

621.9  
4-45

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Б. И. Черпаков  
Л. И. Верейна

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

3-е издание

МАШИНОСТРОЕНИЕ



УЧЕБНИК



621 У  
9-45

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Б.И.ЧЕРПАКОВ, Л.И.ВЕРЕИНА

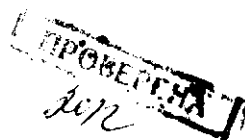
# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебник

*Допущено  
Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов образовательных учреждений  
среднего профессионального образования*

3-е издание, исправленное

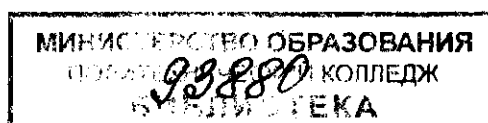
93880



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

УДК 621.9.06(075.32)  
ББК 34.4я723  
Ч-45

Рецензенты:  
профессор кафедры «Технология машиностроения» МГТУ «СТАНКИН»,  
д-р техн. наук *В. А. Тимирязев*;  
преподаватель ГОУ «Мытищинский машиностроительный  
техникум-предприятие» *В. А. Базлов*



**Черпаков Б.И.**

Ч-45 Технологическое оборудование машиностроительного производства : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Б.И.Черпаков, Л.И.Вереина. — 3-е изд., испр. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 416 с. ISBN 978-5-7695-6129-0

Приведены сведения о классификации, особенностях управления и показателях технического уровня металлорежущих станков и роботизированных технологических комплексов. Рассмотрены их типовые узлы и механизмы. Описаны принцип действия, кинематика, конструкции станков основных групп с ручным и программным управлением. Изложены тенденции развития металлорежущих станков. Даны рекомендации по эксплуатации различного технологического оборудования в составе станочных систем.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.9.06(075.32)  
ББК 34.4я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Черпаков Б.И., Вереина Л.И., 2005  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2005  
ISBN 978-5-7695-6129-0 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2005

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Основное внимание в учебнике уделено станочному технологическому оборудованию, которое является своего рода ядром любого машиностроительного производства, определяющим его технический уровень и качество выпускаемой продукции.

Современный металлообрабатывающий станок — это высокоразвитая технологическая машина, оснащенная различными устройствами: механическими, электрическими, гидравлическими, пневматическими и электронными. В учебнике рассматриваются особенности конструкций станков различных технологических групп, приводятся описания их кинематических схем, излагаются принципы управления станками, анализируется работа основных узлов и механизмов.

Стремясь более полно отразить в учебнике последние достижения в области станкостроения, авторы в своей работе опирались на нормативно-технические материалы и стандарты, широко использовали каталоги-проспекты отечественных предприятий и зарубежных фирм.

Учебник построен на основе системного подхода к изучению металлообрабатывающих станков.

В первой главе рассматриваются общие сведения о металло-режущих станках (классификация, системы управления, показатели технического уровня), во второй — их типовые механизмы и узлы (муфты, реверсивные механизмы; различные передачи; шпиндельные узлы и базовые детали; коробки скоростей и подач; устройства числового программного управления; мехатронные узлы).

В главах с третьей по тринадцатую описываются конструкции, принцип действия и кинематика станков различных групп (с ручным и числовым программным управлением): токарных, сверлильно-расточных, фрезерных, строгально-протяжных, шлифовальных, зубо- и резьбообрабатывающих.

Станкам с высоким уровнем автоматизации посвящены десятая, одиннадцатая и двенадцатая главы. Принципы агрегатирования станков излагаются в одиннадцатой главе; здесь же приводятся различные компоновки агрегатных станков, конструкции их силовых головок и столов, рассматриваются современные агрегатные станки с ЧПУ со сменными шпиндельными головками. Двенадцатая глава содержит сведения о роботизации станков.

зированных технологических комплексах. Более подробно автоматизированное станочное оборудование и станочные системы представлены в учебнике [26].

В тринадцатой главе излагаются тенденции развития металлорежущих станков в начале XXI в.

Вопросам эксплуатации станочного технологического оборудования посвящены четырнадцатая и пятнадцатая главы учебника. Перспективы использования информационных технологий при создании и эксплуатации оборудования раскрываются в шестнадцатой главе.

В целях расширения и углубления знаний студентов учебник снабжен списком литературы, освещающей различные аспекты создания и эксплуатации металлообрабатывающих станков.

Пятая глава написана при участии канд. техн. наук Я. М. Ашкиназия.

В работе используются следующие основные сокращения:

- АКС — автоматическая коробка скоростей;
- АСИ — автоматическая смена инструмента;
- АЛУ — арифметико-логическое устройство;
- ГПМ — гибкий производственный модуль;
- ГПС — гибкая производственная система;
- МС — многоцелевой станок;
- ОЗУ — оперативное запоминающее устройство;
- ПЗУ — постоянное запоминающее устройство;
- ПК — программируемый контроллер;
- ПР — промышленный робот;
- ПЭВМ — персональная ЭВМ;
- РВ — распределительный вал;
- РГ — револьверная головка;
- РТК — роботизированный технологический комплекс;
- СОЖ — смазочно-охлаждающая жидкость;
- УЦПУ — устройство циклового программного управления;
- УЧПУ — устройство числового программного управления;
- ЦПУ — цикловое программное управление;
- ЧПУ — числовое программное управление;
- ЭА — электроавтоматика;
- ЭВМ — электронно-вычислительная машина.

## ВВЕДЕНИЕ

Под *технологическим оборудованием* понимается оборудование, предназначенное для выполнения различных технологических операций (заготовительных, обрабатывающих, отделочных (финишных), лакокрасочных, термических и т. д.), необходимых для получения изделия требуемой точности и качества.

На машиностроительном предприятии эксплуатируется различное технологическое оборудование: металлорежущие станки и контрольно-сортировочные автоматы, кузнечно-прессовое оборудование и литейные машины, промышленные роботы и автоматизированные склады, автоматические линии и координатно-измерительные машины, а также транспортное оборудование, многоцелевые станки с числовым программным управлением (ЧПУ) и др. Разнообразие технологического оборудования не позволяет охватить все его виды в одном учебнике, поэтому здесь будет рассмотрено оборудование, которое в первую очередь необходимо изучить технологам, — металлорежущие станки с ручным и программным управлением, многоцелевые и агрегатные станки, роботизированные технологические комплексы.

За последние 80 лет металлорежущие станки претерпели большие изменения. Зародившись в далекую эпоху, когда человек начал механизировать обработку камня и кости на примитивных токарных станках, они превратились в автономно работающий комплекс, управляемый системами ЧПУ и ЭВМ. В начале XVIII в. в Европе появились первые станки, изготовленные из металла, причем работающий на нем человек приводил во вращение шпиндель с помощью ножной педали через ременную передачу.

С развитием техники ручной и ножной привода главного движения были заменены электромашинным, гидравлическим и др. Через цех под потолком проходил длинный вал (трансмиссия), от которого через ременные передачи передавалось вращение всем станкам, находящимся в цехе. Шпиндель станка имел несколько ступеней вращения, так как на нем были закреплены шкивы разных диаметров.

В России станкостроение возникло в начале XVIII в. Токарь Петра I Андрей Нартов (впоследствии ставший академиком Российской Академии наук) построил ряд металлорежущих станков, в том числе первый токарно-копировальный автомат.

Солдат Яков Батишев создал 12- и 24-шпиндельные станки для обработки ружейных стволов. М. В. Ломоносов сконструировал токарный станок для обработки сферических металлических зеркал. Русские самоучки Лев Собакин, Алексей Сурнин и многие другие обогатили технику того времени станками новых типов.

Становление станкостроения как отрасли промышленности в нашей стране относится к 30-м годам XX в., когда были введены в строй Московский станкостроительный завод им. С. Орджоникидзе (1932 г.), Московский завод «Станкоконструкция» (1934 г.), Тбилисский станкостроительный завод и Саратовский завод тяжелых зуборезных станков (1935 г.), Киевский завод станков-автоматов (1936 г.), Краматорский завод тяжелого станкостроения (1939 г.). Большим событием того времени было создание в 1933 г. первого отраслевого института — Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС). К тем годам относятся первые выпуски в Московском высшем техническом училище (МВТУ) им. Н. Э. Баумана инженеров — специалистов в области станкостроения, тогда же был открыт Московский станкоинструментальный институт, готовивший высококвалифицированные кадры для развивающейся отрасли машиностроения.

Переход к новым экономическим отношениям в 80 — 90-х гг. изменил облик промышленности, особенно металлообрабатывающей. Образовалось много небольших предприятий с различной формой собственности.

Современные экономические условия предъявляют высокие требования к квалификации инженеров, техников и рабочих, создающих и обслуживающих технологическое оборудование, так как продукция российских заводов должна быть конкурентоспособной на мировом рынке.

# ГЛАВА 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

### 1.1. Классификация

*Металлорежущий станок* — это технологическая машина, предназначенная для обработки материалов резанием с целью получения деталей заданной формы и размеров (с требуемыми точностью и качеством обработанной поверхности). На станках обрабатывают заготовки не только из металла, но и из других материалов, поэтому термин «металлорежущий станок» является условным.

Станки классифицируют по различным признакам, основные из которых приведены ниже.

По виду выполняемых работ металлорежущие станки (в соответствии с классификацией ЭНИМСа) распределены по девяти группам, каждая из которых подразделяется на девять типов, объединенных общими технологическими признаками и конструктивными особенностями (табл. 1.1).

Моделям станков, выпускаемых серийно, присваивают цифровое или цифробуквенное обозначение. Как правило, обозначение состоит из трех-четырех цифр и одной-двух букв.

Первая цифра — это номер группы, к которой относится станок, вторая — номер типа станка, третья и четвертая характеризуют один из главных параметров станка или обрабатываемой на нем детали (например, высоту центров, диаметр прутка, размеры стола и т. п.). Буква после первой или второй цифры указывает, что станок модернизирован, буква, стоящая после цифр, обозначает модификацию (видоизменение) базовой модели станка. Например, модель 7А36 означает: 7 — строгально-протяжная группа, 3 — поперечно-строгальный, 6 — максимальная длина обрабатываемой детали 600 мм, буква А указывает на модернизацию станка базовой модели 736.

Если буква стоит в конце обозначения модели, то она указывает на класс точности станка, например 16К20П — это станок повышенного класса точности; нормальный класс точности в наименовании модели не указывается.

В моделях станков с ЧПУ последние два знака — буква Ф с цифрой (1 — станок с цифровой индикацией и предварительным набором координат; 2 — с позиционной системой управ-



### Классификация металло

Наименование	Группа	Тип станка			
		1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы		Токарно-револьверные	Сверлильно-отрезные
		одношпиндельные	многошпиндельные		
Сверлильные и расточные	2	Настольно-и вертикально-сверлильные	Полуавтоматы		Координатно-расточные
			одношпиндельные	многошпиндельные	
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	3	Крутлошлифовальные, бесцентровошлифовальные	Внутришлифовальные, координатно-шлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные
Электрофизические и электрохимические	4	—	Светолучевые	—	Электрохимические
Зубо-и резьбообрабатывающие	5	Зубодолбежные для обработки цилиндрических колес	Зуборезные для обработки конических колес	Зубофрезерные для нарезания	
				цилиндрических колес и шлицевых валов	червячных колес
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные, консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольные одностоечные	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные, протяжные	7	Продольные		Поперечно-строгальные	Долбежные
		одностоечные	двухстоечные		
Разрезные	8	Отрезные, оснащенные			Правильно-отрезные
		токарным резцом	шлифовальным кругом	гладким или насеченным диском	
Разные	9	Муфто-и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно-и бесцентрово-обдирочные	—

Таблица 1.1

## обрабатывающих станков

Тип станка				
5	6	7	8	9
Карусельные	Токарно-винторезные, токарные и лоботокарные	Многорезцовые и копировальные	Специализированные	Разные токарные
Радиально-и координатно-сверлильные	Расточные	Отделочно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Продольно-шлифовальные	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные, полировальные, хонинговальные, доводочные	Разные станки, работающие абразивом
Электроискровые	—	Электроэрозионные, ультразвуковые прошивочные	Анодно-механические отрезные	—
Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные, проверочные и обкатные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Вертикально-фрезерные бесконсольные	Продольные двухстоечные	Широкоуниверсальные фрезерные инструменты	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для протягивания		—	Разные строгальные
	внутреннего	наружного		
Ленточно-пильные	Отрезные с дисковой пилой	Отрезные ножовочные	—	—
Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	—	—

ления; 3 — с контурной системой управления; 4 — с комбинированной системой управления для позиционной и контурной обработки). Например, зубофрезерный полуавтомат с комбинированной системой ЧПУ — модель 53А20Ф4, вертикально-фрезерный станок с крестовым столом и устройством цифровой индикации — модель 6560Ф1.

В конце обозначения модели станков с цикловыми системами управления ставят букву Ц, а с оперативной системой управления — букву Т. Например: токарный многорезцово-копировальный полуавтомат с цикловым программным управлением — модель 1713Ц; токарный станок с оперативной системой управления — модель 16К20Т1.

Наличие в станке инструментального магазина отображается в обозначении модели буквой М; например, сверлильный станок с позиционной системой программного управления повышенной точности с инструментальным магазином — модель 2350ПМФ2.

По степени универсальности станки подразделяют на универсальные, специализированные и специальные.

*Универсальные* станки предназначены для обработки деталей широкой номенклатуры в единичном и мелкосерийном производстве. Для этих станков характерен широкий диапазон регулирования скоростей и подач. К универсальным станкам относятся токарные, токарно-винторезные, токарно-револьверные, сверлильные, фрезерные, строгальные и др. (как с ручным управлением, так и с ЧПУ).

*Специализированные* станки используют для обработки деталей одного наименования, но разных размеров. К ним относятся станки для обработки труб, муфт, коленчатых валов, а также зубо- и резьбообрабатывающие, токарно-затыловочные и др. Для специализированных станков характерна быстрая переналадка сменных устройств и приспособлений; они применяются в серийном и крупносерийном производстве.

*Специальные* станки служат для обработки детали одного наименования и размера; их применяют в крупносерийном и массовом производстве.

В обозначение специализированных и специальных станков перед номером модели вводят индекс завода-изготовителя из одной или двух букв. Так, Егорьевский станкостроительный завод имеет индекс ЕЗ, станкостроительный завод «Красный пролетарий» — МК, например специализированный токарный станок для обработки дисков памяти ЭВМ — модель МК 65-11.

По степени точности обработки станки делят на пять классов:

Н — *нормальной* точности; к этому классу относится большинство универсальных станков;

П — *повышенной* точности; станки данного класса изготавливают на базе станков нормальной точности, но требования к точности обработки ответственных деталей станка, качеству сборки и регулирования значительно выше;

В — *высокой* точности, достигаемой благодаря использованию специальной конструкции отдельных узлов, высоких требований к точности изготовления деталей, качеству сборки и регулирования станка в целом;

А — *особо высокой* точности; для этих станков предъявляются еще более жесткие требования, чем для станков класса В;

С — *особо точные*, или мастер-станки, на них изготавливают детали для станков классов точности В и А.

Станки классов точности В, А и С называют прецизионными (от фр. *precision* — точность). Эти станки желательно эксплуатировать в термоконстантных цехах, температура и влажность в которых регулируется автоматически.

В зависимости от массы станки подразделяют на *легкие* — массой до 1 т, *средние* — до 10 т и *тяжелые* — свыше 10 т. В свою очередь тяжелые станки делят на крупные (до 30 т), собственно тяжелые (до 100 т) и уникальные (свыше 100 т).

По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы. В *станках с ручным управлением* пуск и останов станка, переключение скоростей и подач, подвод и отвод инструментов, загрузку станка заготовками и разгрузку обработанных деталей и другие вспомогательные операции выполняет рабочий.

*Полуавтомат* — станок, работающий по автоматическому циклу, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Так, рабочий вручную устанавливает на станок заготовку и снимает обработанную деталь, после чего включает станок для повторения цикла. (Под циклом понимают промежуток времени от начала до конца периодически повторяющейся операции независимо от числа одновременно обрабатываемых заготовок.)

В *автомате* все рабочие и вспомогательные движения, необходимые для выполнения цикла технологической операции, осуществляются без участия рабочего, который лишь наблюдает за тем, как функционирует станок, контролирует качество обработки и при необходимости поднастраивает станок, т. е. регулирует его для восстановления достигнутых при первоначальной наладке точности взаимного расположения инструмента и заготовки, а также качества обрабатываемой детали.

По расположению шпинделя станки делят на *горизонтальные*, *вертикальные* и *наклонные*.

По степени концентрации операций станки подразделяют на одно- и многопозиционные. Концентрация операции — это возможность одновременной обработки на

станке различных поверхностей заготовки многими инструментами. На *однопозиционных многоинструментальных* станках несколько режущих инструментов одновременно обрабатывают различные поверхности одной заготовки, на *многопозиционных* одновременно обрабатывают от двух и более заготовок.

Особую группу составляют комбинированные станки, например токарно-шлифовальные, строгально-фрезерные, строгально-шлифовальные.

## 1.2. Размерные ряды станков

Для большинства станков стандартами установлены основные (главные) параметры, характеризующие размеры обрабатываемых деталей или размеры самого станка. Совокупность численных значений этих параметров (от наименьшего до наибольшего) образует *размерный ряд* станков одного типа, т. е. подобных по конструкции, кинематической схеме и внешнему виду.

Конструкция станков размерного ряда состоит в основном из унифицированных узлов, одинаковых или подобных, что облегчает конструирование, изготовление и эксплуатацию станков, а также способствует удешевлению их производства.

Размерные ряды станков строят по принципу геометрической прогрессии, в которой главный параметр станка является членом ряда. В табл. 1.2 представлены размерные ряды металлорежущих станков основных технологических групп.

Таблица 1.2

**Размерные ряды металлорежущих станков  
основных технологических групп**

Технологическая группа металлорежущих станков	Главный параметр	Пределы изменения главного параметра станка, мм	Знаменатель размерного ряда
Токарно-винторезные, токарные патронно-центровые и патронные станки	Наибольший диаметр изделия над станиной	125 ... 5000	$\sqrt[3]{2}$
Токарно-карусельные станки	Наибольший диаметр изделия	1250 ... 20 000	$\sqrt{2}$
Токарные многошпиндельные прутковые горизонтальные автоматы	Диаметр прутка	12 ... 160	$\sqrt[3]{2}$

Окончание табл. 1.2

Технологическая группа металлорежущих станков	Главный параметр	Пределы изменения главного параметра станка, мм	Знаменатель размерного ряда
Вертикально-сверлильные станки	Наибольший условный диаметр отверстия при сверлении	3 ... 12	2
Координатно-расточные, сверлильно-фрезерно-расточные вертикальные станки	Ширина стола	250 ... 2000	$\sqrt{2}$
Сверлильно-фрезерно-расточные станки	Ширина стола	200 ... 2000	$\sqrt{2}$
Круглошлифовальные станки	Наибольший диаметр устанавливаемого изделия	100 ... 800	$\sqrt[3]{2}$
Плоскошлифовальные станки	Ширина поверхности стола	160 ... 800	$\sqrt{2}$
Электроэрозионные вырезные станки	Длина вырезаемого контура	160 ... 800	$\sqrt[3]{2}$
Электрохимические копировально-прошивочные станки	Ширина стола	200 ... 630	$\sqrt[3]{2}$
Зубофрезерные вертикальные полуавтоматы для обработки цилиндрических колес	Наибольший диаметр обрабатываемого зубчатого колеса	80 ... 12 500	$\sqrt[3]{2}$
Фрезерные широкоуниверсальные инструментальные станки	Ширина стола	200 ... 800	$\sqrt[3]{2}$
Продольно-фрезерные станки	Ширина стола	500 ... 4500	$\sqrt{2}$
Продольно-строгальные станки	Ширина изделия	2000 ... 3150	$\sqrt[3]{2}$

При разработке размерных рядов учитывают, что необоснованное расширение номенклатуры выпускаемых станков, сходных по своему назначению, приводит к уменьшению серийности выпуска, возрастанию себестоимости изготовления станков и повышению расходов на их эксплуатацию.

### 1.3. Движения в станках

При изготовлении деталей на станках инструмент или заготовка могут выполнять следующие движения: главное, подачи, деления, обкатки, дифференциальное и вспомогательное.

*Главное движение резания  $D_r$* , обеспечивает снятие стружки с заготовки с наибольшей скоростью в процессе резания. Главное движение может быть вращательным и прямолинейным поступательным (рис. 1.1). Это движение может совершать как заготовка, так и режущий инструмент.

В станках токарной группы главным движением является вращение заготовки (рис. 1.1,  $a - e$ ). Частоту вращения  $n$  заготовки определяют по формуле

$$n = 10^3 v / (\pi d),$$

где  $v$  — скорость резания, м/мин;  $d$  — диаметр заготовки, мм.

В сверлильных, фрезерных, шлифовальных, зубофрезерных станках главное движение сообщается режущему инструменту (рис. 1.1,  $z - k$ ). Частоту его вращения рассчитывают по той же формуле, только вместо диаметра заготовки подставляют диаметр режущего инструмента: сверла ( $d_{св}$ ), фрезы ( $d_{фр}$ ) и шлифовального круга ( $d_{ш.к}$ ).

У долбежных, зубодолбежных, продольно-строгальных, поперечно-строгальных и протяжных станков главным движением является возвратно-поступательное прямолинейное движение. На рис. 1.1,  $l$  показана схема обработки поверхности на поперечно-строгальном станке: главное движение совершает режущий инструмент, что характерно и для долбежного, зубодолбежного и протяжного станков. На продольно-строгальном станке главное движение сообщается столу, т. е. заготовке. Скорость резания, т. е. скорость рабочего хода  $v_{р.х}$  ползуна или стола, связана с частотой двойных ходов в минуту для долбежных и строгальных станков следующей зависимостью:

$$v_{р.х} = 10^{-3} L n_{2x} (1 + q),$$

где  $L$  — путь, равный сумме длины обработки  $l$  и перебегов  $l_1$  и  $l_2$  инструмента:  $L = l + l_1 + l_2$ ;  $n_{2x}$  — частота двойных ходов в минуту;  $q$  — отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода.

Иногда главное движение получают сложением (вычитанием) двух вращательных движений. Например, в токарных автоматах для получения заданной скорости резания при сверлении отверстия малого диаметра заготовку вращают в одном направлении, а сверло — в другом (рис. 1.1,  $m$ ). В данном случае скорость резания, м/мин, определится по формуле

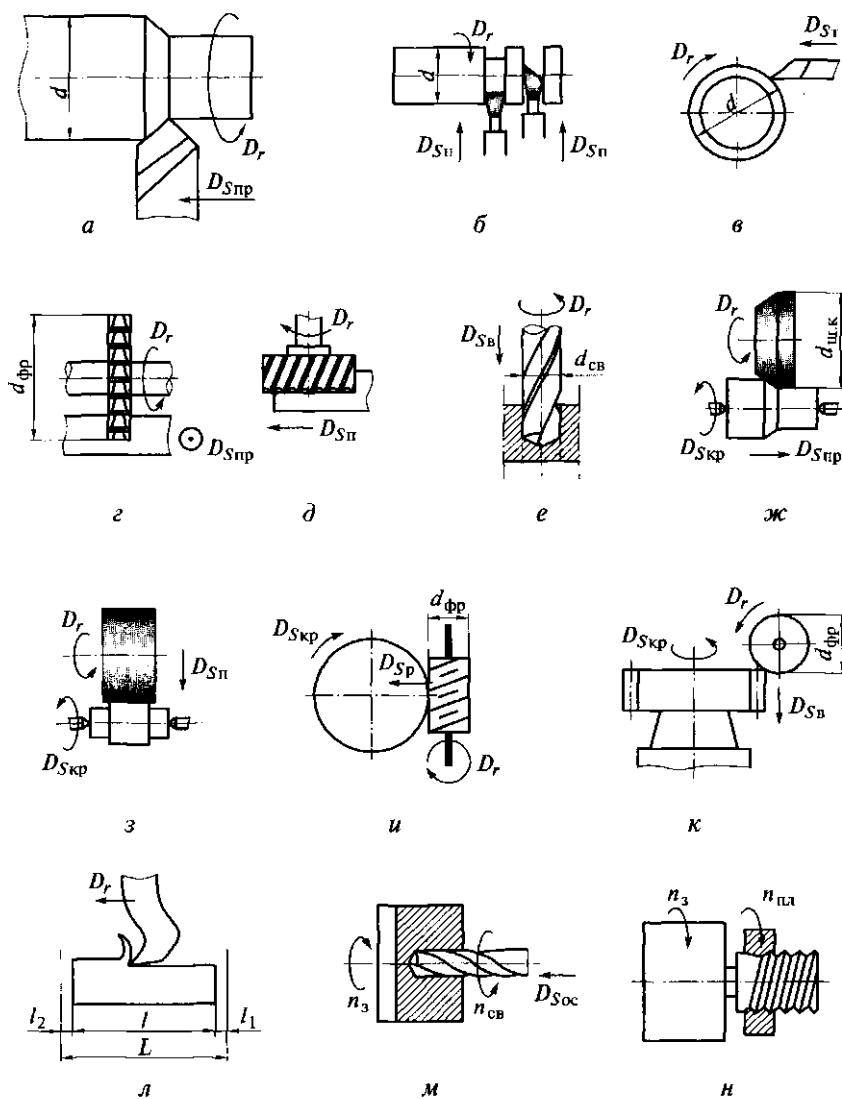


Рис. 1.1. Виды главного движения и движения подачи в токарных (а, б, в), фрезерных (г, д), сверлильных (е), шлифовальных (ж, з), зубофрезерных (и, к), строгальных (л) станках и токарных автоматах (м, н):

$D_r$  — главное движение (движение резания);  $D_{Sp}$ ,  $D_{Sn}$  — продольное и поперечное движения подачи;  $D_{SV}$ ,  $D_{Skp}$  — вертикальное и круговое движения подачи;  $D_{St}$ ,  $D_{Сос}$ ,  $D_{Sp}$  — движения тангенциальной, осевой и радиальной подачи



$$v = 10^{-3}\pi d_{\text{св}}(n_{\text{св}} + n_3),$$

где  $n_{\text{св}}$ ,  $n_3$  — частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ , сверла и заготовки соответственно.

Когда необходимо обеспечить невысокую скорость резания, например при нарезании резьбы на токарных автоматах методом обгона (рис. 1.1, н), частота вращения у плашки должна быть больше, чем у заготовки. Скорость резания, м/мин, рассчитывают следующим образом:

$$v = 10^{-3}\pi d_p(n_{\text{пл}} - n_3),$$

где  $d_p$  — диаметр нарезаемой резьбы, мм;  $n_{\text{пл}}$ ,  $n_3$  — частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ , плашки и заготовки соответственно.

Для показанных на рис. 1.1, н направлений вращения будет нарезана левая резьба. Для нарезания правой резьбы заготовка и плашка должны вращаться в противоположном направлении. Заметим, что, когда плашка нарежет резьбу и остановится, то произойдет свертывание плашки с резьбы.

*Движение подачи*  $D_S$  позволяет подвести под режущую кромку инструмента новые участки заготовки, тем самым обеспечить снятие стружки со всей обрабатываемой поверхности. *Скорость подачи*  $v_S$  при лезвийной обработке задается в мм/мин.

*Подачей*  $S$  называется отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки (или заготовки) вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов или долей цикла другого движения во время резания. Под *циклом движения* понимается полный оборот, двойной ход или ход режущего инструмента (заготовки), а под *долей цикла* — например, угловой поворот на один зуб. В связи с этим существуют понятия подачи на один зуб  $S_z$ , подачи на оборот  $S_o$ , подачи на ход  $S_x$ , подачи на двойной ход  $S_{2x}$ .

В зависимости от направления перемещения инструмента по отношению к заготовке различают движение подачи: продольное (см. рис. 1.1, а, г, ж), поперечное (см. рис. 1.1, б, д, з), тангенциальное (см. рис. 1.1, в), вертикальное (см. рис. 1.1, е, к), круговое (см. рис. 1.1, ж — к), радиальное (см. рис. 1.1, и) и осевое (см. рис. 1.1, м).

Главное движение и движения подачи в совокупности называют основными движениями станка. В некоторых станках для получения заданной конфигурации поверхности детали используют дополнительные движения, кинематически связанные с основными движениями. К ним относятся движения деления, обката и дифференциальные.

*Движения деления* реализуют для осуществления необходимого углового (или линейного) перемещения заготовки относительно инструмента. Делительное движение может быть непре-

рывным (в зубодолбежных, зубофрезерных, зубострогальных, затыловочных и других станках) и прерывистым (например, в делительных машинах при нарезании штрихов на линейке). Прерывистое движение осуществляется с помощью храпового колеса, мальтийского креста или делительной головки.

*Движение обката* — это согласованное движение режущего инструмента и заготовки, воспроизводящее при формообразовании зацепление определенной кинематической пары. Например, при зубодолблении долбяк и заготовка воспроизводят зацепление двух зубчатых колес. Движение обката необходимо для формообразования в зубообрабатывающих станках: зубофрезерных, зубострогальных, зубодолбежных, зубошлифовальных (при обработке цилиндрических и конических колес).

*Дифференциальное движение* добавляется к какому-либо движению заготовки или инструмента. Для этого в кинематическую цепь вводятся суммирующие механизмы. Следует отметить, что суммировать можно только однородные движения: вращательное с вращательным, поступательное с поступательным. Дифференциальные движения необходимы в зубофрезерных, зубострогальных, зубошлифовальных, затыловочных и других станках.

Рассмотренные движения участвуют в формообразовании обрабатываемой детали. Однако на станке необходимо осуществлять и другие движения: подвести режущий инструмент к заготовке, отвести его после окончания обработки, зажать заготовку, снять ее, установить новую, переключить скорость или подачу, выключить станок. Такие движения называются *вспомогательными*, они подготавливают процесс резания, но сами в нем не участвуют.

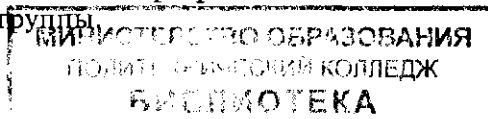
Вспомогательные движения осуществляются вручную или в автоматическом цикле. Автоматизация вспомогательных движений повышает производительность труда.

#### 1.4. Управление станками

Под *управлением станком* понимают совокупность воздействий на его механизмы, обеспечивающих выполнение технологического цикла обработки, а под *системой управления* — устройство или совокупность устройств, реализующих эти воздействия.

*Цикл работы станка* — это совокупность всех движений, необходимых для обработки заготовок и выполняемых в определенной последовательности.

Циклы, осуществляемые при работе станочного оборудования, делят на две группы.



Первую группу образуют циклы, которые остаются неизменными и повторяются многократно в процессе эксплуатации оборудования, например циклы работы автоматических линий и агрегатных станков.

Ко второй группе относятся циклы, совершаемые однократно в определенные моменты. Эти циклы инициируются специальной командой. Примерами таких циклов являются циклы движений вспомогательных механизмов в станках: поиск и смена инструмента, зажим и освобождение подвижных узлов, загрузка и зажим заготовок, выгрузка обработанных деталей и т. д.

Управление станком может быть ручным или автоматическим. Примером системы *ручного управления* является многорукояточное устройство, в котором для перемещения каждого блока зубчатых колес предусмотрена рукоятка. Ручное управление может быть селективным (избирательным), преселективным (с предварительным набором скоростей) и дистанционным (кнопочным).

*Автоматическое управление* подразделяется на кулачковое; с помощью регулируемых упоров; программное и адаптивное.

По виду различают цикловое и числовое программное управление.

*Цикловым программным управлением (ЦПУ)* называют управление, при котором полностью или частично программируется цикл работы станка, режимы обработки и смена инструмента, а размерная информация (перемещения рабочих органов станка) задается с помощью путевых упоров, устанавливаемых на специальных линейках или барабанах.

В автоматическом оборудовании с ЦПУ цикл работы является замкнутым, т. е. положения механизмов в начальной и конечной фазах цикла совпадают.

*Числовым программным управлением (ЧПУ)* называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе (УП), в которой данные представлены в цифровой форме. ЧПУ обеспечивает управление движениями рабочих органов станка, скоростью их перемещения при формообразовании, последовательностью обработки, режимами резания, а также различными вспомогательными функциями.

*Система числового программного управления (СЧПУ)* — это совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, которые обеспечивают управление станком. Основой СЧПУ является *устройство числового программного управления (УЧПУ)*, которое выдает управляющее воздействие на рабочие органы станка в реальном масштабе времени в соответствии с УП и информацией о состоянии управляемого объекта. Вся информация УП (размерная, технологическая и вспомогательная), необходимая

для управления обработкой, вводится в память системы управления. УЧПУ преобразует эту информацию в управляющие команды для рабочих органов станка и контролирует их выполнение.

При составлении программ для обработки изделий на станках с ЧПУ необходимо правильно выбрать положительное направление осей координат станка и заготовки.

В соответствии с ГОСТ 23597 — 79\* на станках с ЧПУ принята правая система отсчета координат (рис. 1.2, а). Начало системы координат выбирают произвольно. Обозначение координатных осей стандартизовано, чтобы программирование операций обработки не зависело от того, перемещается ли инструмент или заготовка.

*Положительное направление* движения рабочего органа станка соответствует направлению отвода инструмента от заготовки. Например, при сверлении на вертикально-сверлильном станке или при обтачивании заготовки на токарном станке обработка заготовки осуществляется при перемещении инструмента в отрицательном направлении оси  $Z$ .

Положительные направления движений рабочих органов, несущих инструмент, обозначают без штрихов (рис. 1.2, б). Буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$  обозначают вращательные движения соответственно вокруг осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , причем положительным направлением считается направление вращения против часовой стрелки, если смотреть с конца положительного направления осей, как это указано на рис. 1.2, а.

Направление движений рабочих органов, несущих заготовку, обозначается буквами со штрихами, при этом положительное направление должно быть противоположно соответствующему движению, обозначаемому той же буквой без штриха.

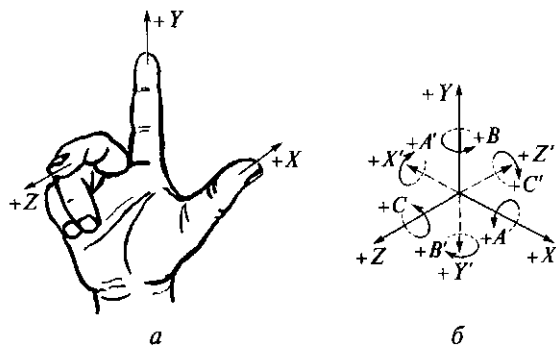


Рис. 1.2. Системы координат в станках с ЧПУ:

а — правило определения правой прямоугольной системы координат  $XYZ$  станка; б — левая прямоугольная система координат  $X'Y'Z'$  на узлах, несущих заготовку ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  — вращательные движения вокруг осей)

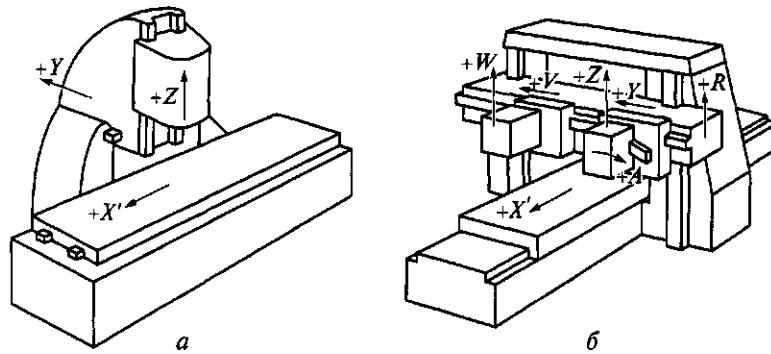


Рис. 1.3. Оси координат в одностоечном (а) и двухстоечном (б) продольно-фрезерных станках

В станках ось  $Z$  определяется по отношению к шпинделю, обеспечивающему главное вращательное движение; при отсутствии шпинделя ось  $Z$  перпендикулярна к рабочей поверхности стола. Положительное направление оси  $Z$  должно совпадать с направлением отвода инструмента от заготовки.

Ось  $X$  располагается горизонтально, параллельно поверхности крепления заготовки. В станках с невращающимся режущим инструментом и заготовкой положительное направление оси  $X$  совпадает с положительным направлением главного движения и параллельно ему; примерами являются поперечно-строгальные и продольно-строгальные станки.

На станках с вращающейся заготовкой, например в токарных, ось  $X$  направлена по радиусу заготовки параллельно поперечным направляющим; положительное направление оси  $X$  совпадает с направлением отхода поперечных салазок с режущим инструментом.

На станках с вращающимся режущим инструментом (сверлильных, фрезерных) при вертикальной оси  $Z$  положительное направление оси  $X$  для одностоечных станков отсчитывают вправо, если смотреть от основного инструментального шпинделя на стойку (рис. 1.3, а); для двухстоечных станков положительное перемещение по оси  $X$  направлено также вправо, если смотреть от основного инструментального шпинделя на левую стойку (рис. 1.3, б).

После выбора осей  $X$  и  $Z$  ось  $Y$  проставляется таким образом, чтобы образовалась правая система координат. Для этого, глядя на конец оси  $Z$ , необходимо повернуть ось  $X$  против часовой стрелки.

Вторичные прямолинейные движения узлов, параллельные движениям по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , осуществляются соответственно по

осям  $U$ ,  $V$  и  $W$ . Если имеются третичные дополнительные движения, параллельные им, то оси, по которым они выполняются, обозначают соответственно  $P$ ,  $Q$  и  $R$ . Оси, по которым осуществляются вторичные вращательные движения, обозначают  $D$  и  $E$ .

*Кодирование УП* стандартизовано. Например, информацию УП для станков кодируют по ГОСТ 20999—83, а для промышленных роботов — по ГОСТ 24836—81.

### 1.5. Показатели технического уровня и надежности станков

Каждый станок имеет определенные выходные параметры. К ним относятся: производительность, точность, прочность, жесткость, виброустойчивость, стойкость к тепловым воздействиям, износостойкость, надежность, показатели качества, экономические и энергетические показатели. Все они, вместе взятые, характеризуют технический уровень станка.

**Производительность.** Это основной критерий количественной оценки станочного оборудования. Производительность станка характеризуется числом деталей, изготовленных на нем в единицу времени. Если, например, на обработку одной детали затрачивается время  $t$ , мин, то производительность  $Q$  станка будет  $Q = 1/t$ , шт./мин, а если  $N$  деталей, то  $Q = N/t$ .

Для металлорежущих станков различают:

идеальную (технологическую) производительность  $Q_{ид} = 1/t_p$ , где  $t_p$  — время резания;

цикловую производительность  $Q_{ц} = 1/(t_p + t_{х.х})$ , где  $t_{х.х}$  — время на холостые ходы;

фактическую (реальную) производительность  $Q_{ф} = 1/(t_p + t_{х.х} + t_{пр})$ , где  $t_{пр}$  — время, затрачиваемое на смену инструмента, его регулирование, ремонт механизмов станка и т. д., этот параметр называют *прочими потерями времени*, приходящимися на одну обработанную деталь.

Технологическая производительность с уменьшением времени резания возрастает, чего нельзя сказать о фактической производительности. До некоторого момента значение  $Q_{ф}$  будет возрастать с увеличением технологической производительности. Но далее с ростом технологической производительности фактическая начнет падать. Это будет происходить, когда скорость резания станет выше рекомендуемой для обработки данного материала, так как станет увеличиваться значение  $t_{пр}$ : быстрее будет затупляться режущий инструмент, чаще придется его заменять, а следовательно, переустанавливать и настраивать на размер. Технолог должен помнить об этом всегда и не форсировать режимы резания (т. е. параметры режима не должны пре-

вышать рекомендуемые значения), а для повышения производительности применять другие методы: многоинструментальную и многопозиционную обработку, совмещение процесса резания с загрузкой (выгрузкой) заготовок (обработанных деталей), как это имеет место на роторных автоматических линиях.

**Прочность.** Расчеты на прочность деталей, выполняемые при проектировании станков, осуществляют по величинам допускаемых напряжений, коэффициентам запаса прочности или вероятности безотказной работы.

Расчеты по допускаемым напряжениям наиболее просты и удобны, их используют для станков массового производства, опыт эксплуатации которых значителен. Прочность деталей станков исключает аварийные ремонты из-за их поломки. Поэтому допускаемое напряжение статически нагруженных деталей рассчитывают по пределу текучести (для пластических материалов)  $[\sigma] = \sigma_T/n_T$  (здесь  $\sigma_T$  — предел текучести;  $n_T = 1,1 \dots 1,4$  — коэффициент запаса) и по пределу прочности (для хрупких материалов)  $[\sigma] = \sigma_B/n_B$ , где  $\sigma_B$  — предел прочности;  $n_B = 3 \dots 4$  — коэффициент запаса.

Прочность деталей при циклически меняющихся напряжениях рассчитывают в зависимости от цикла нагружения с учетом факторов, влияющих на усталостную прочность: концентрации напряжений, размеров деталей, состояния поверхностного слоя. В этом случае за предел выносливости  $\sigma_R$  принимают предел выносливости  $\sigma_{-1}$  при симметричном цикле нагружения как наиболее опасном цикле. Численные значения пределов выносливости  $\sigma_{-1}$  для различных материалов приведены в учебнике «Техническая механика» [6]. Коэффициент запаса циклической прочности

$$n_R = \sigma_{-1}/(K\sigma_a + \psi\sigma_m),$$

где  $K$  — коэффициент снижения предела выносливости, зависящий от состояния поверхностных слоев, концентрации напряжений, масштабного фактора;  $\sigma_a$  и  $\sigma_m$  — амплитуда и среднее напряжение цикла соответственно;  $\psi$  — коэффициент, учитывающий вид напряженного состояния; при растяжении принимают: для углеродистых сталей  $\psi = 0,1 \dots 0,2$ , для легированных сталей  $\psi = 0,2 \dots 0,3$ ; при кручении для тех же сталей  $\psi = 0,05 \dots 0,1$  и  $\psi = 0,1 \dots 0,5$  соответственно.

**Точность.** Для деталей машин понятие точности включает точность формы и размеров отдельных участков детали, а также точность взаимного положения этих участков.

Точность обработки характеризуется значениями допущенных при обработке погрешностей, т. е. отступлением размеров обработанной детали от заданных по чертежу. Погрешности обработки должны находиться в пределах допусков. Кроме того,

необходимо при обработке заготовки получить заданную шероховатость поверхности, которая непосредственно зависит от метода обработки и режимов резания.

Точность обработки на станке будет в первую очередь зависеть от точности и шероховатости поверхностей деталей узлов станка. Однако при проектировании и изготовлении машин нужно учитывать и другие факторы, влияющие на ее точность.

Рассмотрим в качестве примера координатно-расточный станок. Под действием сил, возникающих при резании, узлы станка деформируются и изменяют свое относительное положение. В результате отжатий узлов станка под нагрузкой траектория движения инструмента относительно заготовки искажается. Точность обработки изделия при этом снижается. Следовательно, точность координатно-расточного станка зависит от жесткости его узлов. На конечную точность обработки большое влияние оказывает и точность измерительных и отсчетных устройств этого станка, предназначенных для оценки перемещения стола с изделием относительно инструмента.

Неточность обработки может возникнуть в результате тепловых деформаций узлов и деталей станка, а также вследствие снижения качества зубчатых колес и ходового винта, что влияет на точность кинематической цепи станка. Особенно это актуально для зуборезных, винторезных, зубо- и резьбошлифовальных станков.

Кинематическая точность в зуборезных станках существенно зависит от точности изготовления и монтажа червяка и червячного колеса в делительной цепи.

**Жесткость.** Критерий жесткости в станках является одним из важнейших. Например, прецизионные станки проектируют значительно более массивными, чем другое технологическое оборудование для тех же нагрузок и мощности, так как их узлы будут более жесткими, а следовательно, под действием приложенных сил будут давать меньшие отжатия.

*Жесткостью узла* называется его способность сопротивляться появлению по осям координат упругих смещений под действием нагрузки. Жесткость, Н/мкм, может быть определена как отношение силы  $F$ , приложенной к узлу в заданном направлении, к упругому отжатию  $\delta$  этого узла:  $j = F/\delta$ .

Величины упругих отжатий в узлах технологического оборудования связаны с упругими деформациями, возникающими под действием приложенных к ним сил. Например, в металлорежущих станках это деформации следующих видов.

1. *Деформация деталей узла* под действием приложенных к ним сил (растягивающих, сжимающих, изгибающих и т. д.). Величину упругих смещений можно подсчитать по формулам, известным из курса сопротивления материалов. Трудность связа-



на с выбором расчетной схемы из-за сложности конструктивных форм некоторых деталей узлов. Например, шпиндельные узлы могут устанавливаться в опоры скольжения (гидростатические, гидродинамические, аэростатические, магнитные), качения (шариковые и роликовые), а эпюры для балки строят так же, как для случая шарнирного опирания или заделки. Кроме того, при расчетах следует учитывать жесткость опор, так как под действием приложенных к ним сил они деформируются.

2. *Контактная деформация*, обусловленная действием сил, приложенных к узлам, опирающимся на тела качения. Начальное касание деталей происходит в точке или по линии (в подшипниках качения, кулачковых механизмах, направляющих качения). Величину контактной деформации можно рассчитать по методике, изложенной в курсе «Сопротивление материалов».

3. *Деформация стыков*. На величину отжатия узла деформация стыков влияет в большей степени, чем деформация его деталей и контактная деформация. Жесткость стыка определяется следующей зависимостью:

$$\xi = p/\delta,$$

где  $p$  — удельное давление в стыке;  $\delta$  — упругое отжатие, которое этим давлением вызывается. Жесткость стыка зависит не только от величины микронеровностей обработанной поверхности стыка, но и от метода обработки (строгание, фрезерование и т. п.)

4. *Деформация тонких тел* (при неполном касании по их поверхностям). Такие детали, как клинья и планки, применяемые для компенсации износа соприкасающихся поверхностей, находясь между двумя плоскостями, не обеспечивают их полного касания по всей поверхности. Длинная тонкая планка будет иметь лишь отдельные зоны микроконтакта, в результате чего при действии силы происходит «распрямление» тонких тел и деформация увеличивается. Поэтому наличие в узле планок и клиньев снижает его жесткость.

Таким образом, при расчете узла на жесткость необходимо учитывать суммарную величину упругих отжатий, вызванных упругими деформациями всех видов.

Меры по повышению жесткости станков направлены на создание таких конструкций, которые могли бы воспринимать большие силы резания при малой деформации узлов. К таким мерам относятся: повышение качества поверхностей стыков (сопряжений) и сборки; уменьшение числа стыков и сокращение кинематических цепей; создание жестких рамных конструкций базовых узлов (например, координатно-расточные станки рамной конструкции имеют большую жесткость, чем вертикальные одностоечные, а следовательно, и большую точ-

ность обработки); повышение жесткости слабых звеньев (планок, клиньев, цанг); расположение клиньев и планок в узлах со стороны, противоположной действию сил; создание в конструкциях с опорами и направляющими качения предварительного натяга.

**Износостойкость.** В результате постепенного изменения поверхностей трения при взаимодействии двух сопряженных деталей происходит их изнашивание, т.е. уменьшение размеров и изменение формы деталей. По статистике большинство деталей машин выходит из строя из-за износа. При изнашивании в миниатюре происходят пластические и упругие деформации, сдвиг, усталостные разрушения материала деталей.

Для большинства деталей наиболее характерен абразивный износ. Абразивные частицы, образующиеся при резании или царапании с отделением микростружки, попадая в смазочный материал или непосредственно на трущиеся поверхности, разрушают эти поверхности. Кроме того, при относительном перемещении двух поверхностей микровыступы испытывают переменные напряжения, вследствие чего в дальнейшем наступает усталостное разрушение. Появляются микротрещины, что также способствует отделению частиц материала.

В большинстве случаев можно наблюдать три стадии изнашивания (рис. 1.4): I — период приработки; II — установившийся (или нормальный) износ; III — катастрофический износ. Период нормальной эксплуатации (II стадия) характеризуется линейной зависимостью между временем изнашивания  $t$  и величиной износа  $U$  (мкм). Скорость  $\gamma$  изнашивания на этой стадии остается постоянной:  $\gamma = U/t$ . Для абразивного и усталостного изнашивания  $U = kpv_{отн}t$ , где  $k$  — коэффициент, зависящий от материала пар трения, смазочного материала, микронеровностей трущихся поверхностей и других факторов;  $p$  — удельное давление;  $v_{отн}$  — скорость относительного скольжения. Разделив величину износа  $U$  на время  $t$ , получим  $\gamma = kpv_{отн}$ .

Для конкретных пар можно экспериментально определить значения  $k$  и в дальнейшем прогнозировать долговечность работы многих типовых деталей и узлов станков: направляющих скольжения, кулисных механизмов, дисков фрикционных муфт, ходовых винтов и гаек скольжения.

Износ резко удорожает эксплуатацию машин в связи с необходимостью периодической проверки их техническо-

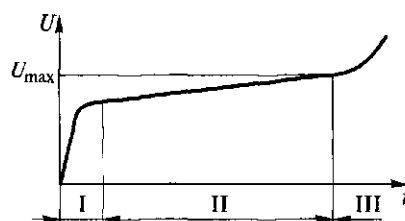


Рис. 1.4. Стадии I, II и III изнашивания трущихся поверхностей

го состояния и ремонта, что связано с простоями и сокращением выпуска продукции.

Существуют следующие мероприятия по повышению износостойкости: смазывание трущихся поверхностей; применение износостойких материалов; защита поверхностей от загрязнения; перенос усилий с ответственных механизмов на менее ответственные (например, обтачивание наружной поверхности на токарном станке производят при включенном ходовом вале, а ходовой винт в это время отключают); разгрузка изнашиваемых поверхностей и др.

**Стойкость к тепловым воздействиям.** Работа станка сопровождается тепловыделением, вызываемым процессом резания и трением в механизмах. В результате теплового воздействия возникают тепловые деформации, отрицательно влияющие на работоспособность станка. Так, понижается защитная способность масляного слоя в трущихся поверхностях и, следовательно, увеличивается их износ или происходит заедание; изменяются зазоры в подвижных соединениях; нарушается точность обработки, например в результате нагрева передней опоры шпинделя его ось может отклониться, что приведет к снижению точности.

Тепловые деформации узлов станка могут быть рассчитаны, если известны их температурные поля.

Применяют следующие методы борьбы с тепловыми деформациями технологического оборудования:

- вынос узлов и механизмов с повышенным тепловыделением (например, гидростанций и гидросистем) за пределы станка;
- использование в зоне резания смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ);

- принудительное охлаждение узлов;
- создание термokonстантных цехов, в которых поддерживается постоянная температура;

- выравнивание температурного поля путем искусственного подогрева или охлаждения отдельных узлов;

- автоматическая компенсация тепловых деформаций — применение коррекционных линеек в станках с ручным управлением и использование предискажения программы в станках с ЧПУ.

**Виброустойчивость.** Под *виброустойчивостью* понимают способность конструкций работать в заданном диапазоне режимов обработки без недопустимых колебаний отдельных узлов и станка в целом. В связи с увеличением скоростей резания и быстрых ходов колебания становятся все более опасными. Если частота собственных колебаний узлов станка совпадет с частотой вынужденных колебаний, наступает резонанс и станок может разрушиться.

Вибрации (колебания с малой амплитудой) также нежелательны. В металлорежущем станке вибрации, например, ухудшают качество обрабатываемой поверхности, уменьшают долговечность оборудования, ограничивают его технологические возможности.

Основное распространение в машинах имеют вынужденные, параметрические колебания и автоколебания.

*Вынужденные колебания* возникают под действием внешней периодически изменяющейся силы по следующим причинам:

дисбаланс вращающихся деталей (ротора электродвигателя, шпинделя с расточным резцом, абразивного круга);

ошибки в изготовлении зубчатых передач (вход в зацепление будет сопровождаться ударом);

прерывистое резание при фрезеровании, долблении, затыловании, протягивании;

внешние источники колебаний.

*Параметрические колебания* возникают при наличии какого-либо переменного параметра, например момента инерции поперечного сечения вала. Предположим, что на вращающийся вал действует постоянная сила. Если его поперечное сечение — окружность, у которой моменты инерции относительно всех осей одинаковые, то никаких колебаний не возникает. Если же у вала есть прямоугольное отверстие (в поперечном сечении — прямоугольник), то под действием постоянной силы вал будет прогибаться по-разному, так как моменты инерции у прямоугольника относительно взаимно перпендикулярных осей различны.

*Автоколебания*, или незатухающие самоподдерживающиеся колебания, характеризуются тем, что их источник находится в самой колебательной системе. При автоколебательном процессе в случае прекращения колебаний системы перестают существовать и переменные силы, поддерживающие эти колебания.

Примером могут служить автоколебания при трении (фрикционные колебания при медленном перемещении столов, суппортов станка по направляющим скользящим). Причиной этих колебаний является переменность силы трения в зависимости от скорости. Другим примером автоколебаний являются самовозбуждающиеся колебания в металлорежущих станках при резании. Повышение жесткости узлов машины способствует снижению автоколебаний.

Наличие колебаний в станках чаще всего сопровождается шумом. Шум связан с соударением движущихся деталей. Так, погрешности шага и профиля зубьев зубчатых колес приводят к соударению при входе в зацепление. Повышенный уровень шума сказывается на утомляемости персонала и, следовательно, вреден для здоровья. Уровень шума измеряется в децибелах (дБ),

его предельное значение ограничивается санитарными нормами. Основные меры борьбы с шумом: повышение точности и снижение шероховатости при обработке, применение демпферов и материалов с повышенным внутренним трением.

**Энергетическая характеристика.** Одним из параметров, определяющих данную характеристику технологического оборудования, является коэффициент полезного действия (КПД). Для станков определяют КПД главного привода  $\eta_{г.п}$  и КПД станка в целом  $\eta_c$ .

Коэффициент  $\eta_{г.п}$  рассчитывают по формуле

$$\eta_{г.п} = N_{п}/N_c = N_{п}/(N_{п} + N_{тр}),$$

где  $N_{п}$  — полезная мощность;  $N_c$  — общая затраченная мощность;  $N_{тр}$  — мощность, идущая на преодоление трения во время рабочих ходов.

Для станков с главным вращательным движением, например токарных,  $\eta_{г.п} = 0,7 \dots 0,85$ , для станков с возвратно-поступательным главным движением, например поперечно-строгальных,  $\eta_{г.п} = 0,6 \dots 0,7$ .

КПД станка в целом определяют, пользуясь выражением

$$\eta_c = A_{п}/(A_{п} + A_{тр} + A_{х.х}),$$

где  $A_{п}$  — полезная работа;  $A_{тр}$  — работа, идущая на преодоление трения при рабочих ходах;  $A_{х.х}$  — работа, идущая на осуществление холостых ходов.

Для металлорежущего станка его КПД с учетом, что полезная работа определится через эффективную мощность резания  $N_э$  и время резания  $t_p$ , рассчитывают с помощью выражения

$$\eta_c = N_э t_p / [(N_э + N_{тр}) t_p + N_{х.х} t_{х.х}],$$

где  $N_{х.х}$  и  $t_{х.х}$  — мощность и время холостого хода.

Полученная зависимость показывает, что  $\eta_{г.п} = \eta_c$  только в том случае, когда  $t_{х.х} = 0$ , например в бесцентровошлифовальных станках.

Возможны два метода повышения КПД станка: 1) повышение КПД главного привода благодаря сокращению кинематических цепей, повышению качества изготовления отдельных пар, улучшению условий смазывания; 2) сокращение длительности холостых ходов, уменьшение массы узлов, уменьшение инерционных усилий, замена трения скольжения на трение качения.

**Показатели качества станочного оборудования.** Номенклатура показателей качества определяется стандартами: для металлообрабатывающих станков — ГОСТ 4.93—86, для УЧПУ — ГОСТ 4.405—85 и т. д. В качестве примера ниже приведены некоторые показатели качества металлообрабатывающих станков:

• *показатели назначения* — предельные размеры устанавливаемой заготовки и предельные размеры ее обрабатываемых поверхностей; наибольшая масса устанавливаемой заготовки; наибольшие размеры устанавливаемого на станке инструмента; наличие накопителей инструмента; наибольшее перемещение рабочих органов станка с инструментом и заготовкой; дискретность задания перемещений; точность позиционирования; количество управляемых координат; количество одновременно управляемых координат; пределы частот вращений и рабочих подач; пределы скоростей быстрых (установочных) перемещений стола, ползуна, салазок, шпинделя; показатели силовой характеристики станка (наибольший крутящий момент, мощность привода главного движения); габаритные размеры и масса станка; показатели точности и производительности; класс точности станка; время автоматической смены инструмента и др.;

• *показатели надежности* — установленная безотказная наработка в сутки, в неделю; установленный срок службы до первого капитального ремонта; установленный ресурс по точности станка до первого среднего ремонта; коэффициент технического использования; среднее время восстановления;

• *показатели экономного использования материалов и электроэнергии* — удельная масса металла (в килограммах на единицу производительности); удельный расход электроэнергии (в киловатт-часах на единицу производительности);

• *эргономические показатели* — уровень звука на рабочем месте; скорректированный уровень звуковой мощности;

• *показатели технологичности* — удельная трудоемкость изготовления станка;

• *показатели стандартизации и унификации* — коэффициенты применяемости по составным частям и по стоимости;

• *патентно-правовые показатели* — патентная чистота; патентная защищенность;

• *показатели безопасности* — показатели, обеспечивающие соблюдение общих требований безопасности при эксплуатации станков.

В последнее время при выборе станочного оборудования часто пользуются понятием «цена — качество», что позволяет оценивать конкретную модель в сравнении с другой, имеющей аналогичные параметры.

**Надежность.** Проблема надежности оборудования является одной из основных проблем в машиностроении. Свойство изделия сохранять свою работоспособность в течение заданного промежутка времени, обусловленное безотказностью и долговечностью изделий, называется *надежностью*.

*Работоспособность* — это состояние изделия, при котором оно способно выполнять свои функции, сохраняя значения за-

данных выходных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией (НТД).

Известный авиаконструктор А.Н.Туполев говорил: «Чем дальше от доски конструктора обнаруживается ненадежность, тем она дороже обходится». Ненадежная машина не сможет эффективно функционировать, так как каждая ее остановка из-за повреждения отдельных элементов или ухудшения технических характеристик влечет за собой материальные убытки, а в отдельных случаях и катастрофические последствия.

Из-за недостаточной надежности оборудования промышленности несется огромные потери. Так, за весь период эксплуатации затраты на ремонт и техническое обслуживание станка в 8 раз превышают его первоначальную стоимость.

Надежность закладывается при проектировании и расчете станка, а обеспечивается при его изготовлении. Надежность зависит от качества изготовленных деталей, качества сборки узлов и станка в целом, методов контроля и испытания готовой продукции. Надежность станка реализуется в процессе его эксплуатации.

Показатели безотказности и долговечности проявляются только при эксплуатации станка, зависят от качества его изготовления, условий эксплуатации, системы его ремонта и технического обслуживания, квалификации обслуживающего персонала.

*Безотказность* — это свойство изделия непрерывно сохранять свою работоспособность в течение заданного периода времени. В это понятие не включаются техническое обслуживание, ремонт, подналадка. Изделие должно сохранять свои начальные параметры в заданных пределах.

*Долговечность* — свойство изделия сохранять свою работоспособность в течение гарантированного периода эксплуатации. Здесь учитываются техническое обслуживание и ремонты всех видов.

Полная или частичная утрата работоспособности изделий называется *отказом*. По своей природе отказы могут быть связаны с повреждением поверхностей или с разрушением деталей (выкрашивание, изнашивание, коррозия, поломки) или не связаны с разрушением (ослабление предварительного натяга подшипников, засорение каналов). Отказы бывают полные или частичные, внезапные (поломки) или постепенные (изнашивание, коррозия), опасные для жизни человека или нет, устранимые и неустраняемые.

Показатели безотказности и долговечности изделия определяются в соответствии с теорией вероятности. Вероятность безотказной работы  $P(t)$  в течение заданного времени  $t$  (или заданной наработки) и вероятность отказа  $F(t)$  — взаимно противо-

положные события. Их сумма всегда равна единице. Вероятность безотказной работы находится в пределах  $0 \leq P(t) \leq 1$ . Например, за время  $t = 100$  ч вероятность безотказной работы  $P(t) = 0,99$ . Это следует понимать так: за указанное время работы изделия вероятность отказа составит 1 %, т. е.  $F(t) = 0,01$ .

Основным показателем долговечности изделия является *срок службы до отказа (наработка на отказ)*. Среднее время  $t_n$  наработки на отказ

$$t_n = \sum_{i=1}^K t_{in} / K,$$

где  $K$  — число отказов (восстановлений) за определенный промежуток времени;  $t_{in}$  — интервал времени безотказной работы;  $\sum t_{in}$  — сумма интервалов времени безотказной работы за определенный промежуток времени.

Физический смысл наработки на отказ можно сформулировать так: это среднее время между двумя отказами технологического оборудования при условии выполнения предусмотренного обслуживания.

Чем меньше среднее время работы без отказов, тем менее надежно в работе оборудование и тем чаще возникает необходимость вмешательства наладчика или ремонтника.

Среднее время восстановления работоспособности

$$t_B = \sum_{i=1}^K t_{iB} / K,$$

где  $t_{iB}$  — интервал времени восстановления;  $\sum t_{iB}$  — сумма интервалов времени восстановления за определенный промежуток времени.

При оценке надежности изделия очень важны экономические показатели. Повышение безотказности и долговечности станков при их создании связано с дополнительными материальными затратами.

### Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются металлорежущие станки?
2. Как формируется шифр модели станков серийного выпуска? Приведите примеры.
3. Какие классы точности станков вы знаете?
4. Что называется главным движением? Приведите примеры станков, у которых главное движение прямолинейное.
5. Какие движения относятся к основным?
6. Как по обозначению модели отличить станок с ручным управлением от станка, имеющего программное управление?



7. Назовите вспомогательные движения, которые могут осуществляться на токарном станке.
8. Чем отличаются системы ЦПУ от систем ЧПУ?
9. Расшифруйте аббревиатуру УЧПУ.
10. Как определяются положительные направления осей координат и направлений вращательных движений в станках с ЧПУ?
11. Всегда ли уменьшение времени резания приводит к увеличению фактической производительности?
12. Что понимается под жесткостью узла станка и что на нее влияет?
13. Что вы знаете о параметрических колебаниях? Каковы причины их возникновения?
14. Какие показатели качества металлорежущего станка вы знаете?
15. Какое состояние технологического оборудования считается работоспособным?
16. Что такое наработка на отказ и как этот параметр определяется?

## ГЛАВА 2

# ТИПОВЫЕ УЗЛЫ И МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### 2.1. Станины и направляющие

**Станины.** Несущую систему станка образует совокупность его элементов, через которые замыкаются силы, возникающие между инструментом и заготовкой в процессе резания. К основным элементам несущей системы станка относятся станина и корпусные детали (поперечины, хоботы, ползуны, плиты, столы, суппорты и т. п.).

Станина служит для монтажа деталей и узлов станка, относительно нее ориентируются и перемещаются подвижные детали и узлы. Станина, как и другие элементы несущей системы, должна обеспечивать в течение срока службы станка возможность обработки заготовок с заданными режимами и точностью. Это достигается правильным выбором конструкции, материала станины и технологии ее изготовления для обеспечения необходимой жесткости, виброустойчивости и износостойкости направляющих.

Станины делят на горизонтальные и вертикальные (стойки). Форма сечения горизонтальных станин (рис. 2.1, а) определяется многими факторами: расположением направляющих, условиями удаления стружки и СОЖ, условиями размещения резервуаров для СОЖ и защитных устройств, необходимостью установки на ней подвижных и неподвижных узлов, требованиями к жесткости, удобством проведения ремонтных работ и т. п. Форма сечения вертикальных станин (рис. 2.1, б) определяется главным образом требованиями к жесткости. В целях повышения жесткости станины выполняют с двойными стенками или сплошного сечения, с замкнутым контуром, увеличенным числом перегородок и ребер; с этой же целью исключают люки и окна или уменьшают их размеры.

Основным материалом для изготовления служат чугун — для литых станин, сталь — для сварных. Для изготовления станин тяжелых станков иногда применяется железобетон. Для станин станков высокой точности применяется искусственный материал — синтегран, изготавливаемый на основе крошки минеральных материалов и смолы. Этот материал характеризуется незначительными тепловыми деформациями.

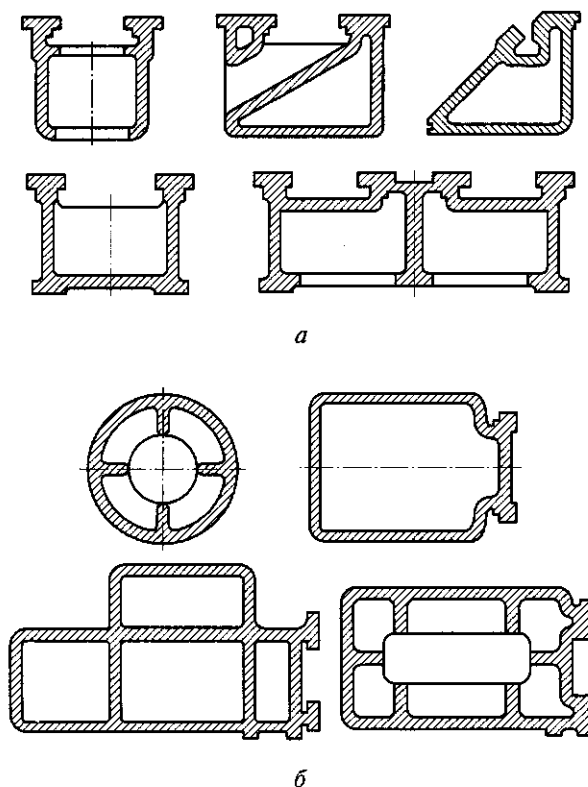


Рис. 2.1. Сечения горизонтальных (а) и вертикальных (б) станин

**Направляющие.** Требуемое взаимное расположение узлов станка и возможность относительного перемещения инструмента и заготовки обеспечивают направляющие. Для перемещения узла направляющие должны допускать только одну степень свободы движения. Это достигается соответствующей конструкцией направляющих или силовым замыканием (действием сил тяжести, подпружиненных элементов и т. п.).

Для регулирования начальных зазоров или натягов и восстановления начальных показателей в процессе эксплуатации (например, вследствие изнашивания поверхностей скольжения) предусматривают регулировочные элементы (рис. 2.2): клинья с продольным и поперечным перемещением; подвижные планки; накладные пригоняемые планки и другие устройства.

По назначению и конструктивному исполнению направляющие можно классифицировать по следующим признакам:

- по виду движения: направляющие главного движения (например, стол-станина продольно-строгального станка); направ-

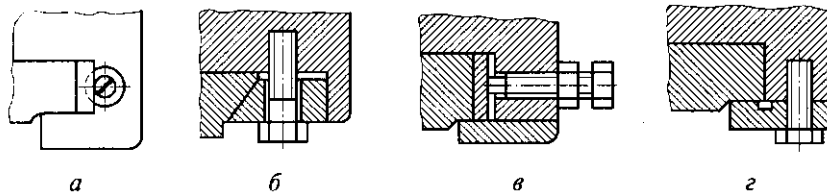


Рис. 2.2. Регулировочные элементы с продольным (а) и поперечным (б) клином, с поджимной (в) и накладной пригоняемой (z) планкой

ляющие движения подачи; направляющие перестановки сопряженных и вспомогательных деталей и узлов, неподвижных в процессе обработки;

- по траектории движения: направляющие прямолинейного и кругового движения;
- по направлению траектории перемещения узла в пространстве: горизонтальные, вертикальные и наклонные;
- по геометрической форме: призматические, плоские, цилиндрические, конические (только для кругового движения) и их сочетания.

Кроме указанных можно отметить такие дополнительные признаки классификации направляющих, как способность восприятия отрывающих сил и опрокидывающих моментов (замкнутые направляющие), способ выполнения направляющих (за одно целое с подвижным узлом или станиной либо накладные, прикрепленные к узлу или станине).

Наибольшее распространение в станках получили направляющие скольжения и качения.

*Направляющие скольжения* (рис. 2.3) обычно изготавливают из серого чугуна. Чугун используется в тех случаях, когда на-

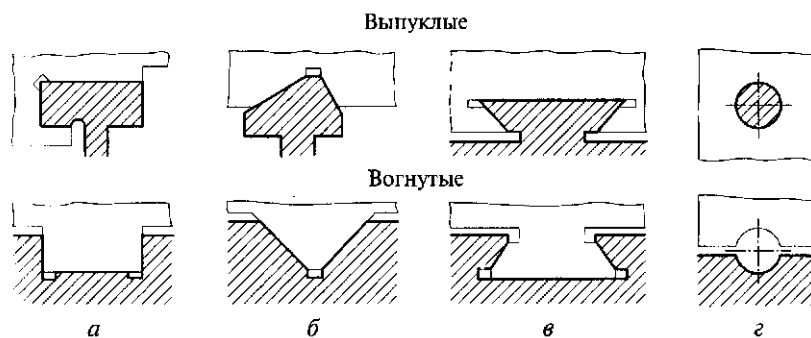


Рис. 2.3. Основные формы поперечных сечений направляющих скольжения:

а — плоская; б — призматическая; в — в форме ласточкина хвоста; г — цилиндрическая

правляющие выполняются как одно целое со станиной или подвижным узлом. Износостойкость направляющих повышают поверхностной закалкой до твердости 42... 56 HRC.

Накладные направляющие изготавливают из стали, закаленной до твердости 58... 63 HRC. Чаще всего используют сталь 40X с закалкой токами высокой частоты (ТВЧ), а также стали 15X и 20X с последующей цементацией и закалкой. Перспективным материалом для накладных направляющих скольжения являются пластмассы.

По виду трения скольжения различают следующие направляющие:

- гидростатические (рис. 2.4) — направляющие главного движения и подачи; в этих направляющих смазочный слой создается подачей масла под высоким давлением в специальные карманы необходимых размеров;
- со смешанной смазкой — большинство направляющих движения подачи;
- с граничной смазкой — направляющие подачи, работающие при очень малых скоростях скольжения;
- с воздушной смазкой — аэростатические.

В станках широко применяют *направляющие качения* с использованием в них шариков и роликов как промежуточных тел качения. Достоинством направляющих качения является малое трение, не зависящее от скорости движения. Направляющие качения обеспечивают высокую точность перемещений, равномерность медленных движений, они более долговечны, чем направляющие скольжения. Подобно направляющим скольжения направляющие качения могут быть замкнутыми и незамкнутыми.

*Защитные устройства для направляющих* обеспечивают их надежную работу и предохраняют рабочие поверхности от попадания пыли, стружки и грязи.

Щитки, прикрепленные к перемещаемому узлу станка (рис. 2.5, а) или, реже, к станине, используют при малых перемещениях подвижного узла. Телескопические щитки, состоящие из

нескольких подвижных стальных щитков (рис. 2.5, б) с уплотнениями в подвижных соединениях, применяют в средних и тяжелых станках при значительной длине хода. Стальные ленты (рис. 2.5, в — д) используют на различных станках с большой длиной хода подвижного узла. Гармоникообразные меха («гармошки») (рис. 2.5, е), изготовленные из различ-



Рис. 2.4. Схема гидростатических направляющих

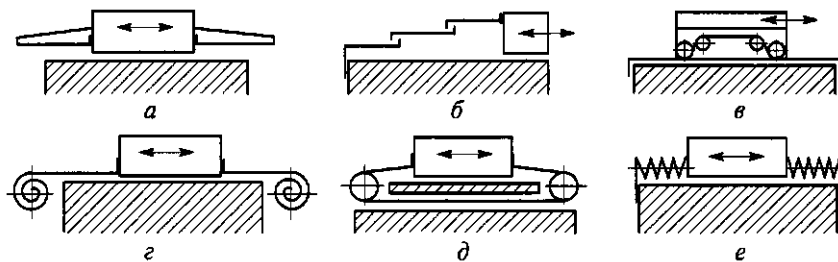


Рис. 2.5. Защитные устройства для направляющих:

*a* — шитки; *б* — телескопические шитки; *в*, *г*, *д* — ленты; *е* — гармоникообразные меха

ных материалов, в том числе полимерных, обеспечивают высокую герметичность, применяются на шлифовальных и других станках.

## 2.2. Шпиндельные узлы

**Требования к шпиндельным узлам.** Одним из основных узлов, во многом определяющих точностные параметры станка и производительность обработки, является шпиндельный узел (ШУ). Этим обусловлены высокие требования, предъявляемые к ШУ: к точности вращения, виброустойчивости, быстроходности шпинделя, к несущей способности шпиндельных опор, их долговечности и допустимому нагреву.

**Точность вращения** шпинделей металлорежущих станков определяется стандартами в зависимости от типа, класса точности и назначения станка, а для специальных и специализированных станков — техническими требованиями.

**Жесткость** шпинделя задается стандартами на нормы жесткости для соответствующего типа станка. Если таковые отсутствуют, то допустимый прогиб конца шпинделя численно не должен превышать одной трети допуска на радиальное биение шпинделя.

**Виброустойчивость** должна обеспечивать заданную точность и качество обработки. Собственная частота изгибных колебаний шпинделя не должна быть ниже 200 Гц, а в ответственных случаях — 500 Гц.

**Быстроходность** шпинделя и диапазон регулирования частот вращения зависят от назначения, конструктивных и технологических особенностей станков.

**Несущая способность** шпиндельных опор обеспечивается правильным выбором их размеров, смазочного материала и метода его подачи.

*Долговечность* шпиндельных опор зависит от типа шпиндельных подшипников. В станкостроении при расчете подшипников качения их долговечность принимают равной 5000 ч. Подшипники скольжения при необходимости регулируют, и они работают до допустимого износа.

*Допустимый нагрев* шпиндельных подшипников зависит от класса точности станка. Норма предельно допустимого нагрева в стандартах и нормах установлена только для опор качения станков нормальной точности.

Перечисленные требования могут быть обеспечены правильным выбором материалов и термической обработки, выбором соответствующих размеров и конструкции шпинделя и его опор, правильным назначением допусков размеров, качественным изготовлением и сборкой, правильной эксплуатацией, своевременной смазкой и регулированием ШУ.

**Типы опор шпинделя.** В качестве опор шпинделей в станках используют подшипники качения и скольжения. Чаще всего шпиндели устанавливают на две опоры.

В *опорах качения* применяют шариковые, роликовые и игольчатые подшипники качения, класс точности которых выбирают в зависимости от точности станка.

Для повышения точности вращения шпинделя и жесткости опор качения в них создается предварительный натяг путем осевого нагружения наружного или внутреннего кольца подшипника.

Существует несколько способов создания предварительного натяга в опорах качения. В радиальных шарикоподшипниках предварительный натяг  $\Delta$  создается посредством осевого смещения наружного кольца относительно внутреннего предварительным сошлифовыванием торцов колец (рис. 2.6, *а*) или простановкой втулок различной длины между внутренним и наружным кольцом (рис. 2.6, *б*). Со временем, при износе дорожек качения, величина предварительного натяга уменьшается. Чтобы восстановить первоначальную величину, необходимо демонтировать опору и в первом случае прошлифовать торцы наружных колец (что в условиях завода-потребителя представляет определенные трудности) или прошлифовать торцы втулки, проставленной между внутренними кольцами.

Для поддержания величины предварительного натяга на заданном уровне применяют специальные конструкции подшипников, например с пружиной (рис. 2.6, *в*), или подшипники с возможностью регулирования натяга в процессе обработки. На рис. 2.6, *г* изображен роликовый подшипник, в котором предусмотрено промежуточное кольцо 4, образующее вместе с наружным кольцом 2 подшипника небольшой гидроцилиндр. Поршень-кольцо 3, смещаясь под давлением масла (или воздуха),

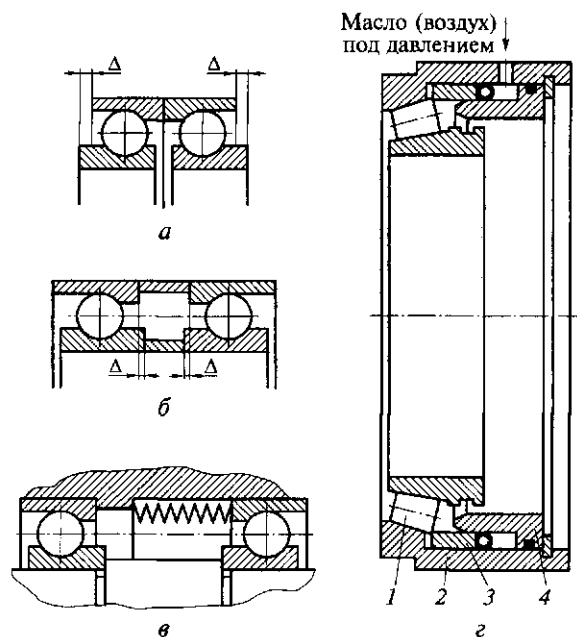


Рис. 2.6. Способы создания натяга в подшипниках качения:  
*a* — путем сошлифовывания торцов колец; *б* — простановкой втулок; *в* — пружинами; *г* — гидравликой (или пневматикой); 1 — ролик; 2 — наружное кольцо; 3 — поршень-кольцо; 4 — промежуточное кольцо

создает осевую силу предварительного натяга, воздействуя на торцы роликов 1. Давление автоматически меняется при изменении температуры или нагрузки в ШУ.

В *опорах скольжения* используют подшипники скольжения следующих типов: гидродинамические, в которых смазочный материал захватывается во время вращения шпинделя; гидростатические, в которые смазочный материал подается под давлением до начала вращения шпинделя; воздушные, или газовые (аэродинамические и аэростатические); магнитные.

Конструкции подшипников скольжения разнообразны: регулируемые; с радиальным и осевым регулированием зазора; одноклиновые и многоклиновые; с вкладышами, установленными в упругодеформируемой обойме, и др.

**Материал шпинделя.** Решающими факторами, определяющими выбор материала шпинделя, являются твердость и износостойкость рабочих шеек и базисных поверхностей фланцев, а также стабильность размеров и формы шпинделя в процессе его изготовления и работы.



*Шпиндели станков нормальной и повышенной точности* (Н и П), устанавливаемые в подшипниках качения, изготавливают из сталей марок 40Х, 45, 50. В качестве основного метода упрочнения рекомендуется поверхностная закалка с индукционным нагревом до получения твердости 48... 56 НRC.

Объемная закалка, обеспечивающая твердость 56... 60 НRC, используется преимущественно для шпинделей сложной формы, например с конусными отверстиями небольшого размера, с фланцами, пазами для крепления сухарей и т. д., когда закалка с индукционным нагревом технологически трудна. Обычно объемной закалке подвергают только переднюю часть шпинделя. В этом случае шпиндели рекомендуется изготавливать из стали 50Х.

Если для рабочих поверхностей шпинделей требуется твердость 54... 59 НRC, а объемная закалка затруднена, шпиндели изготавливают из сталей 40ХФА и 18ХГТ с последующим азотированием или из сталей 18ХГТ и 20Х с последующей цементацией. Для азотирования возможно также применение стали марки 40Х, но износостойкость в этом случае будет несколько меньше.

*Шпиндели станков высокой и особо высокой точности* (В и А), устанавливаемые в подшипниках качения, в связи с высокими требованиями к точности изготовления, постоянству размеров, формы и износостойкости рекомендуется выполнять из сталей марок 40ХФА и 18ХГТ и упрочнять методом азотирования. При изготовлении шпинделей несложной конфигурации допускается применение цементации с последующей закалкой и отпуском. В этом случае шпиндели изготавливают из сталей марок 18ХГТ, 12ХНЗА и 20Х.

*Шпиндели, устанавливаемые в подшипниках жидкостного трения*, должны иметь высокую твердость и низкую шероховатость рабочих шеек (0,08... 0,04 мкм). Основным методом упрочнения шпинделей этой группы — азотирование до твердости 63... 68 НRC. Рекомендуемые в качестве материала шпинделя стали типа 38ХВФЮА обеспечивают высокую стойкость азотированной поверхности против задиров. Для азотируемых шпинделей большого диаметра целесообразно использовать сталь марки 38ХЮ.

Применение сталей с повышенным или высоким содержанием углерода, типа 50, У8А, ШХ15, допускается для шпинделей тяжелых станков. Рабочие шейки и посадочные поверхности в этом случае упрочняют поверхностной закалкой с помощью индукционного нагрева до твердости 54... 62 НRC. Шпиндели относительно небольшого диаметра (до 70... 80 мм) изготавливают из цементруемых сталей марок 18ХГТ и 12ХНЗА; рабочие поверхности цементируют и закалывают до твердости 56... 60 НRC.

В отдельных случаях полые шпиндели большого диаметра целесообразно изготавливать из серого чугуна СЧ15, СЧ21 или высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

В последние годы для изготовления *шпинделей прецизионных станков* станкостроительные фирмы стали использовать *нетрадиционные материалы* — волокнистые композиционные материалы, в частности угле- и стеклопластики. Легкость и прочность этих материалов позволяют повышать рабочие скорости ШУ. Углепластики обладают небольшим коэффициентом температурного расширения и повышенной износостойкостью. В шпинделях из углепластиков слои волокон наложены один на другой под углом  $45^\circ$  к оси шпинделя (для восприятия крутящего момента) и вдоль его оси (для восприятия поперечных изгибающих нагрузок). Шпиндель из такого материала в 6 раз легче металлического, а разность величин тепловых деформаций его передней и задней шеек меньше на 20 %.

Стремление к снижению износа шеек шпинделя и, следовательно, к повышению его работоспособности привело к тому, что в настоящее время для изготовления шпинделя стали применять различные керамические материалы — карбиды, бориды, нитриды и некоторые другие оксиды. Эти материалы отличаются высокими твердостью и прочностью при повышенных температурах, износо- и коррозионностойкостью, малыми коэффициентами линейного расширения, тепло- и электропроводности, а также изоляционными свойствами.

К числу керамических материалов такого типа относятся двуокись циркония, оксиды алюминия и магния, а также дисперсионная керамика. Эти материалы характеризуются малой плотностью ( $2 \dots 5,5 \text{ кг/дм}^3$ ), высокими износостойкостью (нередко более высокой, чем у твердых сплавов), твердостью (до 5000 НВ) и жаропрочностью (до  $2000^\circ\text{C}$ ). Однако хрупкость керамики существенно ограничивает область ее применения.

Разработан прецизионный токарный станок, станина, передняя бабка, салазки и шпиндель которого выполнены из керамики. Причем шпиндель (диаметром 200 мм) и упорные подшипники, установленные в шпиндельной гильзе (из оксида алюминия), изготовлены из нитрида кремния, а станина, передняя бабка и поперечные салазки — из оксида алюминия. Это позволило обеспечить точность обработки детали по диаметру, равную 0,2 мкм, и максимальную высоту микронеровностей не более 0,02 мкм.

Шпинделями из керамики оснащают и многоцелевые вертикальные станки.

**Особенности конструкции шпиндельных узлов.** ШУ металлорежущих станков различают по назначению, точности, габаритным размерам, передаваемой мощности, способу переда-

чи крутящего момента на шпиндель, быстроходности и типу опор. Точностные параметры ШУ, зависящие от класса точности станка, определяют конструктивное исполнение опор шпинделя.

Переход к скоростной обработке на станках, которые обеспечивают скорость резания до десятков тысяч метров в минуту с традиционными опорами качения и скольжения, уже не удовлетворяет требованиям точности.

Воздушные, гидростатические и магнитные опоры по точности и быстроходности превосходят опоры качения и гидродинамические опоры скольжения. Так, отклонение от круглости обработанного изделия, установленного в шпинделе на гидростатических опорах, составляет 0,2 мкм, в то время как при установке изделия в шпинделе на опорах качения этот параметр равен 1 мкм. ШУ с магнитными опорами обеспечивают шероховатость обработанной поверхности 0,025 мкм (с опорами качения 0,32 мкм, а с гидродинамическими опорами скольжения 0,16 мкм). Значения скоростного параметра  $(dn)_{\max}$ , где  $d$  — диаметр шейки;  $n$  — частота вращения шпинделя, для шпинделей с различными опорами приведены в табл. 2.1.

Радиальное и осевое биения шпинделя на гидростатических опорах составляют порядка 0,05 мкм (на опорах качения — 1 мкм, на гидродинамических опорах скольжения — 0,5 мкм).

Особенностью прецизионных ШУ является использование инерционного привода: после разгона шпиндель с маховиком отключают от привода и обработку проводят при его свободном выбеге. При этом обеспечивается шероховатость обработанной поверхности  $Rz \leq 0,025$  мкм.

Поскольку к точности прецизионных станков предъявляются исключительно высокие требования, то шпиндели этих станков имеют весьма разнообразные конструктивные решения. В станках классов точности В, А и С значительная часть погрешности обусловлена тепловыми деформациями.

При чистовом точении их доля составляет 15...20%, а при растачивании — 30...65%. Уменьшение тепловых деформаций в прецизионных станках путем снижения режимов резания невозможно, поскольку мощность резания невелика и нагрев определяется потерями мощности на режиме холостого хода станка. Уменьшить тепловые деформации позволяет охлаждение опор шпинделя и использование

Таблица 2.1

Значения скоростного параметра шпинделя

Тип опор шпинделя	$(dn)_{\max}$ , мм/мин
Магнитные	$100 \cdot 10^5$
Аэростатические	$40 \cdot 10^5$
Гидростатические	$15 \cdot 10^5$
Качения	$10 \cdot 10^5$

для изготовления шпинделя нетрадиционных материалов (керамики, углепластиков).

Другое конструктивное решение, повышающее точность вращения шпинделя, — его разгрузка от действия радиальных сил со стороны приводного шкива. В токарных полуавтоматах с ЧПУ шкив, вращающийся в опорах качения, опирается на стакан, жестко закрепленный на шпиндельной бабке, на шпиндель передается только крутящий момент.

Для устранения дополнительных тепловых деформаций, вызванных различными условиями отвода тепла от шпинделя при различных частотах вращения, применяют ШУ с автоматическим регулированием усилия натяга в опорах качения. Это характерно для многоцелевых станков, которые отличаются большим разнообразием режимов резания. Иногда применяют центробежные регуляторы натяга, что позволяет, например, в 2 раза повысить быстроходность ШУ координатно-расточных станков без снижения их точности.

Ниже будут рассмотрены некоторые конструкции ШУ с опорами различных типов, а также ШУ, выполненные из нетрадиционных материалов.

**Шпиндельные узлы с опорами качения.** С появлением новых инструментальных материалов для обработки металлов повысилась частота вращения шпинделя. В связи с этим возникли проблемы, обусловленные снижением стойкости дорожек качения подшипников и их разрушением под действием значительных центробежных сил, ухудшением условий смазки, увеличением теплоотдачи. Станкостроительные фирмы (отечественные и зарубежные) по-разному решают эти проблемы. Однако при создании прецизионных высокоскоростных ШУ стремятся к сохранению их точностных параметров без уменьшения долговечности.

Так, разработан высокоскоростной ШУ с подшипниками из высокопрочной керамики. Передняя опора выполнена в виде четырех однорядных шарикоподшипников с керамическими шариками, а задняя опора представляет собой двухрядный цилиндрический роликоподшипник. Смазывание подшипников осуществляется пластичной смазкой или масляным туманом. Избыточная температура таких подшипников по сравнению с обычными опорами качения в аналогичных условиях при использовании пластичной смазки снижается на 50 %, а при смазывании масляным туманом — на 70 %; при использовании пластичной смазки быстроходность подшипника составляет  $1,6 \cdot 10^5$  мм/мин, а при смазывании масляным туманом —  $1,5 \cdot 10^6$  мм/мин.

Для получения высокой точности вращения шпинделя передние опоры многоцелевых станков, например горизонтального сверлильно-фрезерно-расточного станка (рис. 2.7), смазывают

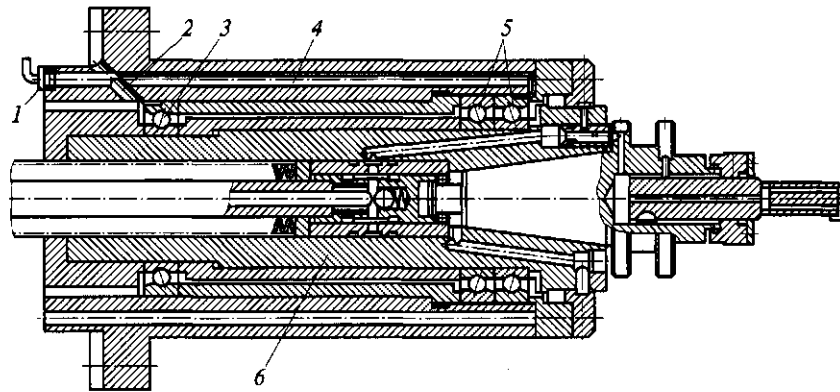


Рис. 2.7. Шпиндельный узел многоцелевого станка:

1 — штуцер подвода жидкой смазки; 2 — канал подвода смазки к задней опоре; 3 — задняя опора; 4 — канал подвода смазки к передней опоре; 5 — передняя опора; 6 — шпиндель

жидкой смазкой, подводимой от централизованной системы через каналы в шпиндельной бабке.

**Шпиндельные узлы с аэростатическими опорами.** Первые ШУ с аэростатическими опорами были предназначены для прецизионных станков и работали в условиях небольших скоростей скольжения. Применение таких опор позволило улучшить характеристики внутришлифовальных, координатно-шлифовальных и других прецизионных станков. При использовании этих опор в шпинделе бабки изделия внутришлифовальных станков удалось уменьшить отклонение от круглости обработанных отверстий до 0,5 мкм, а применение их в шпинделе шлифовального круга позволило снизить шероховатость обработанной поверхности на 1—2 разряда. В шпинделях шлифовального круга и бабки изделия внутришлифовальных станков аэростатические опоры обеспечивают требования класса точности А по ГОСТ 25—90.

Важной областью применения шпинделей на аэростатических опорах является обработка хрупких неметаллических материалов, а также контурное фрезерование печатных плат и сверление в них отверстий диаметрами 0,3... 3 мм.

В связи с освоением производства шлифовальных станков класса точности С, характеристики которых не удается полностью обеспечить с помощью опор качения, возникла потребность в дальнейшем совершенствовании шпинделей на аэростатических опорах. Сверхпрецизионная обработка алмазным инструментом изделий из цветных металлов (дисков и барабанов накопителей запоминающих устройств ЭВМ, деталей оп-

тических устройств) обусловила повышенные требования к ШУ. К точности опор станков для алмазной обработки предъявляются требования, в 2—5 раз более высокие, чем к шлифовальным станкам таких же размеров; например, биение шпинделя должно измеряться сотыми долями микрометра, а точность обработки изделия должна быть существенно выше, чем при обработке на станках класса точности С.

Точность вращения шпинделей на аэростатических опорах повышают ужесточением допусков на изготовление элементов этих опор, выбором оптимальных параметров и рациональной компоновочной схемы ШУ.

Узлы с аэростатическими опорами имеют электрический или пневматический привод. В особо точных станках для алмазного точения, в специальных токарных станках (класса точности С) электродвигатель разгоняет шпиндель до нужной частоты вращения, затем отключается, и процесс резания происходит при отключенном электродвигателе. Это дает возможность полностью устранить вибрации, связанные с дисбалансом двигателя. Внешние вибрации не влияют на работу шпинделя, так как жесткая станина станка установлена на виброопорах. Динамически сбалансированный вместе с планшайбой шпиндель вращается с частотой до 2800 мин<sup>-1</sup>. Он расположен в вертикальной плоскости и установлен на радиально-упорной аэростатической опоре. Благодаря тому, что суппорт имеет аэростатические направляющие, обработанная плоскость после алмазного точения приобретает зеркальную поверхность с шероховатостью до 0,025 мкм; погрешность формы на длине 150 мм составляет 0,5 мкм.

Для обеспечения больших частот вращения шпинделя применяют встроенные приводы: электрический (электрошпиндель) и пневматический (пневмошпиндель). Частота вращения последних может достигать 100...200 тыс. мин<sup>-1</sup>.

На рис. 2.8 показан пневмошпиндель прецизионного внутришлифовального станка. Вал 1 приводится во вращение турбиной, работающей на сжатом воздухе под давлением 0,4...0,6 МПа. Воздух из центрального канала вала через радиальные каналы поступает в кольцевую канавку 5 и по радиальным каналам 11 — к соплам 12. Для питания пневмошпинделя воздух подается через штуцер 6 к радиальным опорам 2 и 10, далее через отверстия 3 — к подпятнику 4, который представляет собой пористое тело. Осевой зазор вала между подпятником 4 и втулкой 9 при отключенной подаче воздуха составляет 20...25 мкм. Воздух, охлаждающий переднюю опору и подпятник, проходит через пазы 16 в передней крышке и каналы 15 в корпусе 14 и щитах. Пневмошпиндель снабжен глушителями 7, 8 и 13.

Воздух для питания турбины и опор очищается от пыли, масла, влаги в специальном устройстве с регулятором бесступенча-

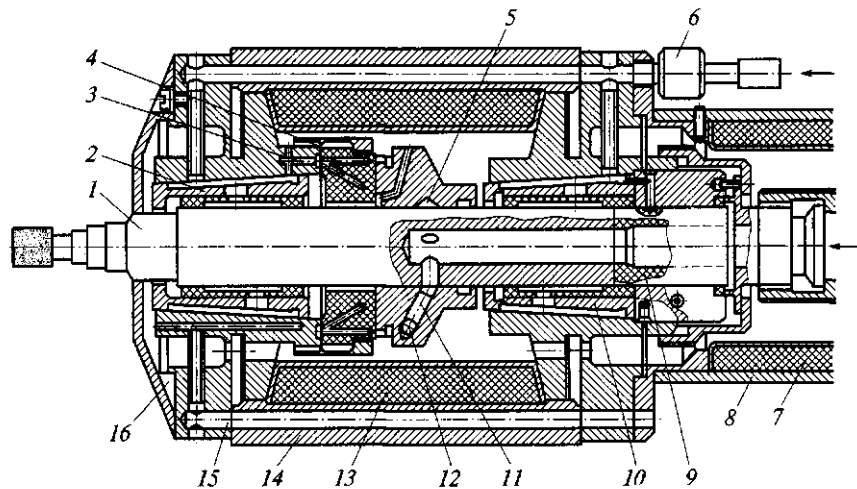


Рис. 2.8. Пневмощпиндель прецизионного внутришлифовального станка: 1 — вал; 2, 10 — радиальные опоры; 3 — подводящее отверстие; 4 — подпятник; 5 — кольцевая канавка; 6 — штуцер; 7, 8, 13 — глушители; 9 — втулка; 11 — радиальный канал; 12 — сопло; 14 — корпус; 15 — канал; 16 — паз для охлаждения

того изменения частоты вращения (до 2 раз). Пневмощпиндель имеет систему автоматического регулирования, которая обеспечивает высокую жесткость его механической характеристики: падение частоты вращения под нагрузкой не превышает 10 %.

Преимуществами пневмощпинделя являются его компактность, безопасность и удобство обслуживания, а также надежное охлаждение опор воздухом, продуваемым через турбину, температура которого понижается на выходе из нее. К недостаткам следует отнести его малую мощность и КПД, зависимость частоты вращения шпинделя от величины приложенной нагрузки, необходимость очистки и просушки воздуха, а также высокий уровень шума.

Аэростатические опоры обеспечивают достижение высокой быстроходности и точности вращения шпинделя вследствие усредняющего действия воздушной пленки при отсутствии вибраций и крайне низком трении в опорах, устранение нагрева опор и самого шпинделя, что исключает их тепловую деформацию и позволяет выполнять прецизионную обработку, большой срок службы шпинделя с сохранением исходной точности. К недостаткам таких опор относятся низкая жесткость по сравнению с другими типами шпиндельных опор, потребность в обеспечении сухим и чистым воздухом. При неправильной эксплуатации шпинделя возможен непосредственный контакт опорных поверх-

ностей вала и самих опор, что приводит к выходу последних, а следовательно, и самого шпинделя из строя.

**Шпиндельные узлы с гидростатическими опорами.** Отличие ШУ с гидростатическими опорами — высокая точность вращения; они могут быть выполнены быстроходными при сравнительно высокой жесткости. Кроме этого, гидростатические опоры характеризуются отсутствием износа, способностью выдерживать высокие нагрузки, демпфирующей способностью и отсутствием металлического контакта при пуске шпинделя. Поэтому такие ШУ нашли применение прежде всего в тяжелых станках.

Для высокоточного скоростного тяжелого токарного станка с микропроцессорным УЧПУ создан ШУ с гидростатическими опорами. Шпиндель 1 (рис. 2.9) установлен в гидростатических подшипниках длиной, равной 0,7 от диаметра шейки. Передняя опора 9 — радиально-упорный подшипник, задняя опора 4 — радиальный подшипник; оба выполнены из бронзы и расположены в корпусе 5 с диаметральным зазором 10... 20 мкм. К корпусу 5 прикреплен бронзовый цилиндр 6, который вместе с вращающимся поршнем 7 образует гидроцилиндр. Последний осу-

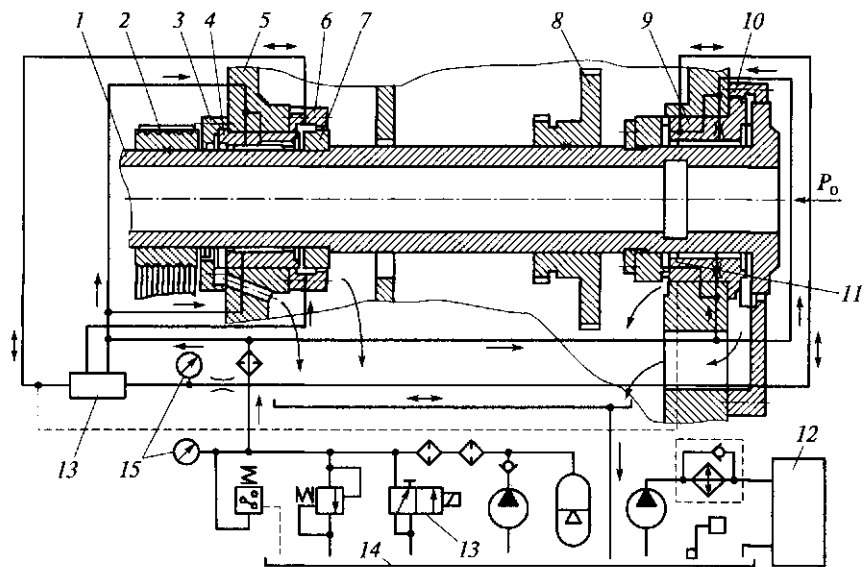


Рис. 2.9. Шпиндельный узел с гидростатическими опорами:

1 — шпиндель; 2 — ремень; 3, 10 — фланцы; 4 — задняя опора; 5 — корпус; 6 — цилиндр; 7 — поршень; 8 — зубчатое колесо; 9 — передняя опора; 11 — упорный подшипник; 12 — холодильная машина; 13 — гидравлический регулятор; 14 — бак; 15 — манометры



ществляет силовое замыкание и разгрузку упорного подшипника 11.

Входные сопротивления всех карманов подшипников образованы капиллярными канавками треугольного сечения. При действии на шпиндель осевой нагрузки  $P_0$  давление в кармане подшипника 11 и полости гидравлического регулятора 13 падает, при этом возрастает давление в полости цилиндра 6. Во фланцах 3 и 10 имеются бесконтактные гравитационные уплотнения шпиндельных опор. С карманом подшипника 11, разгружаемым от осевой нагрузки  $P_0$ , связан электроконтактный манометр 15, который показывает величину этой нагрузки. При отклонении давления в кармане подшипника 11 от заданного уровня манометр дает команду на отключение станка.

ШУ работает в скоростном диапазоне частот вращения от поликлинового ремня 2, а в силовом (тихоходном) — от приводного зубчатого колеса 8. Масло охлаждается холодильной машиной 12. В качестве холодильного агента используется «Хладон-12», который с помощью термореле поддерживает в баке 14 температуру масла с точностью  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ .

При чистовом продольном точении бронзы и стали 45 (50... 54 НРС) такой ШУ обеспечивает отклонение от круглости, равное 0,7... 0,8 мкм; шероховатость обработанной поверхности  $Ra = 0,2$  мкм. Суммарные потери мощности при холостом вращении шпинделя возрастают с увеличением частоты его вращения: при  $n = 800$  мин<sup>-1</sup> потери мощности составляют 4 кВт (давление насоса  $p_n = 4$  МПа), при  $n = 24\,000$  мин<sup>-1</sup> — 10 кВт (при том же значении  $p_n$ ). Статическая радиальная жесткость ШУ составляет 0,75 кН/мкм, осевая жесткость в направлении «на узел» — 1 кН/мкм, в направлении «от узла» — 0,75 кН/мкм.

Преимущества гидростатических подшипников особенно проявляются в ШУ тяжелых многоцелевых станков, которые характеризуются широким диапазоном частот вращения и нагрузок при обработке даже одной детали. Так, высокоскоростной ШУ с гидростатическими опорами имеет следующие характеристики: потеря мощности на режиме холостого хода при  $n = 1000$  мин<sup>-1</sup> равна 2 кВт, при  $n = 1600$  мин<sup>-1</sup> — 3,9 кВт; биение оправки, установленной в шпинделе, — 9 мкм, отклонение от круглости — 3 мкм, шероховатость обработанной поверхности детали  $Ra = 0,8$  мкм.

Недостатки гидростатических опор: необходимость применения циркуляционной смазки, тщательная фильтрация масла, периодический контроль состояния ШУ, охлаждение рабочей жидкости вследствие значительного тепловыделения (особенно в быстроходных ШУ), значительные потери мощности при вращении шпинделя на холостом ходу.

**Шпиндельные узлы с магнитными опорами.** От традиционных ШУ на опорах качения, аэростатических и гидростатических узлов на магнитных опорах отличается более высокой быстроходностью, способностью длительно и устойчиво работать под нагрузкой без смазки и трения при незначительном потреблении энергии. Принцип работы магнитных опор основан на свободном «парении» — левитации в магнитных полях. Состояние левитации обусловлено тем, что равнодействующая сил, действующих на парящее тело, равна нулю. Устойчивость положения шпинделя обеспечивается возникающей силой, направленной противоположно его малому смещению относительно положения равновесия.

Наиболее простыми в исполнении являются *пассивные* магнитные опоры на постоянных кольцевых магнитах, изготовленных из сплава типа секолита, в состав которого входят такие металлы, как самарий и кобальт. Несущая способность опор с постоянными магнитами из секолита в 7—9 раз выше, чем с магнитами из феррита. Одно из преимуществ таких опор заключается в том, что равновесие шпинделя обеспечивается без затрат электроэнергии. Пассивные магнитные опоры применяются в ШУ, работающих с высокой частотой вращения ( $10\,000\text{ мин}^{-1}$  и более) при небольшой несущей способности.

Принцип действия *активных* электромагнитных опор (ЭМО) основан на притяжении ферромагнитного ротора электромагнитными, расположенными в статоре. Для таких опор характерна высокая концентрация энергии поля, что обуславливает достижение больших удельных нагрузок в опорах и, следовательно, уменьшение их размеров. Мощность, требуемая для уравновешивания действующих сил, сравнительно мала. В опорах такой конструкции имеются потери на гистерезис и вихревые токи. Для уменьшения этих потерь применяют пакетирование ротора из листовой электротехнической стали. Однако при этом снижается прочность вала, окружная скорость на рабочей шейке ограничивается 200 м/с.

Наибольший интерес представляют ЭМО с внешней автоматической стабилизацией. Ток в обмотках ЭМО может быть как постоянным, так и переменным. В обоих случаях для уменьшения потерь мощности цапфы изготавливают из пластин кремнистой стали. При возбуждении электромагнитов переменным током, синхронизированным с частотой вращения цапфы, потери снижаются, и цапфу можно выполнить монолитной, но при этом усложняется система управления.

