о геометрии резцов 5
		§ 3. Общие сведения об устройстве фрез 7
		§ 4. Элементы режимов резания при фрезеровании 9
		§ 5. Встречное и попутное фрезерование 11
		§ 6. Общие сведения об устройстве консольно-фрезерных станков, управлений и уходе за ними 12
		§ 7. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей при фрезеровании 15
		§ 8. Понятие об организации рабочего места и его обслуживании 15
Глава II. Фрезерование плоских поверхностей цилиндрическими, торцовыми, ротационными фрезами и набором фрез		§ 9. Требования, предъявляемые к обработке плоскостей 9
		§ 10. Приспособления для установки и закрепления заготовок 19
		§ 11. Фрезерование плоскостей цилиндрическими фрезами 23
		§ 12. Фрезерование плоскостей торцовыми фрезами 34
		§ 13. Фрезерование плоскостей ротационными фрезами 39
		§ 14. Фрезерование плоскостей набором фрез 39
		§ 15. Контроль плоскостей 40
		§ 16. Виды брака и меры его предупреждения 41
Глава III. Фрезерование уступов и пазов. Отрезка и разрезка заготовок. Фрезерование пазов и шлицев		§ 17. Фрезерование уступов и пазов 44
		§ 18. Фрезерование шпоночных пазов 54
		§ 19. Фрезерование фасонных канавок, Т-образных пазов и пазов типа «ласточкин хвост» 61
		§ 20. Отрезание и разрезание заготовок, прорезание пазов и шлицев 64
	2	✓ § 21. Виды брака и меры его предупреждения 66

Глава IV. Фрезерование фасонных поверхностей на универсальных фрезерных станках	§ 22. Общие сведения о фасонных поверхностях	68
	§ 23. Фрезерование фасонных поверхностей замкнутого контура	68
	§ 24. Фрезерование фасонных поверхностей незамкнутого контура	76
	✓ § 25. Виды брака и меры его предупреждения	80
Глава V. Основы построения технологического процесса механической обработки деталей	§ 26. Понятие о производственном и технологическом процессах и их элементах	81
	§ 27. Понятие о базах и их выборе	81
	§ 28. Общие и межоперационные припуски на обработку	84
	§ 29. Технологическая документация	84
	§ 30. Оформление маршрутной и операционной карт механической обработки	85
	§ 31. Принципы построения технологического процесса	88
	§ 32. Точность обработки при фрезеровании	89
Глава VI. Фрезерные станки.	§ 33. Основные сведения	90
	§ 34. Классификация станков фрезерной группы	90
	§ 35. Консольно-фрезерные станки	93
	§ 36. Вертикально-фрезерные станки с крестовым столом (бесконсольные)	102
	§ 37. Продольно-фрезерные станки	102
	§ 38. Фрезерные станки непрерывного действия	103
	§ 39. Копировально-фрезерные станки	103
	§ 40. Шпоночно-фрезерные, торцефрезерные и зубофрезерные и резьбофрезерные станки	105
	§ 41. Испытание фрезерных станков	106
	§ 42. Эксплуатация станков	108
Глава VII. Делительные головки	§ 43. Делительные головки непосредственного и простого деления	113
	§ 44. Универсальные делительные головки	115
	§ 45. Оптические делительные головки	121
	§ 46. Многошпиндельные делительные головки	122
	§ 47. Принадлежности делительных головок для крепления заготовок	123
Глава VIII. Фрезерные работы, выполняемые с применением делительных головок	§ 48. Фрезерование многогранников	125
	§ 49. Фрезерование прямых канавок и шлицев на цилиндрических поверхностях	127
	§ 50. Фрезерование пазов и шлицев на торцовых поверхностях	128
	§ 51. Деление заготовки по окружности на неравные части	130
	§ 52. Фрезерование прямозубых цилиндрических и конических зубчатых колес	130
	§ 53. Фрезерование торцовых зубьев кулачковых муфт и режущего инструмента	134
	§ 54. Фрезерование винтовых канавок	136
	§ 55. Фрезерование зубьев зубчатых реек	143

Глава IX. Основы резания металлов	✓ § 56. Явления, сопровождающие процесс резания	144
	✓ § 57. Геометрические параметры режущей части фрезы	145
	§ 58. Элементы срезаемого слоя	146
	§ 59. Поперечное сечение и объем срезаемого слоя	149
	§ 60. Равномерность фрезерования	151
	✓ § 61. Составляющие силы резания и мощность при фрезеровании	152
	§ 62. Материалы, применяемые для изготовления фрез	154
	§ 63. Износ и стойкость фрез	156
	✓ § 64. Скорость резания	158
	✓ § 65. Выбор рациональных режимов фрезерования	159
	§ 66. Классификация фрез	162
	§ 67. Новые конструкции фрез	167
	§ 68. Заточка и контроль фрез после заточки	169
Глава X. Технологический процесс изготовления типовых деталей	§ 69. Детали, обрабатываемые на фрезерных станках	176
	§ 70. Типы машиностроительных производств и характеристика их технологических признаков	177
	§ 71. Методы фрезерования	178
	§ 72. Универсальные и специальные приспособления	179
	§ 73. Пути повышения производительности труда	181
	§ 74. Многостаночное обслуживание	183
	Глава XI. Сведения о механизации и автоматизации производства	§ 75. Значение механизации и автоматизации производства
§ 76. Внутрицеховой транспорт		185
§ 77. Элементы автоматических устройств		188
§ 78. Системы автоматических устройств		192
§ 79. Автоматические линии		193
Глава XII. Некоторые сведения о станках с числовым программным управлением	§ 80. Основные особенности станков с ЧПУ	195
	§ 81. Системы программного управления	196
	§ 82. Станки с числовым программным управлением	201
	§ 83. Автоматизированные участки станков с ЧПУ	204
§ 84. Правила технической эксплуатации станков с числовым программным управлением	205	
Глава XIII. Техника безопасности, промышленная санитария и противопожарные мероприятия	✓ § 85. Техника безопасности	207
	§ 86. Промышленная санитария и гигиена труда	208
	§ 87. Противопожарные мероприятия	209
	Литература	211

«Библиотечная серия»

*Федор Алексеевич Барбашов*

**Фрезерное дело**

Редакторы. Л. В. Мясникова и Е. Б. Коноплева

Художественный редактор В. И. Пономаренко

Технический редактор Н. Н. Баранова

Корректор Г. А. Чечеткина

Т-03151. Сдано в набор 17/X-74 г. Подп. к печати 30/V-75 г. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем 13,5 печ. л. Бум. офсет. № 1. Усл. п. л. 17,55. Уч.-изд. л. 21,56. Зак. 718. Тираж 115 000 экз. Цена 74 коп. Изд. № М-3.

План выпуска литературы для профтехобразования  
издательства «Высшая школа» на 1975 г. Пози-  
ция № 86

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14, издательство  
«Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат «Ярославский полиграф-  
пром» Государственном коми Мин-  
истров ч. ло делам издательств, полиграфии  
и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Сво-  
боды, 97.

**Барбашов Ф. А.**

**Б 24** Фрезерное дело. Учебное пособие для сред. проф.-техн. училищ. Изд. 2-е. М., «Высш. школа», 1975.

216 с. с ил.

В книге изложены основные сведения о фрезеровании, фрезерных станках, инструментах и приспособлениях; большое внимание уделено прогрессивной технологии фрезерования, обвешены вопросы механизации процессов обработки.

В настоящем издании описаны новые модели станков, даны более полные сведения о станках с ЧПУ.

31207—310  
Б ————— 86—75  
052(01)—75

**6П.4.64**