По сравнению с опорами других типов активные ЭМО имеют следующие преимущества: отсутствует механический контакт кольца с шейкой шпинделя, вследствие чего снижаются (на порядок) потери мощности при вращении шпинделя на холос-

том ходу; не требуется смазка; не изнашиваются механические части. При использовании ЭМО возможно активное управление положением шпинделя, в результате чего обеспечиваются высокая точность его вращения (до долей микрометра), возможность смещения оси вращения ротора (шпинделя) до нескольких десятых долей миллиметра и осуществления, таким образом, поперечной подачи, например, шлифовального круга, а также углового смещения оси вращения ротора для корректирования в процессе обработки конусообразности обрабатываемой детали.

Система управления ЭМО обеспечивает прохождение критических скоростей вращения и демпфирование колебаний, необходимый запас устойчивости, интегрирование сигнала по перемещению цапфы в зазоре, линейную зависимость восстанавливающей силы от перемещения цапфы.

Жесткость, являющаяся одной из важнейших эксплуатационных характеристик ЭМО, также определяется системой управления. В традиционных опорах с подшипниками качения жесткость постоянна. Она обусловлена геометрией подшипников и его материалом и не зависит от частоты возмущающей силы, т. е. динамическая и статическая жесткости равны. В шпинделях, установленных на традиционных опорах качения или скольжения, вибрация возникает в основном из-за несовпадения оси его вращения с осью инерции. Наличие большого зазора между цапфой и статором ЭМО позволяет регулировать положение оси вращения шпинделя и, таким образом, устранять его вибрацию, а также динамические нагрузки на ЭМО, поскольку при регулировании достигается совпадение указанных осей.

Рассмотрим конструкцию ШУ с активными ЭМО (рис. 2.10). В цилиндрическом корпусе 17 находится статор 7 встроенного высокоскоростного электродвигателя, который охлаждается посредством рубашки 6 с циркулирующей водой. В центре вала 1 установлена бочка ротора 19 электродвигателя, с двух сторон которой напрессованы кольцевые пакеты листовой стали, представляющие собой вращающиеся (роторные) части 18 и 20 радиальных магнитных опор и датчиков положения вала. На конце вала расположен диск 11 осевой магнитной опоры и вращающаяся часть датчика 13 осевого положения вала. Неподвижная часть передней радиальной магнитной опоры представляет собой комплект электромагнитов в виде пакетов 4 листовой стали с пазами для обмоток электромагнитов 5.

Между статором электромагнита и роторной частью имеется диаметральный зазор, который зависит от диаметра рабочей шейки вала. Рядом с комплектом электромагнитов статорной части передней магнитной опоры установлен индуктивный датчик 3, имеющий большее, чем у опоры, число полюсов и обмо-

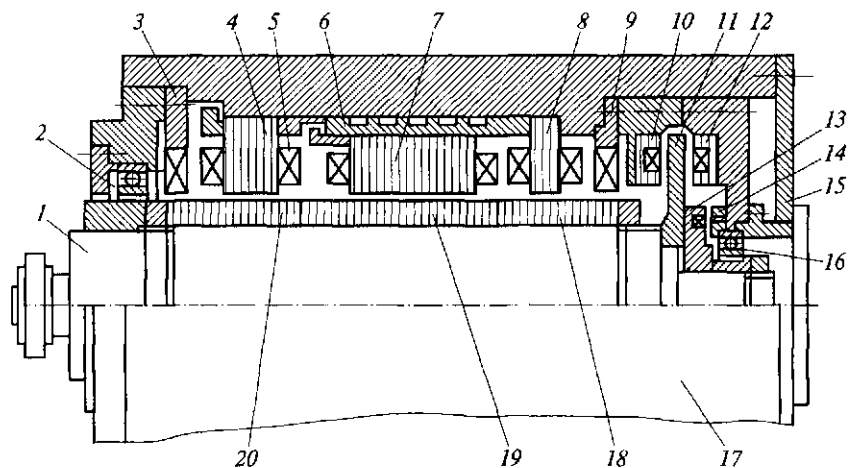


Рис. 2.10. Шпиндельный узел с активными электромагнитными опорами: 1 — вал; 2 — воздушное уплотнение; 3, 9 — индуктивные датчики; 4 — пакет чистой стали; 5 — обмотка электромагнита; 6 — рубашка охлаждения; 7 — статор; 8, 18 — соответственно статорная и роторная части задней опоры; 10, 12 — кольцевые электромагниты; 11 — диск; 13 — мерительное кольцо; 14 — статорная часть индуктивного датчика; 15 — фланец; 16 — резервная опора; 17 — корпус; 19 — ротор; 20 — роторная часть неподвижной передней опоры

ток. Обмотки индуктивного датчика соединены по схеме, обеспечивающей получение наибольшего по величине сигнала при минимальном смещении вала.

Рядом с задней магнитной опорой расположена резервная опора 16, в качестве которой может служить подшипник качения или скольжения. Зазор между валом ШУ и внутренним диаметром резервной опоры меньше, чем между валом ШУ и магнитной опорой, что в аварийных ситуациях обеспечивает сохранность последней. Перед резервным подшипником на передней опоре установлено бесконтактное воздушное уплотнение 2, предохраняющее ШУ от попадания СОЖ.

Размеры и несущая способность задней радиальной опоры могут быть меньше, чем передней. Задняя опора включает статорную 8 и роторную 18 части. Вблизи задней опоры расположен индуктивный датчик 9 радиального положения вала. В задней части ШУ имеется осевая двухсторонняя магнитная опора, состоящая из установленного на валу 1 диска 11 с радиальными прорезями и двух кольцевых электромагнитов 10 и 12.

Осевое положение вала контролируется индуктивным датчиком, имеющим статорную часть 14 и закрепленное на вращающемся валу мерительное кольцо 13. В заднем фланце 15 расположены выходные концы электромагнитов статора, электро-

шпинделя и индуктивных датчиков. Для контроля положения вала ШУ могут быть применены также датчики емкостного и оптического типов.

Для обеспечения высокой надежности работы ШУ на магнитных опорах применяют вдвое расположение обмоток электромагнитов и датчиков положения вала, резервирование электронных блоков и радиальные опоры подшипников качения. Рабочие зазоры в опорах (до 0,6 мм на диаметр) препятствуют загрязнению последних. Механическая часть опор не требует обслуживания, в результате чего снижаются эксплуатационные расходы.

Высокая частота вращения шпинделя  $n = (1 \dots 15) \cdot 10^4 \text{ мин}^{-1}$  и возможность регулирования параметров процесса обработки обуславливают перспективность использования ШУ на ЭМО не только в специальных высокопроизводительных станках (внутришлифовальных, продольно-фрезерных для обработки легких сплавов), но и в быстроходных гибких производственных модулях. Например, изготовлен двухстоечный горизонтальный многоцелевой станок для обработки деталей из алюминиевых сплавов с производительностью съема стружки до  $2600 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Электродвигатель переменного тока мощностью 20 кВт обеспечивает частоту вращения шпинделя, установленного на активных ЭМО,  $n = (3 \dots 45) \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$ .

**Шпиндельные узлы с охлаждением и подогревом.** Новые конструктивные решения ШУ, обеспечивающие стабилизацию температуры, применяют в многоцелевых станках. На рис. 2.11 показана конструкция ШУ, который смонтирован в стакане 2 в радиально-упорных подшипниках. В передней опоре установлен вдвойный подшипник, а в задней опоре — вдвойный или одинарный в зависимости от исполнения ШУ. Шпиндель 1 соединяется с выходным валом коробки скоростей посредством беззазорной крестовой муфты. В стакане имеются каналы 3 для подвода СОЖ, которые в то же время служат для охлаждения опор шпинделя. По каналам СОЖ поступает к регулируемым соплам 4, через которые подается в нужное место режущего инструмента.

На рис. 2.12 показан ШУ с системой стабилизации температуры. Перед началом работы в каналы 1 стакана 2 через штуцер 3 поступает подогретая вода, и ШУ нагревается до средней рабочей температуры. В процессе обработки на высоких частотах вращения шпинделя при превышении средней температуры его нагрева вода охлаждается в терморегулирующей установке, в результате чего автоматически поддерживается установленная средняя температура. Кроме того, ШУ дополнительно охлаждается через систему подачи СОЖ, которая подводится к соплам 4.

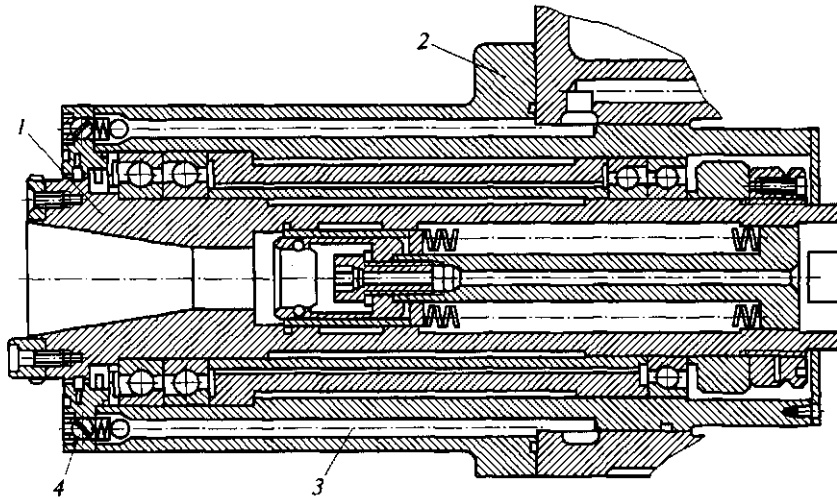


Рис. 2.11. Шпиндельный узел с охлаждением:

1 — шпиндель; 2 — стакан; 3 — канал подвода СОЖ; 4 — регулируемое сопло

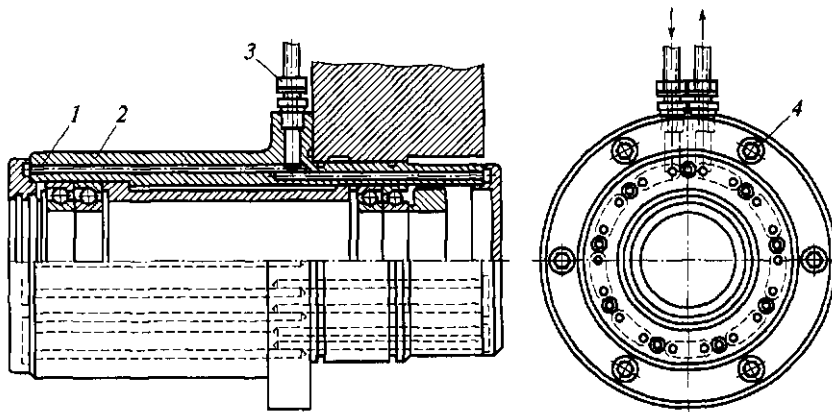


Рис. 2.12. Шпиндельный узел с системой стабилизации температуры:

1 — канал подвода воды; 2 — стакан; 3 — штуцер подвода воды; 4 — сопло

В некоторых многоцелевых горизонтальных сверлильно-фрезерно-расточных станках для охлаждения шпиндельных подшипников используют фреон или циркулирующее масло.

**Электрошпиндели.** Разнообразные электрошпиндели выпускаются в соответствии с ГОСТ 14177 — 88, который распространяется на встроенные приводы шлифовальных, сверлильных, фрезерных станков классов точности В, А и С с азроста-

тическими опорами и опорами качения. Помимо этого, как в нашей стране, так и за рубежом для быстроходных ШУ используются электрошпиндели на гидростатических и магнитных опорах.

Электрошпиндель (рис. 2.13) шлифовального станка состоит из корпуса 5 с рубашкой охлаждения 6, переднего 4 и заднего 13 шитов, вала 15, смонтированного на радиально-упорных шарикоподшипниках 2 и 16, ротора 7 и статора 8 встроенного асинхронного электродвигателя и крышки 3. Подшипники смазываются масляным туманом, поступающим через штуцер 14. Передние подшипники закрепляют жестко, а задние устанавливают на шите с зазором 6...8 мкм на диаметр (плавающая опора), что позволяет компенсировать температурное удлинение вала. Требуемый осевой натяг создается пружинами 10, расположенными в закрепленном на шите 13 фланце 9 и взаимодействующими через кольцо 11 с одним из подшипников, которые монтируются с натягом 1 мкм или с зазором 2 мкм.

Масляный туман через штуцер 14 подается в камеру крышки, откуда поступает в зону задних подшипников 16 и через отверстие в валу 15 — в зону передних подшипников 2. Отработанный туман выходит через отверстие в шите и крышке, а также через лабиринтовые уплотнения гайки 1 и крышки 3. Статор охлаждается антикоррозионной жидкостью, подводимой через штуцер 12; иногда для этого применяют воду или масло. Пройдя полость рубашки охлаждения, жидкость сливается в бак. Температура охлаждающей жидкости не должна превышать

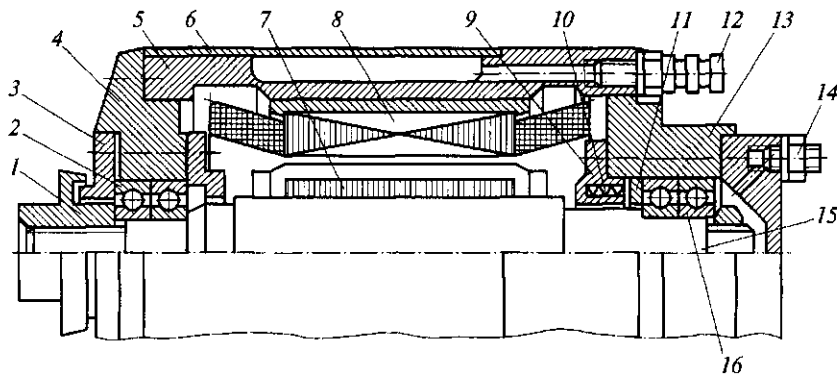


Рис. 2.13. Электрошпиндель на опорах качения:

1 — гайка; 2, 16 — радиально-упорные шарикоподшипники; 3 — крышка; 4 — передний шит; 5 — корпус; 6 — охлаждающая рубашка; 7 — ротор; 8 — статор; 9 — фланец; 10 — пружина; 11 — кольцо; 12, 14 — штуцеры; 13 — задний шит; 15 — вал

Таблица 2.2

**Параметры, характеризующие качество высокоскоростной шлифовальной обработки**

Класс точности станка	Радиальное биение шпинделя, мкм, при частоте вращения, мин <sup>-1</sup>		Шероховатость обработанной поверхности <i>Ra</i> , мкм
	≤ 36 000	> 36 000	
В	4	3	0,32
А	2,5	2	0,08
С	2	1,5	0,08

25 °С. Все детали электрошпинделя, а также и шлифовальный круг, закрепленный на валу, балансируются.

Значения параметров, характеризующих качество высокоскоростной шлифовальной обработки на станках классов точности В, А и С и оснащенных электрошпинделем, приведены в табл. 2.2.

Недостатком электрошпинделей такого типа является то, что опоры качения не обеспечивают необходимой долговечности. В связи с этим имеются ограничения по быстроходности (параметру *dn*). Для электрошпинделей, установленных на сверхпрецизионных подшипниках, параметр *dn* близок к 10<sup>6</sup> мм/мин. С повышением частоты вращения шпинделя уменьшают диаметр посадочных шеек вала, что приводит к снижению жесткости шпинделя и уменьшению его мощности.

Для устранения ограничения по быстроходности создана гамма электрошпинделей на аэростатических опорах, которые рассчитаны на частоту вращения 24 000 ... 144 000 мин<sup>-1</sup> и мощность шлифования 0,12 ... 25 кВт. Параметр *dn* этих электрошпинделей приближается к 2 · 10<sup>6</sup> мм/мин. Осевое биение электрошпинделей на воздушных опорах в соответствии с ГОСТ 14177—88 должно быть в пределах 1 мкм для станков классов точности А и С при любой частоте вращения, что значительно меньше, чем у шпинделей на опорах качения (см. табл. 2.2).

Недостаток электрошпинделей на воздушных опорах заключается в том, что воздух, предназначенный для «смазывания» опор, должен проходить через отстойник и фильтр, т.е. должен быть сухим и чистым. Кроме того, для питания опор шпинделей некоторых моделей требуется воздух под давлением 1,5 МПа, что обеспечивается отдельным компрессором. В результате возрастают расходы на их эксплуатацию.

Электрошпиндели на воздушных опорах имеют недостаточно высокую мощность, приходящуюся на 1 см диаметра рабо-



чей шейки шпинделя, что не всегда позволяет применять его для обработки металлов резанием. Этот параметр значительно выше у электрошпинделей на гидростатических опорах.

Электрошпиндели на гидростатических опорах обеспечивают более высокую точность вращения. По сравнению с опорами качения и аэростатическими опорами у них в 2 раза больше коэффициент демпфирования и в 3 раза лучше параметр волнистости обработанной детали, сравнительно выше жесткость (например, электрошпиндель модели ЭШГ 30/35 имеет радиальную жесткость 140 Н/мкм и осевую жесткость 160 Н/мкм).

К недостаткам электрошпинделей на гидростатических опорах следует отнести необходимость циркуляционной смазки, значительное тепловыделение и потери мощности при вращении шпинделя на холостом ходу, а также низкую ремонтпригодность.

Электрошпиндели на ЭМО (см. рис. 2.10) имеют меньшую энергоемкость при более высокой точности обработки и лучшем качестве обработанной поверхности. Кроме того, через систему управления ЭМО можно производить балансировку шлифовального круга в процессе работы, что позволяет улучшить качество обработанной поверхности. Удельная несущая способность электрошпинделей на магнитных опорах составляет около 20 Н/см<sup>2</sup>. Высокая стоимость таких электрошпинделей ограничивает их применение.

Для электрошпинделей на опорах всех типов характерно повышенное тепловыделение в электрической части и опорах, что требует охлаждения. Компонировкой электрошпинделя, организацией охлаждения статора, ротора и опор достигается осесимметричное температурное поле. Тепловой режим шпинделя должен обеспечивать его температурную стабилизацию за период, не превышающий время прогрева станка (в течение 30 мин). Среди различных систем охлаждения (с подачей воды из заводской водопроводной сети, от системы СОЖ и замкнутой системы с охлаждением от бака) наиболее эффективна замкнутая система, так как она позволяет автоматизировать процесс температурной стабилизации, что особенно важно для ШУ прецизионных станков.

### 2.3. Передатки, применяемые в станках

**Передатки вращательного движения.** Для изменения частоты вращения от ведущего звена к ведомому применяют ременные, зубчатые и червячные передачи. Отношение частоты вращения ведомого  $n_{вд}$  к частоте вращения ведущего  $n_{вд}$  звена называется *передаточным отношением*

$$i = n_{вд}/n_{вщ},$$

а величина, обратная передаточному отношению, — *передаточным числом*

$$u = 1/i = n_{вщ}/n_{вд}.$$

На кинематических схемах указывают геометрические характеристики кинематических пар, поэтому передаточные отношения выражают через геометрические характеристики их элементов.

В машиностроении при вычерчивании различных кинематических схем приняты условные обозначения передач и элементов этих схем в соответствии с ГОСТ 2.770—68\*.

*Ременная передача* (рис. 2.14, а) применяется для передачи вращательного движения между удаленными друг от друга валами. Пусть ведущий шкив диаметром  $d_1$  имеет частоту вращения  $n_{вщ}$ , а ведомый шкив диаметром  $d_2$  — частоту вращения  $n_{вд}$ . Тогда линейные скорости точек  $A_1$  и  $A_2$  равны:  $\omega_{вщ} = v_{A1}/(d_1 : 2)$  и  $\omega_{вд} = v_{A2}/(d_2 : 2)$ , а передаточное отношение с учетом коэффициента скольжения  $\xi$  выразится так:

$$i = \frac{n_{вд}}{n_{вщ}} = \frac{\omega_{вд}}{\omega_{вщ}} = \frac{(1-\xi)v_{A1} \cdot 2}{d_2} : \frac{v_{A1} \cdot 2}{d_1} = \frac{(1-\xi)d_1}{d_2}, \text{ т. е. } i = \frac{d_1}{d_2}(1-\xi),$$

где  $v_{A1}$  — линейная скорость точки  $A_1$ .

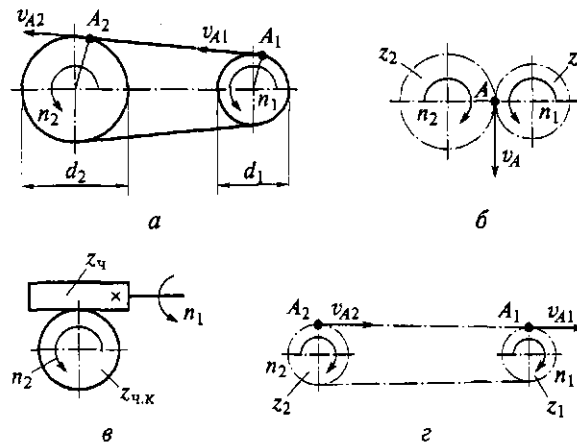


Рис. 2.14. Передачи вращательного движения:  
а — ременная; б — зубчатая; в — червячная; г — цепная

Для плоских прорезиненных, текстильных и синтетических ремней  $\xi = 0,01$ ; для кожаных  $\xi = 0,015$ ; кордтканевые клиновые ремни — 0,2; кордшнуровые клиновые ремни — 0,01.

*Зубчатая передача* (рис. 2.14, б) — механизм, который с помощью зубчатого зацепления передает и преобразует движение (без проскальзывания) с изменением угловых скоростей и моментов.

Пусть угловая скорость ведущего зубчатого колеса  $\omega_1$ , а ведомого  $\omega_2$ . Зная, что диаметр делительной окружности выражается через модуль  $m$  и число зубьев  $z$ , получим выражение для определения окружных скоростей:

$$v_1 = \omega_1 \frac{d_1}{2} = \frac{\omega_1 m_1 z_1}{2}; \quad v_2 = \omega_2 \frac{d_2}{2} = \frac{\omega_2 m_2 z_2}{2},$$

где  $v_1, v_2$  — окружные скорости ведомого и ведущего зубчатого колеса соответственно;  $d_1, d_2$  — диаметры их делительных окружностей;  $m_1, m_2$  и  $z_1, z_2$  — модули и число зубьев ведомого и ведущего зубчатого колеса соответственно.

Учитывая, что  $m_1 = m_2 = m$ , получим  $\omega_1 m z_1 / 2 = \omega_2 m z_2 / 2$  или  $\omega_1 z_1 = \omega_2 z_2$ . Отсюда передаточное отношение

$$i = \frac{\omega_{\text{вд}}}{\omega_{\text{вщ}}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{z_1}{z_2}.$$

*Червячная передача* (рис. 2.14, в) состоит из червяка и червячного колеса. Передаточные отношения червячной передачи рассчитываются по формуле  $i = z_{\text{ч}} / z_{\text{ч.к}}$ , где  $z_{\text{ч}}$  — число заходов червяка;  $z_{\text{ч.к}}$  — число зубьев червячного колеса. Мощные передачи не выполняют однозаходными из-за малого КПД и сильного нагрева. Например, в тяжелых продольно-строгальных станках используют червяк с  $z_{\text{ч}} = 10$ . Широкое применение червячные передачи имеют в зубообрабатывающих станках.

Преимуществами червячной передачи являются компактность, бесшумность, плавность хода, возможность большого редуцирования, к недостаткам передач относится малый КПД.

*Цепная передача* (рис. 2.14, г), как и ременная, применяется для передачи вращения между валами, удаленными друг от друга. Эти передачи используются в металлорежущих станках и транспортерах.

Передаточное отношение определяется, как и для зубчатой передачи:  $i = z_1 / z_2$ , где  $z_1, z_2$  — число зубьев ведущей и ведомой звездочки соответственно.

Достоинства цепных передач: возможность передавать движение на удаленные друг от друга валы; меньшие, чем у ременных передач, габаритные размеры; высокий КПД; возможность

передавать вращение нескольким звездочкам; малые силы, действующие на валы, так как отсутствуют первоначальные натяжные устройства; отсутствие скольжения; возможность легкой замены цепи.

Недостатки: повышенный износ, так как работает в условиях отсутствия жидкостного трения; вследствие износа шарниров цепи вытягиваются, поэтому в процессе эксплуатации приходится применять натяжные устройства; при небольшом числе зубьев звездочки скорость вращения приводной звездочки и цепи неравномерная.

**Передачи поступательного движения.** Эти передачи служат для преобразования вращательного движения в прямолинейное поступательное рабочего органа. В станках применяют реечные передачи, винтовые пары (скольжения и качения), кулисные, кулачковые механизмы и др.

*Реечная передача* служит для преобразования вращательного движения реечного колеса (рис. 2.15, а) в поступательное перемещение рейки и наоборот. Реечная передача может быть выполнена с прямозубым и косозубым зацеплением колеса с рейкой. За один оборот прямозубого колеса с числом зубьев  $z$  рейка, шаг которой  $P = \pi m$ , переместится на расстояние  $H = Pz = \pi m z$ , а за  $n$  оборотов в минуту зубчатого колеса — на  $L = \pi m z n$ .

Реечные передачи используют в металлорежущих станках, например в токарных, для осуществления движения продольной подачи суппорта с резцом относительно обрабатываемой заготовки. В более крупных станках, таких как продольно-строгальные, необходимо передавать большие усилия, для чего применяют червячно-реечную передачу (рис. 2.15, б).

Для уменьшения трения в паре червяк — рейка между профилями их зубьев подается под давлением тонкий слой масла. Такие *гидростатические червячно-реечные передачи* используют в приводах подачи тяжелых станков. На рис. 2.15, в представлено устройство гидростатической червячно-реечной передачи многоцелевого станка. С помощью гидрораспределителя 2 в каналы червяка 1 от насосов 4 под давлением подается масло, образующее масляный слой между зубьями червяка и рейки 3 с зубьями, армированными пластмассой. В осевые зазоры соединения масло нагнетается насосами 5. Все насосы имеют один общий привод от электродвигателя М.

*Винтовая передача* применяется в тех случаях, когда нужно получить движение с малыми скоростями. Вращение сообщается винту; гайка и связанные с нею стол или салазки перемещаются прямолинейно-поступательно.

В передачах *винт — гайка скольжения* в станках с ручным управлением используют резьбу треугольного, прямоугольного и трапецеидального профиля. Треугольную резьбу применяют

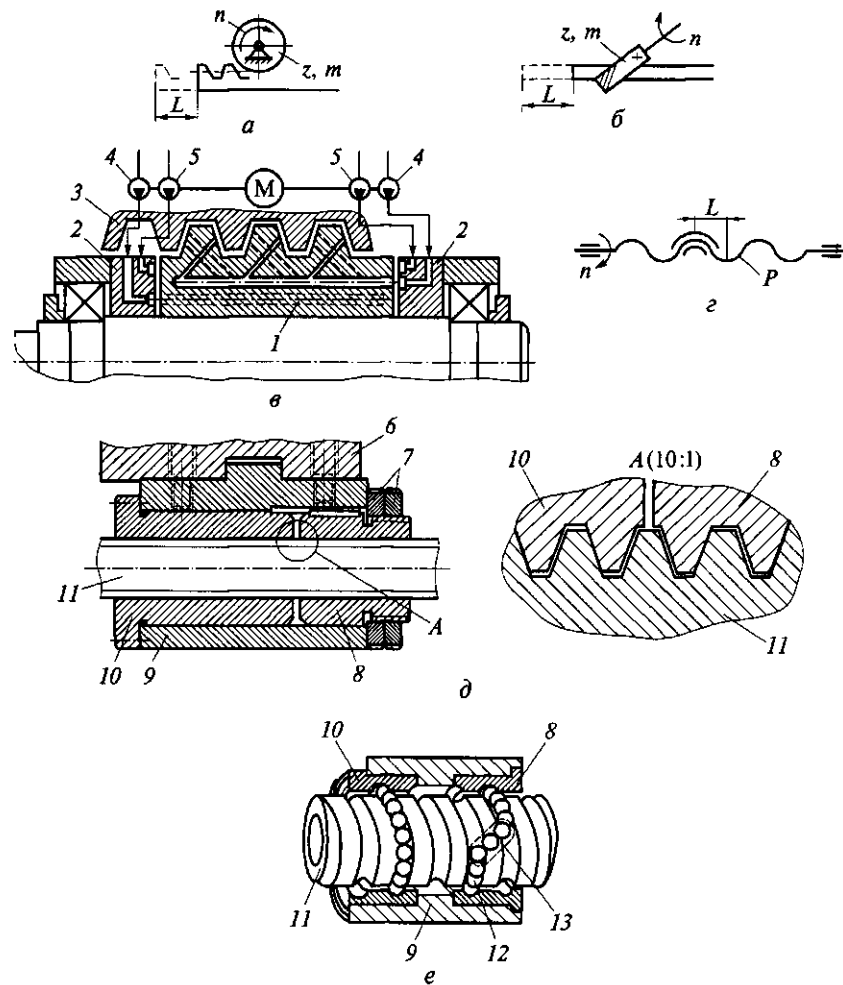


Рис. 2.15. Способы преобразования вращательного движения в поступательное:

*a* — реечной передачей; *б* — червячно-реечной передачей; *в* — гидростатической передачей червяк — рейка; *г*, *д* — винтовой парой скольжения; *е* — шариковой винтовой передачей; 1 — червяк; 2 — гидрораспределитель; 3 — рейка; 4, 5 — насосы; 6 — суппорт; 7 — контргайки; 8, 10 — гайки; 9 — корпус; 11 — ходовой винт; 12 — тела качения (шарики); 13 — канал возврата; М — электродвигатель

для точных перемещений в микрометрических винтах, в винтах делительных и измерительных машин. Прямоугольную и трапециевидальную резьбу используют для ходовых винтов, при этом гайки ходовых винтов выполняют цельными и разъемными.

Прецизионные металлорежущие станки оснащают безлюфтовой передачей винт — гайка скольжения (рис. 2.15, *д*). В этой передаче применяют сдвоенные гайки, расположенные в одном корпусе 9. Гайки 8 и 10 смещаются одна относительно другой в осевом направлении поворотом вокруг ходового винта 11 в противоположных направлениях, после чего их положение фиксируется контргайками 7. При вращении ходового винта в одном направлении суппорт 6 будет перемещаться от левой гайки 10; если же ходовой винт изменит направление вращения, то правая гайка 8 сразу передаст движение суппорту в противоположном направлении. В такой конструкции люфт не выбирается, так как гайки работают каждая на свое направление. На увеличенном виде *А* показано, как соприкасаются профили левой и правой гаек с профилем резьбы ходового винта.

Недостатками передачи винт — гайка скольжения являются большие потери на трение, низкий КПД, невозможность применения при быстрых перемещениях. Скорость скольжения профиля резьбы винта относительно профиля гайки в 10—40 раз превышает скорость осевого перемещения узла, жестко скрепленного с гайкой.

В станках с ЧПУ в приводах подач передача *винт — гайка качения* (ВГК) представляет собой *шариковую винтовую пару* (ШВП) с полукруглым профилем резьбы. При использовании ШВП для точных перемещений недопустим осевой зазор. В этом случае ВГК выполняют по аналогии с передачей винт — гайка скольжения (см. рис. 2.15, *д*). В едином корпусе 9 (рис. 2.15, *е*) размещают две гайки 10 и 8, смещенные одна относительно другой по винтовой линии. Это создает безлюфтовую передачу. Путем затягивания резьбовых соединений создаются предварительные осевые усилия, и тела качения 12 вместо точечного контакта с дорожкой качения имеют контакт по небольшой поверхности. Таким образом повышают осевую жесткость ШВП.

В большинстве конструкций шарики в гайке перемещаются по замкнутой траектории. Каналом возврата 13 служит специальная вставка, соединяющая два соседних витка гайки и заставляющая циркулировать шарики только в пределах одного шага ходового винта 11.

Преимуществами ШВП являются высокая жесткость и отсутствие зазора в соединении, что значительно снижает вибрации, повышает точность и чистоту обработки; возможность передачи больших усилий; низкие потери на трение, КПД этих механизмов составляет 0,9... 0,95; малые крутящие моменты на ходовом винте при холостом ходе; весьма малое трение покоя, что способствует обеспечению устойчивости движения; высокая точность (за счет предварительного натяга); высокая чувствительность к малым перемещениям; длительное сохранение точ-

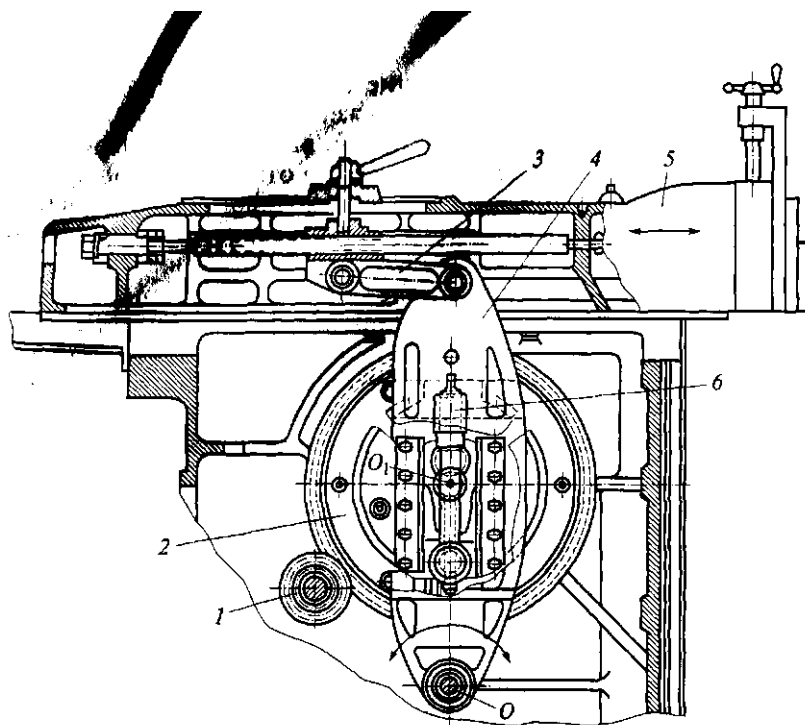


Рис. 2.16. Кулисный механизм поперечно-строгального станка:  
 1 — зубчатое колесо; 2 — кулисное колесо; 3 — серьга; 4 — кулиса; 5 — ползун;  
 6 — винт;  $O, O_1$  — оси

ности, малое тепловыделение, снижающее температурные деформации винта и повышающее точность обработки.

К недостаткам относятся отсутствие самоторможения, сложность изготовления, высокая стоимость, необходимость надежной защиты от стружки.

*Кривошипно-кулисные механизмы* (сокращенно — кулисные механизмы) с вращающейся кулисой применяют в долбежных станках, а с качающейся кулисой — в поперечно-строгальных станках. Кулисные механизмы обеспечивают большую скорость при обратном холостом ходе и плавность движения. Кулиса 4 (рис. 2.16) совершает качательное движение, которое с помощью серьги 3 преобразуется в поступательное прямолинейное ползуна 5 станка. Кулисное колесо 2 получает вращение от коробки скоростей через зубчатое колесо 1. Вместе с камнем кулисное колесо вращается вокруг оси  $O_1$ , а кулиса качается вокруг оси  $O$ . Радиус вращения камня устанавливается вращением винта 6. Недостатком кулисного механизма является неравномерная скорость рабочего хода и постоянное соотношение между временем рабочего и холостого ходов.

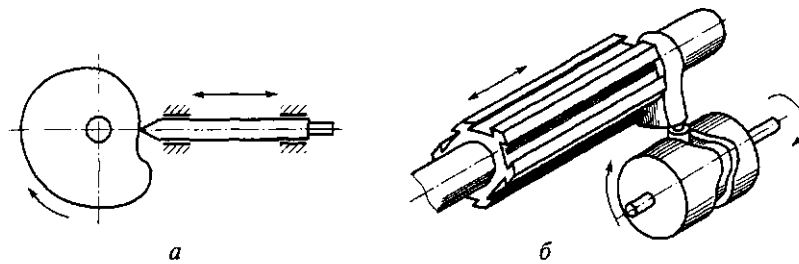


Рис. 2.17. Механизмы с дисковым (а) и цилиндрическим (б) кулачками, применяемые в автоматах

*Кулачковые механизмы* применяются чаще на одношпиндельных и многшпиндельных токарных автоматах с дисковыми и цилиндрическими кулачками (рис. 2.17).

Наряду с механическими передачами в металлорежущих станках широко используется *гидропривод*, принципиальная схема которого представлена на рис. 2.18. Электродвигатель М приводит в движение насос 6, накачивающий рабочую жидкость в гидроцилиндр 14. Жидкость давит на поршень 3 и перемещает его вместе с рабочим органом 1 (ползуном, столом) станка. Если поршень одноштоковый, то прямое и обратное движение будет осуществляться с различными скоростями. Масло в гидроцилиндр 14 забирается из бака 8 через фильтр 7 и нагнетается через обратный клапан 5, регулируемый дроссель 4, золотник 11 и силовой золотник 13. Последний предназначен для из-

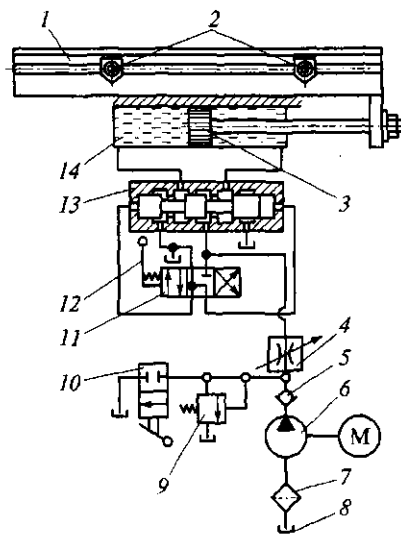


Рис. 2.18. Схема гидравлического привода в станках с возвратно-поступательным прямолинейным движением:

1 — рабочий орган станка; 2 — упоры; 3 — поршень; 4 — дроссель; 5 — обратный клапан; 6 — насос; 7 — фильтр; 8 — бак; 9 — предохранительный клапан; 10, 11, 13 — золотники; 12 — рукоятка; 14 — гидроцилиндр; М — электродвигатель



менения направления потока масла в гидроцилиндре. В средней позиции золотник *13* не пропускает масло, поэтому поршень остается неподвижным, а следовательно, стол или ползун также неподвижны.

Когда золотник находится в левой позиции, масло поступает в штоковую полость гидроцилиндра, а из другой полости сливается. В результате рабочий орган осуществляет холостой ход. При перемещении золотника *13* в правую позицию масло поступает в левую полость гидроцилиндра, а из штоковой полости вытекает на слив.

Перемещением золотника *13* управляет золотник *11*, поршень которого связан с рукояткой *12*, на которую через систему рычагов воздействуют упоры *2*. Упоры крепятся на рабочем органе на расстоянии друг от друга, равном ходу стола или ползуна. Пуск (останов) осуществляется двухпозиционным золотником *10*. Для поддержания в гидравлической системе необходимого давления предусматривается предохранительный клапан *9*, который при превышении давления в гидросистеме открывает сливное отверстие в бак.

По сравнению с механическими передачами гидропривод имеет ряд преимуществ. Так, бесступенчатое регулирование скорости перемещения рабочих органов осуществляется достаточно просто; гидропривод компактен и имеет малую инерционность, не боится перегрузок, хорошая смазка деталей привода способствует их долговечности.

Однако гидропривод имеет более низкий КПД по сравнению со многими механическими передачами, стоимость гидропривода выше. Потери энергии в гидроприводе связаны с затратами на преодоление внутреннего трения и утечек рабочей жидкости. Требования повышения производительности и гибкости в управлении технологическим оборудованием приводит к повышению быстродействия приводов и гибкости управления ими. Это увеличивает энергоемкость гидропривода.

В станках и автоматических линиях в зажимных, подающих и транспортных устройствах для автоматизации загрузки и выгрузки заготовок в основном используется *пневмопривод*. Пневмоприводы относительно просты, надежны, долговечны, универсальны, а также характеризуются быстротой срабатывания. Их достоинствами являются компенсирование ударных нагрузок и пожаробезопасность. Пневмоприводы имеют и существенные недостатки: сравнительно низкий КПД — не более 0,3; невысокая плавность движения; необходимость установки специальных устройств для смазывания элементов привода; шум и др. Пневмоприводы можно использовать и в сочетании с электрическими, механическими и гидравлическими приводами.

Пневмоприводы состоят из следующих элементов:  
аппаратура для подготовки воздуха (компрессоры, фильтры, фильтры-влажнители, увлажнители, маслораспылители);  
воздухораспределительная аппаратура (клапаны, краны и др.);  
контрольно-регулирующая и блокирующая аппаратура (регуляторы и стабилизаторы давления; реле и индикаторы давления; дроссели с обратным клапаном; глушители; редукторы давления; тормозные золотники; клапаны последовательности);  
пневматические цилиндры и двигатели;  
воздухопроводы (трубы и гибкие шланги);  
элементы пневмоавтоматики (сравнения и логические; пневматические сопротивления; повторители; преобразователи и датчики; органы управления; устройства для регулирования давления и сигнализации).

Большая часть элементов пневмопривода стандартизована, а на некоторые из них имеются нормы машиностроения.

Пневматическое оборудование работает на сжатом воздухе с давлением до 0,6 МПа при температуре окружающей среды 5... 50 °С. Пневмопривод прямолинейного движения используют при длине хода не более 1 м.

**Передачи периодических движений.** Для некоторых станков требуется периодически изменять положение его элементов или отдельных узлов. С этой целью используют храповые и мальтийские механизмы, неполные зубчатые колеса, кулачковые механизмы и механизмы с муфтами обгона, электро-, пневмо- и гидромеханизмы.

*Храповые механизмы* наиболее часто применяются в механизмах подачи станков, в которых перемещение заготовки, режущего (резца, шлифовального круга) или вспомогательного (алмаз для правки шлифовального круга) инструмента производится во время перебега или обратного хода (в строгальных, долбежных, шлифовальных станках, делительных машинах).

В большинстве случаев храповые механизмы используют для прямолинейного перемещения узлов станка. Собачка периодически поворачивает на определенный угол храповое колесо с наружными и внутренними зубьями, кинематически связанное с ходовым винтом перемещения стола, суппорта и др. С помощью храповых механизмов осуществляют также и круговые периодические перемещения.

Храповое колесо 1 зацепляется с зубом собачки 2 с несимметричным (рис. 2.19, а) или симметричным трапецеидальным профилем (рис. 2.19, б); последний позволяет работать механизму в обе стороны. Для этого в механизме собачку 2 перекидывают в другое положение (на рис. 2.19, б показано штриховой линией).

Качательное движение собачки чаще осуществляется с помощью кривошипно-шатунного механизма. Угол качания рычага 3



Рис. 2.19. Храповые механизмы с несимметричным (а), симметричным (б) профилем зуба и плоский мальтийский механизм (в): 1 — храповое колесо; 2 — собачка; 3 — рычаг; 4 — кривошипно-шатунный механизм; 5 — кривошипный диск; 6 — палец; 7 — винт; 8 — штифт; 9 — щиток; 10 — мальтийский крест; 11 — ролик; 12 — кривошип;  $\alpha$  — угол, определяющий положение пазов мальтийского креста;  $\beta$  — угол между осями кривошипа и мальтийского креста

с собачкой 2 изменяется с помощью щитка 9, который перекрывает на пути качания собачки несколько зубьев храпового колеса. Щиток фиксируется штифтом 8. Можно изменять качания рычага 3 увеличением или уменьшением величины  $e$  на кривошипном диске 5. Для этого палец 6 кривошипного диска приближают или удаляют на величину  $e$ ; отверстие пальца 6 является гайкой на винте 7.

**Мальтийские механизмы** применяют преимущественно в делительных устройствах с постоянным углом периодического поворота, например для поворота револьверных головок, шпиндельных блоков и столов токарных автоматов, многопозиционных столов и т. п. Плавная (безударная) работа механизма достигается при условии, что начальная и конечная угловые скорости мальтийского креста равны нулю. Для этого необходимо, чтобы ролик, поворачивающий крест, входил и выходил из паза в радиальном направлении. Это условие выполняется, если  $\alpha + \beta = 90^\circ$  (рис. 2.19, в). При этом за один оборот кривошипа 12 с роликом 11 мальтийский крест 10 повернется на  $1/z$  часть окружности ( $z$  — число пазов). При необходимости угол поворота узла станка можно регулировать с помощью передачи с изменяемым передаточным отношением, например, сменных зубчатых колес, которые вводят в кинематическую цепь между мальтийским механизмом и поворачиваемым узлом.

## 2.4. Муфты и тормозные устройства

**Муфты.** Для соединения двух соосных валов в станках применяют муфты различных типов.

*Нерасцепляемые муфты* служат для жесткого соединения валов. Например, соединения с помощью втулки (рис. 2.20, *а*), через упругие элементы (рис. 2.20, *б*) или через промежуточный элемент, имеющий на торцовых плоскостях два взаимно перпендикулярных выступа (рис. 2.20, *в*) и позволяющий компенсировать несоосность соединяемых валов.

*Сцепляемые муфты* применяются для периодического соединения валов. В станках используют сцепляемые *кулачковые муфты* в виде дисков с торцовыми зубьями-кулачками (рис. 2.20, *г*) и *зубчатые муфты*. Недостаток сцепляемых муфт — трудность включения при большой разнице в угловых скоростях ведущего и ведомого элементов.

*Фрикционные муфты* лишены указанного недостатка сцепляемых муфт, их можно включать при любых скоростях вращения ведущего и ведомого элементов. Возможность проскальзывания ведомого элемента при перегрузках предотвращает аварии механизмов станка. Фрикционные муфты бывают конусные и дисковые. В приводах главного движения и подачи широко применяют многодисковые муфты, передающие значительные крутящие моменты при сравнительно небольших габаритах.

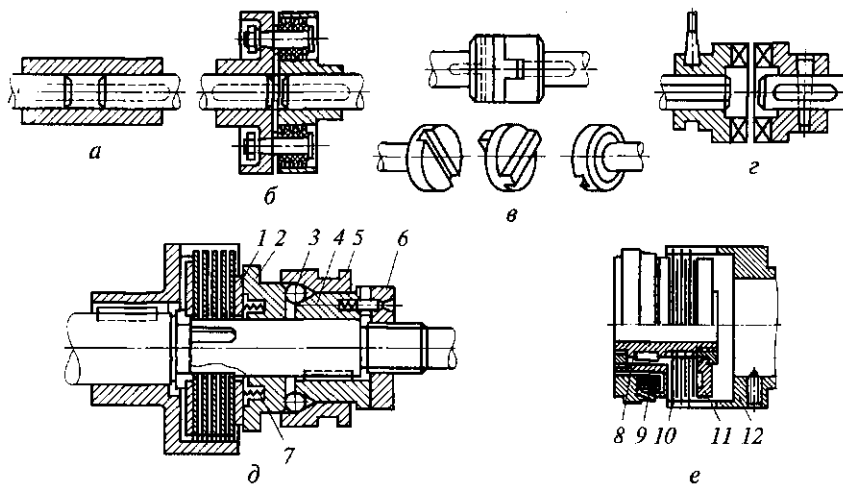


Рис. 2.20. Муфты для соединения валов:

*а* — жесткая типа втулки; *б* — с упругими элементами; *в* — крестово-подвижная; *г* — кулачковая; *д* — многодисковая с механическим приводом; *е* — электромагнитная; 1 — шайба; 2 — диск; 3 — шарик; 4, 5, 8, 12 — втулки; 6 — гайка; 7 — пружина; 9 — катушка; 10 — диски; 11 — якорь

Сжатие ведущих дисков с ведомыми осуществляется с помощью механического, электромагнитного и реже гидравлического привода. В многодисковой муфте с механическим приводом (рис. 2.20, *д*) диски сжимаются с помощью нажимного диска 2 через шайбу 1. Нажимной диск перемещается под действием шариков 3, вдавливаемых в конусообразный зазор между нажимным диском и неподвижной втулкой 4 при перемещении влево втулки 5 с внутренней конической поверхностью. Осевое положение втулки 4 и, следовательно, сила сжатия дисков регулируется гайкой 6. При перемещении втулки 5 вправо шарики 3 под действием пружин 7 выдавливаются из зазора и диски разжимаются, прекращая тем самым передачу крутящего момента.

При включении электромагнитной муфты (рис. 2.20, *е*) магнитное поле, образуемое катушкой 9, притягивает якорь 11, сжимая пакет магнитопроводящих дисков 10. Внутренние выступы дисков зацепляются со шлицами втулки 8, закрепляемой на валу механизма, а наружные выступы дисков зацепляются с втулкой 12, имеющей прорези.

*Предохранительные муфты*, соединяющие два вала при нормальных условиях работы, разрывают кинематическую цепь при превышении нагрузки. Это происходит при разрушении специального элемента, при проскальзывании сопрягаемых или трущихся частей (например, дисков) и расцеплении кулачков двух сопрягаемых частей муфты. Разрушаемым элементом обычно является штифт, площадь сечения которого рассчитывают в соответствии с заданным крутящим моментом.

Сопрягаемые элементы муфты (рис. 2.21) расцепляются, когда осевая сила, возникающая на зубьях кулачков 1 (рис. 2.21, *а*) или шариках 5 (рис. 2.21, *б*), при перегрузках превышает силу, создаваемую пружинами 3 и регулируемую гайкой 4. При смещении подвижный элемент муфты 2 воздействует, например, на концевой выключатель, разрывающий электрическую цепь пи-

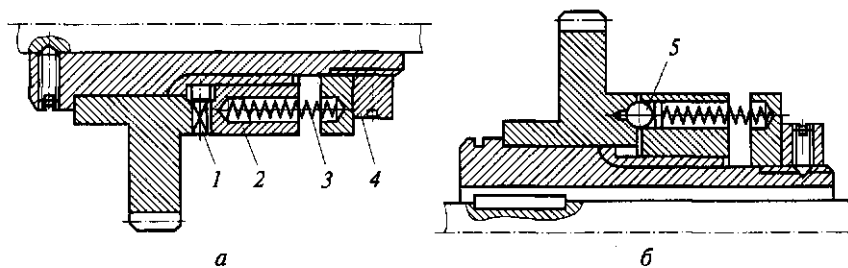


Рис. 2.21. Кулачковая (*а*) и шариковая (*б*) предохранительные муфты: 1 — кулачки; 2 — подвижный элемент; 3 — пружина; 4 — гайка; 5 — шарик

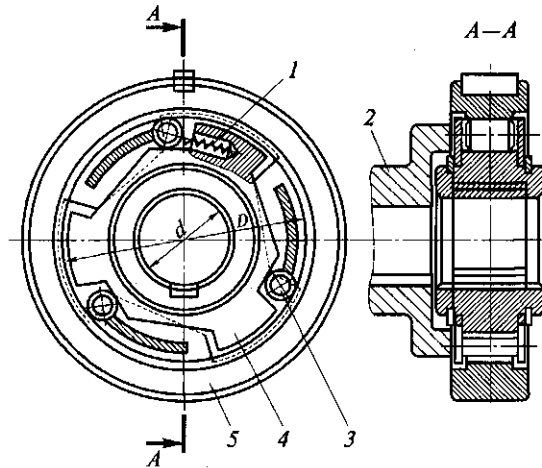


Рис. 2.22. Роликовая муфта обгона:

1 — пружина; 2 — вилка; 3 — ролик; 4 — ступица; 5 — обойма

гания двигателя привода. В некоторых предохранительных муфтах подвижные элементы смещаются не в осевом, а в радиальном направлении.

*Муфты обгона* предназначены для передачи крутящего момента при вращении звеньев кинематической цепи в заданном направлении и для их разъединения при вращении в обратном направлении, а также для передачи валу различных по частоте вращений, например медленного (рабочего) и быстрого (вспомогательного). Муфта обгона позволяет передавать дополнительное (быстрое) вращение без выключения основной цепи.

В станках наиболее широко применяют муфты обгона роликового типа (рис. 2.22). Ролики 3 установлены в пазу, образованном обоймой 5 и срезанной частью ступицы 4. При вращении обоймы по часовой стрелке ролики вкатываются в клиновую щель и заклиниваются в ней, связывая обойму и ступицу. Надежному закатыванию роликов способствуют пружины 1. Поводковая вилка 2 может принудительно выталкивать ролики из клиновой щели, осуществляя при этом реверсирование вращения ступицы. Таким образом, муфта может передавать крутящий момент в двух направлениях. В качестве муфт обгона используют также храповые механизмы.

**Тормозные устройства.** Для остановки или замедления движения подвижных узлов или отдельных элементов станков используют тормозные устройства. Торможение может осуществляться механическими, электрическими, гидравлическими, пневматическими или комбинированными средствами. В стан-

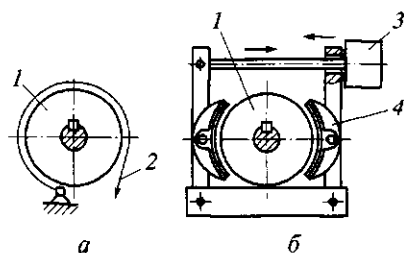


Рис. 2.23. Схемы ленточного (а) и колодочного (б) тормозов:

1 — шкив тормозной; 2 — лента; 3 — привод; 4 — колодка

ках, не имеющих гидро- или пневмопривода, применяют механическое или электрическое торможение. Основные виды механических тормозов: ленточные (рис. 2.23, а), колодочные (рис. 2.23, б) и многодисковые.

Многодисковый тормоз представляет собой обычную многодисковую муфту, корпус которой жестко закреплен на неподвижной части станка. Привод тормозов на универсальных станках обычно ручной. На автоматизированных станках привод тормозов управляется дистанционно по программе.

Тормоза устанавливают на быстроходных валах коробок скоростей. При необходимости их блокируют с пусковыми муфтами.

## 2.5. Механизмы реверса

Реверсирование направления вращательного или поступательного движения рабочих органов станка осуществляется с помощью механических, электротехнических или гидравлических устройств. В качестве элементарных реверсирующих механических устройств используют в основном цилиндрические и конические зубчатые передачи.

Для реверсирования ведомого вала, параллельного ведущему, используют механизмы реверса, составленные из цилиндрических зубчатых колес (рис. 2.24, а, б). Ведущий вал I имеет постоянное направление вращения. Изменение направления вращения ведомого вала II происходит при передаче движения через паразитные зубчатые колеса  $z_4$ ; переключение осуществляют передвижными блоками зубчатых колес (см. рис. 2.24, а) или сцепными муфтами (см. рис. 2.24, б).

Реверсивные механизмы, составленные из конических зубчатых колес (рис. 2.24, в, г), применяются для изменения направления вращения валов, оси которых перпендикулярны к оси ведущего вала. Эти механизмы менее металлоемки, чем первые, но сложнее в изготовлении. Реверс осуществляется либо перемещением блока  $z_1 - z_3$ , либо с помощью сцепляемых муфт I.

Реверсивные механизмы, составленные из зубчатых колес, применяют в универсальных станках с ручным управлением: то-

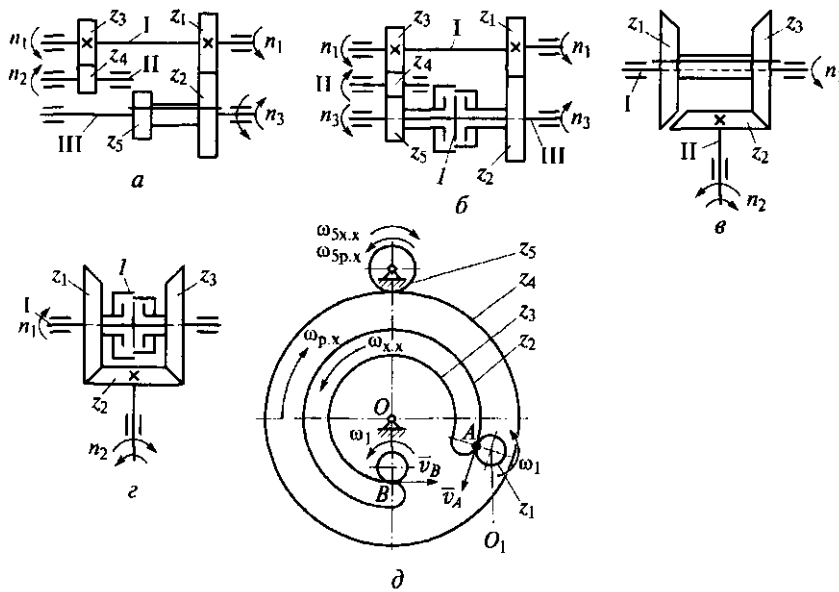


Рис. 2.24. Механизмы реверса, составленные из цилиндрических (*а, б*), конических (*в, г*) зубчатых колес и в виде составного зубчатого колеса (*д*):

I, II, III — номера валов; I — муфта

карных, фрезерных, строгальных, долбежных, сверлильных. В автоматизированном оборудовании используют реверсивные механизмы, в которых переключение осуществляется фрикционными сцепляемыми муфтами.

В зубообрабатывающих станках, работающих в полуавтоматическом режиме, иногда применяют реверсный механизм в виде составного зубчатого колеса (рис. 2.24, *д*). Ведущее колесо  $z_1$  вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_1$ . Составное зубчатое колесо наружным диаметром с числом зубьев  $z_4$  зацепляется с ведомым зубчатым колесом  $z_5$ . Составное зубчатое колесо получает вращение от ведущего колеса при рабочем ходе через передачу  $z_1/z_2$ , причем колесо  $z_2$  нарезано не полностью. В точке *A* скорость  $v_A = O_1A\omega_1$ . Отсюда можно определить величину и направление угловой скорости  $\omega_{p.x}$  составного зубчатого колеса во время рабочего хода:

$$\omega_{p.x} = v_A/OA.$$

После того как ведущее зубчатое колесо, обкатываясь по наружной поверхности, попадет в точку *B*, угловая скорость механизма изменит направление и величину ( $\omega_{x.x} > \omega_{p.x}$ ), так как радиус  $OB < OA$ , а  $v_A = v_B$

$$\omega_{x.x} = v_B/OB,$$



где  $\omega_{х.х}$  — угловая скорость составного зубчатого колеса при холостом ходе.

Следовательно, ведомое колесо  $z_3$  будет также менять направление вращения.

Помимо выполнения функции реверсирования эти механизмы изменяют и передаточное отношение  $i$ , что повышает производительность станка, так как скорость холостого хода становится больше скорости рабочего хода.

Электрическое реверсирование осуществляется путем изменения направления вращения вала электродвигателя привода, реверсирование гидравлических устройств — путем изменения с помощью гидрораспределителя направления потока рабочей жидкости.

## 2.6. Коробки скоростей

Коробки скоростей структурно входят в привод ступенчатого регулирования главного движения станка. *Привод станка* — это совокупность источника энергии (электро-, гидро- или пневмодвигателя) и передающих устройств; его назначение приводить в движение рабочие органы станка, несущие заготовку или инструмент, обеспечивая при этом необходимые скорости и передавая требуемые усилия.

Коробки скоростей обеспечивают:

- большой диапазон  $D$  регулирования скоростей на выходе:  $D = n_{\max}/n_{\min}$ . Здесь  $n_{\max}$  и  $n_{\min}$  соответственно максимальная и минимальная частота вращения ( $\text{мин}^{-1}$ ) шпинделя, при прямолинейном главном движении — максимальное и минимальное число двойных ходов в минуту ползуна или стола;

- отсутствие проскальзывания (постоянное передаточное отношение);

- передачу постоянной мощности;

- достаточно большое число различных скоростей на выходе при относительно небольших размерах самих коробок скоростей;

- передачу больших крутящих моментов;

- высокий КПД.

Коробки скоростей компактны, просты в обслуживании и надежны в работе.

Коробки скоростей состоят из двухваловых передач, которые могут передавать ведомому валу II несколько различных скоростей. Передача с передвижным блоком зубчатых колес (рис. 2.25, а) проста по конструкции, но не позволяет осуществлять переключение на ходу. Передача с муфтой (рис. 2.25, б) дает возможность автоматизировать переключение скоростей, не останавливая вращения ведущего вала I.

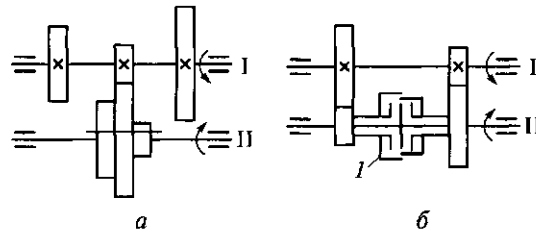


Рис. 2.25. Двухваловые передачи коробок скоростей с передвижным блоком зубчатых колес (а) и с муфтой (б):  
I — ведущий вал; II — ведомый вал; I — муфта

В автоматизированных станках применяют автоматические коробки скоростей (АКС), в которых переключение скоростей осуществляется с помощью электромагнитных фрикционных муфт. Пример использования АКС в цепи главного движения гокарного станка с ЧПУ будет рассмотрен в следующей главе (см. рис. 3.9).

Общее число скоростей коробки определяется перемножением чисел скоростей, имеющих на каждом валу, поэтому такие передачи получили название *множительных*.

По способу переключения скоростей коробки скоростей бывают:

- со сменными зубчатыми колесами, которые применяют чаще всего в специализированных станках, автоматах и полуавтоматах при сравнительно редкой настройке привода главного движения. Они имеют малые габаритные размеры, исключают возможность аварийного включения передач. Вместе с тем увеличивается время на смену колес, когда необходимо изменить величину скорости;
- с передвижными блоками зубчатых колес и муфтами, получившие широкое распространение преимущественно в

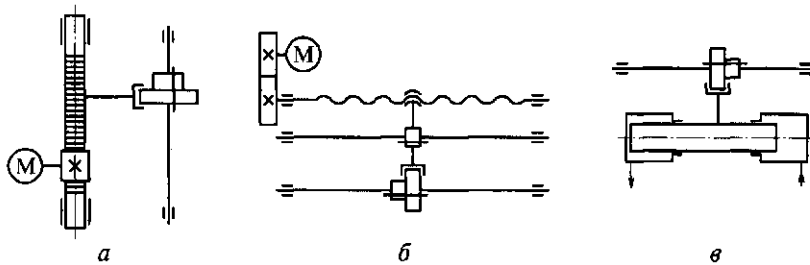


Рис. 2.26. Схемы механизмов переключения передач в станках с ЧПУ:  
а — с реечной передачей; б — с передачей винт — гайка; в — с гидроцилиндром; М — электродвигатель

универсальных станках с ручным управлением. В станках с ЧПУ применяют зубчатые передачи, переключаемые автоматически с помощью индивидуальных электромеханических (реже гидравлических) приводов. Схемы таких приводов даны на рис. 2.26.

По компоновке различают коробки скоростей с неразделенным и разделенным приводом. В первом случае коробка скоростей расположена в шпиндельной бабке, а во втором — вынесена за ее пределы.

## 2.7. Коробки подач

Коробки подач в металлорежущих станках предназначены для изменения величины и направления подачи переключением зубчатых передач. В механические кинематические цепи подач могут входить: множительные зубчатые передачи (см. рис. 2.25), как в коробках скоростей; передачи, дающие арифметический ряд частоты вращения (конусные наборы с накидным зубчатым колесом и с вытяжной шпонкой); храповые механизмы; суммирующие механизмы, гитары и др.

*Конусный набор с накидным зубчатым колесом* (рис. 2.27, а) применяют в приводах подач токарно-винторезных станков с ручным управлением. Число зубчатых колес в данном наборе достигает десяти, переключение производится рукояткой 1, перемещающей накидное колесо 2. Преимущество этой передачи — малая металлоемкость (число зубчатых колес на два больше числа передач). Однако из-за наличия накидного зубчатого колеса конусный набор не может быть использован в станках, передающих большие мощности, так как механизм имеет низкую жесткость. Другим недостатком является невозможность применения этой передачи в цепях, где реверсируется движение ведущего вала, так как движение с конуса на накидное зубчатое колесо (или наоборот) может передаваться только в направлении, указанном на рисунке.

*Конусный набор с вытяжной шпонкой* (рис. 2.27, б) — компактный механизм, реализующий до 10 различных передаточных отношений. Управление переключением всех передач пары конусов осуществляется одной рукояткой, связанной с вытяжной шпонкой 3. К недостаткам этого механизма относятся: невозможность передачи больших крутящих моментов вследствие недостаточной жесткости полого вала, в котором перемещается тяга с вытяжной шпонкой; неудовлетворительное базирование узких зубчатых колес; повышенный износ зубчатых колес (все постоянно находятся в зацеплении) и вытяжной шпонки; низкий КПД.

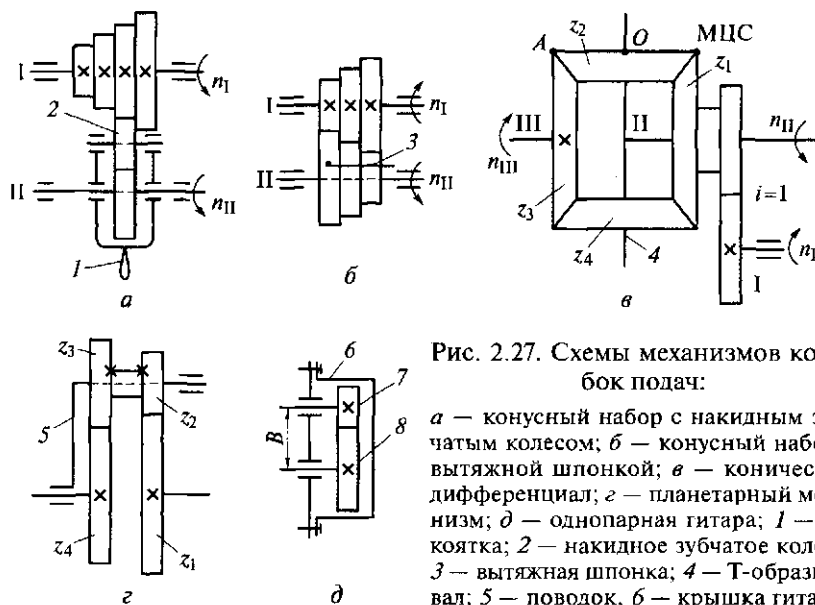


Рис. 2.27. Схемы механизмов коробок подач:

*a* — конусный набор с накладным зубчатым колесом; *б* — конусный набор с вытяжной шпонкой; *в* — конический дифференциал; *г* — планетарный механизм; *д* — однопарная гитара; *1* — рукоятка; *2* — накладное зубчатое колесо; *3* — вытяжная шпонка; *4* — Т-образный вал; *5* — поводок, *б* — крышка гитары; *7, 8* — сменные зубчатые колеса

Конусный набор с вытяжной шпонкой применяют в легких, а иногда и средних сверлильных и токарно-револьверных станках с ручным управлением. В настольных сверлильных станках один конусный набор с вытяжной шпонкой заменяет коробку подач, что позволяет уменьшить габариты шпиндельной головки станка.

**Храповые механизмы** (см. рис. 2.19, *a, б*) используют в станках с периодической подачей заготовки или инструмента — в строгальных, долбежных, шлифовальных. Здесь подача осуществляется не в процессе резания, а в момент холостого хода; ее величина, как и при непрерывном движении подачи, влияет на шероховатость обрабатываемой поверхности и стойкость инструмента.

В качестве **суммирующих механизмов** в станках применяют конические дифференциалы, планетарные механизмы, реечные передачи и винтовые пары (с несамотормозящей резьбой), червячные и другие передачи.

Суммирующие (дифференциальные) механизмы предназначены для алгебраического сложения однородных движений, их применяют для увеличения диапазона настройки цепей в целях расширения технологических возможностей затыловочных, зуборезных, резьбошлифовальных и других станков.

Рассмотрим суммирование движений в **коническом дифференциале** (рис. 2.27, *в*), у которого коническое зубчатое колесо  $z_1$  и Т-образный вал  $4$  — ведущие звенья. Для определения пере-

даточного отношения конического дифференциала, имеющего две степени свободы, вначале вычислим его передаточное отношение, когда дифференциал имеет одно ведущее звено — Т-образный вал. Остановим вал I, тогда колесо  $z_1$  неподвижное, а колесо  $z_2$  мгновенно вращается относительно мгновенного центра скоростей (МЦС). Скорость точки  $A$  колеса  $z_2$  будет в два раза больше скорости  $v_O$  точки  $O$ , которая принадлежит одновременно и Т-образному валу. Следовательно,  $v_O = \omega_2 R_2 = \omega_T R_T$ , где  $\omega_1, \omega_2, \omega_T$  — угловые скорости соответственно конических колес  $z_1, z_2$  и Т-образного вала II;  $R_1, R_2, R_T$  — радиусы колес  $z_1, z_2$  и Т-образного вала II. Поскольку все радиусы одинаковые, то  $\omega_2 = \omega_T$  или  $2\pi n_2 = 2\pi n_T$ , т. е.  $n_2 = n_T$ . Выразим скорость  $v_O$  через частоту вращения  $n_2$ :  $v_O = 2\pi R_2 n_2 = 2\pi R n_2$ . Учитывая, что  $v_A = 2v_O$ , получим угловую скорость ведомого звена  $\omega_3 = v_A/R_3 = 2v_O/R = 4\pi n_2$ , а угловая скорость ведущего звена  $\omega_T = 2\pi n_T$ . Следовательно, передаточное отношение, равное отношению ведомой угловой скорости к ведущей, будет равно двум, т. е. угловая скорость колеса  $z_3$  будет в два раза больше, чем скорость Т-образного вала II.

Теперь остановим Т-образный вал, и вращение на дифференциал будет поступать только от ведущего конического зубчатого колеса  $z_1$ . В этом случае передаточное отношение будет равно единице, так как все конические колеса имеют одинаковое число зубьев — фактически работает простая кинематическая цепь из конических зубчатых колес.

Выше передаточные отношения дифференциала определены для случая, когда он имел поочередно одну степень свободы. Если движение будет передаваться одновременно от Т-образного вала и конического зубчатого колеса  $z_1$  (т. е. у дифференциала две степени свободы), то передаточное отношение будет равно алгебраической сумме:  $i_d = 2 \pm 1$ .

В том случае, если Т-образный вал является ведомым звеном, передаточное отношение дифференциала  $i_d = \frac{1}{2} \pm 1$ .

Конический дифференциал, как суммирующий механизм, в станках имеет наибольшее применение. Однако в качестве суммирующих иногда применяют и планетарные механизмы.

*Планетарным* называют механизм с подвижными осями зубчатых колес и одной степенью свободы. Их используют как суммирующие механизмы (когда ведущими, например, являются поводок 5 и зубчатое колесо  $z_1$  — рис. 2.27, *г*) или как механизмы, резко снижающие скорость.

Планетарные механизмы широко применяются в зубофрезерных станках и различных редукторах, так как позволяют получить большой диапазон передаточных отношений при малых габаритах и незначительных потерях на трение.

*Гитара* — это звено настройки кинематической цепи с помощью сменных зубчатых колес; применяется в различных кинематических цепях: коробок скоростей, подач, обкатки в дифференциальных цепях станков различных типов, особенно в серийном и массовом производствах. В большинстве случаев для получения заданных передаточных отношений применяют либо двухпарную гитару (две пары сменных зубчатых колес), либо однопарную (рис. 2.27, *д*); трехпарные гитары используются крайне редко, когда необходимы малые передаточные отношения или требуется высокая точность их настройки. Однопарные гитары не дают высокой точности подбора заданного передаточного отношения, так как обычно в наборе очень мало сменных колес (8... 10 шт.) и, кроме того, конструкция гитары такова, что расстояние между осями сменных колес  $B = \text{const}$ . При подборе двух сменных зубчатых колес  $z_1$  и  $z_2$  необходимо удовлетворять условию их сцепляемости

$$B = m(z_1 + z_2)/2,$$

где  $m$  — модуль зубчатых колес.

*Коробки подач с бесступенчатым регулированием* не обеспечивают точных передаточных отношений, поэтому их применяют лишь в тех случаях, когда подачи определяются режимами резания.

С точки зрения передачи усилий в коробках подач имеются большие возможности по применению фрикционных вариаторов с бесступенчатым регулированием, так как обычно передается небольшая мощность и низкая частота вращения. При большом диапазоне регулирования подач механизмы бесступенчатого регулирования могут применяться в сочетании со ступенчатым приводом.

На рис. 2.28 показана бабка изделия круглошлифовального станка; круговая подача шпинделя изделия регулируется бесступенчато. Ведущий вал *1* приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. Для изменения круговой подачи служит фрикционная передача с раздвижными коническими шкивами *2*, *3* и промежуточным стальным кольцом *4*. Сближение одной пары конусов и одновременный развод второй изменяет диаметр, по которому происходит касание конусов стальным кольцом, следовательно, меняется передаточное отношение. Частоту вращения шпинделя изделия изменяют на ходу поворотом рукоятки управления.

Бесступенчатое регулирование с механическим вариатором применяется в приводах подач шлифовальных, револьверных, координатно-расточных, сверлильных и других станков.

Все большее распространение получают коробки подач с регулируемыми электродвигателями постоянного и переменного тока. Упрощение механической части и легкость управления яв-

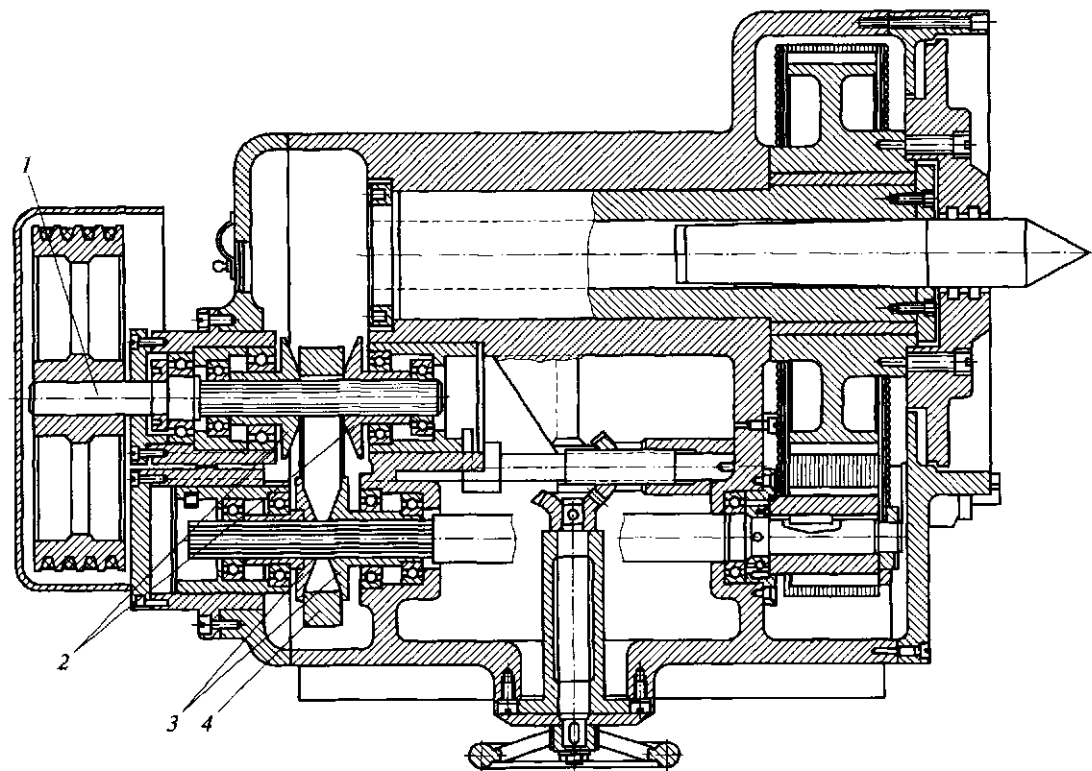


Рис. 2.28. Привод бесступенчатого регулирования круговой подачи изделия в круглошлифовальном станке:  
1 — вал; 2, 3 — ведомые и ведущие конические шкивы соответственно; 4 — кольцо

ляются важными эксплуатационными качествами этого привода. Имеются примеры успешной замены на станках обычных коробок подач приводом от электродвигателей постоянного тока с широким диапазоном  $D$  регулирования. Так, в координатно-расточных станках применена система электрического управления приводом подач от электродвигателя постоянного тока с  $D = 1800$  при изменении частоты вращения от 2 до  $3600 \text{ мин}^{-1}$ .

В приводах подач тяжелых станков часто встречается сочетание регулируемого двигателя постоянного тока с механической частью коробки подач, которая расширяет диапазон регулирования электродвигателя.

В некоторых приводах тяжелых станков регулируемый электродвигатель применяют в сочетании с планетарными передачами, которые дают большую редукцию и удобны для включения ускоренных перемещений без отключения цепи рабочих подач.

## **2.8. Электрооборудование и элементы систем управления станками**

**Электрическое оборудование.** В состав металлорежущих станков входят следующие электрические устройства: коммутационные аппараты для подключения и отключения станка и его отдельных элементов к электрической сети; электрические двигатели для приводов главного движения, механизмов подач и вспомогательных движений (перемещения задней бабки и ее зажима, отвода и подвода режущего инструмента, подачи СОЖ); электромагнитные муфты для переключения скоростей шпинделя и регулирования подачи суппорта.

Для управления работой электрооборудования используются аналоговые и цифровые микросхемы. В качестве датчиков в станках применяют устройства измерения неэлектрических величин (перемещений, скорости, температуры, давления, силы) электрическими методами: с помощью тахогенераторов, сельсинов, индукционных и емкостных датчиков, оптоволоконных фотоизмерительных устройств и других аппаратов.

Электрические схемы металлорежущих станков строят с использованием релейно-контакторных аппаратов, принцип работы которых основан на перемещении контакт-деталей после подключения катушки контактора к электрической сети. Эти же схемы могут также быть построены на бесконтактных логических элементах, которые в настоящее время вытесняют релейно-контакторные аппараты. Функциональное назначение тех и других элементов одинаковое.

Релейно-контакторные и бесконтактные элементы выполняют одинаковые логические функции и могут применяться в ав-



томатизированных системах управления. Например, при замыкании и размыкании контактов выполняются логические функции ДА и НЕТ соответственно. При подключении катушки контактора к электрической сети контакты замыкаются, т. е. выполняется логическая функция ДА. Если при подключении катушки контакты размыкаются, то выполняется логическая функция НЕТ.

Выполнение логических функций И, ИЛИ зависит от схемы соединения механических контактов: последовательное соединение контактов соответствует выполнению логической функции И, а параллельное — логической функции ИЛИ.

Применение бесконтактных логических элементов целесообразно в сложных схемах, когда число входных сигналов в схеме в несколько раз превышает число выходных. Релейно-контакторные аппараты используют в системах управления небольшой сложности. Аппаратные средства и программное обеспечение взаимосвязаны. Любой процесс, реализуемый программным путем, может быть преобразован в эквивалентный процесс, реализуемый аппаратными средствами, и наоборот.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) является главным компонентом любого многофункционального автомата или информационной системы управления. Назначение АЛУ — выполнять заданный набор арифметических и логических операций, определяемый его областью применения и функциональным назначением.

Для станков с ручным управлением или с простейшей автоматикой используют логические элементы.

**Системы циклового программного управления.** Системы ЦПУ строят на базе устройства задания программы или на базе программируемого контроллера (ПК).

Рассмотрим работу СЦПУ, выполненной с устройством задания программы. Такая СЦПУ (рис. 2.29) содержит следующие блоки: задания циклов (память циклов), ввода программы; задания перемещения — узел путевых датчиков (Д). Кроме того, в СЦПУ входят элементы силовой электроавтоматики (ЭА) и

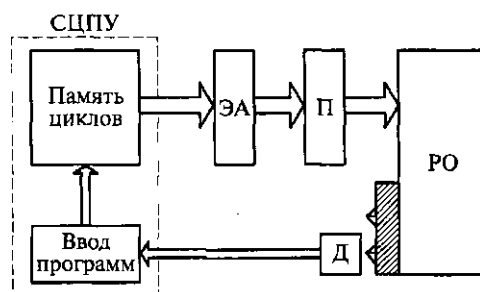


Рис. 2.29. Структурная схема системы ЦПУ:

ЭА — электроавтоматика; П — привод; РО — рабочий орган станка; Д — датчики (путевые)

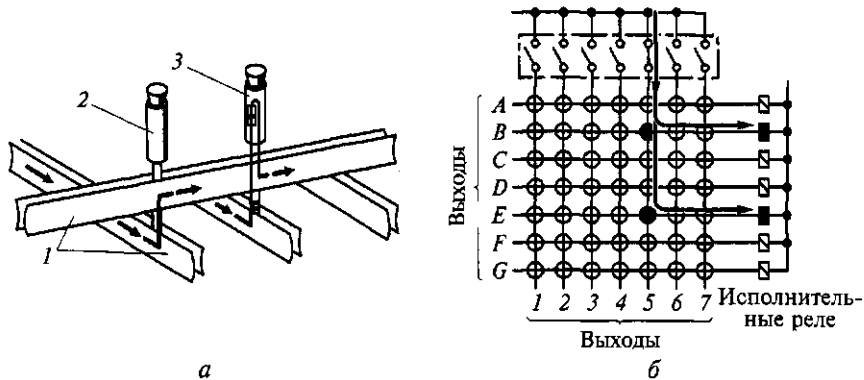


Рис. 2.30. Схема двухслойного расположения шин штекерной панели (а) и схема прохождения сигнала по матрице (б):  
 1 — шины; 2 — короткозамыкающий штекер; 3 — штекер со встроенным диодом

исполнительный привод (П), перемещающий рабочий орган (РО) технологического оборудования. Блоки СЦПУ могут быть выполнены на основе электрических, пневматических или гидравлических элементов.

Блоки задания циклов и ввода программы, являющиеся носителями информации о цикле, на многих старых станках изготовлены в виде штекерной наборной панели. В наиболее простом случае штекерная панель выполнена по схеме диодной матрицы; диоды встроены в штекеры или в панель. Каждому входу (строке) соответствует определенный набор команд, которые задаются установкой штекеров 2 и 3 (рис. 2.30, а), схема прохождения сигнала по матрице показана на рис. 2.30, б.

Блок задания перемещений, располагаемый на рабочем органе станка, выдает сигнал об окончании этапа программы и пе-

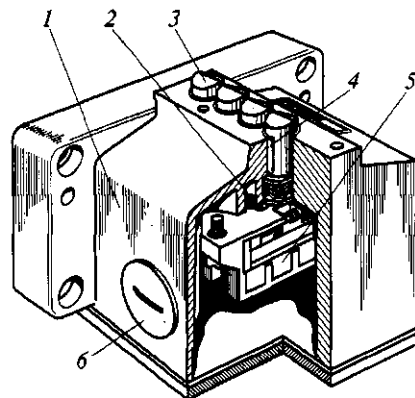


Рис. 2.31. Узел переключателей:  
 1 — корпус; 2 — мембрана для герметизации толкателя; 3 — толкатель; 4 — направляющая толкателя, препятствующая его развороту; 5 — микропереключатель; 6 — пробка, закрывающая отверстие для выводов

реключения на следующий этап. Для этой цели могут применяться путевые переключатели или реле времени, причем последние используются, когда время отработки данного этапа программы не изменяется. В первом случае блок задания перемещений состоит из двух узлов: переключателей (рис. 2.31) и путевых упоров, которые устанавливаются в Т-образные пазы на панели (рис. 2.32, а) или на барабане (рис. 2.32, б). Кулачки могут быть регулируемы (рис. 2.32, в), которые настраиваются с помощью винтов с лимбом.

*Система ЦПУ на базе ПК* представляет собой универсальное устройство, которое настраивают на управление конкретным циклом путем занесения в его память соответствующей рабочей программы, согласующей между собой содержимое адресов памяти, связанных с входными и выходными сигналами объекта управления.

ПК — логическое устройство последовательного действия с логическими операциями, производимыми над входными сигналами. Последовательность команд, которыми определяются входы, выходы и логические операции, представляет собой *программу*.

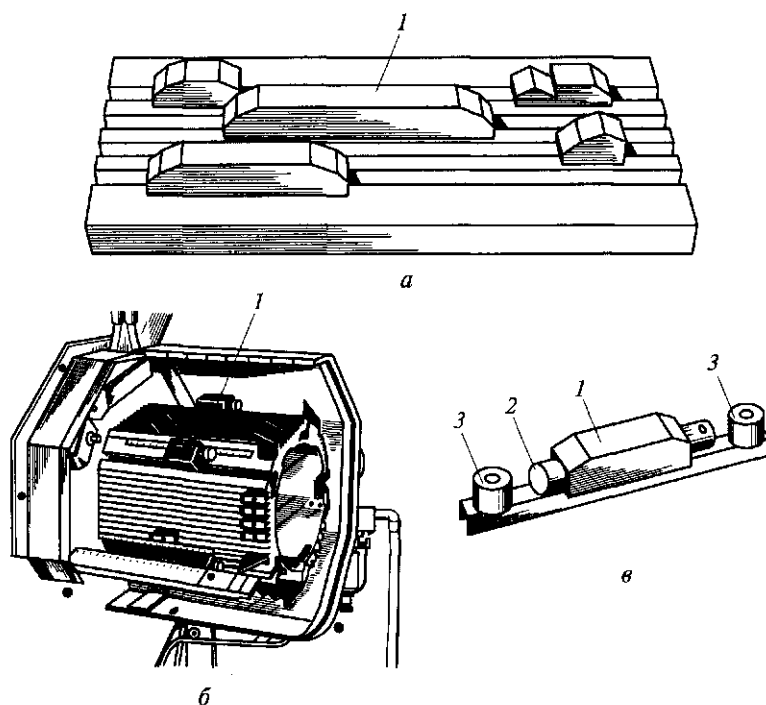


Рис. 2.32. Узлы путевых упоров в виде панели с регулируемы кулачками (а), в виде барабана (б) и регулируемый кулачок (в):

1 — кулачок; 2, 3 — регулировочный и крепежный винты соответственно

ПК построен по тем же структурным принципам, что и универсальная цифровая ЭВМ, и содержит все ее характерные функциональные блоки — процессор, оперативное запоминающее устройство, устройство управления, устройство ввода-вывода информации, устройство индикации. Обычно ПК имеет модульное построение, позволяющее наращивать число входов, выходов и т. п.

Структурная схема ПК показана на рис. 2.33. ПК обеспечивает выполнение тех же функций, что и релейные логические схемы управления, но с большей гибкостью при меньших затратах времени, занимая при этом в шкафах электрооборудования меньше места. Большинство ПК программируется с использованием монтажных схем электрооборудования, что позволяет станочнику быстро освоить эти устройства управления.

В последние годы благодаря применению в ПК больших интегральных схем (БИС) различия между ПК, микро- и мини-ЭВМ уменьшились. В системах управления ПК могут сопрягаться с вычислительными машинами, при этом ПК управляет определенными видами операций, а ЭВМ выполняет функции диспетчеризации, управления и обработки данных о процессе, протекающем на станке.

ПК применяются в автоматических станочных и конвейерных линиях, системах поточных линий, установках для литья под давлением, в шлифовальном, сварочном и другом технологическом оборудовании.

Конструктивно ПК выполняют в виде отдельных модулей, устанавливаемых в общий корпус. Конструкция позволяет изменять число модулей ввода и вывода в соответствии с конкрет-

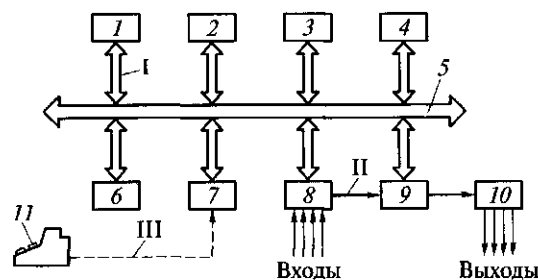


Рис. 2.33. Структурная схема программируемого контроллера:

1 — процессор; 2 — таймер и счетчики; 3 — перепрограммируемая память; 4 — оперативная память; 5 — общая шина связи блоков; 6 — блок связи с УЧПУ или ЭВМ; 7 — блок подключения пульта для программирования; 8 — модули ввода информации; 9 — коммутатор ввода-вывода; 10 — модули вывода; 11 — пульт программирования с клавиатурой и дисплеем; I, II — постоянные и временные связи соответственно; III — возможные связи



Рис. 2.34. Типовая конфигурация программируемого контроллера

ным объектом управления. Модули процессора и блока питания также являются законченными конструктивными платами. В состав обязательного набора модулей входят платы связи модулей ввода и вывода с процессором. Модули процессора, блока питания, ввода и вывода соединяются между собой кабелями. Монтаж ПК весьма прост: каркасы крепят в шкафу электрооборудования станка, соединяют между собой и с управляемым объектом.

Конфигурация системы, в которой применяется ПК, изображена на рис. 2.34. Связь ПК с технологическим оборудованием осуществляется посредством интерфейса ввода-вывода. Интерфейс ввода предназначен для приема сигналов от оборудования и преобразования их в форму, приемлемую для ПК. Интерфейс вывода преобразует управляющие сигналы ПК в форму, приемлемую для технологического оборудования. Интерфейсы ввода отделены от интерфейсов вывода, а для обеспечения должной гибкости аппаратных средств и те и другие интерфейсные устройства имеют модульную конструкцию. Внутренние процессы, происходящие в ПК, обеспечиваются низким напряжением постоянного тока (5 В).

Основным элементом ПК является процессор, который выполняет различные логические функции, производит операции над входными сигналами и вырабатывает соответствующие выходные (управляющие) сигналы.

Память ПК используется для хранения программы, которая задает логику обработки входных сигналов и формирование выходов.

Для работы ПК, подключенного к объекту управления, не требуется каких-либо особых устройств помимо входов-выходов. На рис. 2.35 показана структурная схема полного комплекта ПК, который необходим при дальнейшем развитии систем управления или отладке конкретного варианта автоматизированной системы с использованием ПК.

Периферийными называют устройства ПК, не являющиеся его составной частью, но связанные с ним непосредственно, вспомогательными — периферийные устройства пульта про-

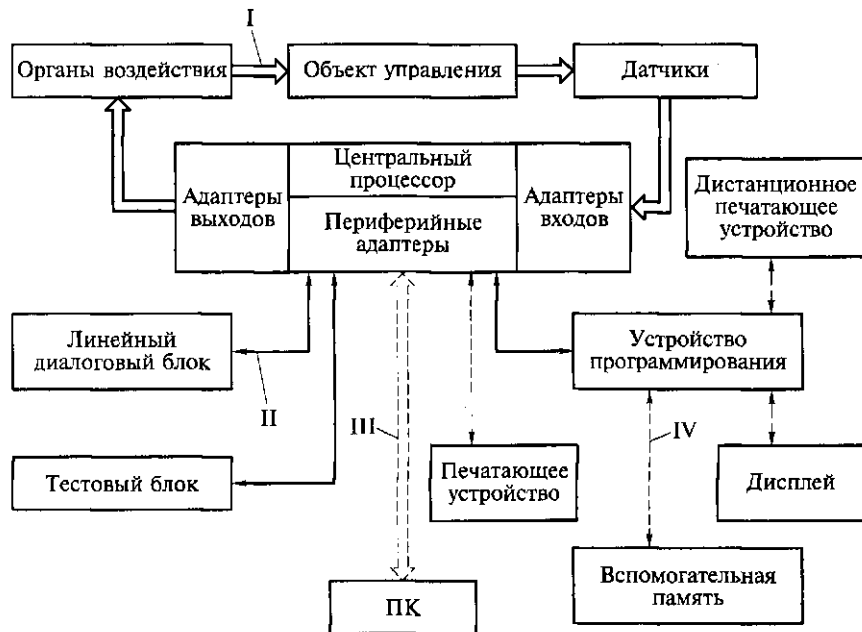


Рис. 2.35. Программируемый контроллер и его вспомогательные устройства:

I, II — постоянные и временные связи соответственно; III, IV — возможные связи

граммирования ПК. Единственными постоянными связями ПК с внешней средой являются связи с объектом управления. Пульт программирования подключается лишь при введении программ. Иногда предусматривается подключение дополнительных устройств (например, печатающего) в целях расширения возможностей систем управления на базе ПК.

**Устройства числового программного управления.** Устройство ЧПУ является неотъемлемой частью станка с числовым программным управлением, а в общей структуре системы ЧПУ его можно рассматривать как звено системы управления высокого уровня (рис. 2.36). Устройство ЧПУ изготавливают на специализированных предприятиях, на станкозавод УЧПУ поступает как комплектующее изделие.

Каждый из этапов развития УЧПУ характеризовался новыми техническими решениями. Расширялись функциональные возможности УЧПУ, повышалась их надежность, уменьшались размеры. Так было при переходе от дискретной полупроводниковой элементной базы к интегральной с малой и средней степенью интеграции.

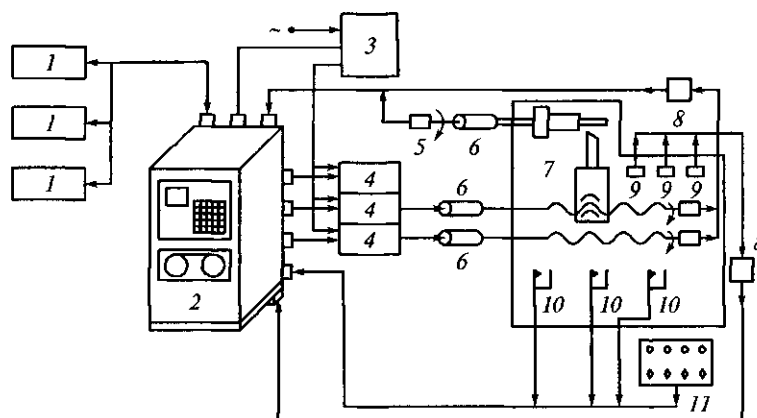


Рис. 2.36. Общая структура системы управления станка с ЧПУ:

1 — аппаратура связи с ЭВМ верхнего ранга (периферийные устройства ввода-вывода данных); 2 — устройство ЧПУ; 3 — станция питания и другие вспомогательные узлы; 4 — блок управления двигателями подачи; 5 — измерительные преобразователи перемещений рабочих органов станка; 6 — двигатели приводов главного движения и подачи; 7 — кинематическая система станка; 8 — нормирующие и согласующие блоки измерительных каналов; 9 — измерительные датчики параметров технологического процесса; 10 — сигнальные датчики фиксированных положений рабочих органов; 11 — пульт управления станка

По структуре различают аппаратные (типа NC) и программируемые (типа CNC) УЧПУ.

*Аппаратным УЧПУ*, или устройством с жесткой структурой, называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Эти устройства еще довольно широко применяются в нашей промышленности.

*Программируемым УЧПУ* называют устройство, алгоритмы которого реализуются с помощью программ, вводимых в память, поэтому могут быть изменены после изготовления самого устройства. Программируемые УЧПУ относятся к устройствам третьего поколения.

УЧПУ могут быть выполнены в виде автономной стойки, выносного пульта модульного исполнения или устройства, встроенного в станок, например «Электроника НЦ-31».

Рассмотрим варианты структуры УЧПУ. Устройства, построенные по структуре цифровой модели (рис. 2.37, а), осуществляют переработку так называемым аппаратным способом. Это означает, что все операции (передачи, преобразования, вычисления и др.) выполняются специализированными электронными блоками, функции которых строго определены (т. е. ориен-

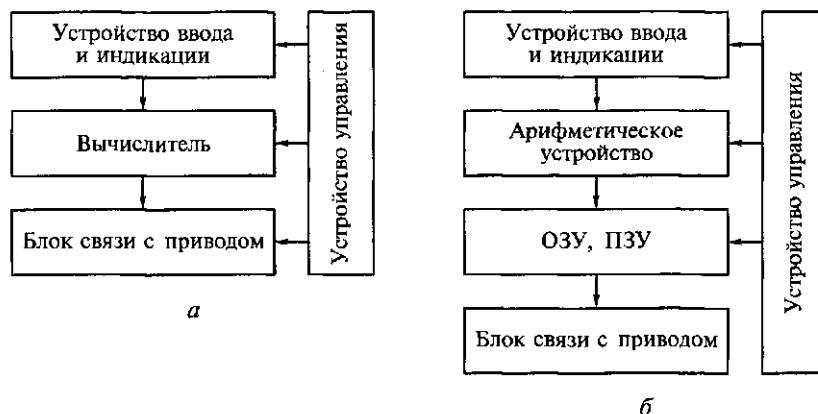


Рис. 2.37. Схемы построения УЧПУ по структуре цифровой модели (а) и по структуре ЭВМ (б):

ОЗУ, ПЗУ — оперативное и постоянное запоминающие устройства соответственно

тированы на конкретную операцию), а связи четко зафиксированы. Функционирование системы подчиняется неизменному циклу (алгоритму), в пределах которого все блоки УЧПУ работают параллельно и выполняют закрепленные за ними операции над вводимыми по программе числами.

Как правило, устройство, построенное по структуре цифровой модели, состоит из четырех агрегатов. Устройство ввода (или агрегат ввода) осуществляет первичную переработку (дешифрацию, контроль, коррекцию, преобразование кодов и др.) вводимой по программе информации. Вычислитель рассчитывает координаты всех промежуточных (между опорными) точек, обеспечивает разгоны и торможения, поддерживает на определенном уровне скорость подачи. Блок связи с приводом передает оперативные управляющие команды к исполнительным приводам подачи на станке. Устройство управления организует общий цикл взаимодействия агрегатов.

УЧПУ, построенные по структуре ЭВМ (рис. 2.37, б), имеют характерные признаки вычислительной машины: универсальный характер блоков связи, последовательное выполнение всех операций через центральное арифметическое устройство, наличие оперативного (ОЗУ) и постоянного (ПЗУ) запоминающих устройств.

Для того чтобы универсальное по назначению вычислительное устройство выполняло вполне определенные функции, УЧПУ должно быть соответствующим образом запрограммировано. Для этого предусматривается специальное математическое обеспечение, представляющее собой комплекс алгоритмов пе-



переработки информации, поступающей в виде дополнительной УП. Математическое обеспечение может вводиться в УЧПУ через устройство ввода, как и основная УП. Тогда УЧПУ относится к классу свободно программируемых. В иных случаях математическое обеспечение вводится в постоянную память системы УЧПУ на стадии его изготовления.

УЧПУ, построенные по структуре ЭВМ, имеют расширенную оперативную память. В определенных зонах этой памяти можно хранить всю УП целиком (или даже несколько программ). Это обеспечивает два важных преимущества: возникают широкие возможности для редактирования УП; из процесса отработки УП исключается покадровое считывание информации, которое потенциально несет в себе вероятность сбоев.

Недостатком систем, построенных по структуре ЭВМ, является последовательный характер выполнения всех команд. В связи с этим получают распространение гибридные системы, в которых часть операций выполняется аппаратным, а часть программным путем.

Специальные программы, так называемые оболочки пользователя, позволяют создавать программы самому технологу, которому теперь совершенно необязательно знать все возможности языка программирования, вполне достаточно владеть довольно простым языком программной оболочки.

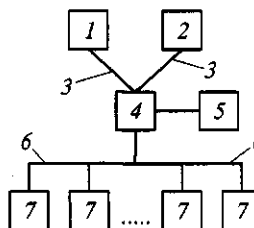
Современное УЧПУ должно иметь открытую программно-аппаратную архитектуру с использованием многокоординатных контроллеров индустриального исполнения. Внедрение таких УЧПУ позволяет решить ряд существенных проблем. Благодаря открытой архитектуре УЧПУ может быть адаптировано к станку практически любого типа из уже существующего станочного парка: и к серийно выпускаемым станкам и их модификациям, и к уникальным станкам и многостаночным агрегатам. При этом в самой конструкции УЧПУ заложены возможности наращивания вычислительной мощности и памяти, а также обучающих, производственных и прочих программных пакетов. Кроме того, данные системы обеспечивают возможность доступа в Интернет, что крайне важно в современных условиях.

Новые системы ЧПУ строятся на базе персональных компьютеров, предназначенных для работы в цеховых условиях.

Основные тенденции развития автоматизации машиностроения на базе систем ЧПУ заключаются в сближении между производителем этих систем и собственно станкостроительными фирмами. Развитие систем ЧПУ идет по пути слияния управления различными элементами технологий (создание УП, диагностика отказов и т. д.) и выработки комплексных решений, позволяющих максимально удовлетворить постоянно возрастающие требования заказчика. Потенциальному потребителю предлага-

Рис. 2.38. Схема типовой системы управления оборудованием и производством:

1, 2 — персональные компьютеры домашнего и рабочего офисов соответственно; 3 — каналы передачи и получения информации через Интернет и Интранет; 4 — сервер системы; 5 — подразделения предприятия; 6 — каналы связи; 7 — технологическое оборудование



ются не только отдельные УЧПУ, но и готовые сети автоматизированных устройств для управления группой станков.

На рис. 2.38 приведена принципиальная схема типовой системы управления группой станков с ЧПУ (каждая единица оборудования оснащена компьютером). Типовые системы обеспечивают взаимодействие оператора и оборудования. Персонал, обслуживающий оборудование через сети Интранет и Интернет, имеет также оперативную взаимосвязь для выполнения различных консультативных функций.

## 2.9. Мехатронные узлы

В настоящее время активно развивается новое направление науки — *мехатроника*, базирующаяся на достижениях механики, электроники, автоматики и информатики. Именно интеграция знаний в этих областях науки и техники позволила совершить качественный скачок в создании принципиально новых узлов-модулей станочного оборудования — мехатронных модулей.

На базе мехатронных модулей разрабатываются станки нового поколения, оснащенные *электроприводами прямого действия* (Direct Drive), в конструкциях которых отсутствуют промежуточные кинематические звенья (редукторы, коробки передач, устройства преобразования вращательного движения в линейное и др.). Преимущества двигателей прямого действия наиболее ярко проявляются в высокоточных и динамичных электроприводах. Отсутствие механических передач позволяет исключить кинематические погрешности движения, связанные с геометрией зубчатого зацепления, с люфтами и пр. Для приводов прямого действия используются сверхвысокомоментные двигатели вращательного движения или линейные двигатели с большим тяговым усилием. Для механизмов, в которых рабочий орган совершает линейные движения (механизмы подачи металлорежущих станков, манипуляторов и др.), а также для механизмов возвратно-поступательного движения, например поршневых насосов, весьма перспективным стало использование при-

водов прямого действия на базе асинхронных, синхронных и шаговых линейных двигателей.

Существенно более высокие технические характеристики электроприводов подачи с линейными двигателями (максимальная скорость до 200 м/мин, ускорение до 5g, длина перемещения не ограничивается) позволяют создать принципиально новые компоновки станков и реализовать концепции высоких технологий: высокоскоростную обработку, субмикронную обработку и др. Высокая управляемость линейных двигателей обеспечивается использованием для их питания преобразователей частоты или полупроводниковых коммутаторов тока на базе транзисторов.

*Мехатронный модуль вращательного главного движения станков* — это высокоскоростной электродвигатель главного движения, на роторе которого смонтирован шпиндель станка. Конструкция и элементы такого шпиндельного узла, называемого мотор-шпинделем, предназначенного для скоростной обработки, существенно отличаются от традиционных решений. В конструкциях привода главного движения высокоскоростных станков при максимальных частотах вращения шпинделя более  $10\,000\text{ мин}^{-1}$  практически невозможно использовать электродвигатель с механическими передачами. Поэтому в этих станках применяются устройства типа мотор-шпинделя, которые относятся к приводу прямого действия. Режущий инструмент с опоркой крепится с передней части мотор-шпинделя. Статор электродвигателя размещается в корпусе шпиндельного узла и приводит во вращение ротор. В мотор-шпинделях применяется система эффективного охлаждения электродвигателя и шпиндельных опор. Датчики частоты вращения, положения ротора и температуры передают сигналы в систему ЧПУ по каналам связи, разъемы которых находятся на левом торце шпиндельного узла.

*Мехатронные модули линейного движения* строят на базе линейных двигателей (ЛД). Для линейных перемещений в станках до недавнего времени использовался привод подач с электродвигателем вращательного движения и механическими передачами, преобразующими вращательное движение в прямолинейное поступательное (зубчатая рейка, шариковая винтовая пара и др.). С целью исключить необходимость использования механических передач в приводе подач и реализовать концепцию приводов прямого действия возникла идея создать *линейный двигатель*, развернув статор 1 и ротор 2 электродвигателя вращательного движения на плоскости (рис. 2.39, а). Таким образом в одном мехатронном узле конструктивно объединяются приводной и исполнительный элементы привода. Обычно на подвижной части (рабочем органе станка — суппорте, столе и др.) располагают электромагниты 3 (рис. 2.39, б), а на направляю-

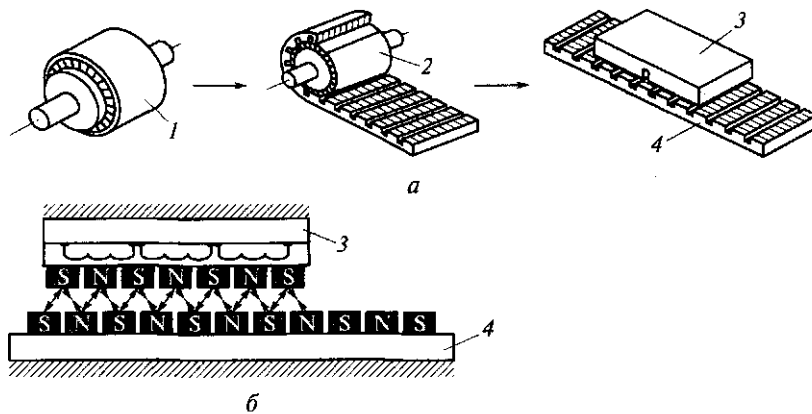


Рис. 2.39. Схема превращения электродвигателя вращательного движения в линейный (а) и ее реализация (б):

1 — статор; 2 — ротор; 3 — электромагнитный блок; 4 — плита постоянных магнитов

щих (неподвижной части) — постоянные магниты 4. Движение в ЛД возникает благодаря взаимодействию магнитных полей постоянных магнитов и электромагнитных катушек, т.е. происходит непосредственное преобразование энергии в линейное движение.

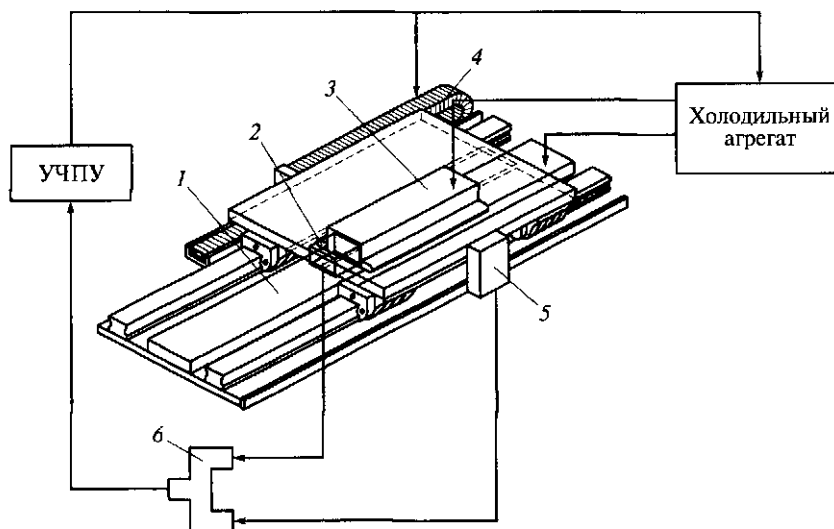


Рис. 2.40. Схема управления УЧПУ линейным двигателем:

1 — статор; 2 — датчик; 3 — ротор; 4 — энергетическая цепь; 5 — линейная измерительная система тракторной; 6 — блок сравнения

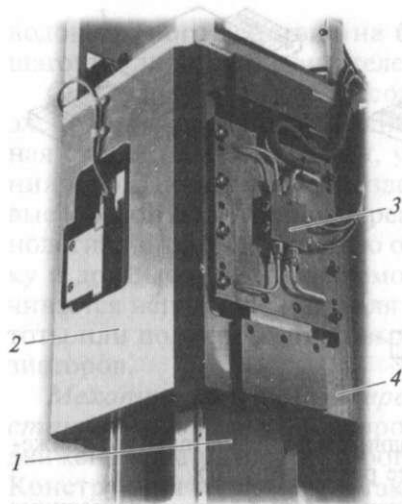


Рис. 2.41. Конструктивное исполнение линейного двигателя:

1 — ротор; 2 — датчик положения; 3 — система охлаждения; 4 — статор

На рис. 2.41 показан ЛД, установленный на электроэрозионном станке. На подвижной части ЛД (роторе 1) закреплен электрод-инструмент, а на статоре 4 — линейный датчик 2 положения ротора с дискретностью 0,01 мкм. Для охлаждения узла к статору подведены патрубки системы охлаждения 3. Благодаря отсутствию передаточных механизмов и ликвидации промежуточных кинематических цепей достигается высокая точность перемещений (с дискретностью от 0,01 до 0,001 мкм). Кроме того, ЛД имеет весьма малую инерционность, что позволяет корректировать положение электрода-инструмента до 500 раз в секунду!

Конструкции ЛД постоянно совершенствуются, созданы ЛД, которые используются в многоцелевых станках (см. гл. 10), обеспечивая скорости перемещения рабочих органов до 360 м/мин и ускорения до 320 м/с<sup>2</sup>, при этом передавая усилия до 21 кН.

## 2.10. Системы смазывания и охлаждения

**Система смазывания.** Для подачи, дозирования и распределения смазочного материала, а также контроля и управления смазыванием в станках используются системы смазывания. От эффективности действия этих систем зависят важнейшие пока-

Срок службы ЛД определяется «жизнью» постоянных магнитов. В ряде фирм используют редкоземельные неодим-ферро-боровые (Ne-Fe-B) магниты, долголетие которых оценивается в 30 лет.

На рис. 2.40 приведена схема управления линейным двигателем. От датчика 2 в УЧПУ поступают сигналы о температурных режимах работы статора 1 (неподвижной части) и ротора 3 (подвижной части) ЛД, а от линейной измерительной системы 5 — информация о перемещениях ротора. После сопоставления сигналов в блоке сравнения 6 сигналы передаются в УЧПУ, далее управление перемещением ротора и работой холодильного агрегата осуществляется через энергетическую цепь 4.

затели качества работы станков: точность, долговечность, экономичность, бесшумность.

Подача смазочных масел и материалов к трущимся поверхностям осуществляется различными способами: самотеком — под действием сил тяжести (непрерывное смазывание); фитилями и пористыми втулками (фитильное смазывание) с использованием силы капиллярного давления; погружением вращающихся деталей в масляную ванну (смазывание погружением); принудительно (смазывание под давлением, создаваемым насосами, пружинами и мускульной силой); разбрызгиванием и распылением (например, масляным туманом, создаваемым сжатым воздухом).

В зависимости от вида и состояния смазочных материалов различают системы с жидким (или пластичным) и газообразным смазочным материалом. Управление работой устройств подачи смазочных материалов может быть индивидуальным или централизованным. При индивидуальном управлении смазочный материал подается к каждому из смазываемых объектов с помощью отдельных смазочных устройств; смазочный материал может быть различным.

В зависимости от характера поступления смазочного материала к местам смазывания различают системы *непрерывного* и *периодического* смазывания. Смазывание всех точек может происходить одновременно или последовательно. Во втором случае смазочный материал подается только периодически. При подаче смазочного материала к трущимся парам или распределительным устройствам с участием обслуживающего персонала систему называют ручной; во всех других случаях, когда обслуживающий персонал периодически пополняет резервуары системы и наблюдает за ее работой, систему называют автоматизированной. Автоматизация системы повышает надежность подачи к местам смазывания определенного количества смазочного материала.

По условиям подачи и использования смазочного материала системы смазывания подразделяются на *проточные* и *циркуляционные*. В проточных системах смазочный материал подается к трущимся поверхностям дозами (одноразовое проточное смазывание), используется в работе один раз и в резервуар системы не возвращается. В циркуляционных системах применяют только жидкие смазочные материалы, циркулирующие многократно между объектами смазывания и резервуаром (циркуляционное смазывание). Смазочный материал, поступающий в резервуар для повторной подачи, подвергается тщательной очистке.

Контроль подачи смазочного материала осуществляется визуально, обычно с помощью маслоуказателей (глазков), или ав-

томатически с помощью различных реле контроля подачи, давления, уровня и других приборов.

В современных станках все шире применяют централизованные смазывающие системы для дозированной подачи в заданных количествах смазочных материалов (пластичных и жидких) к двум и более точкам трущихся пар узлов и механизмов. В состав системы входят емкость со смазочным материалом, насосная установка, смазочные питатели, приборы управления и контроля, предохранительные и другие вспомогательные устройства.

**Система охлаждения.** Для подачи СОЖ к режущим кромкам инструмента в процессе резания служат системы охлаждения. Использование СОЖ способствует повышению производительности и точности обработки на станке.

Система охлаждения состоит из резервуара-отстойника, насоса (обычно центробежного), фильтров, трубопровода, направляющих и отводящих устройств. Объем резервуара зависит от вида выполняемой операции. При обильном тепловыделении, сопровождающем процесс резания (например, обдирочное, силовое шлифование), когда количество подаваемой в единицу времени жидкости возрастает, объем достигает многих десятков и в ряде случаев сотен литров. Для станков, объединяемых в поточные и автоматические линии, применяют централизованные системы охлаждения.

Конструкция фильтров определяется требованиями к качеству (шероховатости) обработанной поверхности, и при необходимости помимо отстойника, магнитного сепаратора и других устройств грубой очистки на хонинговальных и полировальных станках применяют центробежные, бумажные и другие устройства тонкой очистки.

На станках, работающих с применением СОЖ, предусматривают защитные устройства, предотвращающие попадание жидкости в механизмы, а также разбрызгивание ее из рабочей зоны.

В станках нового поколения внедряется технология «сухого» резания (без применения СОЖ). В этом случае система охлаждения отсутствует (более подробно о новых технологиях обработки см. гл. 13). Возросшие требования к охране окружающей среды обусловили необходимость использования на станках кабинетной защиты. Ряд станков имеет полностью закрытые рабочую зону и основные механизмы, благодаря чему при их эксплуатации значительно сократились вредные выбросы, рабочее место и окружающая среда стали чище и безопаснее. В других случаях станок оснащают устройством герметизации только рабочей зоны, закрытой кожухами. Для отвода отходов и вредных паров предусмотрены специальный насос и шланг, связанный с цеховой системой очистки воздуха.

После ремонта и модернизации станков периодически проводят специальный экологический контроль устройств, предназначенных для удаления отходов (отработанной СОЖ, пыли, стружки), для сокращения уровня шума, вибраций и электромагнитного излучения, для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

### Контрольные вопросы

1. Как находят передаточные отношения передач, применяемых в станках? Приведите несколько примеров.
2. Чем отличаются передаточные отношения зубчатой пары и ременной передачи?
3. Что такое безлюфтовая передача? Когда ее применение обязательно?
4. Какие передачи в станках преобразуют вращательное в поступательное движение узла?
5. Назовите механизмы периодических движений. В каких станках они применяются?
6. Для чего используются в станках муфты обгона?
7. Какие преимущества имеют электродвигатели прямого действия?
8. Какие механизмы подачи вы знаете? Почему такие механизмы не применяются в коробках скоростей?
9. Какие способы создания усилий предварительного натяга вы знаете? Для какого типа опор предварительный натяг необходимо создавать обязательно?
10. Чему будет равно передаточное отношение конического дифференциала, если Т-образный вал является ведущим звеном?
11. Какие типы опор скольжения применяются в шпиндельных узлах?
12. Что такое шпиндельный узел и каковы его функции?
13. Почему аэростатические опоры не применяют в шпиндельных узлах тяжелых станков?
14. Какие нетрадиционные материалы используют в металлорежущих станках и почему?
15. Для каких станков проектируют шпиндельные узлы с подогревом?
16. Почему электрошпиндель и мотор-шпиндель имеют различные области применения?
17. Когда в станках используют гитары? Что это такое?
18. Для чего служат защитные устройства направляющих?
19. Чем отличается аппаратное УЧПУ от программируемого?
20. Какие мехатронные узлы, применяемые в металлорежущих станках, вы знаете?
21. Какие системы смазывания вы знаете?
22. Расскажите о программируемом контроллере.
23. Какие структурные варианты УЧПУ вы знаете?



## ГЛАВА 3

### ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

#### 3.1. Назначение и классификация

Значительную долю станочного парка составляют станки токарной группы, которая включает в себя девять типов (см. табл. 1.1), различающихся по назначению, компоновке, степени автоматизации и другим признакам.

Токарные станки предназначены главным образом для обработки наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, нарезания резьбы и обработки торцовых поверхностей деталей типа тел вращения с помощью разнообразных резцов, сверл, зенкеров, разверток, метчиков и плашек.

Применение дополнительных специальных устройств (для шлифования, фрезерования, сверления радиальных отверстий) значительно расширяет технологические возможности станков данной группы.

Токарные станки могут иметь горизонтальную или вертикальную компоновку в зависимости от расположения шпинделя.

Основные параметры токарных станков — наибольший диаметр заготовки, обрабатываемой над станиной, и наибольшее расстояние между центрами. Важным параметром станка является также наибольший диаметр заготовки, обрабатываемой над поперечными салазками суппорта.

#### 3.2. Токарно-винторезные станки с ручным управлением

Токарно-винторезные станки с ручным управлением являются наиболее универсальными станками токарной группы и используются главным образом в условиях единичного и серийного производства. Конструктивная компоновка станков практически однотипна.

**Универсальный токарно-винторезный станок.** На станке выполняют все виды токарных и резьбонарезных работ. При нарезании метрической и дюймовой резьб резцом и резьбовой гребенкой на станке используют цепь главного движения и вин-

торезную цепь. Шаг нарезаемой модульной метрической резьбы  $P = \pi m$ , где  $m$  — модуль; шаг дюймовой резьбы определяется числом ниток на 1". Например:  $P = 0,5'' = 0,5 \cdot 25,4 \text{ мм} = 12,7 \text{ мм}$ ; дюймовая модульная резьба вычисляется в питчах ( $p$ ), причем  $p = 1''/m$ .

Для нарезания резьбы метчиком и плашкой необходимо только главное движение, так как подача инструмента осуществляется самозатягиванием.

Общий вид станка приведен на рис. 3.1. Все механизмы станка монтируют на станине 1. В передней (шпиндельной) бабке 18 устанавливают коробку скоростей, шпиндель и другие элементы. Коробка подач 9 передает движение от шпинделя к суппорту (на рисунке шпинделя не видно, так как на нем навинчен патрон 24). Суппорт включает в себя поперечные салазки 8 и верхние салазки 31, которые размещены на каретке суппорта, перемещающейся по направляющим 40 станины. В фартуке 4 вращение ходового винта 41 или вала 42 преобразуется в поступательное движение суппорта, несущего на верхних салазках резцедержатель 26. В пиноли задней бабки 36 может быть установлен центр для поддержки обрабатываемой заготовки или стержневой инструмент (сверло, развертка и т. п.) для обработки центрального отверстия в заготовке, закрепленной в патроне.

Основные органы управления (рукоятки и кнопки) универсального токарно-винторезного станка показаны на рис. 3.1.

Установка и закрепление на станках заготовок производится в патроне, патроне и заднем центре, в центрах и на оправке.

Патроны предназначены для закрепления заготовок, которые могут выступать из него на длину, равную двум-трем их диаметрам. Более длинные заготовки устанавливают в патроне и заднем центре. Поддержка заготовки задним центром необходима и при тяжелых обдирочных работах. Установку в центрах используют для длинных заготовок типа валов в тех случаях, когда необходимо обеспечить соосность нескольких обрабатываемых наружных поверхностей с минимальными отклонениями, а также при обработке заготовок последовательно на различных станках с установкой на одни и те же технологические базы. Оправки применяют при обработке наружной поверхности заготовки при наличии в ней предварительно обработанного отверстия.

Конструкции различных типов патронов и центров подробно описаны в учебнике [24].

Устройство задней бабки показано на рис. 3.2. В корпусе 1 при вращении винта 5 маховиком 7 перемещается пиноль 4, закрепляемая рукояткой 3. В пиноли устанавливается центр 2 с коническим хвостовиком (или осевой инструмент). Задняя баб-

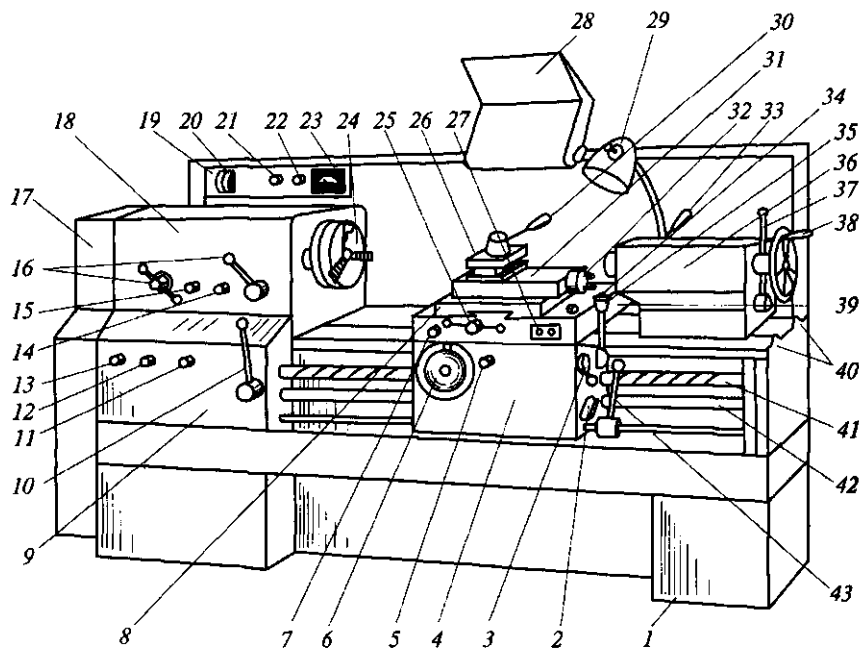


Рис. 3.1. Универсальный токарно-винторезный станок:

1 — станина; 2 — рукоятка включения и выключения подачи; 3 — рукоятка включения и выключения маточной гайки; 4 — фартук; 5 — рукоятка размыкания реечного колеса с рейкой; 6 — маховик ручного перемещения каретки; 7 — кнопка золотника смазки направляющих каретки и салазок суппорта; 8 — поперечные салазки суппорта; 9 — коробка подач; 10, 43 — рукоятки управления фрикционной муфтой в коробке скоростей (реверсируют вращение шпинделя), заблокированы между собой; 11 — рукоятка установки шага резьбы и отключения коробки подач при нарезании резьбы напрямую; 12 — рукоятка установки подачи и тита нарезаемой резьбы; 13 — рукоятка настройки величины подачи и шага резьбы; 14 — рукоятка настройки станка на нарезание правой и левой резьбы; 15 — рукоятка установки нормального или увеличенного шага резьбы; 16 — рукоятки изменения частоты вращения шпинделя; 17 — кожух ременной передачи главного привода; 18 — передняя бабка (с коробкой скоростей); 19 — электрический пульт; 20 — выключатель вводный автоматический; 21 — сигнальная лампа; 22 — выключатель подачи насоса охлаждающей жидкости; 23 — указатель нагрузки станка; 24 — патрон; 25 — рукоятка ручного перемещения поперечных салазок; 26 — резцедержатель; 27 — кнопочная станция включения и выключения электродвигателя главного привода; 28 — защитный щиток; 29 — выключатель местного освещения; 30 — рукоятка поворота и зажима резцедержателя; 31 — верхние салазки; 32 — рукоятка ручного перемещения верхних салазок суппорта; 33 — рукоятка зажима пиноли задней бабки; 34 — кнопка включения электродвигателя привода ускоренного перемещения каретки и поперечных салазок суппорта; 35 — рукоятка изменения направления перемещения каретки и поперечных салазок суппорта; 36 — задняя бабка; 37 — рукоятка закрепления задней бабки к станине; 38 — маховик ручного перемещения пиноли задней бабки; 39 — каретка суппорта; 40 — направляющие станины; 41 — ходовой винт; 42 — ходовой вал

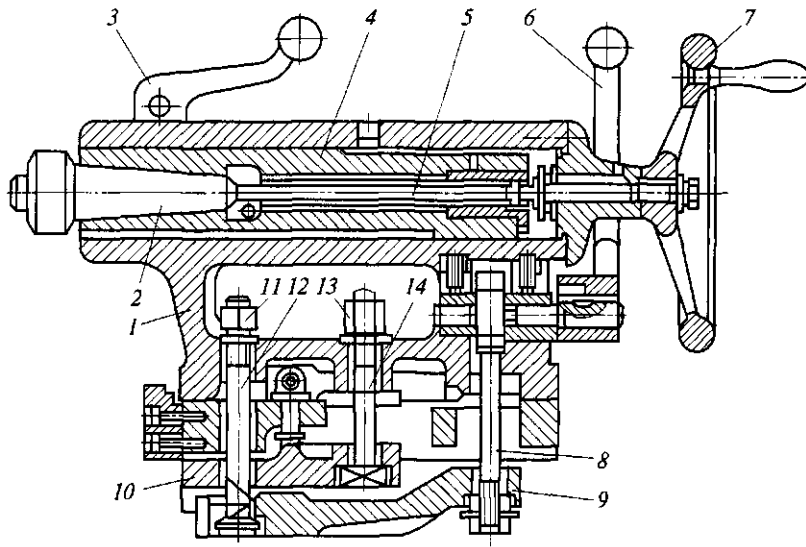


Рис. 3.2. Задняя бабка токарного станка:

1 — корпус; 2 — центр; 3, 6 — рукоятки; 4 — пиньоль; 5, 12 и 14 — винты; 7 — маховик; 8 — тяга; 9, 10 — рычаги; 11, 13 — гайки

ка перемещается по направляющим станка вручную или с помощью продольного суппорта.

В рабочем неподвижном положении задняя бабка фиксируется рукояткой 6, которая соединена с тягой 8 и рычагом 9. Сила прижима рычага 9 тягой 8 к станине регулируется гайкой 11 и винтом 12. Более жесткое крепление задней бабки производится с помощью гайки 13 и винта 14, который прижимает к станине рычаг 10.

При обработке заготовок длинных нежестких валов с соотношением длины к диаметру ( $L/D \geq 15$ ) для предотвращения их прогиба под действием сил резания, инерционных сил и сил тяжести используют неподвижные и подвижные люнеты.

Неподвижный люнет (рис. 3.3, а) монтируется на направляющие станины 1 с закреплением сухарем 2 и гайкой 3. Заготовка 10 устанавливается между кулачками 6, перемещаемыми от винтов 8 стойки 4. Перед установкой верхнего кулачка необходимо открутить винт 11 и отвести крышку 7 относительно оси 5. После выставления кулачков их требуется зафиксировать винтами 9.

Подвижный люнет (рис. 3.3, б) монтируется на суппорте 14 станка с закреплением стойки 12 винтами 13. Люнет имеет два кулачка 6, регулируемых винтами 8. В процессе обработки подвижный люнет перемещается вместе с резцом, что позволяет

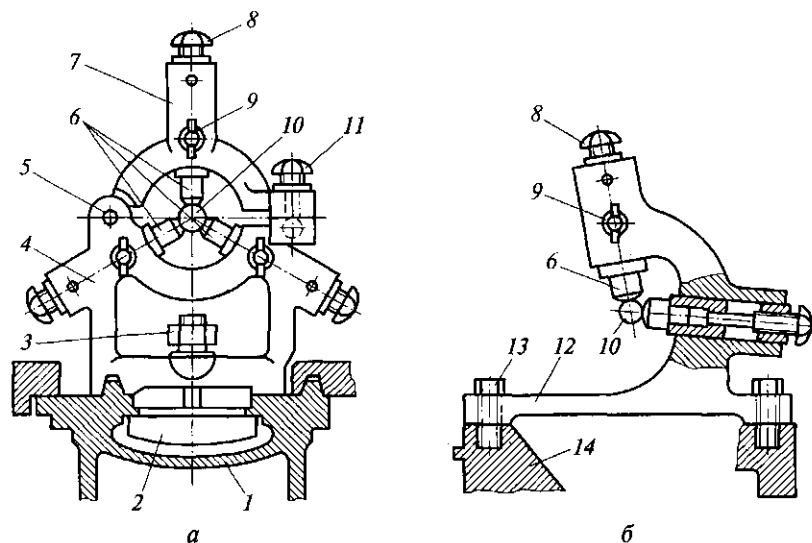


Рис. 3.3. Неподвижный (а) и подвижный (б) люнеты:

1 — станина; 2 — сухарь; 3 — гайка; 4, 12 — стойки; 5 — ось; 6 — кулачки; 7 — крышка; 8, 9, 11, 13 — винты; 10 — заготовка; 14 — суппорт

расположить кулачки люнета в непосредственной близости от зоны резания и тем самым почти исключить прогиб заготовки 10.

Кинематическая схема универсального токарно-винторезного станка показана рис. 3.4.

Привод *главного движения* осуществляется от электродвигателя М1. Через клиноременную передачу с диаметром шкивов 140 и 268 мм движение передается валу II коробки скоростей, на котором установлены свободно вращающиеся зубчатые колеса с числом зубьев  $z = 56$  и  $z = 51$  для прямого вращения шпинделя и  $z = 50$  для обратного вращения.

Прямое или обратное вращение шпинделя включается с помощью фрикционной муфты 1 двустороннего действия. Вал III получает две прямые скорости вращения через зубчатые колеса  $z = 34$  или  $z = 39$ . Далее с помощью зубчатых колес  $z = 29$ ,  $z = 21$  или  $z = 38$ , сцепляющихся с одним из соответствующих колес тройного блока  $z = 47$ ,  $z = 55$  или  $z = 38$ , получает вращение вал IV. С этого вала вращение может передаваться непосредственно на шпиндель — через зубчатые колеса  $z = 60$  или  $z = 30$  на блок зубчатых колес  $z = 48$ ,  $z = 60$  или через валы VI и VII, образующие вместе с зубчатыми колесами переборную группу. В этом случае движение передается зубчатыми колесами  $z = 45$  или  $z = 15$  (на валу IV), сцепляющимися с одним из венцов блока  $z = 45$ ,  $z = 60$  (на валу VI), и парами колес 18/72 и 30/60.

Определим минимальную и максимальную частоту прямого вращения шпинделя:

$$n_{\text{шп min}} = n_1 \eta \frac{140}{268} \frac{51}{39} \frac{21}{55} \frac{15}{60} \frac{18}{72} \frac{30}{60} \approx 12,5 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{\text{шп max}} = n_1 \eta \frac{140}{268} \frac{56}{34} \frac{38}{38} \frac{60}{48} \approx 1600 \text{ мин}^{-1},$$

где  $n_1$  — частота вращения электродвигателя М1:  $n_1 = 1460 \text{ мин}^{-1}$  (см. рис. 3.4);  $\eta$  — коэффициент проскальзывания ременной передачи.

В зависимости от вариантов включения зубчатых колес в коробке скоростей можно получить 22 значения частот вращения шпинделя.

Перемещение суппорта обеспечивает подачу инструмента в процессе резания. Это движение осуществляется или непосредственно от шпинделя или через звено увеличения шага, расположенное в коробке скоростей и имеющее два передаточных отношения, и далее через механизм реверса, гитару сменных зубчатых колес  $a/b$  и  $c/d$ , коробку подач и механизм передач фартука. Механизм реверса состоит из зубчатых колес  $z = 30$ ,  $z = 25$  и  $z = 45$ , смонтированных на валах VIII, IX, X.

Коробка подач имеет две кинематические цепи для нарезания резьб: одну — для дюймовых и питчевых, а другую — для метрических и модульных. Кинематическая цепь, идущая через муфты 4 и 5, используется также и для передачи движения на ходовой вал, но при выключенной муфте 3 (см. рис. 3.4).

Для нарезания резьб с повышенной точностью и специальных движение на ходовой винт передается напрямую, т.е. коробка подач отключается, а валы XI, XV и XIX соединены между собой с помощью муфт 2 и 3. В этих случаях требуемый шаг перемещения суппорта настраивают подбором сменных зубчатых колес  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  гитары.

Быстрые перемещения суппорта осуществляются от отдельного электродвигателя М2 через ременную передачу, вращающую ходовой вал XX.

Выделим из кинематической схемы станка кинематическую цепь продольной подачи, которая должна связать один оборот шпинделя (1 об. шп.) с продольной подачей суппорта ( $S_{\text{о.пр}}$  — подача на один оборот шпинделя, мм/об). Уравнение баланса кинематической цепи продольной подачи имеет вид

$$1 \text{ об. шп.} \cdot \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{a}{b} \frac{b}{d} i_{\text{к.п}} \cdot \underbrace{\frac{28}{35} \frac{30}{32} \frac{32}{30} \frac{4}{21} \frac{36}{41} \frac{17}{66}}_{\text{Цепь фартука}} \pi m z_{\text{р.к}} = S_{\text{о.пр}},$$

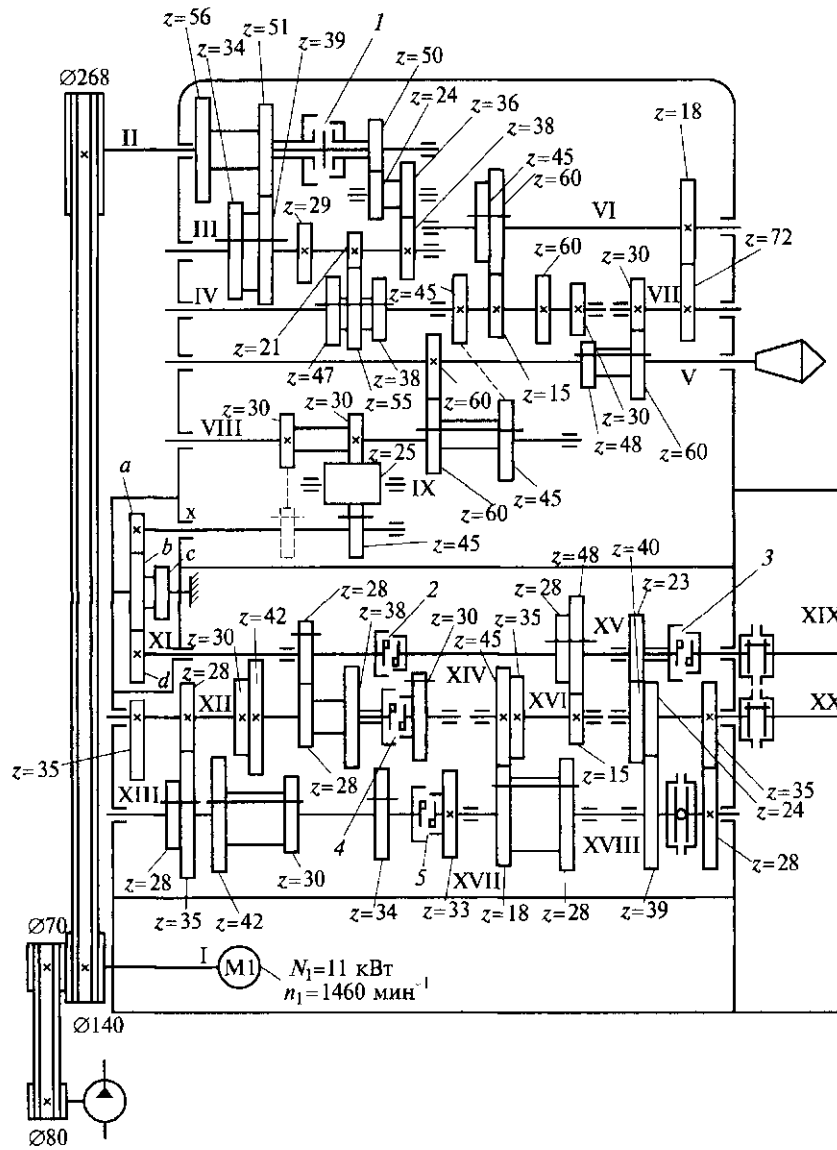
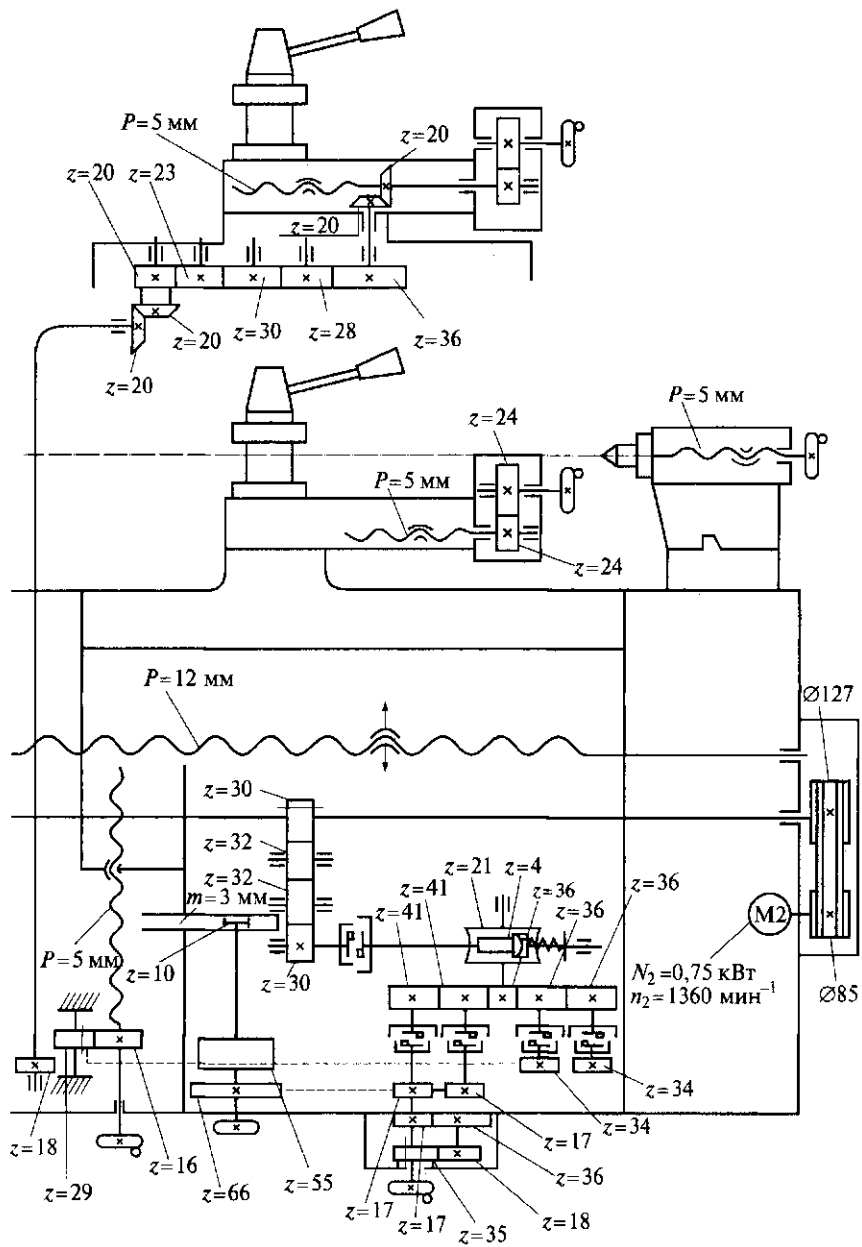


Рис. 3.4. Кинематическая схема универсального токарно-  
 1—5 — муфты; a, b, c, d — сменные зубчатые колеса;



винторезного станка с ручным управлением:  
 M1, M2 — электродвигатели; I—XX — валы



где  $a, b, d$  — числа зубьев сменных колес гитары;  $i_{к.п}$  — передаточное отношение коробки подач;  $m$  — модуль реечного колеса, мм:  $m = 3$  мм;  $z_{р.к}$  — число зубьев реечного колеса:  $z_{р.к} = 10$ .

Наладка станка на *обработку конических поверхностей* осуществляется следующим образом. Коническая поверхность может быть образована различными способами: широким резцом, проходным (расточным) резцом, установленным на повернутых верхних салазках суппорта, или на суппорте, соединенном с копирной (конусной) линейкой, а также проходным резцом со смещением задней бабки.

Широким резцом обрабатывают конусы небольшой длины (до 20...25 мм): фаски, фасонные канавки, дорожки качения внутренних колец конических роликовых подшипников. Резец  $I$  (рис. 3.5, *a*) устанавливают на суппорте  $2$ , которому сообщается поперечное  $D_{сп}$  или продольное  $D_{спр}$  движение подачи. Режущую кромку резца выставляют, например по шаблону, под заданным углом  $\alpha$ .

Наружные и внутренние конические поверхности можно обрабатывать резцом  $I$  при перемещении верхних салазок  $3$  суппорта, повернутых на угол  $\alpha$  (рис. 3.5, *б*).

Возможна обработка конических поверхностей с использованием специального приспособления (копирной линейки). В этом случае необходимо отсоединить ходовой винт поперечной подачи от гайки и поперечные салазки соединить с ползушкой приспособления. Этот процесс переналадки занимает достаточно много времени, поэтому применяется в среднесерийном и крупносерийном производствах. Теперь если суппорту сообщить движение продольной подачи, то поперечные салазки, связанные с ползушкой, будут совершать сложное движение и в продольном, и в поперечном направлениях, а резец будет перемещаться под углом, равным углу установки конусной линейки, по которой скользит ползушка.

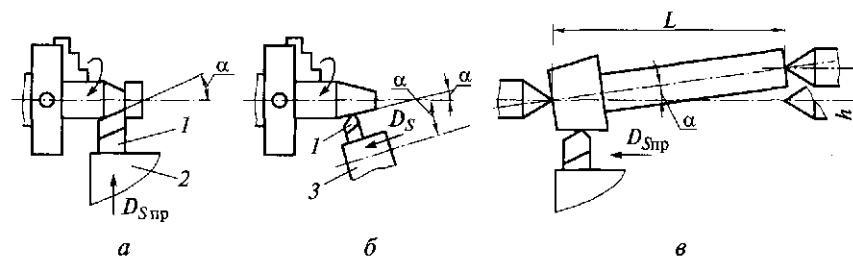


Рис. 3.5. Схемы обработки конусов:

$I$  — резец;  $2$  — суппорт;  $3$  — верхние салазки;  $\alpha$  — угол обрабатываемого конуса

Конические поверхности с углом  $\alpha \leq 4^\circ$  на заготовках, базирuemых в центрах (рис. 3.5, в), обтачивают при смещении задней бабки. Обработку производят при продольном движении подачи резца. Необходимое смещение центра  $h = L \sin \alpha$ . Значение  $h$  не должно превышать  $\pm 15$  мм.

**Специализированный винторезный станок высокой точности.** Станок предназначен для чистового нарезания ходовых винтов. Высокая точность профиля и шага нарезаемой резьбы достигается благодаря следующим конструктивным и кинематическим особенностям:

- коробка скоростей разделена со шпиндельной бабкой и установлена на отдельном фундаменте; шпиндель получает вращение через клиноремennую передачу, которая гасит вибрации, возникающие в зубчатых зацеплениях коробки скоростей;

- коробка подач отсутствует, что позволило сократить кинематическую цепь от шпинделя до ходового винта станка; таким образом устранено влияние накопленных погрешностей от неточностей шагов в зубчатых зацеплениях коробки подач на точность шага нарезаемой резьбы;

- каретка суппорта имеет удлиненные направляющие, верхние поворотные салазки на суппорте отсутствуют; это позволило увеличить жесткость суппортной группы и, следовательно, повысить точность обработки;

- ходовой винт расположен между направляющими, вследствие чего устраняется перекоc каретки суппорта при ее продольном перемещении;

- на станке установлена коррекционная линейка 1 (рис. 3.6), которая через рычаг 2 воздействует на маточную гайку 3 ходового винта станка и сообщает ей дополнительный поворот, устраняя влияние погрешностей шага станочного ходового винта на точность шага нарезаемой резьбы.

На специализированном винторезном станке *нарезают наружные и внутренние резьбы резцами* различного профиля и шага: трапецеидальные, треугольные, прямоугольные и др. На заданный стандартный шаг резьбы станок настраивается рукоятками, на коробке подач в соответствии с таблицами, прикрепленными к станку. Для нарезания специальных резьб и резьб повышенной точности нужное передаточное отношение настраивается сменными зубчатыми колесами гитары.

Если для нарезания однозаходной резьбы станок настраивают на шаг резьбы  $P$ , то для *нарезания многозаходной резьбы* станок необходимо настроить на ход резьбы  $H = kP$ , где  $k$  — число заходов.

Многозаходные резьбы нарезают с помощью специальных устройств, обеспечивающих поворот заготовки вокруг своей оси

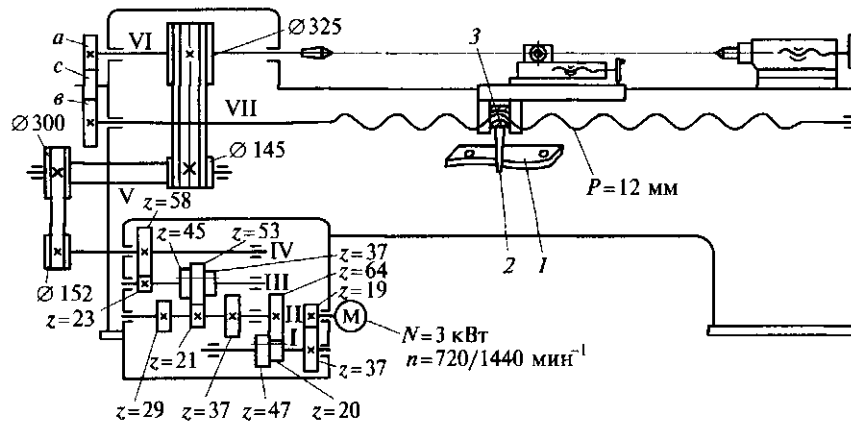


Рис. 3.6. Кинематическая схема специализированного винторезного станка:

1 — коррекционная линейка; 2 — рычаг; 3 — маточная гайка; I—VII — валы

на заданный угол, равный  $360/k$ , при неподвижном ходовом винте.

Обычно на переднем конце шпинделя имеется специальное делительное устройство, которое снабжено диском с 60 делениями, неподвижная риска нанесена на фланец передней бабки. Такое устройство позволяет поворачивать заготовку и нарезать резьбы с числом заходов 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 или 60.

Поворот заготовки, устанавливаемой в центрах, облегчается при применении специальных поводковых делительных патронов (планшайб).

Простым способом нарезания многозаходных резьб является деление по шагу. Для этого после нарезания первого захода резьбы резец выводят из заготовки и возвращают в начальное положение, после чего резец перемещают в продольном направлении на расстояние  $P = H/k$  с помощью винта верхних салазок суппорта. Перемещение резца отсчитывают по лимбу.

Все заходы многозаходных резьб, в первую очередь с мелким шагом, можно одновременно нарезать специальной гребенкой или группой резцов, установленных друг от друга на расстоянии шага.

### 3.3. Токарно-винторезные станки с ЧПУ

**Классификация и назначение.** Токарные станки с ЧПУ предназначены для наружной и внутренней обработки сложных по форме заготовок типа тел вращения.

Токарные станки с ЧПУ классифицируют по следующим признакам:

расположению оси шпинделя (горизонтальные и вертикальные);

числу используемых в работе инструментов (одно- и многоинструментальные) и способам их закрепления (на суппорте, в револьверной головке, в магазине инструментов);

виду выполняемых работ (центровые, патронные, патронно-центровые, карусельные, прутковые);

степени автоматизации (полуавтоматы и автоматы).

*Центровые станки с ЧПУ* служат для обработки заготовок деталей типа валов с прямолинейным и криволинейным контурами. На этих станках можно нарезать резьбу резцом по программе.

*Патронные станки с ЧПУ* предназначены для обтачивания, сверления, развертывания, зенкерования, цекования, нарезания резьбы метчиками в осевых отверстиях деталей типа фланцев, зубчатых колес, крышек, шкивов и др.; возможно нарезание резцом внутренней и наружной резьбы по программе.

*Патронно-центровые станки с ЧПУ* служат для наружной и внутренней обработки разнообразных сложных заготовок деталей типа тел вращения и обладают технологическими возможностями токарных центровых и патронных станков.

**Токарный патронно-центральной станок с оперативной системой ЧПУ.** Станок предназначен для токарной обработки (в центрах и патроне) наружных и внутренних поверхностей заготовок деталей типа тел вращения различной сложности, а также для нарезания резьб. Оперативная система ЧПУ, установленная на суппорте станка, обеспечивает удобство ввода УП с клавиатуры.

Станок применяют в единичном, мелкосерийном и средне-серийном производствах; его изготавливают в двух исполнениях: с шпиндельной бабкой с ручной установкой скоростей и с возможностью их изменения по программе через электромагнитные муфты.

Основные узлы станка показаны на рис. 3.7. Кинематическая схема станка представлена на рис. 3.8.

*Главное движение* осуществляется от электродвигателя М1 посредством поликлиновой ременной передачи; вращение передается на вал I шпиндельной бабки, а затем через зубчатые колеса 37/53 (при включенной муфте 1) или 52/38 (при включенной муфте 2) на вал II. Таким образом, вал II получает две различные частоты вращения. Далее с помощью тройного блока зубчатых колес приводится во вращение вал III, который может получить шесть различных частот вращения. На шпиндель (вал VI) вращение передается через двойной блок зубчатых

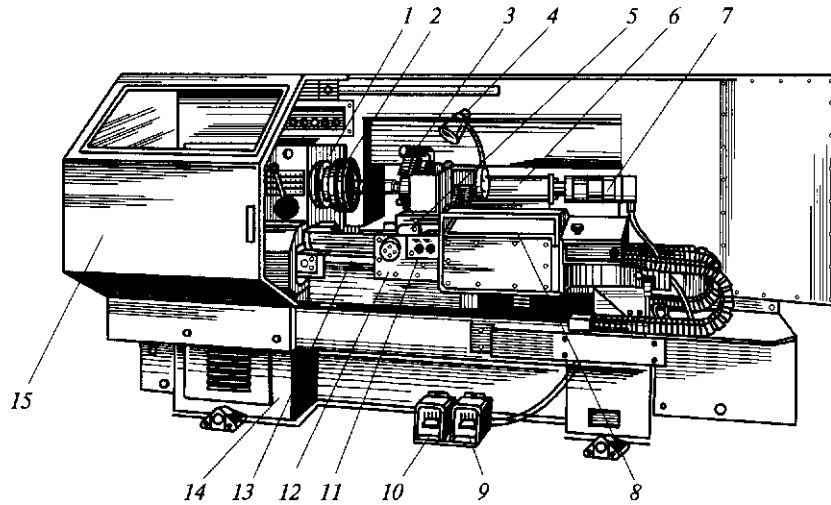


Рис. 3.7. Токарный патронно-центральной станок с оперативной системой ЧПУ:

1 — шпиндельная бабка; 2 — патрон; 3 — шестипозиционный резцедержатель (револьверная головка); 4 — лампа местного освещения; 5 — суппорт; 6 — задняя бабка; 7 — электродвигатель; 8 — панель управления УЧПУ; 9 — педаль отжима пиноли задней бабки; 10 — педаль, включающая перемещение пиноли задней бабки к шпинделю (педаль зажима заготовки в центрах); 11 — кнопочная станция включения (выключения) привода главного движения; 12 — фартук; 13 — шариковый ходовой винт; 14 — станина; 15 — защитный кожух (подвижное ограждение)

колес 60/48 или 30/60 при его перемещении. Низкие частоты диапазона скоростей шпинделя получают посредством переборной группы, передавая движение на вал IV путем перемещения двойного блока через передачи 45/45 или 15/60.

Вычислим минимальную частоту вращения шпинделя:

$$n_{\text{шп min}} = n_1 \frac{182}{226} \eta_{\text{р.п}} \frac{37}{53} \frac{21}{55} \frac{15}{60} \frac{18}{72} \frac{30}{60} = 10 \text{ мин}^{-1},$$

где  $n_1$  — частота вращения электродвигателя М1:  $n_1 = 1460 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\eta_{\text{р.п}}$  — коэффициент проскальзывания ременной передачи:  $\eta_{\text{р.п}} = 0,985$ .

На шпинделе (вал VI) жестко закреплено разрезное зубчатое колесо  $z = 60$ , которое, передавая через зубчатые колеса 60/60 вращение датчику резбонарезания Д1, создает безлюфтовую передачу, что предотвращает рассогласование положения шпинделя и датчика.

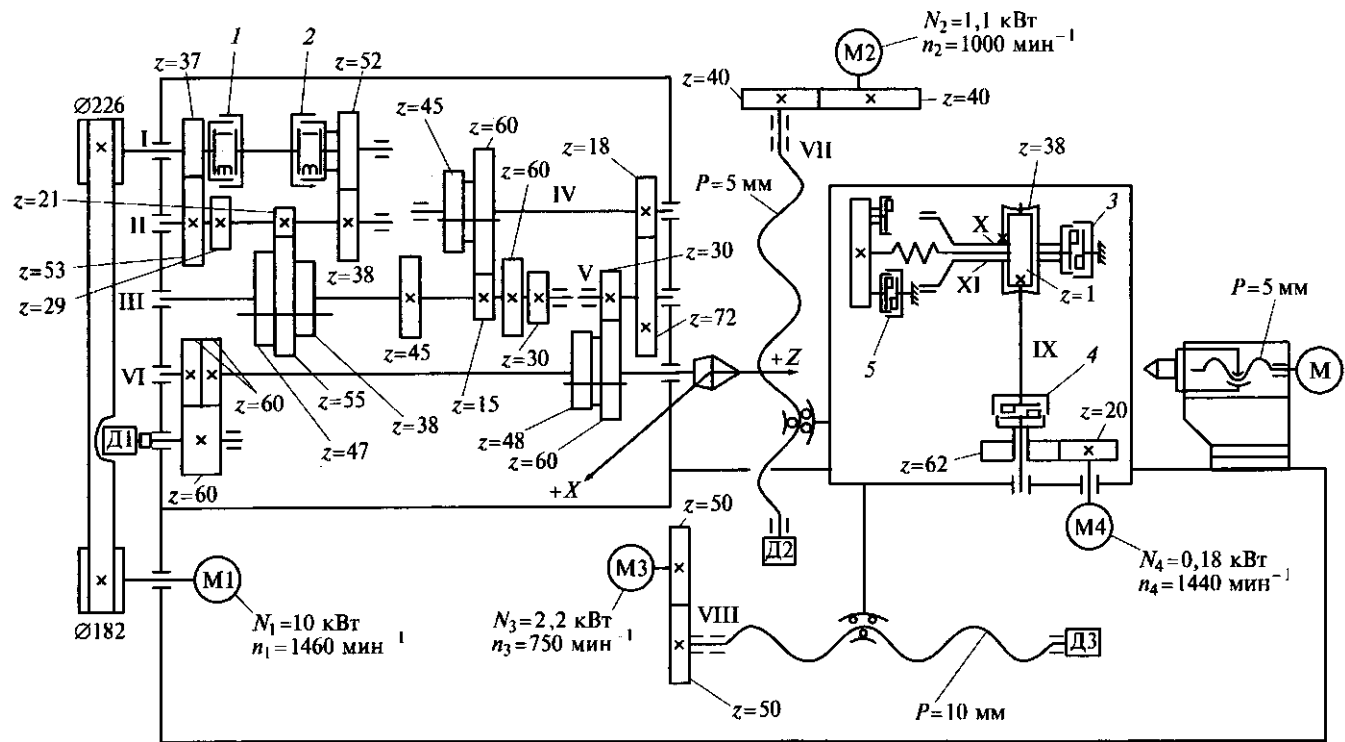


Рис. 3.8. Кинематическая схема токарного патронно-центрового станка с с оперативной системой ЧПУ:

1—5 — муфты; М, М1 — М4 — электродвигатели; Д1 — Д4 — датчики; I — IX — валы

Подача суппорта в продольном (по оси  $Z$ ) и поперечном (по оси  $X$ ) направлениях осуществляется соответственно от электродвигателей М3 и М2 (регулируемые высокомоментные постоянного тока или частотно-регулируемые асинхронные) через одноступенчатые передачи и передачу винт — гайка качения. На ходовых винтах (валы VII и VIII) установлены измерительные фотоимпульсные датчики Д2 и Д3 обратной связи.

Револьверная головка получает поворот от асинхронного электродвигателя М4 через зубчатую 20/62 и червячную 1/28 передачи.

**Токарный патронно-центровой станок с контурной системой ЧПУ.** Станок предназначен для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей заготовок типа тел вращения со ступенчатым или криволинейным профилем, а также для нарезания резьб. Обработка происходит за один или несколько проходов по замкнутому полуавтоматическому циклу. Заготовки устанавливаются в патроне, длинномерные заготовки — в центрах.

Станок имеет традиционную для токарных станков компоновку. Основание представляет собой монолитную отливку. Станина коробчатой формы с поперечными ребрами. Направляющие станины термообработанные, шлифованные. Каретка суппорта с поворотным резцедержателем перемещается по неравнобокой призматической передней и плоской задней направляющим, а задняя бабка — по передней плоской и задней неравнобокой призматической направляющим.

Автоматическая коробка скоростей (АКС) обеспечивает шпиндельной бабке девять скоростей, которые переключаются в цикле обработки с помощью электромагнитных муфт 1—6 (рис. 3.9). Инструмент получает движение подачи от приводов продольных 8 и поперечных 7 подач.

При нарезании резьбы датчик резьбонарезания ВЕ-51 осуществляет связь между шпинделем и ходовым винтом через безлюфтовую зубчатую пару 60/60.

Приводы подач имеют два исполнения: первое — с электрогидравлическим шаговым двигателем ШД и гидроусилителем моментов ГУ (как показано на рис. 3.9); второе — с электродвигателем постоянного тока. При применении двигателей постоянного тока на ходовые винты продольного и поперечного движения подач устанавливают датчики обратной связи.

Станок может быть оснащен контурными устройствами ЧПУ различных типов, что отражается в обозначении модели (последние два знака).

Контурное устройство ЧПУ обеспечивает движение формообразования, в том числе нарезание резьбы, изменение в цикле обработки значений подач и частот вращения шпинделя, а также индексацию поворотного резцедержателя.

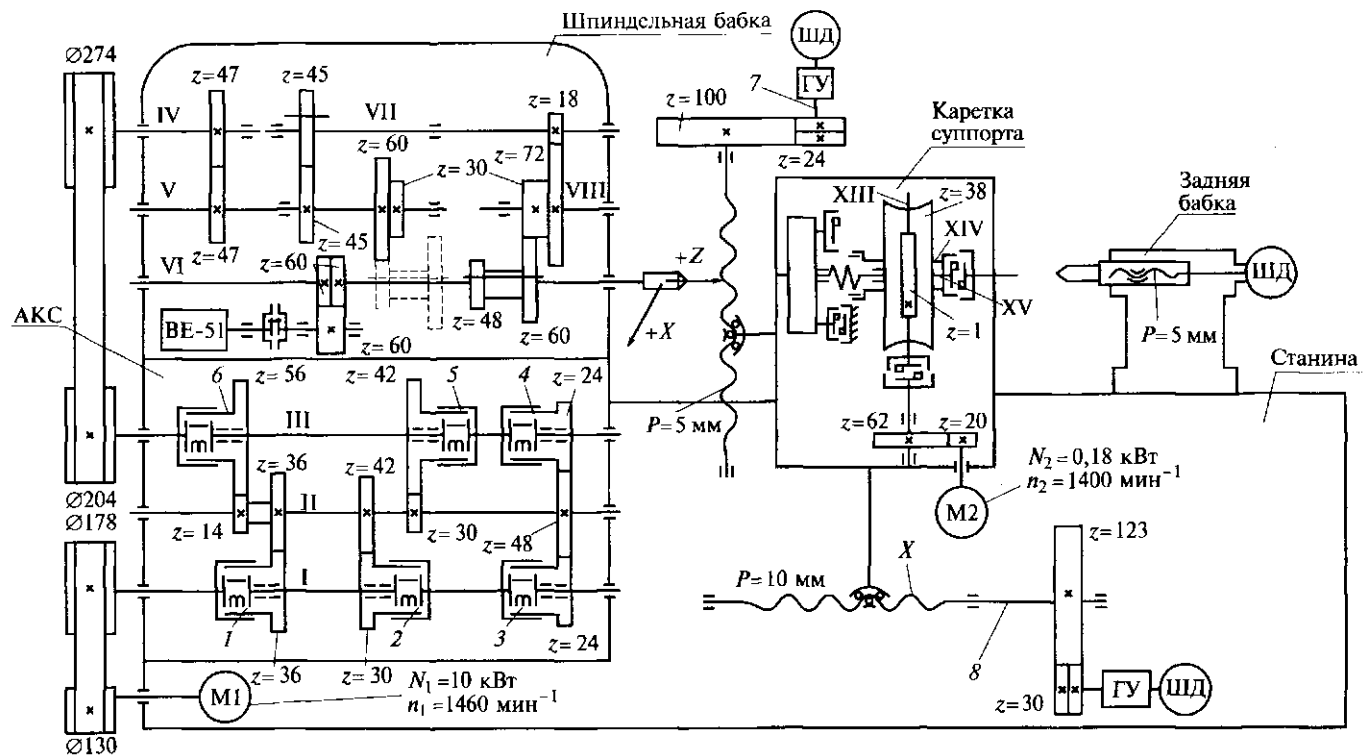


Рис. 3.9. Кинематическая схема токарного патронно-центрового станка с контурной системой ЧПУ:

- I I — 1–6 — муфты; 7, 8 — приводы поперечных и продольных подач соответственно; АКС — автоматическая коробка скоростей;
- II I — M1, M2 — электродвигатели; ШД — шаговый двигатель; ГУ — гидроусилитель моментов; BE-151 — датчик резбонарезания



Станок предназначен для токарной обработки в единичном, мелкосерийном и серийном производствах.

*Главное движение* шпиндель (вал VI) получает от электродвигателя М1 через клиноременную передачу с диаметрами шкивов 130 и 178 мм, АКС, клиноременную передачу со шкивами диаметрами 204 и 274 мм и зубчатые передачи шпиндельной бабки. АКС обеспечивает девять переключаемых в цикле частот вращения шпинделя с помощью электромагнитных муфт I—4. Одновременным включением муфт 4 и 6 осуществляется торможение шпинделя. В шпиндельной бабке переключением вручную двойного блока зубчатых колес на валу VI можно передавать движение на шпиндель напрямую через передачи 60/48 или 30/60. В положении блока, показанном на рис. 3.9, движение с вала V на шпиндель передается через перебор: вначале с вала V на вал VII через зубчатые пары 45/45, а далее через передачу 18/72 и 30/60 — на шпиндель.

Минимальную частоту вращения шпинделя рассчитывают по формуле

$$n_{\text{шп min}} = 1460 \frac{130}{178} \eta_{\text{р.л}} \frac{24}{48} \frac{14}{56} \frac{204}{274} \eta_{\text{р.л}} \frac{47}{47} \frac{45}{45} \frac{18}{72} \frac{30}{60},$$

где  $\eta_{\text{р.л}}$  — коэффициент проскальзывания ременной передачи. Принимая  $\eta_{\text{р.л}} = 0,985$ , получим  $n_{\text{шп min}} = 12 \text{ мин}^{-1}$ .

Уравнение движения продольной подачи имеет вид

$$n_{\text{ш.д}}(30/123)P = v_{S_{\text{пр}}},$$

где  $n_{\text{ш.д}}$  — частота вращения шагового двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $P$  — шаг ходового винта продольной подачи, мм;  $P = 10$  мм;  $v_{S_{\text{пр}}}$  — скорость движения продольной подачи, мм/мин.

В этом уравнении элементом настройки является шаговый электродвигатель, бесступенчато меняющаяся частота вращения его выходного вала задается УП.

Аналогично запишется уравнение движения поперечной подачи

$$n_{\text{ш.д}}(24/100)P = v_{S_{\text{п}}},$$

где  $P = 5$  мм;  $v_{S_{\text{п}}}$  — скорость движения поперечной подачи, мм/мин.

### 3.4. Токарно-револьверные станки

**Токарно-револьверные станки с ручным управлением.** Станки применяются в серийном производстве для изготовления деталей сложной конфигурации из прутка или штучных заготовок. В зависимости от этого станки подразделяются на прутковые и патронные.

Особенностью конструкции токарно-револьверных станков является наличие поворотной, реже линейно перемещаемой револьверной головки, в которой располагаются необходимые для обработки комплекты инструментов в требуемой последовательности. В этих станках, как правило, отсутствует задняя бабка.

Расположение оси поворота револьверной головки 4 определяет компоновку токарно-револьверных станков: с вертикальной осью револьверной головки (рис. 3.10, *a*) и горизонтальной осью (рис. 3.10, *б*).

Шпиндельная бабка 2 крепится на станине 7, суппорты 3 и 5 перемещаются по направляющим 6 станины, сообщая инструменту движение подачи. Рукоятки управления расположены на фартуках 8 и 9. Поддон 10 служит для сбора стружки.

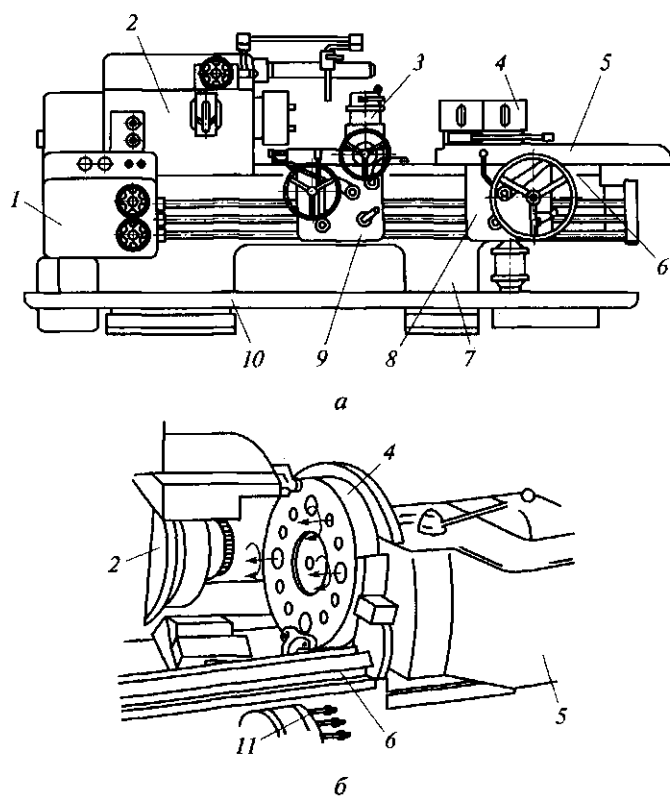


Рис. 3.10. Токарно-револьверный станок с вертикальной (*a*) и горизонтальной (*б*) осью вращения револьверной головки:

1 — коробка подач; 2 — шпиндельная бабка; 3 — поперечный суппорт; 4 — револьверная головка; 5 — продольный суппорт; 6 — направляющая; 7 — станина; 8, 9 — фартуки продольного и поперечного суппортов соответственно; 10 — поддон; 11 — упор

На станке можно одновременно выполнять обработку инструментами, закрепленными в револьверной головке 4 и в поперечном суппорте 3, что позволяет увеличить производительность благодаря параллельной обработке поверхностей несколькими инструментами. Повышению производительности и рентабельности станков способствует его предварительная настройка на обработку заданной детали и последующая работа по упорам 11.

По форме револьверные головки могут быть цилиндрическими и призматическими (обычно с шестью гранями). После каждого рабочего хода револьверная головка поворачивается, и рабочую позицию занимает следующий режущий инструмент или группа инструментов, расположенных на специальной оправке.

Основными параметрами токарно-револьверных станков являются наибольший диаметр обрабатываемого прутка и наибольший диаметр обрабатываемой поверхности штучной заготовки над станиной и над суппортом. К основным параметрам относятся также габаритные размеры рабочей зоны станка, определяющие наибольшую длину обрабатываемой заготовки, и скоростные характеристики.

*Главное движение* в токарно-револьверном станке — вращение шпинделя, несущего заготовку; *движения подачи* — продольное и поперечное (в станках с горизонтальной осью револьверной головки — круговое за счет вращения головки) перемещение суппортов, несущих инструмент.

Токарно-револьверные станки с ручным управлением имеют преселективное или автоматическое управление переключением частоты вращения шпинделя и подач суппорта. При преселективном управлении рукоятки переключения устанавливают во время работы станка в положения, соответствующие режимам, выбранным для следующего перехода, а переключение на новый режим работы происходит поворотом одной рукоятки в момент подачи команды на переключение.

Основные узлы токарно-револьверного станка с вертикальной осью револьверной головки в значительной степени похожи по конструкции на аналогичные узлы токарных станков.

Шпиндельная бабка станков средних и больших размеров имеет встроенную коробку скоростей, обеспечивающую по сравнению с таким же узлом токарного станка меньший диапазон регулирования и меньшее число ступеней частоты вращения шпинделя. В шпиндельной бабке станков малого размера монтируется только шпиндель. Частота вращения шпинделя изменяется с помощью редуктора, установленного в основании станка и связанного со шпинделем ременной передачей.

Коробка подач 1 по конструкции проще коробки подач токарно-винторезных станков, так как токарно-револьверные

станки имеют меньший диапазон регулирования частоты вращения и меньшее число ступеней подач. Кроме того, в коробке подач отсутствуют элементы, необходимые для нарезания резьбы резцом с помощью ходового винта.

Токарно-револьверный станок с ручным управлением является универсальным станком. На нем можно изготавливать детали из прутка и из штучных заготовок, закрепляемых в патроне. Станок оснащается гидравлическим приводом для подачи и зажима прутка в цанговом патроне (с допуском прутка  $\pm 1$  мм). Зажим штучных заготовок производится с помощью прилагаемого к станку специального патрона.

В соответствии с кинематической схемой станка (рис. 3.11) осуществляются главное вращательное движение шпинделя, продольное перемещение револьверного суппорта, круговая подача револьверной головки, а также перемещение резбонарезного инструмента при изготовлении резьбы по копиру. Шпиндель имеет правое и левое вращения (последнее осуществляется реверсом вращения вала электродвигателя). Частота вращения шпинделя изменяется включением электромагнитных муфт 1–4, а также ручным перемещением двойного блока зубчатых колес на валу IV.

Торможение шпинделя выполняют вручную рукояткой (на лицевой стороне корпуса шпиндельной бабки), при этом одновременно включаются электромагнитные муфты 1 и 2, а остальные муфты выключаются, электродвигатель остается включенным.

Продольное перемещение револьверный суппорт получает от зубчатого колеса  $z = 40$ , сидящего на валу V. Движение передается через двойной блок (на валу VI) зубчатым колесам 31/66 (и 47/50). Включая электромагнитные муфты 11–14 в различной комбинации, изменяют частоту вращения выходного вала IX коробки подач. При включенной зубчатой муфте 10 от вала X через зубчатые колеса 35/40 (или 48/27) и червячную пару 1/33 вращение передается реечному колесу  $z = 16$  на валу XIII. Таким образом, реечное колесо, обкатываясь по рейке, осуществляет движение продольной подачи фартука вместе с револьверным суппортом.

Круговая подача сообщается револьверной головке от ходового вала X через зубчатые колеса 48/68 и конические колеса 22/22. Далее с помощью механизма реверса из конических колес  $z = 22$  включением муфты 9 меняется направление круговой подачи револьверной головки. При включении электромагнитной муфты 7 можно осуществлять ручной поворот револьверной головки маховиком, находящимся на валу XVII, при этом муфта 9 отключается.

**Токарно-револьверные станки с ЧПУ.** Станки, предназначенные для двух- и четырехкоординатной обработки, выпускают с двумя револьверными головками (рис. 3.12).

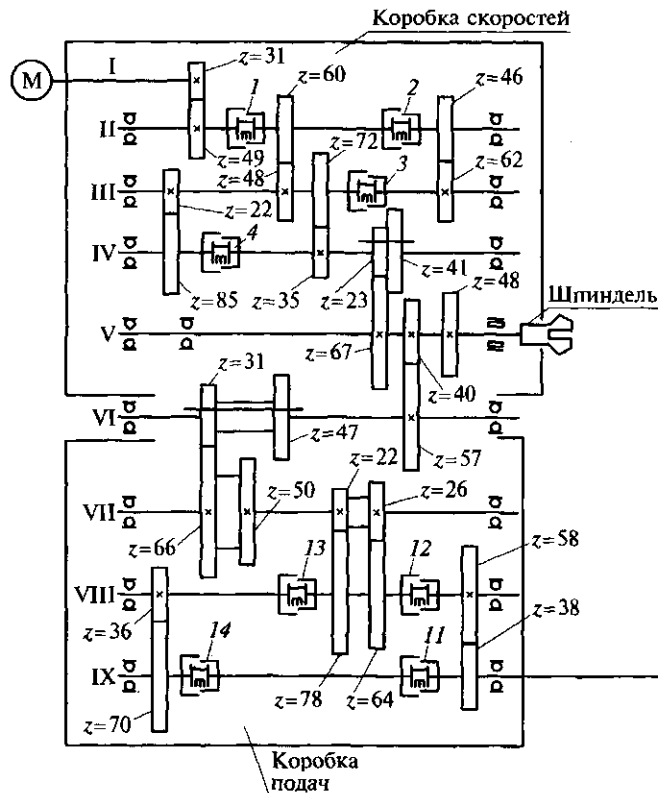
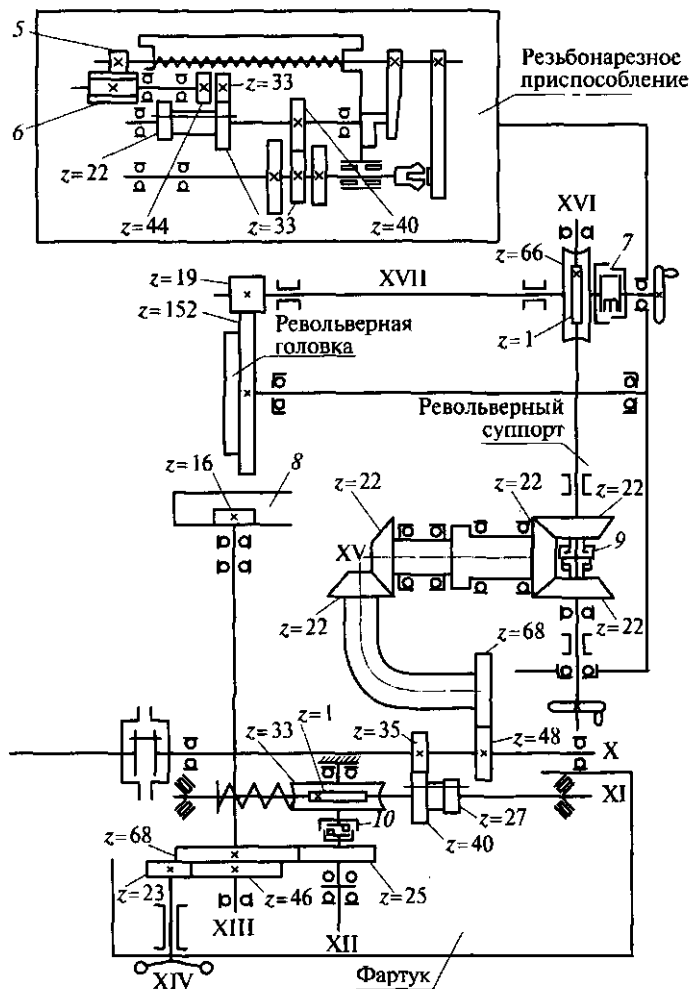


Рис. 3.11. Кинематическая схема токарно-  
 1 — 4, 7, 9 — 14 — муфты; 5 — резьбовая гребенка (копир); 6 — резьба

Одновременная работа двух револьверных головок обеспечивается их расположением: одной 4 — на верхнем суппорте 3, а другой 6 — на нижнем суппорте 7. Такая компоновка дает возможность применять большое число режущих инструментов при изготовлении сложных деталей.

Обе револьверные головки имеют оси вращения, параллельные оси шпинделя станка. Револьверные головки комплектуются инструментом для обработки наружных и внутренних поверхностей заготовки.



револьверного станка с ручным управлением:  
 вой барабан (копир); 8 — рейка; М — электродвигатель; I—XVII — валы

Цикл обработки на станке полностью автоматизирован. От электродвигателя 1 вращение на шпиндельную бабку 2 передается через ременную передачу. Наличие отдельного привода повышает точность обработки.

Направляющие станины для перемещения кареток, несущих револьверные головки, имеют прямоугольное сечение. Пульт управления системы ЧПУ для ручного ввода программы и дисплей (на рисунке не показаны) вписываются в габариты станка и расположены на поворотной штанге.

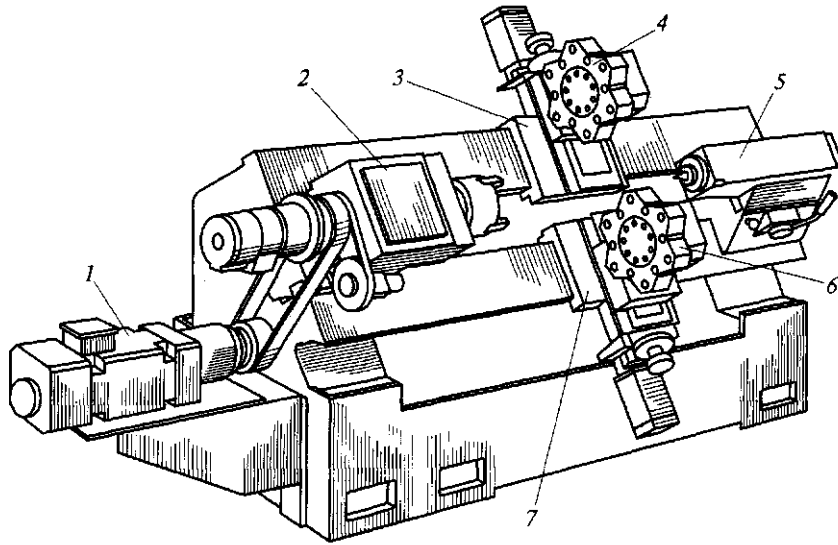


Рис. 3.12. Токарно-револьверный станок с ЧПУ с наклонным расположением суппортов:

1 — электродвигатель; 2 — шпиндельная бабка; 3, 7 — верхний и нижний суппорты соответственно; 4, 6 — револьверные головки; 5 — задняя бабка

В целях стабилизации точности обработки станок снабжен измерительным устройством для систематического контроля и коррекции точности обработки посредством контактного датчика, установленного на револьверной головке.

### 3.5. Токарно-затыловочные станки

**Виды затылования.** Метод затачивания задних поверхностей режущих инструментов со сложным профилем зуба в целях сохранения профиля инструмента при переточках и обеспечения постоянства заднего угла называется *затылованием*. Затылуют зубья различных фрез: дисковых, резьбовых, цилиндрических и червячно-модульных с прямолинейными и спиральными стружечными канавками, а также зубья метчиков и спиральные сверла.

Затылованные зубья фрез (рис. 3.13, а) имеют криволинейную заднюю поверхность *АВ*. Их перетачивают по передней поверхности, причем плоскость заточки *АО* проходит через ось фрезы, благодаря чему профиль зубьев фрезы сохраняется неизменным. Затылование зубьев выполняют обычно по архиме-

довой спирали. Для получения задней поверхности, ограниченной этой кривой, необходимо, чтобы заготовка 1 фрезы при обработке равномерно вращалась, а резец 2 равномерно возвратно-поступательно перемещался в радиальном направлении. При этом за один оборот заготовки резец должен подойти к ней столько раз, сколько зубьев имеет затылуемая фреза. Перемещение резца в радиальном направлении (рабочий ход и быстрый отвод) осуществляется от равномерно вращающегося кулачка 3.

В зависимости от направления движения режущего инструмента относительно изделия различают три вида затылования: радиальное, косое и торцовое. *Радиальное* затылование (см. рис. 3.13, а) применяют при изготовлении изделий цилиндрической формы. Режущий инструмент совершает движение в направлении, перпендикулярном к оси центров станка. *Косое* затылование (рис. 3.13, б) применяют при обработке фасонных фрез. Затылование с осевой подачей (рис. 3.13, в) при обработке торцовых поверхностей изделий называют *торцовым*. Плиту 4 (рис. 3.13, г) каретки 11 с суппортом поворачивают на  $90^\circ$  относительно ее нормального положения, после чего затыловоч-

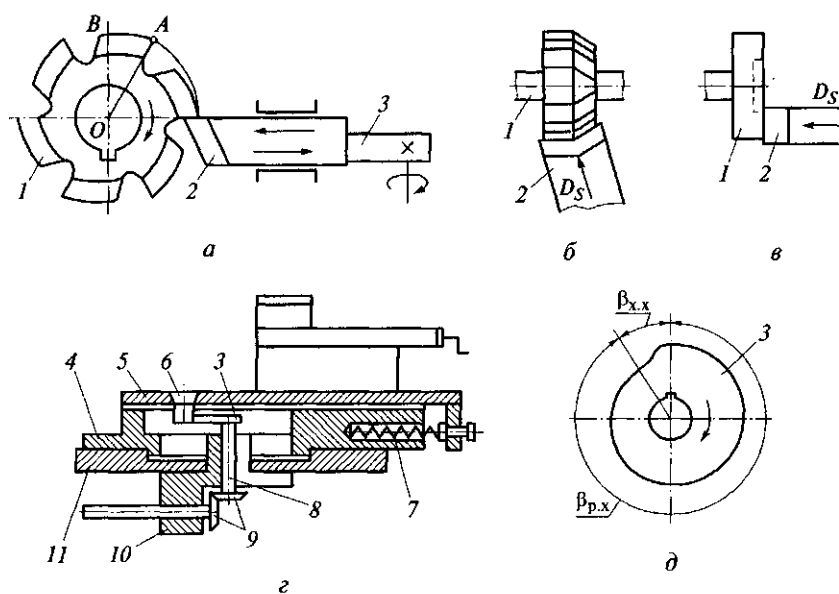


Рис. 3.13. Принципиальные схемы затылования с радиальной (а), косой (б) и осевой (в) подачами; затыловочный суппорт (г) и кулачок (д):

1 — заготовка; 2 — резец; 3 — кулачок; 4 — поворотная плита; 5 — затыловочная плита; 6 — палец; 7 — пружина; 8 — вал; 9 — коническая передача; 10 — корпус; 11 — каретка;  $\beta_{р.х}$  — угол рабочего хода;  $\beta_{х.х}$  — угол холостого хода



ное движение режущего инструмента совершается параллельно оси центров станка.

На рис. 3.13, *г* приведена принципиальная схема затыловочного суппорта. Затыловочная (отбойная) плита 5 суппорта с пальцем 6 прижимается к кулачку 3. Движение затыловочной плиты вперед на изделие, сопровождаемое сжатием пружины 7, происходит по рабочей кривой  $\beta_{р.х}$  (рис. 3.13, *д*) вращающегося кулачка, а возврат в исходное положение (отскок) — под действием пружины по кривой отвода  $\beta_{х.х}$  кулачка. Возвратно-поступательное движение суппорта кинематически связано с вращением шпинделя.

**Универсальный токарно-затыловочный станок.** Затылование резцом и шлифовальным кругом червячно-модульных (однозаходных, многозаходных, правых, левых, праворежущих, леворежущих), дисковых и фасонных фрез с зубьями, затылуемыми радиально, под углом и вдоль оси, как показано на рис. 3.13, осуществляют на универсальных токарно-затыловочных станках.

Общий вид станка представлен на рис. 3.14, большинство его узлов аналогичны узлам токарно-винторезного станка. Однако некоторые узлы имеют конструктивные особенности.

Так, каретка 11 (см. рис. 3.13, *г*) станка перемещается по комбинированному (призматической и плоской) направляющим станины. В средней части между направляющими расположен корпус 10, в котором размещена коническая передача 9, через которую движение передается на вертикальный отбойный вал 8, несущий кулачок затылования 3. Вертикальный отбойный вал 8 вращается в радиально-упорных роликовых подшипниках. На каретке 11 установлена поворотная плита 4, несущая затыловочную (отбойную) плиту 5. Плита 4 крепится четырьмя болтами за Т-образные пазы и может быть повернута на каретке по лимбу с ценой деления  $1^\circ$  на любой угол.

На рис. 3.15 показан механизм для бесступенчатой установки величины хода затылования. От кулачка 1 через ролик 2, вращающийся на оси 3, движение передается рычагу 5, качающемуся относительно неподвижной оси 4 пальца, закрепленного в поворотной плите, и далее от рычага 5 через камень 6 и буксу 7 — затыловочной плите 8. Величину хода затылования суппорта устанавливают с помощью винта 9, вращая который, перемещают буксу 7, тем самым изменяя расстояние между осью 4 качания рычага 5 и осью камня 6. С увеличением этого расстояния увеличивается ход затылования. Винт 9 червячной передачей 10 связан с лимбом, показывающим установленную величину хода затылования.

Величину хода затылования суппорта можно регулировать с помощью трех сменных кулачков в пределах 18 мм. На отбой-

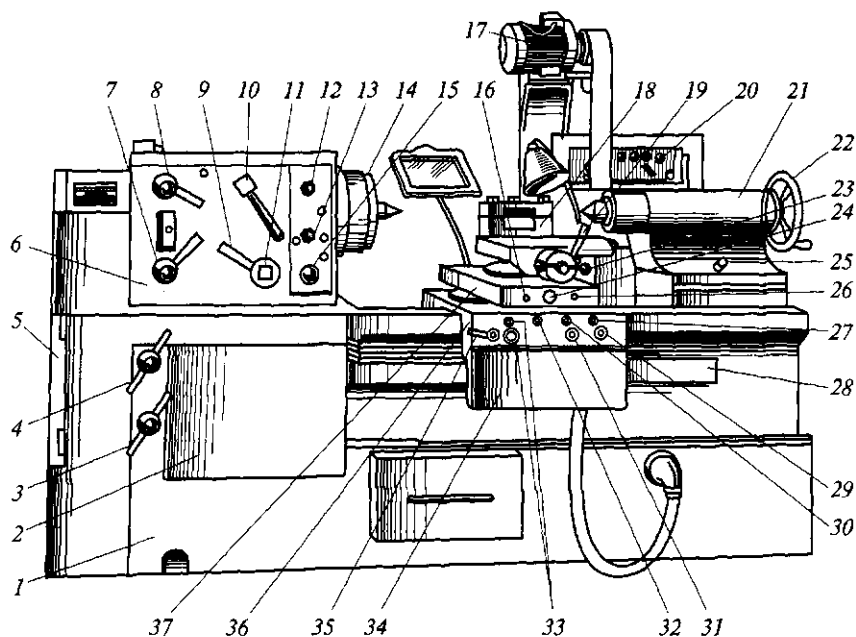


Рис. 3.14. Токарно-затыловочный станок:

1 — станина; 2 — коробка подач; 3 — рукоятка переключения на нарезание резьбы или точение; 4 — рукоятка управления цепи спиралей (цепи дифференциала); 5 — коробка передач; 6 — передняя бабка; 7 — рукоятка установки направления нарезаемой резьбы; 8 — рукоятка управления цепи затылования; 9 — рукоятка включения ручного поворота шпинделя изделия; 10 — рукоятка звена увеличения шага; 11 — квадрат ручного поворота шпинделя; 12 — рукоятка переключения частоты вращения рабочего хода шпинделя изделия; 13 — рукоятка переключения частоты вращения обратного хода шпинделя изделия; 14 — делительная планшайба; 15 — кнопка аварийной остановки; 16, 26 — винты регулирования усилия отбойной плиты; 17 — привод шлифовального шпинделя; 18 — резцедержатель; 19 — рукоятка быстрого отвода поперечных салазок суппорта; 20 — электропульт; 21 — задняя бабка; 22 — маховик перемещения пиноли задней бабки; 23 — рукоятка подачи поперечных салазок; 24 — винт отвода отбойной плиты от кулачка; 25 — винт поперечного смещения задней бабки; 27 — кнопка включения электродвигателя привода шлифовального круга; 28 — ходовой винт; 29 — кнопка отключения электродвигателя привода шлифовального круга; 30 — кнопка пуска электродвигателя привода шпинделя изделия; 31 — толчковая кнопка привода шпинделя изделия; 32 — сигнальная лампа; 33 — кнопки включения коррекции отбоя и наладочного перемещения каретки; 34 — фартук; 35 — рукоятка управления станком; 36 — каретка; 37 — суппорт

ную плиту в зависимости от вида затыловочных работ устанавливают токарный или шлифовальный суппорт.

Для быстрого отвода инструмента от изделия на винте поперечной подачи суппорта имеется специальное устройство (рис. 3.16).

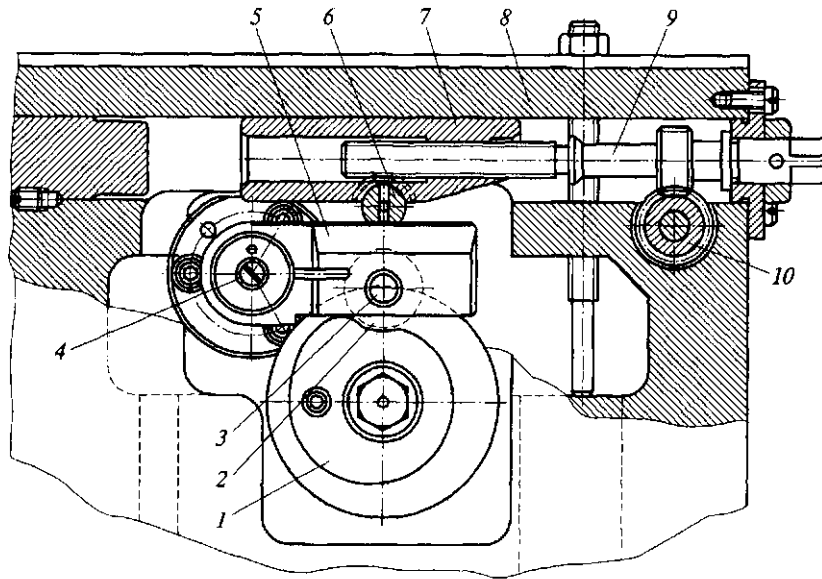


Рис. 3.15. Механизм бесступенчатой установки величины хода затылования:

1 — кулачок; 2 — ролик; 3, 4 — оси; 5 — рычаг; 6 — камень; 7 — брус; 8 — затыловочная плита; 9 — винт; 10 — червячная пара

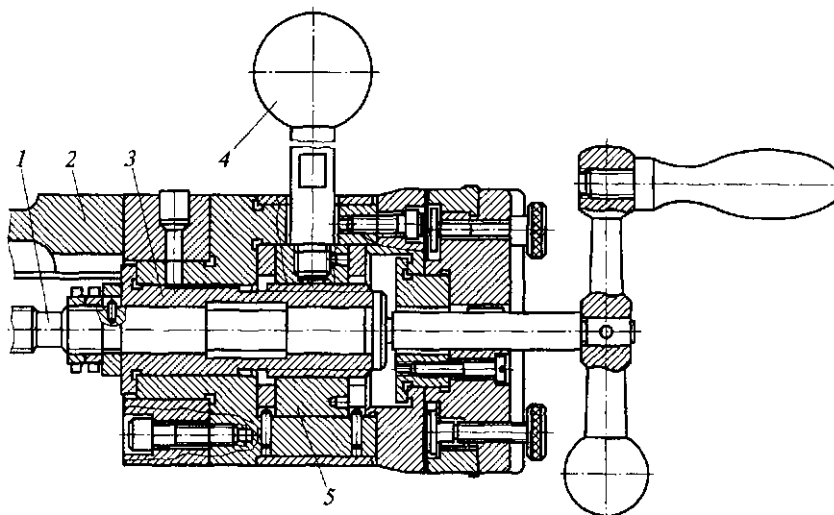


Рис. 3.16. Механизм быстрого отвода инструмента:

1 — винт; 2 — ползушка; 3 — втулка-винт; 4 — рукоятка; 5 — гайка

На винте 1 поперечной подачи закрепляется втулка-винт 3, на которой установлена гайка 5 с рукояткой 4. При повороте рукоятки ползушка 2 суппорта, связанная с гайкой 5, перемещается и инструмент быстро отводится от обрабатываемой детали.

На поворотной плите закреплен корпус плунжера гидравлического демпфера, обеспечивающего безударный отскок затывочной плиты.

### 3.6. Токарно-карусельные станки

**Назначение и классификация.** Токарно-карусельные (карусельные) станки предназначены для обработки заготовок большой массы (до многих десятков тонн) и большого диаметра, но имеющих сравнительно небольшую высоту. Горизонтальное расположение плоского круглого стола (планшайбы) значительно облегчает установку, выверку и закрепление заготовок, что весьма затруднительно при обработке тяжелых заготовок на токарных станках с горизонтальной осью шпинделя.

На карусельных станках резцом обтачивают наружные и внутренние поверхности вращения. При оснащении станка револьверной головкой центральные отверстия заготовок обрабатывают сверлами, зенкерами и другим осевым инструментом.

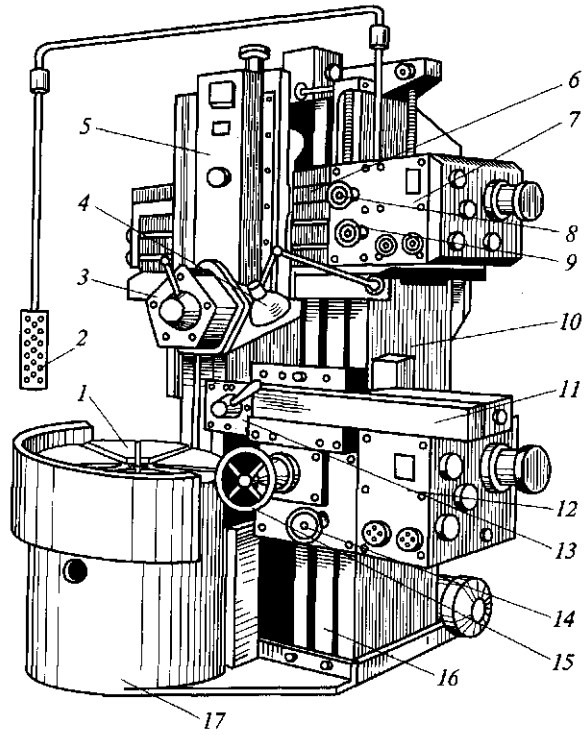
Основными параметрами станков являются наибольший диаметр и высота обрабатываемой заготовки. Главным движением резания является вращение стола, несущего заготовку, движениями подачи — горизонтальное и вертикальное перемещения суппортов.

Кarusельные станки бывают одно- и двухстоечные.

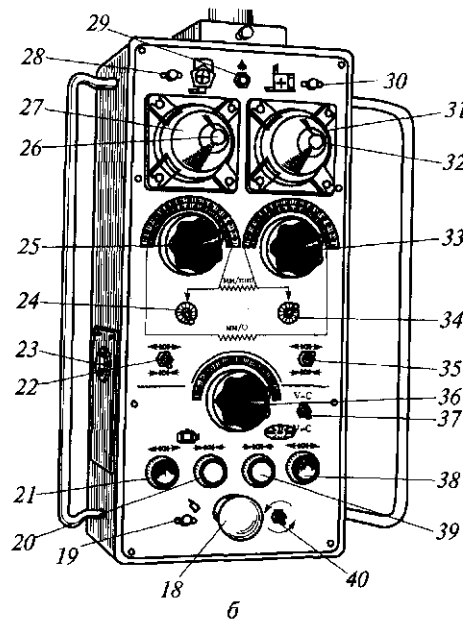
**Одностоечный токарно-карусельный станок с ручным управлением.** На станке выполняют различные виды токарной обработки крупногабаритных заготовок диаметром до 1250 мм: обтачивание и растачивание цилиндрических и конических поверхностей, сверление, зенкерование, развертывание, прорезание канавок, обтачивание плоских торцовых поверхностей, отрезка, а при наличии специальных приспособлений — нарезание резьбы и обработка фасонных поверхностей.

Общий вид станка и его органы управления представлены на рис. 3.17.

**Одностоечный токарно-карусельный станок с ЧПУ.** Станок предназначен для токарной обработки деталей сложной конфигурации; на нем можно обтачивать и растачивать поверхности с криволинейными и прямолинейными образующими; сверлить, зенкеровать, развертывать центральные отверстия; прорезать кольцевые канавки, нарезать различные резьбы резцами.



a



b

Рис. 3.17. Общий вид (а) одностоечного токарно-карусельного станка и подвесной пульт управления (б):

1 — планшайба; 2 — пульт; 3 — пятипозиционная револьверная головка; 4 — лампа местного освещения; 5 — вертикальный суппорт; 6 — поперечина (траверса); 7 — коробка подач вертикального суппорта; 8, 9 — маховики ручного перемещения верхнего (вертикального) суппорта; 10 — станина; 11 — боковой (горизонтальный) суппорт; 12 — коробка подач бокового суппорта; 13 — четырехпозиционный резцедержатель; 14, 15 — маховики ручного перемещения бокового суппорта; 16 — направляющие станка; 17 — стол; 18 — кнопка аварийной остановки станка; 19 — сигнальная лампочка (горит, когда станок работает); 20 — кнопка остановки двигателя главного привода; 21 — кнопка пуска двигателя; 22 — включение и отключение тормоза перемещений верхнего суппорта; 23 — кнопка поворота револьверной головки на другую позицию; 24 — переключатель рабочих подач и установочных перемещений верхнего суппорта; 25 — рукоятка установки величины подачи верхнего суппорта; 26 — кнопка включения выбранной для него подачи; 27 — переключатель направления перемещения верхнего суппорта; 28 — сигнальная лампочка верхнего суппорта (горит, когда суппорт работает); 29 — включение местного освещения; 30 — сигнальная лампочка бокового суппорта (горит, когда суппорт работает); 31 — переключатель направления перемещения бокового суппорта; 32 — кнопка включения выбранной подачи бокового суппорта; 33 — рукоятка установки величины подачи бокового суппорта; 34 — переключатель рабочих подач и установочных перемещений бокового суппорта; 35 — включение и отключение тормоза перемещений бокового суппорта; 36 — кнопка вращения планшайбы в толчковом режиме; 37 — переключатель для включения (отключения) скорости резания: сразу или постепенно; 38 — кнопка пуска планшайбы; 39 — кнопка остановки планшайбы; 40 — переключатель с нормального режима на толчковый

Основные механизмы станка аналогичны механизмам станка с ручным управлением, однако у станка с ЧПУ отсутствует боковой суппорт.

Устройство ЧПУ обеспечивает автоматическое управление по заданной программе вертикальным суппортом и приводом главного движения. Управление может осуществляться одновременно по двум координатам. Дискретность отсчета по осям  $X$  и  $Z$  составляет 0,01 мм.

Предусмотрена коррекция положения инструмента, величин подач и частот вращения планшайбы. По программе происходят автоматическое изменение частот вращения шпинделя, управление продольными и поперечными перемещениями инструмента верхнего суппорта, выбор подач, установка инструмента в нулевое положение, поворот и фиксация револьверной головки.

Кинематическая схема токарно-карусельного станка с ЧПУ приведена на рис. 3.18.

*Главное движение* — вращение планшайбы — осуществляется от электродвигателя М1 через клиноременную передачу со

шкивами диаметром 230 и 266 мм и коробку скоростей, обеспечивающую 18 различных частот вращения планшайбы в результате переключения электромагнитных муфт 1—3, 5, 8—10 и с помощью планетарного механизма.

Вал II имеет три значения частоты вращения, получаемые переключением муфт 10, 9 и 8, вал III — шесть значений частот вращения (переключают муфты 1 и 5) и вал IV — 12 значений частот вращения (переключают муфты 2 и 3). Для получения 12 низших значений частот вращения шпинделя выключают муфту 9 и включают муфты 6 и 7. При этом зубчатое колесо  $z = 63$  на валу VII затормаживается и через зубчатое колесо  $z = 63$  на валу VI останавливает колесо  $z = 87$  планетарного механизма и соответственно его корпус с зубчатым колесом  $z = 108$ . В этом случае передаточное отношение планетарного механизма равно  $1/4$ . При выключенных муфтах 6 и 7 и включенной муфте 4 планетарный механизм имеет передаточное отношение, равное единице. При одновременном включении муфт 4, 6 и 7, замыкающих две различные кинематические цепи, образующие «замок», происходит торможение планшайбы (остальные муфты коробки скоростей выключены). Благодаря электромагнитным муфтам скорости переключаются на ходу, и тем самым поддерживается ступенчато-постоянная скорость резания при обработке торцовых поверхностей.

Датчик нарезания резьбы получает вращение от выходного вала коробки скоростей через передачи 48/64, 24/24, 21/78. Частоты вращения ротора датчика и планшайбы одинаковые.

Движения подачи происходят от электродвигателей постоянного тока М2 и М3 с тиристорным управлением. Ходовой

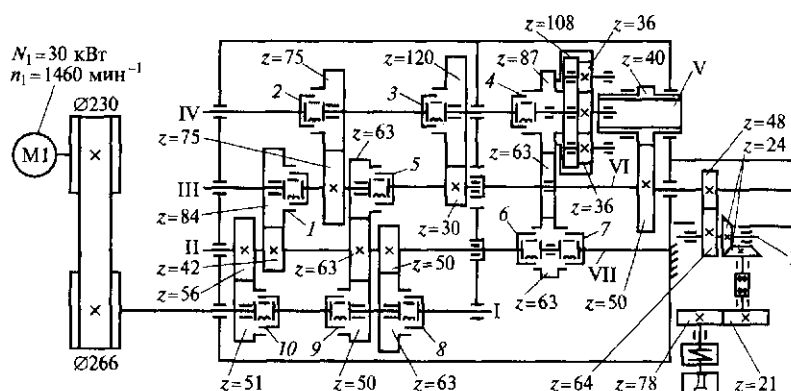
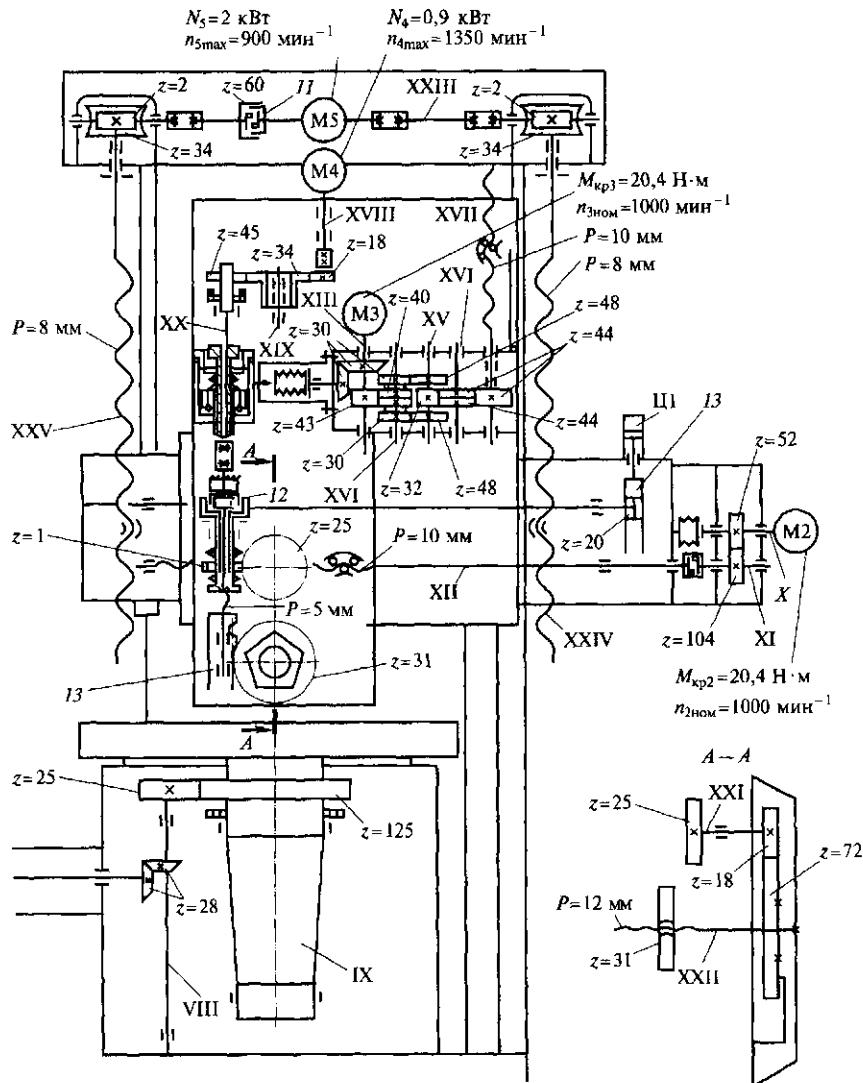


Рис. 3.18. Кинематическая схема  
1—12 — муфты; 13 — рейка с модулем  $m = 3$  мм; М1—М5 —

винт качения XII (продольная подача) с шагом  $P = 10$  мм получает движение от электродвигателя М2 через зубчатую передачу 52/104, выполненную с минимальным боковым зазором. Передача вращения с вала XI на винт XII осуществляется посредством конусных пружинных колец, выбирающих зазор в соединении.



токарно-карусельного станка с ЧПУ:

электродвигатели; Д — датчик; Ц1 — гидроцилиндр; I—XXIV — валы



Ходовой винт качения XVII (вертикальная подача) получает вращение от электродвигателя М3 через редуктор 43/40, 30/48, 32/44, 44/44. Боковой зазор в зубчатых передачах регулируют путем соответствующих настроек двух параллельных кинематических цепей, кроме того, отдельные зубчатые колеса выполнены разрезными. В качестве датчиков обратной связи применяются линейные индуктосины.

*Вертикальное перемещение поперечины* осуществляется от реверсивного электродвигателя М5 через червячную передачу 2/34. В требуемом положении поперечина надежно фиксируется гидравлическим механизмом зажима. Механизм зажима-разжима приводится в действие штоком двустороннего цилиндра Ц1. Зубчатая муфта 11 служит для установки поперечины параллельно рабочей поверхности планшайбы. Поворот полумуфты на один зуб перемещает поперечину на 0,005 мм.

Револьверный суппорт состоит из салазок, перемещающихся по горизонтальным направляющим поперечины, ползуна с пятипозиционной револьверной головкой и ее механизма поворота и фиксации. Поворот револьверной головки в следующую позицию происходит от электродвигателя М4 через зубчатые передачи 18/34/45 и приводной вал XX, соединенный через муфту с винтом с шагом  $P = 5$  мм. Перемещаясь вверх относительно неподвижной гайки, вал XX с рейкой модулем  $m = 3$  мм через косозубое колесо-гайку  $z = 31$  (разрез А—А), винт XXII с шагом  $P = 12$  мм отжимает револьверную головку. Вал XX перемещается до тех пор, пока рейка не упрется в торец гайки. Перед этим конечный выключатель отключит муфту 12 и гайка с насаженным на нее червяком  $z = 1$  начнет вращаться, тогда через зубчатые передачи 1/25 и 18/72 револьверная головка выполнит 1/5 часть оборота. Затем микропереключатель даст команду на реверс электродвигателя, в результате при обратном движении вала XX через рейку, косозубое колесо-гайку  $z = 31$  и ходовой винт XXII происходит прижим револьверной головки к ползуну.

### 3.7. Лоботокарные станки

Лоботокарные станки с ручным управлением (рис. 3.19) служат для обработки заготовок тел вращения небольшой высоты и больших диаметров: шкивов, вагонных колес, маховиков и др. На станках этого типа обтачивают наружные цилиндрические и конические поверхности, обрабатывают торцы, растачивают, протачивают канавки.

Лоботокарные станки могут иметь планшайбу 3 диаметром до 4 м, задняя бабка у них отсутствует.

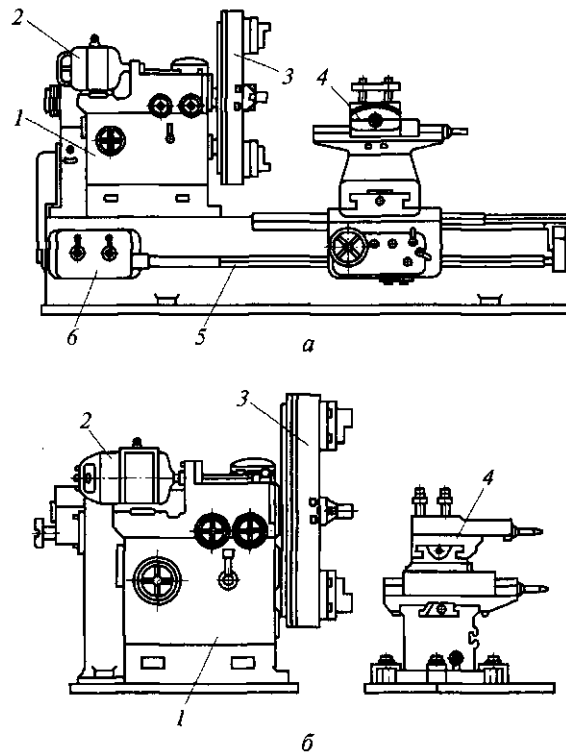


Рис. 3.19. Лоботокарные станки с единой (а) и раздельной (б) станиной: 1 — коробка скоростей; 2 — главный электродвигатель; 3 — планшайба; 4 — суппорт; 5 — ходовой вал; 6 — коробка подач

У средних станков коробка скоростей 1 и суппорт 4 расположены на одной станине (рис. 3.19, а).

Главное вращательное движение шпинделю вместе с планшайбой 3 сообщается от электродвигателя 2 через коробку скоростей 1, а движение подачи — суппорту 4 через коробку подач 6 и ходовой вал 5.

Крупные станки выполняют с обособленным суппортом 4 (рис. 3.19, б), что дает возможность обрабатывать заготовки, диаметр которых превышает размер планшайбы, для чего в фундаменте под планшайбой делают выемку. Суппорт этих станков получает перемещение от отдельного двигателя, а в некоторых моделях от шпинделя через храповое устройство. Для установки, выверки и закрепления тяжелой заготовки требуется много времени, поэтому заготовки диаметром 2 м и более следует обрабатывать на токарно-карусельных станках, которые имеют горизонтальную планшайбу.

### 3.8. Токарные полуавтоматы и автоматы

**Назначение и классификация.** Конструктивным признаком автомата является наличие полного комплекта механизмов для выполнения рабочих и вспомогательных ходов, автоматизирующих цикл, а также системы управления, координирующей их работу.

Полуавтомат от автомата отличается тем, что в комплекте автоматизированных целевых механизмов отсутствует загрузочно-разгрузочное устройство, и эту операцию выполняют вручную или с помощью дополнительных средств механизации. Таким образом, для повторения цикла требуется вмешательство человека (загрузка заготовок, съём изделий, ориентирование, зажим заготовок).

Токарные автоматы и полуавтоматы используются для обработки заготовок сложной формы из прутка и штучных заготовок в условиях крупносерийного и массового производства. Обработка деталей на этих станках производится несколькими инструментами, которые устанавливаются на суппортах и в специальных приспособлениях (сверлильных, резьбонарезных и др.). Высокая производительность токарных автоматов и полуавтоматов достигается благодаря полной автоматизации рабочих и холостых ходов и их частичного совмещения. При этом один рабочий обслуживает несколько автоматов или полуавтоматов. Однако переналадка автоматов и полуавтоматов при переходе на обработку новой заготовки связана со значительными затратами времени, что экономически оправдано только в массовом, крупносерийном и иногда в серийном производствах.

Токарные автоматы и полуавтоматы выпускают с горизонтальной и вертикальной осью вращения шпинделя. Последние имеют преимущества по сравнению с горизонтальными: занимают меньшую площадь; обеспечивают более высокую точность обработки благодаря тому, что силы тяжести не влияют на поперечные деформации шпинделя; лучше обеспечивается защита направляющих от стружки и ее отвод. На горизонтальных токарных автоматах обрабатывают преимущественно заготовки пруткового и трубчатого типа, хотя не исключена обработка и штучных заготовок.

По способу обработки токарные автоматы и полуавтоматы делят на фасонно-отрезные, продольного точения, токарно-револьверные, многолезцовые и копировальные. По способу управления рабочим циклом автоматы подразделяют на три группы:

- с одним распределительным валом (РВ), равномерно вращающимся в течение всего цикла обработки;

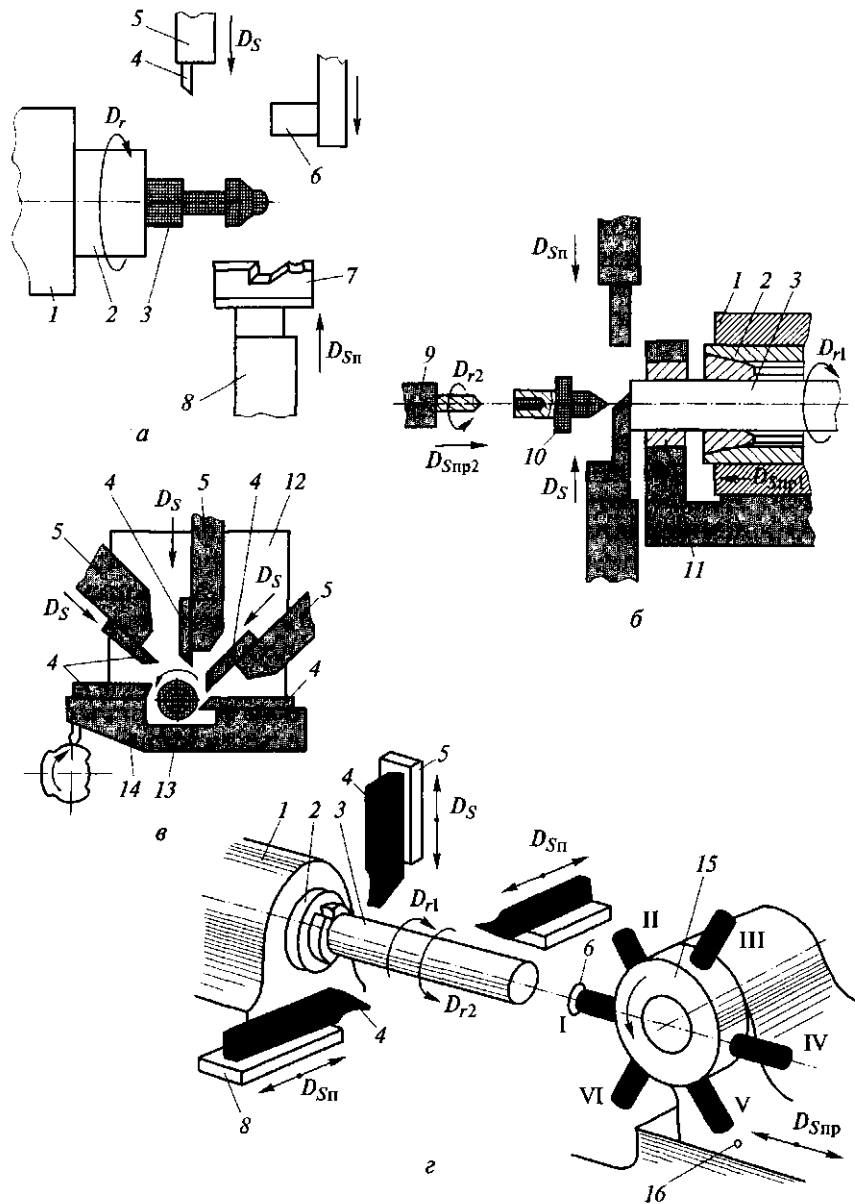


Рис. 3.20. Схемы обработки на токарных одношпиндельных автоматах:  
*a* — фасонно-отрезном; *б, в* — продольного точения; *г* — токарно-револьверном; 1 — шпиндельная бабка; 2 — шпиндель; 3 — пруток; 4, 7 — резцы; 5 — верхний суппорт; 6 — упор; 8 — поперечный суппорт; 9 — приспособление; 10 — обработанная деталь; 11 — люнет; 12 — стойка; 13 — ось; 14 — балансиры; 15 — револьверная головка; 16 — продольный суппорт

- с РВ, управляющим с малой скоростью вращения рабочими ходами и с большой скоростью — холостыми ходами;
- с РВ, скорость вращения которого меняется во время цикла обработки, и со вспомогательным валом, вращающимся с постоянной скоростью.

Токарные автоматы бывают одно- и многошпиндельные.

**Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы.** Для изготовления из прутка (или бунта) мелких деталей простой формы в условиях крупносерийного и массового производства применяют одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы. Пруток 3 (рис. 3.20, а) закрепляют во вращающемся шпинделе 2 с помощью цангового патрона. Обработка осуществляется резцами 4 и 7, закрепленными в суппортах 5 и 8, перемещающихся только в поперечном направлении. Заданная длина детали обеспечивается выдвиганием прутка до подвижного упора 6. Некоторые модели фасонно-отрезных автоматов имеют продольный суппорт для сверления отверстий.

**Одношпиндельные автоматы продольного точения.** Автоматы предназначены для изготовления из прутка высокоточных деталей относительно большой длины и малого диаметра в условиях массового производства. На этих автоматах обработка производится неподвижными или поперечно перемещающимися резцами 4 (рис. 3.20, б), закрепленными на суппортах 5 или балансире 14 при продольном движении подачи  $D_{сп}$  вращающегося прутка 3. Подача прутка осуществляется шпиндельной бабкой 1. Для уменьшения прогиба и вибрации прутка под действием сил резания передний конец его пропускают через люнет 11, закрепленный на суппортной стойке 12.

На стойке смонтированы два-три вертикальных суппорта 5 и балансир 14, несущий два резца 4 и совершающий качательное движение вокруг оси 13. Сочетание поперечного перемещения  $D_{сп}$  резца и продольного перемещения прутка позволяет получать на детали заданные фасонные поверхности. Отрезной резец (после отрезания обработанной детали 10) служит упором для прутка, при этом цанговый патрон в шпинделе 2 разжимается и шпиндельная бабка 1 отходит в положение начала цикла обработки следующей заготовки.

Обработка центрального отверстия (сверление, развертывание, нарезание резьбы метчиком), а также нарезание наружной резьбы плашкой производится с помощью двух или трех шпиндельных приспособлений 9, которые могут иметь независимые поступательное  $D_{сп2}$  и вращательное  $D_{r2}$  движения инструментов. В этом случае главное движение складывается из одновременных вращательных движений шпинделей станка и приспособления.

**Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы.** Эти автоматы используют для изготовления деталей сложной конфи-

гурации в условиях массового производства. Применение метода групповой технологии, заключающегося в обработке на станке группы однотипных деталей, близких по размерам и конфигурации, позволяет эффективно использовать автоматы и в условиях крупносерийного производства.

Для размещения большого числа инструментов, необходимых для изготовления деталей сложной конфигурации, автоматы оснащены продольным суппортом 16 (рис. 3.20, *з*) с шестипозиционной (на некоторых станках — восьмипозиционной) револьверной головкой 15 и несколькими поперечными суппортами 8 (передним, задним) и одним (двумя) верхним 5.

В отличие от автоматов продольного точения шпиндельная бабка 1 токарно-револьверного автомата установлена на станине жестко и продольного перемещения не имеет. Шпиндель 2 автомата при нарезании резьбы получает вращение против часовой стрелки  $D_2$  и по часовой стрелке  $D_1$  — для свинчивания инструмента.

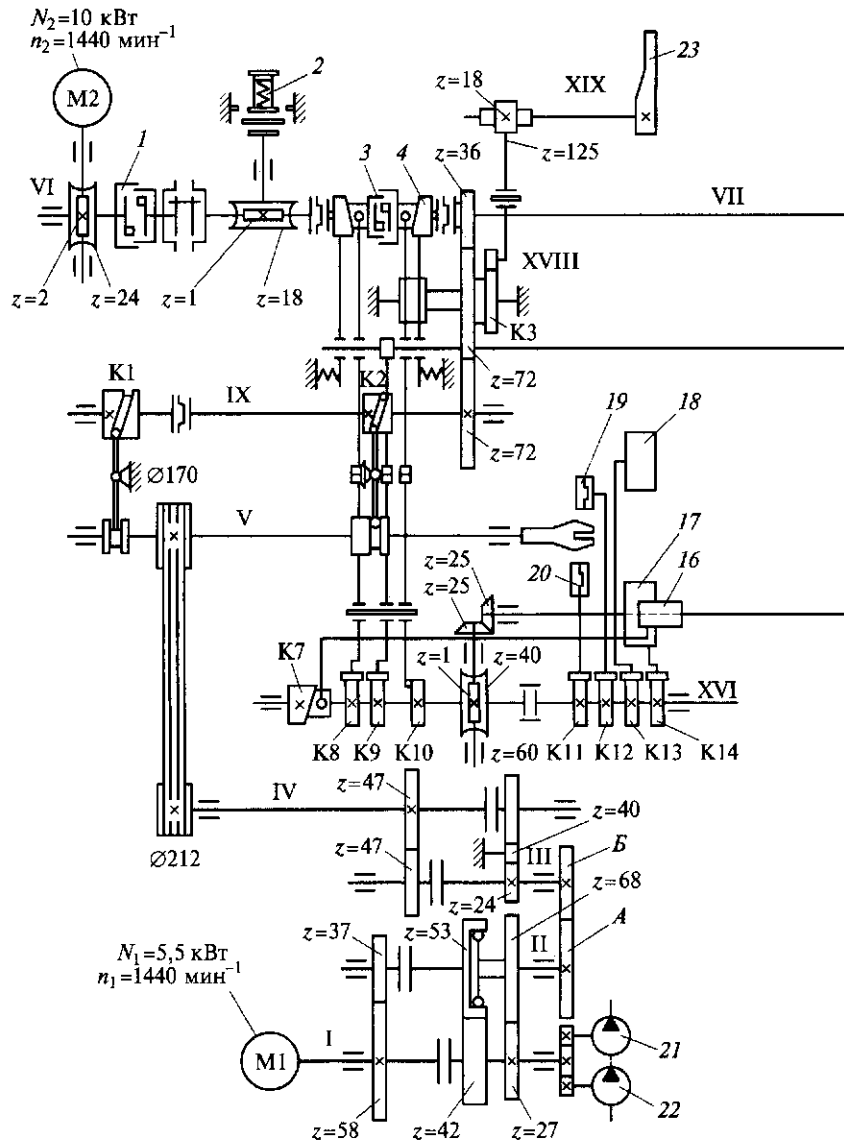
После отрезания обработанной детали и разжима цангового патрона прутки 3 подаются до упора б.

Инструменты, размещенные на суппортах и в револьверной головке, могут работать как последовательно, так и параллельно.

Шпиндель станка (вал V, рис. 3.21) с прутком, закрепленным в цанговом патроне, получает вращательное движение от электродвигателя M1 через коробку скоростей и клиноременную передачу. В одном цикле шпиндель может иметь три различные частоты вращения правого и левого направлений в диапазоне, определяемом семью парами сменных зубчатых колес А и Б. Частота вращения шпинделя при левом направлении 160...2500 мин<sup>-1</sup>, при правом — 63...1000 мин<sup>-1</sup>. Вспомогательный вал VII вращается от электродвигателя M2 через червячную пару 2/24. При выключенной муфте 1 вал можно вращать вручную маховиком б.

Командоаппарат 2, управляющий включением электромагнитных муфт в коробке скоростей, получает вращение от вала VII через червячную пару 1/18, включаемую муфтой 3. От вала VII через зубчатое колесо  $z = 36$ , включаемое муфтой 4, и колеса 72/72 вращение сообщается кулачкам К1 и К2 механизмов подачи и зажима прутка. От этого же вала VII через цилиндрические 42/84/42 и конические 25/50 зубчатые колеса получает вращение водило 8 мальтийского механизма поворота револьверной головки 13. За полный оборот водила мальтийский крест 7 с револьверной головкой поворачивается на 1/6 оборота.

Вал VIII, связанный муфтой со вспомогательным валом VII, через коробку подач передает вращение валу X, который сообщает вращение распределительным валам: XV — через червячную передачу 1/40 и XVI — через конические колеса 25/25 и чер-



вячную пару 1/40. Обработка заготовки на автомате производится за один оборот распределительных валов.

На распределительном валу XV расположены кулачок K4 подачи револьверного суппорта, кулачок K5 привода 15 приемника готовых деталей и кулачок K6, переключающий муфту 10 медленного и быстрого вращения валов X, XV и XVI. Медленное вращение осуществляется от вала VIII к валу XIII через зуб-

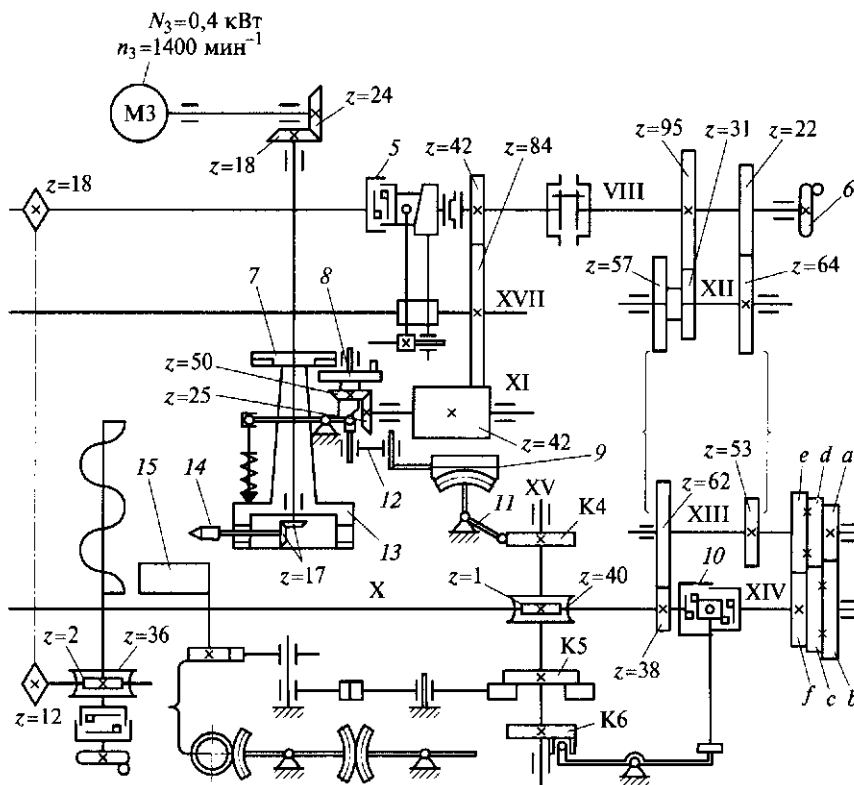


Рис. 3.21. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата: 1, 3, 5, 10 — муфты; 2 — командоаппарат; 6 — маховик; 7 — мальтийский крест; 8 — водило; 9 — рейка; 11 — рычаг; 12 — шатун; 13 — револьверная головка; 14 — шпиндель сверлильного приспособления; 15 — привод приемника готовых деталей; 16 — продольный суппорт; 17, 18 — поперечные суппорты; 19, 20 — вертикальные суппорты; 21, 22 — насосы для подачи охлаждающей жидкости и смазочного материала соответственно; М1—М3 — электродвигатели; А, Б, а, б, с, d, e, f — сменные зубчатые колеса; К1—К14 — кулачки; I—XIX — валы

чатые колеса 22/64/53 и, далее, через сменные зубчатые колеса (а/б)(с/д)(е/ф) к валу XIV, несущему правую ведущую часть муфты 10.

Профиль кулачка К4 продольного перемещения револьверного суппорта определяется последовательностью и условиями работы инструментов, закрепляемых в револьверной головке. Зубчатый сектор рычага 11, второе плечо которого снабжено об-



катывающимся по кулачку К4 роликом, зацепляется с рейкой 9. Перемещение рейки 9 через тягу и шатун 12 сообщается револьверному суппорту, который под действием пружины всегда оттягивается вправо. Шатун прикреплен к валу водила 8 с помощью эксцентрично расположенной оси, что обеспечивает быстрый отвод револьверного суппорта вправо в момент поворота головки в другую позицию.

Отход головки от шпинделя предохраняет режущие инструменты и деталь от повреждения.

В рабочем положении револьверная головка 13 удерживается от поворота фиксатором, который выводится из головки кулачковым механизмом, срабатывающим при повороте водила 8 мальтийского механизма.

На распределительном валу XVI смонтированы цилиндрический кулачок К7 подачи продольного суппорта 16 и кулачки К8, К9 и К10 включения соответственно однооборотной муфты 3 поворота командоаппарата 2, такой же муфты 4 привода механизмов подачи и зажима прутка и муфты 5 включения механизма поворота револьверной головки.

Поворот вала XIX с качающимся упором 23 — установка его против переднего торца шпинделя и отвод после подачи и зажима прутка — осуществляется кулачком К3 с помощью передачи 125/18 (сектор-колесо). На валу XVI установлены также дисковые кулачки К11 и К12 для подачи вертикальных суппортов 19 и 20, а кулачки К13 и К14 — для подачи поперечных суппортов 17 и 18.

Для увеличения скорости резания и соответственно производительности при сверлении отверстий малого диаметра применяют быстросверлильное приспособление. Шпиндель 14 приспособления, устанавливаемого в одной из шести позиций револьверной головки 13, получает вращение от электродвигателя М3 через конические зубчатые колеса 24/18 и 17/17.

Привод винтового конвейера для удаления стружки осуществляется от вала VII через цепную передачу 18/12 и червячную пару 2/36.

**Многошпиндельные токарные полуавтоматы и автоматы.** Это оборудование характеризуется широкими технологическими возможностями при изготовлении различных деталей. По сравнению с одношпиндельными многошпиндельные автоматы и полуавтоматы обеспечивают более высокую степень концентрации обработки, что способствует повышению их производительности, уменьшению станкостоемости, сокращению площади, занимаемой оборудованием.

По принципу работы автоматы подразделяют на автоматы параллельного и последовательного действия. На автоматах *параллельного* действия на всех шпинделях одновременно произ-

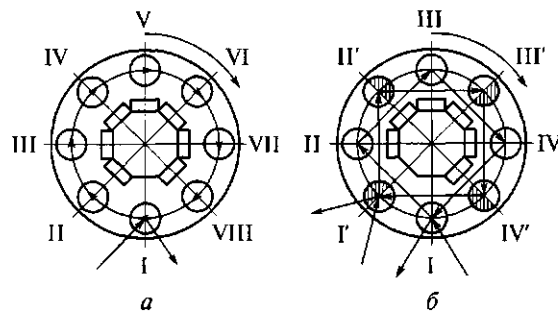


Рис. 3.22. Схемы работы многошпиндельных токарных станков последовательного (*a*) и параллельно-последовательного действия (*б*):  
I—VIII; I'—IV' — позиции станка

водятся одинаковые операции, и за один цикл работы завершается обработка заготовок, число которых соответствует числу шпинделей.

Наибольшее распространение получили многошпиндельные автоматы и полуавтоматы *последовательного* действия. На таких автоматах заготовки с загрузочной позиции путем периодического поворота и индексации шпиндельного стола или шпиндельного блока последовательно подводятся к рабочим позициям и одновременно обрабатываются группами инструментов в соответствии с технологическим процессом. Большое число рабочих позиций и шпинделей (6—8) позволяет использовать их в различных сочетаниях.

Заготовки сложной формы обрабатывают на всех позициях станка (рис. 3.22, *a*), при этом они перемешаются в каждом цикле на следующую позицию. Для более простых заготовок, которые можно обработать на меньшем числе рабочих позиций, применяют более производительную схему параллельно-последовательной обработки (рис. 3.22, *б*). В этом случае используют две позиции (I и I') в качестве загрузочных, далее заготовки, установленные на позициях I и I', будут обрабатываться соответственно на позициях II и II', а заготовки, которые были на позициях II и II', — на позициях III и III' и т.д. Этот вариант применим также для обработки заготовок с двух сторон: заготовка, обработанная с одной стороны за первый оборот стола (барабана) на позициях II, III и IV, устанавливается с переверотом на соседнее зажимное приспособление в позиции I' и обрабатывается с другой стороны при втором обороте стола (на штрихованных позициях).

Загрузка заготовок и выгрузка обработанных деталей совмещаются во времени с обработкой и выполняются специальными механизмами.

Многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы широко применяют в серийном и массовом производстве. Их подразделяют: по назначению — на универсальные и специализированные; по виду заготовки — на прутковые и патронные; по расположению шпинделей — на горизонтальные и вертикальные.

**Горизонтальные многошпиндельные токарные автоматы.** Существуют патронные и прутковые исполнения этих автоматов. В патронном исполнении станок может быть оснащен манипулятором для автоматизации загрузки заготовки и выгрузки обработанной детали. Автомат в прутковом исполнении комплектуют устройством для поддержания вращающихся прутков, передние концы которых находятся в шпиндельном блоке и закреплены в шпинделях с помощью цанговых патронов. В шпиндельном блоке размещается поворотный барабан с четырьмя, шестью или восемью шпинделями.

В каждой позиции барабана заготовки обрабатываются инструментом, установленным на поперечных и центральном продольном суппортах, которые отводятся по окончании обработки, позволяя шпиндельному барабану повернуться. Таким образом, заготовка, установленная в шпинделе, обрабатывается на всех позициях в соответствии с технологическим процессом. На прутковом автомате обработка заканчивается на последней позиции, где готовая деталь отрезается от прутка. В этой же позиции пруток выдвигается из шпинделя на заданную длину до упора для изготовления следующей детали. На автомате патронного исполнения снятие готовой детали и установка заготовки осуществляются на последней позиции.

На таких станках возможна последовательная и параллельно-последовательная обработка.

Кинематическая схема автомата приведена на рис. 3.23. От главного электродвигателя М1 через клиноременную передачу (шкивы 1 и 2) и зубчатые колеса 3 и 6 приводится во вращение вал II, соединенный сменными зубчатыми колесами *a*, *b*, *c*, *d* с центральным валом IV. От этого вала с помощью колес 37 и 38 вращение передается шпинделям. Вращение РВ (вала XI), расположенного в верхней части станка (в траверсе) и состоящего из правой и левой частей, осуществляется от центрального вала IV через червячную пару 11/12, две пары сменных зубчатых колес (*e/f* и *q/h*), зубчатые колеса 10/9, электромагнитную муфту МЭ2 рабочего хода, конические колеса 8/7, цилиндрические зубчатые колеса 1/15 и червячную пару 17/18.

Для привода нижних и средних поперечных суппортов служат два нижних вала, связанных двумя коническими передачами 47 и 36 и цилиндрическими зубчатыми колесами 34/35/33 с верхним РВ XXI и вращающихся с ним синхронно. Быстрое

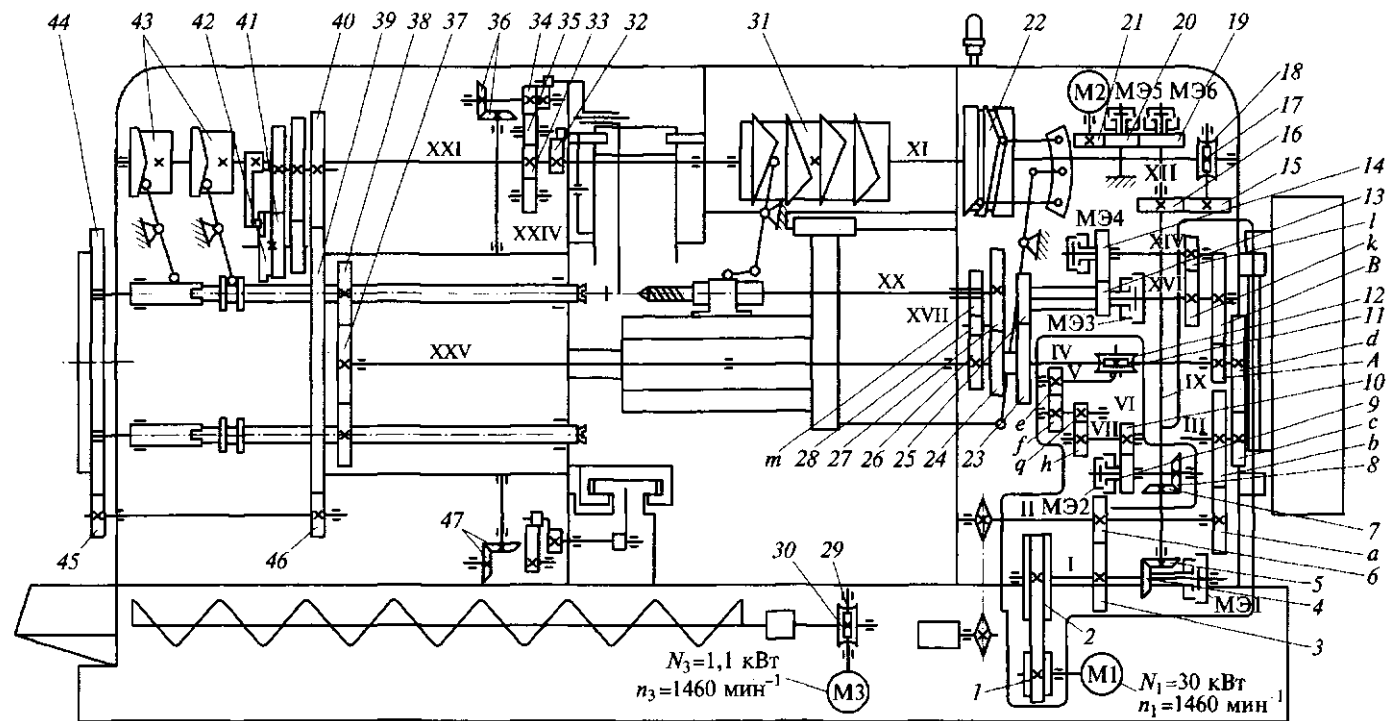


Рис. 3.23. Кинематическая схема горизонтального многошпиндельного автомата:

1, 2 — шкивы; 3, 6, 9, 10, 13—16, 19—21, 23—28, 33—35, 37—41, 44—46 — цилиндрические зубчатые колеса; 4, 5, 7, 8, 36, 47 — конические зубчатые колеса; 11/12, 17/18, 29/30 — червячные пары; 22, 31, 43 — барабаны; 32 — диск; 42 — мальтийский крест; M1—M3 — электродвигатели; MЭ1—MЭ6 — электромагнитные муфты; А, Б, а, б, с, d, e, f, g, h, k, l, m — сменные зубчатые колеса

вращение РВ получает также от вертикального вала IX, вращение которого в этом случае осуществляется непосредственно от вала I через электромагнитную муфту МЭ1 холостого хода и конические колеса 4/5.

Во время наладки станка при неподвижных шпинделях РВ (вал XXI) может вращаться вручную (за квадрат вала червяка 17) или от двигателя М2 (через зубчатые колеса 21/20/19). При этом электромагнитная муфта МЭ5 на валу XII, являющаяся тормозом РВ (при включении подачи), должна быть выключена, а муфта МЭ6 на вертикальном валу IX—включена.

На правой части верхнего РВ находятся: барабан 22 с кулачками подачи продольного суппорта; барабан 31, имеющий четыре места для установки кулачков, обеспечивающих независимое управление подачей; диск 32 с кулачками привода верхних поперечных суппортов. На левой части РВ (вала XXI) установлены рычаг 42 поворота мальтийского креста и барабаны 43 с кулачками привода механизмов зажима и подачи обрабатываемого прутка.

Поворот шпиндельного барабана осуществляется от мальтийского механизма через зубчатые колеса передач, образованных колесами 41, 40 и колесом 39, смонтированным на барабане. Передаточное отношение колес подбирается так, чтобы обеспечить необходимый угол поворота барабана (в зависимости от исполнения станка): 45, 60 или 90°. Зубчатые колеса 46 и 45/44 служат для поворота блока направляющих труб (устройства для поддержания прутков).

Для быстрого сверления приводная втулка инструментального шпинделя (вал XX) получает вращение от колеса 26 (закрепленного на центральном валу IV) через паразитное колесо 28 (обеспечивающее противоположное направление вращения инструмента относительно шпинделя) и далее через сменное зубчатое колесо *m*.

Для нарезания правой резьбы (или свинчивания при левой) движение приводной втулке инструментального шпинделя передается от центрального вала IV через сменные зубчатые колеса *A* и *B*, вал XVI, муфту МЭ3 и колеса (25/23 и 24/27). Для свинчивания инструмента (или нарезания левой резьбы) электромагнитная муфта МЭ3 выключается и включается муфта МЭ4 на валу XIV. При этом в цепь привода инструментального шпинделя дополнительно включаются сменные *k/l* и постоянные 14/13 зубчатые колеса.

При развертывании отверстий привод инструмента может осуществляться как по цепи быстрого сверления с установкой (при необходимости) еще одного паразитного колеса (обеспечивающего нужное направление вращения инструмента), так и по цепи привода резьбонарезания.

Привод винтового конвейера для удаления стружки осуществляется от двигателя МЗ через червячную пару 29/30.

Индивидуальная система охлаждения рабочей зоны автомата обеспечивается двумя электронасосами, подающими СОЖ в распределительные трубы, а оттуда (по шлангам) — к режущему инструменту. Предусмотрена возможность подключения автомата к централизованной системе подачи СОЖ.

На станке используются следующие системы смазывания: централизованная (полив всех точек механизмов коробки передач и других точек, требующих обильного смазывания) с возвратом масла в резервуар; централизованная с дозированным смазыванием точек, не требующих обильного смазывания или расположенных в зоне, откуда смазочный материал не возвращается; индивидуальная для жидкого смазывания редуктора конвейера стружки. Резервуаром для смазочного материала служит изолированный отсек станины; уровень масла контролируется по маслоуказателю.

В корпусе шпиндельного блока находятся шпиндельный барабан, в котором смонтированы шпиндели, а также механизмы подачи и зажима прутка, поворота и фиксации шпиндельного барабана.

Шпиндельный барабан 20 (рис. 3.24) напрессован на пустотелую ось 24, внутри которой проходит центральный вал 25, передающий вращение от главного привода через зубчатые колеса 11 и 13 шпинделю 21. Правый конец оси 24 поддерживается фланцем коробки передач. Радиальными опорами шпинделя служат двухрядные роликоподшипники 14 и 19. Осевые нагрузки воспринимают упорные шарикоподшипники 15. Радиальный зазор в подшипниках 14 и 19 регулируется осевым перемещением внутренних колец подшипников по коническим шейкам шпинделя 21, осуществляемым с помощью гаек 17 и 27. Положение внутреннего кольца подшипника 19 фиксируется тремя винтами 18, а подшипника 14 — гайкой 16, с помощью которой затем регулируется осевой зазор шпинделя.

В левой части шпинделя смонтирована муфта устройства зажима прутка и управляющая ею вилка 9. Пруток зажимается при перемещении вилки 9 влево. Чашка 8 муфты нажимает своим фасонным отверстием на рычаги 7, которые, поворачиваясь, передвигают стакан 6 и через тарельчатые пружины 5 нажимают на фланец 4, в который упирается гайка трубы 12 зажима, втягивая цангу 22 в корпус шпинделя. Муфта зажима в левом положении фиксируется рычажком 28. Сила зажима от вилки к чашкам передается через упорные подшипники 10.

Для подачи прутка служит цанга 23, завинченная в трубу 3, которую за подшипник 2 перемещает механизм подачи. Осевое перемещение трубы 3 ограничивается диском, установленным

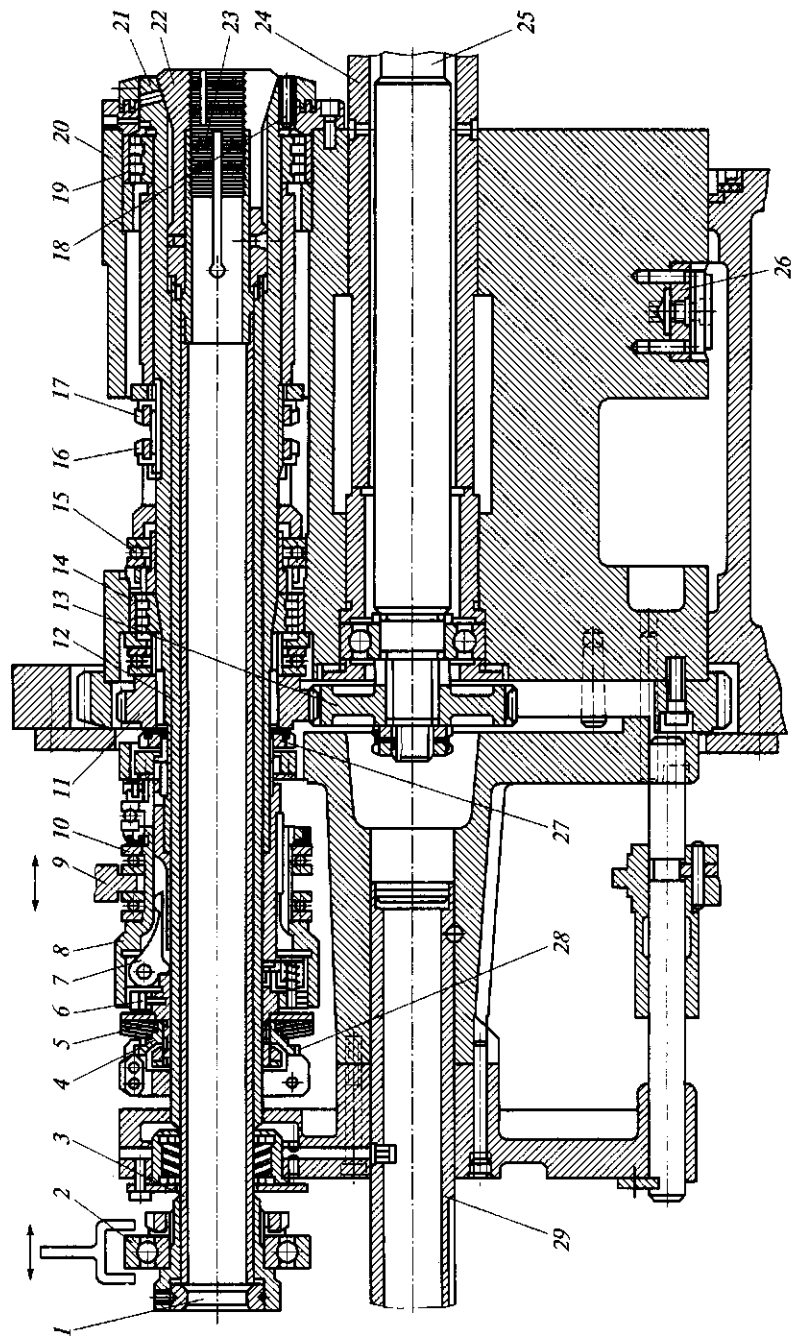


Рис. 3.24. Шпиндельный барабан горизонтального многошпиндельного пруткового автомата:

1 — кольцо; 2 — шарикоподшипник; 3, 12, 29 — трубы; 4 — фланец; 5 — пружина; 6 — стакан; 7 — рычаг; 8 — чашка; 9 — вилка; 10, 15 — упорные шарикоподшипники; 11, 13 — зубчатые колеса; 14, 19 — роликподшипники; 16, 17, 27 — гайки; 18 — винт; 20 — барабан; 21 — шпиндель; 22, 23 — цанги; 24 — ось; 25 — вал; 26 — замок; 28 — рычажок

на центральной трубе 29 шпиндельного барабана. Осевое положение диска устанавливается в зависимости от длины подачи прутка.

У левого торца трубы 3 установлено сменное направляющее кольцо 1, диаметр отверстия которого определяется диаметром обрабатываемого прутка. В каждом рабочем положении шпиндельный барабан фиксируется рычагами и прижимается ими к ложементу. После отвода суппортов рычаги разводятся, выходят из замков 26 барабана и освобождают его для подъема и поворота в следующую позицию.

Продольный суппорт, перемещающийся по центральной пустотелой оси и обслуживающий все позиции шпиндельного барабана, представляет собой многогранник с числом граней 4, 6 или 8 в зависимости от числа шпинделей в барабане. На каждой грани имеются пазы типа ласточкина хвоста, в которые устанавливаются неподвижные или скользящие инструментальные державки, а также другие устройства для обработки. Продольный суппорт оснащен универсальным приводом, позволяющим изменять рабочий ход суппорта без смены кулачков.

На барабане РВ находятся постоянные кулачки, управляющие двумя ползунами; каждый перемещает через штангу и кулису продольный суппорт: один — при быстром подводе, а другой — на участке рабочего хода.

Поворот шпиндельного барабана осуществляется мальтийским крестом, который закреплен на РВ. Передаточное число подбирается в зависимости от числа шпинделей станка и от того, по какой схеме работает автомат: последовательно или параллельно-последовательно.

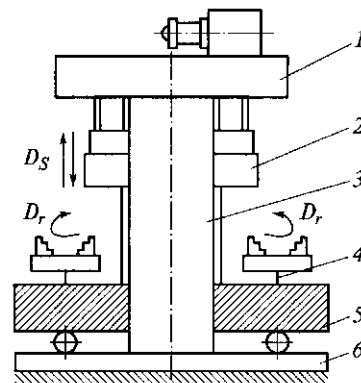
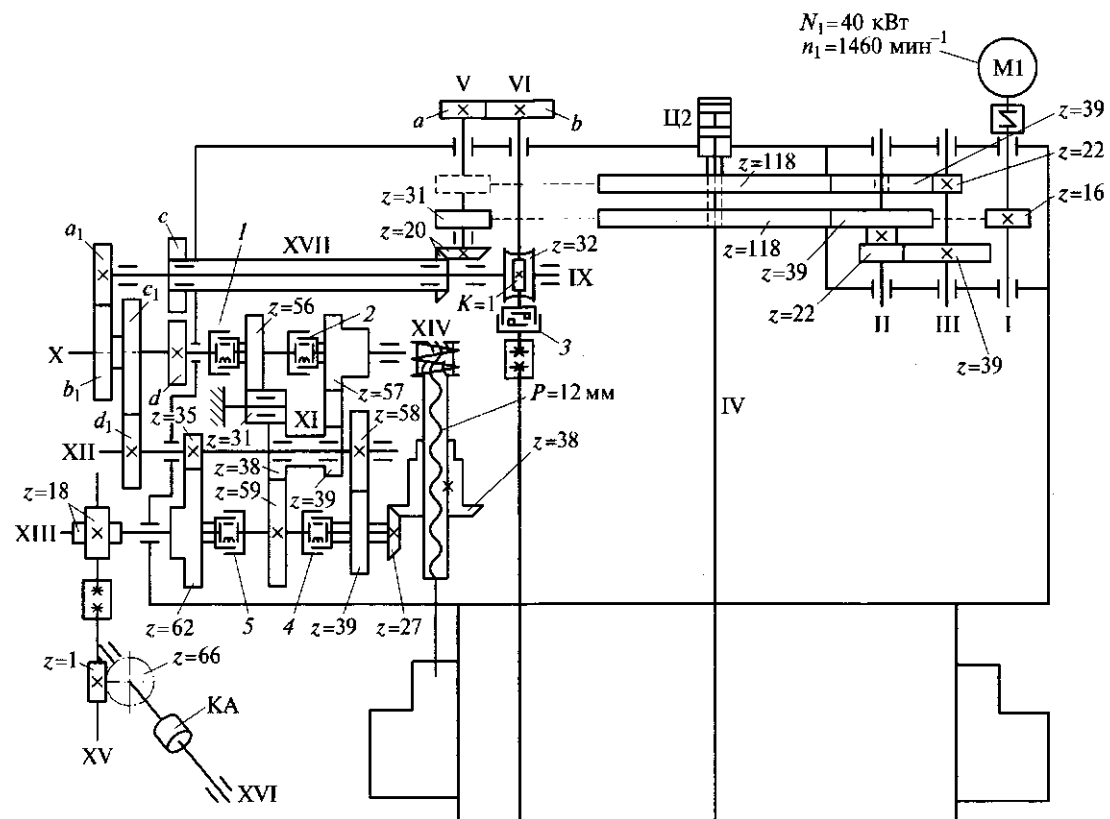


Рис. 3.25. Схема работы вертикального многошпиндельного токарного полуавтомата:

1 — корпус; 2 — суппорт; 3 — колонна; 4 — шпиндель; 5 — стол; 6 — основание







Во избежание изнашивания ложемента и самого шпиндельного барабана и в целях сохранения точности работы автомата перед поворотом барабан автоматически поднимают над ложементам на 0,2... 0,4 мм.

После поворота шпиндельного барабана его положение фиксируется. От точности фиксации шпиндельного барабана зависит точность диаметра обработанных деталей. Наладка осуществляется на заготовке (прутке), зажатой в одном шпинделе, последовательно на каждом переходе путем перемещения салазок, упора суппортов, державок и инструмента.

**Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы.** Эти станки широко применяют для обработки литых и штампованных заготовок средних и крупных размеров. Их вертикальная компоновка позволяет экономно использовать занимаемую станком площадь, облегчает загрузку станка заготовками.

Вертикальный восьмишпиндельный токарный полуавтомат предназначен для черновой и чистовой обработки в патроне заготовок типа дисков, фланцев и др. Станки изготовляют в двух исполнениях: одни станки служат для обработки заготовок с большими припусками (силовое исполнение), другие используют для изготовления деталей небольшого диаметра либо для обработки деталей из цветных металлов.

Схема работы вертикального многошпиндельного полуавтомата приведена на рис. 3.25. С основанием 6 жестко соединена колонна 3, по направляющим которой в рабочих позициях перемещаются суппорты 2. На столе 5 установлено восемь рабочих шпинделей 4. На вершине колонны закреплен корпус 1, в котором размещен механизм подачи и редуктор главного движения. На семи рабочих позициях по принципу последовательной обработки можно выполнять обтачивание, растачивание, сверление, зенкерование и развертывание отверстий. Одна позиция является загрузочной. При параллельно-последовательной обработке двух заготовок одновременно используются две загрузочные позиции. Особенность данного станка в том, что каждый шпиндель может иметь независимые частоты вращений и величины подачи.

Кинематическая схема полуавтомата показана на рис. 3.26. *Главное движение* рабочие шпиндели VIII (на рисунке показан привод одного из семи шпинделей) получают от асинхронного электродвигателя M1, мощность и частота вращения которого выбираются в зависимости от технологических требований ( $N_1 = 22 \dots 55$  кВт).

С вала I вращение передается на вал V двумя путями в зависимости от положения зубчатого колеса  $z = 31$  на валу V: через передачи 16/39/118/31 (высокий ряд частот вращения) или через колеса 16/39, 22/39, 22/39, 39/118/31 (низкий ряд). С вала V

рабочий шпиндель VIII получает вращение через сменные колеса  $a$  и  $b$ , передачи 35/40, 37/50. Набор сменных колес  $a$  и  $b$  к станку обеспечивает различные частоты вращения в каждой позиции.

После индексации стола шпиндели приобретают частоту вращения той позиции, в которую они перешли, а синхронизаторы при этом обеспечивают плавное безударное начало вращения шпинделя. Включаются синхронизаторы все одновременно при перемещении штока цилиндра Ц2. При этом через систему рычагов поднимается вверх муфта  $б$ , касаясь подпружиненной конусной чашки на валу VII. В гидросистеме повышается давление, срабатывает гидрораспределитель, включающий дроссель, при этом снижается скорость включения синхронизатора; в этот период частота вращения шпинделей возрастает. При дальнейшем движении вверх сцепляется зубчатая муфта 7. При этом специальным устройством разводятся конусные чашки муфты  $б$ , обеспечивая окончательное включение муфты 7. Шпиндели получают рабочее вращение. От штока цилиндра Ц2 через систему рычагов одновременно с синхронизаторами включается тормоз 8, который расположен в загрузочной позиции. Для зажима деталей служит двойной гидроцилиндр Ц1.

*Движение подачи* получают ходовые винты (вал XIV) суппортов. Медленная подача осуществляется от вала VI через червячную пару 1/32 при включенной муфте 3, вал IX, гитару сменных колес  $a_1/b_1$ ,  $c_1/d_1$ , вал XII, передачу 35/62 при включении электромагнитной муфты 5 или 58/39 при включении электромагнитной муфты 4, вал XIII, коническую передачу 27/38 и ходовой винт с шагом  $P = 12$  мм. Муфты 5 и 4 изменяют подачу на ходу суппортов, что обеспечивает постоянство режимов резания при переменных припусках заготовки.

Командоаппарат (КА) получает вращение от вала XII через передачи 18/18 и 1/66. КА управляет рабочими и холостыми ходами суппорта в автоматическом и наладочном циклах. В корпусе КА размещены конечные выключатели, кулачковый вал и рычаги.

### Контрольные вопросы

1. Какие типы токарных станков входят в токарную группу?
2. Назовите основные узлы токарно-винторезных станков.
3. Чем отличаются лоботокарные станки от токарно-винторезных?
4. Для чего служит револьверная головка?
5. Расскажите о специфичных узлах токарно-затыловочных станков.
6. Какие движения нужно сообщить резцу, чтобы обрабатываемая поверхность была выполнена по архимедовой спирали?
7. Какие методы получения конусной поверхности применяются при обработке конуса?

8. Как настраивается токарный станок на нарезание многозаходной резьбы?
9. Можно ли нарезать резьбу на токарно-револьверных станках? Если да, то какие режущие инструменты используются при нарезании резьбы на этих станках?
10. Чем отличается компоновка токарно-карусельного станка от компоновки других токарных станков? Назовите его основные узлы.
11. Как классифицируются токарные автоматы и полуавтоматы по способу обработки?
12. Чем отличается станок-автомат от полуавтомата?
13. Чем отличаются автоматы последовательной от параллельно-последовательной обработки?
14. Какие конструктивные особенности имеют токарные станки с ЧПУ?
15. В чем различие компоновки лоботокарного станка и токарно-карусельного?

## ГЛАВА 4

### СВЕРЛИЛЬНЫЕ И РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

#### 4.1. Назначение и классификация

*Сверлильные станки* предназначены для сверления глухих и сквозных отверстий в сплошном материале, рассверливания, зенкерования, развертывания, нарезания внутренних резьб, вырезания дисков из листового материала. Для выполнения подобных операций используют сверла, зенкеры, развертки, метчики и другие инструменты. Формообразующими движениями при обработке отверстий на сверлильных станках являются главное вращательное движение инструмента и поступательное движение подачи инструмента по его оси.

Основной параметр станка — наибольший условный диаметр сверления отверстия (по стали). Кроме того, станок характеризуется вылетом и наибольшим ходом шпинделя, скоростными и другими показателями.

В зависимости от области применения различают универсальные и специальные сверлильные станки. Находят широкое применение и специализированные сверлильные станки для крупносерийного и массового производства, которые создаются на базе универсальных станков путем оснащения их много-

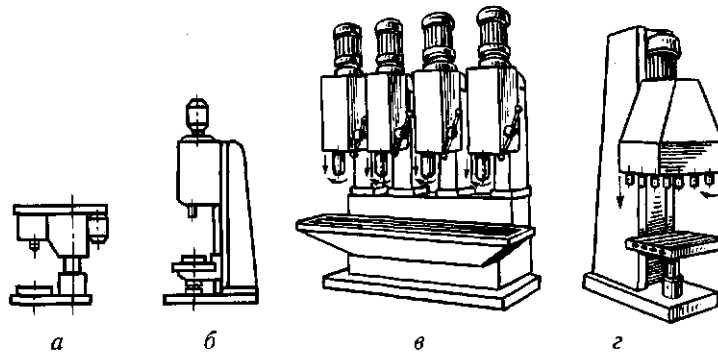


Рис. 4.1. Одношпиндельные (*a, б*) и многошпиндельные (*в, з*) вертикально-сверлильные станки:  
*a* — настольный; *б* — среднего размера; *в* — на общей станине; *з* — с регулирующими шпинделями

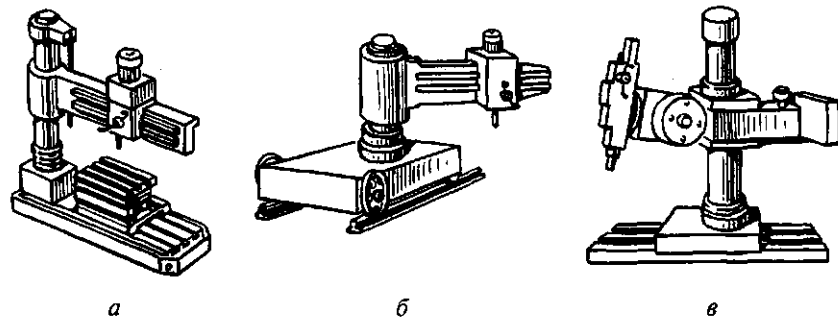


Рис. 4.2. Радиально-сверлильные станки:

*a* — стационарный; *б* — передвижной по рельсам; *в* — переносной

шпиндельными сверлильными и резьбонарезными головками и автоматизации цикла работы. Приспособления, позволяющие использовать универсальные сверлильные станки в качестве специальных и специализированных, рассмотрены в учебнике [24].

Из достаточно большой номенклатуры сверлильных станков можно выделить следующие основные типы универсальных станков: одно- и многошпиндельные вертикально-сверлильные

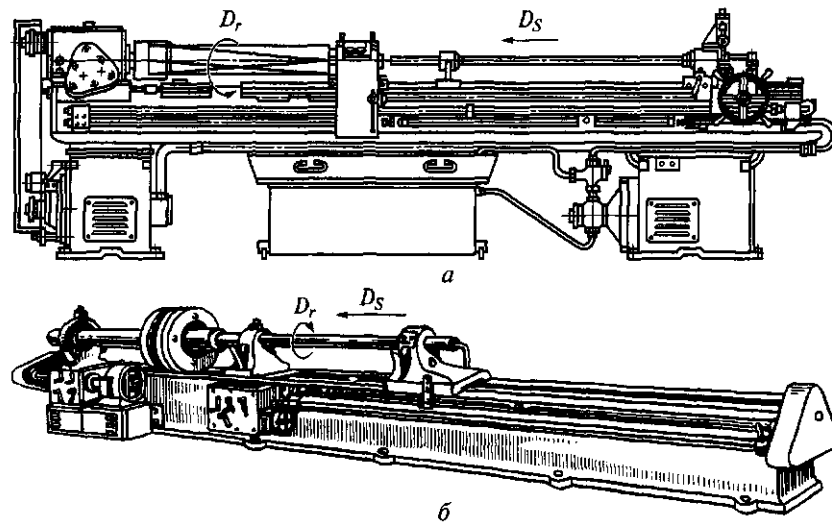


Рис. 4.3. Горизонтально-сверлильные станки для глубокого сверления вращающихся (*a*) и неподвижных (*б*) заготовок:

$D_r$ ,  $D_s$  — направления главного движения и подачи соответственно

(рис. 4.1); радиально-сверлильные (рис. 4.2); горизонтально-сверлильные для глубокого сверления (рис. 4.3).

*Расточные* станки подразделяются на универсальные горизонтально-расточные и координатно-расточные.

Горизонтально-расточные станки предназначены для растачивания, сверления, зенкерования и развертывания отверстий, нарезания резьбы и для обработки плоских поверхностей в деталях типа корпусов, кронштейнов и др. Эти станки используются в мелкосерийном и серийном производствах.

В качестве инструмента в расточных станках используют резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки, метчики. Инструменту сообщается главное вращательное движение. Движение подачи сообщается инструменту или заготовке.

#### 4.2. Сверлильные станки с ручным управлением

**Вертикально-сверлильный станок.** На станине 1 станка (рис. 4.4) размещены основные узлы. Станина имеет вертикальные направляющие, по которым перемещается стол 9 и сверлильная головка 3, несущая шпиндель 7 и электродвигатель 2. Заготовку или приспособление устанавливают на столе 9 станка, причем соосность отверстия заготовки и шпинделя достигается перемещением заготовки.

Управление коробками скоростей и подач осуществляется рукоятками 4, ручная подача — штурвалом 5. Глубину обработки контролируют по лимбу 6. Противовес размещают в нише, электрооборудование вынесено в отдельный шкаф 12. Фундаментная плита 11 служит опорой станка. В средних и тяжелых станках ее верхняя плоскость используется для уста-

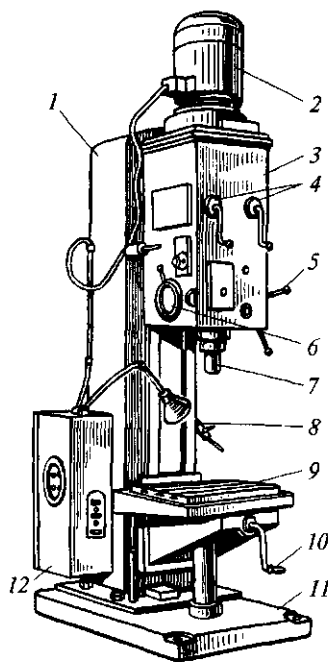


Рис. 4.4. Вертикально-сверлильный станок:

1 — колонна (станина); 2 — электродвигатель; 3 — сверлильная головка; 4 — рукоятки переключения коробок скоростей и подач; 5 — штурвал ручной подачи; 6 — лимб контроля глубины обработки; 7 — шпиндель; 8 — шланг для подачи СОЖ; 9 — стол; 10 — рукоятка подъема стола; 11 — фундаментная плита; 12 — шкаф электрооборудования



новки заготовок. Внутренние полости фундаментной плиты в отдельных конструкциях станков служат резервуаром для СОЖ.

Стол 9 можно перемещать по вертикальным направляющим вручную с помощью ходового винта, вращая рукоятку 10. В некоторых моделях стол бывает неподвижным (съёмным) или поворотным (откидным).

Охлаждающая жидкость подается электронасосом по шлангу 8. Узлы сверлильной головки смазывают с помощью насоса, остальные узлы — вручную.

Сверлильная головка 3 представляет собой чугунную отливку, в которой смонтированы коробка скоростей, механизмы подачи и шпиндель. Коробка скоростей содержит двух- и трехвенцовый блоки зубчатых колес, переключениями которых с помощью одной из рукояток 4 шпиндель получает различные угловые скорости. Частота вращения шпинделя, как правило, изменяется ступенчато, что обеспечивается коробкой скоростей и двухскоростным электродвигателем 2.

**Радиально-сверлильный станок.** В отличие от вертикально-сверлильного в радиально-сверлильном станке оси отверстия заготовки и шпинделя совмещают путем перемещения шпинделя относительно неподвижной заготовки в радиальном и круговом направлениях (в полярных координатах). По конструкции радиально-сверлильные станки подразделяют на станки общего назначения (рис. 4.5), переносные для обработки от-

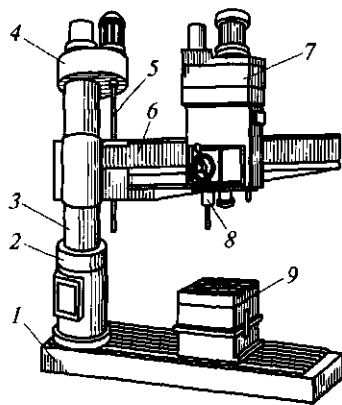


Рис. 4.5. Радиально-сверлильный станок:

1 — плита; 2 — тумба; 3 — колонна; 4 — механизм подъема; 5 — ходовой винт; 6 — рукав; 7 — шпиндельная бабка; 8 — шпиндель; 9 — приставной стол

верстий в заготовках больших размеров (станки переносят подъемным краном к заготовке и обрабатывают вертикальные, горизонтальные и наклонные отверстия) и самоходные, смонтированные на тележках и закрепляемые при обработке с помощью башмаков.

На радиально-сверлильных станках общего назначения заготовку закрепляют на фундаментной плите 1 (см. рис. 4.5) или приставном столе 9; очень крупные заготовки устанавливают на полу. В цоколе плиты смонтирована тумба 2, в которой может вращаться поворотная колонна 3. Зажим колонны — гидравлический.

Рукав 6 перемещается по колонне от механизма подъема 4 и

холового винта 5. Шпиндельная бабка 7 смонтирована на рукаве и может перемещаться по нему вручную. В шпиндельной бабке размещены коробки скоростей, подач и органы управления. Шпиндель 8 с инструментом устанавливает относительно заготовки поворотом рукава и перемещением по нему шпиндельной бабки.

### 4.3. Сверлильные станки с ЧПУ

**Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ.** Станок предназначен для сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы и легкого прямолинейного фрезерования деталей из стали, чугуна и цветных металлов в условиях мелкосерийного и серийного производства. Револьверная головка 3 (рис. 4.6) с автоматической сменой инструмента и крестовый стол 4 позволяют производить координатную обработку деталей типа крышек фланцев, панелей без предварительной разметки и применения кондукторов. Класс точности станка обычно П.

Станок оснащен замкнутой системой ЧПУ, в качестве датчиков обратной связи используются сельсины. Управление процессом позиционирования и обработки в прямоугольной системе координат осуществляет УЧПУ. Имеется цифровая индикация, предусмотрен ввод коррекции на длину инструмента. Точность позиционирования стола и салазок 0,05 мм, дискретность задания перемещений и цифровой индикации 0,01 мм. Число управляемых координат — 3/2 (всего/одновременно).

УЧПУ, смонтированное в шкафу 1, содержит считывающее устройство 10, кодовый преобразователь 9, блок технологических команд 6, блоки управления приводами салазок 8 и стола 7. Для удобства визуального наблюдения за работой механизмов предусмотрен блок 11 ручного управления и сигнализации. УЧПУ оснащают различными дополнительными блоками: устройствами коррекции радиуса, длины и положения инструмента, значений подачи, скорости резания; индикации перемещений, датчиками обратной связи при нарезании резьбы; блоками контроля останова на рабочих и вспомогательных ходах и т. п.

Получив информацию через считывающее устройство 10, УЧПУ выдает команды на автоматический привод перемещения рабочих органов станка, например на шаговый двигатель 5 привода салазок. Силовое электрооборудование размещено в шкафу 2, откуда команды передаются на станочное электрооборудование. Рабочий орган станка — револьверная головка 3 с набором инструментов — обеспечивает обработку различными инструментами (до шести) в заданной программой последовательности.

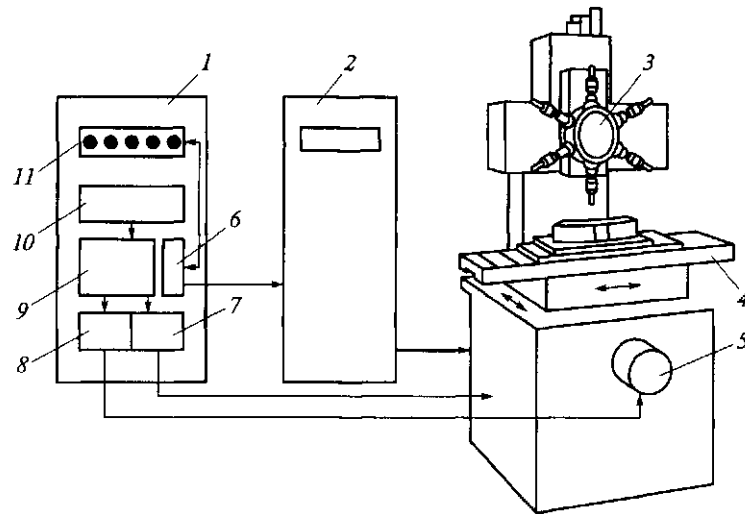


Рис. 4.6. Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ:

1 — автономная стойка УЧПУ; 2 — шкаф силового электрооборудования; 3 — револьверная головка; 4 — стол; 5 — шаговый электродвигатель; 6, 7, 8, 11 — блоки управления; 9 — кодовый преобразователь; 10 — считывающее устройство

Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка с ЧПУ приведена на рис. 4.7. На основании станка установлена колонна, по вертикальным направляющим которой перемещается суппорт с револьверной головкой (подача по оси Z). На колонне закреплены коробка скоростей, передающая главное движение шпинделю, и коробка подач суппорта. Крестовый стол с салазками совершает два взаимно перпендикулярных движения подачи по осям X, Y от редукторов.

*Главное движение* шпиндель револьверной головки получает от асинхронного двухскоростного электродвигателя M1 через передачу 29/41, автоматическую коробку скоростей (АКС), обеспечивающую шесть частот вращения за счет переключения электромагнитных муфт 7—11, и далее через коническую передачу 21/21 и передачи 37/37, 37/42, 31/49/47/35 (зубчатое колесо  $z = 35$  установлено на каждом из шести шпинделей, но получает вращение только то, которое расположено на работающем шпинделе). Отверстие в шпинделе для установки инструмента выполнено под конус Морзе № 4.

Минимальную частоту вращения шпинделя можно рассчитать по формуле

$$n_{\min} = 1000 \frac{29 \cdot 14 \cdot 14 \cdot 21 \cdot 37 \cdot 37 \cdot 31 \cdot 49 \cdot 47}{41 \cdot 56 \cdot 56 \cdot 21 \cdot 37 \cdot 42 \cdot 49 \cdot 47 \cdot 35} = 35,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Смазывание коробки скоростей происходит от насоса, получающего вращение от электродвигателя М1 через клиноременную передачу.

*Вертикальная подача* суппорта с револьверной головкой осуществляется от электродвигателя М2 постоянного тока. Ходовой винт XXXIII с шагом  $P = 8$  мм соединен крестовой муфтой с валом бесконтактного сельсина, являющегося датчиком обратной связи с УЧПУ по координате Z.

Рабочие подачи суппорта происходят при включении электромагнитной муфты 6, через передачи 13/86, 37/37/37 и 4/25. Быстрое перемещение суппорта осуществляется при включении муфты 5 через передачи 37/37 и 4/25. Скорость ускоренного перемещения суппорта

$$v_{\text{уск}} = n_2 \frac{37}{37} \frac{4}{25} P \cdot 0,001 = 4 \text{ м/мин},$$

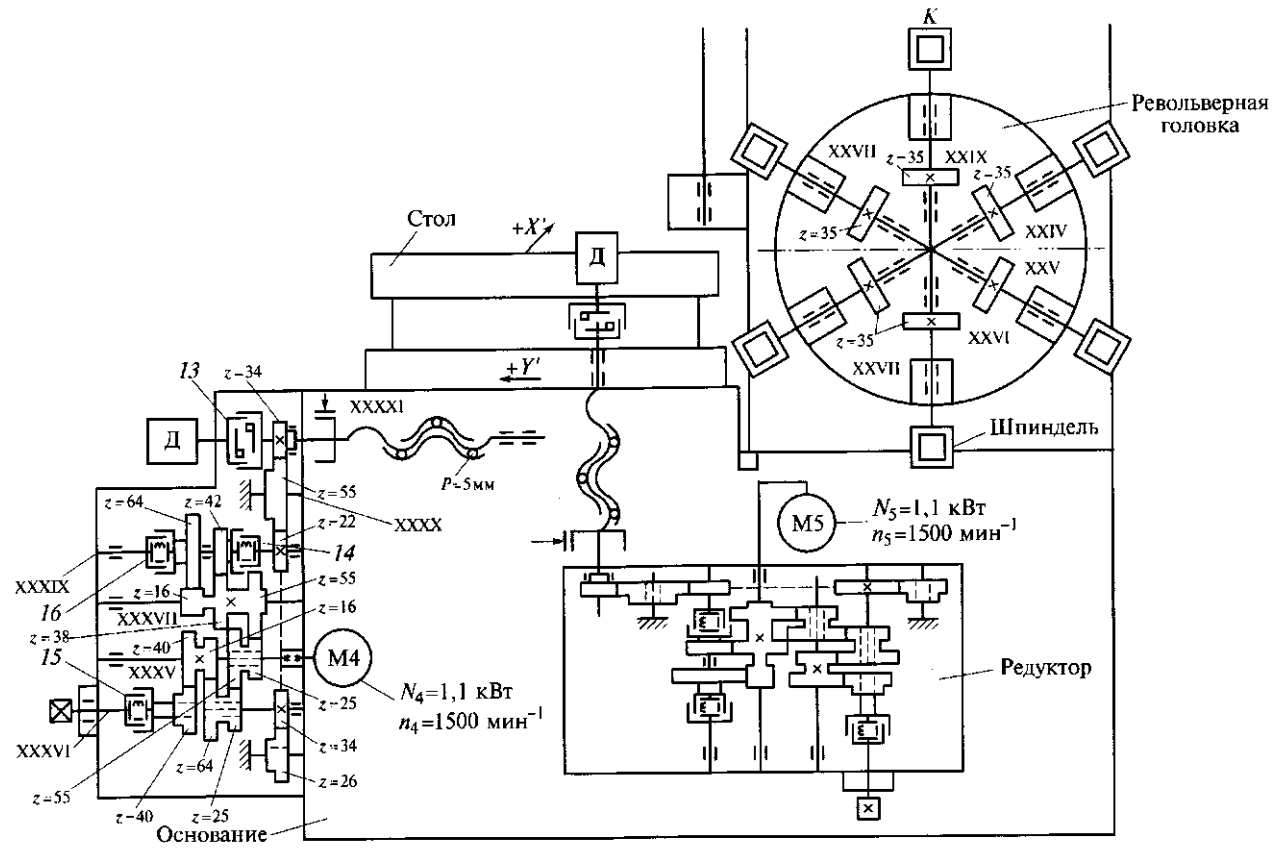
где  $n_2$  — частота вращения электродвигателя М2:  $n_2 = 3000 \text{ мин}^{-1}$ ;  $P$  — шаг ходового винта,  $P = 8$  мм.

На валу XXXII установлен тормоз, осуществляющий торможение рабочей подачи по оси Z. На валу XXXIV размещена крыльчатка для разбрызгивания масла.

*Поворот револьверной головки* осуществляется автоматически в соответствии с УП от электродвигателя М3 через зубчатые колеса 52/17 и 18/52 при включенной муфте 4, червячную передачу 1/28, зубчатую передачу 16/58. Головка закреплена подпружиненными тягами суппорта, находящимися в пазах револьверной головки. При включении муфты 4 червяк  $z = 1$  не может повернуть червячное колесо  $z = 28$  и поэтому, вращаясь, перемещается вниз. Движением вниз через реечную пару с реечным колесом  $z = 27$  вращается вал XX с эксцентриком Э1, который через систему рычагов освобождает револьверную головку. Одновременно второе реечное колесо  $z = 27$  перемещает рейку на валу XVI, тем самым выводя из зацепления колесо  $z = 47$  на валу X. Кинематическая цепь, соединяющая привод вращения со шпинделем, размыкается. Червяк  $z = 1$  доходит до жесткого упора, и начинается вращение револьверной головки для смены инструмента.

При вращении револьверной головки через передачи 16/58 и 30/30 позиционный командоаппарат дает команды на выбор рабочей позиции револьверной головки, остановку прямого вращения и включение обратного вращения (включается муфта 3, отключается муфта 4). При обратном вращении револьверная головка доходит до жесткого упора суппорта и останавливается. При этом червяк  $z = 1$ , выворачиваясь из червячного колеса  $z = 28$ , двигается вверх; вал XX вращается в обратном направле-





нии, зубчатое колесо  $z = 47$  входит в зацепление с колесом  $z = 35$ . Головка фиксируется, и шпиндель получает рабочее вращение.

Движение толкателю для *удаления инструмента* из шпинделя револьверной головки сообщается электродвигателем М3 через зубчатые колеса 18/52 при включенной муфте 2, червячную передачу 1/28, зубчатую передачу 21/21 и эксцентрик Э3, установленный в пазу оси поворота револьверной головки.

Для подачи смазочного материала в револьверный суппорт используется электродвигатель М3, движение от которого через колеса 18/52/75 и вал XV с установленным на нем эксцентриком передается на плунжерный насос.

*Позиционирование* стола и салазок происходит по команде УЧПУ. Редукторы продольного и поперечного перемещений (одинаковой конструкции) обеспечивают быстрое, среднее и медленное перемещение стола и салазок. Здесь применен электропривод со ступенчатым регулированием, подход к заданной точке происходит сначала быстро, а потом медленно на «ползучей» скорости. На средней скорости производится фрезерование.

Быстрое перемещение происходит при включении муфты 15, тогда движение от электродвигателя М4 через зубчатые передачи 40/40, 34/26, 26/22, 22/55 и 55/34 передается на винт-гайку качения XXXIX. Скорость ускоренного перемещения можно рассчитать, пользуясь выражением

$$v_{\text{уск}} = n_4 \frac{40}{40} \frac{34}{26} \frac{26}{22} \frac{22}{55} \frac{55}{34} P \cdot 0,001 = 7,5 \text{ м/мин},$$

где  $n_4$  — частота вращения электродвигателя М4:  $n_4 = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ;  $P$  — шаг ходового винта:  $P = 5 \text{ мм}$ .

Медленное перемещение салазок обеспечивается включением муфты 16. Тогда движение от вала электродвигателя передается ходовому винту через передачи 16/64, 25/55, 25/55, 16/64, 22/55 и 55/34. Среднее перемещение стол получает от электродвигателя М4 через зубчатые колеса 16/64, 25/55, 25/55, 38/42 (при включенной муфте 14), 22/55, 55/34. Скорость перемещения определяют по формуле

$$v_{\text{ср}} = 1500 \frac{16}{64} \frac{25}{55} \frac{25}{55} \frac{38}{42} \frac{22}{55} \frac{55}{34} \cdot 5 = 226 \text{ мм/мин}.$$

На ходовом винте XXXI расположен электромагнитный тормоз. Через кулачковую муфту 13 ходовой винт соединен с датчиком обратной связи — сельсином.

*Резьбонарезной патрон* позволяет нарезать метрическую резьбу от М6 до М24. При нарезании резьбы необходимо,

чтобы подача станка на один оборот шпинделя была несколько меньше шага  $P_{н.р}$  нарезаемой резьбы. Например, при нарезании резьбы М12×1,75 в заготовках из чугуна выбираем скорость резания  $v = 4,7$  м/мин, тогда частота вращения шпинделя  $n = 125$  мин<sup>-1</sup>, а скорость подачи метчика  $v_{S \min} = nP_{н.р} = 125 \cdot 1,75 = 220$  мм/мин. Ближайшая меньшая скорость подачи на станке  $v_S = 200$  мм/мин.

**Радиально-сверлильный станок с ЧПУ.** На станке выполняются обработку отверстий в крупногабаритных заготовках, а также легкое фрезерование поверхностей и пазов, в том числе криволинейных. Класс точности станка Н. Число управляемых координат (всего/одновременно) 3/2. Точность установки координат 0,001 мм. Программируется: перемещение по осям X, Y, Z; параметры режима резания и номер инструмента; смена инструмента осуществляется оператором.

Основные механизмы станка показаны на кинематической схеме (рис. 4.8). Деталь располагают на столе-плите, закрепленной на фундаменте. На салазках, перемещающихся по станине (ось X), установлена колонна, по вертикальным направляющим которой выполняет установочное перемещение рукав. По направляющим рукава движется шпиндельная головка (подача по оси Y) с размещенными в ней коробкой скоростей и приводом подачи. Направляющие шпиндельной головки и салазок комбинированные (скольжения — качения). Передняя поверхность направляющих шпиндельной бабки — лента из фторопласта, работающая в паре с передней чугунной термообработанной направляющей рукава. Шпиндель имеет осевую подачу по оси Z.

У станка установлен стеллаж вместимостью 18 инструментов, обеспечивающих работу станка по программе. У каждой ячейки с инструментом имеется лампочка, которая сигнализирует о том, какой инструмент по программе оператор должен установить в шпиндель. Ячейки снабжены микропереключателями, которые срабатывают, если извлечен незапрограммированный инструмент или отработавший инструмент вставлен не в свою ячейку. При этом работа станка по автоматическому циклу прекращается.

*Главное движение* шпиндель (вал VII) получает от электродвигателя М1 через передачу 29/35, коробку скоростей, состоящую из пяти двойных блоков Б1 — Б5. Блок Б5 может занимать положение, показанное на рис. 4.8, или, перемещаясь, сцеплять с колесом  $z = 28$  внутреннего зацепления. Все блоки и муфта 2 переключаются гидросистемой станка по команде от УЧПУ. Муфта 2 предназначена для плавного пуска привода, реверсирования шпинделя и для предохранения элементов привода от перегрузки. Муфта 2 заблокирована с тормозом. Минимальная частота вращения шпинделя



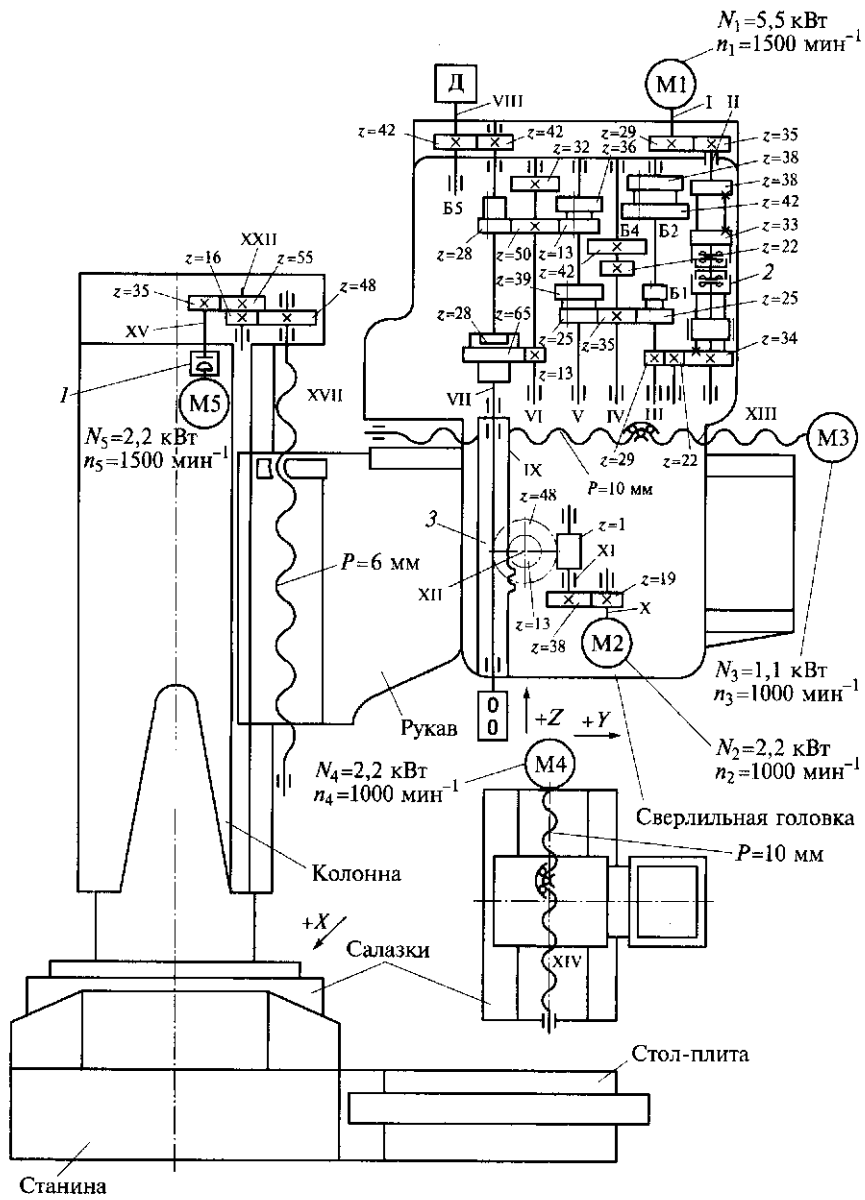


Рис. 4.8. Кинематическая схема радиально-сверлильного станка с ЧПУ: 1, 2 — муфты; 3 — рейка ( $m = 3 \text{ мм}$ ); М1 — М4 — электродвигатели; Б1 — Б5 — двойные блоки зубчатых колес коробки скоростей; Д — датчик нарезания резьбы

$$n_{\text{шп min}} = 1500 \frac{29}{35} \frac{33}{42} \frac{19}{42} \frac{22}{39} \frac{13}{50} \frac{13}{65} = 13 \text{ мин}^{-1}.$$

Шпиндель установлен в подшипниках повышенной точности и связан роликовой цепью с механизмом ограничения хода. Инструмент зажимается пакетом тарельчатых пружин. В станке предусмотрено устройство для удаления инструмента. На штангу-толкатель, проходящую через центральное отверстие шпинделя, воздействует рычаг, передающий усилие гидроцилиндра. Управляют гидроцилиндром с пульта управления. Датчик нарезания резьбы получает вращение от вала VII через зубчатую передачу 42/42.

Существует другое исполнение привода главного движения — с двигателем постоянного тока. Тогда коробка скоростей упрощается: в ней отсутствуют блоки Б1 — Б5 и муфта 2.

*Движение подачи* осуществляется от высокомоментных двигателей постоянного тока, обеспечивающих как рабочие подачи, так и ускоренные перемещения. В двигателях встроены тахогенератор и резольвер — датчик обратной связи.

Движение по оси Z шпиндель получает от двигателя M2 через передачи 19/38, 1/48 и реечную передачу. Реечное колесо  $z = 13$  расположено на одном валу с червячным колесом, а рейка служит гильзой шпинделя. Подача шпиндельной головки по рукаву (ось Y) происходит от двигателя M3 через передачу винт — гайка качения XIII. Перемещение салазок (ось X) обеспечивается двигателем M4 через передачу винт — гайка качения XIV.

Перемещение рукава по колонне осуществляется от двигателя M5 через муфту 1, зубчатые передачи 35/55, 16/48 и винт с шагом  $P = 6$  мм. Рукав зажимается под действием пружин, которые толкают клиновидный шток, воздействующий через толкатель и рычаги на прижимные планки. Зажимное устройство мгновенно срабатывает при выключении станка. Отжим рукава происходит с помощью гидроцилиндра (на рис. 4.8 не показан).

#### 4.4. Горизонтально-расточные станки

**Универсальный горизонтально-расточный станок с ручным управлением.** Станок предназначен для обработки заготовок больших размеров и массы. Станок (рис. 4.9) имеет неподвижную переднюю стойку 3, установленную на основании 11. На направляющих стойки может перемещаться вверх-вниз шпиндельная бабка 7 с расточным шпинделем 6 и планшайбой 5. На направляющих основания расположены салазки 10, а на них стол 9, который может перемещаться в продольном и попереч-

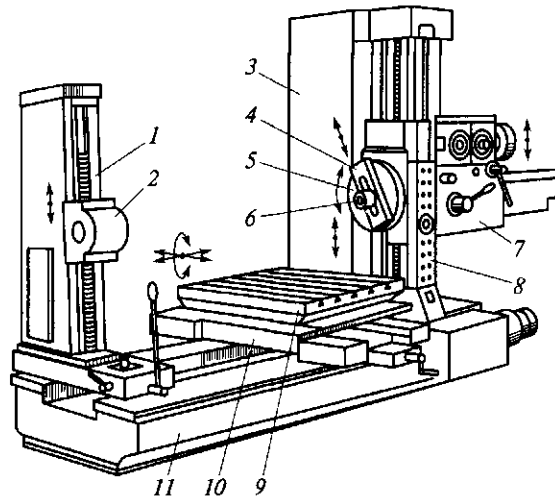


Рис. 4.9. Универсальный горизонтально-расточный станок:  
 1, 3 — стойки; 2 — люнет; 4 — суппорт; 5 — планшайба; 6 — шпиндель; 7 — шпиндельная бабка; 8 — пульт; 9 — стол; 10 — салазки; 11 — основание

ном направлениях относительно оси шпинделя и совершать круговое движение. На основании установлена задняя стойка 1 с люнетом 2, предназначенным для дополнительной опоры конца борштанги при растачивании длинных отверстий. На планшайбе в радиальных направляющих смонтирован суппорт 4, обеспечивающий обработку резцом плоских поверхностей и выточек. Управление станком осуществляется с пульта 8. Координаты перемещения шпиндельной бабки, люнета, задней стойки и стола отсчитываются по лимбам или с помощью навесных оптических устройств (с точностью до 0,01 мм).

Кинематическая схема станка приведена на рис. 4.10.

*Главное движение* — вращение — шпиндель и планшайба получают от двухскоростного электродвигателя М1, соединенного через муфту с валом I. Вал II через зубчатые колеса 26/64 (18/72 или 22/68) и далее вал III через зубчатые колеса 19/60 или 44/35 получают движение от вала I. Зубчатые колеса 19/61 передают вращение от вала III валу IV, от которого через зубчатые колеса 30/86 (или 74/41 в зависимости от положения муфты 1 двухстороннего действия) получает вращение шпиндель (вал VI). Минимальная частота вращения шпинделя

$$n_{\text{шп min}} = 1440 \frac{18}{72} \frac{19}{60} \frac{19}{61} \frac{30}{86} = 12,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Вращение планшайбы происходит при включенной муфте 2, соединяющей зубчатое колесо  $z = 21$  с валом IV. В этом случае минимальная частота вращения планшайбы

$$n_{\text{пл. min}} = 1440 \frac{18}{72} \frac{19}{60} \frac{19}{61} \frac{21}{92} = 8 \text{ мин}^{-1}.$$

Кинематика привода шпинделя обеспечивает 36 ступеней частот вращения, но поскольку 13 из них совпадают по значениям, то шпиндель имеет 23 различные частоты вращения, а планшайба — 15.

Вал V выполнен в виде трубы, вращаемой на подшипниках, внутри которой проходит шпиндель VI. Последний получает вращение от вала V и имеет осевое перемещение от гайки ходового винта 20×3.

Осевое *движение подачи* шпинделя производится ходовым винтом, получающим вращение от регулируемого электродвигателя М2 постоянного тока через зубчатые колеса 16/77, муфту 8, вал VII, конические зубчатые колеса 45/36 реверсивного механизма, вал VIII, червячную передачу 4/29, зубчатые колеса 35/37 (через муфту 4), зубчатые колеса 21/48 и 40/35. Положение муфты 8 контролируется конечным выключателем Вк.

Уравнение баланса кинематической цепи движения подачи вдоль оси шпинделя имеет вид

$$n_2 \frac{16}{77} \frac{45}{36} \frac{4}{29} \frac{35}{37} \frac{21}{48} \frac{40}{35} \cdot 3 \cdot 20 = v_{S_{\text{шп}}},$$

где  $n_2 = 1500 \text{ мин}^{-1}$ .

Радиальное движение подачи расточного суппорта планшайбы происходит от вала VII через конические колеса 45/36 (при включенной муфте 10), червячную передачу 4/29 (при включенной муфте 5), зубчатые колеса 64/50, планетарную передачу с колесами 16/32, 16/23 и далее через цилиндрические колеса (35/100)(100/23), конические колеса 17/17 и червячно-реечную передачу с шагом 16 мм, перемещающую суппорт планшайбы. Планетарная передача обеспечивает необходимую связь радиального перемещения суппорта с вращением планшайбы. С этой целью на планшайбе свободно установлено зубчатое колесо  $z = 100$ , получающее вращение от колеса  $z = 35$ , смонтированного на левом ведомом валу планетарной передачи. Ведущими звеньями этой передачи являются корпус (водило) и зубчатое колесо  $z = 16$ .

Продольное движение подачи стола осуществляется от вала VII через зубчатые колеса 26/65 (при включенной муфте 9), 16/40 и ходовой винт 10×2. Ручная подача осуществляется от рукоятки 12.

Поперечное движение подачи стола производится от вала VII через конические колеса 45/36/45 (для изменения направления движения стола служит муфта 10), зубчатые колеса 22/14/37, конические колеса 22/33, ходовой винт 8×1. Ручное движение подачи происходит от рукоятки 13.

Вертикальное движение подачи шпиндельной бабки осуществляется от вала VII через реверсивный механизм с зубчатыми колесами (муфту 7) 42/40, конические колеса 15/80, ходовой винт 8×2. Ручное движение подачи выполняется с помощью рукоятки 11. Одновременно в стойке может вертикально пере-

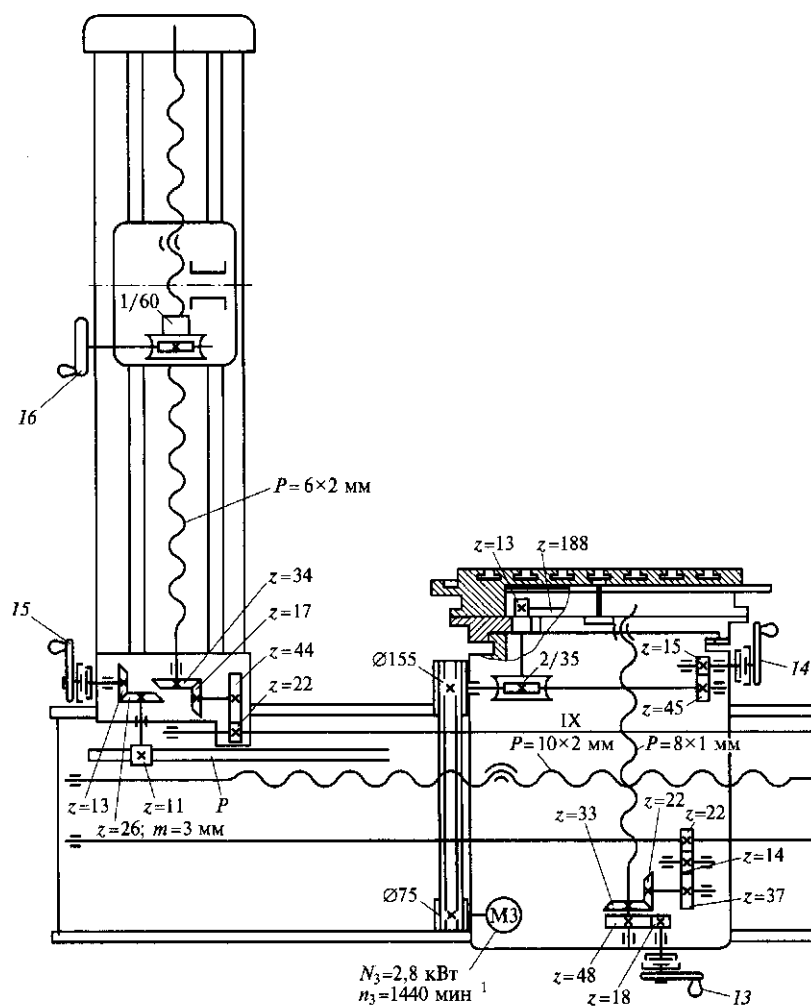
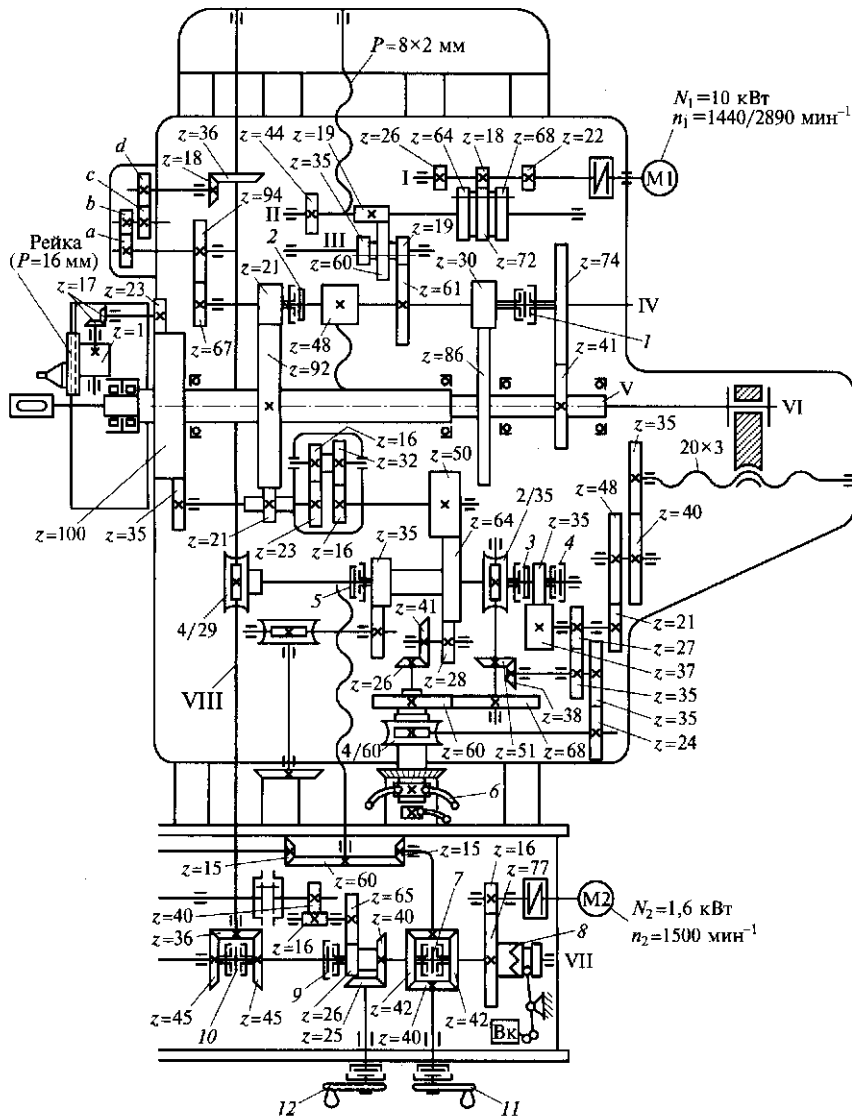


Рис. 4.10. Кинематическая схема универсального гори  
1—5, 7—10 — муфты; 6 — маховик; 11—16 —

мешаться люнет, получающий движение от вала IX через зубчатые колеса 22/44, конические зубчатые колеса 17/34 и ходовой винт 6х2.

Для ручного перемещения стойки служит рукоятка 15. Быстрые осевые перемещения шпинделя происходят вручную от маховика 6 при включении муфт 3 и 4.



горизонтально-расточной станок с ручным управлением:  
рукоятки; M1 — M3 — электродвигатели

Поворот стола может быть осуществлен от электродвигателя М3 через клиноременную передачу, червячную передачу 2/35, зубчатые колеса  $z = 13$  и  $z = 188$  (с внутренним зацеплением). Вручную стол поворачивают рукояткой 14.

Для того чтобы нарезать резьбу резцом, закрепленным на расточном шпинделе, требуется сообщить ему осевое перемещение за один оборот, равное шагу нарезаемой резьбы. При этом движение от шпинделя передается на вал IV, далее зубчатым колесам 67/94, сменным колесам  $a, b, c, d$ , коническим колесам 18/36, червячной передаче 4/29 и далее по цепи осевого движения подачи шпинделя. Для ручного регулирования положения люнета задней стойки предусмотрена червячная передача, работающая от рукоятки 16.

**Горизонтально-расточный станок с ЧПУ.** Этот станок используют в условиях единичного и мелкосерийного производства для сверления, зенкерования, растачивания, фрезерования и нарезания резьбы метчиками в заготовках из черных и цветных металлов.

Станок оснащен замкнутой позиционной системой ЧПУ. Предусмотрена цифровая индикация текущего и задаваемого значений перемещений по осям. В качестве датчиков обратной связи применены сельсины. Число управляемых осей координат (всего/одновременно) равно 5/2. Дискретность отсчета по осям  $X, Y, Z$  составляет 0,01 мм. Возможно введение коррекции длины и положения инструмента.

Станок выполнен с выдвижным шпинделем, продольно-подвижной стойкой и поперечно-подвижным поворотным столом. Шпиндель 9 станка (рис. 4.11) получает главное вращательное движение и осевое перемещение по оси  $Z$ . По горизонтальным направляющим станины 1 перемещаются салазки 14 стойки 7 от редуктора подач 15 по оси  $W$ . Стол 4 имеет поперечную подачу по оси  $X$  от редуктора подач 2 и запрограммированный поворот на угол  $B$ . По вертикальным направляющим стойки 7 перемещается шпиндельная бабка 8 по оси  $Y$ .

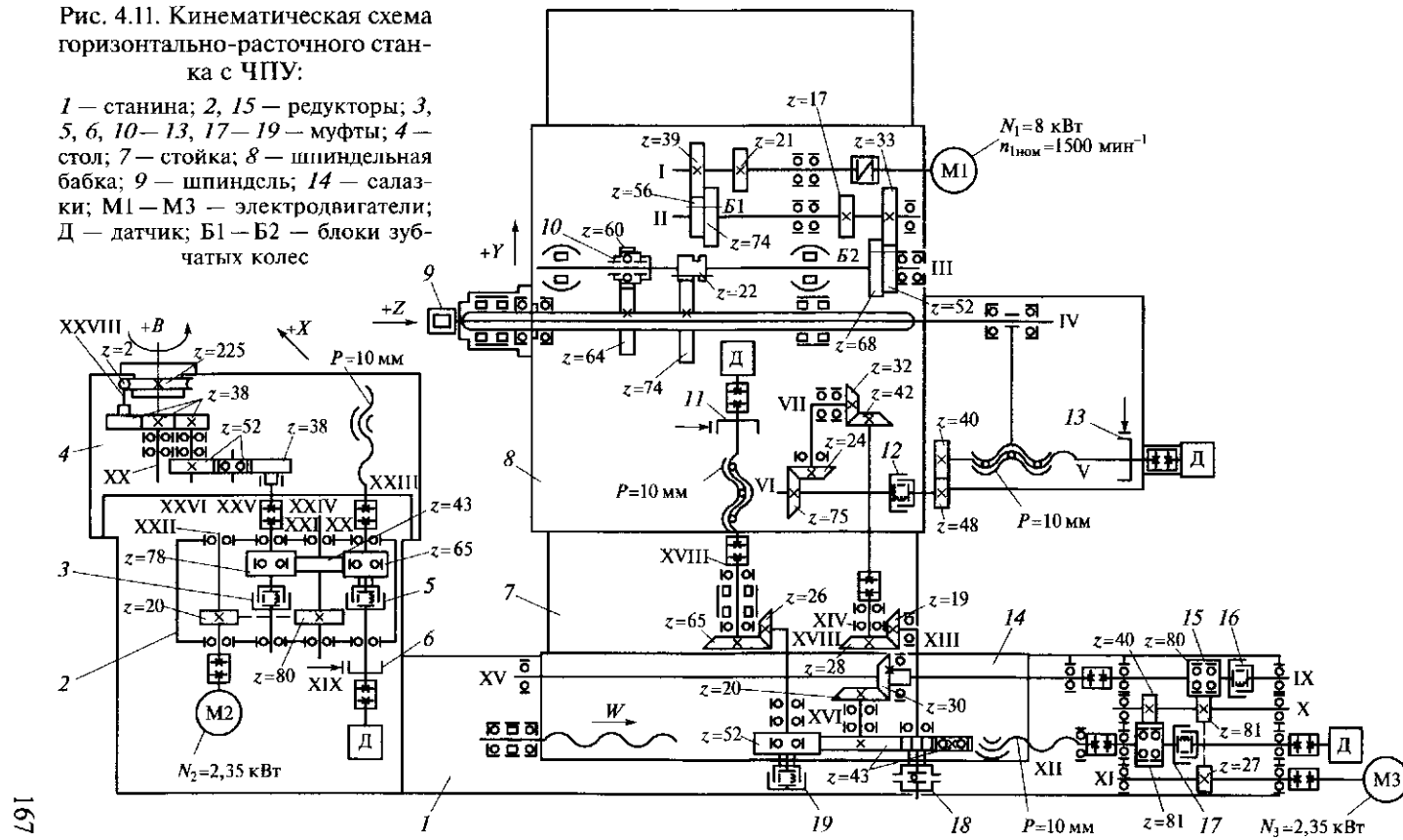
*Главное движение* шпиндель (вал IV) получает от электродвигателя постоянного тока М1 через блоки зубчатых колес Б1 и Б2 и через передачу 22/74 (или 60/64). Муфта 10 и блоки Б1, Б2 переключаются электрогидравлическим механизмом. При переключении механических ступеней подача отключается, а при электрическом регулировании не отключается.

Выходной вал I двигателя М1 имеет бесступенчато изменяемую частоту вращения  $600 \dots 3000 \text{ мин}^{-1}$ , поэтому минимальная частота вращения шпинделя определится следующим образом:

$$n_{\text{шп. min}} = 600 \frac{21}{74} \frac{17}{68} \frac{22}{74} = 12,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Рис. 4.11. Кинематическая схема горизонтально-расточного станка с ЧПУ:

1 — станина; 2, 15 — редукторы; 3, 5, 6, 10—13, 17—19 — муфты; 4 — стол; 7 — стойка; 8 — шпиндельная бабка; 9 — шпиндель; 14 — салазки; M1—M3 — электродвигатели; Д — датчик; Б1—Б2 — блоки зубчатых колес





Направление вращения шпинделя изменяется реверсированием двигателя. Механизм главного привода защищен от динамического воздействия упругой муфтой на валу I. Зажим инструмента производится с помощью пакета тарельчатых пружин, разжим — гидроцилиндром.

*Подачи (рабочие и установочные)* подвижных органов осуществляются электродвигателями постоянного тока М2 и М3 с бесступенчатым регулированием, включая быстрые и установочные перемещения. Подача шпинделя, салазок стойки и шпиндельной бабки выполняется от электродвигателя М3, поперечное перемещение и поворот стола — от электродвигателя М2.

Продольное перемещение салазки получают от вала XI через передачу 27/81 при включенной муфте 17 и ходовой винт XII с шагом  $P = 10$  мм. Винт жестко скреплен с выходным валом редуктора, а гайка — с корпусом салазок стойки.

Вертикальная подача шпиндельной бабки происходит от вала XI через передачи 27/81, 81/80 при включенной муфте 16, конические зубчатые колеса с круговым зубом 30/20, через зубчатую передачу 43/52 при включенной муфте 19, конические колеса с круговым зубом 26/65 и винт — гайку качения XVIII с шагом  $P = 10$  мм. Муфта 11 тормозная.

При минимальной частоте вращения вала электродвигателя М3, равной 1,2 об/мин, шпиндельная бабка будет иметь минимальную скорость подачи

$$v_{S \text{ шп min}} = 1,2 \frac{27}{81} \frac{81}{80} \frac{30}{20} \frac{43}{52} \frac{26}{65} \cdot 10 = 2 \text{ мм/мин,}$$

где 10 — шаг ходового винта, мм.

Осевая подача шпинделя осуществляется от вала XI через передачи 27/81, 81/80 (включена муфта 16), 30/20, 43/43 (муфта 18 — шариковая предохранительная), конические передачи с круговыми зубьями 19/28, 42/32, 24/75, электромагнитную муфту 12, передачу 48/40 и пару винт — гайка качения (вал V). На винте V расположена тормозная муфта 13.

При максимальной частоте вращения вала электродвигателя М3, равной 900 об/мин, шпиндель будет иметь максимальную скорость осевой подачи

$$v_{S \text{ шп max}} = 900 \frac{27}{81} \frac{81}{80} \frac{30}{20} \frac{43}{43} \frac{19}{28} \frac{42}{32} \frac{24}{75} \frac{48}{40} \cdot 10 = 1600 \text{ мм/мин.}$$

Поперечная подача стола происходит от вала XXII через передачи 20/80, 43/65 при включенной электромагнитной муфте 5 и ходовой винт XXIII с шагом  $P = 10$  мм. Муфта 6 тормозная. Со

всеми ходовыми винтами жестко скреплены датчики положения — сельсины Д.

Поворот стола осуществляется от вала XXII через передачи 20/80, 43/78 (включена муфта 3), 38/52, 52/52, 38/38, 38/38, червячную передачу 2/225. Для фиксации поворотного стола через 90° на салазках стола установлен индуктивный датчик, а на поворотном столе — четыре магнитопривода, конструкция которых позволяет регулировать угол поворота в небольших пределах. При подходе в зону датчика стол перемещается на заранее заданной небольшой скорости. Все подвижные механизмы станка зажимаются пакетом тарельчатых пружин, а отжимаются гидравликой.

Гидросистема станка осуществляет переключение механических ступеней главного привода, отжим подвижных органов станка, отжим инструмента в шпинделе.

#### 4.5. Координатно-расточные станки

**Назначение и конструктивные особенности.** Координатно-расточные станки предназначены для обработки отверстий с высокой точностью взаимного расположения относительно базовых поверхностей в корпусных деталях, кондукторных плитах, штампах в единичном и мелкосерийном производстве. На этих станках выполняют практически все операции, характерные для расточных станков. Кроме того, на координатно-расточных станках можно производить разметочные операции.

Для точного измерения координатных перемещений станки снабжены различными механическими, оптико-механическими, индуктивными и электронными устройствами отсчета, позволяющими измерять перемещения подвижных узлов с высокой точностью — 0,003 ... 0,005 мм. Станки снабжены универсальными поворотными столами, дающими возможность обрабатывать отверстия в полярной системе координат и наклонные отверстия.

По компоновке станки выполняют одностоечными и двухстоечными. Главным движением является вращение шпинделя, а движением подачи — вертикальное перемещение шпинделя. Установочные движения в одностоечных станках — продольное и поперечное перемещение стола на заданные координаты и вертикальное перемещение шпиндельной бабки в зависимости от высоты детали; в двухстоечных станках — продольное перемещение стола, поперечное перемещение шпиндельной бабки по траверсе и вертикальное перемещение траверсы со шпиндельной бабкой.

**Координатно-расточный станок с ручным управлением.** Общий вид одностоечного координатно-расточного станка по-

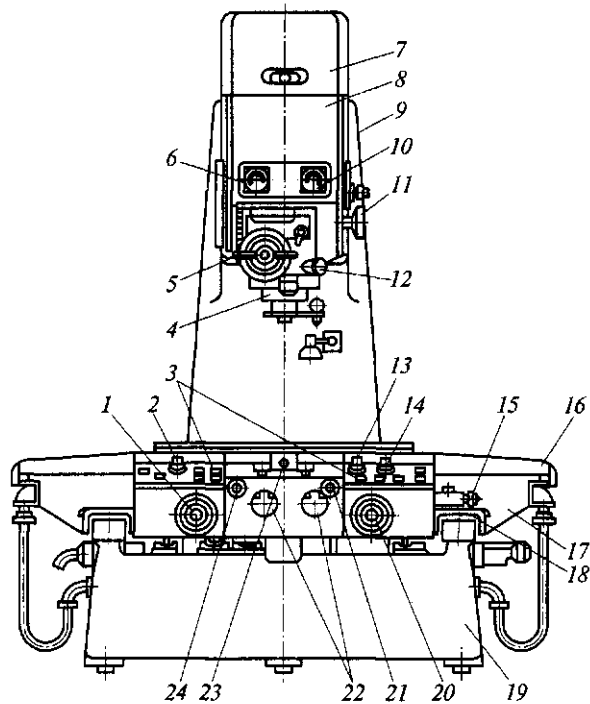


Рис. 4.12. Одностоечный координатно-расточный станок с ручным управлением:

1 — маховик ручного перемещения стола; 2 — кнопка перемещения салазок; 3 — пульты управления; 4 — шпиндель; 5 — рукоятка для ручного ускоренного перемещения шпинделя; 6 — указатель частоты вращения шпинделя; 7 — коробка скоростей; 8 — шпиндельная бабка; 9 — стойка; 10 — указатель скорости перемещения гильзы шпинделя; 11 — маховик для установки частоты вращения шпинделя; 12 — рукоятка для ручного точного перемещения шпинделя; 13 — кнопка перемещения гильзы шпинделя; 14 — кнопка перемещения стола; 15 — кнопка механизма набора координат салазок; 16 — стол; 17 — салазки; 18 — направляющие; 19 — станина; 20 — маховик ручного ускоренного перемещения стола; 21 — маховик ручного перемещения стола с микрометрической подачей; 22 — маховичок устройства приведения отсчета оптических систем к нулю; 23 — кнопка механизма набора координат стола; 24 — маховик ручного перемещения салазок с микрометрической подачей

казан на рис. 4.12. К станине 19 привинчена стойка 9, на направляющих которой смонтирована шпиндельная бабка 8, имеющая вертикальное перемещение. На шпиндельной бабке расположена коробка скоростей 7, передающая вращение шпинделю 4. На направляющих 18 станины установлены салазки 17, а на них — стол 16 с определенным размером рабочей поверхно-

сти. Продольное и поперечное бесступенчатое перемещение стола осуществляется от электродвигателя постоянного тока через червячные передачи, зубчатые колеса и рейки. На станке предусмотрены устройства для автоматического зажима-разжима стола и салазок во время работы. На шпиндельной бабке установлены указатель *6* частоты вращения шпинделя и указатель *10* скорости перемещения гильзы, рукоятки *5* и *12* для ручного ускоренного и точного перемещения шпинделя, а также маховик *11*, служащий для установки частоты вращения шпинделя.

На столе смонтированы пульта управления *3* с кнопками и регуляторами *2*, *14*, *13* скорости перемещения соответственно салазок, стола и гильзы шпинделя. Здесь же установлены маховики ручного перемещения салазок и стола: *1*, *20* — на ускоренном ходу, *24*, *21* — с микрометрической подачей, а также рукоятки *15*, *23* механизмов набора координат салазок и стола и маховички *22* устройства приведения отсчета оптических систем к нулю.

Бесступенчатое вращение шпиндель *8* (рис. 4.13, *а*) получает от электродвигателя постоянного тока М1 через сменную клиноремennую передачу  $d_1/d_2$ , зубчатые колеса 33/70 и 70/40 (или 33/70 и 19/56). Вертикальная подача гильзы *9* шпинделя осуществляется от регулируемого электродвигателя *4* постоянного тока посредством червячной передачи 1/38, зубчатых колес 21/21, червячной передачи 1/56, фрикционной муфты *3*, реечного зубчатого колеса  $z = 16$  и рейки *6*, закрепленной на гильзе. При выключенной муфте *3* производится ручное перемещение гильзы: ускоренное от маховика *1* и точное — от рукоятки *2* через передачу коническую 22/30 и червячную 1/56. Ускоренное перемещение шпиндельной бабки *10* выполняется от электродвигателя М2 с помощью червячной передачи 2/22 и далее однозатходного червяка *5* и рейки *6*.

Совмещение осей обрабатываемого отверстия и шпинделя осуществляется перемещением стола и салазок на заданные координаты.

Отсчет перемещений производится по стеклянным масштабным линейкам, смонтированным на столе и салазках станка. Шкала *12* линейки стола имеет 1000 высокоточных делений через 1 мм. На шкале *13* линейки салазок нанесено 630 делений через 0,01 мм. Кроме того, имеется микронная шкала *14*.

Риски делений проецируются на матовые экраны оптических устройств с 75-кратным увеличением. Таким образом, миллиметровый промежуток между делениями масштаба составляет 75 мм. На рис. 4.13, *б* проставлено число 73,543 мм: миллиметры отложены на шкале *12*, сотые — на шкале *13*, а тысячные — на шкале *14*.

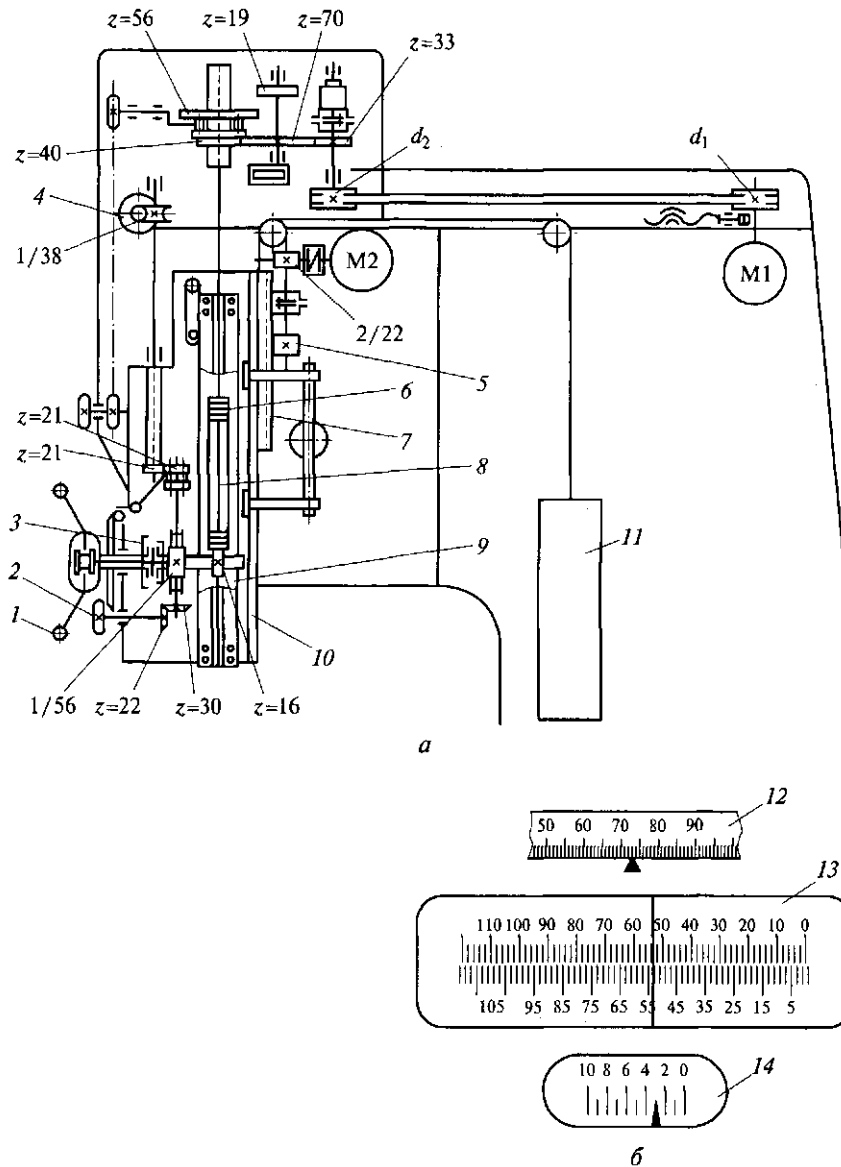


Рис. 4.13. Кинематическая схема шпиндельной бабки координатно-расточного станка (а) и шкалы его оптического устройства (б):  
 1 — маховик; 2 — рукоятка; 3 — муфта; 4 — регулируемый электродвигатель;  
 5 — червяк; 6, 7 — рейки; 8 — шпиндель; 9 — гильза; 10 — шпиндельная бабка; 11 — противовес; 12 — миллиметровая шкала; 13 — шкала сотых долей миллиметра; 14 — микронная шкала; M1, M2 — электродвигатели

Начальное положение целесообразно отсчитывать от нуля, для чего в системе отсчета имеются маховички устройства приведения отсчета к нулю (см. рис. 4.12, поз. 22).

**Координатно-расточные станки с ЧПУ.** Класс точности этих станков А и С; их выпускают в одностоечном и двухстоечном вертикальном исполнении с шириной стола 32... 2000 мм. Дискретность задания перемещений по осям составляет 0,0001... 0,005 мм. По уровню автоматизации различают станки с цифровой индикацией и предварительным набором координат; с ЧПУ; с ЧПУ и автоматической сменой инструментов и заготовок.

На координатно-расточных станках с ЧПУ кроме сверлильно-расточных можно выполнять и фрезерные работы при сохранении особо высокой точности. По конструкции станки с ЧПУ аналогичны координатно-расточным станкам с ручным управлением.

Координатно-расточные станки с ЧПУ устанавливаются на специальные виброизолирующие опоры в термоконстантных помещениях с температурой воздуха  $(20 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ .

#### **Контрольные вопросы**

1. В чем отличие узлов вертикально-сверлильного и координатно-расточного станков?
2. Какие движения выполняет режущий инструмент вертикально-сверлильного станка при обработке отверстий?
3. Назовите основные узлы радиально-сверлильного станка. Для обработки каких деталей он предназначен?
4. Чем отличается горизонтально-расточный станок от токарного, и есть ли в движениях их узлов что-то общее?
5. Какой режущий инструмент применяется при обработке изделий на горизонтально-расточном станке с ЧПУ?
6. Где крепится заготовка на горизонтально-расточном станке?
7. Каково назначение координатно-расточных станков? Назовите их основные узлы.

## ГЛАВА 5

### ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

#### 5.1. Назначение и классификация

Применение шлифовальных станков обусловлено высокими требованиями к точности размеров, формы и взаимного положения обрабатываемых поверхностей, а также возможностью обрабатывать закаленные заготовки и труднообрабатываемые материалы.

Шлифование — один из методов скоростной обработки металлов резанием, при котором припуск на обработку срезают абразивными (иногда алмазными) инструментами — шлифовальными кругами. Вращаясь вокруг своей оси с большой скоростью, шлифовальный круг снимает тонкий слой металла вершинами абразивных зерен, сцементированных связкой. Полученная таким образом поверхность представляет собой совокупность рисок, оставляемых вершинами абразивных зерен шлифовального круга. Как правило, шлифование является финишной обработкой изделия, поэтому к шлифовальным станкам предъявляют повышенные требования в отношении точности обработки и шероховатости обработанной поверхности.

По виду обрабатываемых поверхностей шлифовальные станки можно подразделить на несколько основных подгрупп. Так, цилиндрические поверхности обрабатывают на круглошлифовальных станках; плоские — на плоскошлифовальных; эвольвентные — на зубошлифовальных; винтовые — на резьбошлифовальных; фасонные поверхности — на профилешлифовальных. Зубошлифовальные и резьбошлифовальные станки будут рассмотрены в главах 6 и 7.

#### 5.2. Круглошлифовальные станки

**Круглошлифовальные станки с ручным управлением.** Эти станки предназначены для продольного и врезного шлифования наружных цилиндрических, пологих конических и торцовых поверхностей заготовок, устанавливаемых в центрах или в патроне. Станок оснащают приборами активного контроля размеров

обрабатываемой детали в процессе шлифования, что обеспечивает автоматический останов станка по достижении заданных размеров.

Универсальный круглошлифовальный полуавтомат с ручным управлением показан на рис. 5.1. На направляющих станины 19 смонтирован нижний стол 18, несущий на себе поворотный верхний стол 17 с установленными на нем передней 2 и задней 12 бабками. В задней бабке предусмотрена рукоятка 11 для ручного зажима пиноли. Верхний стол 17 при шлифовании конусов может поворачиваться вокруг оси, закрепленной на нижнем столе 18. Перемещение нижнего стола по направляющим станины вручную выполняется с помощью маховика 16 и специального механизма. При автоматизированном цикле обработки перемещение осуществляется от гидравлического цилиндра, находящегося в станине.

На задней стороне станины на поперечных направляющих смонтирована шлифовальная бабка 7 с механизмом быстрого подвода к обрабатываемой заготовке. На корпусе шлифовальной бабки закреплен механизм 8 поперечной подачи с маховиком 6, с помощью которого осуществляется поперечное движение вручную, и рукоятками для автоматического включения подачи. Для регулирования скорости черновой и чистовой подачи используются дроссели. На корпусе шлифовальной бабки установлено также устройство 5 автоматической правки круга.

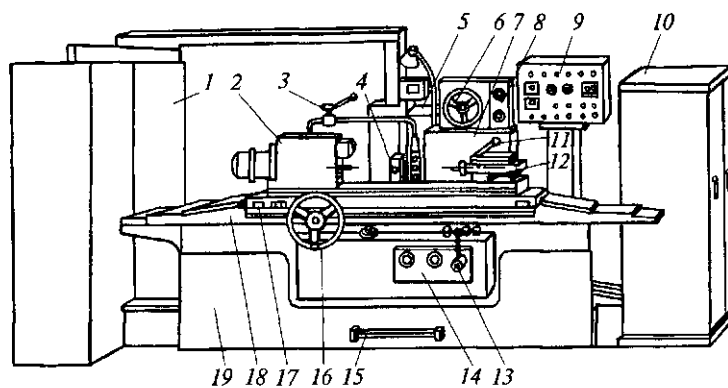


Рис. 5.1. Общий вид круглошлифовального станка:

1 — шкаф электрооборудования; 2 — передняя бабка; 3 — рукоятка подачи СОЖ; 4 — люнет; 5 — устройство автоматической правки круга; 6, 16 — маховики; 7 — шлифовальная бабка; 8 — механизм поперечной подачи; 9 — пульт управления; 10 — гидростанция; 11 — рукоятка ручного зажима пиноли задней бабки; 12 — задняя бабка; 13 — рукоятка подвода-отвода шлифовальной бабки; 14 — панель гидроуправления; 15 — педаль гидравлического отвода пиноли задней бабки; 17 — верхний стол; 18 — нижний стол; 19 — станина



На лицевой стороне станины расположена панель гидроуправления 14 с ручьяткой 13 быстрого подвода-отвода шлифовальной бабки и дросселями регулирования реверса и скорости стола. Педалью 15 производится гидравлический отвод пинולי задней бабки 12.

На стойке смонтирован пульт управления 9 с пусковыми кнопками и переключателями. С левой стороны станка расположен шкаф 1 электрооборудования, а с правой — гидростанция 10. Включение подачи СОЖ осуществляется ручьяткой 3. При необходимости на станке может быть установлен люнет 4.

Ответственным узлом станка является бабка шлифовального круга (рис. 5.2), в корпусе 1 которой смонтирован шпиндель 14 на двух гидродинамических подшипниках скольжения 2, имеющих три вкладыша. В осевом направлении шпиндель устанавливается по буртику между сферическими кольцами 10 и 12, закрепленными в неподвижной обойме 11 с помощью гайки 9 и контргайки 8.

Вращение шпинделю шлифовального круга 13 сообщается от электродвигателя через клиноременную передачу 5 на шкив 4.

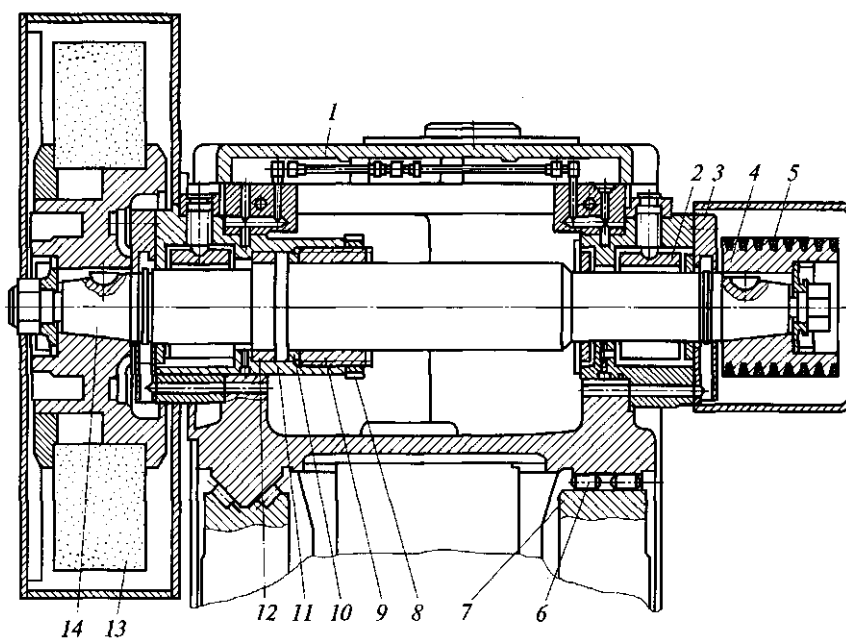


Рис. 5.2. Шлифовальная бабка круглошлифовального полуавтомата: 1 — корпус; 2 — подшипник скольжения; 3 — крышка; 4 — шкив; 5 — клиноременная передача; 6 — направляющие качения; 7 — станина; 8 — контргайка; 9 — гайка; 10, 12 — кольца; 11 — обойма; 13 — шлифовальный круг; 14 — шпиндель

Поперечное движение подачи шлифовальной бабки по направляющим качения 6 станины 7 осуществляется от механизма поперечных подач, установленного на станине.

На шлифовальной бабке 1 (рис. 5.3) устанавливается устройство правки шлифовального круга. Копирная система обеспечивает правку наружной поверхности круга по заданному профилю. Устройство включается автоматически при срабатывании реле счета обработанных заготовок или вручную — при нажатии кнопки. Устройство правки смонтировано на каретке 3, перемещаемой вдоль круга по роликовым направляющим 2 шлифовальной бабки 1 штоком 20 гидроцилиндра. Скорость движения штока регулируется бесступенчато дросселем. К каретке 3 привинчены роликовые направляющие 8, несущие суппорт 12 с пинолью 18 и установленным на ней алмазодержателем 19. Под действием пружин каретка прижимается к копиру 16, неподвижно укрепленному на шлифовальной бабке 1. Винты 17 служат для точного выставления копира. Перемещение пиноли 18 в суппорте 12 осуществляется от ходового винта 13, получающего вращение от маховика 14 через вал 15 и пару зубчатых колес 7, 5 или от храпового колеса 6, периодически поворачи-

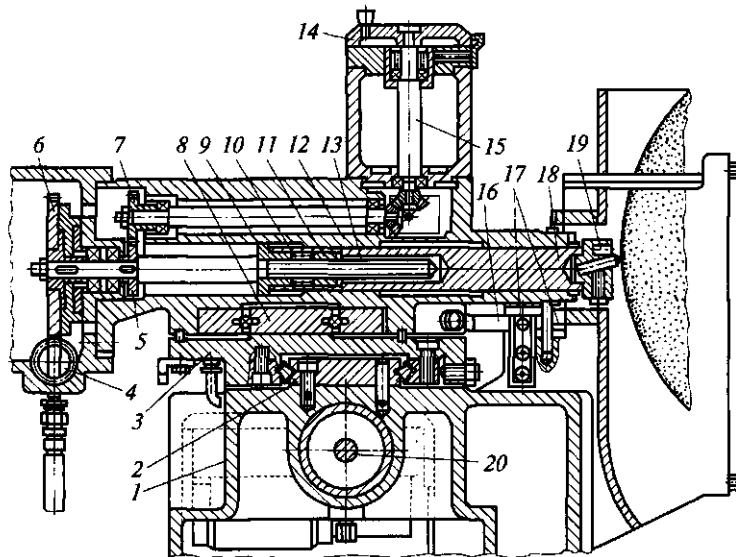


Рис. 5.3. Устройство автоматической правки круглошлифовального полуавтомата:

1 — шлифовальная бабка; 2, 8 — направляющие; 3 — каретка; 4 — плунжер; 5, 7 — зубчатые колеса; 6 — храповое колесо; 9, 11 — полугайки; 10 — пружина; 12 — суппорт; 13 — ходовой винт; 14 — маховик; 15 — вал; 16 — копир; 17 — винты; 18 — пиноль; 19 — алмазодержатель; 20 — шток

ваемого собачкой гидравлического плунжера 4. Устранение зазора в резьбе между ходовым винтом 13 и полугайками 9 и 11 осуществляется пружиной 10.

**Круглошлифовальные станки с ЧПУ.** При создании шлифовальных станков с ЧПУ возникают технические трудности, которые объясняются следующими причинами. Процесс шлифования характеризуется, с одной стороны, необходимостью получения высокой точности и качества поверхности при минимальном рассеянии размеров, с другой стороны — особенностью, заключающейся в быстрой потере размерной точности шлифовального круга вследствие его интенсивного изнашивания в процессе работы. В этом случае необходимо предусмотреть автоматическую компенсацию износа шлифовального круга. УЧПУ должно компенсировать деформации системы станок — приспособление — инструмент — заготовка (СПИЗ), температурные погрешности, различия припусков на заготовках, погрешности станка при перемещении по координатам и т. д. Измерительные системы должны иметь высокую разрешающую способность, обеспечивающую жесткие допуски на точность позиционирования. В круглошлифовальных станках такие системы обеспечивают непрерывное измерение диаметра заготовки в процессе обработки с относительной погрешностью не более  $2 \cdot 10^{-5}$  мм. Погрешность измерения продольных перемещений стола не превышает 0,1 мм.

Для круглошлифовальных станков используют системы типа CNC с управлением по трем-четырем координатам; взаимосвязь между оператором и системой ЧПУ станка в большинстве случаев осуществляется в диалоговом режиме с использованием дисплея. В системе ЧПУ применяют встроенные диагностические системы, повышающие надежность работы станков.

Круглошлифовальные станки с ЧПУ наиболее эффективны при обработке с одной установки многоступенчатых деталей типа шпинделей, валов электродвигателей, редукторов, турбин и т. д. Производительность повышается в основном благодаря сокращению вспомогательного времени на установку заготовки и съем готовой детали, на переустановку заготовки для обработки следующей шейки вала, на измерение и т. д. Для обработки многоступенчатых валов на круглошлифовальном станке с ЧПУ требуется в 1,5—2 раза меньше времени, чем на станке с ручным управлением.

Круглошлифовальный станок с ЧПУ имеет одинаковую компоновку, общие сборочные единицы со станком с ручным управлением. На станке с ЧПУ в автоматическом режиме можно производить продольное, врезное и строчное шлифование с последующим продольным шлифованием, обрабатывать торцы и буртики. В процессе шлифования осуществляется активный

контроль размеров обрабатываемых валов. Станок может встраиваться в автоматизированные участки, управляемые ЭВМ. Класс точности станка П, он обеспечивает 6-й квалитет обрабатываемых диаметров.

Станок оснащен системой ЧПУ типа CNC. По программе можно шлифовать восемь ступеней заготовки. Число программируемых координат две, работа выполняется последовательно по каждой координате. Два основных измерительных устройства и соответствующие им корректирующие системы позволяют определять отклонения размеров заготовки и шлифовального круга. Диаметральный износ круга контролируется (по оси  $X$ ) и корректируется косвенным путем при измерении заготовки в процессе обработки широкодиапазонным прибором активного контроля. Контроль базового торца заготовки (по оси  $Z'$ ) прибором осевой ориентации необходим для привязки заготовки к системе координат станка (например, в случае изменения глубины зацентровки). В момент касания детали щупом прибора осуществляется коррекция «нуля» датчика положения стола. Дискретность перемещения по оси  $X$  — 0,001 мм; по оси  $Z$  — 0,1 мм. Устройство цифровой индикации системы ЧПУ отображает положение рабочих органов и ход выполнения технологических команд.

Кинематическая схема круглошлифовального станка с ЧПУ показана на рис. 5.4.

По направляющим станины возвратно-поступательно перемещается стол с верхним поворотным столом (рис. 5.4, *a*); угол поворота до  $4^\circ$ . Заготовка, устанавливаемая в центрах передней и задней бабок, получает движение круговой подачи. По поперечным направляющим станины перемещается шлифовальная бабка, на корпусе которой размещен механизм поперечных подач. Шлифовальный шпиндель кроме вращательного движения имеет и осевое перемещение в автоматическом режиме. Вспомогательные движения: ввод и вывод измерительной скобы и прибора осевой ориентации; ручные перемещения стола и шлифовальной бабки; ускоренное перемещение шлифовальной бабки; подвод-отвод пиноли задней бабки; перемещение следящего упора; продольное перемещение измерительной скобы; продольное перемещение и подвод к шлифовальному кругу алмазного инструмента при правке. На станке установлен механизм для балансировки шлифовального круга.

*Главное движение* шпиндель VIII шлифовального круга получает от асинхронного электродвигателя М1 через клиноременную передачу. Шпиндель вращается в гидростатических подшипниках.

Осевое перемещение шпинделя шлифовального круга, необходимое для шлифования торцов заготовок, происходит от гид-

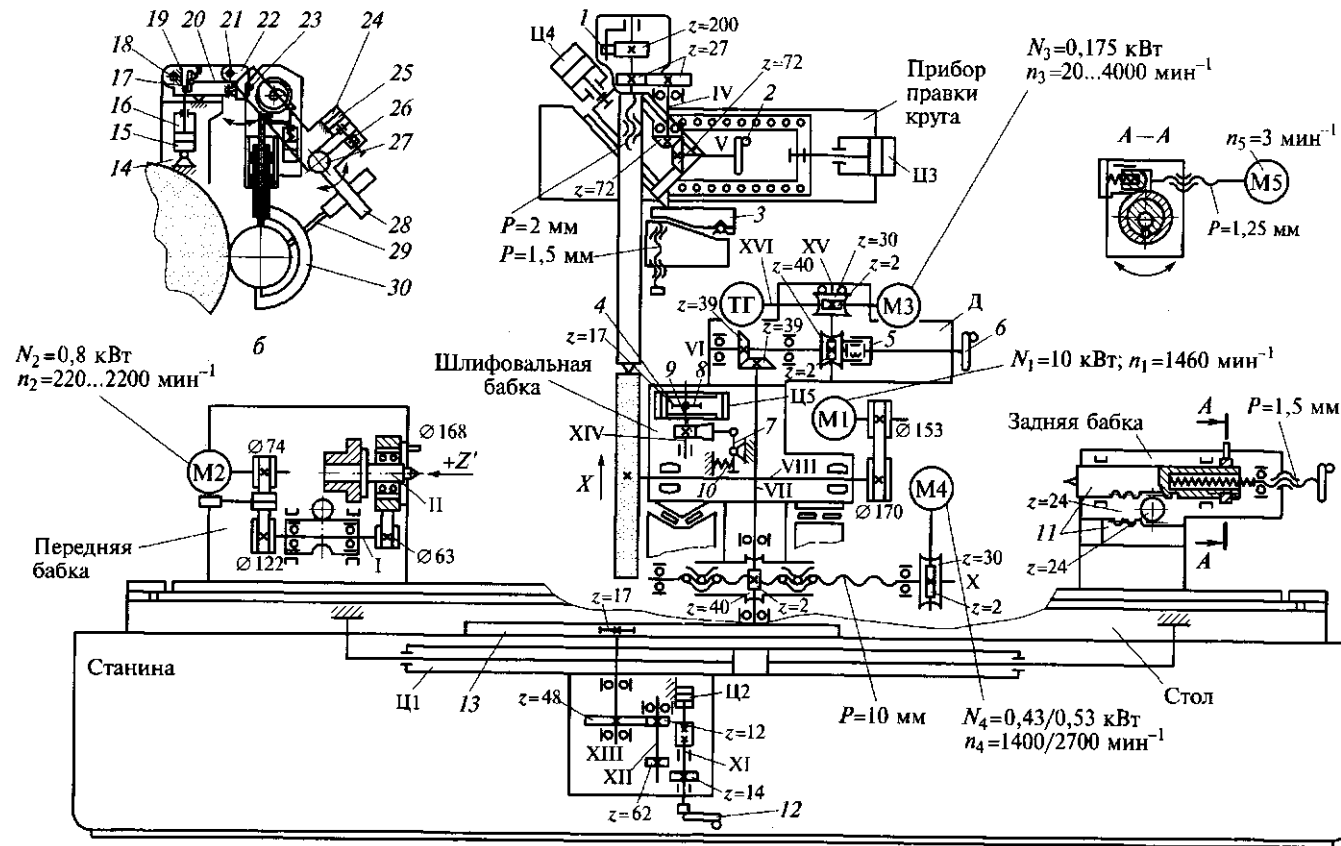


Рис. 5.4. Кинематическая схема круглошлифовального станка с ЧПУ (а) и схема механизмов ввода измерительной скобы и прибора осевой ориентации (б):

1 — собачка; 2, 6, 12 — маховики; 3 — копир; 4, 11 — рейки ( $m = 2$  мм); 5 — муфта; 7 — система рычагов; 8 — реечное колесо; 9 — кулачок; 10 — пружина; 13 — рейка ( $m = 3$  мм); 14 — колонна; 15, 24 — гидроцилиндры; 16, 23 — штоки; 17 — рычаг; 18, 21 — оси; 19 — корпус; 20 — штанга; 22, 28 — кронштейны; 25 — поршень; 26 — пружина; 27 — вал; 29 — прибор осевой ориентации; 30 — измерительная скоба; М1 — М5 — электродвигатели; Ц1 — Ц5 — гидроцилиндры

роцилиндра. Масло поступает в цилиндр Ц5 и перемещает поршень-рейку, которая поворачивает реечное колесо 8, вал XIV и кулачок 9. Последний, действуя на систему рычагов 7, перемещает шпиндель VIII (см. рис. 5.4). После контакта круга с торцом обрабатываемой заготовки форсированная подача прекращается, и происходит шлифование торца. В исходное положение шпиндель возвращается от пружины 10.

Перемещение стола осуществляется гидроцилиндром Ц1 или с помощью механизма ручного перемещения стола от маховика 12 через передачи 14/62, 12/48 и реечную передачу.

При перемещении стола от гидропривода механизм ручного перемещения стола автоматически выключается (гидроцилиндр Ц2, перемещая вал XI, выводит из зацепления колесо  $z = 14$ ).

Вращение заготовки осуществляется от электродвигателя постоянного тока М2 через две клиноременные передачи. Шпиндель II неподвижен, деталь вращается от поводка планшайбы.

Механизм *поперечных подач* должен обеспечить рабочую подачу, снижающуюся в ходе цикла в два раза, быструю подачу и установочное ручное перемещение шлифовальной бабки.

Автоматическая рабочая поперечная подача осуществляется от регулируемого электродвигателя постоянного тока М3 через червячные пары 2/30 и 2/40 при включении электромагнитной муфты 5, далее через передачи 39/39 и 2/40. Скорость вращения двигателя контролируется тахогенератором ТГ, чем обеспечивается стабильная частота вращения при изменении нагрузки.

При врезном шлифовании уменьшение подачи от форсированной до доводочной происходит за счет изменения частоты вращения  $n_3$  выходного вала электродвигателя М3, регулируемой управляющими сигналами измерительных устройств. Скорость  $v_s$  движения рабочей поперечной подачи определяют из уравнения баланса данной кинематической цепи

$$n_3 \frac{2}{30} \frac{2}{40} \frac{39}{39} \frac{2}{40} P = v_s,$$

где  $n_3$  — частота вращения электродвигателя М3;  $P$  — шаг ходового винта:  $P = 10$  мм.

Периодическая поперечная подача возможна при периодическом включении муфты 5. Быстрое поперечное перемещение шлифовальной бабки осуществляется от двухскоростного асинхронного электродвигателя М4 через червячную передачу 2/30 и передачу винт — гайка качения X.

Установочный подвод осуществляют маховиком 6 через конические колеса 39/39, червячную передачу 2/40 и пару винт — гайка качения (вал X) с шагом  $P = 10$  мм.

Пиноль задней бабки отводится с помощью гидропривода при перемещении поршня-рейки с модулем  $m = 2$  мм или вручную поворотом вала колеса  $z = 24$ . Для зажима заготовки в центрах используется пружинный привод. На бабке имеется механизм, позволяющий регулировать конусообразность шлифуемой детали. Этот механизм работает следующим образом. Конусное отверстие под центр расточено эксцентрично относительно наружного диаметра пиноли (см. рис. 5.4, разрез  $A-A$ ), поэтому при включении электродвигателя М5 возможна подача детали на шлифовальный круг поворотом пиноли. При этом центр задней бабки может перемещаться на  $\pm 0,05$  мм. Шлифование шейки, находящейся у передней бабки, происходит после предварительной установки оси центров заготовки. Когда размер этой шейки выполнен, шлифуют шейку, находящуюся у задней бабки. Датчик положения шлифовальной бабки контролирует размер шейки. Бабка в определенный момент останавливается, и начинается подача от механизма регулирования конусообразности.

Для *правки шлифовального круга* алмаз, закрепленный в пиноли устройства правки, подается на шлифовальный круг автоматически или вручную вращением маховика 2 на валу V через зубчатые передачи 22/72, 27/27 и ходовой винт III с шагом  $P = 2$  мм. При автоматической правке от гидросистемы плунжер (на рис. 5.4, *a* не показан) с помощью собачки 1 поворачивает храповое колесо  $z = 200$ , закрепленное на винте III. Угол поворота регулируется упором. Продольное перемещение каретки механизма правки осуществляется от гидроцилиндра Ц3. На каретке под углом  $45^\circ$  от гидроцилиндра Ц4 движется корпус, опирающийся шупом на копир 3, который обеспечивает правку шлифовального круга за один или два рабочих хода. Тонкую регулировку положения копира производят вручную винтом с шагом  $P = 1,5$  мм.

Схема механизмов ввода измерительной скобы и прибора осевой ориентации показана на рис. 5.4, *б*. В колонне 14 шарнирно смонтирован цилиндр 15. Измерительная скоба 30 закреплена на штоке 23 (гидроцилиндр не показан), который пе-

ремещается вдоль оси шлифовального круга и имеет два крайних положения. Для вывода скобы из зоны шлифования масло подается в нижнюю полость гидроцилиндра 15, при этом шток 16 через рычаг 17 действует на штангу 20, поворачивая корпус 19 скобы относительно оси 21. Скоба выведена из зоны измерения, но еще не поднялась вверх. При дальнейшем движении штока 16 скоба и закрепленный на кронштейне 22 механизм ввода прибора осевой ориентации поворачиваются вокруг оси 18 и поднимаются вверх. Ввод измерительной скобы осуществляется при движении поршня вниз.

Прибор осевой ориентации 29 закреплен клеммным зажимом на кронштейне 28, качательное движение которому вокруг вала 27 сообщается через поршень 25 гидроцилиндра 24. При вводе прибора масло поступает в бесштоковую полость цилиндра 24, при выводе — в штоковую. Конечные положения поршня фиксируются микропереключателями. Пружина 26 срабатывает при отсутствии давления масла в штоковой полости.

*Автоматизированный цикл* работы станка с ЧПУ предусматривает:

- включение электродвигателя гидросистемы, насосов смазывания и магнитного сепаратора, а затем и привода шлифовального круга;
- подъем измерительной скобы, подвод пиноли задней бабки, зажим заготовки в центрах;
- при нажатии кнопки «Автомат» на панели пульта управления: а) шлифовальная бабка уходит в крайнее заднее положение, контролируемое конечным выключателем; б) стол занимает положение, соответствующее координате торца первой шлифуемой ступени заготовки без учета коррекции на зацентровку; в) подводится измерительная скоба и прибор осевой ориентации; щуп прибора упирается в заготовку, включается движение стола вправо до касания базового торца заготовки щупа прибора; г) производится совмещение начала отсчета системы по координате  $Z'$  установленной заготовки; д) отводится щуп прибора осевой ориентации;
- движение шлифовальной бабки вперед со скоростью быстрого подвода (1700 мм/мин) до тех пор, пока датчик положения шлифовальной бабки не войдет в зацепление со следящим упором и не даст команду на замедление скорости в 2 раза. Включается вращение заготовки и подача СОЖ;
- дальнейшее движение шлифовальной бабки; на расстоянии 2...3 мм до заданного размера скорость движения шлифовальной бабки замедляется до скорости 6 мм/мин (форсированная подача);
- скорость перемещения шлифовальной бабки переключается с форсированной на первую рабочую по команде реле каса-



ния шлифовального круга с заготовкой либо по команде от датчика положения шлифовальной бабки (если припуск на заготовку меньше 0,2 мм);

- скорость шлифовальной бабки переключается с первой на вторую по команде датчика положения шлифовальной бабки. При переключении скорости на вторую губки измерительной скобы смыкаются на заготовке и дальнейшие команды — переход на доводочную скорость бабки и окончание обработки — дает скоба. При обработке прерывистых поверхностей нельзя использовать измерительную скобу, поэтому окончательная обработка ведется по командам датчика;

- после обработки первой ступени заготовки стол перемещается для установки следующей ступени напротив шлифовального круга. После обработки последней ступени заготовки шлифовальная бабка отходит в заднее крайнее положение, отводится измерительный прибор. Станок подготовлен для съема обработанной детали и установки новой заготовки и повторения цикла обработки.

Автоматическая правка шлифовального круга осуществляется после обработки всех ступеней заготовки. Для компенсации износа круга в момент подачи команды на обработку первой ступени заготовки вводится радиальная коррекция. Диаметр первой ступени контролируется измерительной скобой.

Гидросистема станка выполняет следующие функции: продольное реверсивное перемещение стола с девятью фиксированными скоростями; продольное перемещение измерительной скобы, развод губок измерительной скобы, подвод и отвод шупа прибора осевой ориентации, ввод и вывод измерительной скобы; отвод пиноли задней бабки; управление устройством правки круга; перемещение шпинделя шлифовальной бабки для правки торца; устранение зазора в механизме быстрого подвода шлифовальной бабки; отключение механизма ручного перемещения стола; смазывание подшипников шпинделя шлифовальной бабки и направляющих стола.

### **5.3. Бесцентрово-шлифовальные станки**

**Бесцентрово-шлифовальные станки с ручным управлением.** Бесцентровое круглое шлифование по сравнению с центровым обеспечивает более точную и производительную обработку заготовок малого диаметра при большой длине и заготовок без центровых отверстий.

Шлифование заготовок на станках происходит при продольном движении подачи заготовки, т. е. напроход (рис. 5.5, а), при поперечном движении подачи круга (методом врезания) на всю

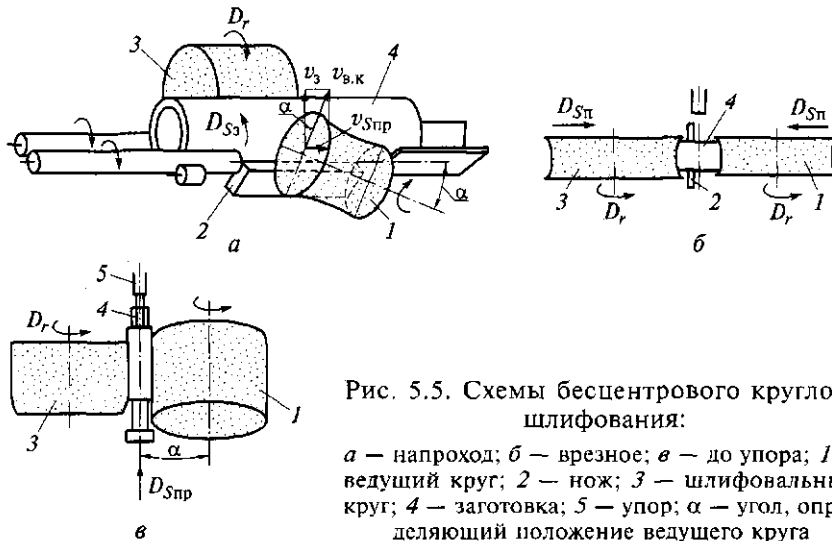


Рис. 5.5. Схемы бесцентрового круглого шлифования:

*a* — напроход; *б* — врезное; *в* — до упора; 1 — ведущий круг; 2 — нож; 3 — шлифовальный круг; 4 — заготовка; 5 — упор;  $\alpha$  — угол, определяющий положение ведущего круга

ширину обработки (рис. 5.5, *б*), при продольном движении подачи заготовки до упора на высоту круга (рис. 5.5, *в*). Первым способом шлифуют заготовки без выступов, вторым — фасонные, конические и ступенчатые поверхности, третьим — заготовки, которые не могут полностью пройти между шлифовальным и ведущим кругами. В этом случае заготовка 4 шлифуется с продольным перемещением вдоль оси до упора 5, после чего бабка шлифовального 3 (или ведущего 1) круга отходит и заготовка удаляется из рабочей зоны.

При бесцентровом шлифовании заготовка 4 всегда устанавливается на опорном ноже 2. При продольном шлифовании перемещение заготовки на ноже 2 вдоль периферии шлифовального круга 3 осуществляется посредством поворота ведущего круга 1 или путем наклона опорного ножа. Ведущий круг (или опорный нож) устанавливают под углом  $\alpha = 1,5 \dots 6^\circ$  к оси заготовки при предварительном и  $\alpha = 0,5 \dots 1,5^\circ$  при окончательном шлифовании. В этом случае скорость  $v_{S_3}$  круговой подачи заготовки зависит от скорости  $v_{в.к}$  вращения ведущего круга (см. рис. 5.5, *a*):  $v_{S_3} = v_{в.к} \cos \alpha$ .

Скорость  $v_{S_{пр}}$  продольной подачи заготовки также зависит от угла  $\alpha$  поворота ведущего круга и его скорости вращения:  $v_{S_{пр}} = v_{в.к} \sin \alpha$ .

Шлифовальный круг совершает *главное вращательное движение*, обеспечивая скорость резания 50... 100 м/с, снимает припуск с заготовки, а ведущий круг имеет линейную скорость на периферии 1... 3 м/мин и вращает заготовку со скоростью круговой подачи  $v_{S_3} = 1 \dots 100$  м/мин.

При врезном шлифовании принимают  $\alpha \leq 1^\circ$ , поэтому заготовка только вращается и прижимается к ножу, а ведущий или шлифовальный круг получает *движение поперечной подачи* в радиальном направлении относительно заготовки.

Бесцентрово-шлифовальные станки изготовляют с горизонтальным (рис. 5.6, а, б, з), наклонным (рис. 5.6, в) и вертикальным (редко) расположением линии, соединяющей центры шпинделей кругов. По способу осуществления движения поперечной подачи и настройки на размер заготовки 1 различают станки с перемещением бабки ведущего круга 2 и суппорта опорного ножа 3 относительно неподвижной шлифовальной бабки 4 (см. рис. 5.6, а); с перемещением шлифовальной бабки 4 и бабки ведущего круга 2 относительно неподвижного суппорта опорного ножа 3 (см. рис. 5.6, б, в). Применение станков с неподвижным суппортом обеспечивает постоянство положения оси заготовки независимо от износа кругов, что облегчает встройку станков в автоматические линии. Подача на глубину может осуществляться поперечным перемещением шлифовальной бабки 4 по направляющим станины.

В условиях массового производства бесцентрово-шлифовальные станки характеризуются высокой производительностью и точностью обработки. В мелкосерийном и индивидуальном производстве применение таких станков ограничено из-за трудоемкости переналадки. Расширение областей применения бесцентрово-шлифовальных станков сдерживают два фактора: большие затраты времени на правку кругов и сложность наладки станка, что требует значительных затрат времени и высокой квалификации персонала. Это объясняется тем, что в конструкции этих станков существуют шлифовальный и ведущий круги; устройства правки, обеспечивающие придание соответствующей формы поверхностям шлифовального и ведущего кругов;

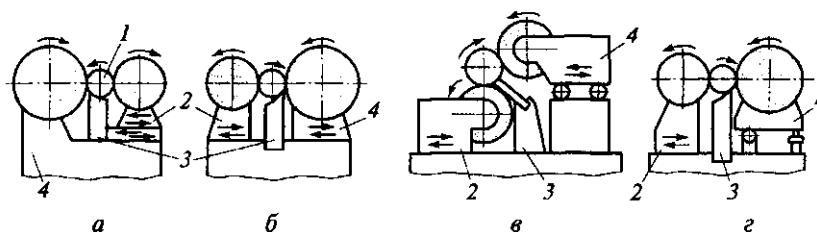


Рис. 5.6. Принципиальные схемы компоновки узлов бесцентрово-шлифовальных станков с горизонтальным (а, б, з) и наклонным (в) расположением линии, соединяющей центры шпинделей шлифовальных кругов:

1 — заготовка; 2 — бабка ведущего круга; 3 — нож; 4 — шлифовальная бабка

возможность установки положения опорного ножа; механизмы компенсационных подач шлифовального круга на обрабатываемую деталь и на правку, а также ведущего круга на деталь и на правку; установка положения загрузочного и разгрузочного устройства.

**Бесцентрово-шлифовальные станки с ЧПУ.** Применение ЧПУ позволило управлять многокоординатными перемещениями при обработке на бесцентрово-шлифовальных станках. В системе ЧПУ используют программные модули, которые рассчитывают траектории шлифовального круга и его коррекцию. Для обработки деталей различной геометрической формы (конус, шар и др.) создается специальное программное обеспечение: диспетчер режимов, интерполятор и модуль управления приводами.

При обработке заготовок и правке кругов число сочетаемых управляемых координат может достигать до 19, в том числе по две-три координаты отдельно для правки шлифовального и ведущего кругов.

В условиях серийного производства применение систем ЧПУ обеспечивает гибкое построение цикла шлифования и правки, благодаря чему сокращается время переналадки станков на обработку других изделий. Наличие многокоординатной системы ЧПУ делает станок более универсальным, позволяет использовать малые величины подачи кругов, что способствует эффективному управлению процессами шлифования и правки.

Система ЧПУ бесцентрово-шлифовальных станков строится по агрегатному принципу. Возможна реализация любого из четырех вариантов управления станком:

- одна управляемая координата — поперечная подача шлифовального круга;
- две управляемые координаты — поперечная подача шлифовального круга и правящего алмаза в целях их синхронизации;
- три управляемые координаты — поперечная подача шлифовального круга, а также поперечная и продольная подачи алмаза при правке шлифовального круга;
- пять управляемых координат — поперечная подача шлифовального круга, а также поперечная и продольная подачи алмазов при правке шлифовального и ведущего кругов.

Использование системы ЧПУ для управления бесцентрово-шлифовальными станками дает возможность существенно упростить конструкции ряда механических узлов: устройств правки кругов (в результате отказа от копирных линеек, механизмов подачи алмазов и т. д.), приводов продольного перемещения этих устройств, механизмов тонкой подачи шлифовального и ведущего кругов, контрольных и контрольно-подналадочных устройств и др.

#### 5.4. Внутришлифовальные станки

**Назначение и классификация.** Внутришлифовальные станки с ручным управлением предназначены для шлифования отверстий цилиндрической и конической форм, а также торцов заготовки. Эти станки делятся на обычные и планетарные; последние используются для обработки крупных или несимметричных заготовок.

При обработке заготовок на внутришлифовальных станках осуществляются следующие движения: главное — вращение шлифовального круга; круговой подачи — вращение заготовки; продольной подачи — возвратно-поступательное перемещение стола; поперечной подачи (врезание) — перемещение шлифовальной бабки в радиальном по отношению к заготовке направлении. Врезание большей частью используется для шлифования закрытых и коротких открытых отверстий. В целях равномерного изнашивания круга сообщается осциллирующее движение.

Для обработки больших отверстий в заготовках крупных корпусных деталей применяют внутришлифовальные станки планетарного типа. В этом случае заготовка на станке устанавливается неподвижно, а шлифовальный шпиндель с вращающимся кругом совершает планетарное движение вокруг оси обрабатываемого отверстия.

Основным параметром, характеризующим внутришлифовальные станки, является наибольший диаметр шлифуемого отверстия.

**Патронный внутришлифовальный станок.** Для обработки цилиндрических и конических отверстий (диаметром 50 ... 200 мм и длиной до 200 мм) в мелкосерийном и среднесерийном производстве используются патронные внутришлифовальные станки.

Основные узлы станка: станина 18 (рис. 5.7), на направляющих которой смонтирован стол 17 с шлифовальной бабкой 14 и шпиндель с шлифовальным кругом 11. Шлифовальная бабка перемещается по поперечным верхним направляющим качения механически или вручную от маховика 13. С левой стороны станины на салазках 5 моста 3 установлена бабка 6 со шпинделем и патроном 8 для установки заготовки. Посредством салазок бабка изделия получает установочное поперечное перемещение от винта 4, а также при необходимости поворот на угол для шлифования конических отверстий.

Продольное перемещение стола осуществляется от гидропривода, расположенного в станине и управляемого от панели рукояткой 20. Ручное продольное движение стола производится маховиком 19. Торцешлифовальное устройство 12, установленное на бабке 6, может поворачиваться из верхнего положе-

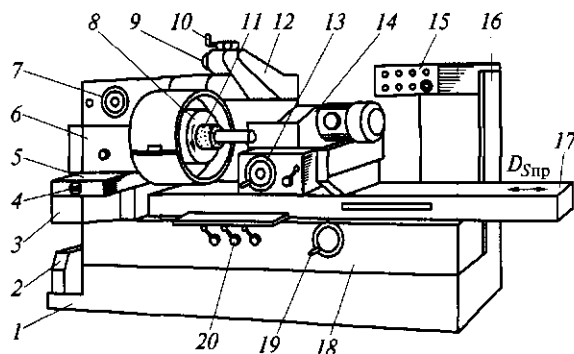


Рис. 5.7. Патронный внутришлифовальный станок:

1 — бак (поддон); 2 — насос; 3 — мост; 4 — винт; 5 — салазки; 6 — бабка изделия; 7, 10, 13, 19 — маховики; 8 — патрон; 9, 11 — шлифовальные круги; 12 — устройство для шлифования торцов; 14 — шлифовальная бабка; 15 — пульт управления; 16 — шкаф электрооборудования; 17 — стол; 18 — станина; 20 — рукоятка

ния в рабочее — механически или с помощью маховика 7; оно предназначено для возможности обработки с одной установки кругом 9 торца заготовки. Ручное перемещение круга на врезание может осуществляться от маховика 10. Охлаждающая жидкость подается электронасосом 2 из бака 1. Электроаппаратура с пультом управления 15 расположена в электрошкафу 16.

В процессе шлифования вращаются заготовка и шлифовальный круг с одновременным возвратно-поступательным перемещением стола. Шлифовальной бабке периодически сообщается поперечное движение подачи.

Контроль заданного размера шлифуемого отверстия на станке производится либо по лимбу механизма поперечной подачи шлифовальной бабки, либо измерительным прибором.

*Главное движение* — вращение шпинделя шлифовального круга 6 производится от электродвигателя М3 (рис. 5.8) посредством плоскоременной передачи. Наибольшая частота вращения шпинделя  $n_{шп\ max} = 2900 \cdot 0,98 \cdot 250/60 = 1200 \text{ мин}^{-1}$ , где 0,98 — коэффициент проскальзывания ремня. Вращение круга устройства для торцового шлифования 4 происходит от электродвигателя М2 с помощью ременной передачи 130/90.

*Движение круговой подачи* — вращение шпинделя бабки изделия 1 осуществляется от бесступенчато регулируемого электродвигателя М1 посредством клиноременной передачи 90/225. Наибольшая частота вращения заготовки составляет  $n_{з\ max} = 1500 \cdot 0,98 \cdot 90/225 = 600 \text{ мин}^{-1}$ .

*Продольное перемещение стола* 8 происходит от гидравлического цилиндра Ц2. Скорость стола регулируется бесступен-



чато в пределах 0,1 ... 12 мм/мин. Ручное движение стол получает от маховика 13 узла 14; за один оборот маховика перемещение составляет

$$1 \text{ об. мах. } \frac{22}{60} \frac{22}{60} \pi m z \approx 19 \text{ мм,}$$

где  $m$ ,  $z$  — соответственно модуль рейки и число зубьев реечного колеса:  $m = 2,5$  мм,  $z = 18$ .

*Поперечное перемещение шлифовальной бабки 7* осуществляется от коробки подач 11, а ручное перемещение — от маховика 12.

*Продольное и круговое перемещения торцешлифовального устройства* вручную производятся вращением маховика 2. За один его оборот торцовый шлифовальный круг подается на расстояние

$$1 \text{ об. мах. } \frac{14}{40} \pi m z \approx 53 \text{ мм,}$$

где  $m$  — модуль рейки:  $m = 3$  мм;  $z$  — число зубьев реечного колеса:  $z = 16$ .

Поворот устройства из верхнего положения в нижнее (рабочее) осуществляется посредством гидроцилиндра Ц1. На штоке гидроцилиндра имеется рейка, которая зацепляется с зубчатым колесом, жестко посаженным на оси 4 хобота 3. При перемещении поршня рейка вращает колесо, а вместе с ним и хобот торцешлифовального устройства, перемещая его из верхнего положения в нижнее (или наоборот).

*Подача торцешлифовального устройства на врезание* выполняется вращением маховика 10 через червячную и винтовую передачи. Подача составляет 0,1 мм/об маховика. Установочное перемещение бабки изделия 1 выполняется винтом 15.

Наладочное перемещение алмаза для *правки шлифовального круга* происходит при перемещении устройства правки 9. Подача осуществляется при вращении маховика 5. Торцешлифовальный круг правится вручную, для чего предусмотрено качательное движение оправки, несущей алмаз.

*Продольное возвратно-поступательное движение стола* осуществляется от гидроцилиндра Ц2.

**Внутришлифовальный автомат.** В крупносерийном и массовом производствах широко применяют специализированные внутришлифовальные станки. В качестве примера на рис. 5.9, а приведен общий вид внутришлифовального автомата для обработки колец подшипников с базированием на неподвижных радиальных опорах и приводом вращения от магнитного патро-



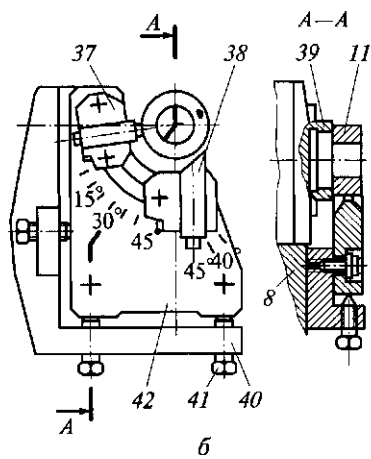
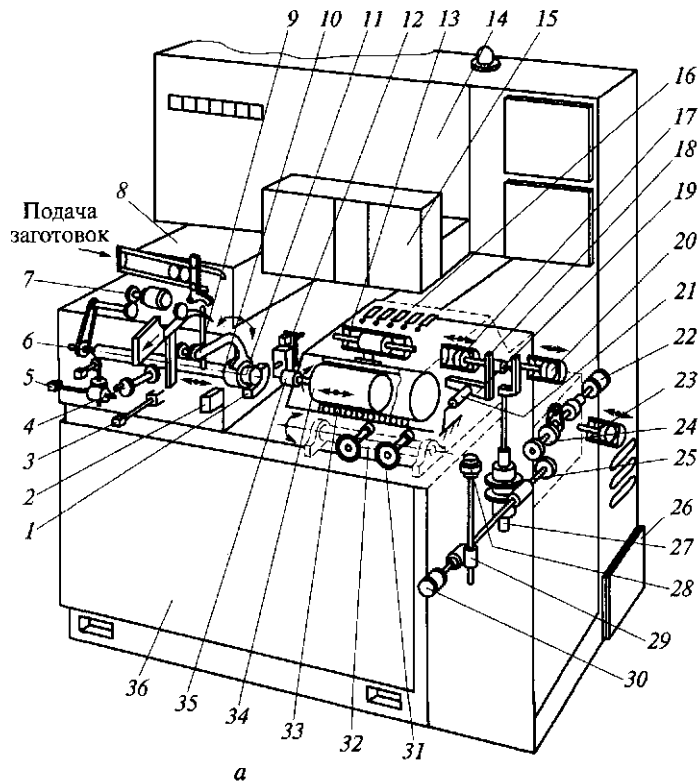


Рис. 5.9. Специализированный внутришлифовальный автомат (а) и устройство базирования колец на башмаках (б):

1 — устройство базирования; 2 — измерительный прибор; 3, 5, 27, 41 — винты; 4, 31 — маховики; 6 — шпиндель; 7, 28 — электродвигатели; 8 — бабка изделия; 9 — механизм загрузки-выгрузки; 10 — магнитный патрон; 11 — заготовка; 12 — прибор правки; 13, 17, 20, 22, 23, 30 — гидроцилиндры; 14 — электрошкаф; 15 — пульт; 16 — шлифовальная бабка; 18 — рычаг; 19 — линейка; 21 — ролик; 24 — механизм компенсации; 25 — червячное колесо; 26 — гидростанция; 29 — червячная передача; 32 — ось; 33 — направляющие качения; 34 — электрошпиндель; 35 — шлифовальный круг; 36 — станна; 37 — корпус приспособления; 38 — башмак; 39 — стакан; 40, 42 — плиты

на. На станине 36 размещена бабка изделия 8 со шпинделем 6 и магнитным патроном 10, устройством 1 для базирования заготовки 11 и механизмом загрузки-выгрузки 9. С правой стороны на станине установлена шлифовальная бабка 16 с электрошпинделем 34 шлифовального круга 35. С задней стороны станка находится шкаф электрооборудования 14 с пультом управления 15, а сбоку к станине примыкает гидростанция 26.

Вращение шпинделя бабки 8 осуществляется от установленного на бабке электродвигателя 7 постоянного тока через зубчатую и ременную передачи. Установочные (ручные) перемещения следующие: поперечное — бабки изделия от винта 5, продольное — пиноли со шпинделем 6 от маховика 4, и угловое — бабки 8 от винта 5 (поворот в горизонтальной плоскости).

На станке предусмотрен измерительный прибор 2 для активного контроля в процессе обработки. Для правки шлифовального круга служит устройство 12. Правка осуществляется в автоматическом цикле или при ручном движении подачи от маховика 31.

Автоматическое поперечное движение подачи шлифовальной бабки с компенсацией износа круга происходит следующим образом. В корпусе бабки 16 на шариковых направляющих от гидроцилиндра 17 перемещается каретка с линейкой 19, имеющей прямолинейный скос. Линейка 19 соприкасается с роликом 21, ось которого жестко укреплена в станине 36. При движении линейки 19 корпус шлифовальной бабки 16 поворачивается вокруг оси 32, в результате чего осуществляется движение подачи при черновом и чистовом шлифовании. Корпус бабки 16 поворачивается также в результате выдвижения винта 27 механизма компенсации 24 при вращении червячного колеса 25 от электродвигателя 28 через червячную передачу 29 (при ускоренном подводе и при отводе шлифовального круга) и при включении механизма компенсации с гидроцилиндром 23 (при правке круга). Для предотвращения одновременной работы механизма компенсации и ускоренного перемещения предусмотрены блокировочные муфты, действующие от гидроцилиндров 22 и 30.

Для быстрого отвода (подвода) круга от заготовки (при достижении требуемого размера) в корпусе бабки 16 установлен гидроцилиндр 20, шток которого, опираясь на рычаг 18, вызывает поворот бабки относительно оси 32 в направлении, обратном направлению движения подачи.

Движение осцилляции шлифовального круга осуществляется пинолью электрошпинделя 34 от гидроцилиндра 13 по направляющим качения 33, установленным в корпусе бабки 16.

При бесцентровом внутреннем шлифовании отверстий колец, устанавливаемых на башмаках по их наружной поверхности, применяют магнитные патроны. Приводом вращения заго-

товки является магнитный патрон с вращающейся плитой в виде фланца, служащей одновременно опорой для установки заготовки в осевом направлении. Магнитные патроны выполняются с вращающейся и невращающейся электромагнитными системами. В патронах с вращающейся магнитной системой корпус и плита патрона укреплены в шпинделе бабки 8 и вращаются вместе с ним.

На рис. 5.9, б показано устройство базирования заготовок колец подшипников на башмаках, применяемое на этом станке. К корпусу 8 бабки изделия крепится фиксируемая установочными штифтами подбашмачная плита 40, а к последней — плита 42, на которой смонтированы два корпуса 37 башмаков 38. Возможно угловое регулировочное перемещение корпусов по дуговому пазу в плите 42. Положение башмаков 38 относительно корпусов регулируется в радиальном направлении. Башмаки 38 центрируют заготовку кольца 11. В осевом направлении кольцо фиксируется стаканом 39, установленным на магнитном патроне шпинделя. Регулировочные винты 41 служат для установки эксцентриситета путем соответствующих перемещений плиты 42. Кольцо 11 получает вращение от магнитной торцевой опоры. Вращение кольца осуществляется как от электродвигателя переменного тока, так и от двигателя постоянного тока, скорость регулируется ступенчато в первом случае и бесступенчато во втором.

## 5.5. Плоскошлифовальные станки

**Плоскошлифовальные станки с ручным управлением.** Шлифование плоских поверхностей заготовок производится периферией круга или его торцом на плоскошлифовальных станках с прямоугольным и круглым столами. Расположение шпинделя со шлифовальным кругом может быть горизонтальным или вертикальным. В массовом производстве наибольшее распространение получили вертикальные станки с круглым столом, а также двусторонние торцешлифовальные станки с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей.

Плоскошлифовальный станок с *прямоугольным столом* представлен на рис. 5.10. На направляющих станины 1 станка установлен стол 5, совершающий возвратно-поступательное движение, которое он получает от гидроцилиндра, расположенного в станине. Обычно заготовки закрепляются с помощью магнитной плиты 12, привинченной к столу. На станине смонтирована стойка 9, несущая шлифовальную бабку 10 с горизонтальным шпинделем шлифовального круга 11, закрытого кожухом 7. От механизмов подачи, находящихся в станине, шлифо-

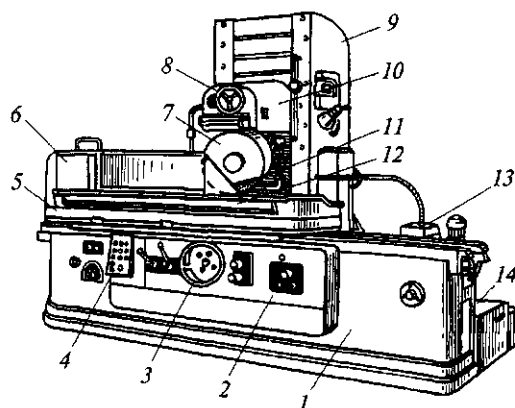


Рис. 5.10. Плоскошлифовальный станок с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем:

1 — станина; 2 — гидропанель управления; 3, 8 — маховики ручного перемещения стола и шлифовальной бабки; 4 — пульт управления; 5 — стол; 6, 7 — кожухи; 9 — стойка; 10 — шлифовальная бабка; 11 — шлифовальный круг; 12 — магнитная плита; 13 — гидростанция; 14 — насос подачи СОЖ

вальной бабке сообщаются поперечное движение подачи (после каждого одинарного или двойного хода стола) и вертикальное движение подачи (после каждого рабочего хода по снятию припуска со всей обработанной поверхности заготовки). Шпиндель вращается от электродвигателя, встроенного в шлифовальную бабку. Работа механизмов подачи осуществляется от гидроцилиндров, масло в которые поступает от гидростанции 13, управляемой с панели 2. Установочные ручные перемещения стола (в продольном направлении) выполняют с помощью маховика 3, а шлифовальной бабки (в вертикальном направлении) — маховика 8. Включение и выключение станка производится с пульта управления 4. Во время работы магнитная плита с заготовкой закрывается кожухом 6.

Плоскошлифовальные станки с *круглым столом* имеют одну или две шлифовальные бабки. Станок с двумя бабками (рис. 5.11) состоит из станины 17 с двумя стойками 7, на направляющих качения которых смонтированы шлифовальные бабки 13 и 8 для чернового и чистового шлифования. В каждой бабке размещен шпиндель 12 с шлифовальным кругом 11, приводимый во вращение встроенным электродвигателем 9.

На станине установлен стол с электромагнитной плитой 19 для удержания заготовок 14, поступающих по наклонному лотку 15 на подающий стол 18 и далее — на плиту 19, которому сообщается вращение от электродвигателя через коробку подач. Вращение подающего стола 18 осуществляется от регулируемого-

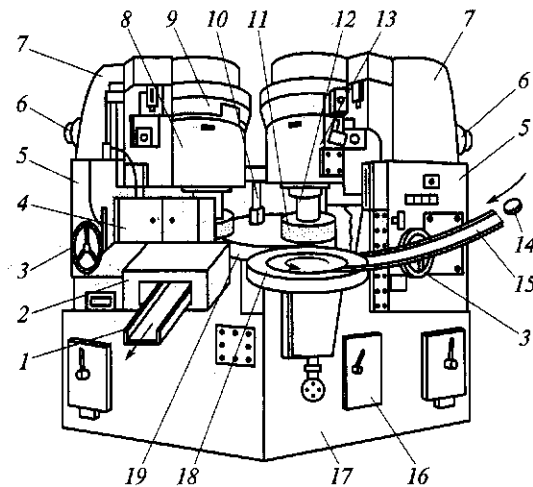


Рис. 5.11. Двухшпindelный плоскошлифовальный станок с круглым столом:

1, 15 — лотки; 2 — демагнитизатор; 3 — маховик; 4 — щитки; 5 — коробка передач; 6, 9 — электродвигатели; 7 — стойка; 8, 13 — шлифовальные бабки; 10 — измерительный прибор; 11 — шлифовальный круг; 12 — шпindelь; 14 — заготовка; 16 — коробка подач; 17 — станина; 18 — стол; 19 — электромагнитная плита

го электродвигателя постоянного тока через редуктор. Каждая шлифовальная бабка 13 (8) имеет вертикальное перемещение (вдоль стоек): быстрое (установочное) от электродвигателя 6 через коробку передач 5 и медленное (рабочее) от коробки 16 посредством зубчатых и червячных передач. Ручное перемещение бабки производится от маховика 3.

В процессе обработки происходит автоматическая подналадка шлифовального круга 11, для компенсации его износа по команде, получаемой от измерительного прибора 10, который контролирует высоту обрабатываемой заготовки 14. Для предотвращения разбрызгивания СОЖ предусмотрены раздвижные щитки 4. Заготовки после обработки проходят демагнитизатор 2 и по наклонному лотку 1 выходят из станка.

В массовом и крупносерийном производстве вместо плоскошлифования применяют *двустороннее шлифование* торцов деталей на станках с горизонтальными осями. Принципиальная схема двустороннего шлифования приведена на рис. 5.12, а. Заготовки 2 типа колец по нижней 6 и верхней 5 направляющим линейкам подаются в зону шлифования толкателем 1, получающим движение от механизма 7. Заготовки проходят между параллельно расположенными шлифовальными кругами 3 и 4, благодаря чему осуществляется одновременное шлифование

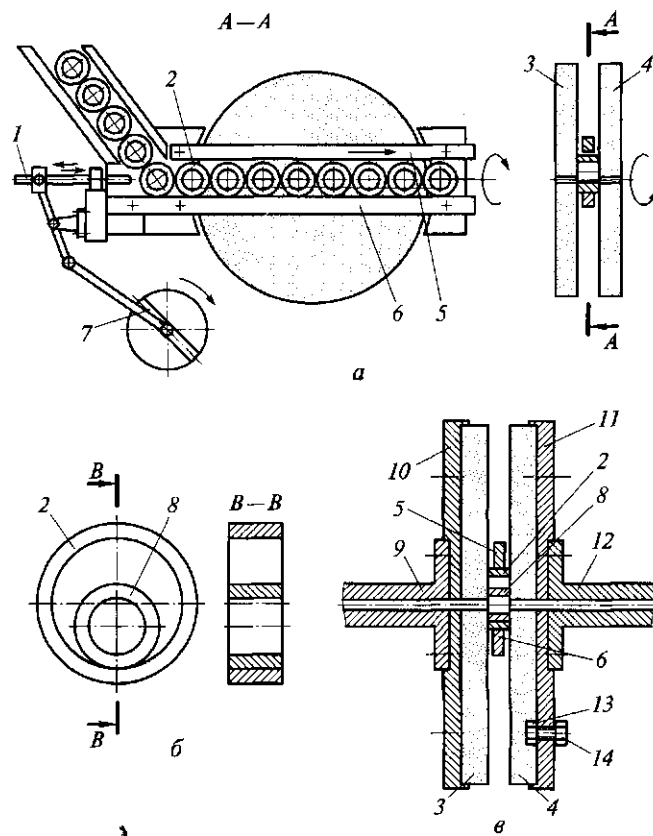


Рис. 5.12. Принципиальная схема двустороннего плоского шлифования (а), комплект заготовок (б) и схема их обработки (в):  
 1 — толкатель; 2, 8 — заготовки; 3, 4 — шлифовальные круги; 5, 6 — направляющие линейки; 7 — механизм толкателя; 9, 12 — шпиндели шлифовальных кругов; 10, 11 — планшайбы; 13 — резьбовая втулка; 14 — болт крепления шлифовального круга

обоих торцов деталей. К подающему механизму детали транспортируют с помощью бункерного устройства.

Для одновременной обработки торцов внутренних 8 и наружных 2 колец (рис. 5.12, б) шарикоподшипников применяют комплектное шлифование (рис. 5.12, в).

На шпинделях 9 и 12 устанавливают планшайбы 10 и 11, к которым с помощью резьбовых втулок 13 и болтов 14 крепят шлифовальные круги. Шлифование производят по схеме, показанной на рис. 5.12, а.

**Плоскошлифовальные станки с ЧПУ.** Оснащение плоскошлифовальных станков системами ЧПУ позволяет автоматизи-

ровать цикл обработки и правки, не изменяя при этом традиционных компоновок, а также обуславливает создание многоцелевых шлифовальных станков. Такие станки часто имеют инструментальные магазины на 12—18 шлифовальных кругов. В этом случае станок оснащают устройствами автоматической смены инструмента как для замены изношенного, так для смены при обработке других поверхностей заготовки. В гл. 10 приведен пример такого многоцелевого шлифовального станка.

Плоскошлифовальный станок предназначен для обработки плоских поверхностей периферией или торцом круга, а также для обработки заготовок различных профилей методом врезания в условиях единичного и мелкосерийного производства. Как правило, класс точности таких станков не ниже класса В. Достижимая точность обработанной поверхности: отклонения от плоскостности и параллельности 4 мкм; шероховатость  $Ra = 0,16$  мкм; отклонение от взаимной перпендикулярности поверхностей 0,002 мм. Цикл станка, в том числе подналадка, автоматизированы. Правка шлифовального круга производится автоматически по команде системы ЧПУ. Автоматический переход с обдирочного на чистовое шлифование обеспечивается командами от измерительных преобразователей.

Механизмы и движения в станке аналогичны рассмотренным ранее для плоскошлифовального станка с ручным управлением, ниже приводятся лишь описания принципиально новых узлов.

Устройство правки шлифовального круга установлено на шлифовальной головке. Правка круга производится державкой с алмазной вставкой по любому профилю. По команде системы ЧПУ державке сообщаются перемещения по осям  $X$  и  $Z$ . Державка может поворачиваться вокруг оси  $Y$  (координата  $B$ ) в пределах  $\pm 30^\circ$ .

Привод подач осуществляет перемещение стола по осям  $Z$  и  $X$  соответственно от шаговых двигателей через червячные редукторы и безлюфтовые пары винт-гайки качения. Поворот салазок вокруг оси  $Y$  происходит также от отдельного шагового двигателя через червячный редуктор. Продольные и поперечные салазки перемещаются по роликовым направляющим.

## 5.6. Шлифовальные станки для финишной обработки

**Назначение и классификация.** При выполнении финишных шлифовальных операций с поверхностями заготовок удаляют незначительные неровности в виде микрогребешков, образовавшихся на предшествующих операциях, при этом обеспечивается шероховатость  $Ra < 0,32$  мкм. В станках используется

инструмент в виде абразивных брусков и абразивной ленты (изготавливаются из мелкозернистых материалов и связки) или паста (суспензия). Различают шлифовально-доводочные, хонинговальные, суперфинишные, притирочные и полировальные станки.

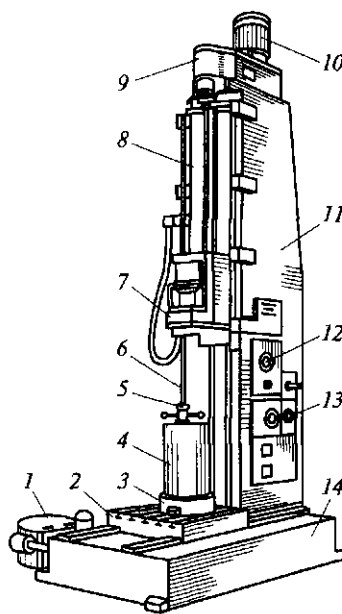
**Шлифовально-доводочные станки.** По компоновке и назначению узлов данные станки мало отличаются от шлифовальных станков. Различие заключается в том, что на шлифовально-доводочных станках применяют специальные мелкозернистые круги (с зернистостью 16 и менее), при этом частота вращения круга при обработке уменьшается в 4—5 раз, а заготовки — в 3 раза. Шероховатость обрабатываемой поверхности составляет  $Ra = 0,32 \dots 0,08$  мкм. Станки обеспечивают повышение точности геометрической формы после предварительного чистового шлифования.

**Хонинговальные станки.** Обработка заготовок на этих станках производится мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне), совершающей вращательное и возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки. Станки применяют главным образом для обработки отверстий в гильзах, блоках цилиндров, шатунах и цилиндрах. Процесс хонингования, обеспечивающий обработку деталей с шероховатостью  $Ra = 0,32 \dots 0,04$  мкм, позволяет также исправить погрешности формы (конусообразность, овальность и пр.). Обработка заготовок происходит с подачей СОЖ (керосина, минерального масла, эмульсии). Станки изготавливаются с вертикальным и горизонтальным расположением одного или нескольких шпинделей.

В качестве примера на рис. 5.13 показан одношпиндельный вертикальный хонинговальный станок, налаженный на обработку гильзы цилиндра. На основании 14 станка установлена колонна 11, наверху

Рис. 5.13. Одношпиндельный вертикальный хонинговальный станок:

1 — станция подачи СОЖ; 2 — стол; 3 — приспособление; 4 — заготовка; 5 — хонинговальная головка; 6 — шпиндель; 7 — каретка; 8 — гидроцилиндр; 9 — коробка скоростей; 10 — электродвигатель; 11 — колонна; 12 — механизм реверсирования; 13 — пульт управления; 14 — основание





которой закреплена коробка скоростей 9 с электродвигателем 10. На направляющих колонны смонтирована подвижная каретка 7 со шпинделем 6 и закрепленной на нем хонинговальной головкой 5. На основании станка расположен также стол 2 с установленной в приспособлении 3 заготовкой 4. Шпинделю 6 от коробки скоростей посредством приводной втулки и длинного вала со шлицами сообщается вращательное движение, а от гидrocилиндра 8 — возвратно-поступательное перемещение. Реверсирование этого перемещения осуществляется специальным механизмом 12. Управление станком производится с пульта 13. СОЖ подается из установки 1.

**Суперфинишные станки.** При обработке на этих станках наружных и внутренних поверхностей заготовок (шеек коленчатых и распределительных валов, штоков, поршневых пальцев и т. п.) достигается шероховатость  $Ra = 0,08 \dots 0,01$  мкм. Инструментом служат абразивные и алмазные бруски, совершающие во время обработки сложные относительные движения. В процессе обработки заготовка вращается, а головка с брусками совершает возвратно-поступательное (осциллирующее) движение с медленным перемещением вдоль обрабатываемой поверхности. Суперфиниширование происходит при низких скоростях резания ( $2 \dots 20$  м/мин) с продольной подачей головки  $S_{пр} = 0,1 \dots 0,15$  мм/об; частота осцилляции  $500 \dots 1800$  мин<sup>-1</sup>. Толщина снимаемого припуска  $0,002 \dots 0,02$  мм.

Станок для суперфинишной обработки наружной цилиндрической поверхности представлен на рис. 5.14. Заготовки колец 3 устанавливаются на оправку 9 в центрах передней 2 и задней 7 бабок, смонтированных на станине 8. Шпинделю передней бабки сообщается вращение от электродвигателя через коробку скоростей. На задней стойке 4 установлены головки 5 с державками 6, несущими абразивные бруски. Посредством гидропривода 1 головки получают медленное возвратно-поступательное перемещение вдоль оси заготовки. Бруски подводят к заготовке и легко прижимают к обрабатываемой поверхности. Возвратно-вращательное движение брускам сообщается от отдельного электродвигателя с помощью эксцентрикового устройства. Продолжительность обработки устанавливается по реле времени.

**Притирочные станки.** Обработка различных поверхностей (включая и плоские) деталей (шариков и роликов подшипников, валиков, зубчатых колес, дисков и пр.) посредством притиров производится на притирочных станках. На поверхность притиров наносят пасту или суспензию из мелкозернистого абразивного порошка, смешанного со смазочным материалом. Притиры изготавливают из чугуна, меди, бронзы, твердых пород дерева и т. д. Припуск на притирку обычно составляет  $0,005 \dots 0,015$  мм. Шероховатость поверхности после притирки  $Ra = 0,32 \dots 0,04$  мкм.

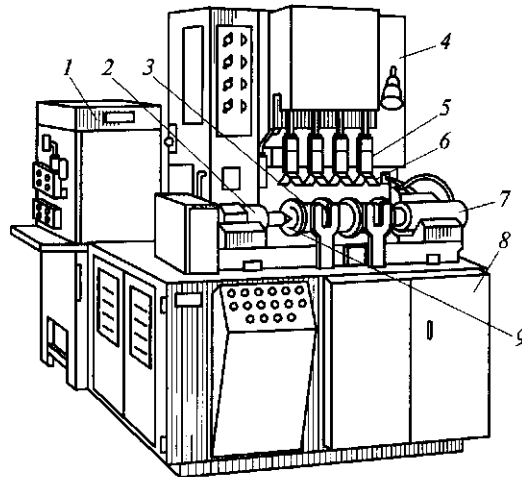


Рис. 5.14. Станок для суперфинишной обработки:

1 — гидропривод; 2 — передняя бабка; 3 — заготовка; 4 — стойка; 5 — суперфинишные головки; 6 — державка; 7 — задняя бабка; 8 — станина; 9 — оправа

В верхней и нижней частях станины притирочного станка смонтированы соответственно шпиндель и втулка, несущие притиры, которым сообщается вращательное движение. Между притирами размещают сепаратор, в гнездах которого свободно установлены заготовки. Во время обработки верхний притир прижимается к заготовкам под воздействием штока гидроцилиндра.

**Полировальные станки.** Отделочную операцию (полирование), в результате которой обрабатываемую поверхность доводят до зеркального блеска, выполняют на полировальных станках. Для обработки различных деталей (колец подшипников,

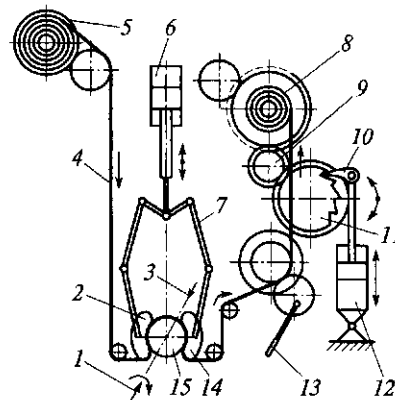


Рис. 5.15. Схема работы полировального станка:

1, 3 — центры; 2, 14 — колодки; 4 — абразивная лента; 5, 8 — бобины; 6, 12 — гидроцилиндры; 7 — рычаг; 9 — зубчатая передача; 10 — собачка; 11 — храповое колесо; 13 — рукоятка для регулирования натяжения ленты; 15 — заготовка (распределительный вал)

валов и др.) используют мелкозернистую абразивную ленту (на тканевой основе). Станки обеспечивают шероховатости поверхности  $Ra = 0,16 \dots 0,02$  мкм.

Схема работы полировального станка при обработке поверхности опорных шеек распределительного вала показана на рис. 5.15. Распределительный вал 15 устанавливают по оси центров 1 и 3 бабок. При этом опорные шейки распределительного вала заводятся между колодками 2 и 14, прижимающими абразивную ленту 4 к поверхности шеек. При перемещении вверх штока цилиндра 6 поворачиваются рычаги 7 и прикрепленные к ним колодки 2 и 14 с абразивной лентой прижимаются к шейкам распределительного вала. В процессе обработки абразивная лента (при определенном ее натяжении) перематывается с заполненной бобины 5 на свободную 8. Подача ленты происходит периодически по мере ее изнашивания от цилиндра 12 через шток с собачкой 10, храповое колесо 11 и зубчатую передачу 9. Сила натяжения абразивной ленты регулируется устройством 13.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие основные узлы имеет круглошлифовальный станок и какие движения на нем осуществляются для обработки тел вращения?
2. Чем отличаются узлы круглошлифовального станка с ЧПУ от узлов станка с ручным управлением?
3. Назовите основные узлы бесцентрово-шлифовальных станков. Какие изделия обрабатывают на этих станках?
4. Что вы знаете о комплектном двустороннем плоском шлифовании?
5. Чем отличаются внутришлифовальные станки от круглошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных конструктивно? В чем различия принципов их работы?
6. Как классифицируются плоскошлифовальные станки?
7. Какие вы знаете шлифовальные станки для финишных операций?
8. Чем отличаются хонинговальные станки от суперфинишных?
9. Каким режущим инструментом обрабатывают заготовки на полировальных станках?

## ГЛАВА 6

### ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

#### 6.1. Классификация и назначение

Станки для обработки и изготовления зубчатых колес в зависимости от способа обработки и применяемого инструмента делятся на зубодолбежные, зубофрезерные, зубострогальные, зубопротяжные, зубошевинговальные, зубошлифовальные, зубопритирочные, зубохонинговальные и зубозакругляющие.

По назначению зубообрабатывающие станки подразделяют на станки для нарезания цилиндрических колес с прямыми, косыми и шевронными зубьями, для нарезания червячных колес, зубчатых реек, конических колес (прямозубых и с криволинейными зубьями), шлицевых валов.

Зубообрабатывающие станки работают либо по методу копирования, либо по методу обката (огибания). Последний метод — наиболее производительный и точный. В массовом производстве применяются специальные высокопроизводительные зубообрабатывающие станки, работающие по методу копирования. Эти станки оснащены специальным режущим инструментом для обработки зубчатого колеса только определенной конструкции и размера.

Далее будут рассмотрены станки, работающие по методу обката, как наиболее перспективные.

#### 6.2. Зубодолбежные станки

Зубодолбежный станок работает по методу обката, воспроизводя зацепление двух зубчатых колес, одно из которых является заготовкой, а другое — режущим инструментом (долбяком). За один оборот долбяка заготовка должна повернуться на угол, соответствующий их передаточному отношению  $z_d/z_k$ , где  $z_d$  — число зубьев долбяка, а  $z_k$  — число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса.

Долбяк отличается от обычного зубчатого колеса наличием переднего  $\gamma$  и заднего  $\alpha$  углов (рис. 6.1, *a*). Обычно производство его трудоемко и дорого, поскольку он изготавливается из быстрорежущей стали. Увеличить долговечность этого режущего ин-

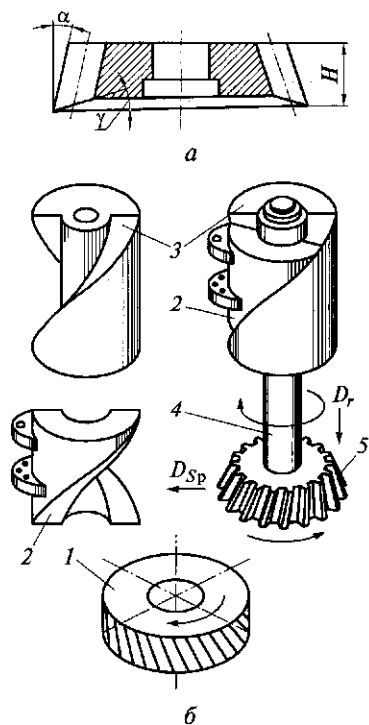


Рис. 6.1. Долбьяк (а) и схема нарезания косозубого колеса (б):  
 1 — косозубое колесо; 2, 3 — направляющие (копиры); 4 — штоссель; 5 — долбьяк с косыми зубьями

струмента можно за счет переточек, для чего номинальный размер выполняют на расстоянии от основания  $1/3 H$ . Тогда новый долбьяк нарезает зубчатые колеса с зубьями меньшей толщины, и только после нескольких переточек — в номинальном размере. Перетачивают долбьяк по передней поверхности.

Станки с долбяком обрабатывают прямые и косые зубья цилиндрических колес для наружного и внутреннего зацепления: блоков зубчатых колес и зубчатых муфт, реек, секторов, храповиков и других аналогичных деталей.

При нарезании колес для наружного зацепления долбьяк и заготовка должны вращаться в разные стороны, а для внутреннего зацепления — в одну сторону. При обработке косозубого колеса 1 (рис. 6.1, б) используют специальный долбьяк с косыми зубьями и сменные винтовые направляющие (копиры). Неопускающийся копир 2 закрепляется на червячном колесе станка, а подвижный 3 — на штосселе\* 4. Винтовые направляющие сообщают долбяку 5 дополнительный поворот во время его возвратно-поступательного движения, но все кинематические цепи станка настраиваются так же, как и при обработке цилиндрических колес с прямыми зубьями.

Главное движение долбяка — возвратно-поступательное относительно заготовки: при движении долбяка вниз совершается рабочий ход (направление  $D_r$ ), при движении долбяка вверх — вспомогательный.

Во время обратного вспомогательного хода долбьяк отводится от заготовки, что необходимо, так как усилия резания при перебегах становятся равными нулю, упругие отжатия узлов восста-

\* Штоссель — узел, несущий режущий инструмент и совершающий возвратно-поступательное движение.

навливаются и при обратном ходе штосселя долбяк испортит обработанную поверхность зубьев.

При рабочем ходе долбяку постепенно сообщается движение врезания в радиальном направлении на полную высоту зуба, после чего заготовка должна еще совершить полный оборот — это движение называют движением радиальной подачи  $D_{Sp}$ . Радиальная подача осуществляется либо от дисковых кулачков, либо от клинового копира, перемещающегося от гидроцилиндра.

Зубодолбежный полуавтомат (рис. 6.2) имеет вертикальную компоновку. На чугунной станине 1 смонтированы основные узлы и пульт управления 22, внутри станины размещен гидропривод 2. По плоским горизонтальным направляющим от гидроцилиндра перемещается стол 24 с заготовкой. Станок работает по методу обката, для чего предусмотрена жесткая кинематическая связь между вращением долбяка 21 и заготовки. Главное движение — возвратно-поступательное движение штосселя 14, заданная скорость которого (число двойных ходов в минуту) устанавливается в коробке скоростей 8.

Круговая подача (скорость вращения шпинделя 20 долбяка) осуществляется от коробки подач 11 с гидравлическим переключением подачи по циклу обработки изделия.

Подачу радиального врезания настраивают при помощи дресселя 3.

На обработку цилиндрических колес с различным числом зубьев станок настраивают с помощью гитары деления (обкатки) 10. При наладке станка используют следующие рукоятки: 9 — для реверса и отключения цепи деления; 7 — для установки числа двойных ходов долбяка; 6 — для реверса и отключения круговой подачи; 4 — для реверса радиального врезания в зависимости от наружного или внутреннего долбления зубчатых колес (при этом величина врезания ограничивается упорами 19); 13 — для зажима ползушки, устанавливающей величину хода штосселя; 15 — для установки величины хода штосселя по шкале 16; 17 — для перевода долбяка с внутреннего на внешнее зацепление. Для ручного перемещения штосселя служит квадрат 18.

Станок работает в полуавтоматическом режиме. Заготовку закрепляют вручную, на счетчике 5 устанавливают число обрабатываемых зубьев; далее цикл обработки автоматический. Счетчик 5 фиксирует полный оборот стола с изделием в автоматическом цикле при чистовых и черновых проходах. На станке предусмотрена возможность ручного поворота шпинделя 20 долбяка за квадрат 12.

Для установки межцентрового расстояния вращают квадрат 25 при помощи съемной рукоятки. Межцентровое расстояние между осями долбяка и обрабатываемого зубчатого колеса колеблет-

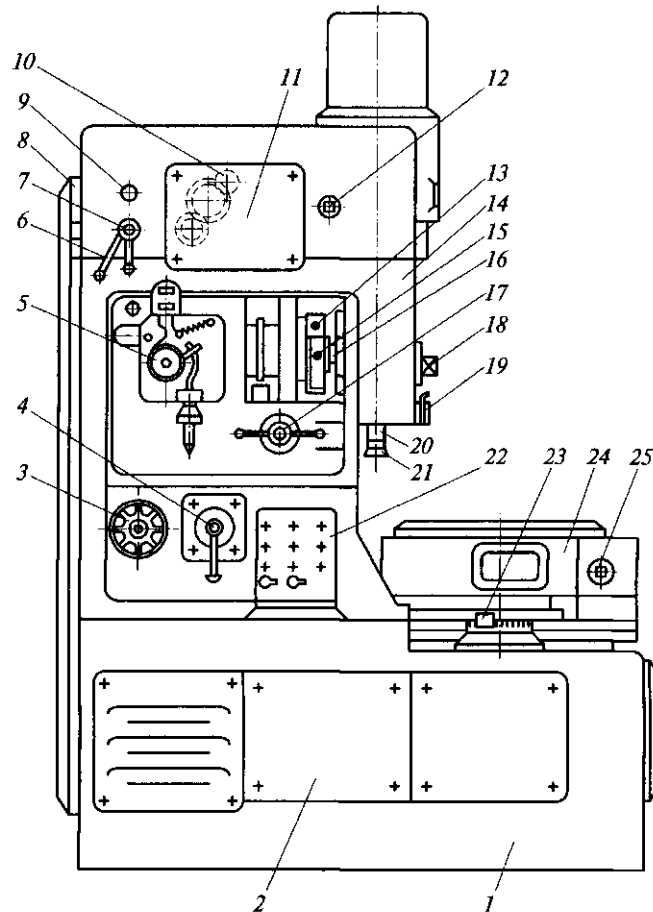


Рис. 6.2. Зубодолбежный станок:

1 — станина; 2 — гидропривод; 3 — дроссель; 4, 6, 7, 9, 13, 15, 17 — рукоятки; 5 — счетчик; 8 — коробка скоростей; 10 — гитара деления; 11 — коробка подач; 12, 18, 25 — квадраты ручного поворота; 14 — штоссель; 16 — шкала; 19 — упор; 20 — шпиндель долбяка; 21 — долбяк; 22 — пульт управления; 23 — нониус; 24 — стол

ся в пределах 0...355 мм; его устанавливают по шкале с нониусом 23.

На левой части станины крепится механизм радиального врезания, функционирующий следующим образом. После ускоренного подвода стола к упору 1 (рис. 6.3) включается перемещение штока цилиндра радиального врезания с клиновой ползушкой 3, к которой через ролик 2 гидроцилиндром, размещенным в стойке станка, поджат стол.

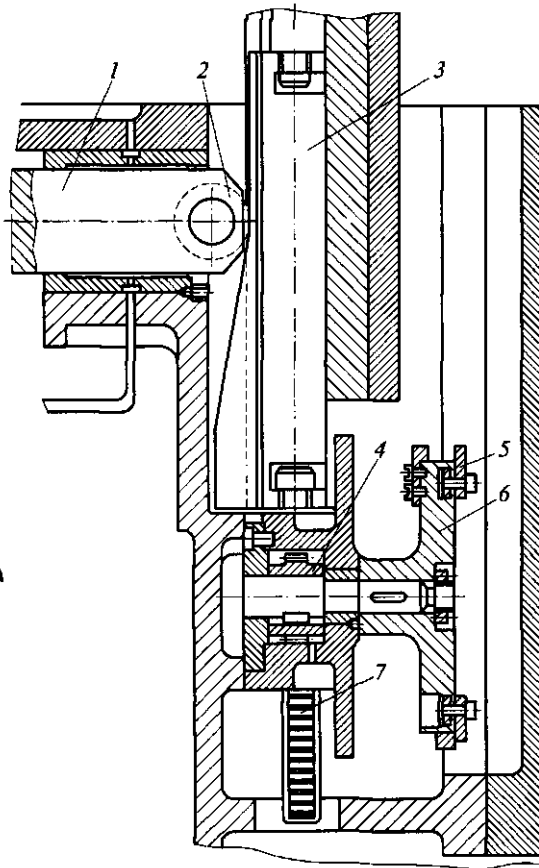


Рис. 6.3. Механизм радиального врезания зубодолбежного станка:  
 1, 5 — упоры; 2 — ролик; 3 — клиновидная ползушка; 4 — зубчатое колесо; 6 — диск; 7 — рейка

Врезание прекращается, когда ролик упора выходит на вертикальную площадку ползушки. Величина хода ползушки устанавливается с помощью упоров 5 на диске 6, которые воздействуют на путевые переключатели. Движение от ползушки 3 на диск 6 передается через рейку 7 и зубчатое колесо 4.

Рассмотрим кинематическую схему (рис. 6.4) станка, предназначенного для нарезания цилиндрических зубчатых колес с наибольшим диаметром 500 мм и модулем до 8 мм. В нее входят цепи главного движения, обкатки (деления), круговой подачи и независимого вращения стола от электродвигателя М2.

Главное движение станка — возвратно-поступательное движение долбяка от двухскоростного электродвигателя М1. Через





шкивы диаметрами 100 и 160 мм движение поступает в коробку скоростей и далее через ременную передачу 180/355 на центральный вал привода штосселя. На конце этого вала в планшайбе может перемещаться камень кулисы, который устанавливается эксцентрично при помощи винтовой передачи, вследствие чего регулируется ход штосселя при зубодолблении.

Запишем уравнение баланса кинематической цепи главного движения с учетом коэффициента скольжения, равного 0,985:

$$n_1 \cdot 0,985 \frac{100}{160} i_{к.с} \frac{180}{355} 0,985 = n_d,$$

где  $n_1$  — частота вращения электродвигателя М1:  $n_1 = 1420 \text{ мин}^{-1}$  при чистовой обработке,  $n_1 = 940 \text{ мин}^{-1}$  при черновой обработке;  $i_{к.с}$  — передаточное отношение коробки скоростей;  $n_d$  — частота возвратно-поступательного движения долбяка (вместе со штосселем),  $\text{мин}^{-1}$ , которая связана со скоростью резания  $v$  (м/мин) зависимостью

$$n_d = \frac{1000v}{2l},$$

где ход штосселя  $l$ , мм, в зависимости от длины зуба  $b$  нарезаемого колеса и величины перебега  $a$  долбяка определяется по формуле

$$l = 2a + b.$$

Эксцентриситет  $e$ , устанавливаемый на станке, зависит от хода штосселя следующим образом:  $e = \frac{1}{2}l$ .

*Движение круговой подачи.* Запишем уравнение баланса данной кинематической цепи:

$$1 \text{ дв. х. долб.} \cdot \frac{355}{180} \frac{2}{24} \frac{44}{40} \frac{40}{45} \frac{45}{44} i_{к.кр.п} \frac{54}{46} \frac{46}{56} \frac{1}{90} = \frac{S_{кр}}{\pi D_d},$$

где  $S_{кр}$  — круговая подача долбяка, мм/дв. х. долб.;  $D_d$  — диаметр делительной окружности долбяка, мм; дв. х. долб. — двойной ход долбяка.

Рекомендуемые значения скоростей резания, круговых подач и величин перебега приводятся в справочнике зубореза [16].

*Движение обкатки* — согласованное вращение заготовки и долбяка. Цепь обкатки осуществляет непрерывное деление заготовки на  $z$  зубьев.

Уравнение баланса кинематической цепи обкатки имеет вид

$$i_{\text{об.долб.}} \frac{90}{1} \frac{56}{46} \frac{46}{54} \frac{54}{36} i_x \frac{33}{33} \frac{33}{33} \frac{38}{56} \frac{1}{190} = z_d/z_k,$$

где  $z_d$  — число зубьев долбяка;  $z_k$  — число зубьев нарезаемого колеса; об. долб. — оборот долбяка.

По формуле настройки, полученной из этого уравнения

$$i_x = 2 \frac{z_d}{z_k},$$

необходимо абсолютно точно подобрать передаточное отношение, выбрав из набора сменных зубчатых колес, прилагаемого к данной гитаре, две пары колес:

$$i_x = \frac{A C}{B D},$$

причем должно соблюдаться условие сцепляемости двух колес:  $A + B = 120$ .

### 6.3. Зубофрезерные станки

Одним из наиболее распространенных видов зуборезного оборудования благодаря высокой производительности и универсальности являются зубофрезерные станки. Они позволяют обрабатывать цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями, червячные колеса, звездочки цепных передач, храповики и др. В зависимости от расположения оси заготовки станки делятся на горизонтальные и вертикальные.

Формообразование цилиндрического зубчатого колеса осуществляется методом обката. При обработке воспроизводится червячное зацепление, один из элементов которого (червяк) — режущий инструмент (червячно-модульная фреза), а другой (червячное колесо) — заготовка.

На рис. 6.5 приведены принципиальные схемы обработки различных цилиндрических зубчатых колес 2 червячно-модульной фрезой 1. Для реализации процесса резания червячной фрезе задают главное вращательное движение  $D_f$ . Для получения заданного числа зубьев необходимо наличие делительной цепи (с передаточным отношением  $i_x$ ); она же для цилиндрических зубчатых колес является цепью обкатки. Для обработки зуба по всей высоте необходимо движение подачи: для прямозубого и косозубого колес — вертикальной в направлении  $D_{sv}$  (рис. 6.5, а, в), для

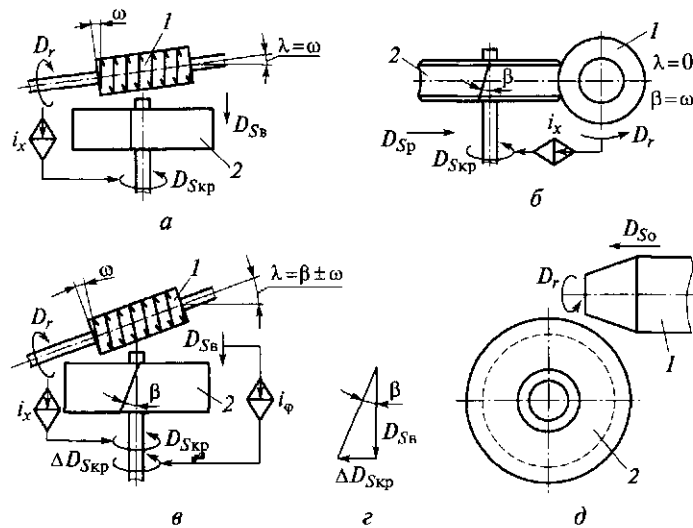


Рис. 6.5. Принципиальные схемы нарезания прямозубого (а), червячного (б, д), косозубого (в) цилиндрических зубчатых колес червячно-модульной фрезой и схема формирования угла наклона зуба (г):

1 — червячно-модульная фреза; 2 — заготовка (колесо);  $i_x$  и  $i_\phi$  — передаточные отношения гитары обкатки и дифференциальной гитары;  $\lambda$  — угол установки шпинделя фрезы;  $\omega$  — угол наклона винтовой линии фрезы;  $\beta$  — угол наклона винтовой линии нарезаемого колеса

червячного колеса — радиальной в направлении  $D_{Sp}$  (рис. 6.5, б). Чтобы получить косозубое колесо, необходимо также наличие дифференциальной цепи, которая должна обеспечить дополнительное вращение заготовке  $D_{Skp}$  (рис. 6.5, г), согласованное с вертикальным перемещением фрезы относительно заготовки (или наоборот).

Зубофрезерный полуавтомат вертикальной компоновки показан на рис. 6.6. На станине 1 закреплена стойка 8, по направлению которой в вертикальном направлении перемещается каретка 11 с суппортом 13, несущим фрезу 24. В станине 1 в нише, закрытой дверцами 2, размещаются сменные зубчатые колеса для настройки главного движения. Электродвигатель вращает стол 17 с нарезаемым колесом (заготовкой) 23 и инструментальный шпиндель с червячной фрезой 24.

В станине находятся конвейер стружки с отдельным приводом и резервуар для СОЖ, откуда жидкость подается насосом в зону обработки. Подача жидкости в рабочую зону регулируется краном 12. В стойке 8 размещена коробка передач 3 с механизмами перемещения каретки 11: ее можно перемещать вручную

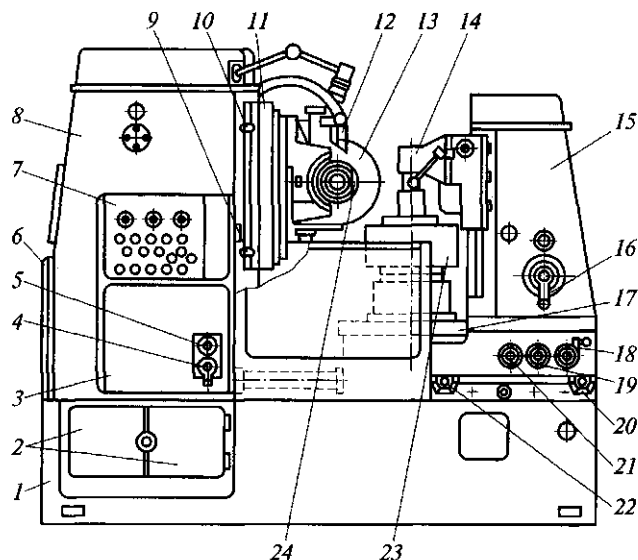


Рис. 6.6. Зубофрезерный полуавтомат:

1 — станина; 2 — дверцы; 3 — коробка передач; 4, 18 — рукоятки; 5, 19 — квадраты; 6 — крышка; 7 — пульт управления; 8, 15 — стойки; 9, 10, 20, 22 — упоры; 11 — каретка; 12, 16 — краны; 13 — суппорт; 14 — поворотный кронштейн; 17 — стол; 21 — валик; 23 — заготовка; 24 — червячная фреза

за квадрат 5 или автоматически. Автоматическое перемещение каретки включается поворотом рукоятки 4 в положение, соответствующее включению автоматической подачи. Под крышкой 6 находятся сменные зубчатые колеса гитары деления и дифференциальной. На передней стенке стойки установлен пульт управления 7.

Каретка 11 снабжена регулируемыми упорами 9 и 10, определяющими ее ход. Упоры воздействуют на конечные выключатели, отключающие электродвигатель вертикального перемещения каретки. Сверху корпуса стола 17 жестко закреплена стойка 15 с поворотным кронштейном 14 для центрирования оправки с заготовкой. Кронштейн поднимается и опускается гидроцилиндром, управляемым от крана 16. Корпус стола 17 можно перемещать вручную, вращая винт с квадратом 19. Упоры стола устанавливаются в определенное положение рукояткой 18. Упоры 20 и 22, которые нажимают на конечные выключатели и дают команду на ускоренный подвод стола, размещены на его корпусе. Механизмы, расположенные в столе, смазываются вручную — вращением валика 21.

Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата (рис. 6.7) для нарезания зубьев на цилиндрических колесах, состоит из

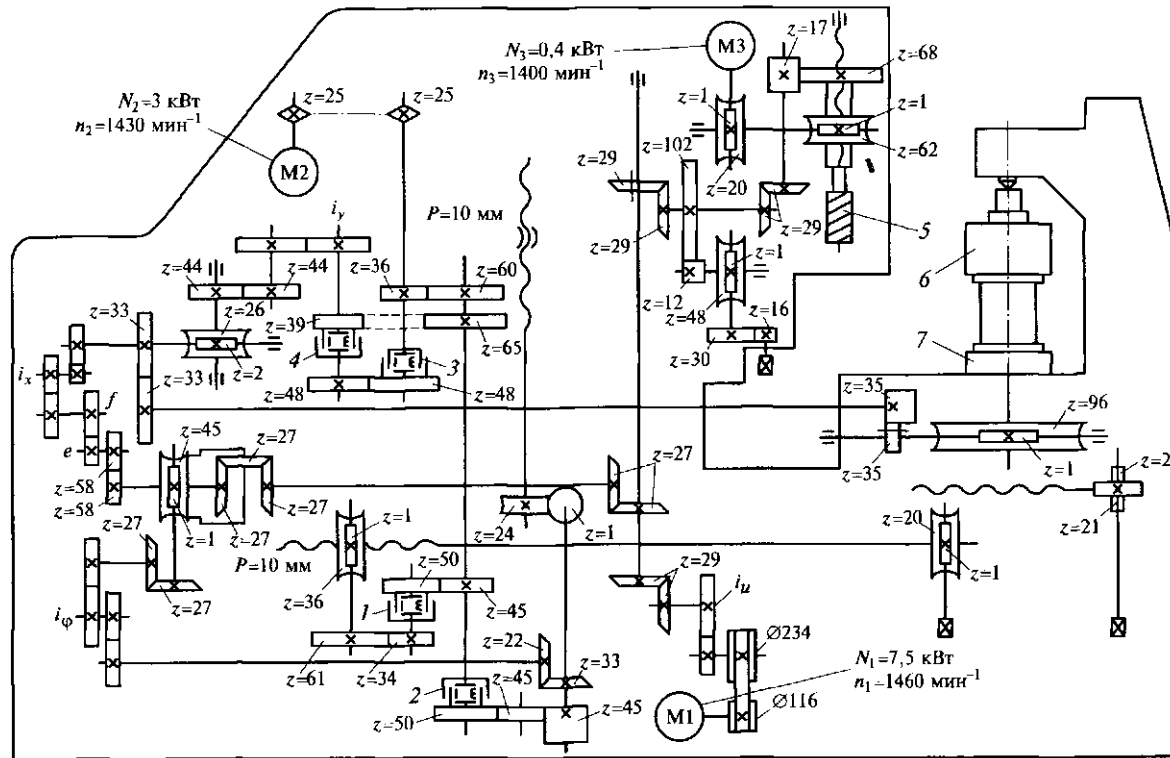


Рис. 6.7. Кинематическая схема зубофрезерного станка:

1—4 — электромагнитные муфты; 5 — червячно-модульная фреза; 6 — заготовка; 7 — стол

следующих кинематических цепей: главного движения, деления (обкатки), подачи и дифференциальной.

*Главное движение* — вращение червячно-модульной фрезы 5. Запишем уравнение баланса кинематической цепи главного движения:

$$n_1 \frac{116}{234} \eta_{р.п} i_u \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{17}{68} = n_{фр},$$

где  $n_1$  — частота вращения электродвигателя М1:  $n_1 = 1460 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\eta_{р.п}$  — коэффициент скольжения ременной передачи;  $n_{фр}$  — частота вращения червячной фрезы;  $i_u$  — передаточное отношение гитары  $u$  в цепи главного движения.

Из полученного уравнения выводим формулу настройки однопарной гитары данной кинематической цепи:

$$i_u = n_{фр}/180.$$

*Движение обкатки* — согласованное вращение червячной фрезы и заготовки. Запишем уравнение баланса кинематической цепи обкатки:

$$1 \text{ об. фр.} \frac{68}{17} \frac{29}{29} \frac{29}{27} i_{\text{диф}} \frac{58}{58} \frac{e}{f} i_x \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96} = \frac{k_{фр}}{z_{заг}},$$

где об. фр. — оборот фрезы.

Отсюда получаем формулу настройки двухпарной гитары цепи обкатки в зависимости от заходности фрезы  $k_{фр}$  и числа зубьев заготовки  $z_{заг}$

$$i_x = 24 \frac{k_{фр}}{z_{заг}} \frac{f}{e}.$$

Передаточное отношение суммирующего механизма в данном случае  $i_{\text{диф}} = 1$ , поскольку он работает как простая коническая передача.

Сменные зубчатые колеса  $e$  и  $f$  предназначены для расширения диапазона регулирования. При  $z_{заг} \leq 161$  устанавливают ко-

леса  $\frac{e}{f} = \frac{54}{54}$ , а при  $z_{заг} \geq 161$  — колеса  $\frac{e}{f} = \frac{36}{72}$ .

*Движение подачи* — вертикальное или радиальное относительное перемещение червячно-модульной фрезы и заготовки. Запишем уравнения баланса кинематических цепей подачи:

а) уравнение баланса кинематической цепи вертикальной подачи  $S_v$ , мм/об (включены электромагнитные муфты 4 и 2):

$$1 \text{ об.заг.} \frac{96}{1} \frac{35}{33} \frac{33}{26} \frac{2}{44} i_y \frac{39}{65} \frac{50}{45} \frac{45}{24} 10 = S_b,$$

где об.заг. — оборот заготовки б.

Отсюда получаем формулу настройки однопарной гитары цепи подач

$$i_y = \frac{S_b}{2,05};$$

б) уравнение баланса кинематической цепи радиальной подачи  $S_p$ , мм/об (включены электромагнитные муфты 4 и 1):

$$1 \text{ об.заг.} \frac{96}{1} \frac{35}{33} \frac{33}{26} \frac{2}{44} i_y \frac{39}{65} \frac{45}{50} \frac{34}{61} \frac{1}{36} 10 = S_p.$$

*Дифференциальное движение* необходимо для нарезания косозубых колес. Кинематическая цепь связывает вертикальное перемещение фрезерного суппорта от ходового винта вертикальной подачи с дополнительным поворотом стола 7. Для выведения уравнения баланса дифференциальной кинематической цепи рассуждаем следующим образом. Фреза получает вертикальную подачу  $S_b$ , когда ходовой винт вертикальной подачи с шагом  $P = 10$  мм совершит  $S_b/P = S_b/10$  долю своего оборота. В это время стол вместе с заготовкой должны получить дополнительный поворот, равный  $S_b/P_{в.л.}$ , где  $P_{в.л.}$  — шаг винтовой линии косозубого колеса, угол  $\beta$  наклона зуба которого связан с шагом его винтовой линии зависимостью

$$\text{ctg } \beta = \frac{P_{в.л.}}{\pi d}.$$

Диаметр делительной окружности  $d$  косозубого колеса определяют через его торцовый модуль  $m_t$  и число зубьев  $z$ :  $d = m_t z = m_n z / \cos \beta$  (где  $m_n$  — нормальный модуль).

Уравнение баланса дифференциальной кинематической цепи, которая начинается с ходового винта вертикальной подачи фрезерного суппорта:

$$\frac{S_b}{10} \frac{24}{1} \frac{33}{22} i_{\phi} \frac{27}{27} \frac{1}{45} i_{2\text{диф}} \frac{58}{58} \frac{e}{f} i_x \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96} = \frac{S_b}{P_{в.л.}}.$$

Сократив левую и правую части уравнения на  $S_b$  и подставив

$$i_x = 24 \frac{k_{\text{фр}}}{z_{\text{заг}}} \frac{f}{e},$$

а также учитывая, что в данном случае  $i_{2\text{диф}} = 2$

(так как Т-образный вал конического дифференциала — ведущий), получим формулу настройки



$$i_{\varphi} = 25 \frac{z_{\text{заг}}}{k_{\text{фр}} P_{\text{в.л}}}$$

Для косозубого колеса в рабочем чертеже задают угол  $\beta$ , число зубьев  $z$  и нормальный модуль  $m_n$ . Выразим шаг винтовой линии через эти параметры:

$$P_{\text{в.л}} = \pi d \operatorname{ctg} \beta = \pi (m_n z_{\text{заг}} / \cos \beta) \operatorname{ctg} \beta = \pi m_n z_{\text{заг}} / \sin \beta.$$

Подставив в формулу настройки полученное значение шага винтовой линии, получим окончательное выражение для определения передаточного отношения двухпарной гитары дифференциальной цепи:

$$i_{\varphi} = \frac{7,95775 \sin \beta}{m_n k_{\text{фр}}}$$

Кинематической схемой станка предусмотрено ускоренное вертикальное перемещение фрезерного суппорта от электродвигателя М2 при включенных муфтах 3 и 2.

Чтобы износ фрезы был равномерным, необходимо периодически менять место обработки, для чего шпинделю фрезы сообщается осевое перемещение от электродвигателя М3 через две червячные передачи и ходовой винт.

#### 6.4. Зубострогальные станки

**Общие сведения о конических колесах.** Форма зуба по длине конического колеса может быть прямолинейной (прямозубые колеса) или криволинейной (колеса с круговой линией зубьев). Прямозубые конические колеса применяют при окружных скоростях до 2...3 м/с. При более высоких скоростях используют конические колеса с круговым зубом. В отличие от цилиндрических зубчатых колес у конических колес глубина и ширина зуба (а следовательно, и ширина впадины) не остаются постоянными по всей его длине.

Основные размеры прямозубых конических колес с числом зубьев  $z_1$  и  $z_2$  при межосевом угле  $90^\circ$  (рис. 6.8) приведены в табл. 6.1.

**Определение числа зубьев производящего колеса.** Обработка зубьев конических колес по методу обката основана на представлении, что коническое колесо находится в зацеплении с так называемым производящим колесом. Это теоретическое (воображаемое) колесо, число зубьев которого всегда связано с числом зубьев нарезаемого конического колеса. Производящее колесо может быть плоским или плосковершинным.

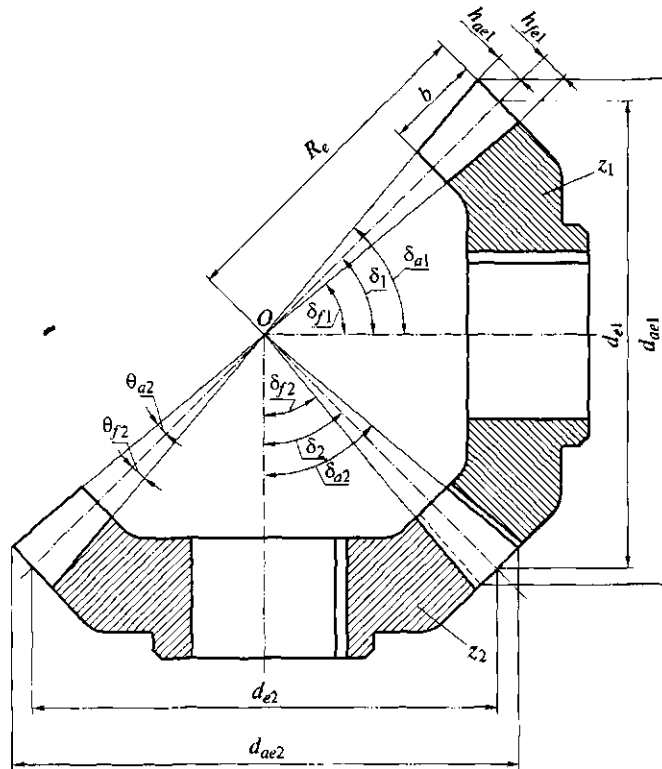


Рис. 6.8. Зацепление двух прямозубых конических колес

1. *Производящее колесо — плоское.* В этом случае делительный конус заготовки конического колеса с числом зубьев  $z_1$  должен обкатываться по плоскости, которая является вырожденным делительным конусом плоского производящего колеса с числом зубьев  $z_{c\text{пл}}$  (рис. 6.9, а). Стороны прямоугольного треугольника  $OAB$  выразим через модуль  $m_e$ ; внешние диаметры

делительных конусов:  $AB = \frac{1}{2}d_{e1} = \frac{1}{2}m_e z_1$ ;  $OB = \frac{1}{2}m_e z_{c\text{пл}}$ . В то же

время гипотенуза  $OB = \frac{AB}{\sin \delta_1}$ ; сократив на  $\frac{1}{2}$  и модуль  $m_e$ , получим зависимость, определяющую число зубьев плоского производящего колеса в зависимости от числа зубьев обрабатываемого конического колеса:

$$z_{c\text{пл}} = \frac{z_1}{\sin \delta_1}.$$

Таблица 6.1

**Основные размеры прямозубых конических колес  
при межосевом угле  $90^\circ$ , выполненных по основной форме  
(форме I), для  $m_e > 1$  мм**

Параметры зацепления	Формулы
Внешний окружной модуль	$m_e$
Число зубьев плоского производящего колеса	$z_c = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$
Внешнее конусное расстояние	$R_e = 0,5m_e z_c$
Наибольшая высота зуба (у торца)	$h_e = 2,2m_e$
Наибольшая высота головки зуба (у торца)	$h_{ae1} = m_e; h_{ae2} = m_e$
Наибольшая высота ножки зуба (у торца)	$h_{fe1} = h_e - h_{ae1}; h_{fe2} = h_e - h_{ae2}$
Угол ножки зуба	$\text{tg } \theta_{f1} = h_{fe1}/R_e; \text{tg } \theta_{f2} = h_{fe2}/R_e$
Угол делительного конуса	$\text{tg } \delta_1 = z_1/z_2; \delta_2 = 90 - \delta_1$
Угол конуса вершины	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{f2}; \delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{f1}$
Угол конуса впадины	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}; \delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
Внешние делительные диаметры	$d_{e1} = m_e z_1; d_{e2} = m_e z_2$
Диаметры вершин зубьев	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1;$ $d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$

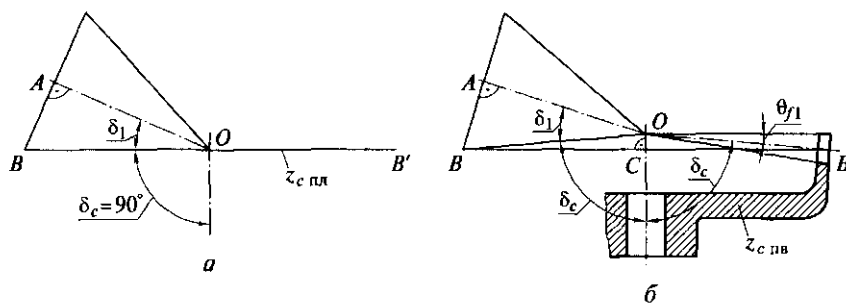


Рис. 6.9. Схема обкатки делительного конуса конического колеса по плоскому (а) и плосковершинному (б) производящему колесу:

$z_{c \text{ пл}}, z_{c \text{ пв}}$  — число зубьев плоского и плосковершинного производящего колеса соответственно;  $\delta_1, \delta_c$  — угол делительного конуса заготовки и производящего колеса соответственно;  $\theta_{f1}$  — угол ножки зуба

2. *Производящее колесо — плосковершинное.* Вершины этого воображаемого производящего колеса с числом зубьев  $z_{c\text{ пв}}$  (рис. 6.9, б) находятся в горизонтальной плоскости, следовательно угол его делительного конуса  $\delta_c = 90^\circ - \theta_{f1}$ , где  $\theta_{f1}$  — угол ножки зуба нарезаемого колеса, который равен углу вершины зуба производящего колеса. Рассмотрим два прямоугольных треугольника  $OAB$  и  $OBC$ , которые имеют общую гипотенузу  $OB$ :

$$OB = AB/\sin \delta_1 \text{ и } OB = BC/\sin \delta_c.$$

Приравняв правые части и учитывая, что  $AB = \frac{1}{2} m_e z_1$  и  $BC = \frac{1}{2} m_e z_{c\text{ пв}}$ , получим  $z_1/\sin \delta_1 = z_{c\text{ пв}}/\sin \delta_c$ , откуда выводим формулу для определения числа зубьев плосковершинного производящего колеса:

$$z_{c\text{ пв}} = \frac{z_1 \sin \delta_c}{\sin \delta_1} = \frac{z_1 \sin(90^\circ - \theta_{f1})}{\sin \delta_1} \text{ или } z_{c\text{ пв}} = \frac{z_1}{\sin \delta_1} \cos \theta_{f1}.$$

Зубья конических колес нарезаются либо впадиной, либо зубом воображаемого производящего колеса.

Зубострогальные станки работают по методу обката. Обработка заготовки 1 осуществляется впадиной производящего колеса 2 (рис. 6.10, а), которую образуют два резца 4 (рис. 6.10, б). Резцы получают главное возвратно-поступательное движение от ползунув, которые крепятся на люльке 3. Ползуны устанавли-

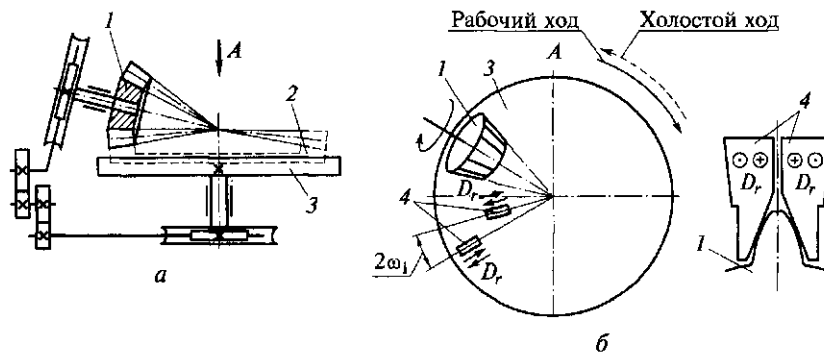


Рис. 6.10. Принципиальная схема нарезания зубьев конического колеса впадиной производящего колеса (а) и формирования впадины резцами (б): 1 — заготовка; 2 — производящее колесо; 3 — люлька; 4 — резцы;  $2\omega_1$  — угол установки резцов (ползунув)

вают под углом  $2\omega_1$ , соответствующим углу расположения впадины зубьев на коническом колесе. Люлька получает возвратно-вращательное движение.

На рис. 6.11, *а* показан общий вид зубострогального станка, на рис. 6.11, *б* — его рабочая зона. На станке производится черновое и чистовое нарезание прямозубых конических колес. Основные узлы станка: станина *1* коробчатой формы, внутри которой размещены механизмы и электрооборудование станка; передняя бабка *2* с люлькой *3*, на суппорте *4* которой с помощью шкал и установочных приспособлений закрепляют резцы *8* в определенном положении. Заготовку *5* базируют на оправке, устанавливаемой в шпинделе бабки *6* изделия с помощью патрона с гидроприводом. На столе станка расположена поворотная плита *7*, на которой установлена бабка *6* изделия.

Станок работает следующим образом. Нажатием кнопки «Пуск» последовательно обеспечивается быстрый подвод нарезаемого колеса, включение возвратно-поступательного движения суппортов, несущих резцы, вращение нарезаемого колеса и люльки. По окончании обработки зуба нарезаемое колесо выводится из зацепления, люлька начинает вращаться в обратном направлении, а нарезаемое колесо продолжает вращаться в ту же сторону, что и при рабочем ходе, поворачиваясь на заданное число пропускаемых зубьев — происходит деление (поворот) заготовки. По окончании вспомогательного (обратного) хода люльки цикл повторяется.

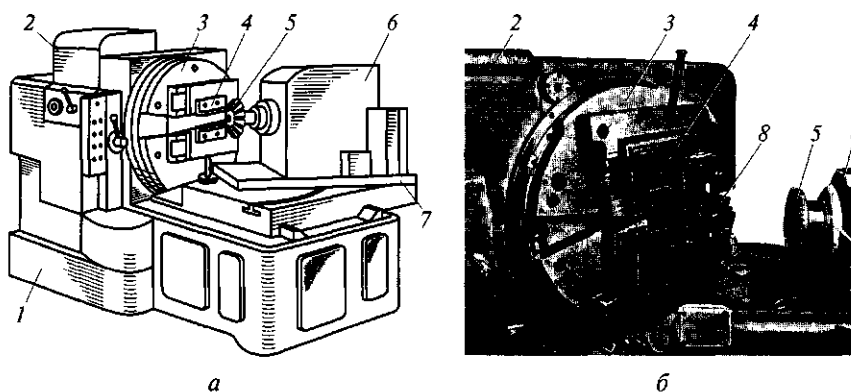
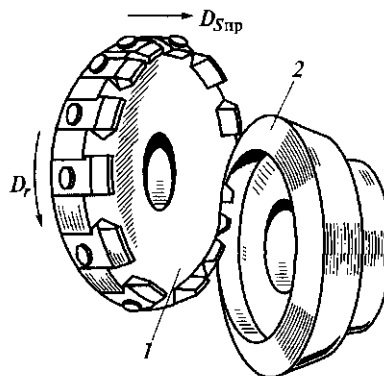


Рис. 6.11. Общий вид зубострогального станка (*а*) и его рабочая зона (*б*):  
*1* — станина; *2* — передняя бабка; *3* — люлька; *4* — суппорт; *5* — заготовка;  
*6* — бабка изделия; *7* — поворотная плита; *8* — резцы

Рис. 6.12. Схема получения конического колеса с круговой линией зубьев:

1 — трехсторонняя зуборезная головка;  
2 — заготовка



**Особенности нарезания конических колес с круговой линией зубьев.** Обработка конических колес с круговой линией зубьев производится на станках с вращающимися резцовыми головками. Такие станки работают по методу обката. Профиль зубьев колеса нарезают зуборезной головкой с большим количеством резцов, расположенных по окружности. Если режущие кромки зуборезной головки обрабатывают только одну боковую сторону зуба заготовки, то такой метод нарезания называют односторонним. Повышение производительности достигается путем двустороннего резания, когда обе боковые стороны зуба обрабатываются одновременно.

В условиях массового и крупносерийного производства образование поверхностей зубьев конических колес с круговой линией зубьев производится без обкатывания за счет специального профиля инструмента. Принцип обработки следующий (рис. 6.12): трехсторонней зуборезной головке 1 сообщается главное вращательное движение  $D_r$  и движение продольной подачи  $D_{спр}$  до тех пор, пока не будет прорезана полная глубина зуба. Заготовка 2 во время обработки остается неподвижной. Далее инструмент отводится в исходное положение, осуществляется процесс деления (поворота) заготовки, и цикл повторяется, пока не будут нарезаны все зубья колеса.

## 6.5. Зубоотделочные станки

Финишные технологические операции отделки боковых поверхностей зубьев колес обеспечивают повышение точности, надежности и снижение шума в передачах.

К зубоотделочным операциям относят обкатывание, зубошевингование, притирку, зубохонингование, зубошлифование и зубозакругление.

При обкатывании происходит уплотнение боковых поверхностей зубьев незакаленных колес вследствие пластического

деформирования поверхностных слоев зубьев. Обрабатываемое зубчатое колесо обкатывается под нагрузкой с одним или несколькими вращающимися закаленными эталонными колесами.

При шевинговании с поверхности профиля зубьев снимается тонкая стружка. Инструментом является шевер — зубчатое колесо с поперечными канавками на зубьях с высокой поверхностной твердостью. Оси шевера и шевингуемого зубчатого колеса перекрещиваются.

Притирка — доводочный процесс придания зубьям чистой и гладкой поверхности путем искусственного их изнашивания посредством притира (чугунного зубчатого колеса) и абразивного порошка.

При зубозакруглении набором фрез снимают фаски с зубьев колеса. Это необходимо для обеспечения плавности переключения зубчатых колес в коробках передач.

Обкатывание, шевингование и зубозакругление выполняют для незакаленных зубчатых колес, а притирку — для закаленных.

**Станки для шевингования зубчатых колес.** В этих станках в качестве режущего инструмента применяют шевер-рейку, дисковый или червячный шеверы. Шевер-рейки используют при обработке мелкомодульных колес. Дисковый и червячный шеверы приводятся во вращение электродвигателем, а шевингуемое колесо принудительно вращается шевером (или наоборот). Вследствие скрещивания осей шевера и колеса при их вращении возникает составляющая скорости скольжения профилей, направленная вдоль образующей зубьев. Эта составляющая и обеспечивает резание, при котором острые кромки канавок зубьев шевера срезают с поверхности зубьев колеса очень тонкую стружку, снижая тем самым шероховатость ранее обработанной поверхности. Шевингование дает возможность повысить точность зубчатых колес по параметрам плавности и полноты контакта.

Применяют четыре основных метода шевингования: с продольным, диагональным, поперечным и тангенциальным движениями подачи. Шевинговальные станки бывают с вертикальным или горизонтальным расположением осей шевера и обрабатываемого колеса.

**Зубозакругляющие станки.** В этих станках обработка производится пальцевой фрезой — она снимает фаски и закругляет торцы зубьев цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями наружного и внутреннего зацепления. Заготовка зубчатого колеса вращается с постоянной скоростью, а фреза, вращаясь вокруг своей оси, одновременно движется по дуге в плоскости, перпендикулярной к оси колеса, и возвратно-поступательно вдоль своей оси за время поворота колеса на один зуб. Возврат-

но-поступательное движение на каждый зуб обрабатываемого колеса шпиндель с фрезой получают от специального профильного копира.

Станок работает в автоматическом цикле: быстрый подвод фрезы к заготовке; рабочее движение подачи и обработка; возврат инструмента в исходное положение. Закругление зубьев выполняют за несколько рабочих ходов в зависимости от модуля обрабатываемого колеса, материала и заданной шероховатости поверхности закругления.

### 6.6. Настройка кинематических цепей

Способы настройки кинематических цепей различаются по точности получения передаточного отношения гитар.

*Приближенная настройка* применяется в основном для кинематических цепей главного движения и подач. Поскольку точность подбора сменных зубчатых колес не влияет на точность размеров нарезаемого колеса, то в этих кинематических цепях ставят однопарные гитары. Такой способ настройки рассмотрим на примере.

**Пример 6.1.** Настроить кинематическую цепь главного движения зубофрезерного станка 5К324А для черновой обработки цилиндрического зубчатого колеса диаметром  $d = 100$  мм,  $m = 4$  мм; материал — сталь 45.

**Решение:** 1. В соответствии с рекомендациями [12, см. с. 673, табл. 10] для заданных исходных параметров обрабатываемого зубчатого колеса скорость резания  $v = 30,5$  м/мин для однозубной червячной фрезы из быстрорежущей стали.

2. Выбираем червячно-модульную фрезу диаметром  $d_{фр} = 80$  мм.

3. Вычисляем требуемую частоту вращения фрезы для обеспечения заданной скорости резания:

$$n_{фр} = \frac{1000v}{\pi d_{фр}} = \frac{1000 \cdot 30,5}{\pi \cdot 80} = 121,4 \text{ об/мин.}$$

4. Определяем требуемое передаточное отношение ( $i_{uT}$ ) однопарной гитары цепи главного движения, для которой известны: формула настройки ( $i_u = n_{фр}/180$ ), набор сменных зубчатых колес станка (23, 27, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 60, 64) и условие их сцепляемости ( $A + B = 87$ ):

$$i_{uT} = \frac{121,4}{180} = 0,674.$$



5. Подбираем сменные зубчатые колеса, последовательно вычисляя фактические передаточные отношения, которые можно реализовать из данного набора сменных колес:

$$i_{u\phi 1} = \frac{31}{56} = 0,55; i_{u\phi 2} = \frac{36}{51} = 0,7; i_{u\phi 3} = \frac{41}{46} = 0,89.$$

Второе передаточное отношение наиболее близко к заданному, поэтому на станок следует поставить в гитару колеса  $A = 36$  и  $B = 51$ .

*Точная настройка* передаточных отношений гитар используется для винторезных и дифференциальных цепей, цепей обкатки и деления.

Обычно в такие кинематические цепи включают двухпарные гитары, реже — трехпарные.

Последовательность точного подбора сменных колес следующая:

подставляют в формулу настройки исходные данные;

получают численное значение передаточного отношения;

сокращают дробь на общие множители. После сокращения может получиться целое число или несократимая дробь (переводить ее в десятичное число запрещается);

числитель и знаменатель дроби раскладывают на множители, после чего их группируют таким образом, чтобы в числителе и знаменателе осталось по два множителя, соответствующих сменным зубчатым колесам набора данной кинематической цепи.

Точный способ настройки рассмотрим на примере.

**Пример 6.2.** Подобрать сменные колеса двухпарной гитары цепи обкатки из комплекта зубофрезерного станка для нарезания цилиндрического колеса с числом зубьев  $z_{\text{заг}} = 60$  червячно-модульной фрезой с заходностью  $k_{\text{фр}} = 1$ . Заданы: комплект сменных зубчатых колес: 25 (2 шт.), 30, 33, 34, 36 (2 шт.), 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 67, 70, 73, 75, 79, 80, 83, 85, 90, 92, 95, 97, 98, 100; формула настройки гитары цепи

обкатки  $i_x = 24 \frac{k_{\text{фр}} f}{z_{\text{заг}} e}$ ; условия сцепляемости сменных колес  $70 \leq A + B \leq 116$  и  $85 \leq C + D \leq 136$ . При  $z_{\text{заг}} \leq 161$  устанавливают ко-

леса  $\frac{e}{f} = \frac{54}{54}$ .

**Решение:** 1. Подставляем в формулу настройки исходные данные и сокращаем на общие множители:

$$i_x = 24 \frac{1 \cdot 54}{60 \cdot 54} = \frac{2}{5}.$$

2. Находим сменные зубчатые колеса, используя точный способ подбора:  $i_x = \frac{A C}{B D} = \frac{2}{5}$ . Числитель и знаменатель умножим

на одинаковый множитель:  $i_x = \frac{2 \cdot 20}{5 \cdot 20} = \frac{40}{100}$ . Такие колеса в наборе имеются. Теперь введем два колеса из набора с передаточным

отношением, равным единице:  $i_x = \frac{40 \cdot 36}{100 \cdot 36}$ . Проверим сцепляе-

мость колес:  $70 < 40 + 100 > 116$ , что не удовлетворяет условию сцепляемости колес  $A$  и  $B$ . Перепишем  $i_x$ , переставив множители

в знаменателе местами:  $i_x = \frac{40 \cdot 36}{36 \cdot 100}$ . Теперь сменные колеса

удовлетворяют условиям сцепляемости:  $70 < 40 + 36 < 116$  и  $85 < < 36 + 100 = 136$ . Итак, точным способом подобраны сменные колеса в гитару обкатки:  $A = 40$ ,  $B = 36$ ,  $C = 36$  и  $D = 100$ .

*Табличный способ* подбора сменных колес применяется, когда невозможно применить точный способ настройки. В таком случае после подстановки исходных данных в формулу настройки передаточное отношение представляют десятичной дробью. После этого по специальным таблицам [21] подбирают сменные зубчатые колеса. Рассмотрим пример табличного подбора сменных колес.

**Пример 6.3.** Подобрать сменные колеса для двухпарной гитары дифференциальной цепи для нарезания косозубого колеса с нормальным модулем  $m_n = 3$  мм и углом наклона винтовой линии  $\beta = 20^\circ 15'$  однозаходной червячно-модульной фрезой на станке 5К324А. Комплект сменных колес станка для гитары данной кинематической цепи содержит 45 колес: 20 (2 шт.), 23, 24 (2 шт.), 30, 33, 34, 35, 37, 40 (2 шт.), 41, 43, 45, 47, 50, 53, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 67, 70 (2 шт.), 71, 72, 75 (2 шт.), 79, 80, 83, 85, 89, 90, 92, 95, 97, 98, 100.

**Решение:** 1. Подставляем исходные данные в формулу настройки

$$i_\varphi = \frac{7,95775 \sin \beta}{m_n k_{\text{фр}}} = \frac{7,95775 \sin 20^\circ 15'}{3 \cdot 1} = 0,918112.$$

2. По таблицам находим ближайшее значение десятичной дроб-

би  $i_{\varphi \text{ табл}} = 0,91811 = \frac{370}{403}$ . Числитель и знаменатель раскладываем

на множители и применяем точный способ подбора:  $i_{\varphi \text{ табл}} =$

$$= \frac{370}{403} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 37}{13 \cdot 31} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 37 \cdot 10}{13 \cdot 31 \cdot 10} = \frac{100 \cdot 37}{62 \cdot 65}.$$

Итак, фактическое передаточное отношение будет равно  $i_{\text{фак}} = \frac{A \cdot C}{B \cdot D} = \frac{100 \cdot 37}{62 \cdot 65}$ .

*Автоматизированный способ* подбора сменных колес с использованием персональных ЭВМ эффективен, когда необходимо наиболее точно подобрать заданное передаточное отношение гитары, но применить точный метод не представляется возможным. Кроме того, исключается кропотливая работа по ручному подбору сменных зубчатых колес, что позволяет технологам и наладчикам сократить затраты времени на настройку.

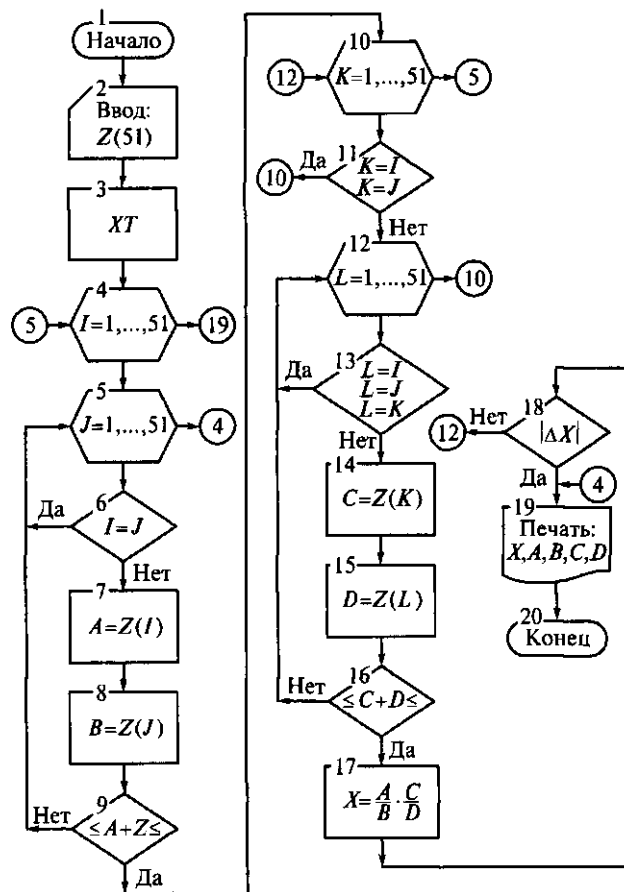


Рис. 6.13. Алгоритм автоматизированного подбора сменных колес двухпарной гитары дифференциальной цепи зубофрезерного станка

На рис. 6.13 приведен алгоритм автоматизированного подбора сменных колес для двухпарных гитар на ПЭВМ.

Программа начинается с описания переменных (блок 1) в зависимости от языка программирования. В блоке 2 вводится массив, состоящий из комплекта сменных зубчатых колес, предназначенных для гитары конкретной кинематической цепи станка. Например для дифференциальной цепи зубофрезерного станка 5К310 будет записано:  $Z(51)/ 20, 20, 25, 25, 27, 30, 30, 32, 34, 35, 35, 36, 37, 38, 40, 40, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 50, 50, 53, 55, 55, 58, 59, 60, 60, 61, 62, 64, 65, 67, 70, 71, 73, 74, 75, 75, 79, 80, 83, 89, 90,$

95, 97, 98, 100. Формула настройки  $i_{\varphi} = \frac{4 \sin \beta}{m_n k_{\text{фр}}}$  запишется в блоке 3 (для всех станков и различных кинематических цепей теоретически рассчитанное передаточное отношение обозначим одинаково —  $XT$ ).

В блоках модификации 4 и 5 последовательно перебираются зубчатые колеса из набора до тех пор, пока не подберется первая пара сменных колес  $A$  и  $B$ , удовлетворяющая условиям сцепляемости  $73 \leq A + B \leq 121$ , которые записываются в блоке сравнения 9. Кроме того, в программе должно быть поставлено условие  $I \neq J$  (блок 6). Это означает: если для сменного колеса из набора взято четвертое по счету колесо, т.е.  $A = Z(I) = Z(4)$ , то сменное колесо  $B$  уже таким не может быть, так как из набора оно изъято.

Аналогичным образом подбирается вторая пара сменных колес  $C$  и  $D$ . Но здесь уже  $K \neq I, K \neq J, K \neq L, L \neq I, L \neq J$ . Эти условия оговариваются в блоках 11 и 13. В блоке 16 записываются условия сцепляемости колес  $C$  и  $D$ :  $90 \leq C + D \leq 134$ . В блоке 17 вычисляется текущее значение  $X$  передаточного отношения, которое потом сравнивается с теоретически рассчитанным  $XT$  (блок 18). В каждом следующем расчете, если величина  $\Delta X = |XT - X|$  будет больше, то это текущее значение отбрасывается, а если меньше, то текущее значение  $X$  запоминается. Так ПЭВМ перебирает весь набор до тех пор, пока не найдет  $X = XT$ ; в противном случае, перебрав все значения, выведет на печать передаточное отношение, самое близкое к теоретически рассчитанному.

Подбор колес на современных ПЭВМ осуществляется за 1...2 с. Перебрать все передаточные отношения человеку просто не под силу, так как, например для рассматриваемого станка нужно выполнить  $51^4$  расчетов.

Далее приведен пример автоматизированного подбора сменных колес.

**Пример 6.4.** Настроить дифференциальную кинематическую цепь зубофрезерного станка 5К310 для нарезания косозубо-

го колеса с нормальным модулем  $m_n = 4$  мм и  $\beta = 12^\circ$  однозаходной червячной фрезой.

**Решение:** 1. Вычисляем теоретически необходимое передаточное отношение двухпарной гитары дифференциальной цепи:

$$i_{\text{ф табл}} = \frac{4 \sin 12^\circ}{4 \cdot 1} = 0,207911.$$

2. По таблицам [21] находим ближайшие десятичные дроби:

$i_{\text{ф1}} = 0,207911 = \frac{205}{986} = \frac{5 \cdot 41}{2 \cdot 17 \cdot 29} = \frac{41 \cdot 5}{58 \cdot 17} = \frac{41 \cdot 25}{58 \cdot 85}$ . Оказалось, что колеса  $z = 85$  нет в комплекте сменных колес;  $i_{\text{ф2}} = 0,207912 =$

$= \frac{247}{1188} = \frac{13 \cdot 19}{4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 11}$ . После нескольких попыток становится очевидным, что предлагаемые таблицами дроби нельзя выразить через числа зубьев колес из данного набора.

3. Воспользуемся другими таблицами [17] и выпишем ближайшую десятичную дробь и рекомендуемые таблицей колеса:

$i_{\text{ф3}} = 0,2079108 = \frac{25 \cdot 41}{58 \cdot 85}$ . Оказалось, что эти таблицы рекомендуют такие же колеса, как и в первом случае. Подбор колес по этим таблицам значительно быстрее, но опять нет колеса  $z = 85$  в наборе данного станка.

4. Используем программный способ подбора [2] и введем исходные данные в компьютер.

Через 1 с на мониторе получаем ответ: наиболее близкое к заданному передаточному отношению на данном станке можно настроить  $i_{\text{ф фак}} = 0,207900$ , которое реализуется сменными колесами  $A = 40$ ,  $B = 74$ ,  $C = 25$  и  $D = 65$ , причем передаточное отношение подобрано с учетом удовлетворения условиям сцепляемости сменных колес.

Преимущество автоматизированного способа подбора проявляется и в случае, если набор сменных колес при эксплуатации разукomплектован. В этом случае следует исключить из массива  $z$  (51) недостающие колеса и изменить число 51 в циклах программы.

## 6.7. Зубообрабатывающие станки с ЧПУ

Для современных зубообрабатывающих станков характерна возможность программного управления как для формирования циклов обработки, так и для наладки станков. Благодаря этому

коренным образом изменилась структура их кинематических цепей и ряд настроечных элементов. Для перемещения по всем координатам вместо передач со сменными зубчатыми колесами и различных кулачков установлены индивидуальные приводы с серводвигателями и электронными датчиками обратной связи, а также передачи качения с предварительным натягом шариков. Для управления работой зубообрабатывающих станков с ЧПУ используется многокоординатная система с несколькими (до шести) одновременно управляющими координатами. В станках со связанным вращением инструмента и заготовки (зубофрезерные, зубодолбежные, зубошлифовальные и др.) система ЧПУ содержит специальное устройство, синхронизирующее их вращение.

Каждому направлению перемещения рабочих органов зубообрабатывающих станков с ЧПУ присвоены определенные обозначения осей координат, одинаковые во всех странах. Схемы расположения координатных осей приведены в табл. 6.2.

К преимуществам зубообработки на станках с ЧПУ по сравнению с традиционными станками относятся минимальное время переналадки станка на заготовки с другими параметрами, а также возможность без применения специальных устройств обрабатывать зубчатые колеса различных типов (цилиндрические, конические, бочкообразные, червячные, некруглые и др.) за счет использования связанного перемещения рабочих органов станка одновременно по нескольким координатным осям.

Таблица 6.2

**Схемы расположения координатных осей на зубообрабатывающих станках с ЧПУ**

Тип станка	Координатные оси	
	Схема расположения	Назначение
Зубофрезерный вертикальный для обработки цилиндрических колес		<p><i>A</i> — поворот суппорта; <i>B</i> — вращение фрезы; <i>C</i> — вращение заготовки; <i>X</i> — перемещение фрезерной стойки в радиальном направлении; <i>Y</i> — перемещение фрезерной каретки в направлении оси фрезы; <i>Z</i> — перемещение каретки с фрезой в вертикальном направлении</p>

Окончание табл. 6.2

Тип станка	Координатные оси	
	Схема расположения	Назначение
Зубофрезерный горизонтальный для обработки цилиндрических колес		<p><i>A</i> — поворот суппорта; <i>B</i> — вращение фрезы; <i>C</i> — вращение заготовки; <i>X</i> — перемещение фрезерной стойки в радиальном направлении; <i>Y</i> — перемещение фрезерной каретки в направлении оси фрезы; <i>Z</i> — перемещение стойки с фрезой в горизонтальном направлении</p>
Зубодолбежный		<p><i>C</i> — вращение долбяка; <i>D</i> — вращение заготовки; <i>X</i> — перемещение стола с заготовкой в радиальном направлении; <i>Y</i> — перемещение стойки с долбяком в поперечном направлении; <i>Z</i> — перемещение каретки с долбяком в вертикальном направлении</p>
Зубошеввинговальный		<p><i>A</i> — поворот шевверной головки; <i>B</i> — вращение шеввера; <i>C</i> — вращение заготовки; <i>X</i> — перемещение стола с заготовкой в вертикальном направлении; <i>Z</i> — перемещение стола с заготовкой в горизонтальном направлении</p>
Зуборезный для конических колес с круговыми зубьями		<p><i>A</i> — поворот бабки изделия; <i>B</i> — вращение инструмента; <i>C</i> — вращение заготовки; <i>X</i> — перемещение каретки с инструментом в вертикальном направлении; <i>Y</i> — перемещение салазок со стойкой в продольном направлении; <i>Z</i> — перемещение стойки с инструментом в поперечном направлении</p>

### **Контрольные вопросы**

1. Каким режущим инструментом обрабатываются зубчатые колеса по методу обката?
2. Какие движения настраиваются на зубофрезерном станке при обработке цилиндрического косозубого колеса?
3. Можно ли на зубодолбежном станке обрабатывать косозубое колесо?
4. Назовите кинематические цепи, которые необходимо настроить, чтобы обработать червячное колесо на зубофрезерном станке.
5. Расскажите об устройстве зубострогального станка для нарезания конических прямозубых колес.
6. Какие зубоотделочные станки вы знаете?
7. Для чего применяют шевингование зубчатых колес? Как взаимно располагаются оси шевера и шевингуемого колеса?
8. Можно ли на одном и том же зубообрабатывающем станке с ЧПУ нарезать зубья на цилиндрическом и коническом колесе?



## ГЛАВА 7

### РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

#### 7.1. Резьбофрезерные станки

Методов нарезания резьб много: резцом на токарно-винторезных станках (наружных и внутренних резьб различного профиля); метчиком на сверлильных станках; плашкой; гребенками; резьбонарезными головками; накаткой; фрезерованием.

Резьбофрезерование — один из наиболее производительных методов — выполняется на специализированных резьбофрезерных станках. Для фрезерования используют дисковые и гребенчатые фрезы.

*Фрезерование дисковой фрезой* (рис. 7.1, а) применяют для нарезания длинных резьб, например на ходовых винтах. Фре-

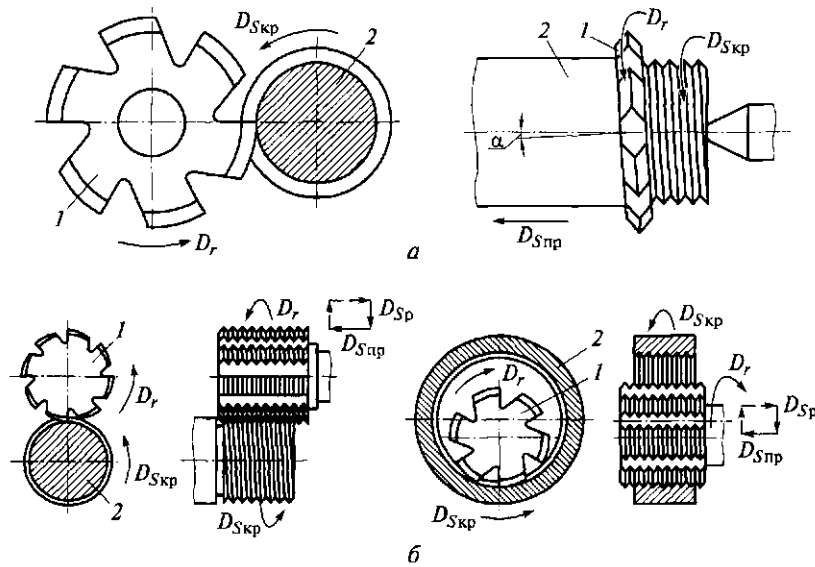


Рис. 7.1. Схемы фрезерования резьб дисковой (а) и гребенчатой (б) фрезой:

1 — фреза; 2 — заготовка;  $\alpha$  — угол установки оси фрезы

за 1 получает главное вращательное движение  $D_r$ , заготовка 2 — движение круговой подачи  $D_{скр}$ . Фреза устанавливается на полную глубину профиля резьбы, а ее ось — по отношению к оси вращения заготовки под углом  $\alpha$ , равным углу подъема винтовой линии нарезаемой резьбы. За один оборот заготовки фреза получает продольную подачу на шаг нарезаемой резьбы.

**Фрезерование гребенчатой фрезой** (рис. 7.1, б) применяют для нарезания коротких наружных и внутренних резьб. Гребенчатая фреза 1 получает главное вращательное движение  $D_r$ . Во время обработки ось фрезы расположена параллельно оси обрабатываемой детали. Заготовка 2 получает движение круговой подачи  $D_{скр}$ . Фрезу подводят к заготовке и сообщают ей движение радиальной подачи  $D_{сп}$ , осуществляя врезание на полную глубину профиля резьбы при одновременной продольной подаче за один оборот заготовки на шаг нарезаемой резьбы. После нарезания резьбы фреза отводится и возвращается в исходное положение. Ширина гребенчатой фрезы должна быть больше длины нарезаемой резьбы на 2—3 шага.

Этот способ рекомендуется применять для неответственных резьб (обычно крепежных с шагом до 6 мм), поскольку профиль резьбы получается менее точным, чем при резьбофрезеровании дисковой фрезой. Преимущество этого способа — его высокая производительность: нарезание резьбы выполняют примерно за 1,2 оборота заготовки.

**Резьбофрезерный полуавтомат.** На рис. 7.2 представлена кинематическая схема полуавтомата, предназначенного для фрезерования коротких наружных и внутренних резьб гребенчатыми фрезами в серийном и массовом производстве.

Вращение сообщается гребенчатой фрезе 1 электродвигателем М1 главного движения. Фреза установлена во фрезерной бабке 2, перемещение которой относительно пальца кулачка 5 подачи осуществляется рукояткой 3. Кулачок 4 предназначен для радиального врезания фрезы, которое происходит примерно за 1/6 оборота заготовки. Заготовка крепится в патроне шпинделя и получает медленное вращение от электродвигателя М2 круговых подач заготовки; ускоренное вращение шпинделя вместе с заготовкой — от электродвигателя М3, при этом электродвигатель М2 не отключается, а два вращательных движения складываются в коническом дифференциале.

**Главное движение** — вращение гребенчатой фрезы от электродвигателя М1. Уравнение баланса кинематической цепи главного движения:

$$n_1 \frac{4}{34} i_u \frac{24}{54} \frac{54}{24} = n_{фр},$$

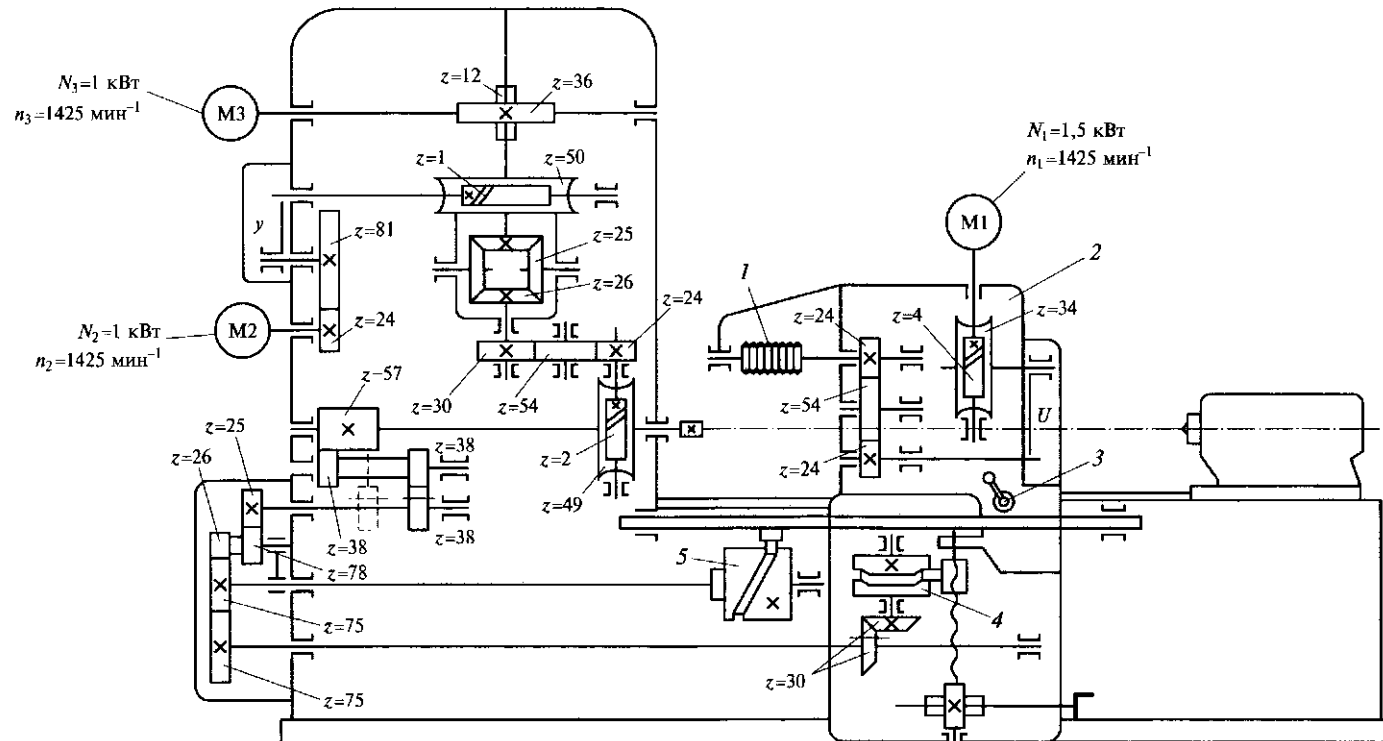


Рис. 7.2. Кинематическая схема резьбофрезерного полуавтомата:

1 — групповая фреза; 2 — фрезерная головка; 3 — рукоятка ручного перемещения фрезерной головки; 4 — кулачок радиального перемещения фрезы; 5 — кулачок продольного перемещения фрезерной бабки

где  $n_1$  — частота вращения электродвигателя М1:  $n_1 = 1425 \text{ мин}^{-1}$ ;  $i_u$  — передаточное отношение гитары  $u$  в цепи главного движения. Из уравнения получим формулу настройки этой цепи:

$$i_u = \frac{n_{\text{фр}}}{168}.$$

Частота вращения фрезы  $n_{\text{фр}}$ ,  $\text{мин}^{-1}$ , определится в зависимости от диаметра фрезы  $D_{\text{фр}}$  и необходимой скорости резания  $v$ :

$$n_{\text{фр}} = \frac{1000}{\pi} \frac{v}{D_{\text{фр}}}.$$

*Движение круговой подачи* — медленное вращение заготовки от электродвигателя М2. Уравнение баланса кинематической цепи круговой подачи:

$$n_2 \frac{24}{81} i_y \frac{1}{50} i_{\text{диф1}} \frac{30}{54} \frac{54}{24} \frac{2}{49} = \frac{S_{\text{кр}}}{\pi D_p},$$

где  $n_2$  — частота вращения электродвигателя М2:  $n_2 = 1425 \text{ мин}^{-1}$ ;  $D_p$  — средний диаметр нарезаемой резьбы, мм.

Передаточное отношение дифференциала в этом случае будет  $i_{\text{диф1}} = 2$ , так как Т-образный вал, жестко связанный с червячным колесом  $z = 50$ , является ведущим. Подставляя в уравнение  $i_{\text{диф1}} = 2$ , найдем формулу настройки кинематической цепи круговой подачи:

$$i_y = 0,37 \frac{S_{\text{кр}}}{D_p}.$$

Обычно в нормативах по режимам резания задается подача на один зуб фрезы  $S_z$ , поэтому нужно иметь представление, как выражается круговая подача  $S_{\text{кр}}$ , мм/мин, через подачу на один зуб. Для этого необходимо знать частоту вращения фрезы  $n_{\text{фр}}$  и ее число зубьев  $z_{\text{фр}}$ :

$$S_{\text{кр}} = S_z z_{\text{фр}} n_{\text{фр}}.$$

*Движение продольной подачи* — перемещение фрезерной бабки от кулачка 5. За один оборот заготовки фрезерная бабка должна переместиться на шаг нарезаемой резьбы  $P_{\text{н.р}}$ . Запишем уравнение баланса кинематической цепи продольной передачи:

$$1 \text{ об. заг.} \cdot \frac{57}{38} \frac{25}{78} \frac{26}{75} L = \frac{\theta}{360} P_{\text{н.р}}.$$

Угол поворота кулачка 5, который соответствует подъему  $L$  на кулачке, всегда остается постоянным (например,  $\theta = 110^\circ$ ). Элементом настройки данной кинематической цепи является подъем кулачка  $L$ , который каждый раз устанавливают в зависимости от шага нарезаемой резьбы, предварительно определив его по формуле настройки

$$L = \frac{11}{6} P_{\text{н.р.}}$$

*Движение радиальной подачи* — врезание на полную глубину профиля резьбы осуществляется от кулачка 4. Уравнение баланса кинематической цепи радиальной подачи:

$$1 \text{ об.заг.} \frac{57}{38} \frac{25}{78} \frac{26}{75} \frac{75}{75} \frac{30}{30} = N \text{ об.кул.}$$

Таким образом, кулачок 4 во время врезания резьбовой фрезы совершает  $N = 1/6$  оборота. Величина врезания для каждого профиля резьбы устанавливается при наладке полуавтомата.

*Ускоренное вращение заготовки* выполняется от электродвигателя М3. Запишем уравнение баланса кинематической цепи ускоренного вращения заготовки:

$$n_3 \frac{12}{36} i_{\text{диф}2} \frac{30}{54} \frac{54}{24} \frac{2}{49} = n_{\text{заг}},$$

где  $n_3$  — частота вращения электродвигателя М3:  $n_3 = 1425 \text{ мин}^{-1}$ .

При ускоренном вращении заготовке передается вращение с постоянной угловой скоростью. Передаточное отношение дифференциала в этой кинематической цепи  $i_{\text{диф}2} = 1$ , так как ведущим и ведомым звеном является коническое колесо. Определим дополнительную частоту вращения, которую заготовка получит при включении электродвигателя М3, с учетом, что  $i_{\text{диф}2} = 1$ :

$$n_{\text{заг. уск}} = 24 \text{ мин}^{-1}.$$

**Фрезерование резьбы на станках с ЧПУ.** Резьбофрезерование выполняется с помощью фрез, показанных на рис. 7.3. На державке 1 винтом 4 крепится пластина 2 в виде гребенки с профилем, соответствующим профилю резьбы заготовки 3. Режущая пластина может быть изготовлена из керамики, нитрида бора и других современных инструментальных материалов, которым можно сообщать скорости резания более 1000 м/мин.

На станках с ЧПУ с помощью таких резьбовых фрез можно обрабатывать наружные (рис. 7.3, а) и внутренние (рис. 7.3, б) резьбы на очень крупных деталях; на деталях, которые трудно

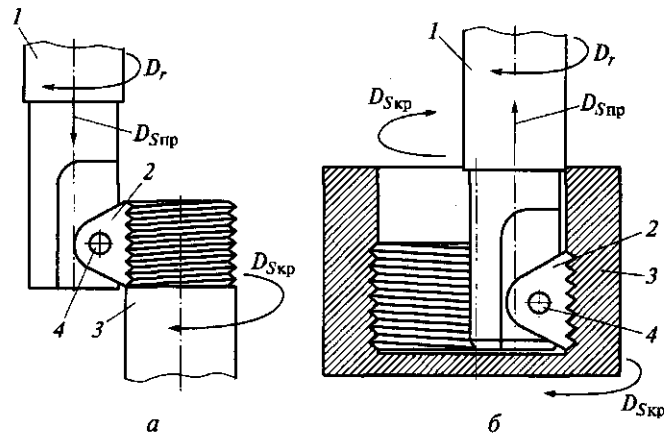


Рис. 7.3. Резьбофрезерование на станках с ЧПУ наружной (а) и внутренней (б) резьбы:

1 — державка; 2 — режущая пластина; 3 — заготовка; 4 — крепежный винт

или невозможно закрепить на токарном станке для нарезания резьбы резцом; на несимметричных деталях, имеющих при вращении значительный дисбаланс; в глухих отверстиях без канавок для выхода резьбового инструмента (см. рис. 7.3, б); при очень больших диаметрах резьбы. Такие фрезы дают определенные преимущества. В первую очередь, это сокращение машинного времени благодаря высоким скоростям резания и подачам, а также возможности полной обработки за один проход полного по глубине профиля резьбы. Благодаря получению короткой, легко удаляемой стружки, возможно сокращение времени на удаление стружки. Можно сократить комплект инструмента за счет применения одного инструмента для внутренних и наружных левых и правых резьб; одной державки для наружной и внутренней резьбы, а также для резьб различного профиля и шага; наличия на каждой пластине нескольких режущих кромок; нанесенного на пластины износостойкого покрытия.

Для работы такими фрезами необходим станок с ЧПУ с одновременным программным управлением по трем осям и с перемещением режущей точки по винтовой линии: главное вращательное движение  $D_r$  фрезы, вращение заготовки (движение круговой подачи  $D_{Sкр}$ ) и движение продольной подачи  $D_{Sпр}$  (перемещение вдоль оси заготовки на шаг нарезаемой резьбы  $P_{н.р}$  за один оборот заготовки). Движение радиальной подачи  $D_{Sр}$  обеспечивает врезание на глубину профиля резьбы. Способность ЧПУ обеспечить комбинации направления вращения и движения подач позволяет получать различные резьбы. Пред-

почтение надо отдавать попутному резьбофрезерованию, при котором наиболее низкие усилия резания, лучшее стружкообразование, качество обработанной поверхности и большая стойкость инструмента.

При обработке внутренней резьбы в глухих отверстиях также снижается опасность заклинивания резьбовой фрезы из-за упора в лежащую в отверстии стружку. В то же время при обработке закаленных поверхностей или труднообрабатываемых материалов иногда рационально применение встречного фрезерования.

При выборе инструмента для фрезерования внутренней резьбы решающим фактором является возможность выбора наибольшего диаметра фрезы для заданного диаметра отверстия. Предпочтение также нужно отдавать пластинам с длиной режущей кромки больше длины резьбы, чтобы иметь возможность обработать резьбу за один оборот заготовки.

## **7.2. Станки для нарезания резьбы метчиками**

Область безусловного применения метчиков — нарезание резьбы в отверстиях диаметром от 1 до 10 мм.

Обработка резьбовых отверстий всегда была одной из наиболее медленных технологических операций. При нарезании резьбы метчиком существуют жесткие требования к соответствию подачи и шага резьбы, а также к соосности инструмента и обрабатываемого отверстия. При использовании метчиков шпиндель меняет направление вращения на противоположное два раза за один цикл нарезания резьбы. Нарезание резьб в большом количестве отверстий и с высокой производительностью приводит к преждевременному износу элементов шпиндельного узла. В станках нового поколения применяют резьбонарезные патроны, осуществляющие реверс метчика без изменения направления вращения шпинделя. В гл. 13 (см. рис. 13.1) рассмотрено применение такого патрона, позволяющего вести обработку резьбового отверстия на больших частотах вращения шпинделя.

В ГПС применяются резьбонарезные манипуляторы, которые состоят из двух (и более) рычагов с шарнирным соединением и резьбонарезного патрона с пневматическим приводом движения. Данные машины используются для нарезания резьб от М2 метчиками с частотой вращения от 80 до 1000 об/мин. Обработка возможна в строго зафиксированном горизонтальном или вертикальном положении, а также под любым углом.

Существуют и резьбонарезные аппараты, представляющие собой многоступенчатую модульную систему с быстросменны-

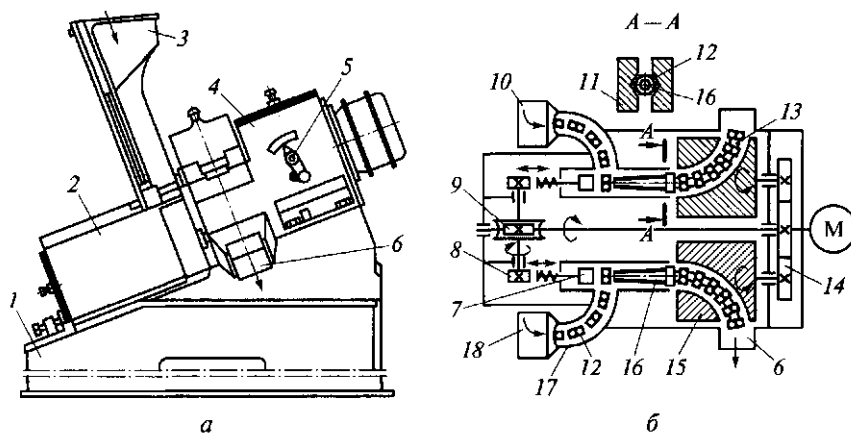


Рис. 7.4. Общий вид (а) гайконарезного автомата и принципиальная схема (б) резьбонарезного устройства:

1, 2 — станины; 3 — бункер для заготовок; 4 — привод; 5 — рукоятка; 6, 17 — лотки; 7 — толкатель; 8 — кулачок; 9 — червячная передача; 10, 18 — шпиндельные узлы; 11 — направляющие; 12 — заготовки гаек; 13 — изогнутый хвостовик; 14 — зубчатая передача; 15 — патрон; 16 — метчик

ми патронами, которые, в свою очередь, предназначены для определенного типа резьбы. Непосредственно в патроны вставляются вставки для метчиков. Быстросменные вставки могут быть различного исполнения, в том числе и с предохранительными муфтами.

В крупносерийном и массовом производстве нарезание резьбы в гайках выполняется на специальном гайконарезном автомате посредством метчиков с прямым или изогнутым хвостовиком. На рис. 7.4 представлен двухшпиндельный автомат, в котором нарезание резьбы происходит при передвижении заготовок гаек 12 по каналу вдоль метчика 16 с изогнутым хвостовиком 13. Автомат состоит из станин 1 и 2, механизма привода 4, воздействующего на шпиндельные узлы 10 и 18, имеет бункер 3 для заготовок. Шпиндельные узлы включаются в работу рукояткой 5. В каждом шпиндельном узле метчику 16 совместно с патроном 15 сообщается вращение от общего электродвигателя М через зубчатую передачу 14. Заготовки гаек 12 из бункера 3 поступают к вращающемуся метчику по изогнутому лотку 17 и толкателем 7 прижимаются к нему. Толкатель 7 получает осевое перемещение от кулачка 8 при его вращении от червячной передачи 9.

В процессе обработки гайки перемещаются по метчику 16, направляющим 11 и по изогнутому хвостовику 13 выбрасываются в лоток 6.



Гайконарезной автомат при высокой производительности обладает существенным недостатком — на нем можно обрабатывать гайки только одного размера.

### 7.3. Станки для вихревого нарезания резьбы

Вихревое нарезание резьбы применяется в условиях серийного производства преимущественно для скоростного нарезания длинных ходовых винтов металлорежущих станков. Главное вращательное движение сообщается вихревой резцовой головке. Продольная подача настраивается на шаг нарезаемой резьбы. Скорость круговой подачи изделия (нарезаемого ходового винта) соответствует частоте вращения шпинделя 4... 40 об/мин. Глубина резания равна высоте профиля нарезаемой резьбы.

Специальный станок для вихревого нарезания резьбы (рис. 7.5) создан на базе токарно-винторезного станка для скоростного нарезания резьбы на длинных ходовых винтах. Обработку ведут с использованием резцовой (вихревой) головки 1. Резцовая головка смонтирована на поперечном суппорте 2, который вместе с кареткой 3 перемещается по направляющим станины. Резцовую головку устанавливают на угол подъема нарезаемой резьбы, поворачивая вокруг оси 6, и в этом положении закрепляют. На заданную глубину резания ее перемещают винтом 5.

При нарезании резьбы реечное зубчатое колесо  $z = 12$  ( $m = 2$  мм) кнопкой 8 выводят из зацепления с рейкой.

Перемещение резцовой головки вручную производят при помощи рукояток 4 и 9. Вращение рукоятки 9 передается зубчатой паре 20/60 и реечному колесу  $z = 12$ , которое сообщает каретке с резцовой головкой продольное движение. Рукояткой 4 вращают винт, который перемещает суппорт с резцовой головкой в поперечном направлении.

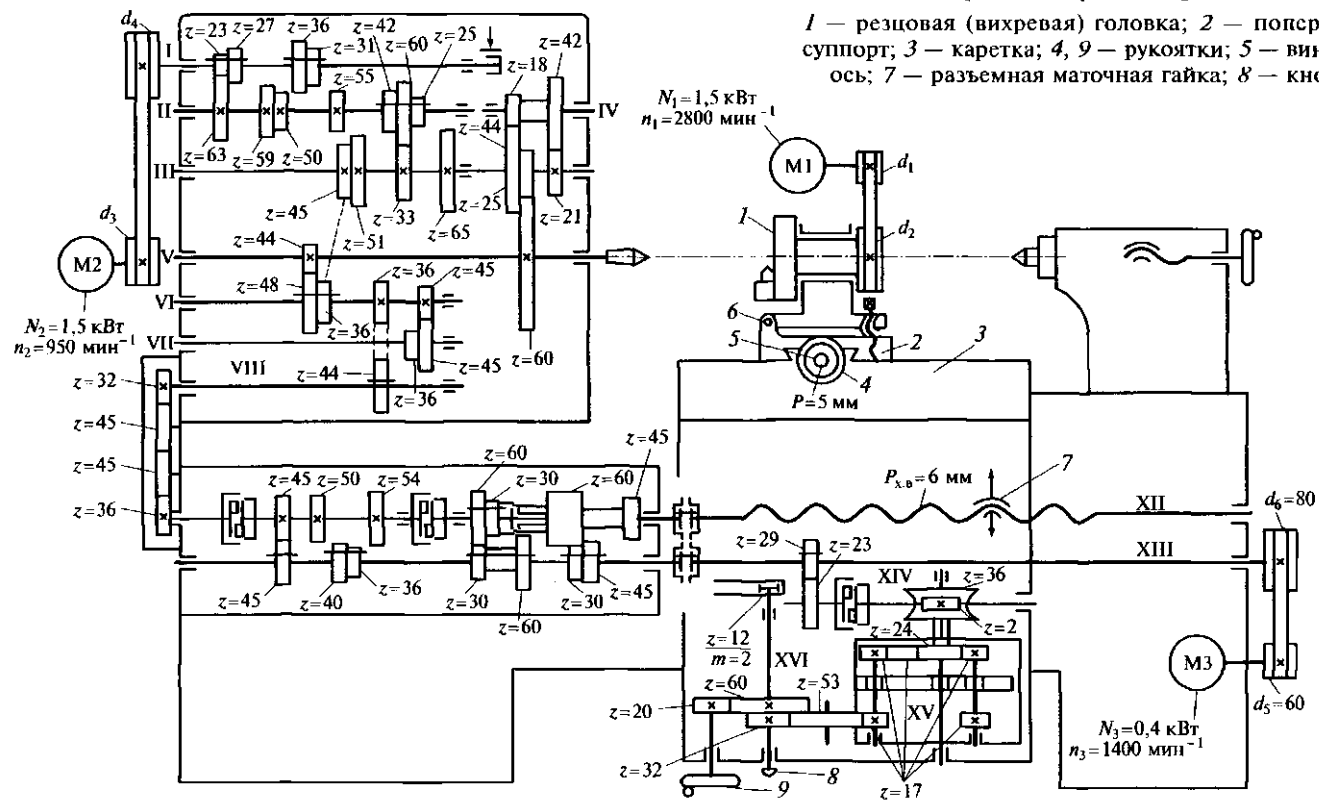
Включение ускоренного хода каретки заблокировано с разъемной маточной гайкой 7 ходового винта: перед включением ускоренного хода (от двигателя МЗ) половинки гайки разводятся, освобождая ходовой винт.

### 7.4. Резьбошлифовальные станки

**Принцип работы.** Шлифование резьбы применяют при изготовлении резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, накатных роликов, ходовых винтов, червячных фрез в мелкосерийном и серийном производствах. При шлифовании резьбы используют однопиточные и многопиточные абразивные круги.

Рис. 7.5. Кинематическая схема станка для  
вихревого нарезания резьбы:

1 — резцовая (вихревая) головка; 2 — поперечный  
суппорт; 3 — каретка; 4, 9 — рукоятки; 5 — винт; 6 —  
ось; 7 — разъемная маточная гайка; 8 — кнопка



При шлифовании резьбы *однониточным кругом* (рис. 7.6, а) его ось вращения устанавливают под углом  $\alpha$  к оси вращения заготовки, равным углу подъема винтовой линии резьбы. Профиль абразивного круга соответствует профилю впадины шлифуемой резьбы. Во время обработки круг получает главное вращательное движение  $D_r$ , а заготовка — вращение с круговой подачей  $S_{кр}$  и перемещение вдоль своей оси на шаг резьбы за один оборот заготовки (движение продольной подачи  $D_{спр}$ ). Этим способом можно шлифовать высокоточные резьбы различного профиля и длины.

*Шлифование резьб многониточными кругами* выполняют с продольной подачей  $S_{пр}$  и предварительным радиальным врезанием. Оси абразивного круга и заготовки устанавливают параллельно. Врезное шлифование (рис. 7.6, б) применяют для обработки коротких резьб и деталей с кольцевой нарезкой (групповые резьбовые фрезы). При обработке вращающийся круг врезается с радиальной подачей  $S_r$  на полную или установленную глубину профиля резьбы за время, соответствующее 1/2 оборота заготовки. При этом заготовка за один оборот переместится вдоль своей оси на шаг резьбы. Обработка завершается за 1,5 оборота заготовки. Ширина круга должна превышать длину резьбы более чем на два шага.

Шлифование резьбы многониточным кругом с продольной подачей  $S_{пр}$  (рис. 7.6, в) применяют при шлифовании длинных резьб. Кругу, установленному на полную глубину профиля резьбы, сообщают главное вращательное движение, а заготовке — вращение с круговой подачей  $S_{кр}$  и перемещение с продольной подачей  $S_{пр}$  на шаг за каждый ее оборот. Нитки круга, первые по движению, выполняют предварительное шлифование, а последние — окончательное.

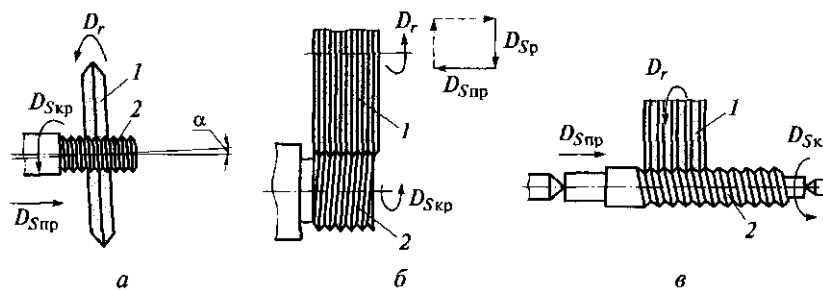


Рис. 7.6. Шлифование резьб однониточным (а) и многониточным (б, в) кругом:

1 — шлифовальный круг; 2 — заготовка;  $\alpha$  — угол поворота оси шлифовального круга

Шлифование многониточными кругами целесообразно применять для резьб невысокой точности с шагом до 4 мм. Поскольку оси круга и заготовки расположены параллельно, то при обработке резьбы наблюдается некоторое искажение профиля. Для резьб с малым углом подъема винтовой линии резьбы это искажение незначительно. Для шлифования резьб с большим шагом и углом подъема винтовой нарезки многониточные круги не применяют.

**Универсальный резьбошлифовальный полуавтомат.** Полуавтомат, показанный на рис. 7.7, предназначен для шлифования односторонним и многониточным шлифовальным кругом наружных резьб на метчиках, калибрах, накатных роликах, резьбовых групповых фрезах, червяках и червячных фрезах, ходовых винтах. Шлифование зубьев модульных дисковых фрез, метчиков и червячных фрез осуществляется на станке с одновременным затылованием\*.

Передняя 1 и задняя 6 бабки смонтированы на столе 9, который перемещается по направляющим качения станины 13.

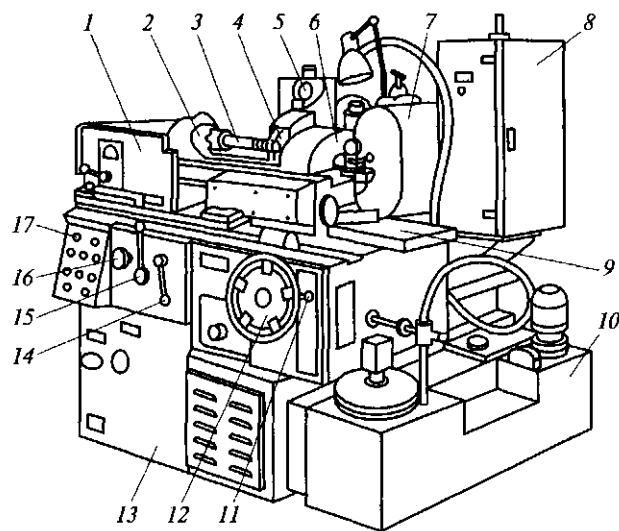


Рис. 7.7. Общий вид резьбошлифовального станка:

1 — передняя бабка; 2 — патрон; 3 — заготовка; 4 — шлифовальный круг; 5 — механизм правки; 6 — задняя бабка; 7 — шлифовальная бабка; 8 — шкаф электрооборудования; 9 — стол; 10 — гидростанция; 11 — рукоятка быстрого отвода и подвода шлифовальной бабки; 12 — маховик; 13 — станина; 14 — рукоятка включения и реверсирования перемещения стола; 15 — рукоятка лимба; 16 — рукоятка управления станком

\* О затыловании режущего инструмента см. подразд. 3.5.

С задней стороны на поперечных направляющих качения установлена шлифовальная бабка 7 с электродвигателем, передающим вращение шлифовальному кругу 4 через ременную передачу. Вращение заготовке 3, установленной в патроне 2 и базированной в центрах передней и задней бабок, сообщается от электродвигателя передней бабки через коробку скоростей, продольное перемещение стола — от того же электродвигателя через сменные зубчатые колеса и ходовой винт.

Перемещение в радиальном направлении при затыловании режущего инструмента происходит от электродвигателя передней бабки через кинематическую цепь и кулачок. Последний через механизм затылования осуществляет периодическое поперечное перемещение шлифовальной бабки для шлифования затылуемой поверхности каждого зуба инструмента и быстрый отвод бабки в исходное положение.

В станке предусмотрена автоматическая правка шлифовального круга 4 от механизма правки 5 с соответствующим перемещением шлифовальной бабки для компенсации износа круга.

Поперечное перемещение шлифовальной бабки 7 производится от маховика 12, а быстрый ее отвод и подвод — от рукоятки 11. Для необходимого перемещения стола 9 при вводе шлифовального круга 4 в нитку заготовки 3 с последующим закреплением механизма установки в нитку рукояткой 15 служит винт с лимбом 16. Для включения и реверсирования перемещения стола служит рукоятка 14.

Управление станком и наладка на автоматический цикл производится с пульта управления 17. Электрооборудование станка размещено в шкафу 8.

Централизованная смазка осуществляется от гидростанции 10.

Кинематическая схема станка показана на рис. 7.8. Составим уравнения баланса для всех кинематических цепей станка.

*Главное движение* — вращение шлифовального круга от электродвигателя М1. Уравнение баланса кинематической цепи главного движения:

$$n_1 \frac{d_1}{d_2} = n_{ш.кр},$$

где  $n_1$  — частота вращения электродвигателя М1:  $n_1 = 2880 \text{ мин}^{-1}$  для однопольного шлифовального круга,  $n_1 = 1440 \text{ мин}^{-1}$  для многопольного;  $n_{ш.кр}$  — частота вращения шлифовального круга.

*Движение круговой подачи* — вращение заготовки от электродвигателя М2 постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения выходного вала II (включена зубчатая муфта I):



Поскольку шаг ходового винта  $P_{х.в} = \frac{1}{6}$ '' выражен в дюймах, а шаг нарезаемой резьбы  $P_{н.р}$  чаще всего задается в миллиметрах, то формулу настройки данной винторезной цепи записывают как

$$i_y = \frac{P_{н.р}}{P_{х.в}} = \frac{6P_{н.р}}{25,4};$$

б) со звеном увеличения шага, когда шаг шлифуемой резьбы больше, чем шаг ходового винта (муфта 2 включена влево)

$$1 \text{ об. заг. } \frac{96}{24} i_y P_{х.в} = P_{н.р}.$$

Отсюда формула настройки, определяющая передаточное отношение  $i_y$  гитары винторезной цепи, имеет вид

$$i_y = \frac{P_{н.р}}{4P_{х.в}}.$$

*Движение затылования* формирует задний угол режущего инструмента по криволинейной поверхности. За один оборот заготовки шлифовальная бабка по поперечным направляющим качения столько раз совершает возвратно-поступательное движение, сколько зубьев  $z$  имеет затылуемый инструмент. В поперечном направлении за 1 оборот заготовки кулачок должен сделать  $z$  полных оборотов. Напишем уравнение баланса кинематической цепи затылования:

$$1 \text{ об. заг. } \frac{36}{2} \frac{28}{42} i_{д1} i_x \frac{20}{20} \frac{20}{20} \frac{35}{35} \frac{26}{26} = z.$$

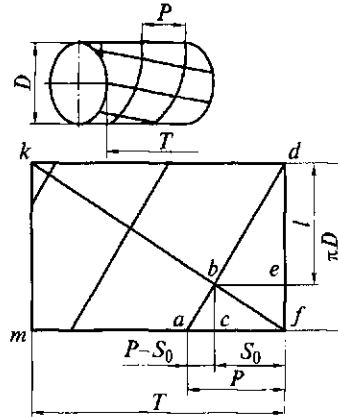
Передаточное отношение конического дифференциала  $i_{д1} = \frac{1}{2}$ , так как Т-образный вал в этом суммирующем механизме является ведомым звеном.

Таким образом, формула настройки данной кинематической цепи имеет вид:

$$i_x = \frac{z}{6}.$$

*Дифференциальное движение* обеспечивает дополнительный поворот кулачка, от которого осуществляется перемещение

Рис. 7.9. Развертка червячно-модульной фрезы



шлифовальной бабки при продольном перемещении стола вместе с заготовкой. Эту кинематическую цепь необходимо настраивать при затыловании режущих инструментов со спиральными стружечными канавками. Рассмотрим подробнее, почему это необходимо, на примере затылования червячно-модульной фрезы (рис. 7.9).

Червячная фреза имеет резьбовую нарезку с шагом  $P$  и спиральную стружечную канавку с шагом  $T$ , которая выполнена перпендикулярно к винтовой нарезке. На рисунке развертки линия  $kf$  представляет направление спиральной стружечной канавки, а перпендикулярные к ней линии — винтовую нарезку;  $D$  — диаметр червячной фрезы. Во время затылования при продольном перемещении заготовки вместе со столом за один цикл обработки режущая точка должна переместиться на величину  $S_0$  для того, чтобы прийти в точку  $b$ , находящуюся на линии спиральной стружечной канавки.

Из подобия  $\Delta adf$  и  $\Delta bde$  получим  $\frac{l}{\pi D} = \frac{be}{af} = \frac{S_0}{P}$ . Отношение  $\frac{S_0}{P}$  представляет долю оборота заготовки за один цикл затылования и называется цикловым поворотом заготовки. Выразим цикловой поворот заготовки через исходные величины  $P$  и  $T$ . Из подобия треугольников  $\Delta abc$  и  $\Delta adf$ , а также  $\Delta bfc$  и  $\Delta kfm$  получаем

$$\frac{bc}{\pi D} = \frac{P - S_0}{P} \quad \text{и} \quad \frac{bc}{\pi D} = \frac{S_0}{T}.$$

Таким образом,  $\frac{P - S_0}{P} = \frac{S_0}{T}$  или  $\frac{P}{T} = \frac{P - S_0}{S_0}$ , или  $\frac{P}{T} = \frac{P}{S_0} - 1$ .

Следовательно,  $\frac{T + P}{T} = \frac{P}{S_0}$  или  $\frac{S_0}{P} = \frac{T}{T + P}$ , т.е. мы выразили цикловой поворот заготовки через исходные величины: шаг стружечной канавки  $T$  и шаг резьбы  $P$ . Таким образом, кулачок делает один оборот, а заготовка долю оборота, равную  $\frac{T}{T + P}$ .



Итак,  $\frac{T}{T+P}$  оборотов заготовки соответствует 1 обороту кулачка:

$$\frac{T}{T+P} \text{ об.заг. } \dots = 1 \text{ об.к.}$$

Расчет настройки цепи затылования ведется за один оборот заготовки, поэтому, разделив обе части равенства на величину

$$\frac{T}{T+P}, \text{ получим}$$

$$1 \text{ об.заг. } \dots = \frac{T+P}{T} \text{ об.к.}$$

Это соответствует условию, когда заготовка имеет один зуб. Если же фреза имеет  $z$  зубьев, то

$$1 \text{ об.заг. } \dots = z \left( \frac{T \pm P}{T} \right) \text{ об.к.},$$

или

$$1 \text{ об.заг. } \dots = z \pm \frac{zP}{T} \text{ об.к.}$$

Полученное равенство называется *общим уравнением затылования*: знак плюс соответствует левой, а знак минус — правой спиральной стружечной канавке.

При затыловании цилиндрических фрез со спиральными стружечными канавками или червячных фрез первое слагаемое выполняется цепью затылования, а второе  $\frac{zP}{T}$  — дифференциальной цепью.

При затыловании цилиндрических фрез с прямолинейными стружечными канавками второе слагаемое равно нулю, так как шаг  $T \rightarrow \infty$ .

Теперь можно приступить к составлению уравнения баланса дифференциальной кинематической цепи станка. Если стол переместится на шаг резьбы  $P_{н.р.}$ , то ходовой винт станка повернется на угол  $P_{н.р.}/P_{х.в.}$ , а кулачок должен повернуться на долю

оборота, равную  $\frac{zP_{н.р.}}{T}$ . Мы выяснили начальное и конечное пе-

ремещения в данной кинематической цепи. Теперь начальное перемещение умножим на передаточное отношение всей цепи и приравняем конечному перемещению:

$$\frac{P_{н.р}}{P_{х.в}} \frac{1}{i_y} i_\phi \frac{2}{30} i_{д2} i_x \frac{20}{20} \frac{20}{20} \frac{35}{35} \frac{26}{26} = \frac{z P_{н.р}}{T}.$$

Передаточное отношение конического дифференциала  $i_{д2} = 1/2$ , так как ведущим звеном является коническое колесо  $z = 32$ , заблокированное с червячным колесом  $z = 30$ , а Т-образный вал — ведомое звено. Подставив в уравнение  $i_x = \frac{z}{6}$ ,  $i_y = \frac{6 P_{н.р}}{25,4}$ ,  $P_{х.в} = \frac{25,4}{6}$  и сократив левую и правую части уравнения на  $P_{н.р}$ , найдем из него выражение для определения передаточного отношения  $i_\phi$ , т. е. запишем формулу настройки дифференциальной кинематической цепи:

$$i_\phi = \frac{180}{T} P_{н.р}.$$

Полученная формула настройки справедлива, когда обработка происходит при работе винторезной цепи без звена увеличения шага. В случае, когда движение на ходовой винт VI передается

через звено увеличения шага, при подстановке  $i_y = \frac{P_{н.р}}{4 \cdot P_{х.в}}$  получится другое выражение для определения передаточного отношения гитары  $\phi$ . Учащимся предлагается самостоятельно получить формулу настройки дифференциальной цепи для случая, когда движение на ходовой вал передается через звено увеличения шага.

Для компенсации погрешностей ходового винта на станке установлена коррекционная линейка. Она используется также при невозможности точно настроить винторезную цепь из имеющегося набора сменных колес. Разворотом линейки на расчетный угол компенсируют погрешность настройки. Рычаг поворачивает гайку стола, на которой кроме внутренней резьбы с шагом, равным шагу ходового винта, имеется наружная резьба с другим шагом. Поэтому при повороте гайки от коррекционной линейки происходит дополнительное смещение стола в том или ином направлении.

**Резьбошлифовальный станок с ЧПУ.** На рис. 7.10 представлена ориентировочная кинематическая схема, из которой видно, что для перемещения по каждой координате  $X$ ,  $Y$ ,  $Z'$ ,  $C'$  и  $W$  предусмотрены электродвигатели М1 — М8, управляемые системой ЧПУ. Числовое программное управление повышает производительность и точность обработки, расширяет технологические возможности станка, повышает гибкость, при этом



### **Контрольные вопросы**

1. Какие методы резбофрезерования, режущий инструмент для их реализации и способы установки этого инструмента вы знаете?
2. Какие движения следует настроить на резбофрезерном станке, чтобы нарезать резьбу?
3. Каковы особенности конструкции резьбовой фрезы, применяемой на станках с ЧПУ?
4. Когда применяют специализированные автоматы для нарезания резьбы метчиками и в чем состоит особенность таких метчиков?
5. Как устанавливаются однниточные и многониточные шлифовальные круги при резбошлифовании длинных и коротких резьб?
6. Какие изделия обрабатываются на резбошлифовальном станке?
7. Для чего в резбошлифовальном станке существуют цепь затылования и дифференциальная цепь?
8. Какие движения выполняют узлы резбошлифовального станка при шлифовании резьбы червячно-модульной фрезы?
9. Какие функции выполняет коррекционная линейка в резбошлифовальном станке с ручным управлением?
10. Нужны ли коррекционные линейки на резбошлифовальных станках с ЧПУ?
11. Как согласуются движения шлифовального круга и обрабатываемой детали при шлифовании затылованной резьбовой поверхности на резбошлифовальном станке с ЧПУ?

## ГЛАВА 8

### ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

#### 8.1. Основные типы станков

Область применения фрезерных станков обширна: обработка плоских и фасонных поверхностей, прямых и винтовых канавок, резьб, зубчатых колес цилиндрическими, концевыми,

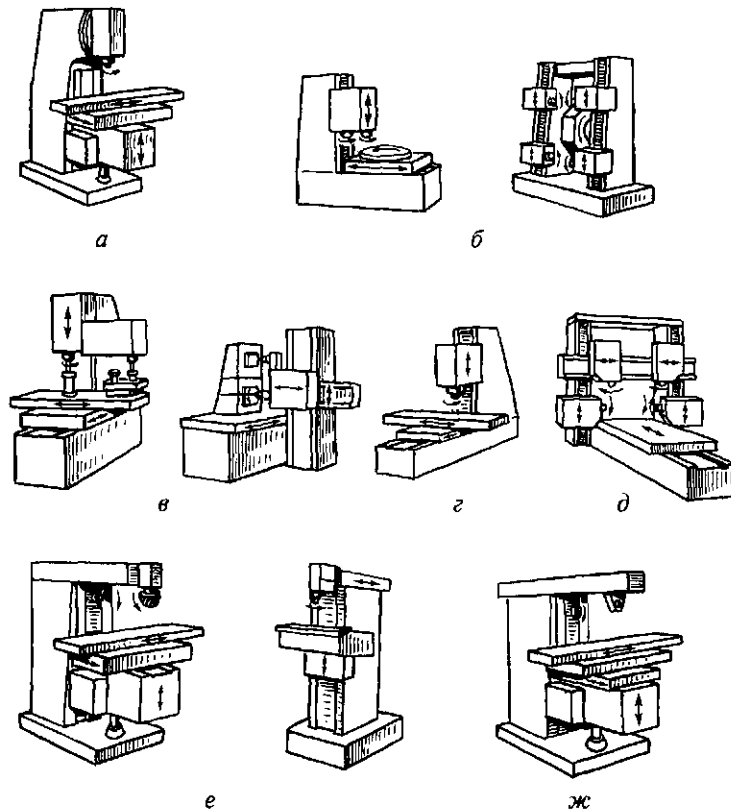


Рис. 8.1. Основные типы фрезерных станков:

*а* — консольный вертикальный; *б* — непрерывного действия; *в* — копировальные; *г* — вертикальный бесконсольный с крестовым столом; *д* — продольный двухстоечный; *е* — широкоуниверсальные; *ж* — консольный горизонтальный

торцовыми, шпоночными, фасонными, модульными (концевыми и дисковыми) фрезами.

На рис. 8.1 представлены фрезерные станки различных типов. Существуют и другие станки указанной группы.

Некоторые из перечисленных станков и приспособления, расширяющие их технологические возможности, рассмотрим далее.

## 8.2. Горизонтальные консольно-фрезерные станки

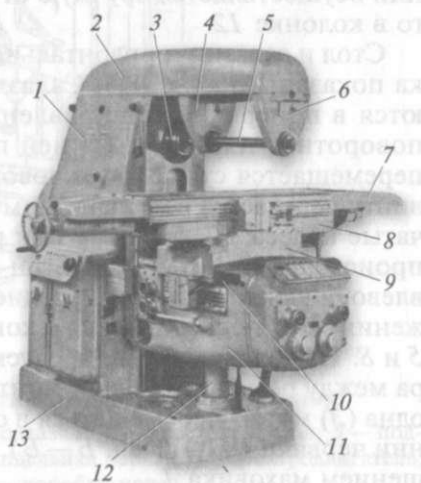
Горизонтальные консольно-фрезерные станки предназначены для фрезерных работ по чугуну, стали и цветным металлам твердосплавным инструментом в условиях мелко- и крупносерийного производства. Наличие в станке возможности поворота стола вокруг вертикальной оси обеспечивает фрезерование винтовых канавок сверл и других аналогичных изделий.

На рис. 8.2 показан общий вид горизонтального консольно-фрезерного станка с ручным управлением. Станина 1 установлена на фундаментной плите 13. На вертикальных направляющих станины расположена консоль 11 с горизонтальными поперечными направляющими 10 для перемещения салазок 9. На них размещена поворотная плита 8 с горизонтальными продольными направляющими, на которых монтируется стол 7. Такая компоновка узлов обеспечивает столу перемещение в трех направлениях: продольном, поперечном и вертикальном. В станине расположены коробка скоростей и привод с электродвигателем, обеспечивающим главное вращательное движение шпинделя 3. Над шпинделем расположен хобот 2, на направляющих которого закреплены подвески 4 и 6, служащие опорами для фрезерной оправки 5.

В консоли размещена коробка подачи, позволяющая изменять скорость движения подачи стола в продольном и поперечном направлениях.

Рис. 8.2. Горизонтальный консольно-фрезерный станок:

1 — станина; 2 — хобот; 3 — шпиндель; 4, 6 — подвески; 5 — фрезерная оправка; 7 — стол; 8 — поворотная плита; 9 — салазки; 10 — поперечные направляющие; 11 — консоль; 12 — колонка; 13 — фундаментная плита



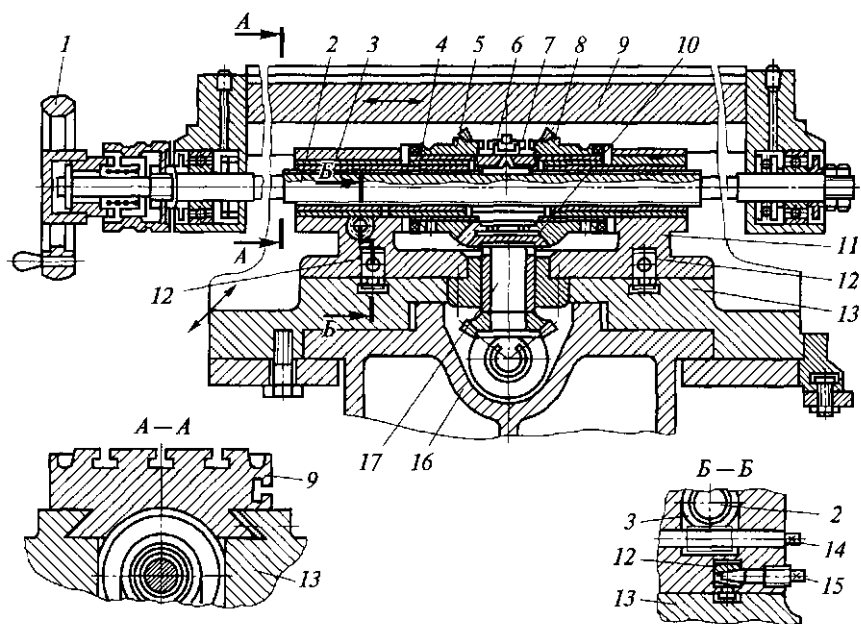


Рис. 8.3. Стол и салазки горизонтального консольно-фрезерного станка:

1 — маховик; 2 — ходовой винт; 3, 4 — гайки; 5, 8, 10 — конические зубчатые колеса; 6 — вилка; 7 — муфта; 9 — стол; 11 — поворотная плита; 12 — сухари; 13 — салазки; 14 — червяк; 15 — винт; 16 — консоль; 17 — вертикальный вал

Установочное перемещение стола в вертикальном направлении осуществляется вручную от ходового винта, расположенного в колонке 12.

Стол и салазки горизонтального консольно-фрезерного станка показаны на рис. 8.3. Салазки 13 на консоли 16 перемещаются в поперечном направлении. На салазках смонтирована поворотная плита 11; на ней по продольным направляющим перемещается стол 9 от ходового винта 2. Вращение ходовому винту передается вертикальным валом 17 через конические зубчатые колеса 10, 5 (или 8 при реверсе). Реверсирование стола происходит при перемещении вилкой 6 муфты 7 — вправо и влево, а выключение — в среднем положении. В крайних положениях муфта соединяется с коническими зубчатыми колесами 5 и 8. На ходовом винте предусмотрен механизм выборки зазора между резьбой ходового винта 2 и гайками 3 и 4, из которых одна (3) может перемещаться в осевом направлении при вращении червяка 14 (см. сеч. Б—Б). Ручная подача включается вращением маховика 1.

Поворотная плита 11 при необходимости может быть повернута на вертикальном валу 17 относительно салазок 13 на 45°. Плита 11 центрируется по Т-образному пазу салазок 13 посредством двух сухарей 12, которые служат также для закрепления плиты на салазках при их подъеме посредством вращения винтов 15.

### 8.3. Бесконсольные вертикально-фрезерные станки

Особенностью конструкции бесконсольного вертикально-фрезерного станка с крестовым столом (рис. 8.4), является более жесткая станина и стойка, червячно-реечный привод стола, отсутствие консоли. Все это позволяет обрабатывать крупные заготовки с большими припусками на высоких режимах резания. Фрезерование осуществляется в основном торцовыми головками, в том числе с твердосплавными пластинами.

На неподвижной станине 1 размещается крестовый стол 4, с возможностью перемещения по направляющим салазок 3 в продольном направлении и по направляющим 2 станины — в поперечном. Шпиндельная бабка 7 с коробкой скоростей монтируется на вертикальных направляющих стойки 9 станины 1. Главное вращательное движение шпинделю 6 сообщается от

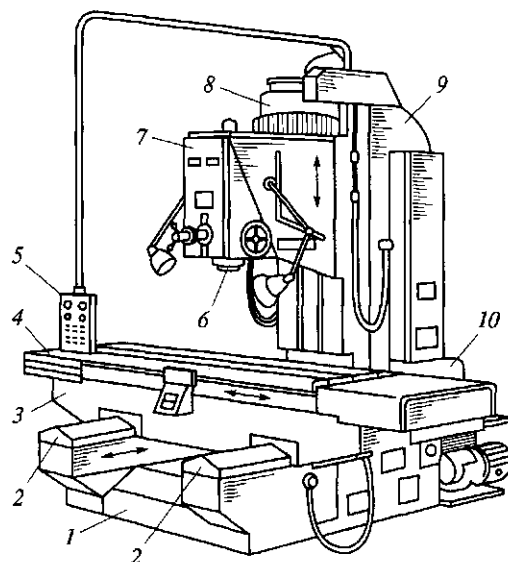


Рис. 8.4. Бесконсольный вертикально-фрезерный станок:

1 — станина; 2 — направляющие; 3 — салазки; 4 — крестовый стол; 5 — подвесной пульт; 6 — шпиндель; 7 — шпиндельная бабка; 8 — электродвигатель; 9 — стойка; 10 — коробка подач



электродвигателя 8; продольное и поперечное движения подачи стола — от коробки подач 10, находящейся в станине. Управление станком происходит обычно от подвесного пульта 5. У некоторых станков шпиндельную бабку можно поворачивать в вертикальной плоскости.

#### 8.4. Фрезерно-центровальные станки

Фрезерно-центровальные станки предназначены для двустороннего фрезерования и зацентровки торцов деталей типа валов. Оба торца фрезеруют одновременно, а затем одновременно зацентрируют. Такая технология позволяет обеспечить параллельность торцов между собой и перпендикулярность центровых отверстий к этим торцам, что очень важно при последующей обработке валов.

На рис. 8.5 показан фрезерно-центровальный станок со шкафом 10 электрооборудования. На станине 7 по направляющим 8 каретки 6 станка могут перемещаться в продольном направлении фрезерно-сверлильные бабки 1 и 5. Заготовка устанавливается в тиски 2 с гидравлическим приводом и зажимается. В каждой бабке имеются фрезерная 3 и сверлильная 4 головки. При перемещении головок 3 (вместе с бабками) по направляющим 8 каретки происходит фрезерование торцов заготовок. После этого, по достижении кареткой упора, заготовка центруется с двух сторон за счет осевого перемещения сверл вместе с пинолями шпинделей сверлильных головок 4.

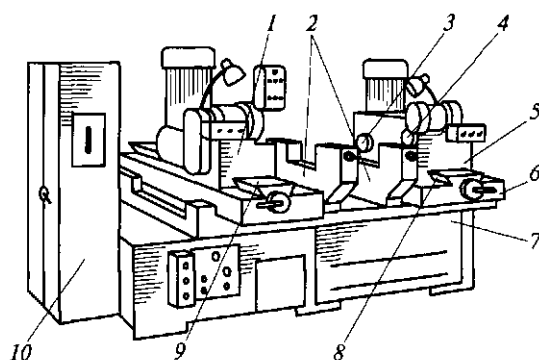


Рис. 8.5. Фрезерно-центровальный станок:

1, 5 — фрезерно-сверлильные бабки; 2 — тиски; 3 — фрезерная головка; 4 — сверлильная головка; 6 — каретка; 7 — станина; 8, 9 — направляющие; 10 — шкаф электрооборудования

Привод фрезерного и сверлильного шпинделей — от отдельных электродвигателей.

### 8.5. Продольно-фрезерные станки

Продольно-фрезерные станки предназначены для обработки одновременно набором фрез горизонтальных, вертикальных, наклонных и фасонных поверхностей корпусных и других крупных деталей. Инструмент — торцовые, цилиндрические и фасонные фрезы. Область применения — средне- и крупносерийное производство. Продольно-фрезерные станки обеспечивают высокую производительность за счет высоких скоростей вращения шпинделей, больших подач при обработке заготовок твердосплавным инструментом. Это обеспечивается достаточной мощностью шпиндельных бабок и большой тяговой силой столов.

Станки изготовляют одностоечными (рис. 8.6, *a*) и двухстоечными (рис. 8.6, *б*). В одностоечных станках предусмотрена одна шпиндельная бабка 5. В двухстоечном станке предусмотрены три или четыре шпиндельные бабки 5, из которых две монтируются на стойках 4 и перемещаются вертикально по направляющим стойки, а одна или две бабки, расположенные на траверсе 8, перемещаются по горизонтальным направляющим

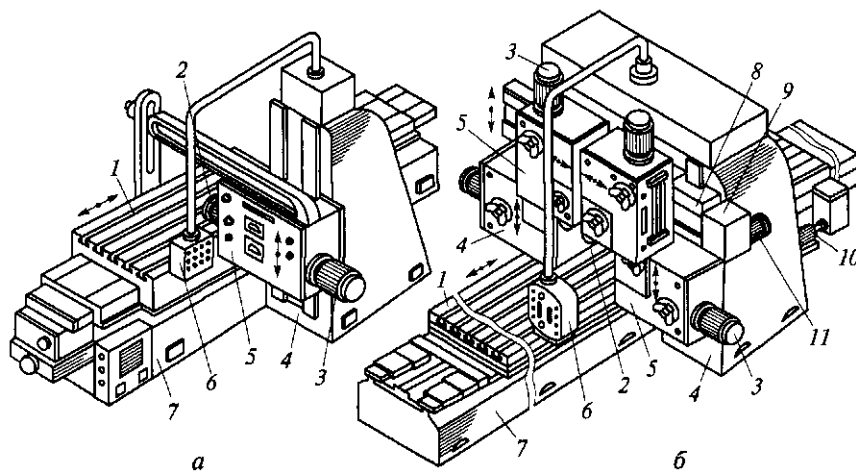


Рис. 8.6. Одностоечный (*a*) и двухстоечный (*б*) продольно-фрезерные станки с ручным управлением:

1 — стол; 2 — шпиндель; 3, 10, 11 — электродвигатели; 4 — стойки; 5 — шпиндельные бабки; 6 — подвесной пульт; 7 — станина; 8 — траверса; 9 — коробка подач

от коробки подач 9 и электродвигателя 11. В свою очередь траверсе сообщается вертикальное перемещение. У ряда модификаций станков шпиндельные бабки 5 могут поворачиваться в вертикальной плоскости для обработки наклонных поверхностей. Вращение шпинделей 2 в бабках 5 происходит от отдельных электродвигателей 3 через коробки скоростей. Столу 1, смонтированному на направляющих станины 7, сообщается продольное перемещение с бесступенчатым регулированием величины подачи от электродвигателя 10 постоянного тока. Управление станком осуществляется от подвесного пульта 6.

В станках предусмотрены различные автоматические циклы работы стола: ускоренный подвод, рабочая подача, ускоренный перебеж для обработки следующей заготовки, быстрый отвод и останов.

### **8.6. Приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков**

**Делительные головки.** Эти головки служат для периодического поворота обрабатываемой заготовки вокруг своей оси (при изготовлении многогранников, при обработке зубьев, шлицов, пазов) на равные или неравные углы, а также для непрерывного вращения заготовки, согласованного с движением продольной подачи стола станка (при нарезании винтовых стружечных канавок у сверл, фрез, метчиков, разверток и зенкеров).

По принципу деления головки подразделяют на лимбовые и безлиimbовые (простые и дифференциальные), оптические и с диском для непосредственного деления. При делении длинных заготовок используют поддерживающую заднюю бабку (рис. 8.7, а), в корпусе 1 которой установлен центр 2.

**Лимбовая делительная головка.** Такая головка показана на рис. 8.7, б. В корпусе 6 на подшипниках смонтирован шпиндельный узел 3, в котором устанавливают центр 2, патрон (кулачковый или поводковый) и диск 4 непосредственного деления (в основном для деления на неравные части). При делении на равные части пользуются лимбом 8, линейками 10 раздвижного сектора, фиксатором 9 и рукояткой 11 для вращения шпинделя. На корпусе 6 имеется нониус 5 и стопор 7, фиксирующий положение заготовки. Все составные части головки размещены на основании 12.

Лимбовая головка снабжена комплектом сменных зубчатых колес для настройки сложного (дифференциального) деления.

*Настройка простой лимбовой головки*, кинематическая схема которой показана на рис. 8.8, а, описывается далее. Шпиндель головки расположен горизонтально, и деление производится от-

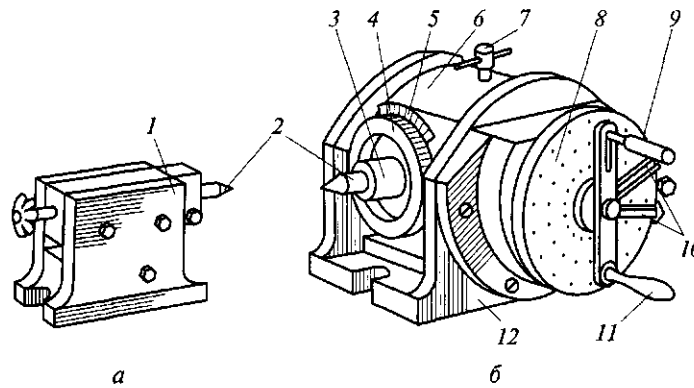


Рис. 8.7. Задняя бабка (а) и лимбовая делительная головка (б):

1 — корпус задней бабки; 2 — центр; 3 — шпиндельный узел; 4 — делительный диск; 5 — нониус; 6 — корпус делительной головки; 7 — стопор; 8 — лимб; 9 — фиксатор; 10 — линейки раздвижного сектора; 11 — рукоятка вращения шпинделя; 12 — основание головки

носителю неподвижного лимба 3. Простые делительные головки снабжаются тремя съемными лимбами, на торцах которых по шести концентрическим окружностям выполнены отверстия с числом  $a_i$  на каждой. Основная характеристика делительной головки — отношение числа зубьев червячного колеса  $z_0$  к числу заходов червяка  $z$ .

Выведем формулу настройки делительной цепи головки. Пусть необходимо разделить заготовку на  $z_{\text{заг}}$  частей. Для поворота заготовки на  $1/z_{\text{заг}}$  нужно повернуть рукоятку 2 на некоторый угол (его и нужно определить). Обозначим угол поворота рукоятки через  $b/a$ , где  $b$  — неизвестное число отверстий, которое следует отсчитать на выбранной окружности с числом отверстий, равным  $a$ . Запишем уравнение баланса делительной цепи головки:

$$\frac{b z_1 z}{a z_2 z_0} = \frac{1}{z_{\text{заг}}}$$

откуда получаем формулу настройки:

$$\frac{b}{a} = \frac{z_0}{z} \frac{1}{z_{\text{заг}}}$$

**Пример 8.1.** Необходимо разделить заготовку на  $z_{\text{заг}} = 64$  на простой лимбовой делительной головке, у которой  $z_0 = 80$ , а  $z = 1$ . У первого лимба  $a = 15; 16; 17; 19; 20$ . У второго лимба  $a = 21; 23; 27; 29; 31; 33$ . У третьего лимба  $a = 37; 39; 41; 43; 47; 49$ .

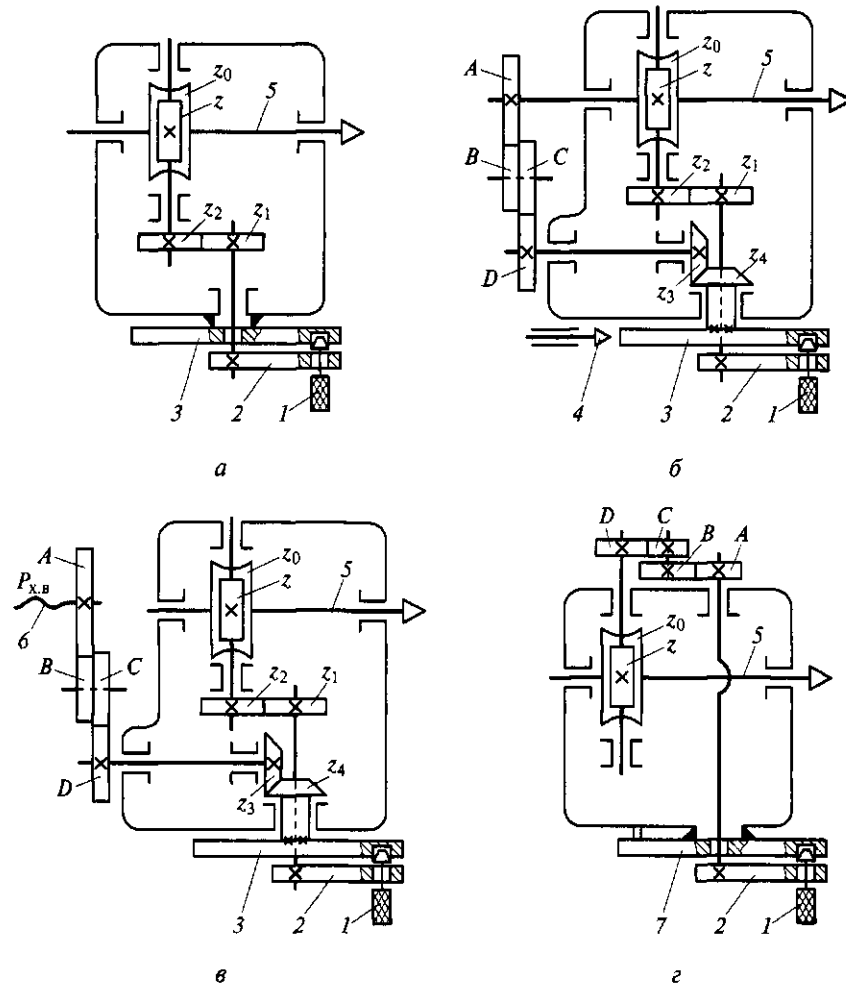


Рис. 8.8. Кинематические схемы лимбовых (а — простого деления; б — дифференциального деления; в — при фрезеровании винтовых канавок) и простой безлиम्бовой (г) делительных головок:

1, 4 — фиксаторы; 2 — рукоятка поворота заготовки; 3 — лимб; 5 — шпиндель; б — ходовой винт станка; 7 — одногнездный диск

**Решение:** Подставим исходные данные в формулу настройки

$$\text{делительной цепи } \frac{b}{a} = \frac{z_0}{z} \frac{1}{z_{\text{нар}}} = \frac{80}{1} \frac{1}{64} = 1 \frac{1}{4} = 1 + \frac{1}{4} = \left(1 + \frac{5}{20}\right) \text{ оборот-}$$

тов рукоятки 2. Полученный результат означает: чтобы заготовку повернуть на 1/64 часть, необходимо переместить фиксатор 1

на радиус, соответствующий окружности с числом отверстий  $a = 20$ , повернуть рукоятку 2 на полный оборот и еще отсчитать 5 отверстий на этой окружности, после чего ввести фиксатор 1 в отверстие. Иными словами, мы получили:  $b = 25$  и  $a = 20$ . Это не единственное решение. Можно разделить заготовку на  $1/64$  часть на другой окружности, у которой число  $a$  будет кратным

знаменателю, т. е.  $\frac{b}{a} = 1 + \frac{1}{4} = \left(1 + \frac{4}{16}\right)$  оборотов рукоятки. Но первое решение предпочтительнее, так как окружность с  $a = 20$  находится дальше от центра лимба и точность делительного процесса будет выше.

*Настройка универсальной дифференциальной лимбовой головки* показана в виде кинематической схемы на рис. 8.8, б. Шпиндель 5 универсальной головки может быть повернут в вертикальной плоскости и поэтому на ней можно осуществлять деление при обработке конических зубчатых колес. На дифференциальной лимбовой головке возможно простое деление и сложное (дифференциальное). При простом делении в лимб вводится фиксатор 4 и выводятся из зацепления сменные колеса гитары. При дифференциальном делении в гитару ставят сменные зубчатые колеса и поэтому делительный процесс происходит относительно подвижного лимба 3.

Составим уравнение баланса делительной цепи:

$$\frac{b}{a} \frac{z_1}{z_2} \frac{z}{z_0} + \frac{1}{z_{\text{заг}}} i_x \frac{z_3}{z_4} \frac{z_1}{z_2} \frac{z}{z_0} = \frac{1}{z_{\text{заг}}}.$$

В полученном уравнении неизвестны величина углового поворота рукоятки  $\frac{b}{a}$  и передаточное отношение гитары  $i_x$ . Доба-

вим к правой части уравнения величину, равную нулю:  $\frac{1}{z^*} - \frac{1}{z^*}$ ,

и перепишем уравнение, учитывая, что  $\frac{z_1}{z_2} = 1$  и  $\frac{z_3}{z_4} = 1$ :

$$\frac{b}{a} \frac{z}{z_0} + \frac{1}{z} i_x \frac{z}{z_0} = \frac{1}{z_{\text{заг}}} - \frac{1}{z^*} + \frac{1}{z^*}.$$

Приравниваем по частям

$$\frac{b}{a} \frac{z}{z_0} = \frac{1}{z^*} \quad \text{и} \quad \frac{1}{z_{\text{заг}}} i_x \frac{z}{z_0} = \frac{1}{z_{\text{заг}}} - \frac{1}{z^*},$$

откуда получаем две формулы настройки:

$$\frac{b}{a} = \frac{z_0}{z} \frac{1}{z^*} \quad \text{и} \quad i_x = \frac{z_0}{z} \frac{z^* - z_{\text{заг}}}{z^*}.$$

Из первой формулы определяется угловой поворот рукоятки (число отверстий  $b$ , на которое необходимо повернуть рукоятку на выбранной окружности с числом  $a$ ), по второй формуле вычисляется передаточное отношение двухпарной гитары, после чего подбираются сменные колеса. Число  $z^*$  выбирается произвольно ( $z_{\text{заг}} < z^*$  или  $z^* < z_{\text{заг}}$ ), но желательно, чтобы оно было близким к  $z_{\text{заг}}$ .

**Пример 8.2.** Разделить заготовку на  $z_{\text{заг}} = 97$  зубьев на дифференциальной лимбовой делительной головке, у которой  $z_0 = 40$ ,  $z = 1$ . Головка имеет лимб, на каждой стороне которого выполнены отверстия:

на первой стороне —  $a = 24; 25; 28; 30; 34; 37; 38; 39; 41; 42; 43$ ;

на второй стороне —  $a = 46; 47; 49; 51; 53; 54; 57; 58; 59; 62; 66$ .

Прилагается набор сменных колес гитары: 25 (2 шт); 30; 35; 40; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100.

**Решение:** 1. Поскольку число  $z_{\text{заг}} = 97$  не раскладывается на множители и на лимбе нет окружности с соответствующим числом отверстий, то простое деление невозможно, поэтому будем настраивать дифференциальную делительную головку на сложное деление. В этом случае заготовку можно разделить на любое число.

Запишем формулы настройки этой головки и подставим в нее  $z_{\text{заг}} = 97$ ,  $z_0 = 40$ ,  $z = 1$  и  $z^*$ , приняв его равным 96:

$$\frac{b}{a} = \frac{z_0}{z} \frac{1}{z^*} = \frac{40}{96} = \frac{10}{24},$$

$$i_x = \frac{z_0}{z} \frac{z^* - z_{\text{заг}}}{z^*} = 40 \frac{(96 - 97)}{96} = -\frac{5}{12} = -\frac{25}{30} \frac{40}{20} = \frac{A C}{B D}.$$

2. Деление заготовки будет осуществляться следующим образом. В гитару ставят сменные зубчатые колеса: сзади на шпиндель — первое ведущее колесо  $A = 25$ , с ним соединяют  $B = 30$ , после чего устанавливают вторую пару сменных зубчатых колес, как показано на кинематической схеме (рис. 8.8, б).

Далее фиксатор  $1$  перемещают на окружность с числом  $a = 24$  и закрепляют, стопор  $4$  выводят из лимба, после чего поворачивают рукоятку  $2$  на 10 отверстий. Лимб  $3$  в это время будет вращаться в сторону, противоположную направлению вращения рукоятки (так как при расчете передаточного отношения  $i_x$  оно

получилось отрицательным), а заготовка повернется на  $1/97$  часть окружности.

*Наладку станка на фрезерование винтовых канавок рассмотрим далее.* Фрезерование винтовых канавок, расположенных равномерно по окружности, выполняют при установке заготовки 2 в делительной головке 1 (рис. 8.9) и в задней бабке 4 (в центрах 5 и 8).

Стол 6 с помощью поворотной плиты 7 поворачивают на угол  $\omega$  наклона винтовой линии канавки, чтобы дисковая фреза 3 совместились с направлением канавки. Заготовка 2 получает непрерывное вращение от ходового винта станка, фреза — главное вращательное движение  $D_r$ , а стол — продольное движение подачи  $D_{\text{сп}}$  (по направлению канавки).

Схема стыковки делительной головки с ходовым винтом станка была показана ранее (см. рис. 8.8, в). Вращение ходового винта 6 станка, шаг которого равен  $P_{\text{х.в}}$ , используется для вращения шпинделя головки. За один оборот шпинделя делительной головки стол станка относительно фрезы должен переместиться на шаг винтовой канавки  $P_{\text{в.к}}$ . Поэтому ходовой винт

станка за это время сделает  $\frac{P_{\text{в.к}}}{P_{\text{х.в}}}$  оборотов.

Запишем уравнение баланса кинематической цепи от ходового винта продольного движения стола до шпинделя делительной головки:

$$\frac{P_{\text{в.к}}}{P_{\text{х.в}}} i_x \frac{z_3 z_1 z}{z_4 z_2 z_0} = 1 \text{ об. шп.},$$

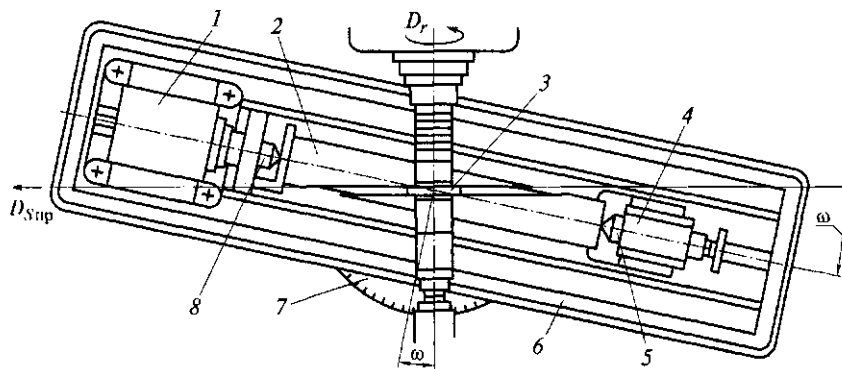


Рис. 8.9. Схема фрезерования винтовых канавок:

1 — делительная головка; 2 — заготовка; 3 — дисковая фреза; 4 — задняя бабка; 5, 8 — центры; 6 — стол; 7 — поворотная плита;  $\omega$  — угол поворота стола



откуда при  $\frac{z_1}{z_2} = 1$  и  $\frac{z_3}{z_4} = 1$  получим формулу настройки гитары делительной головки:

$$i_x = \frac{A C}{B D} = \frac{z_0 P_{x,в}}{z P_{в,к}}$$

Следует обратить внимание, что ведущее колесо  $A$  (см. рис. 8.8, в) гитары ставится на ходовом винте станка.

**Безлиम्бовая делительная головка.** Деление на безлиम्бовых головках осуществляется за один поворот рукоятки с последующей ее фиксацией в единственной отверстии диска 7 (см. рис. 8.8, г), что исключает субъективные ошибки рабочего в процессе деления. Цепь деления в простой делительной головке настраивают путем подбора сменных колес гитары, а в дифференциальных головках — двух гитар. Запишем уравнение баланса кинематической цепи деления простой безлиम्бовой головки:

$$1 \text{ об. рук. } i_x \frac{z}{z_0} = \frac{1}{z_{\text{зар}}},$$

откуда получаем формулу настройки гитары

$$i_x = \frac{A C}{B D} = \frac{z_0}{z} \frac{1}{z_{\text{зар}}}$$

**Оптическая делительная головка.** Головка, показанная на рис. 8.10, применяется для особо точных работ и контроля выполненных делений при нанесении шкал. Выпускается с ценой деления  $2 \dots 10''$ . Головка состоит из основания 1 с поворотным корпусом 4, в котором на подшипниках установлен шпиндель 8,

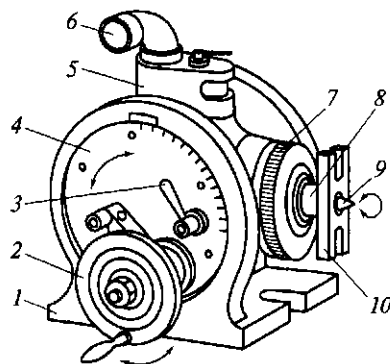


Рис. 8.10. Оптическая делительная головка:

1 — основание головки; 2 — маховик; 3 — рукоятка фиксации шпинделя; 4 — поворотный корпус; 5 — микроскоп; 6 — окуляр микроскопа; 7 — диск с делениями; 8 — шпиндель; 9 — центр; 10 — поводок

несущий центр 9 и поводок 10. На шпинделе закреплено червячное колесо, и от червяка, связанного с маховиком 2, осуществляется медленный (точный) поворот шпинделя. На основании закреплена оптическая система — микроскоп 5 с окуляром 6. На лицевом конце шпинделя 8 имеется диск 7 с делениями через  $1^\circ$  на цилиндрической поверхности для грубого отсчета угла поворота шпинделя. Шпиндель фиксируется в требуемом положении рукояткой 3.

**Специальные приспособления.** Существуют две группы специальных приспособлений: не изменяющие основного назначения фрезерного станка и в корне меняющие характер выполняемых работ (долбежные, сверлильные и шлифовальные головки).

Дополнительная вертикально-фрезерная головка (рис. 8.11, а), устанавливаемая на горизонтально-фрезерном станке с торца хобота 1, делает станок более универсальным. Инструментальную головку 2 крепят на переходной плите 6, которая устанавливается на вертикальных направляющих 5 станины. Шпиндель 3, несущий концевую фрезу 4, приводится во вращение от шпинделя станка через зубчатые колеса.

Приспособление для фрезерования реек (рис. 8.11, б), закрепляемое на хоботе 1 горизонтально-фрезерного станка, приводится в действие от шпинделя 3. Впадину рейки прорезают дисковой фрезой 4 при поперечной подаче стола станка, а смещение рейки на один шаг выполняется вместе со смещением стола в продольном направлении.

Двухшпиндельную фрезерную головку (рис. 8.11, в) можно использовать при фрезеровании ступенчатых поверхностей. Шпиндель 3 имеет осевое установочное перемещение.

Сверлильная головка (рис. 8.11, г), установленная на станке, приводится в движение шпинделем 3 от отдельного электродвигателя 8 через коробку скоростей 7. Сверлильную головку используют на фрезерном станке при сверлении малых отверстий, когда необходима большая частота вращения инструмента.

Шлифовальную головку (рис. 8.11, д) устанавливают на переходной плите 6, которую крепят к вертикальным направляющим 5 станины. Шпиндель 3, несущий шлифовальный круг, приводится во вращение шпинделем станка через две ременные передачи, что повышает частоту его вращения.

Долбежную головку (рис. 8.11, е) используют на фрезерном станке при отсутствии в цехе долбежного станка. Головку устанавливают на вертикальных направляющих 5 станины с помощью переходной плиты 6. Ползун 10 с резцом 9 получает возвратно-поступательное движение от шпинделя через кривошипно-шатунный механизм. Устройство долбежной головки более подробно показано на рис. 9.14 (см. гл. 9).

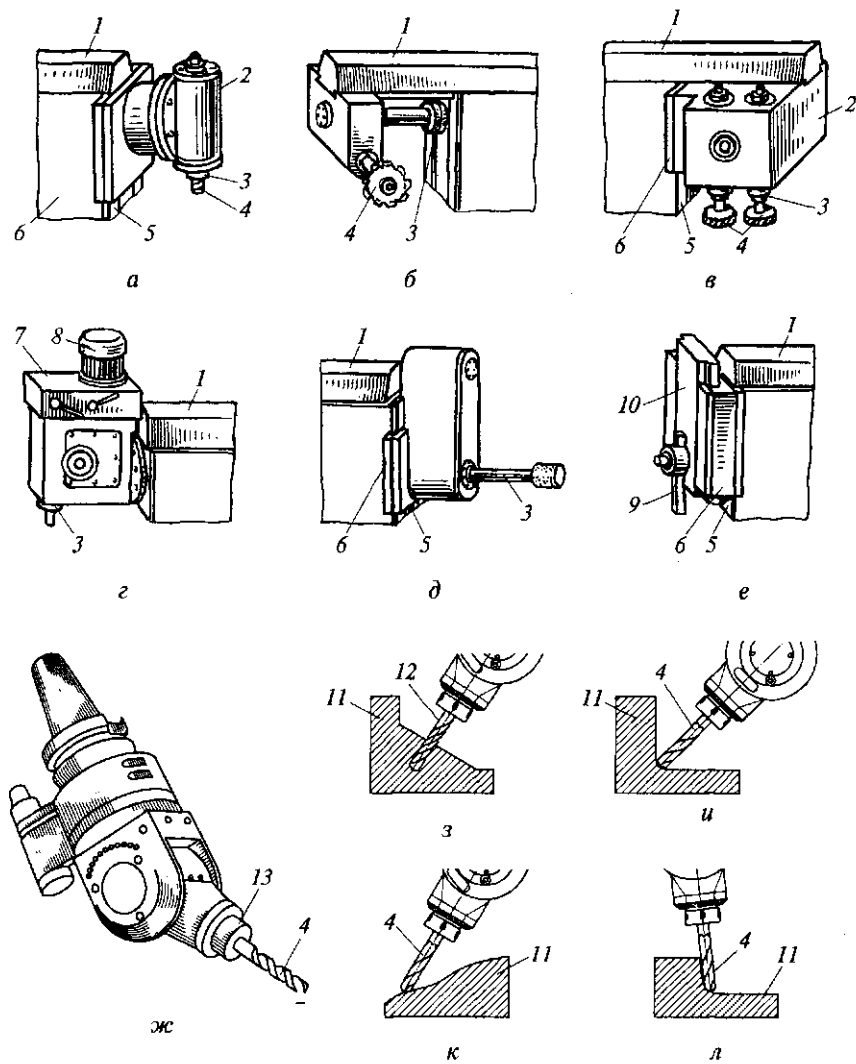


Рис. 8.11. Специальные приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков:

*a* — дополнительная вертикально-фрезерная головка; *б* — приспособление для фрезерования реек; *в* — двухшпиндельная фрезерная головка; *г* — сверлильная головка; *д* — шлифовальная головка; *е* — долбежная головка; *ж* — ускорительная головка и обработка с ее помощью; *з* — сверление малоразмерных отверстий, *и* — фрезерование углового радиуса, *к* — фрезерование по профилю, *л* — фрезерование литьевого уклона; *1* — хобот станка; *2* — инструментальная головка; *3* — шпиндель станка; *4* — фреза; *5* — вертикальные направляющие; *6* — переходная плита; *7* — коробка скоростей; *8* — электродвигатель; *9* — резец; *10* — ползун; *11* — заготовка; *12* — сверло; *13* — патрон

Ускорительная головка (рис. 8.11, ж) планетарного типа позволяет вести высокоскоростную обработку на фрезерных станках, шпиндели которых имеют низкую частоту вращения. С ее помощью в заготовках *11* обрабатывают малоразмерные отверстия (рис. 8.11, з), фрезеруют угловые радиусы (рис. 8.11, и) и фасонные профили штампов и пресс-форм (рис. 8.11, к), а также литевые уклоны (рис. 8.11, л). Ускорительную головку устанавливают в шпиндель станка так, чтобы был одновременный контакт по конусу и торцу для обеспечения дополнительной жесткости системы шпиндель станка — ускоритель. Максимальная частота вращения фрез *4* и сверл *12*, устанавливаемых в патроне *13*, может быть реализована от 8000 до 20 000 мин<sup>-1</sup>, обеспечивая скорость резания порядка 80 ... 120 м/мин при работе концевым монолитным твердосплавным инструментом диаметром 2 ... 6 мм.

### 8.7. Фрезерные станки с ЧПУ

Фрезерные станки с ЧПУ предназначены для обработки плоских и пространственных поверхностей заготовок сложной формы. Конструкции фрезерных станков с ЧПУ аналогичны конструкциям традиционных фрезерных станков. Отличие от последних заключается в автоматизации перемещений узлов по УП при формообразовании.

Фрезерные станки с ЧПУ различают по расположению шпинделя (горизонтальное или вертикальное), по числу координатных перемещений стола или фрезерной бабки, по числу используемого инструмента (одноинструментные и многоинструментные) и по способу его установки в шпиндель станка (вручную или автоматически).

Фрезерные станки оснащают прямоугольными и контурными системами ЧПУ. При прямоугольном управлении (условное обозначение Ф2) стол станка совершает движение в направлении, параллельном одной из координатных осей, что делает невозможной обработку сложных поверхностей. Станки с прямоугольным управлением применяют для фрезерования плоскостей, скосов, уступов, пазов, разновысоких бобышек и других аналогичных поверхностей. При контурной и комбинированной системах ЧПУ траектория перемещения узлов станка более сложная. Такие станки используют для фрезерования различных кулачков, штампов, пресс-форм и других деталей с аналогичными поверхностями. Число управляемых координат, как правило, равно трем, в некоторых случаях — четырем и пяти. При контурном управлении движение формообразования производится не менее чем по двум координатным осям одновременно.

Для обеспечения главного движения во фрезерных станках с ЧПУ используют электромеханический привод: асинхронные электродвигатели (тогда необходима коробка скоростей) и электродвигатели постоянного и переменного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения их выходного вала (с последующей передачей вращения на шпиндель зубчатыми или ременными передачами). В станках нового поколения применяют мотор-шпиндели с бесступенчатым регулированием скорости, т. е. электрический привод.

Привод подач фрезерных станков с ЧПУ также электромеханический: короткие кинематические цепи передают движение от электродвигателя через шариковую винтовую передачу (ШВП) непосредственно исполнительному органу. Во фрезерных станках с ЧПУ нового поколения применяют линейные двигатели, которые не требуют преобразования вращения в поступательное перемещение с помощью ШВП.

**Станки с электрогидравлическим приводом.** На рис. 8.12 показан вертикально-фрезерный станок с контурной системой ЧПУ. Станок предназначен для обработки концевыми фрезами плоских и пространственных деталей сложного профиля (штам-

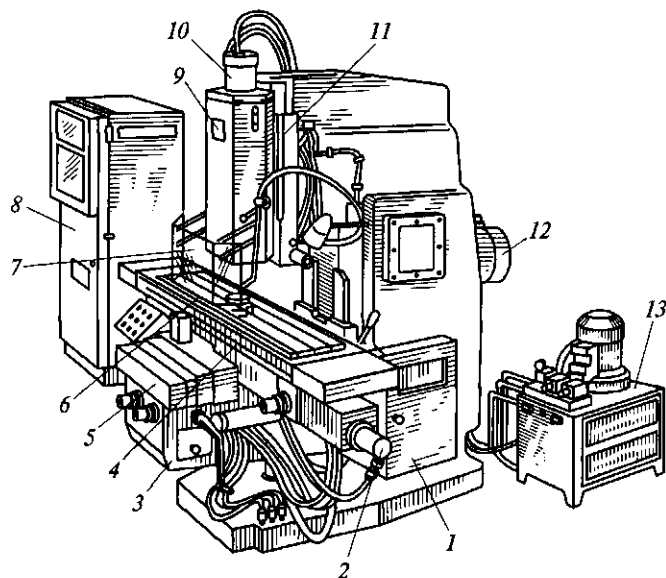


Рис. 8.12. Вертикально-фрезерный станок с контурной системой ЧПУ:  
 1 — станина; 2, 10 — высокомоментные электродвигатели; 3 — консоль; 4 — салазки; 5 — телескопические шитки; 6 — стол; 7 — ограждение рабочей зоны; 8 — шкаф электрооборудования; 9 — ползун; 11 — фрезерная бабка; 12 — электродвигатель главного движения; 13 — гидростанция

пов, пресс-форм, кулачков) из черных, цветных металлов и других материалов в мелкосерийном и серийном производстве.

Пространственная обработка достигается одновременным управлением по трем координатам: перемещением стола станка с заготовкой в горизонтальной плоскости по осям  $X$  и  $Y$  и вертикальным перемещением шпиндельной головки с режущим инструментом по оси  $Z$ .

На станине  $1$  монтируются узлы и механизмы станка. По вертикальным направляющим станины осуществляется установочное перемещение консоли  $3$ . На горизонтальных поперечных направляющих смонтированы салазки  $4$ , по продольным направляющим которых от высокомоментного электродвигателя  $2$  передвигается стол  $6$ . Направляющие закрыты от попадания стружки телескопическими щитками  $5$ .

В верхней части станины закреплена фрезерная бабка  $11$ , по вертикальным направляющим которой перемещается ползун  $9$  (вместе со шпинделем и установленным в нем режущим инструментом). Вертикальное перемещение ползуна реализуется от высокомоментного электродвигателя  $10$ , а вращение шпинделя — от электродвигателя  $12$ .

Рядом со станком расположены шкаф  $8$  с электрооборудованием и УЧПУ и гидростанция  $13$ . Рабочая зона закрыта ограждением  $7$ .

Кинематическая схема изображена на рис. 8.13, *а*. Главное движение — вращение шпинделя — осуществляется от асинхронного электродвигателя  $M1$  и коробки скоростей, которая ступенчато меняет частоты вращения шпинделя.

Движения подачи:

продольное и поперечное перемещения в горизонтальной плоскости сообщаются заготовке, закрепленной на столе, от шаговых двигателей  $M2$  и  $M3$ , которые управляют гидродвигателями  $G2$  и  $G3$ . Каждому импульсу, поступающему в шаговый двигатель, соответствует перемещение стола и салазок на  $0,01$  мм. Скорость подачи изменяется от  $2$  до  $600$  мм/мин. Для увеличения точности при реверсах ШВП  $1, 2, 3, 4$  выполнены безлюфтовыми. Также безлюфтовыми выполнены зубчатые передачи  $24/50$  и  $26/52$ ;

вертикальное движение подачи сообщается ползуну (вместе со шпинделем) от шагового двигателя  $M4$ , гидродвигателя  $G4$ , через зубчатую передачу и ШВП  $3$ .

Консоль станка со столом и салазками получает установочное вертикальное перемещение от гидромотора  $G5$  через конические колеса  $18/72$  и ШВП  $1$ . В станке предусмотрено и ручное перемещение узлов.

Гидравлический привод (рис. 8.13, *б*) сообщает продольное и поперечное перемещение столу и вертикальное перемещение

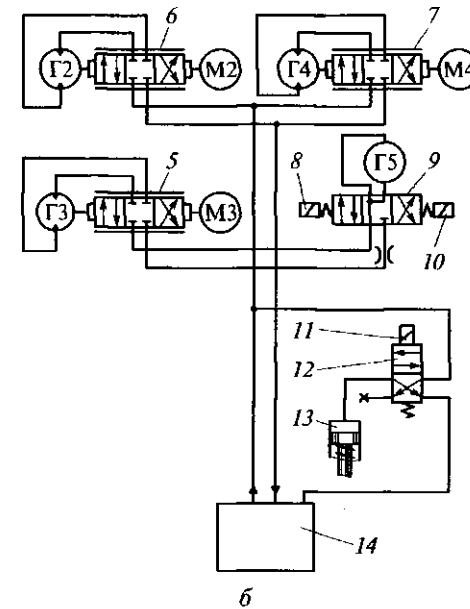
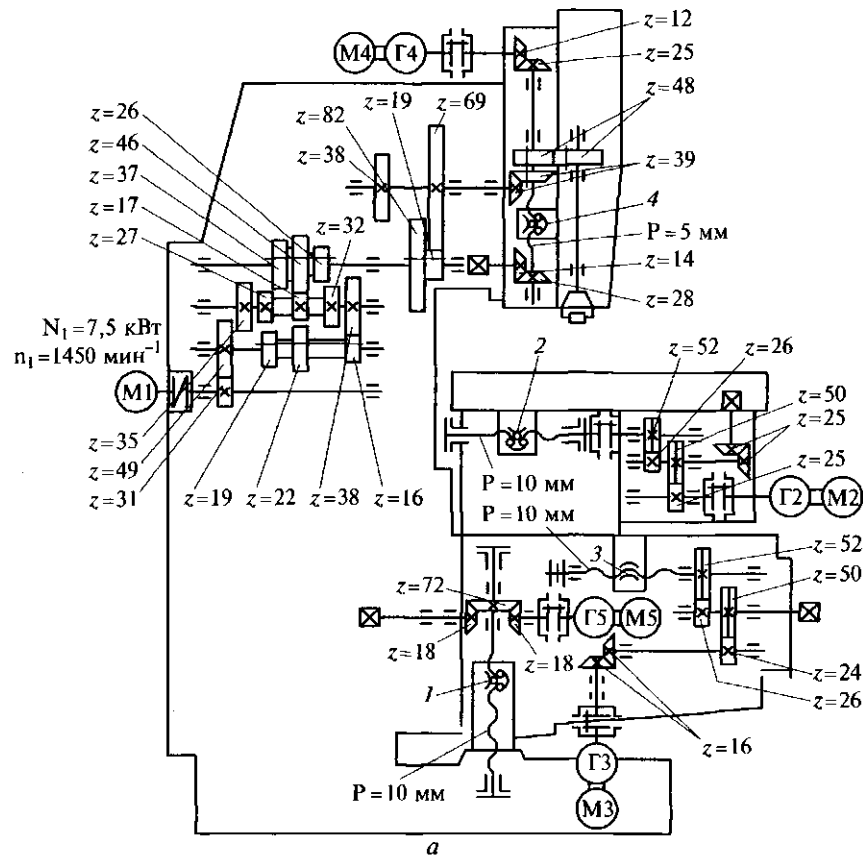


Рис. 8.13. Кинематическая (а) и гидравлическая (б) схемы вертикально-фрезерного станка с контурной системой ЧПУ:

1—4 — ШВП; 5—7 — следящие золотники; 8, 10, 11 — электромагниты; 9 — реверсный золотник; 12 — электрозолотник; 13 — гидроцилиндр; 14 — гидростанция;  $\Gamma_2$ — $\Gamma_5$  — гидромоторы

ползуну и консоли. Гидравлический привод состоит из следующих основных узлов: гидростанция 14 с насосами и контрольно-регулирующей аппаратурой; гидроусилители с шаговыми электродвигателями М2—М4, следящими золотниками 5, 6, 7 и гидродвигателями Г2—Г5 для перемещения стола, ползуна и консоли; реверсивный золотник 9, гидроцилиндр 13 и электрозолотник 12 для отжима инструмента в шпинделе станка.

Масло от гидростанции подводится к золотникам. При поступлении сигналов от УЧПУ к тому или иному шаговому электродвигателю последний срабатывает и, перемещая следящий золотник, открывает доступ маслу к гидромотору, который передает движение конечному органу кинематической цепи. Управление гидромотором Г5 вертикального перемещения консоли осуществляется с помощью электромагнитов 8 и 10 и реверсивного золотника 9.

Гидроцилиндр 13 отжима инструмента срабатывает при включении электрозолотника 12. Поток масла направляется в гидроцилиндр 13, шток которого, перемещаясь, сжимает пружину в механизме отжима инструмента, освобождая фрезу. Зажим инструмента происходит при помощи пружины, как только выключается электромагнит 11.

**Станки с электромеханическим приводом.** На рис. 8.14 представлен фрезерный станок с комбинированной системой ЧПУ, предназначенный для обработки сложных пространственных поверхностей. Число одновременно управляемых координат равно трем.

На станине 1 по продольным направляющим, закрытым телескопическими щитками 4, перемещаются салазки 2. Стол 12 станка установлен на поперечных направляющих, которые также закрыты телескопическими щитками 15 от попадания стружки. Зона резания и инструментальный магазин 7 (на 32 инструмента) закрыты ограждениями 5.

Шпиндель 10 получает главное вращательное движение от электродвигателя переменного тока мощностью 15 кВт с бесступенчатым регулированием частоты вращения в пределах 10... 3500 мин<sup>-1</sup>. Между электродвигателем и шпинделем станка нет никаких механических передач — это мотор-шпиндель.

В шпиндельной бабке 8 размещена система охлаждения маслом мотор-шпинделя и привод вертикального перемещения шпиндельной бабки от шагового электродвигателя и ШВП. Бабка перемещается по вертикальным направляющим 16. Для местного освещения используется галогеновая лампа 11.

УЧПУ размещено в подвесном пульте 14, на котором имеется клавиатура и дисплей 13.

Продольное и поперечное движение подачи обеспечивают индивидуальные приводы от шаговых двигателей через ШВП.



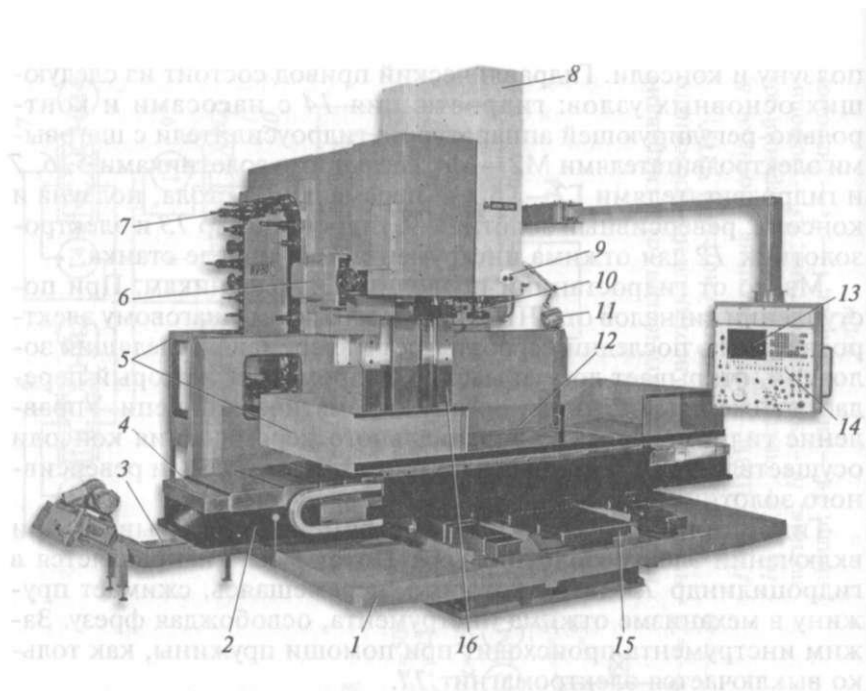


Рис. 8.14. Фрезерный станок с комбинированной системой ЧПУ:

1 — станина; 2 — салазки; 3 — транспортер стружки; 4, 15 — телескопические шитки; 5 — ограждения рабочей зоны; 6 — автооператор; 7 — инструментальный магазин; 8 — шпиндельная бабка; 9 — кнопки ручной установки и снятия инструмента; 10 — шпиндель; 11 — галогеновая лампа местного освещения; 12 — стол станка; 13 — дисплей; 14 — подвесной пульт; 16 — вертикальные направляющие

Автооператор 6 с двумя руками по команде системы ЧПУ забирает необходимый режущий инструмент из магазина 7 и находится в позиции ожидания до окончания очередного перехода при обработке заготовки. По окончании цикла автооператор вынимает инструмент из шпинделя и вставляет в его конусную расточку оправку с другим режущим инструментом. В станке предусмотрены кнопки 9 ручной установки и снятия инструмента.

Стружка постоянно выводится из зоны резания транспортером 3.

Более подробно о перспективах развития фрезерных станков с ЧПУ рассказано в гл. 13.

#### Контрольные вопросы

1. В чем состоит различие узлов консольных и бесконсольных вертикально-фрезерных станков?
2. Какие виды обработки выполняются на фрезерно-центровальных станках?

3. Расскажите о назначении продольно-фрезерных станков и приведите несколько примеров типовых деталей, обрабатываемых на них.
4. Для каких целей используют делительные головки на фрезерных станках?
5. Решите пример 8.2, приняв  $z^* = 100$ .
6. Какие элементы настройки имеют лимбовые (простые и дифференциальные) делительные головки?
7. В чем преимущества безлимбовых делительных головок перед лимбовыми?
8. Назовите специальные приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков, с помощью которых можно выполнять работы, не свойственные фрезерным станкам.
9. Чем отличается кинематика фрезерного станка с ручным управлением от фрезерного станка с ЧПУ?

## ГЛАВА 9

### СТРОГАЛЬНЫЕ, ДОЛБЕЖНЫЕ И ПРОТЯЖНЫЕ СТАНКИ

#### 9.1. Основные сведения о строгальных и долбежных станках

Строгальные и долбежные станки предназначены для обработки корпусных деталей в основном в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также в инструментальных и ремонтных цехах. На них обрабатывают плоскости и фасонные линейчатые поверхности, канавки, пазы. В этих станках главное возвратно-поступательное движение может сообщаться заготовке или режущему инструменту. Обратный ход в строгальных и долбежных станках — вспомогательный, из-за чего их производительность значительно меньше, чем у фрезерных и протяжных. Преимущество строгальных и долбежных станков по сравнению с фрезерными и протяжными — применение инструмента (резцов), более простого в изготовлении и заточке, что значительно снижает его стоимость.

*Строганием* называется технологический метод обработки плоских поверхностей заготовок строгальными резцами. Для этого метода характерны прямолинейное движение резания и прямолинейное прерывистое движение подачи. Технология строгания реализуется на продольно-строгальных и поперечно-строгальных станках.

Продольно-строгальные станки, предназначенные для обработки крупных заготовок, по конструкции бывают одно- и двухстоечные.

Основные параметры продольно-строгальных станков: наибольшая длина (ход стола) и ширина строгания, максимальная высота подъема поперечины. В современных станках наибольшая длина строгания 2... 25 м, наибольшая ширина строгания 0,6... 5 м, наибольшая высота подъема поперечины 0,55... 4,5 м. Главное движение резания сообщается заготовке, закрепленной на столе станка.

Поперечно-строгальные станки служат для обработки мелких и средних деталей. Основным параметр этих станков — наибольшая длина хода ползуна, которая на сегодня составляет 200... 1000 мм. Главное движение сообщается инструменту.

При строгании образуются различные поверхности, приведенные на рис. 9.1, а.

Для формообразования плоской горизонтальной поверхности резец совершает возвратно-поступательное движение, являющееся главным движением резания  $D_r$ , и характеризуется скоростями рабочего хода  $v_p$  (скоростью резания) и холостого хода  $v_x$ . Прямолинейное прерывистое движение заготовки или инструмента является движением подачи  $D_s$ . При строгании плоскости (рис. 9.1, б) заготовке и инструменту сообщается два согласованных между собой движения — движение резания в горизонтальной плоскости и движение подачи. Подача осуществляется в тот момент, когда резец находится в крайнем правом положении и не касается заготовки.

При строгании плоскости резец устанавливают на глубину  $t$  и сообщают ему (или заготовке) поступательное движение со скоростью рабочего хода  $v_p$ , во время которого по всей длине заготовки срезается стружка. После этого резец со скоростью  $v_x$  возвращается в исходное положение — холостой ход. Для уменьшения потери времени, затрачиваемого на возвращение резца в исходное положение, скорость холостого хода  $v_x$  больше скорости рабочего  $v_p$ .

Полное возвратно-поступательное движение представляет собой один двойной ход. Длиной хода является перемещение резца (или заготовки) в направлении резания из начального положения в конечное. Длина хода  $L$  (см. рис. 9.1, б) несколько больше длины  $l$  обрабатываемой поверхности заготовки:

$$L = l_1 + l + l_2.$$

Перемещения  $l_1$  и  $l_2$  называют перебегом резца соответственно в начале и конце рабочего хода.

Подача  $S_{2x}$  сообщается заготовке (или инструменту) периодически в конце каждого холостого хода и измеряется в мм/дв.х.

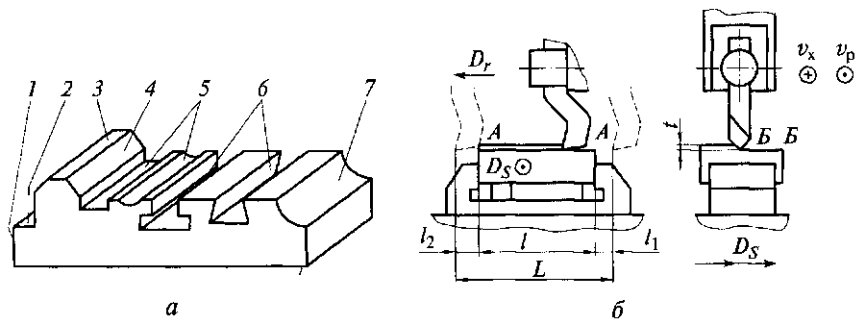


Рис. 9.1. Типовые поверхности, получаемые при строгании (а), и схема строгания (б):

1, 3, 4, 7 — вертикальная, горизонтальная, наклонная, криволинейная поверхности соответственно; 2 — уступ; 5 — канавки; 6 — пазы

При строгании линия  $AA$  (см. рис. 9.1, б) является следом вершины строгального резца, совершающего возвратно-поступательное движение. Линия  $BB$  может воспроизводиться по-разному: 1) прямолинейным прерывистым движением заготовки в поперечном направлении; 2) прямолинейным прерывистым движением резца в вертикальном (рис. 9.2, а, в, г, д) или наклонном направлении (рис. 9.2, б, е).

Прямоугольные пазы и фасонные канавки строгают про-резными (см. рис. 9.2, в) и фасонными (см. рис. 9.2, г) резцами, а уступы — подрезными (см. рис. 9.2, д) резцами. Стругание паза «ласточкин хвост» и Т-образного паза осуществляют в три приема. Сначала строгают прямоугольный паз (см. рис. 9.2, в), а затем последовательно боковые стороны паза (см. рис. 9.2, е) подрезными резцами; у Т-образного паза — левую часть (рис. 9.2, ж), затем правую (рис. 9.2, з).

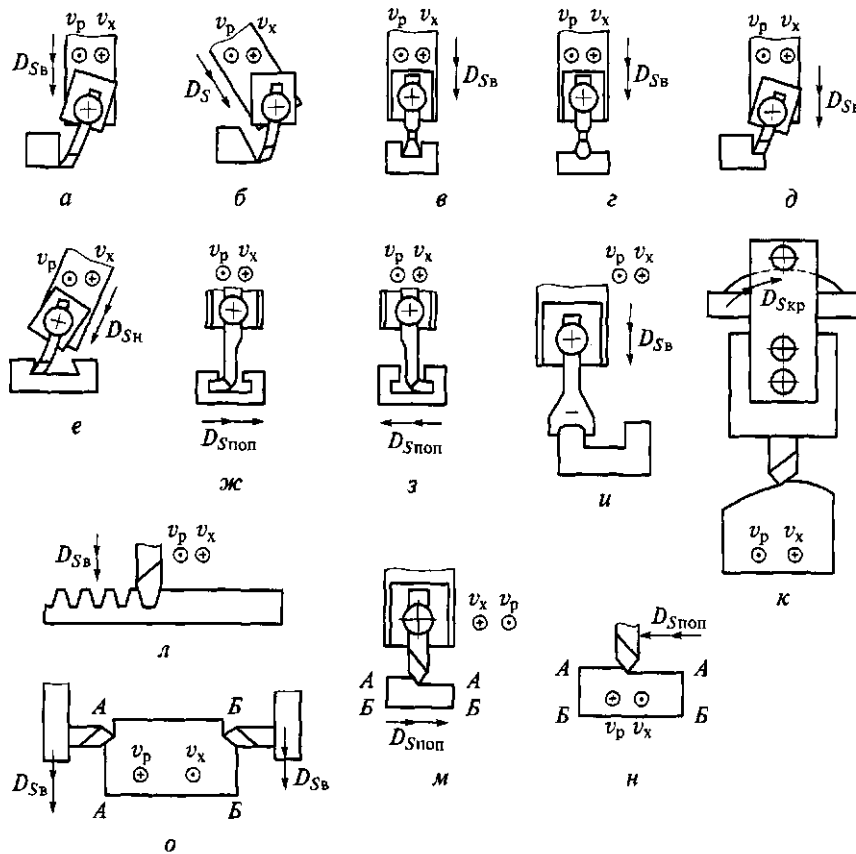


Рис. 9.2. Схемы движений при выполнении работ на строгальных станках

Строгание паза на поперечно-строгальном и продольно-строгальном станках однотипно, только движение подачи на поперечно-строгальных станках сообщается заготовке, а на продольно-строгальных — резцу. Для обработки фасонных поверхностей на поперечно-строгальных станках используют фасонные резцы (рис. 9.2, *и*), на продольно-строгальных станках — поворотные приспособления и копировальные устройства (рис. 9.2, *к*).

На строгальных станках можно выполнять разнообразные по форме поверхности, например, изготовить зубчатую рейку (рис. 9.2, *л*): впадины зубцов последовательно строгают при вертикальной подаче суппорта, после чего осуществляют процесс деления и строгают следующую впадину. При использовании делительных головок можно обработать зубчатое колесо, кулачки и другие фасонные поверхности.

При обработке параллельных горизонтальных поверхностей *АА* и *ББ* как на поперечно-строгальных (рис. 9.2, *м*), так и на продольно-строгальных станках (рис. 9.2, *н*) сначала строгают поверхность *АА*, затем заготовку переворачивают и строгают поверхность *ББ*. Для повышения производительности продольно-строгальных станков при обработке параллельных вертикальных плоскостей проводят строгание одновременно обеих поверхностей (*АА* и *ББ*) двумя резцами, установленными либо в верхних (рис. 9.2, *о*), либо в боковых суппортах. В обоих случаях резцы получают вертикальную подачу.

*Долбление* отличается от строгания тем, что главное движение резец совершает в вертикальной плоскости. Так же, как и при строгании, долблением обрабатываются вертикальные и наклонные плоскости, пазы, фасонные поверхности. Сложные контурные поверхности, шпоночные пазы и другие криволинейные контуры в цилиндрических и конических отверстиях предпочтительнее выполнять на долбежных станках — технологически это проще. На рис. 9.3 показаны детали, обработанные на долбежных станках без применения сложных приспособлений.

На долбежном станке предусмотрена продольная, поперечная и круговая подача стола. Это дает возможность обрабаты-

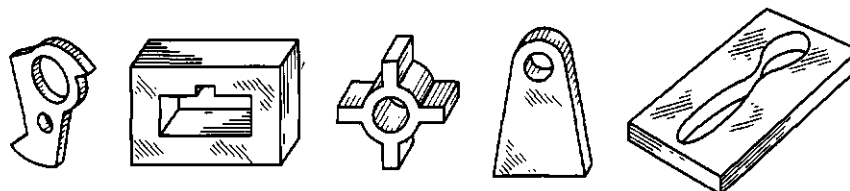


Рис. 9.3. Детали, обработанные на долбежном станке

вать с одного установка несколько простых и сложных поверхностей заготовки при последовательном включении то одной, то другой подачи стола. Долбежный станок позволяет одновременно обрабатывать несколько заготовок, собранных в пакет. При этом можно накладывать на верх пакета обработанную заготовку, которая служит шаблоном при обработке последующих. При установке заготовки обработанные ранее поверхности следует использовать при долблении как установочные и измерительные базы.

Основные параметры долбежных станков: наибольший ход долбяка, который составляет 100... 1600 мм, и диаметр стола — 240... 1600 мм.

## 9.2. Поперечно-строгальные станки

Поперечно-строгальные станки (рис. 9.4) предназначены для обработки резцом горизонтальных, вертикальных наклонных плоских и фасонных поверхностей с наибольшей длиной обработки 500 мм, а также для прорезания прямоугольных пазов и канавок. Станки применяются для работы в механических цехах машиностроительных заводов, в инструментальных и ремонтных цехах других отраслей промышленности. Станок основного исполнения оснащен прямоугольным неповоротным столом, по особому заказу изготавливаются станки с универсальным поворотным столом.

Кинематическая схема станка приведена на рис. 9.5. В станке имеются кинематические цепи главного движения, горизонтальной и вертикальной подачи стола, быстрого перемещения стола и вертикальной подачи суппорта.

*Главное движение* — горизонтальное возвратно-поступательное перемещение ползуна от электродвигателя М. Движение передается через клиноременную передачу, коробку скоростей и кулисный механизм. Приводной шкив диаметром 355 мм относительно вала коробки скоростей II вращается свободно. Если включить фрикционную муфту 4, то приводится во вращение входной вал II. Коробка скоростей позволяет изменять частоту вращения кулисного колеса  $z = 102$ , следовательно, и частоту возвратно-поступательного движения ползуна. Она состоит из трех валов (II, IV, VI) с посаженными на них зубчатыми колесами  $z = 22$ ,  $z = 29$ ,  $z = 35$ ,  $z = 42$ ,  $z = 19$ ,  $z = 58$ ,  $z = 51$ ,  $z = 45$ ,  $z = 38$ ,  $z = 56$  и  $z = 42$ . С помощью независимых перестановок двойных блоков шестерен вала II коробки скоростей на ее выходной вал VI можно передать восемь различных скоростей, которые будут преобразовываться зубчатой парой. Таким образом, кулиса при вращении кулисного колеса  $z = 102$  получит

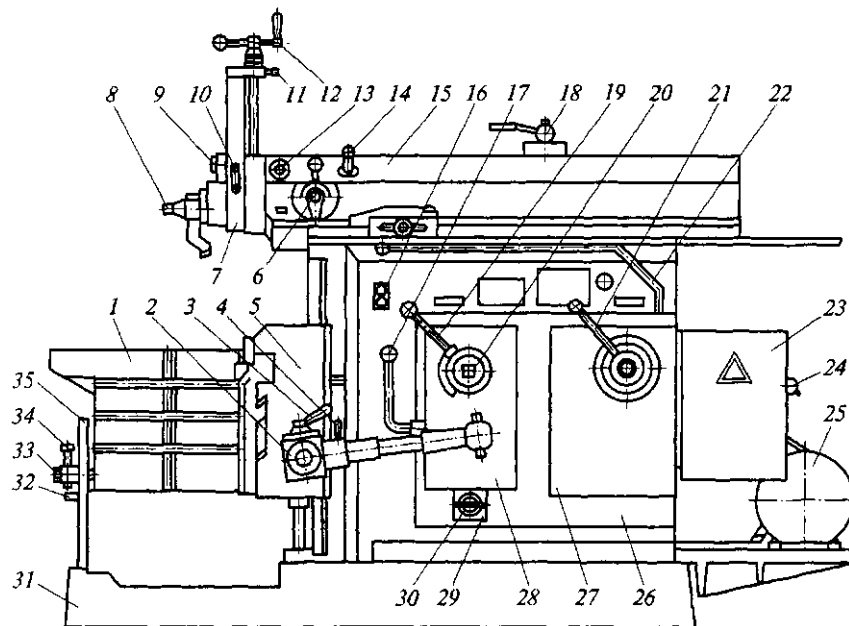


Рис. 9.4. Общий вид и органы управления поперечно-строгального станка:

1 — стол; 2 — хвостовик для ручного перемещения стола; 3 — рукоятка включения и реверсирования механического перемещения стола; 4 — рукоятка управления горизонтальным и вертикальным перемещением стола; 5 — поперечина; 6 — механизм автоматической вертикальной подачи суппорта; 7 — суппорт; 8 — винт крепления резца; 9 — гайка крепления поворотной доски суппорта; 10 — рукоятка зажима салазок суппорта; 11 — винт зажима ходового винта суппорта; 12 — рукоятка перемещения салазок суппорта; 13 — хвостовик закрепления суппорта; 14 — хвостовик перестановки ползуна по месту обработки; 15 — ползун; 16 — кнопочная станция включения и выключения электродвигателя; 17 — рукоятка ускоренного перемещения стола; 18 — рукоятка зажима ползуна; 19 — рукоятка установки величины механической подачи стола; 20 — квадрат (хвостовик) вала изменения длины хода ползуна; 21 — рукоятка изменения скорости ползуна; 22 — рукоятка управления фрикционной муфтой главного привода; 23 — шкаф электрооборудования; 24 — вводный выключатель станка; 25 — электродвигатель главного движения; 26 — станина; 27 — коробка скоростей; 28 — коробка подачи; 29 — система централизованной смазки; 30 — рукоятка очистки фильтра; 31 — фундаментная плита; 32 — упор стойки стола; 33 — гайка закрепления стойки стола; 34 — винт; 35 — стойка

качательное движение, которое через рычажную систему будет преобразовано в поступательное перемещение ползуна. Один оборот кулисного колеса будет соответствовать одному двойному ходу ползуна.





$$i_1 = \frac{22}{58} \frac{19}{56}, \quad i_2 = \frac{22}{58} \frac{58}{42}, \quad i_3 = \frac{29}{51} \frac{19}{56}, \quad i_4 = \frac{29}{51} \frac{58}{42},$$

$$i_5 = \frac{35}{45} \frac{10}{76}, \quad i_6 = \frac{35}{45} \frac{58}{42}, \quad i_7 = \frac{42}{38} \frac{19}{56}, \quad i_8 = \frac{42}{38} \frac{58}{42}.$$

Можно подсчитать, какое минимальное число двойных ходов в минуту будет совершать ползун:

$$n_{\text{полз мин}} = 1450 \frac{140}{355} 0,98 i_1 \frac{18}{102} = 100 i_1 = 13,2 \text{ дв. х/мин.}$$

*Движение горизонтальной подачи стола* делится на две составляющие: первая — прерывистая подача стола при обратном ходе ползуна, вторая — быстрое перемещение стола в исходное положение.

Прерывистая горизонтальная подача стола производится следующим образом. Укрепленный на выступающем конце кулисного вала кулачок 1 через ролик 3 поворачивает зубчатый сектор  $z = 60$  и колесо  $z = 30$  (вал XI), которое через поводок и находящуюся на нем собачку поворачивает храповое колесо  $z = 96$ . Если двусторонняя муфта 5 сцеплена с храповым колесом, то движение будет передаваться валу XI и далее через конические колеса 30/27 и 36/25 валу XIV. Затем через цилиндрические зубчатые колеса 30/30 движение передается ходовому винту XV, который преобразует вращение в поступательное перемещение стола.

Запишем уравнение баланса кинематической цепи горизонтальной подачи стола:

$$1 \text{ дв. х} \frac{a}{96} \frac{30}{27} \frac{36}{25} \frac{30}{30} \cdot 2 \cdot 6 = S_{2\text{х.гор.ст}},$$

где  $a$  — число зубьев, захватываемое собачкой, которое является элементом настройки этой кинематической цепи. В зависимости от того, сколько собачка будет захватывать зубьев храпового колеса, подача за один двойной ход ползуна будет различной. При  $a = 1$  подача будет минимальной:

$$S_{2\text{х.гор.ст мин}} = S_{2\text{х.гор.ст}(1)} = \frac{1}{96} \frac{30}{27} \frac{36}{25} \frac{30}{30} \cdot 2 \cdot 6 = 0,2 \text{ мм/дв. х.}$$

Величину горизонтальной подачи стола находят умножением минимальной подачи стола на число зубьев, захватываемых собачкой. Так как  $S_{2\text{х.гор.ст мин}} = 0,2$  мм/дв. х, то при  $a = 2$  подача будет в два раза больше, т. е.  $S_{2\text{х.гор.ст}(2)} = 0,4$  мм/дв. х, при  $a = 20$  еще в десять раз больше:  $S_{2\text{х.гор.ст макс}} = 4$  мм/дв. х.

*Цепь быстрых перемещений.* На приводном шкиве диаметром 355 мм закреплено зубчатое колесо  $z = 56$ , которое передает вращательное движение зубчатому колесу  $z = 24$ , свободно сидящему на валу IV. Далее через зубчатую пару 24/56 вращение передается валу V, на конце которого закреплена звездочка  $z = 19$ . Она в свою очередь по цепи передает движение через звездочку  $z = 28$  следующему валу XII.

Для сообщения ускоренного перемещения столу необходимо переключить муфту 5. В этом случае зубчатая передача 16/40 будет вращать вал XI и через конические колеса 30/27 и 36/25 передаст вращение валу XIV. На ходовой винт XV горизонтального перемещения стола движение можно передать, если колесо  $z = 30$  ввести в зацепление с другим колесом  $z = 30$  (как показано на схеме).

В данной кинематической цепи нет элементов настройки, поэтому стол имеет только одну скорость ускоренного горизонтального перемещения.

При зацеплении шестерни  $z = 30$  (вал XIV) с  $z = 42$  (вал XVI) стол получает ускоренное перемещение в вертикальном направлении со скоростью подачи 600 мм/мин.

Ускоренное перемещение стола может осуществляться и при выключенной коробке скоростей, т. е. при неподвижном ползуне. В этом случае фрикционная муфта 4 сцепляет шкив диаметром 355 мм с валом II.

*Цепь вертикальной подачи суппорта.* При механической подаче суппорта резец перемещается только вниз, при этом подача осуществляется при холостом ходе ползуна, когда рычаг своим роликом находит на кулачок 2. Собачка захватывает установленное число зубьев храпового колеса и поворачивает его на некоторый угол, равный  $a/45$ , где  $a$  — число зубьев, захватываемых собачкой на храповом колесе с  $z = 45$ . Вместе с храповым колесом повернется коническое колесо  $z = 39$  (вал XVIII), которое, в свою очередь, приведет во вращение блок конических колес на валу XIX. На конце этого вала находится в зацеплении коническое колесо  $z = 26$  с другим коническим колесом с таким же числом зубьев, но сидящим на ходовом винте XX вертикальной подачи суппорта. У последнего конического колеса внутреннее отверстие представляет собой гайку, накрученную на винт XX, поэтому при ее вращении винт совершает вертикальное перемещение, осуществляя подачу резца.

Запишем уравнение баланса кинематической цепи вертикальной подачи суппорта:

$$1 \text{ дв.х} \frac{a}{45} \frac{39}{26} \frac{26}{26} \cdot 5 = S_{2\text{х.верт.суп.}}$$

Минимальная вертикальная подача суппорта будет при захвате собачкой одного зуба храпового колеса  $z = 45$ , а именно  $S_{2x, \text{верт. суп}} \text{ min} = 0,167 \text{ мм/дв.х.}$  Конструкция позволяет захватывать максимум шесть зубьев храпового колеса, поэтому максимальная подача суппорта будет равна  $0,167 \cdot 6 = 1 \text{ мм/дв.х.}$

Все узлы станка смонтированы на чугунной станине 26 (см. рис. 9.4), представляющей собой крупную литую корпусную деталь, укрепленную на фундаментной плите 31, закрепленной болтами на фундаменте. Внутренние ребра станины повышают ее жесткость. Направляющие станины, по которым перемещается ползун 15, имеют форму ласточкина хвоста, они выполнены отдельно и крепятся к станине винтами. Стол 1 вместе с поперечиной 5 вертикально перемещается по плоским направляющим станины. Изменение скорости перемещения ползуна осуществляется в коробке скоростей 27, валы II, IV и VI которой (см. рис. 9.5) смонтированы в корпусе станины на подшипниках качения. Особенностью коробки скоростей является то, что вращение от приводного шкива на валы коробки скоростей передается через фрикционную муфту, что и характерно для коробок скоростей поперечно-строгальных станков. Муфта управляется рукояткой, выведенной наружу (см. рис. 9.4, поз. 22). Тормозное устройство предотвращает вращение приводного вала по инерции при отключении.

Приводной шкив диаметром 355 мм независимо от того, работает коробка скоростей или нет, т. е. включена или выключена фрикционная муфта 4 (см. рис. 9.5), всегда передает движение на насос централизованной смазки станка. Как только начинает работать электродвигатель на валу I, вращение через клиноременную передачу передается приводному шкиву и жестко связанной с ним болтами шестерне  $z = 56$ . Это вращение через зубчатую пару 56/36 передается на шестеренный насос.

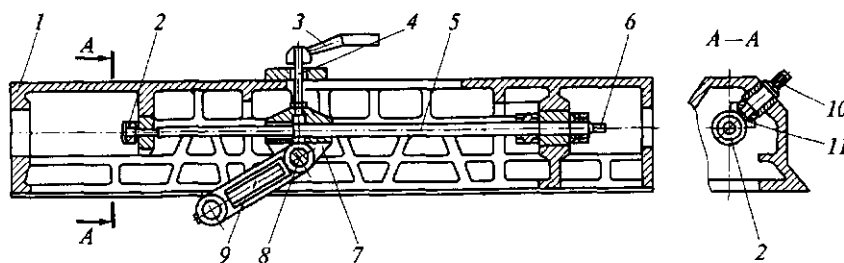


Рис. 9.6. Ползун поперечно-строгального станка:

1 — корпус ползуна; 2, 11 — конические зубчатые колеса; 3 — рукоятка закрепления гайки; 4 — шпилька; 5 — ходовой винт; 6, 10 — квадраты; 7 — гайка; 8 — палец; 9 — серьга

Другим основным узлом станка является ползун (см. рис. 9.4, поз. 15). Корпус 1 ползуна (рис. 9.6) представляет собой пустотелую чугунную отливку с ребрами жесткости внутри. Прямолинейное возвратно-поступательное движение ползуна совершается кулисой, соединенной с ползуном посредством серьги 9, пальца 8, гайки 7, ходового винта 5 и шпильки 4. К передней части ползуна крепится суппорт. В боковом гнезде ползуна монтируется механизм автоматической вертикальной подачи суппорта. Помимо установки ползуна на нужную длину хода требуется также установить вылет ползуна, чтобы обеспечить обработку заготовки в требуемом месте. Для этого нужно поставить ползун в крайнее переднее положение. Если вылет окажется недостаточным, то следует отвернуть рукоятку 3, а затем за квадрат 10 (или 6) вращать ходовой винт 5 до установки необходимого вылета ползуна. При этом конические зубчатые колеса 2 и 11 приводят во вращение ходовой винт 5. Ползун, перемещаясь от гайки 7, устанавливается в нужное положение относительно обрабатываемого изделия. После установки необходимого вылета гайку 7 закрепляют рукояткой 3.

Суппорт 7 (см. рис. 9.4) служит для закрепления резца, придания ему определенного положения по отношению к заготовке и сообщения ему относительного вертикального перемещения при подаче на заданную глубину резания. От жесткости суппорта в значительной мере зависит качество обработки. Поэтому суппорт должен быть прочно закреплен на несущем его ползуне.

Суппорт может перемещаться вручную от рукоятки 12 или автоматически. Для отсчета величины перемещения суппорта его ходовой винт снабжен лимбом с ценой деления 0,05 мм. Полный оборот ходового винта соответствует перемещению суппорта на 5 мм. При работе без подачи суппорт зажимается рукояткой 10. К салазкам суппорта прикреплена поворотная доска, допускающая поворот на  $\pm 15^\circ$ . К ней шарнирно крепится откидная доска с резцедержателем, которая позволяет откидывать резец и свободно скользить ему по обработанной поверхности при обратном ходе ползуна.

Кулисный механизм преобразует вращательное движение зубчатого колеса в возвратно-поступательное прямолинейное перемещение ползуна. Он монтируется внутри станины и получает движение от коробки скоростей при зацеплении зубчатого колеса  $z = 18$  (см. рис. 9.5, вал VI) с зубчатым колесом  $z = 102$  (вал VII). Зубчатое колесо  $z = 102$  привернуто к корпусу кулисного барабана и передает ему вращение. На торце корпуса кулисного барабана в призматических направляющих установлен кулисный палец, на который насажен камень кулисы. При вращении кулисного барабана кулисный палец увлекает за собой камень кулисы, который перемещается в направляющих и зас-

тавляет кулису качаться вокруг оси. Верхний конец кулисы шарнирно связан серьгой, надетой на палец, с ползуном. Длина хода ползуна регулируется перемещением кулисного пальца относительно оси.

Длину хода ползуна изменяют поворотом кривошипной рукоятки, надеваемой на выступающий квадрат 20 вала (см. рис. 9.4).

Коробка подач 28 (см. рис. 9.4) осуществляет рабочие и холостые горизонтальные и вертикальные подачи стола. Коробка подач установлена на боковой стенке станины со стороны выступающего конца корпуса кулисы.

Неповоротный стол 1 (см. рис. 9.4) служит для установки и закрепления обрабатываемых изделий. Изделия крепятся к столу болтами с квадратными головками, входящими в Т-образные пазы. Мелкие детали закрепляются в тисках, устанавливаемых на столе станка. Стол может перемещаться горизонтально и вертикально от руки (см. рис. 9.4, поз. 2). Механическое прерывистое перемещение включает рукояткой 3, а рукоятка 4 включает горизонтальное либо вертикальное. Передний край стола поддерживается стойкой 35, которая закрепляется гайкой 33. На стойке имеется упор 32, который устанавливается в отверстия стола. При переустановке стола упор снимается и стойка открепляется.

Копировально-строгальный станок (рис. 9.7) для обработки фасонных объемных профилей имеет гидрокопировальную систему, а также гидропривод с электронным управлением — для вертикального перемещения стола при поперечном копировании.

По роликовым направляющим станины 19, установленной на фундаментной плите 18, перемещается стол 8, конструкция которого допускает строгание по дуге, а также поперечное строгание (при горизонтальной поперечной подаче). Копир 3 крепится на переднем конце шпинделя 4 и вращается синхронно с заготовкой 10 торцовым поводком 6. Заготовка крепится в патроне 9.

Для обработки изделия, имеющего базовую поверхность в виде тела вращения, используют самоцентрирующий трехкулачковый или четырехкулачковый патрон (последний — в случае, если ось вращения обрабатываемой поверхности не совпадает с осью базовой поверхности). С применением самоцентрирующего патрона ускоряется замена заготовок. Станок имеет делительную головку 5 и дополнительные приспособления для крепления заготовок. Так, при обработке плоских заготовок большой ширины применяется специальный патрон, который устанавливается вместо трехкулачкового. Заготовка в этом патроне крепится с помощью болтов, при этом задняя бабка 17 со стола снимается.

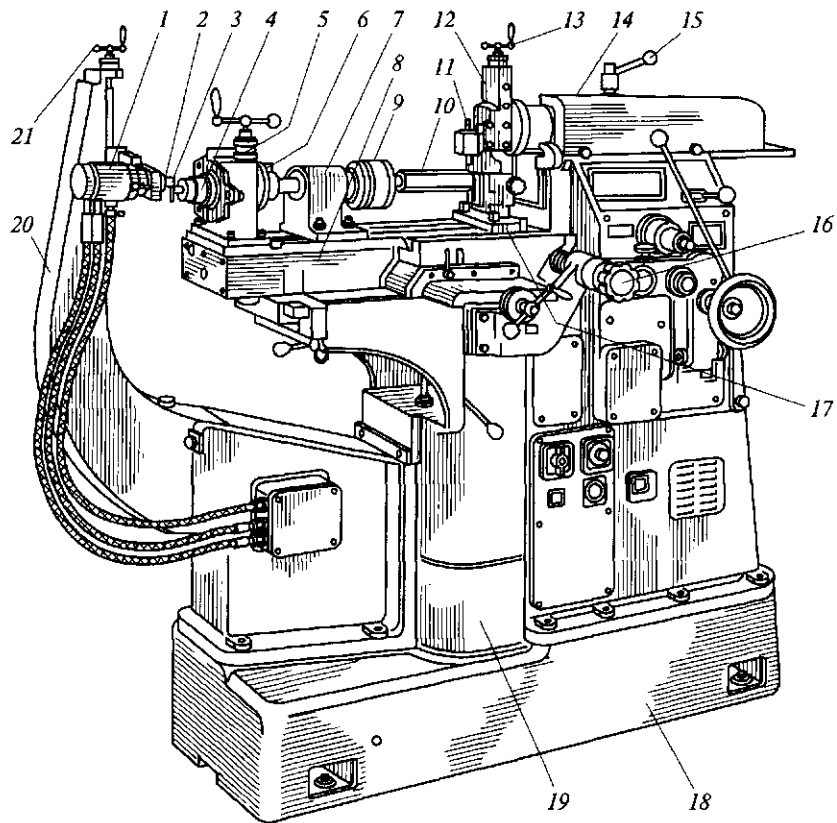


Рис. 9.7. Копировально-строгальный станок:

1 — управляющая головка; 2 — датчик определения положения стола в вертикальной плоскости; 3 — копир; 4 — шпиндель; 5 — делительная головка; 6 — торцовый поводок; 7 — бабка изделия; 8 — стол; 9 — патрон; 10 — заготовка; 11 — откидная доска; 12 — суппорт; 13, 21 — кривошипные рукоятки; 14 — ползун; 15 — рукоятка фиксации положения ползуна; 16 — маховик; 17 — задняя бабка; 18 — фундаментная плита; 19 — станина; 20 — консоль

При поперечном строгании плоских поверхностей с углом наклона более  $80^\circ$  по отношению к горизонтали в бабке 7 изделия крепится поворотный стол, который вместе с копиром устанавливается строго под одним и тем же углом по отношению к столу 8 станка и к заготовке. При таких видах обработки задняя бабка 17 снимается со стола 8.

Длинные заготовки при строгании поджимаются центром задней бабки 17, высота которого регулируется. Бабка 7 изделия и задняя бабка 17 могут перемещаться по Т-образным пазам стола 8 в зависимости от длины заготовки.

При строгании заготовка и копир вращаются синхронно с одновременной круговой и поперечной подачами. При этом положение стола в вертикальной плоскости определяется датчиком 2, касающимся копира 3. От управляющей головки 1 через гидропривод осуществляется вертикальная подача стола 8.

Гидропривод станка состоит из насоса высокого давления (приводимого в действие от электродвигателя), бака для масла, очистительного фильтра, редукционного клапана (устанавливающего давление в гидравлической системе), домкратного подъемника и устройства управления.

Устройство управления — главный узел станка. Оно находится на консоли 20. Высота положения датчика 2 регулируется кривошипной рукояткой 21, а поперечное положение — маховиком 16. Устройство управления обеспечивает подвод чувствительного элемента к копиру, что дает возможность получить большую точность копирования. Копир практически не изнашивается, так как усилие нажима на него датчика небольшое (4 Н). Чувствительный элемент управляющей головки 1 сменный.

При выполнении на станке горизонтального строгания плоскостей гидравлическая система управления вертикальной подачей стола 8 выключается.

Узел ползуна 14 имеет суппорт 12, в котором резец крепится на откидной доске 11. Глубина строгания устанавливается вручную кривошипной рукояткой 13. При наладке станка после установки ползуна 14 по месту обработки его положение фиксируется рукояткой 15.

При строгании заготовок со сложным профилем поперечного сечения на первых оборотах заготовки обрабатываются поверхности, расположенные вблизи оси вращения, поскольку в этих местах наибольшая величина припуска. Большую часть дуги окружности на заготовке резец проходит над необработанной поверхностью, сохраняя одну и ту же скорость перемещения относительно ее поперечного сечения.

Автоматический подвод инструмента, позволяющий сократить холостые ходы, программируется до начала обработки и осуществляется шаговым электродвигателем с электронным управлением.

На станке можно обрабатывать торцовые профили. Для этого станок снабжен специальным приспособлением 5 (рис. 9.8), смонтированным на рабочем столе 4. Приспособление 5 соединяется с механизмом, сообщаящим одинаковую угловую скорость вращения копиру 3 и заготовке 6. Копир 3, выполненный из листового материала, навивается на специальный патрон и крепится болтами. Угловая скорость вращения копира и заготовки синхронизирована с рабочей скоростью резца 7. Вертикальной подачей стола 4 управляет гидропривод станка, кото-



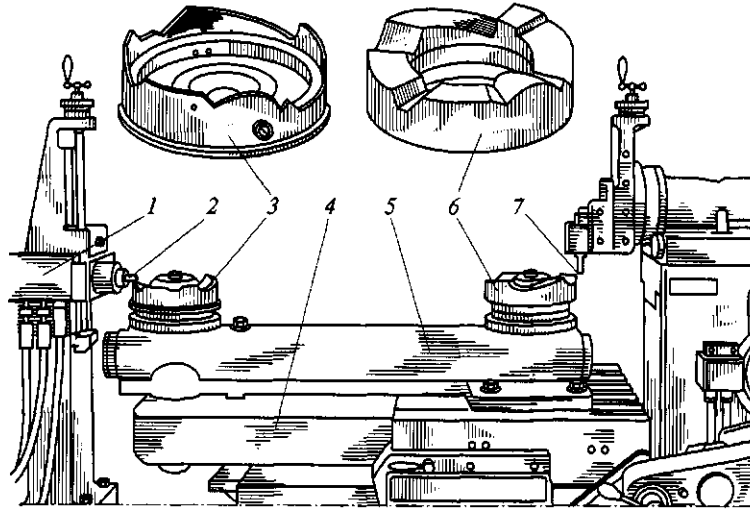


Рис. 9.8. Стругание торцовых фасонных поверхностей:  
 1 — управляющая головка; 2 — датчик; 3 — копир; 4 — рабочий стол; 5 — приспособление; 6 — заготовка; 7 — резец

рый получает сигналы от датчика 2 через управляющую головку 1.

Высокая точность обработки достигается также наладкой станка при наличии на нем делительной головки 5 (см. рис. 9.7). Все подвижные механизмы, сообщающие ползуну 14 возвратно-поступательное движение, расположены внутри станины коробчатой формы, которая крепится к фундаментной плите 18 станка.

На станке предусмотрена централизованная смазка всех подвижных элементов.

### 9.3. Продольно-строгальные станки

В группе продольно-строгальных станков особый интерес представляют тяжелые станки: двухстоечные портального типа (массой более 100 т) и одностоечные консольного типа.

В двухстоечных станках (рис. 9.9, а) портал образуется станиной 1 и двумя стойками 2, связанными перекладиной 4. Поперечина 3, подвешенная на ходовых винтах, предназначенных для ее вертикального перемещения, фиксируется при обработке заготовок на стойках системой зажимов и придает portalу дополнительную жесткость.

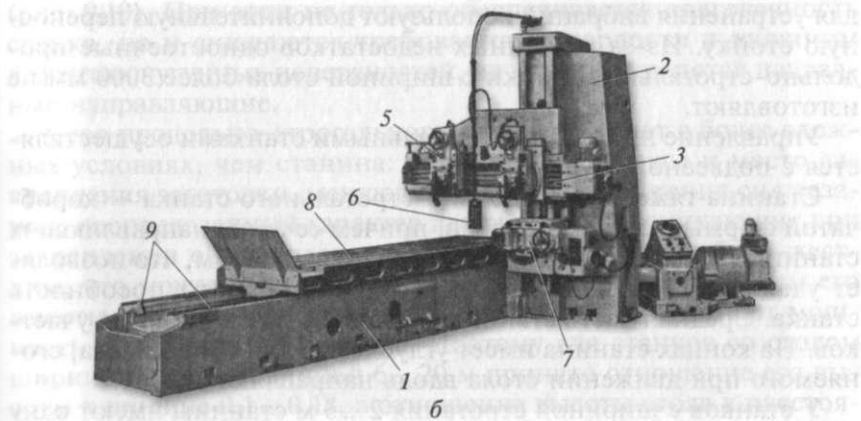
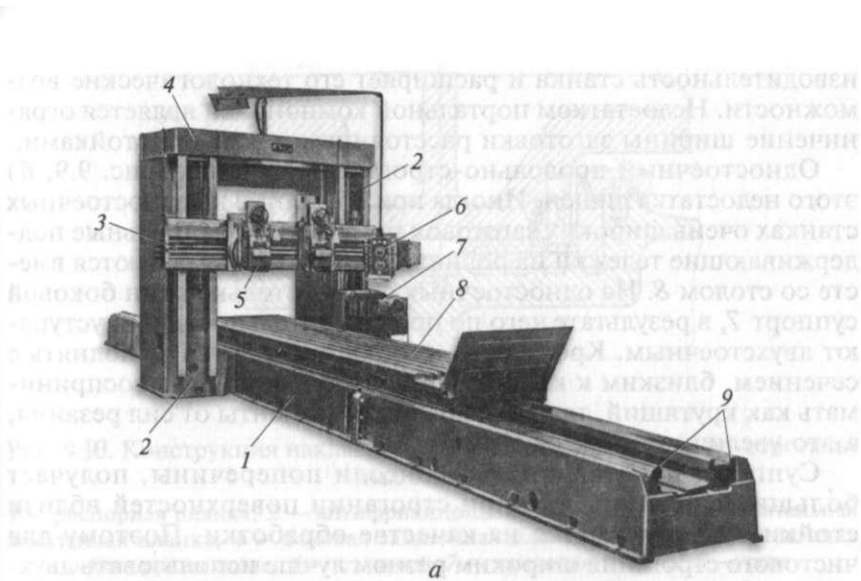


Рис. 9.9. Двухстоечный (а) и одностоечный (б) продольно-строгальные станки:

1 — станина; 2 — стойки; 3 — поперечина; 4 — перекладина; 5 — верхний суппорт; 6 — подвесной пульт управления; 7 — боковой суппорт; 8 — стол; 9 — направляющие

Верхние суппорты 5, расположенные на поперечине, как на двухопорной балке с зашеченными концами, имеют более высокую виброустойчивость, чем при расположении суппортов на консоли одностоечного станка.

На обеих стойках портала устанавливаются боковые суппорты 7, позволяющие вести обработку либо одной заготовки с двух сторон, либо двух заготовок одновременно, что повышает про-

изводительность станка и расширяет его технологические возможности. Недостатком порталной компоновки является ограничение ширины заготовки расстоянием между его стойками.

Одностоечный продольно-строгальный станок (рис. 9.9, б) этого недостатка лишен. Иногда при обработке на одностоечных станках очень широких заготовок применяют специальные поддерживающие тележки на роликах, которые перемещаются вместе со столом 8. На одностоечных станках только один боковой суппорт 7, в результате чего по производительности они уступают двухстоечным. Кроме того, стойку приходится выполнять с сечением, близким к квадратному, чтобы она могла воспринимать как крутящий, так и изгибающий моменты от сил резания, а это увеличивает массу стойки.

Суппорт, работающий на консоли поперечины, получает большие вибрации, чем при строгании поверхностей вблизи стойки, что отражается на качестве обработки. Поэтому для чистового строгания широким резцом лучше использовать двухстоечный станок. Если же применяют одностоечный станок, то для устранения вибраций используют дополнительную переносную стойку. Из-за указанных недостатков одностоечные продольно-строгальные станки с шириной стола более 3000 мм не изготавливают.

Управление продольно-строгальными станками осуществляется с подвесного пульта 6.

Станина тяжелого продольно-строгального станка — коробчатой формы с системой ребер, причем сечение направляющих станины по толщине должно быть не менее 50 мм, что позволяет удалять следы износа, долго сохраняя работоспособность станка. Средняя часть станины несколько выше крайних участков. На концах станина имеет углубление для сбора масла, скопившегося при движении стола вдоль направляющих.

У станков с шириной строгания 2...3 м станины имеют одну V-образную и одну плоскую направляющие 9; при ширине строгания 4...5 м — одну среднюю V-образную и две плоские направляющие. Угол при вершине V-образной направляющей равен 110°. Через направляющие подается масло, которое скапливается в желобе, находящемся при вершине V-образной направляющей.

У плоских направляющих станины имеются бурты, которые не позволяют смазочному материалу переливаться через борт станины на фундамент. Направляющие станины и стола наиболее подвержены износу. Направляющие станины делают более твердыми, чем направляющие стола. Для направляющих тяжелых станков рекомендуется твердость в узком диапазоне в пределах 190...220 НВ. Иногда в качестве направляющих применяют специальные закаленные шлифованные стальные пластины

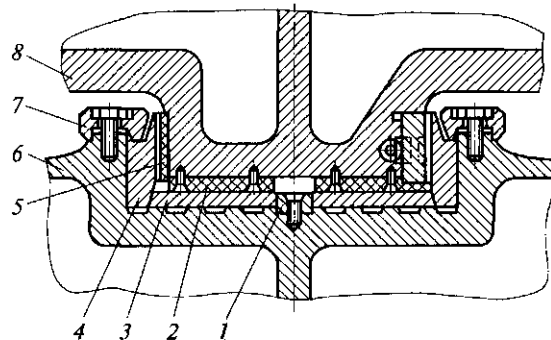


Рис. 9.10. Конструкция накладных направляющих продольно-строгальных станков:

1 — распорная планка; 2 — антифрикционная накладка; 3 — горизонтальная закаленная планка; 4 — боковая закаленная планка; 5 — антифрикционная накладка на столе; 6 — станина; 7 — замковая планка; 8 — стол

(рис. 9.10). При этом не только обеспечивается долговечность станка, но и снижаются требования к твердости и внешним дефектам чугунных поверхностей, на которые крепятся накладные направляющие.

Стол продольно-строгального станка работает в более сложных условиях, чем станина: непостоянная масса и место закрепления заготовки, меняющаяся точка приложения сил резания, неопределенный характер деформаций, возникающих при закреплении обрабатываемой детали. Стол должен быть жестким, что может быть достигнуто, например, увеличением его высоты. Однако с увеличением массы стола возрастают мощность и размеры его привода. Поэтому для станков со столом шириной 2...5 м и длиной 6...20 м принято отношение его высоты к ширине 0,1...0,18, а отношение высоты стола к расстоянию между крайними направляющими — 0,2...0,3.

Столы станков с шириной строгания 4...5 м, а также специальных удлиненных строгальных станков делают составными из нескольких частей. На наружной рабочей поверхности стола имеется ряд продольных Т-образных пазов. Средний паз обрабатывается точнее остальных, с допуском по ширине Н11, поскольку служит базой для установки зажимных приспособлений и заготовок.

Для устранения задиров направляющие столов покрывают пластинами из цветного сплава, бронзы или текстолита толщиной 5...10 мм. Антифрикционные пластины приклеивают и дополнительно притягивают бронзовыми или латунными винтами.

Поперечина также имеет существенное значение в формировании точности обработки. По ее передним продольным на-

правляющим перемещаются суппорты. Сзади поперечины, по краям слева и справа имеются вертикальные направляющие для ее движения вдоль стойки. Большое расстояние между направляющими придает большую устойчивость и жесткость суппортам. Средней части корпуса поперечины придана коробчатая форма, что обеспечивает жесткость станка и точность обработки. Зажим поперечины может осуществляться электромеханической или гидравлической системой; отжим поперечины контролируется конечными выключателями.

Существуют и специализированные продольно-строгальные станки: для обработки кромок листов — кромкострогальные; для снятия грата (напльва и утолщения сварного шва); для обработки железнодорожных стрелочных переводов (остряков, цельнолитых крестовин, усовиков, рамных рельсов).

#### 9.4. Комбинированные строгальные станки

Среди комбинированных строгальных станков выделяют как наиболее показательные продольные строгально-фрезерные, продольные строгально-шлифовальные, комбинированные станки с ЧПУ. На продольных строгально-фрезерных станках можно выполнять черновую и чистовую обработку корпусных деталей на различных режимах: строгание, фрезерование плоскостей, растачивание отверстий. Причем работу можно вести одновременно четырьмя строгальными суппортами: двумя вертикальными, смонтированными на поперечине, и двумя боковыми, расположенными на стойках. Поворотная часть вертикальных суппортов может наклоняться в обе стороны на  $60^\circ$ , боковых — на  $45^\circ$ , что позволяет обрабатывать наклонные поверхности.

Станки предназначены для механической обработки тяжелых заготовок массой до 70000 кг. Они созданы на базе продольно-строгальных станков, оснащены устройством цифровой индикации и имеют единое компоновочное решение: двухстоечный портал (см. рис. 9.9, а) с подвижной вертикально перемещающейся поперечиной 3. Многие узлы и детали станков унифицированы. Жесткость станины 1 и кинематических цепей дает возможность проводить устойчивое, без вибраций, резание на всех режимах, а также финишное строгание (например, при обработке направляющих станин и столов) широкими резцами.

Суппорты с отдельными приводами подачи салазок и ползунков от электродвигателей постоянного тока позволяют оснащать станки электроприводными устройствами. Для крепления салазок на суппортах установлены гидромеханические зажимы.

В продольных строгально-фрезерных станках применена система управления реверсами стола от УЧПУ, что позволяет задавать координаты перемещений непосредственно с подвесного пульта 6 без перестановки ограничительных упоров.

Наряду со строгальными суппортами станки имеют фрезерно-расточные бабки, расположенные на поперечине 3, а также фрезерные и расточные головки, значительно расширяющие технологические возможности станков.

Салазки и ползун фрезерно-расточной бабки снабжены автоматическим зажимом, надежно фиксирующим их при обработке заготовок. Зажим оправок режущего инструмента механизирован. Направляющие 9 стола закрыты телескопическими защитными щитками, для размещения которых предусмотрены стойки. Это позволяет не увеличивать длину станины, поскольку у тяжелых станков она составляет 12...20 м.

Цифровая индикация на световом табло выдает сведения о размерах обрабатываемых деталей. В системе управления используется предварительный набор координат перемещения узлов станка.

На тяжелых комбинированных станках расположение и сочетание суппортов, фрезерных и расточных головок может быть различным в зависимости от характера обрабатываемых деталей и особенностей технологического процесса. Фрезерные и фрезерно-расточные бабки оснащают съемными поворотными насадными головками, позволяющими обрабатывать поверхности с пяти сторон, под разными углами без перестановки заготовки. Система управления значительно усложняется, так как для каждого вида обработки требуются отдельные приводы с автоматическим регулированием.

Особенности конструкции поперечины комбинированных строгально-фрезерных станков состоят в том, что по ее направляющим перемещаются строгальные суппорты и фрезерно-расточные бабки. Так как строгальные суппорты меньше по размеру и массе по сравнению с фрезерными бабками, то расстояния между направляющими для саней различны. Поэтому вместо двух направляющих сделаны три. Строгальные суппорты базируются на нижней и средней направляющих, фрезерные и фрезерно-расточные бабки — на нижней и верхней.

Особенность привода стола комбинированного станка — различие режимов строгания и фрезерования. Если для строгания на тяжелых станках скорость стола обычно равна 1...2 м/мин, то нижний предел скорости при фрезеровании — около 5 мм/мин. Поэтому кинематическая цепь привода стола комбинированных станков более длинная, а электродвигатель позволяет плавно менять частоту вращения от наименьшей подачи до ускоренных перемещений стола (5...8 м/мин).

Продольный строгально-шлифовальный станок создан на базе тяжелого продольно-строгального станка и снабжен четырьмя строгальными суппортами: два боковых перемещаются вдоль стойки, а два верхних смонтированы на поперечине, на которой также перемещается шлифовальная бабка. Вертикальная подача шлифовального круга выполняется специальным механизмом.

Шлифование обрабатываемой поверхности производится при обильной подаче СОЖ, поэтому стол по периметру закрыт съемными щитками. Управление станком — с подвесного пульта, перемещающегося вдоль портала. Направляющие станины защищены от абразивной пыли гибкой лентой. Прерывистые подачи вертикальных и боковых суппортов выполняются с помощью зубчатого барабана, состоящего из дисков, которые устанавливаются против контактов специального электрического реле подачи. В зависимости от того, какой из дисков барабана воздействует на реле подачи, электродвигатель поворачивает ходовой винт на определенный угол. Нижний предел подачи достигает 0,1 мм/дв.х.

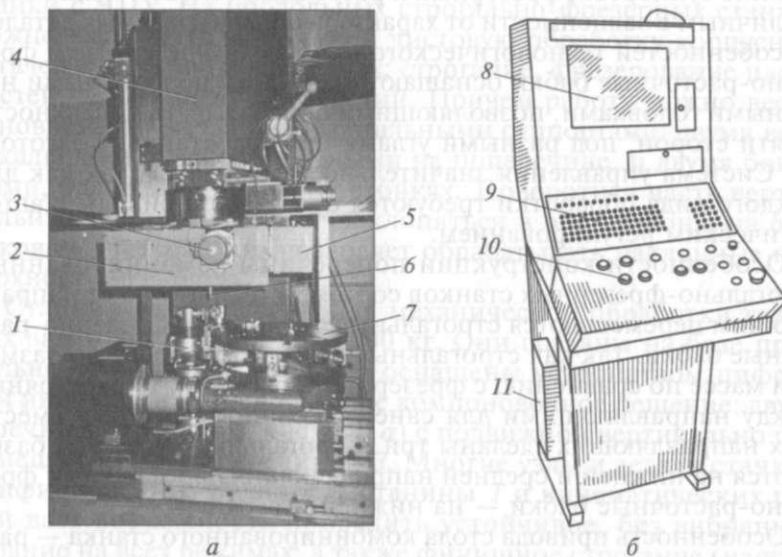


Рис. 9.11. Рабочая зона (а) и УЧПУ (б) комбинированного строгального станка, работающего с долемикронной точностью:

1 — телевизионный микроскоп; 2 — план-суппорт; 3 — двигатель закрепления инструмента; 4 — ползун; 5 — линейный датчик контроля перемещения каретки; 6 — строгальный резец; 7 — юстировочный стол; 8 — монитор УЧПУ; 9 — клавиатура; 10 — панель ручного управления; 11 — системный блок

Комбинированный строгальный станок с ЧПУ (рис. 9.11) позволяет получать строганием трехмерные сложные рисунки на металлографских формах: портреты, циклоиды, бордюры и т. п. На станке наряду со строгальными резцами применяется в высокоскоростном шпинделе гравировальный резец (однозубая фреза).

Число управляемых координат на станке — 6, из них управляемых одновременно — 4. По направляющим качения от шагового двигателя в поперечном направлении перемещаются салазки. В продольном направлении от шагового двигателя по закрытым телескопическим щиткам направляющим салазок перемещается каретка, на которой размещен юстировочный стол 7 с заготовкой. На стойке по вертикальным направляющим происходит установочное перемещение ползуна 4, на котором размещен план-суппорт 2 со строгальным резцом 6. Закрепление резца осуществляется автоматически от электродвигателя 3. Управление станком — от системы ЧПУ с операционной системой Windows. УЧПУ выполнено в виде отдельной стойки: системный блок 11 Pentium-333, монитор 8 (14 дюймов), клавиатура 9 промышленного исполнения, панель ручного управления 10, блок управления высокоскоростным шпинделем (на рисунке не показан).

Станок может работать длительное время в автоматическом режиме без участия человека.

Максимальный размер обрабатываемых на станке заготовок (длина × ширина × высота) — 297×210×25 мм.

Для наладки и обеспечения работоспособности строгального резца 6 в комплект основных узлов станка входят: телевизионный микроскоп 1, юстировочный стол 7, план-суппорт 2 с кареткой и двигателем ее перемещения, линейный датчик 5 контроля перемещения каретки, двигатель 3 (привод зажима инструмента).

Углубления на заготовку металлографской формы наносятся в основном за счет перемещения строгального резца, при котором его передняя поверхность в каждой точке траектории перпендикулярна к направлению движения. Режимы резания назначают исходя из прочности инструмента и возможностей станка по скорости рабочих ходов.

В цепь перемещения план-суппорта (координата  $U$ ) встроен магнестрикционный силовой привод, который при необходимости может обеспечить перемещение с точностью 0,03 мкм в режиме импульсного управления. Магнестриктор (стержень из редкоземельного сплава) размещается в магнитной системе с постоянными магнитами, магнитное поле которых направлено вдоль магнестриктора. Изменение длины магнестриктора составляет 0,10...0,15 % его длины, т. е. в среднем 5...30 мкм,



при этом возникает усилие в среднем 100 Н на 1 мм<sup>2</sup> площади сечения магнестриктора. Использование постоянных магнитов позволяет значительно уменьшить потребление энергии в магнестрикционных приводах по сравнению с традиционными конструкциями, в которых магнитное поле создается с помощью соленоида, устранить их нагрев, кардинально увеличить временную стабильность и во многих случаях обойтись без источника питания.

В станке применяются суперпрецизионные (шаг 0,01 нм) силовые (усилие до 1000 Н) малоэнергоемкие (потребляемая мощность до 5 Вт) магнестрикционные приводы. Наряду с использованием сверхточного позиционирования резца это позволило кардинально изменить технологию резания.

Для обработки относительно широких углублений наряду со строгальным резцом применяется вращающийся гравировальный резец (однозубая фреза). Инструмент устанавливается вручную в высокоскоростной шпиндель, расположенный с левой стороны шпиндельной бабки. По командам УП шпиндель выдвигается в зону обработки. Частота вращения шпинделя регулируется в пределах от 10 до 50 тыс. об/мин.

Большое разнообразие видов углублений в металлографских формах предопределило необходимость использования строгальных инструментов различных типов. Для изготовления прямых линий с углами при вершине их сечения 30, 60 и 90° используются строгальные резцы с шириной вершины 0,01, 0,02, 0,04 мм с углами в плане; для круговых углублений диаметром от 0,5 до 30 мм — кольцевые резцы (обработка за счет вращения план-суппорта); универсальные строгальные резцы с углом при вершине 60 и 90° для обработки произвольных кривых в режиме интерполяции по координатам X, Y, Z, C.

Строгальные резцы устанавливают на размер вне станка в цилиндрические держатели и закрепляют с помощью цанг. Положение резца в держателе регулируется по величине вылета и углу поворота. Собранный резцедержатель вручную вставляют в инструментальный магазин станка.

Инструментальный магазин имеет десять рабочих позиций. По командам УП требуемый резец может быть установлен в рабочую позицию план-суппорта автоматически и перемещаться к телевизионным микроскопам на проверку и подналадку. К первому микроскопу резец подается так, чтобы его передняя поверхность располагалась перед объективом. Отображение этой поверхности с увеличением в 625 раз выносится на экран монитора 8. На этом же экране располагаются линии, связанные с системой координат станка, что позволяет установить резец относительно оси поворота план-суппорта и рабочей поверхности металлографской формы за счет ввода коррекций по

координатам  $Z$  и  $U$ . В результате погрешность формы углубления после замены резца не превышает 2 мкм.

Откорректированное положение и фактическая форма передней поверхности резца могут быть вновь вызваны на экран монитора. Это позволяет периодически контролировать износ резца, его выкрашивание или поломку, а также сопоставлять идентичность форм работавшего и вновь устанавливаемого резца. Второй микроскоп используется для оценки состояния боковых режущих кромок и задней поверхности резца.

Для правильной установки заготовки в системе координат станка предусмотрен юстировочный стол 7, базовую поверхность которого можно поворачивать с высокой точностью (до 3 мкм) относительно плоскости  $XU$  и жестко закреплять без смещения.

Чтобы обеспечить выполнение требований по расположению и форме углублений рисунков, в станке предусмотрены перемещения по шести координатам:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $U$ , из которых четыре линейные и две круговые. С этой же целью для перемещения узлов применяют направляющие качения, шариковые винтовые передачи, датчики линейных перемещений 5 с ценой деления 0,0001 и 0,0005 мм, датчики круговых перемещений с дискретами 0,002 (по координате  $E$ ) и 0,02 (по координате  $C$ ) углового градуса.

### 9.5. Долбежные станки

В долбежных станках резец движется возвратно-поступательно в вертикальной плоскости, перпендикулярной к поверхности стола. Характер движений в долбежных станках такой же, как и в поперечно-строгальных, поэтому их иногда называют вертикально-строгальными. Вертикальная компоновка позволяет обрабатывать на долбежных станках внутренние фасонные контуры, что на продольно- и поперечно-строгальных станках затруднено.

Основными узлами долбежного станка (рис. 9.12) являются станина 1 коробчатой формы, на которой установлена вертикальная колонка 11. По вертикальным направляющим колонки перемещается ползун 8, или долбляк, в нижней части которого закреплен резцедержатель 7. Заготовка 6 крепится на столе 5. Стол получает круговое перемещение при вращении маховика 3, продольное движение при ручном управлении маховиком 4 и поперечное — при вращении маховика 2. Коробка скоростей 10 расположена в верхней части колонки; переключение скоростей долбляка осуществляется рукояткой 9. Для включения станка установлена кнопочная панель 12.

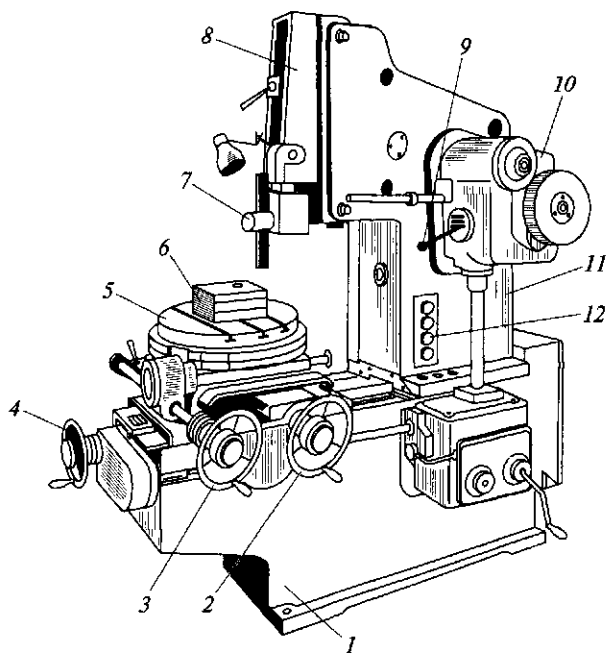


Рис. 9.12. Общий вид долбежного станка:

1 — станина; 2, 3, 4 — маховики поперечного, кругового и продольного перемещений стола соответственно; 5 — стол; 6 — заготовка; 7 — резцедержатель; 8 — ползун (долбляк); 9 — рукоятка переключения скоростей долбляка; 10 — коробка скоростей; 11 — вертикальная колонка; 12 — кнопочная панель

Благодаря вертикальной компоновке долбежный станок занимает небольшую производственную площадь.

В инструментальных и ремонтных цехах широко применяют комбинированные долбежные станки, которые выполняют фрезерование, растачивание и долбление. Это станки нормального, повышенного и высокого класса точности с ручным управлением и оптической системой отсчета по двум координатам. В ряде станков используется цифровая индикация с предварительным набором координат. В других станках установлено УЧПУ для обработки по программе в прямоугольных координатах горизонтальным и вертикальным шпинделем.

На рис. 9.13 представлен комбинированный фрезерно-долбежный станок с ЧПУ, на чугунном основании 1 которого закреплена стойка 2. На стойке монтируются суппорт и салазки. Суппорт 4 перемещается по вертикальным направляющим стойки, салазки 15 — по горизонтальным направляющим суппорта. Привод главного движения — от электродвигателя 10. Двигатель подачи крепится на стойке.

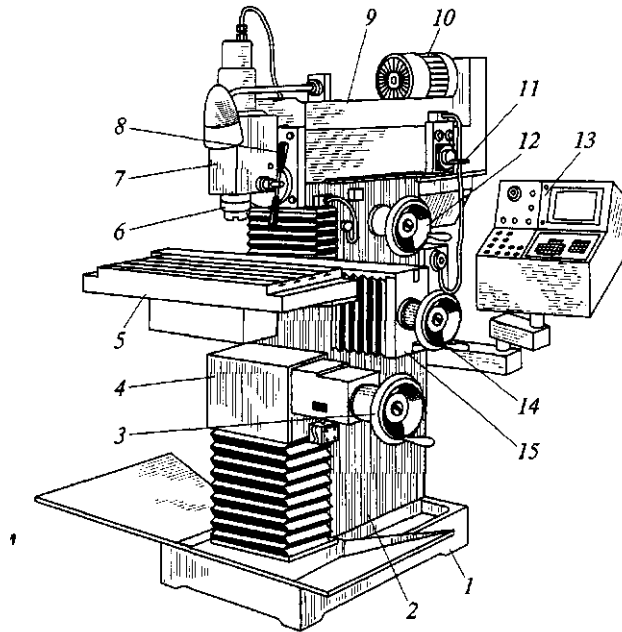


Рис. 9.13. Комбинированный фрезерно-долбежный станок с ЧПУ:

1 — основание; 2 — стойка; 3 — маховик вертикального перемещения суппорта; 4 — суппорт; 5 — стол; 6 — вертикальный шпиндель; 7 — сменная головка; 8 — рукоятка перемещения гильзы; 9 — бабка; 10 — электродвигатель; 11 — рукоятка переключения скоростей; 12 — маховик поперечного перемещения бабки; 13 — УЧПУ; 14 — маховик продольного перемещения салазок; 15 — салазки

Программное управление работой станка осуществляется вводом программы с клавиатуры пульта. УЧПУ 13 оснащено дисплеем, общее число управляемых координат — 3, одновременно управляемых — 1. Система ЧПУ получает сигналы от трех линейных фотоэлектрических измерительных преобразователей (датчиков).

Для расширения технологических возможностей станка к нему прилагаются: сменные головки 7 (вертикальная фрезерная с вертикальным шпинделем 6, долбежная и расточная), стол 5 (угловой универсальный и круглый), делительная головка. При настройке станка исполнительные органы можно перемещать вручную при помощи маховиков 3 (вертикальное перемещение суппорта), 14 (продольное перемещение салазок), 12 (поперечное перемещение бабки 9) и рукоятки 8 перемещение гильзы. Скорости переключаются посредством рукоятки 11.

Долбежная головка (рис. 9.14) крепится к торцу фрезерной бабки станка через переходную плиту 1, относительно которой

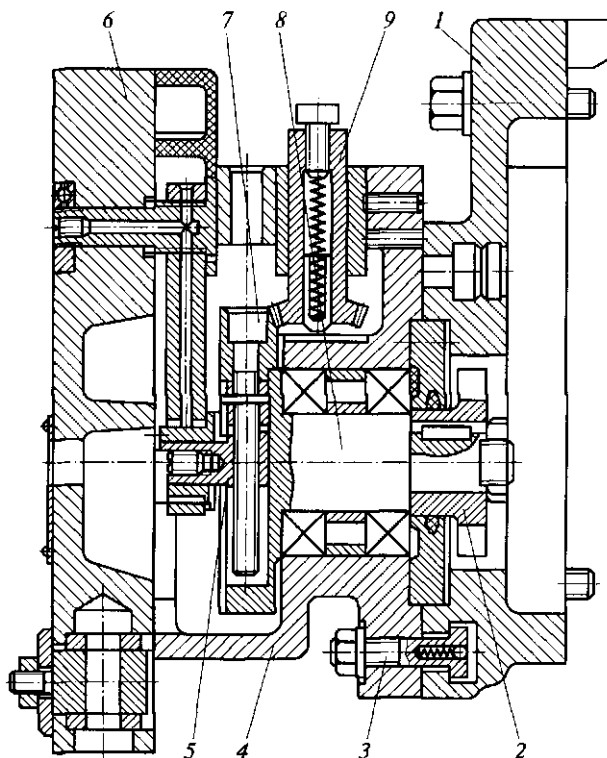


Рис. 9.14. Долбежная головка комбинированного фрезерно-долбежного станка:

1 — переходная плита; 2 — втулка; 3 — болт; 4 — корпус; 5 — камень; 6 — ползун; 7 — винт; 8 — кривошипный колесо-вал; 9 — коническая шестерня

корпус 4 может быть повернут в Т-образных пазах на  $\pm 90^\circ$ , после чего затягивается болтами 3. Вращение с горизонтального шпинделя станка передается втулкой 2 через шпоночное соединение кривошипному колесу-валу 8. Ход ползуна 6 вместе с резцом изменяют винтом 7, который перемещает камень 5 относительно оси вращения. Резец можно подвести к заготовке вручную при помощи конической шестерни 9.

## 9.6. Протяжные станки

Обработка методом протягивания получила большое распространение в массовом и крупносерийном производстве. Наиболее эффективно протягивание деталей с точными сложными и фасонными поверхностями. Характерная особенность протягивания заключается в том, что форма обработанной поверхнос-

ти зависит от формы и расположения режущих кромок на инструменте (протяжке). Недостаток — высокая стоимость изготовления и заточки инструмента.

В протяжных станках рабочее движение режущего инструмента или заготовки прямолинейное. Протяжные станки не имеют специального механизма подачи, поскольку подачу обеспечивают расположенные определенным образом зубья протяжки: каждый последующий зуб имеет несколько большие размеры, чем предыдущий.

По назначению различают протяжные станки для внутреннего и наружного протягивания; по направлению и характеру рабочего движения — горизонтальные, вертикальные, непрерывного действия; по числу кареток и позиций — с одной или несколькими каретками, одно- или многопозиционные. Эти станки получили наибольшее распространение.

**Горизонтальный станок для внутреннего протягивания.** Принцип действия станка, показанного на рис. 9.15, — протягивания, при котором заготовка свободно лежит на самоустанавливающейся опоре. Протяжка направляет деталь своими режущими зубьями и прижимает ее к опорной поверхности осевой силой резания. Перед началом протягивания хвостовик протяжки пропускают через отверстие заготовки и вручную закрепляют в патроне рабочей каретки.

Рабочее движение протяжки осуществляется от гидроцилиндра, питаемого плунжерным насосом регулируемой производительности. Бесступенчатое регулирование скорости осуществля-

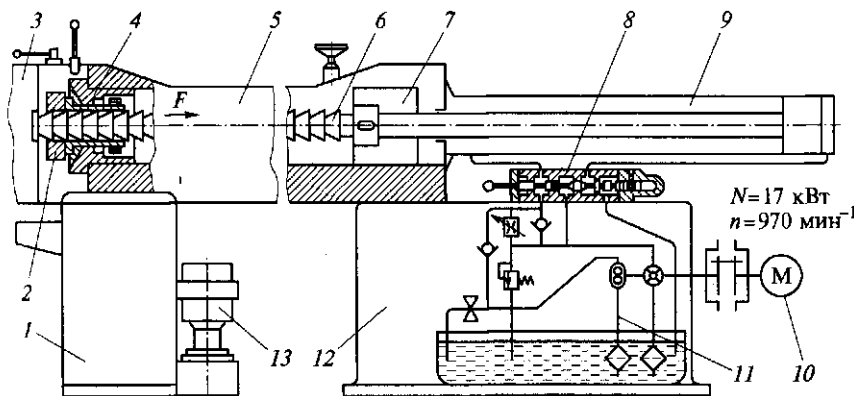


Рис. 9.15. Горизонтальный станок для внутреннего протягивания:  
 1 — стойка; 2 — заготовка; 3 — корыто; 4 — опора; 5 — корпус; 6 — протяжка; 7 — рабочая каретка; 8 — гидрораспределитель; 9 — гидроцилиндр; 10 — электродвигатель привода насосов; 11 — гидростанция; 12 — станина; 13 — насос

ют изменением производительности насоса. Когда упор каретки воздействует на конечный выключатель, движение прекращается. Обратный ход каретки также ограничивается упором. На этом рабочий цикл станка заканчивается.

**Станки для наружного протягивания.** Станки для наружного протягивания выпускаются в вертикальном и горизонтальном исполнениях. Вертикальные станки по сравнению с горизонтальными более удобны в обслуживании и занимают меньшую площадь. Они получили большее распространение в массовом производстве.

На рис. 9.16 представлен вертикальный станок для наружного протягивания, состоящий из станины 14, на направляющих которой расположена рабочая каретка 8 с приспособлением 9, несущим протяжку 6. Каретке сообщается возвратно-поступательное перемещение (вниз-вверх) от гидравлического цилиндра через поршень и шток. На выступающей части станины установлен стол 15, состоящий из нижней (неподвижной) и верхней (подвижной) плит. На верхней плите в приспособлении 2 закрепляют заготовку 3.

Верхняя плита 1 посредством дополнительного гидроцилиндра, поршня-рейки и кривошипа совершает небольшое возвратно-поступательное горизонтальное перемещение: после рабочего хода протяжки вниз плита отходит от нее, а после подъема протяжки — возвращается в исходное положение. Такое перемещение плиты исключает трение задних поверхностей

протяжки об обработанную поверхность. Ход протяжки и автоматический цикл регулируются конечным переключателем 5 и передвижными ку-

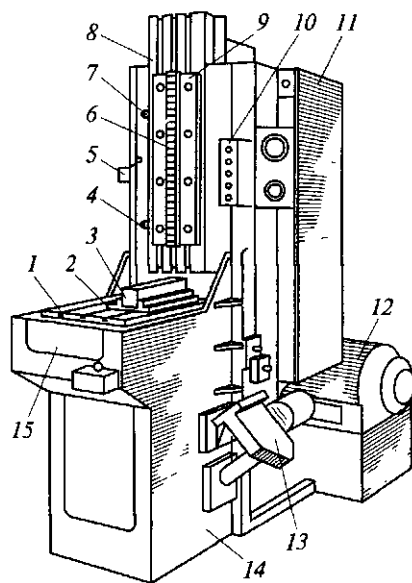


Рис. 9.16. Вертикальный станок для наружного протягивания:

1 — верхняя плита; 2 — приспособление для заготовки; 3 — заготовка; 4, 7 — передвижные кулачки; 5 — конечный переключатель; 6 — протяжка; 8 — рабочая каретка; 9 — приспособление для протяжки; 10 — пульт управления; 11 — электрошкаф; 12 — гидростанция; 13 — устройство для удаления стружки; 14 — станина; 15 — стол

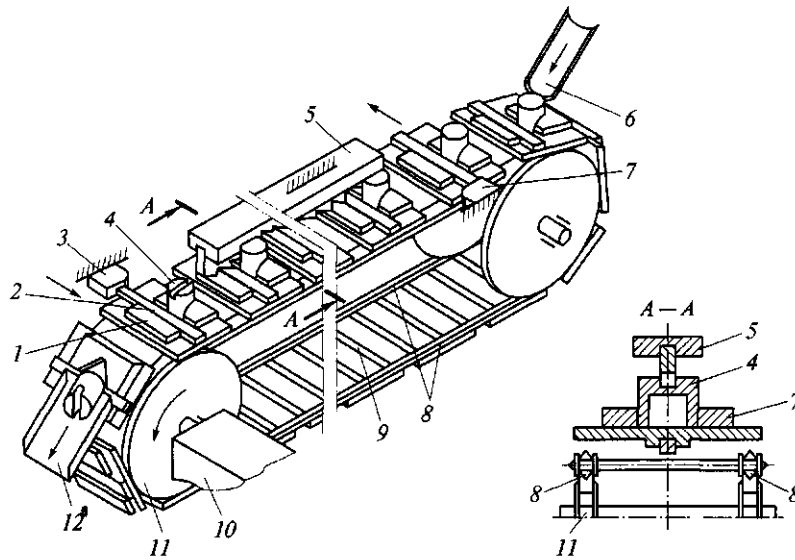


Рис. 9.17. Принципиальная схема станка для непрерывного протягивания:  
 1 — приспособление; 2 — клин для зажима заготовки; 3, 7 — регулируемые упоры; 4 — заготовка; 5 — протяжка; 6, 12 — лотки для загрузки и выгрузки заготовок соответственно; 8 — непрерывные тяговые цепи; 9 — стяжки цепей; 10 — привод вращения звездочки; 11 — ведущая звездочка

лачками 4, 7. В станке предусмотрены гидростанция 12, пульт 10 управления, устройства 13 удаления стружки, электрошкаф 11.

**Станки для непрерывного протягивания.** Эти станки отличаются от описанных ранее станков циклического действия тем, что рабочее движение заготовки (или протяжки) совершается в них непрерывно, а это резко повышает производительность. Эти станки применяются в условиях массового производства.

На рис. 9.17 показана принципиальная схема станка для непрерывного протягивания. Протягивание происходит тогда, когда две непрерывные тяговые цепи 8, связанные стяжками 9, с установленными на них приспособлениями 1 и зажатые в них заготовками 4 проходят под неподвижно закрепленной протяжкой 5. Припуск под протягивание снимается постепенно, по мере продвижения заготовки вдоль протяжки. Перемещение цепей происходит при вращении ведущей звездочки 11 от привода 10. Во время обработки заготовки протяжка обильно омывается СОЖ, подаваемой под давлением в зону резания от специальной установки. После снятия готовой детали в лоток 12 на нижних ветвях цепей приспособления промываются струей СОЖ.



Зажим заготовок в приспособлениях 1 — автоматический с помощью клина 2 и регулируемых упоров 3, 7. Загрузка заготовок происходит автоматически по лотку 6.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные узлы имеет поперечно-строгальный станок?
2. Какой узел поперечно-строгального станка преобразует вращательное движение в возвратно-поступательное?
3. Как устанавливается ползун поперечно-строгального станка по месту обработки?
4. В чем особенности суппорта поперечно-строгального станка?
5. Для чего в конструкции суппорта поперечно-строгального станка имеется откидная доска?
6. Какой узел поперечно-строгального станка преобразует вращательное движение в прямолинейное прерывистое перемещение стола?
7. На каком узле поперечно-строгального станка устанавливают и закрепляют заготовку?
8. Какая кинематическая цепь обеспечивает прерывистое движение стола поперечно-строгального станка в горизонтальном направлении?
9. Каковы конструктивные особенности копировально-строгального станка, обрабатывающего фасонные объемные профили?
10. Для чего направляющие продольно-строгального станка выполняют из антифрикционных пластмасс?
11. В чем преимущества и недостатки одностоечных продольно-строгальных станков?
12. Какие комбинированные продольно-строгальные станки вы знаете? В чем их конструктивные особенности?
13. Какие специализированные продольно-строгальные станки вы знаете?
14. Назовите основные узлы долбежного станка и в каких движениях они участвуют?
15. В чем преимущества долбежных станков перед строгальными?
16. Какое назначение имеют протяжные станки и на какие типы они делятся?
17. В чем преимущества комбинированных строгальных и долбежных станков?
18. Применяются ли системы ЧПУ в строгальных и долбежных станках?
19. Какие оригинальные узлы имеет комбинированный строгальный станок с ЧПУ для многопроходного строгания рисунков металлографских форм?
20. Какой привод применен в комбинированном строгальном станке с ЧПУ для многопроходного строгания рисунков металлографских форм для достижения долемикронной точности перемещения строгального резца?

## ГЛАВА 10

### МНОГОЦЕЛЕВЫЕ СТАНКИ

#### 10.1. Общие сведения

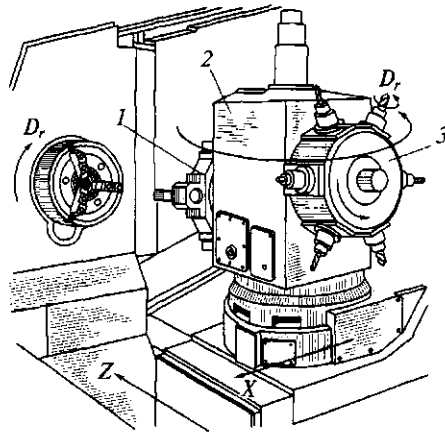
*Многоцелевой станок* (МС) — это станок, предназначенный для выполнения нескольких различных видов обработки металла резанием, оснащенный системой ЧПУ и автоматической сменой инструмента. МС — это одношпиндельные станки с револьверными головками (рис. 10.1, а) или с инструментальными и револьверными головками и инструментальным магазином (рис. 10.1, б). В практику крупносерийного производства входят двухшпиндельные МС.

Благодаря наличию УЧПУ и устройства автоматической смены инструмента существенно сокращается вспомогательное время при обработке, повышается мобильность переналадки, обеспечивается высокая концентрация черновых, получистовых и чистовых операций: точения, растачивания, фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьб, контроля качества обработки и др. Также достигается высокая точность размеров при выполнении чистовых операций (6...7-й квалификации).

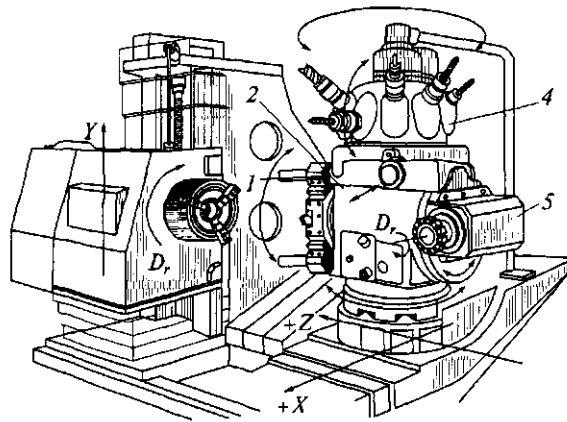
По назначению МС делятся на две группы: для обработки корпусных и плоских деталей и для обработки деталей типа тел вращения. В первом случае используют МС сверлильно-фрезерно-расточной группы, во втором — токарной и шлифовальной групп.

Для систем управления МС характерны развитая сигнализация о функционировании узлов и цифровая индикация их положения, адаптивное управление, бесступенчатое регулирование скорости подачи и частоты вращения шпинделя, а также диагностика отказов.

**Компоновка.** По компоновке МС делятся на горизонтальные и вертикальные в зависимости от расположения оси шпинделя. На рис. 10.2, а—г показаны горизонтальные МС для обработки заготовок корпусных деталей. Стойка 1 (см. рис. 10.2, а) с перемещающейся по ней в вертикальном направлении шпиндельной бабкой 2 устанавливается неподвижно либо перемещается по станине 3. При неподвижной стойке 1 стол 5 с поворотным столом 6 перемещается по двум взаимно-перпендикулярным



a



б

Рис. 10.1. Инструментальные узлы многоцелевых станков с револьверными головками (а) и с инструментальным магазином, револьверной и инструментальной головками (б):

1, 3 — револьверные головки с неврвращающимся и вращающимся инструментом соответственно; 2 — стойка; 4 — инструментальный магазин; 5 — инструментальная головка

осям координат с помощью салазок 4, снабженных крестообразно расположенными верхними и нижними направляющими.

Для обработки заготовок с разных сторон поворотные столы индексируются через  $90^\circ$  или могут поворачиваться на углы, заданные программой. При подвижной в одном направлении стой-

ке 1 (см. рис. 10.2, б) стол 5 перемещается по одной линейной оси координат.

Если же стойка 1 (см. рис. 10.2, в) с помощью промежуточных салазок 7 перемещается по двум взаимно-перпендикулярным осям, то стол 5 выполняется неподвижным. Компоновки с неподвижным или перемещающимся только по одной оси координат столом 8 (см. рис. 10.2, г) используются в станках с поворотным-наклонным столом 5.

На рис. 10.2, д показан горизонтальный МС для обработки заготовок корпусных деталей или деталей типа тел вращения. На неподвижной стойке 1 в вертикальном направлении перемещается шпиндельная бабка 2 с выдвижным шпинделем 9. В перпендикулярном направлении к оси вращения инструментального шпинделя 9 может перемещаться бабка изделия 10 вдоль горизонтальной оси. МС такой компоновки предназначены для сверлильно-фрезерно-расточной обработки вращающимся инструментом, закрепленным в неподвижном шпинделе 9, заготовок в патроне, установленном на поворотном столе 6.

На рис. 10.2, е показан вертикальный МС с неподвижной стойкой 1, по вертикальным направляющим которой перемещается шпиндельная бабка 2. Салазки 4 со столом 5 могут осуществлять движение поперечной подачи по направляющим станины 3, стол 5 (как правило, удлиненной формы) — движение продольной подачи по направляющим салазок.

На рис. 10.2, ж, з показаны двухстоечные вертикальные МС. Портал 11 может быть неподвижным или подвижным — он передвигается вдоль неподвижной плиты 13. При неподвижном портале (см. рис. 10.2, ж) стол 5 перемещается по одной оси координат, на нем устанавливается стол-спутник или заготовка. Шпиндельная бабка 2 расположена на поперечине 12 и перемещается по ней в горизонтальном направлении, перпендикулярном к направлению перемещения стола. Поперечина 12 может быть неподвижной, являясь частью портала. При подвижной поперечине (см. рис. 10.2, з) по оси координат Z перемещается шпиндельная бабка 2, расположенная на салазках 4, которые перемещаются по направляющим поперечины 12. В этих случаях обработка на МС не требует, как правило, сложной специальной оснастки, заготовки крепятся с помощью упоров и прихватов.

Фрезерование плоскостей производят строчками, используя фрезы небольшого диаметра. Консольный инструмент повышенной жесткости, применяемый для обработки неглубоких отверстий, обеспечивает заданную точность обработки. Отверстия, расположенные на одной оси, но в параллельных стенках заготовки, растачивают с двух сторон, поворачивая для этого

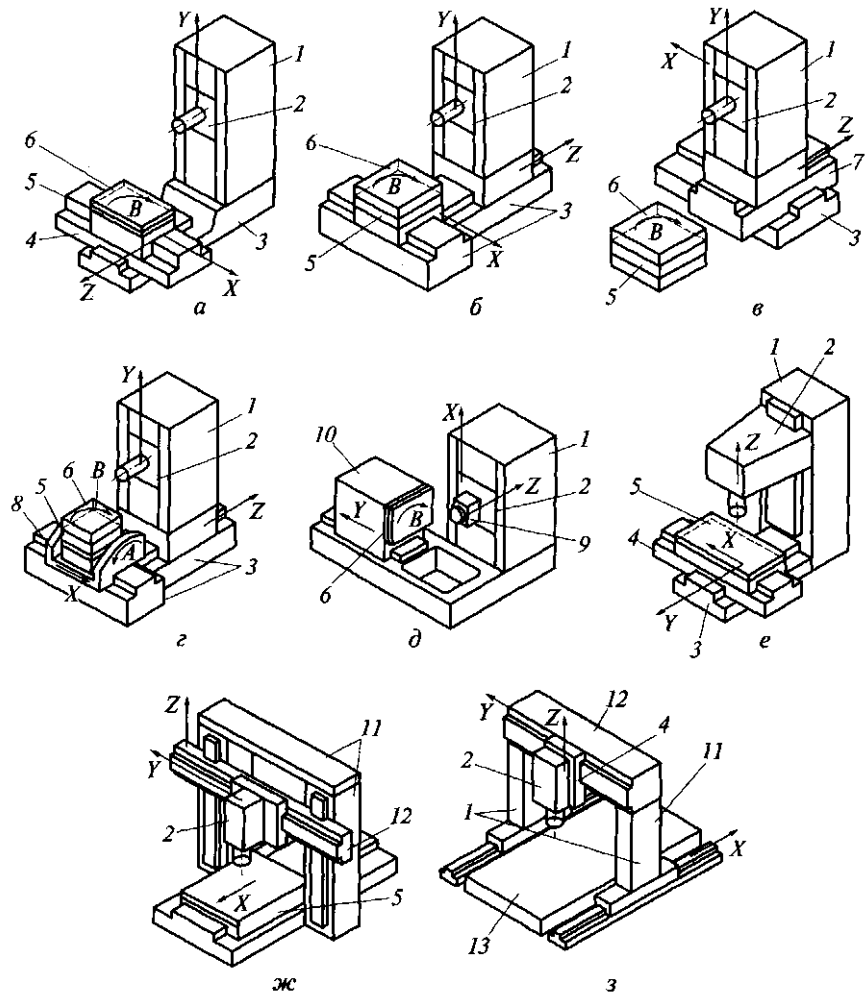


Рис. 10.2. Компоновки узлов многоцелевых станков:

*a* — горизонтальная с неподвижной стойкой, крестовым и поворотным столом; *б* — горизонтальная с подвижной по одной оси координат стойкой, столом и поворотным столом; *в* — горизонтальная с неподвижным поворотным столом и крестовой стойкой; *г* — горизонтальная с подвижной по одной оси координат стойкой и с поворотно-наклонным столом; *д* — горизонтальная с неподвижной стойкой и поворотным вокруг горизонтальной оси координат столом; *е* — вертикальная с неподвижной стойкой и крестовым столом; *ж* — вертикальная с двумя стойками, подвижным столом и поперечиной; *з* — вертикальная с двумя стойками и подвижным порталом; 1 — стойка; 2 — шпиндельная бабка; 3 — станина; 4, 7 — салазки; 5, 6, 8 — столы; 9 — шпиндель; 10 — бабка изделия; 11 — портал; 12 — поперечина; 13 — плита

стол с заготовкой. Если заготовки корпусных деталей имеют группы одинаковых поверхностей и отверстий, то для упрощения разработки технологического процесса и программы обработки, а также повышения производительности (благодаря сокращению вспомогательного времени) в память СЧПУ станка вводят постоянные циклы наиболее часто повторяющихся движений (при сверлении, фрезеровании). В этом случае программируется только цикл обработки первого отверстия (поверхности), а для остальных задаются лишь координаты ( $X$  и  $Y$ ) их расположения.

В качестве примера на рис. 10.3 показаны некоторые постоянные технологические циклы, включенные в программное обеспечение при обработке заготовок на МС.

Номенклатура комплекта режущего и вспомогательного инструмента МС значительно шире, чем в одноинструментальных станках. Он включает в себя дополнительные переходные оправки и патроны, что позволяет устанавливать в шпиндель станка разнообразный инструмент.

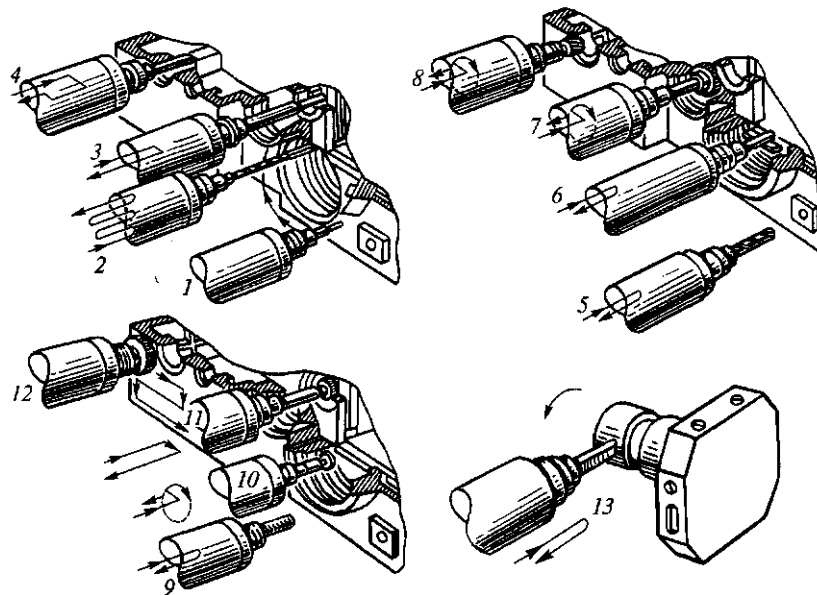


Рис. 10.3. Постоянные технологические циклы обработки на МС:

1 — фрезерование наружного контура; 2 — глубокое сверление с выходом сверла для отвода стружки; 3 — растачивание ступенчатых отверстий; 4 — обратное цекование с ориентацией шпинделя; 5 — сверление отверстия; 6 — растачивание отверстия на специальной оправке; 7, 8 — фрезерование внутренних контуров; 9 — нарезание резьбы; 10 — фрезерование внутренних канавок дисковой фрезой; 11 — цекование отверстий; 12 — фрезерование торцевой фрезой; 13 — обработка поверхностей деталей типа тел вращения

Непосредственно в шпинделе станка закрепляются оправки для расточного инструмента и фрез с торцовой или продольной шпонкой, передающей крутящий момент; цанговый патрон для стандартных сверл, зенкеров, разверток, фрез диаметром до 20 мм и специальных фрез диаметром 20...40 мм с цилиндрическим хвостовиком; патрон для метчиков; патрон для переходных оправок, позволяющих регулировать осевые размеры инструмента вне станка; различные оправки; центроискатель для концевого инструмента с конусом Морзе с поводком и без поводка.

В зависимости от типа станка и технологии обработки комплект режущего и вспомогательного инструмента изменяется.

На рис. 10.4 показаны некоторые компоновки МС для обработки деталей типа тел вращения. МС, выполненный на базе токарного станка (рис. 10.4, а), имеет револьверную головку (РГ) 1, которая перемещается в поперечном направлении вместе с кареткой 2 от шагового двигателя 3 и в продольном направлении — вместе с салазками 4 от шагового двигателя 5. Все движения, включая поворот РГ, выполняются автоматически по командам УЧПУ.

МС на базе типового токарно-револьверного станка (рис. 10.4, б) выполнен с двумя шпиндельными бабками (неподвижная 6 для

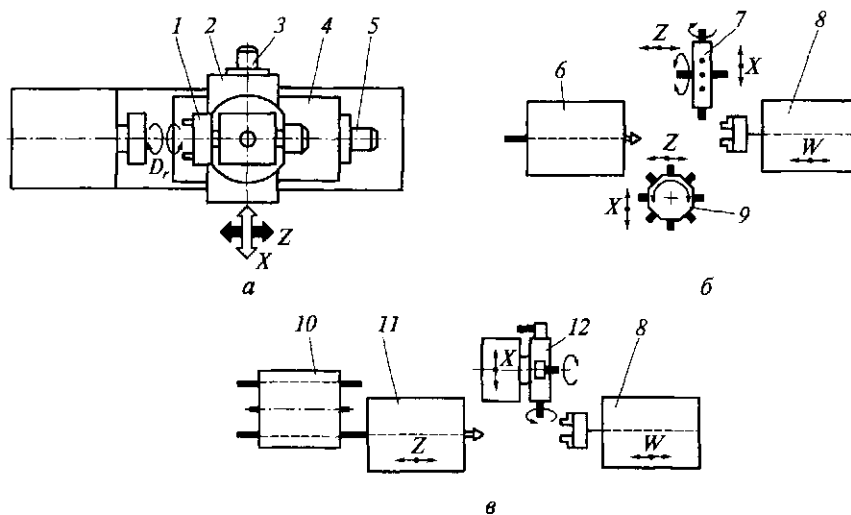


Рис. 10.4. Компоновки МС для обработки деталей типа тел вращения на базе токарного станка (а), токарно-револьверного станка (б) и одношпиндельного токарно-револьверного автомата (в):

1, 7, 9, 12 — РГ; 2 — каретка; 3, 5 — шаговые двигатели; 4 — салазки; 6, 8, 11 — шпиндельные бабки; 10 — барабан для автоматической загрузки прутков

обработки прутковых заготовок и подвижная 8 для обработки штучных заготовок). Бабку 6 обслуживает РГ 7, установленная на крестовом суппорте и оснащенная невращающимся инструментом. В бабке 8 находится шпиндель с патроном, который может захватывать обработанную из прутка деталь и далее обрабатывать ее с противоположного торца инструментом, расположенным в РГ 9 с приводом для вращения осевого инструмента. РГ 9 установлена также на крестовом суппорте.

На схеме рис. 10.4, в представлена компоновка МС на основе одношпиндельного токарно-револьверного автомата с наклонной станиной. МС имеет две подвижные шпиндельные бабки 11 и 8 (координаты  $Z$  и  $W$ ), а РГ 12 с двух сторон снабжена вращающимся и невращающимся инструментом. Левая бабка 11 оснащена дополнительным механизмом зажима прутка, расположенным между опорами шпинделя, и барабаном 10 для автоматической загрузки прутков, а правая бабка 8 — выталкивателем для сброса в лоток полностью обработанной детали. Система ЧПУ типа CNC обеспечивает оперативный ввод УП с буквенно-алфавитной клавиатуры пульта УЧПУ.

**Автоматическая смена инструмента.** Устройства автоматической смены инструмента (АСИ) необходимы в МС при наличии в них инструментальных магазинов. Схемы работы устройств АСИ зависят от многих факторов. В горизонтальных МС с параллельным расположением осей шпинделя и инструмента в магазине (рис. 10.5, а) автооператор 3 при смене инструмента совершает ход снизу вверх, захватывает оправку инструмента из гнезда магазина 4 и вытаскивает ее в направлении оси. Каретка автооператора перемещается вниз, и второй захват вынимает инструмент из шпинделя. Шпиндельная бабка 1 отводится; автооператор поворачивается на  $180^\circ$ , после чего шпиндельная бабка возвращается в исходное положение, а автооператор ходом вдоль оси заталкивает инструмент в шпиндель, где он автоматически закрепляется. Затем цикл замены режущего инструмента повторяется.

В МС вертикальной компоновки, когда оси инструмента и шпинделя параллельны (рис. 10.5, б), смена инструмента производится следующим образом. После раскрепления оправки в шпинделе 2 автооператор 3 забирает ее вместе с отработавшим инструментом и одновременно забирает из гнезда магазина 4 следующий инструмент. При ходе вниз автооператор вытаскивает оправку из шпинделя и магазина, поворачивается на  $180^\circ$  вокруг своей оси, меняет инструмент местами и поднимает его вверх в шпиндель и магазин. После замены инструмента автооператор поворачивается в нейтральное положение, не препятствующее вертикальному перемещению шпинделя при обработке.



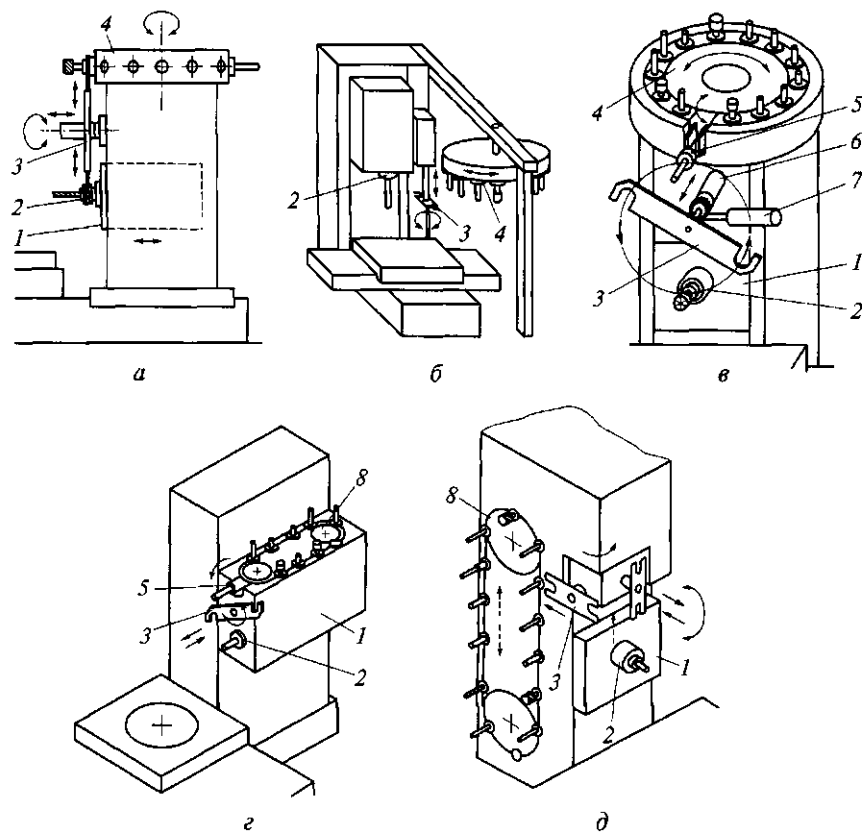


Рис. 10.5. Схемы смены инструмента автооператором в зависимости от взаимного расположения осей инструмента и шпинделя МС:

*а, б* — при параллельном расположении; *в, г, д* — при перпендикулярном расположении; *1* — шпиндельная бабка; *2* — шпиндель; *3* — автооператор; *4, 8* — инструментальные магазины; *5* — кантователь; *6, 7* — гидроцилиндры

В устройстве АСИ, показанном на рис. 10.5, *в*, оправки, попадая в гнездо магазина *4*, поворачиваются кантователем *5* в горизонтальное положение и ось инструмента становится параллельной оси шпинделя *2*. Автооператор *3* с помощью гидроцилиндра *7* и реечно-зубчатой передачи вращается вокруг своей оси, одновременно захватывая оправки инструмента, находящиеся в гнезде магазина и шпинделя. Затем с помощью гидроцилиндра *6* автооператор ходом вдоль своей оси вытаскивает инструмент из магазина и шпинделя, поворачивается с ним на  $180^\circ$  и меняет инструмент местами.

На рис. 10.5, *г, д* показано устройство АСИ на базе цепного инструментального магазина *8*, расположенного в первом случае

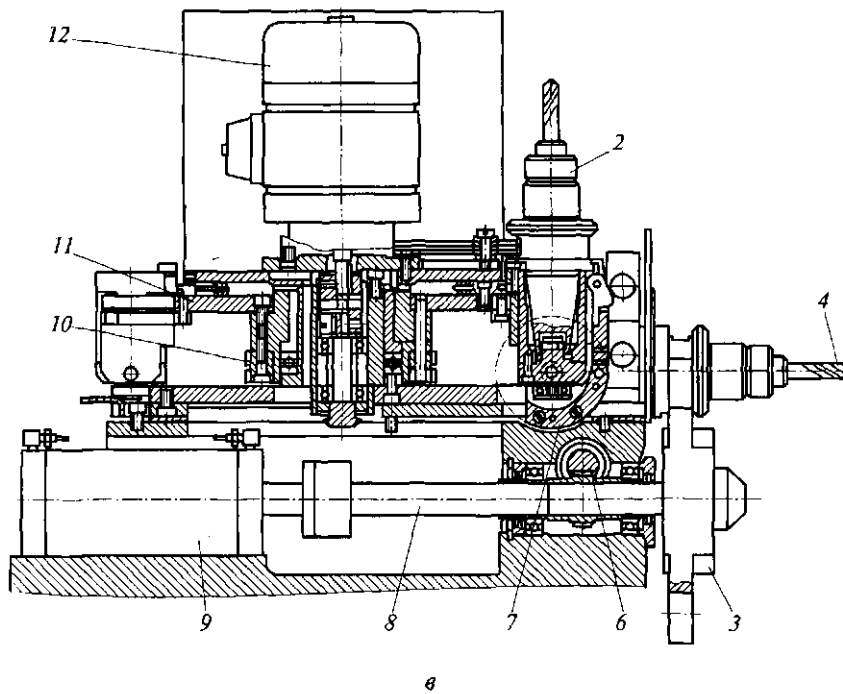
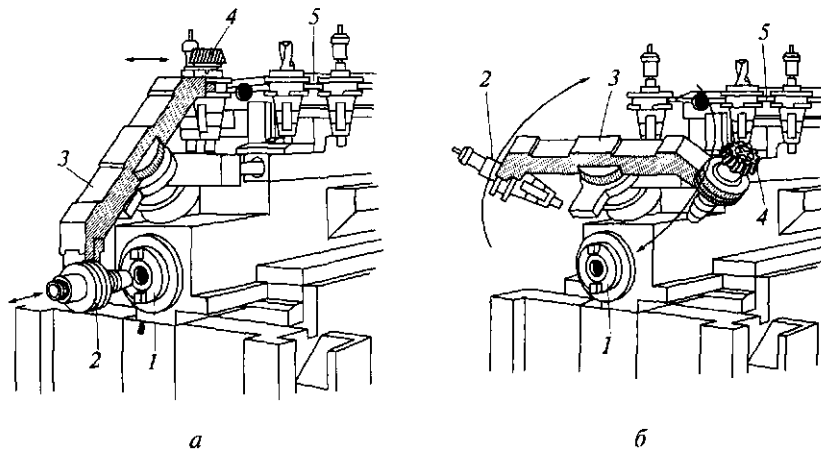


Рис. 10.6. Перенос (а) и кантование (б) инструмента при его автоматической смене и устройство АСИ (в):

1 — шпиндель; 2 — инструментальная оправка; 3 — автооператор; 4 — режущий инструмент; 5 — инструментальный магазин; 6 — реечно-зубчатая передача; 7 — кантователь; 8 — шток; 9 — гидроцилиндр; 10 — делительный диск; 11 — диск инструментального магазина; 12 — электродвигатель

на шпиндельной бабке 1, а во втором — на стойке, сбоку от шпинделя 2. При боковом расположении магазина время на смену инструмента сокращается, поскольку в то время, как автооператор подготавливает новый инструмент и стоит в позиции ожидания, шпиндель работает.

Сразу по окончании обработки происходит замена отработавшего инструмента на новый и далее, уже во время работы шпинделя, автооператор 3 переносит отработавший инструмент и передает его в кантователь 5 магазина.

На рис. 10.6 показано, как схема смены инструмента 4 приобретает конструктивное исполнение. Автооператор 3 может переносить инструментальную оправку 2, вращаясь вокруг наклонной оси (рис. 10.6, а, б) или горизонтальной оси (рис. 10.6, в). Инструментальные оправки 2 с инструментом 4 устанавливают во втулки диска 11 инструментального магазина 5, поворачивающегося от электродвигателя 12 на угол, позволяющий транспортировать требуемую оправку в позицию перегрузки. Точный останов в этой позиции обеспечивается делительным диском 10 и фиксатором. В позиции перегрузки кантователь 7, выполненный в виде гнезда, поворачивает втулку вместе с оправкой на 90°, что необходимо для дальнейшей перегрузки оправки в шпиндель 1. Автооператор 3 получает поворот от реечно-зубчатой передачи 6, а осевое перемещение — от гидроцилиндра 9 через шток 8.

## 10.2. Станки для обработки корпусных деталей

Обработка заготовок корпусных деталей на МС по сравнению с их обработкой на фрезерных, сверлильных и других станках с ЧПУ имеет ряд особенностей. Крепление заготовки должно обеспечивать ее обработку с пяти сторон за один установ при свободном доступе инструмента к обрабатываемым поверхностям для многосторонней обработки без переустановки.

**Горизонтальный МС с четырьмя управляемыми осями координат.** Станок предназначен для обработки заготовок корпусных деталей 9 (рис. 10.7, а), устанавливаемых в зажимном приспособлении 2 (или на столе-спутнике 10) на поворотном столе 1. Шпиндельная бабка 4 вместе со шпинделем 3 перемещается по вертикальным направляющим подвижной стойки 7. В верхней части станины смонтирован инструментальный магазин 6, а справа — поворотная платформа 8, на которой устанавливают зажимные приспособления 2 (или столы-спутники 10) с заготовками. Смена инструмента осуществляется автооператором 5, управление — УЧПУ 11, которое получает питание от шкафа 12 электрооборудования.

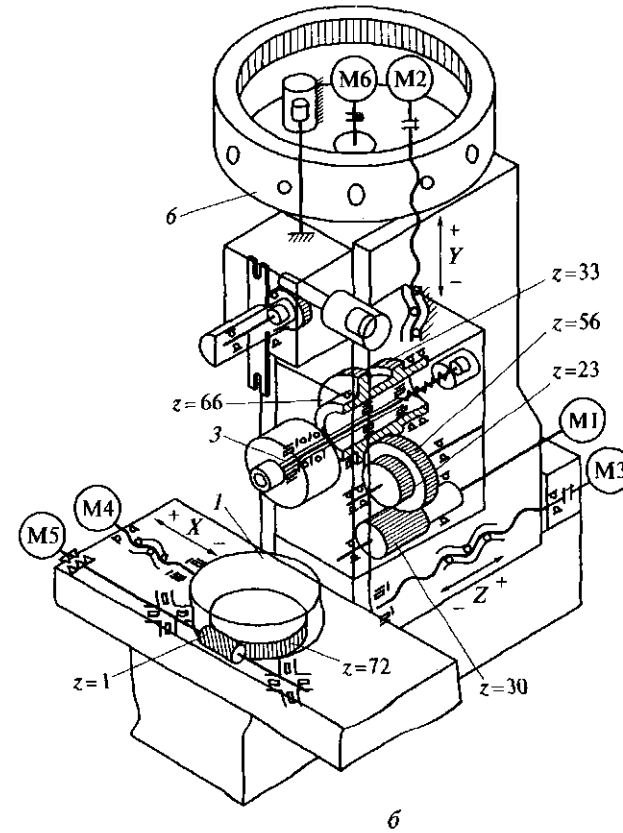
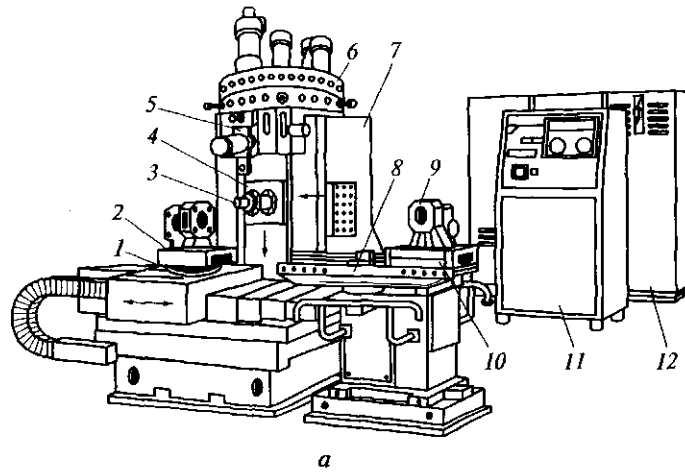


Рис. 10.7. Горизонтальный многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ (а) и его кинематическая схема (б):

1 — поворотный стол; 2 — зажимное приспособление; 3 — шпиндель; 4 — шпиндельная бабка; 5 — автооператор; 6 — инструментальный магазин; 7 — подвижная стойка; 8 — поворотная платформа; 9 — заготовка корпусной детали; 10 — стол-спутник; 11 — УЧПУ; 12 — шкаф электрооборудования; М1 — М6 — электродвигатели

Кинематическая схема МС приведена на рис. 10.7, б. Вращение передается шпинделю 3 от электродвигателя постоянного тока М1 двухступенчатой коробкой скоростей. Частоту вращения шпинделя изменяют регулированием частоты вращения электродвигателя, а диапазон скоростей шпинделя — перемещением двойного блока зубчатых колес ( $z = 23$  и  $z = 56$ ), который зацепляется соответственно с зубчатыми колесами  $z = 66$  и  $z = 33$ , закрепленными на общей ступице и связанными со шпинделем зубчатой муфтой. Направление вращения шпинделя изменяется реверсированием вращения вала электродвигателя от системы ЧПУ.

Приводами линейных перемещений шпиндельной бабки, стойки и стола служат высокомоментные электродвигатели М2, М3, М4 постоянного тока, соединенные муфтами с ШВП.

Поворот стола 1 осуществляется от высокомоментного электродвигателя М5 посредством червячной передачи 1/72, поворот инструментального магазина 6 — от высокомоментного электродвигателя М6 через зубчатую передачу с внутренним зацеплением.

Шпиндель монтируется в корпусе, который крепится к переднему торцу шпиндельной бабки. Он установлен на роликовых подшипниках, воспринимающих радиальную нагрузку. Осевую нагрузку воспринимает двойной радиально-упорный шариковый подшипник. На переднем торце шпинделя смонтированы две шпонки, передающие крутящий момент режущему инструменту.

Автооператор (рис. 10.8) размещен над шпиндельной бабкой станка. Между его захватами (рычагами) 9 и 10 установлены пружины 13, стремящиеся повернуть захваты относительно осей 11 и 12. Захваты смонтированы в корпусе 20, соединенном с гильзой 18. В крышке 17 гильзы закреплен шариковый подшипник 16, посаженный на конец штока 15 гидроцилиндра 21. При перемещении поршня 22 вместе со штоком 15 движется и гильза 18 с захватами. При этом инструментальные оправки вынимаются из гнезда магазина или из посадочного конуса шпинделя. Чтобы затем поменять инструмент местами, необходимо повернуть на  $180^\circ$  корпус 20 с захватами, для чего служит гидроцилиндр 8. Шток гидроцилиндра соединен с рейкой 3, которая находится в зацеплении с зубчатым венцом 2, закрепленным на стакане 1. Правый конец стакана связан с гильзой 18 длинными шпонками 14 и 19, поэтому гильза (с корпусом 20 захватов) поворачивается вместе со стаканом 1. Длинные шпоночные пазы позволяют гильзе с захватами совершать необходимые продольные перемещения.

Чтобы захватить инструмент из магазина, корпус 4 автооператора поднимается с помощью гидроцилиндра 6 по направ-

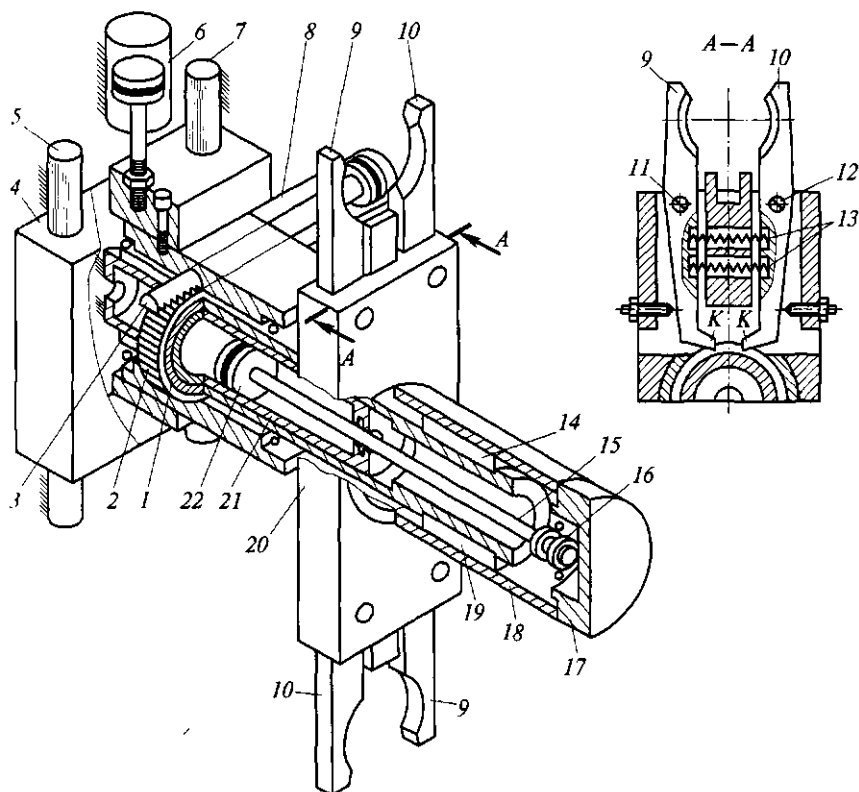


Рис. 10.8. Автооператор:

1 — стакан; 2 — зубчатый венец; 3 — рейка; 4 — корпус автооператора; 5, 7 — направляющие; 6, 8, 21 — гидроцилиндры; 9, 10 — захваты; 11, 12 — оси; 13 — пружины; 14, 19 — шпонки; 15 — шток; 16 — шариковый подшипник; 17 — крышка гильзы; 18 — гильза; 20 — корпус захватов; 22 — поршень

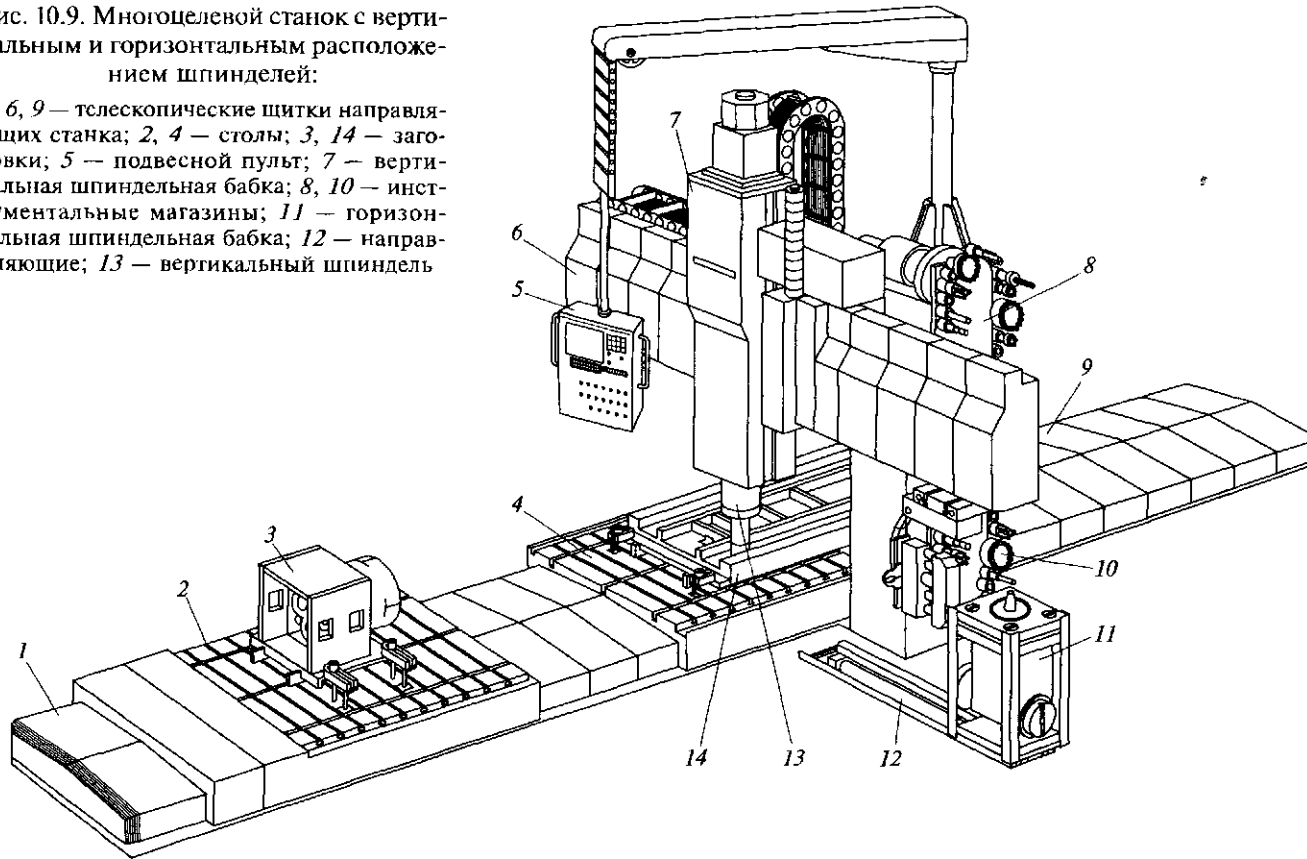
ляющим 5 и 7 в крайнее верхнее положение. Один из захватов фиксирует фланец инструментальной оправки, подготовленной соответствующим поворотом магазина к подаче в шпиндель станка. В дальнейшем при изъятии из магазина и переносе в шпиндель оправка удерживается пружинами 13.

Для того чтобы в момент поворота корпуса 20 оправка с инструментом не выскочила из захвата под действием центробежной силы, предусмотрено предохранительное устройство. Когда при повороте корпус 20 находится в крайнем правом положении, внутренние концы *K* рычагов упираются в шпонки 14 и 19, что не позволяет рычагам сблизиться и освободить оправку.

**Станок с вертикальным и горизонтальным расположением шпинделей.** Станок (рис. 10.9) предназначен для обработ-

Рис. 10.9. Многоцелевой станок с вертикальным и горизонтальным расположением шпинделей:

1, 6, 9 — телескопические щитки направляющих станка; 2, 4 — столы; 3, 14 — заготовки; 5 — подвесной пульт; 7 — вертикальная шпиндельная бабка; 8, 10 — инструментальные магазины; 11 — горизонтальная шпиндельная бабка; 12 — направляющие; 13 — вертикальный шпиндель



ки заготовок длинных корпусных деталей, а также плоских деталей и деталей кубической формы, т.е. в тех случаях, когда нельзя использовать большинство многоцелевых станков.

Заготовки, закрепляемые непосредственно на столе, могут обрабатываться с пяти сторон за один установ. При обработке горизонтальных поверхностей используется вертикальный шпиндель, вращение которому передается от сверлильно-фрезерной бабки, смонтированной на траверсе станка. Вертикальные поверхности обрабатываются горизонтальным шпинделем. Поворот горизонтальной шпиндельной бабки и установка наклона выполняются автоматически по команде от системы ЧПУ.

Управляет всеми функциями станка система ЧПУ, а в специальных случаях управление ручное — посредством кнопочных выключателей с пульта управления. Наличие двух управляемых независимо друг от друга столов позволяет сократить вспомогательное время: когда один стол находится в позиции ожидания (на нем производится выгрузка обработанной детали и закрепление новой заготовки), на втором выполняется обработка. Для обработки длинных деталей можно сцеплять оба стола с помощью автоматической системы. При этом скорость ускоренного хода стола составляет 10 м/мин, что обеспечивает минимальное время сцепления-расцепления и позиционирования.

Сокращению вспомогательного времени способствует высокое ускорение и замедление, большие скорости ускоренных ходов, а также автоматическая смена инструмента, автоматический подвод и поворот горизонтальной шпиндельной бабки.

При портальной компоновке обеспечивается статическая и динамическая жесткость для достижения высокой точности, производительности и стойкости инструмента.

Столы и сверлильно-фрезерная бабка перемещаются по гидростатическим направляющим. В приводе стола использованы гидростатический червяк и рейка с пластмассовым покрытием, что позволяет достичь максимальной жесткости в продольном направлении и равномерного движения подачи.

Температурные деформации в салазках и вертикальном шпинделе автоматически компенсируются, что повышает точность обработки. Результаты постоянного контроля основных функций выводятся на дисплей подвесного пульта. Диагностика отказов осуществляется с помощью ЭВМ.

Диапазон обрабатываемых заготовок составляет 1750... 2250 мм (ширина) и 2000... 8000 мм (длина). Со сцепленными столами можно обрабатывать заготовки длиной от 4700 до 16 700 мм.

На рис. 10.9 показан общий вид вертикально-горизонтально-го МС, на котором выполняются фрезерование вертикальных, горизонтальных и наклонных поверхностей с обработкой фа-



сонного контура; прецизионное сверление и нарезание внутренней резьбы. Приводы подачи постоянного тока и система ЧПУ обеспечивают точную контурную обработку с управлением по двум и трем осям координат, допускают высокие скорости ускоренных ходов при смене инструмента и обработанных деталей.

Гидростатические направляющие столов 2 и 4 и вертикальной шпиндельной бабки 7 закрыты телескопическими щитками 1, 6 и 9. Такие направляющие скольжения будут иметь большой срок службы, позволят повысить точность обработки, увеличить срок службы и достичь плавного, равномерного движения с высокой чувствительностью к сигналам управления.

Сверлильно-фрезерная бабка шпиндельная 7 установлена на неподвижной траверсе; салазки бабки перемещаются в вертикальном направлении на 1000 мм, после чего шпиндель может получать дальнейшее вертикальное перемещение еще на 500 мм.

Автоматическое устройство закрепления инструмента с управлением от системы ЧПУ типа *CNC* (или при ручном управлении от кнопочных выключателей) быстро и надежно закрепляет инструмент в вертикальном и горизонтальном рабочих шпинделях.

Горизонтальная шпиндельная бабка 11 устанавливается в подающем устройстве и автоматически перемещается к заготовке 14 по направляющим 12. Команда на отвод в позицию ожидания выполняется также от системы ЧПУ.

Автооператор поставляет инструмент в вертикальный шпиндель 13 из магазина 8, а в шпиндель горизонтальной бабки — из магазина 10. Стандартная емкость магазина — 48 инструментов, может расширяться блоками по 12 шт.

Стол 2 с заготовкой 3 используется независимо от стола 4 для закрепления новой заготовки и снятия обработанной детали, может также использоваться в сцепке со столом 4 при обработке длинных заготовок.

От подвесного пульта 5 включается электропривод для перемещения в вертикальном направлении шпиндельной бабки 7. Пульт оснащен дисплеем и допускает управление всеми функциями посредством системы ЧПУ, а также ручное кнопочное управление.

### **10.3. Станки для обработки деталей типа тел вращения**

**Токарный станок с вертикальным расположением шпинделя.** На рис. 10.10 схематически показан станок, выполняющий различные токарные работы и измерения в автоматическом цик-

ле, управляемый УЧПУ 1. Измерения производятся измерительным поворотным щупом 7 выборочно в процессе обработки (с точностью  $\pm 2$  мкм). Перед измерением деталь необходимо обдуть воздухом. В портальном суппорте 2 смонтирован мотор-шпиндель 3, который при командах «Загрузить» и «Обработать» захватывает патроном 6 приготовленную для обработки заготовку 8, находящуюся на замкнутом транспортере 9, и перемещает ее к револьверной головке 5 с инструментом. Перемещение суппорта вместе с шпиндельным блоком по координате X осуществляется от шарикового ходового винта 14 по роликовым направляющим 10, установленным в верхней части станины 4 из минералита. В центральной части шпиндельного блока на гидростатических опорах установлен мотор-шпиндель с жидкостным охлаждением, перемещающийся по оси Z.

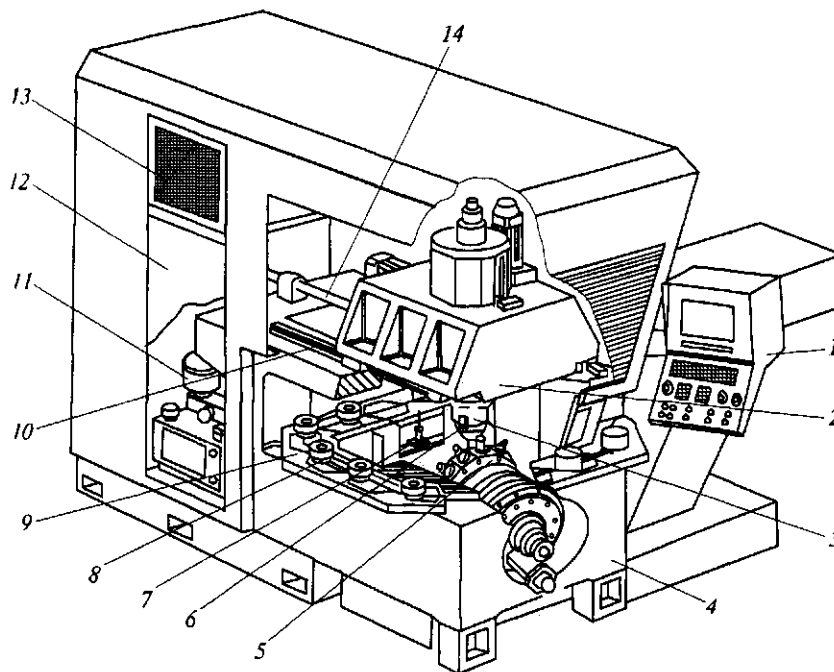


Рис. 10.10. Многоцелевой токарный станок с вертикальным расположением шпинделя:

1 — УЧПУ; 2 — портальный суппорт; 3 — мотор-шпиндель; 4 — станина; 5 — револьверная головка; 6 — патрон; 7 — измерительный поворотный щуп; 8 — заготовка; 9 — замкнутый транспортер; 10 — роликовые направляющие; 11 — гидростанция; 12 — шкаф электрооборудования; 13 — встроенная система охлаждения; 14 — шариковый ходовой винт

Встроенная система охлаждения *13* обеспечивает отвод избыточной теплоты, гарантируя постоянство температуры в мотор-шпинделе и его опорах.

Жидкость поступает в гидростатические шпиндельные опоры от гидростанции *11*, размещенной в корпусе шкафа *12* электрооборудования.

**Токарные станки с центральным главным приводом.** Эти станки предназначены исключительно для обработки крупногабаритных цилиндрических заготовок, которые зажимаются посередине и поэтому возможна одновременная их обработка с двух сторон. Такая компоновка обеспечивает высокоточную обработку изделий с одного установа, что повышает concentricity и точность взаимного расположения поверхностей.

Новое конструктивное исполнение токарных МС — с центральной относительно горизонтальной станины шпиндельной бабкой.

Суппорты перемещаются по обе стороны от бабки по осям *X* и *Z* и в некоторых случаях относительно оси *Y*. Суппорты устанавливаются с каждой стороны бабки. Используются минимум четыре управляемые координаты, в этом случае заготовка обрабатывается одновременно четырьмя инструментами, а система ЧПУ осуществляет управление по восьми осям.

Использование таких станков эффективно в крупносерийном производстве.

**Шлифовальный станок.** Станок, предназначенный для шлифования наружных, внутренних и других поверхностей, а также торцов показан на рис. 10.11. МС имеет два магазина шлифовальных кругов: *2* и *10*. Смена круга для наружного шлифования осуществляется следующим образом. Шлифовальная бабка *11*, расположенная на крестовом суппорте, перемещается по направляющим наклонной станины *1* вправо и шлифовальный круг автоматически заменяется.

Круги для внутреннего шлифования хранятся в магазине *10* емкостью до 24 головок, смена которых производится автооператором *8* при подходе шлифовальной бабки к левому краю станины. Портальный манипулятор *9* загружает заготовки и выгружает детали, которые крепятся в передней *7* (и задней *4* — при необходимости) бабке. Помимо задней бабки для поддержания при обработке длинных заготовок станок снабжен подвижным люнетом. В процессе обработки размеры контролируются приборами *5* активного контроля.

МС работает с системой ЧПУ *6*, управляющей обработкой по 4 координатам. При необходимости число управляемых координат может быть увеличено до 15.

**Фрезерно-токарный станок.** Станок (рис. 10.12) предназначен для комплексной (токарной и фрезерной) обработки дета-

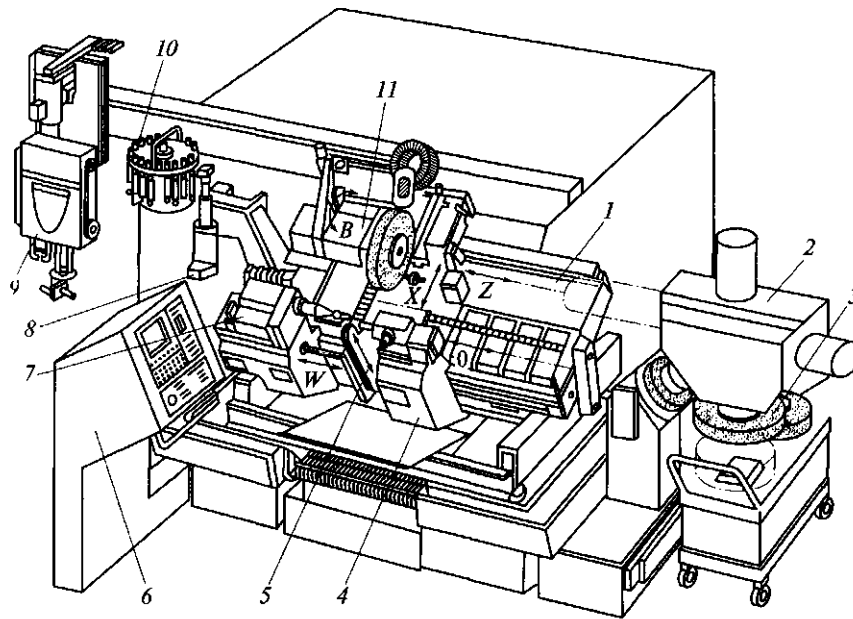


Рис. 10.11. Шлифовальный МС:

1 — наклонная станина; 2, 10 — магазины шлифовальных кругов; 3 — шлифовальный круг; 4, 7, 11 — бабки (задняя, передняя и шлифовальная соответственно); 5 — прибор активного контроля; 6 — УЧПУ; 8 — автооператор; 9 — порталный манипулятор

лей типа тел вращения с одного установка. Специальная конструкция шпинделя 4 позволяет выполнять точение, сверление, нарезание резьбы, фрезерование и другие операции. Частота вращения шпинделя регулируется бесступенчато в пределах  $0 \dots 8000 \text{ мин}^{-1}$ .

Шпиндельная бабка 6 перемещается по вертикальным направляющим, защищенным телескопическими защитными устройствами 5. Инструментальный магазин 2 вмещает 20 инструментов (возможно наращивание до 40), перемещается по горизонтальным направляющим 3, подавая очередной инструмент к зоне резания. Смена инструмента происходит автоматически.

Заготовки 13 устанавливаются на поворотном столе 14, получающем вращение от высокомоментного электродвигателя, обеспечивающего максимальную частоту вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$  и дискретность поворота  $0,001^\circ$ . СОЖ подается в зону резания через регулируемые сопла 8 (в некоторых модулях — через шпиндель). Рабочая зона защищена кожухом 1.

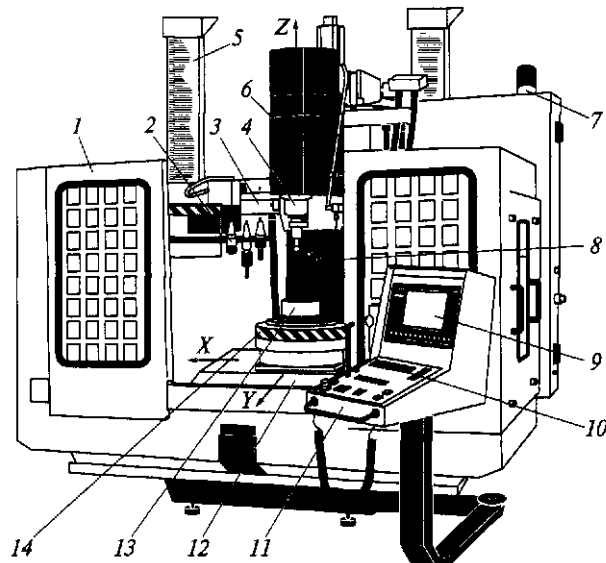


Рис. 10.12. Зона обработки многоцелевого фрезерно-токарного станка: 1 — защитный кожух рабочей зоны; 2 — инструментальный магазин; 3 — направляющие инструментального магазина; 4 — шпиндель; 5 — телескопическое защитное устройство направляющих; 6 — шпиндельная бабка; 7 — лампочка световой сигнализации; 8 — сопла подачи СОЖ; 9 — дисплей; 10 — алфавитно-цифровая клавиатура; 11 — УЧПУ станка; 12 — салазки; 13 — заготовка; 14 — поворотный стол

Салазки 12 и шпиндельная бабка 6 перемещаются по программе. Точность позиционирования по всем осям  $\pm 0,01$  мм, повторяемость  $\pm 0,005$  мм. УЧПУ 11 станка имеет алфавитно-цифровую клавиатуру 10 и дисплей 9.

Лампочка 7 световой сигнализации позволяет оператору издалека увидеть, в каком станке возник отказ.

#### 10.4. Мониторинг состояния инструмента и процесса обработки

Мониторинг состояния инструмента и процесса обработки на МС — это контроль в режиме реального времени работы станка, режущего инструмента и процесса обработки с помощью одного или нескольких датчиков, передающих информацию системе управления станком. Мониторинг обеспечивает безопасность работы на станке. При любой квалификации персонала на станке (даже на универсальном) периодически происходят столкновения его рабочих органов.

В МС предусматривается система предотвращения столкновений узлов. Столкновения из-за ошибок в УП или из-за неправильного ввода коррекции на инструмент можно предупредить или отследить с помощью математического обеспечения при подготовке и проверке УП, что дорого. Свести ущерб от столкновений к минимуму позволяют устройства контроля. Такие устройства могут быть механическими: в конструкцию узлов станка включаются предохранительные элементы, рассчитанные на определенную разрушающую нагрузку. При столкновении нагрузка превышает заданный уровень, что приводит к деформации или разрушению этих устройств. Однако, механические предохранительные устройства, как правило, не предотвращают повреждения режущего инструмента.

Для предотвращения столкновений предназначены специализированные электронные устройства: на МС устанавливают один или несколько датчиков, которые постоянно отслеживают параметры обработки и передают сигналы на устройство мониторинга, которое сравнивает получаемые параметры с заданными. В случае превышения предельных значений электронный блок мгновенно (не более 5 мс) выдает сигнал на остановку станка.

Устройства для контроля столкновений выпускаются в различных исполнениях: интегрированные в систему управления станком; отдельно стоящие блоки; встраиваемые платы, которые устанавливаются на персональные компьютеры, и т.д.

Номенклатура датчиков также весьма широка. Применяют датчики наличия установленного инструмента и контроля силы резания, мощности, вибраций, крутящего момента, скорости вращения.

Рассмотрим применение простейшей системы мониторинга на токарном МС (рис. 10.13). Шпиндель 1 с закрепленной в патроне 2 заготовкой 3 получает главное вращательное движение, бесступенчатое регулирование которого осуществляется системой ЧПУ. Датчик 6 силы резания устанавливается на револьверную головку 5, закрепленную на суппорте 9. Снимаемый с датчика сигнал передается через усилитель 7 на устройство 8 системы мониторинга процесса, которое сравнивает сигнал с заданным значением. При изменении сигнала больше чем на допустимую величину устройство анализирует возможную причину (например, резкий скачок нагрузки с последующим провалом может означать поломку инструмента 4) и выдает сигнал в систему ЧПУ об остановке шпинделя 1 станка. При этом программы и в УЧПУ 11, и в устройстве сравнения системы мониторинга обрабатываются параллельно (поскольку на разных инструментах или даже на разных этапах работы одного и того же инструмента силы резания могут сильно отличаться). В УЧПУ предусмотрен пульт 10 для ручного управления.

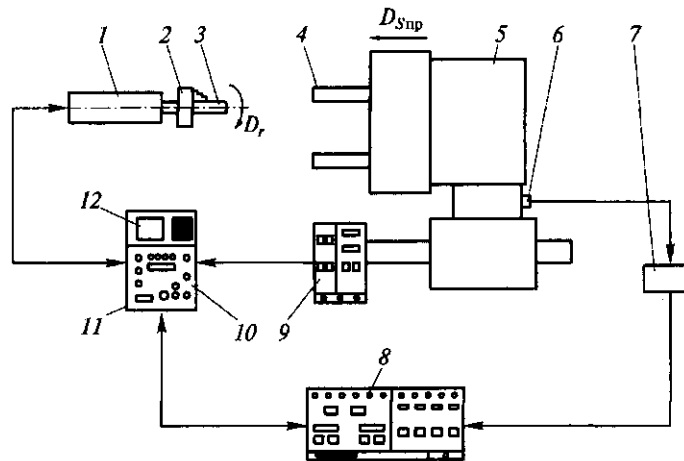


Рис. 10.13. Система мониторинга инструмента и процесса обработки на токарном МС:

1 — шпиндель; 2 — патрон; 3 — заготовка; 4 — режущий инструмент; 5 — револьверная головка; 6 — датчик силы резания; 7 — усилитель сигнала; 8 — устройство сравнения; 9 — суппорт; 10 — пульт; 11 — УЧПУ; 12 — дисплей

Облегчить программирование процесса контроля позволяет метод обучения. Он состоит в следующем. Под контролем оператора производится один цикл обработки. Во время цикла на дисплее 12 прибора отражаются текущие значения усилий от датчиков и одновременно идентифицируется максимальное (пиковое) значение усилия от каждого из датчиков. После окончания цикла устанавливаются граничные значения для каждого из каналов, разумно превышающие зафиксированные пиковые значения.

Кроме повышения безопасности при работе станка система мониторинга позволяет:

- защитить режущий и вспомогательный инструмент;
- сократить расходы на инструмент за счет обеспечения его оптимальной стойкости;
- снизить издержки за счет уменьшения времени простоя из-за поломок инструмента;
- стабилизировать качество продукции благодаря гарантированности производственного процесса;
- сэкономить средства, выделяемые на ремонт, контроль, тестирование и т.д.;
- сократить потери от брака.

Рассмотренная выше схема мониторинга, учитывающая только один фактор, самая простая. В реальных же производственных системах чаще встречаются многофакторные комбинации.

Поэтому современный мониторинг значительно шире как по своим возможностям, так и по решаемым задачам.

#### **Контрольные вопросы**

1. Чем отличаются многоцелевые станки от токарных, фрезерных, сверлильных и других станков с ЧПУ?
2. Какие основные узлы имеют многоцелевые станки для обработки заготовок корпусных деталей?
3. В каких многоцелевых станках используется автоматическая смена инструмента?
4. Как осуществляется смена режущего инструмента на многоцелевых станках?
5. В чем преимущества токарных многоцелевых станков с вертикальным расположением шпинделя и порталным суппортом?
6. Почему на многоцелевых станках следует применять систему мониторинга состояния инструмента и процесса обработки?
7. Какие инструментальные магазины применяются в многоцелевых станках?
8. Каково назначение автооператора?



## ГЛАВА 11

### АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ

#### 11.1. Классификация и типовые компоновки

Агрегатными называют станки, которые komponуют из нормализованных и частично специальных узлов и деталей путем объединения их в единый агрегат (рабочий комплекс) с общей системой управления и контроля.

К *нормализованным узлам* относят силовые головки, столы и бабки, поворотные делительные столы, корпусные базовые детали (например, станины, стойки), а также валики, шпиндели, зубчатые колеса, втулки и другие детали шпиндельных коробок, элементы зажимных приспособлений и систем управления. Типаж нормализованных узлов включает около 500 наименований, более 2500 исполнений и типоразмеров.

К *специальным узлам* агрегатных станков относят зажимные приспособления, кондукторные плиты, шпиндельные коробки, систему охлаждения, электрооборудование и др. Специальные узлы проектируют применительно к изготавливаемой на станке детали и их количество составляет 10... 30 %.

Агрегатные станки komponуют с учетом специфики конкретных обрабатываемых заготовок. Особенность этих станков — высокая концентрация операций: заготовка в процессе обработки в большинстве случаев неподвижна, и это позволяет обрабатывать ее с нескольких сторон одновременно несколькими десятками инструментов.

На агрегатных станках выполняют сверление, зенкерование, развертывание и растачивание отверстий, обтачивание наружных поверхностей, протачивание канавок, нарезание резьбы, подрезание торцов, раскатывание цилиндрических и конических отверстий, фрезерование поверхностей, контроль качества продукции.

Традиционные агрегатные станки (с ручным управлением) применяют в массовом и крупносерийном производстве, агрегатные станки с ЧПУ — в среднесерийном.

Агрегатный станок проектируют специально для изготовления деталей одного типа или нескольких однотипных, поэтому его конструкция существенно зависит от формы и размеров заготовки, а также от технологии ее обработки.

Главное преимущество агрегатных станков состоит в том, что они легко перекомпонуются и сравнительно быстро составляются из стандартных узлов с наименьшими затратами и за довольно короткое время.

Основные унифицированные узлы агрегатных станков (ГОСТ 19468 — 81): стойка с вертикальными направляющими, упорный угольник, две станины с горизонтальными направляющими, силовой и поворотный столы, станина-подставка под стойку, УЧПУ.

Используются также специальные узлы с большим числом унифицированных деталей, например многошпиндельные коробки и одношпиндельные расточные бабки.

Агрегатные станки бывают одно- или многопозиционные; последние позволяют увеличить производительность и уменьшить стоимость изготовления детали.

Типовые компоновки *однопозиционных* агрегатных станков с обработкой заготовки в одном положении при закреплении ее в стационарном приспособлении 1 показаны на рис. 11.1. Различие станков состоит в том, что обработка ведется с одной (рис. 11.1, а), двух (рис. 11.1, б, в) и трех (рис. 11.1, г — ж) сторон силовыми узлами 2. Станки такого типа применяют для многосторонней обработки корпусных деталей.

Типовые компоновки *многопозиционных* агрегатных станков бывают вертикальными (рис. 11.2, а, в), горизонтальными (рис. 11.2, б, г, е) и вертикально-горизонтальными (рис. 11.2, д). На этих станках заготовку обрабатывают последовательно с одной, двух и трех сторон на нескольких позициях поворотного делительного стола 2. Благодаря этому вспомогательное время, связанное с загрузкой-выгрузкой и зажимом-разжимом заготовки, совмещают со временем обработки; несовмещенным остается только время поворота стола.

На рис. 11.2, ж показана компоновка многопозиционного агрегатного станка с центральной колонной. Движение заготовки в зажимном приспособлении 1 вокруг колонны 3 происходит в горизонтальной плоскости. Круговое движение заготовки обеспечивается столом 2 карусельного типа. Силовые узлы 4 и 5 располагаются под различными углами к заготовке. На рис. 11.2, з приведена схема агрегатного станка с установкой горизонтальных силовых узлов 4 и 5 на станине б как внутри, так и вне кольцевого стола 2, на котором заготовка крепится в зажимных приспособлениях 1.

Типовые компоновки агрегатных станков с *круговым движением заготовок* в вертикальной плоскости выполняются с поворотным барабаном, на котором монтируются зажимные приспособления. На агрегатных станках барабанного типа обработка ведется с одной, двух и трех сторон.

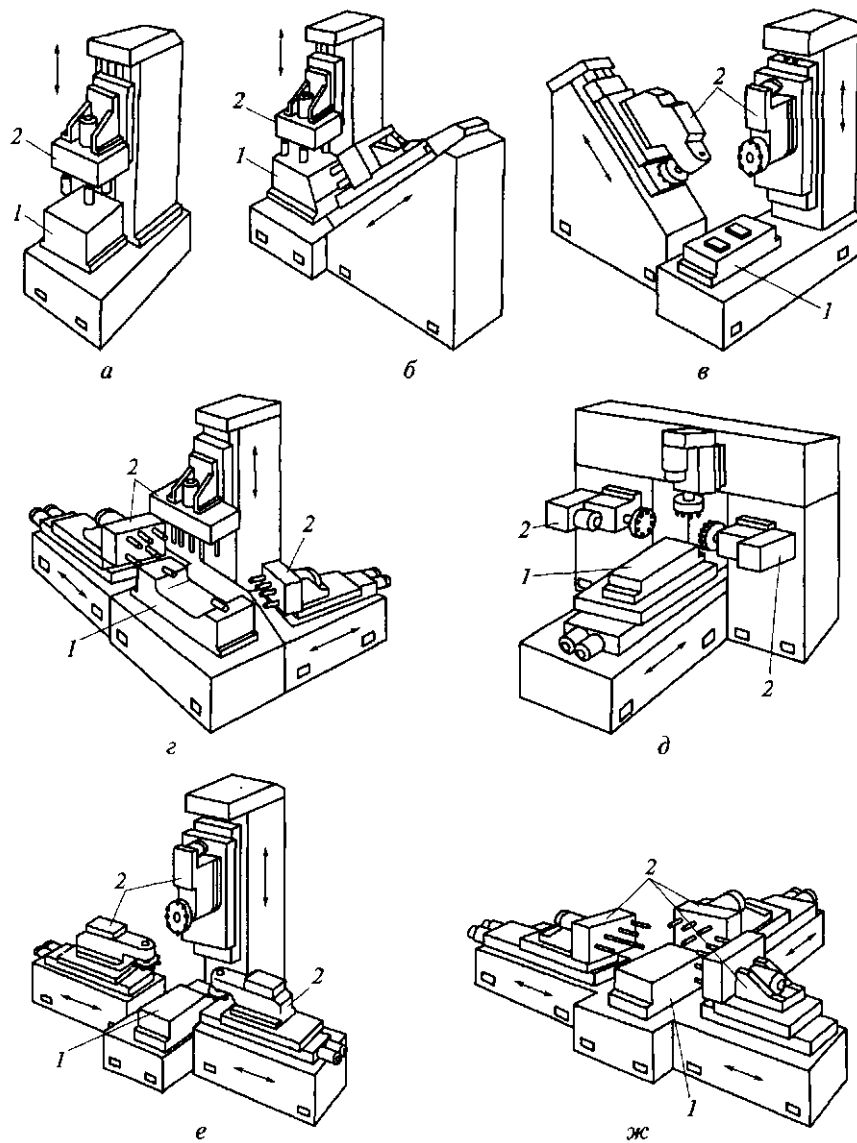


Рис. 11.1. Типовые компоновки однопозиционных агрегатных станков со стационарным приспособлением для обработки заготовки с одной (а), двух (б, в) и трех (г—ж) сторон:

1 — стационарное приспособление; 2 — силовые узлы

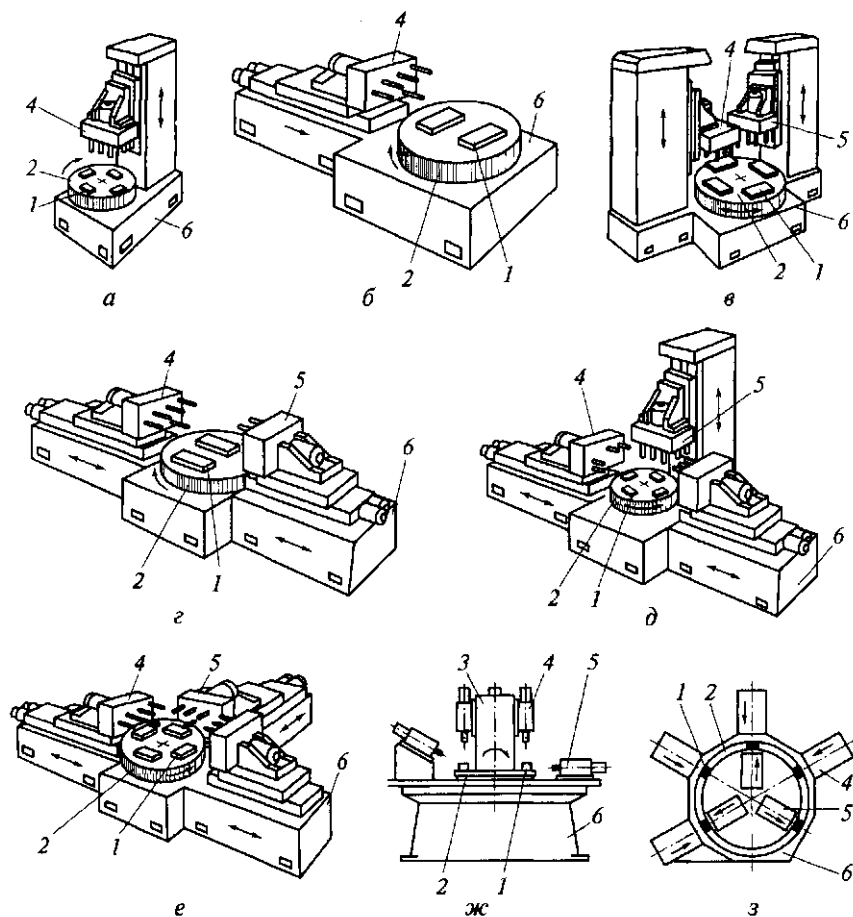


Рис. 11.2. Типовые компоновки многопозиционных агрегатных станков с поворотным делительным столом (а, в — вертикальные; б, г, е — горизонтальные; д — вертикально-горизонтальные), с центральной колонной (ж) и с кольцевым столом (з):

1 — зажимное приспособление, 2 — стол; 3 — колонна; 4, 5 — силовые узлы; 6 — станина

В компоновке многопозиционного агрегатного станка с *прямолинейным движением заготовок* от позиции к позиции стол перемещается прямолинейно относительно силовых головок.

Аналогичны и компоновки агрегатных станков с ЧПУ (см. подразд. 11.5).

Все агрегатные станки чаще всего работают в полуавтоматическом цикле. Если они снабжены загрузочными и разгрузочными устройствами или ПР, то они работают как автоматы и могут встраиваться в автоматические линии.

## 11.2. Силовые головки

*Силовая головка* — это узел агрегатного станка, который несет инструментальную насадку и выполняет все движения инструмента: главное вращательное движение, движение подачи, ускоренный подвод и ускоренный отвод.

Силовые головки, шпиндель которых совершает одновременно главное движение и движение подачи, называются *самодействующими*.

Если шпиндель совершает только главное движение, а движение подачи осуществляется другими механизмами, то силовые головки называются *несамодействующими*. Применение несодействующих головок увеличивает площадь, занимаемую станком, но упрощает обслуживание и ремонт.

По роду привода силовые головки подразделяются на электромеханические, гидравлические и пневмогидравлические.

По номинальной мощности на шпинделе силовые головки делятся на малогабаритные (мощностью 0,08...0,5 кВт), малые (0,15...2,8 кВт) и нормальные (1,6...30 кВт).

Силовые головки выпускают с выдвижной пинолью и с перемещаемым корпусом.

По точности выполнения силовые головки бывают нормальной и повышенной точности.

**Силовая головка с электромеханическим приводом.** На рис. 11.3 показана кинематическая схема силовой головки, предназначенной для сверления, нарезания резьбы метчиком, торцового фрезерования. Движение подачи осуществляется перемещением корпуса головки. Данная силовая головка может быть выполнена в двух вариантах: 1) при передаче движения от двигателя М с помощью зубчатой пары (как показано на рисунке) — в этом случае головка может работать как в горизонтальном, так и в вертикальном положении; 2) при реализации передаточного отношения  $i$  ременной передачей — тогда головку мож-

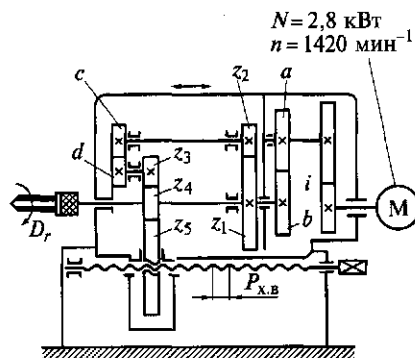


Рис. 11.3. Кинематическая схема силовой головки с электромеханическим приводом:

*a, b* — сменные колеса для настройки главного вращательного движения; *c, d* — колеса для настройки движения подачи

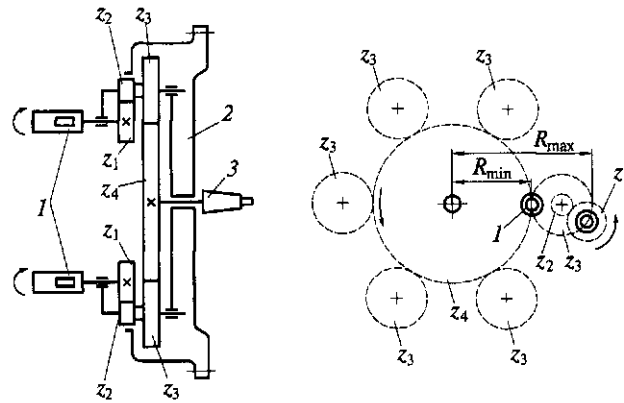


Рис. 11.4. Схема инструментальной насадки для сверлильных работ с регулируемыми шпинделями:

1 — шпиндели; 2 — корпус инструментальной насадки; 3 — конический конец вала

но эксплуатировать только в горизонтальном или наклонном положении.

Головка имеет две однопарные гитары со сменными колесами  $a$  и  $b$  для настройки главного вращательного движения, а также с колесами  $c$  и  $d$  — для настройки движения подачи.

Обычно такие головки имеют предохранительные муфты, которые в случае возникновения перегрузок при обработке отключают двигатель.

Представленная на рис. 11.3 силовая головка может быть применена для обработки одновременно нескольких отверстий с использованием многошпиндельной инструментальной насадки. В этом случае корпус 2 инструментальной насадки (рис. 11.4) неподвижно прикрепляется к торцу силовой головки, а конический конец 3 вала присоединяется к ее шпинделю. Положение шпинделя 1 устанавливается обкатыванием зубчатого колеса  $z_1$  по  $z_2$ , после чего колесо  $z_1$  вместе со шпинделем закрепляется. Таким образом шпиндель может быть установлен в зоне поля обработки в пределах  $R_{\min}$  и  $R_{\max}$ . Все шпиндели 1 вращаются в одну сторону, поскольку от центрального колеса  $z_4$  все зубчатые колеса  $z_3$  вращаются в одном направлении; от них колеса  $z_1$  (а следовательно и шпиндели) также вращаются в одном направлении.

**Пневмогидравлическая силовая головка.** Для одношпиндельной и многошпиндельной обработки отверстий сверлами, зенкерами и развертками применяется пневмогидравлическая головка (рис. 11.5). Используя специальные инструментальные

насадки, можно выполнить операции растачивания, легкого фрезерования и глубокого сверления.

Автоматический цикл: ускоренный ход пиноли влево — рабочий ход — обратный ход пиноли в исходное положение.

Сменные колеса *a*, *b*, *c* и *d* служат для настройки необходимой частоты вращения шпинделя *1*. Движение подачи и холостой ход осуществляется перемещением пиноли *13* шпинделя *1* от пневмогидравлического привода. Воздух, поступающий из сети, давит на поршень *12*, перемещая пиноль *13* шпинделя влево. При этом масло из полости *2* поступает в камеру *3*. Когда клапан *4* при перемещении пиноли *13* сойдет со шпонки *5*, масло будет поступать в камеру *3* только через редукционный клапан *6* и дроссель *7*. В конце хода пиноли *13* упор *8* включает кнопку *9* — происходит реверсирование направления движения воздуха в камеру *10*, а пневмополость цилиндра пиноли соединяется с атмосферой. Воздух в камере *10* давит на диафрагму *11*, которая вытесняет масло из камеры *3* в клапан полости *2*. Давление в клапане повышается и пиноль двигается вправо ускоренным ходом. Затем цикл повторяется.

Ручное перемещение пиноли осуществляется реечной передачей; рейка выполнена на штанге, несущей упор *8* и жестко

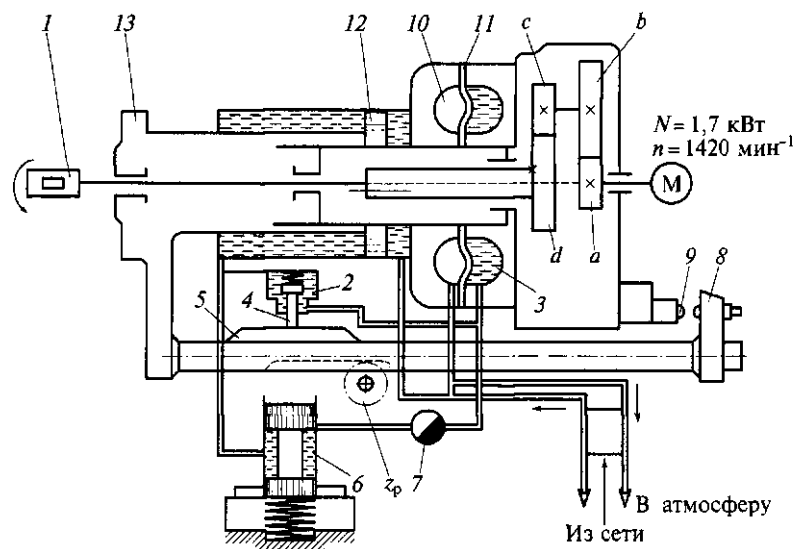


Рис. 11.5. Схема пневмогидравлической силовой головки:

*1* — шпиндель; *2* — полость клапана; *3* — камера гидросети; *4* — клапан; *5* — шпонка; *6* — редукционный клапан; *7* — дроссель; *8* — упор; *9* — кнопка; *10* — камера пневмосети; *11* — диафрагма; *12* — поршень; *13* — пиноль шпинделя; *a*, *b*, *c*, *d* — сменные колеса для настройки частоты вращения шпинделя

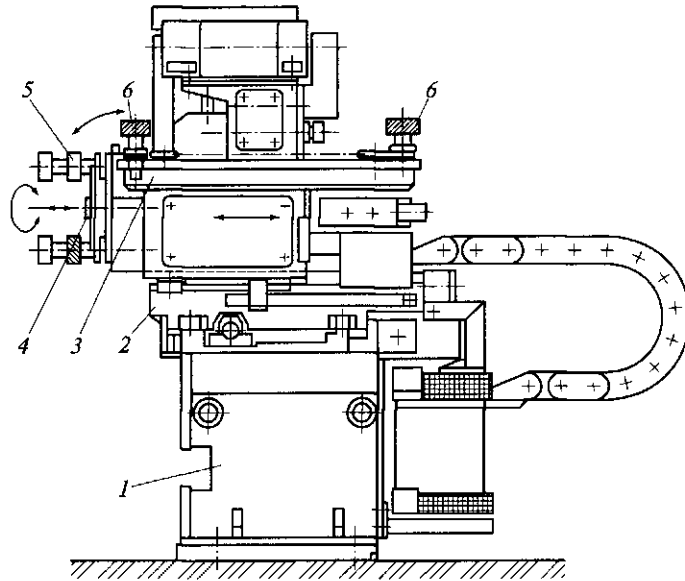


Рис. 11.6. Гибкий производственный модуль на базе силовой головки:  
 1 — подставка; 2 — силовая головка; 3 — инструментальный магазин барабанного типа; 4 — шпиндель; 5 — автооператор; 6 — инструмент

связанной с пинолью 13. Реечное колесо  $z_p$  приводится во вращение вручную (от рукоятки).

**Силовые головки в агрегатных станках с ЧПУ.** Эти головки являются самодействующими в составе гибкого производственного модуля (рис. 11.6). В модуль входят силовая головка 2 со шпинделем, который перемещается от УЧПУ по трем координатам ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). В качестве привода шпинделя 4 используют двигатель с широким диапазоном регулирования частоты вращения. Силовую головку монтируют на подставке 1. На ней расположены инструментальный магазин 3 барабанного типа на 32 инструмента 6 и автооператор 5 (устройство автоматической смены инструмента из шпинделя в магазин и обратно). Контурная трехкоординатная система ЧПУ выполняет позиционирование шпинделя при обработке отверстий, а также подачу его по криволинейному контуру при фрезеровании.

### 11.3. Силовые столы

Силовые столы применяют для прямолинейных установочных перемещений и рабочей подачи режущего инструмента. Они предназначены для установки на них несамодействующих



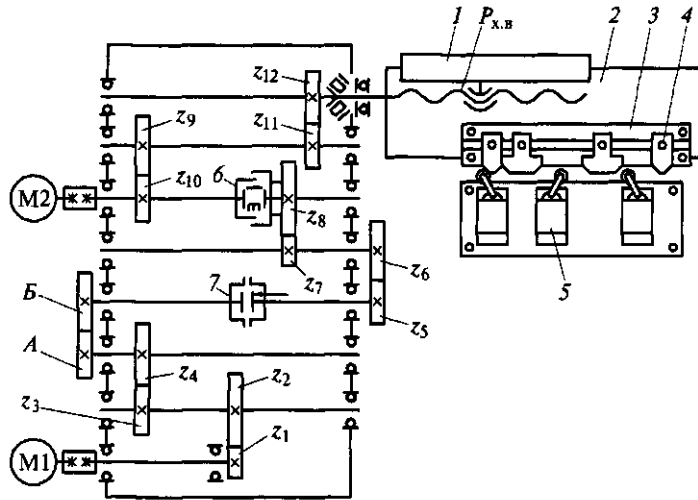


Рис. 11.7. Кинематическая схема силового стола с электромеханическим приводом:

1 — плита; 2 — стол; 3 — линейка; 4 — упор; 5 — конечный выключатель; 6, 7 — муфты; А, Б — сменные зубчатые колеса; М1, М2 — электродвигатели

силовых головок (фрезерных, сверлильных бабок и др.) с самостоятельным приводом вращения. Рабочий цикл стола: быстрый подвод — рабочая подача — быстрый отвод. Привод подач у силовых столов может быть электромеханическим и гидравлическим. Столы выпускают нормальной и повышенной точности с максимальной тяговой силой подачи 1 ... 100 кН и мощностью 1 ... 30 кВт.

Кинематическая схема силового стола с электромеханическим приводом подачи приведена на рис. 11.7. Быстрый подвод и отвод стола 2 с плитой 1 осуществляется от электродвигателя М2 через зубчатые пары  $z_9-z_{10}$ ,  $z_{11}-z_{12}$  (муфта б при этом отключена).

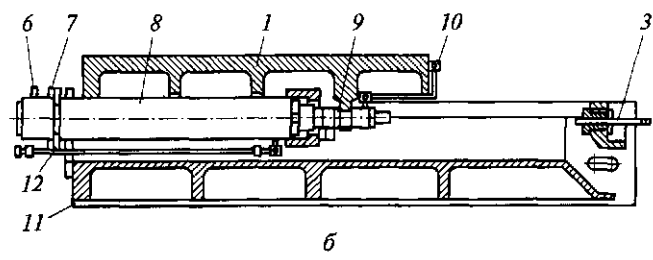
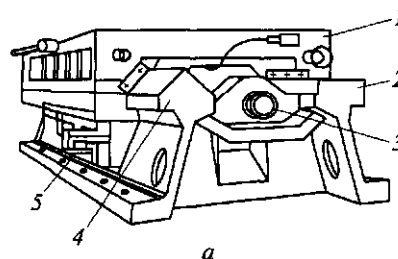
Рабочая подача стола 2 осуществляется от электродвигателя М1 через зубчатые пары  $z_1-z_2$ ,  $z_3-z_4$ , сменные зубчатые колеса А и Б, предохранительную муфту 7, зубчатые пары  $z_5-z_6$ ,  $z_7-z_8$  (муфта б включена), зубчатые пары  $z_9-z_{10}$ ,  $z_{11}-z_{12}$ . Величина подачи изменяется с помощью сменных колес; для получения только двух рабочих подач в цикле устанавливают двухскоростной электродвигатель М1.

На линейке 3 устанавливаются упоры 4, которые через конечные выключатели 5 управляют циклом работы силового стола.

Общий вид гидравлического силового стола показан на рис. 11.8, а. Плита 1 перемещается по направляющим 2 и 4. Движение подачи стола выполняется от гидроцилиндра 8, за-

Рис. 11.8. Общий вид (а) и схема (б) гидравлического силового стола:

1 — плита; 2, 4 — направляющие; 3 — жесткий упор-винт; 5 — электромагнит; 6, 10 — клапаны для выпуска воздуха из гидроцилиндра; 7 — фланец; 8 — гидроцилиндр; 9 — шток поршня; 11 — платформа; 12 — разрезное кольцо



крепленного в платформе 11 (рис. 11.8, б). В передней части платформы расположен жесткий упор-винт 3, ограничивающий перемещение платформы и позволяющий регулировать ее переднее положение.

Гидроцилиндр подачи крепится к платформе посредством фланца 7 и разрезных колец 12. Шток 9 поршня крепится к платформе 11, что дает возможность демонтировать гидроцилиндр без снятия силового стола со станка. Кроме того, температурные деформации гильзы цилиндра не передаются на платформу и гидроцилиндр 8. Клапаны 10 и 6 предназначены для выпуска воздуха из гидроцилиндра. Потоками масла, поступающего в полости гидроцилиндра подачи силового стола, управляет гидропанель подачи. Команды на включение и выключение электромагнитов 5 подают бесконтактные конечные выключатели, контролируемые положение плиты 1.

В агрегатных станках используют также крестовые столы, обеспечивающие установочные перемещения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и движение подачи в одном из этих направлений.

#### 11.4. Поворотные делительные столы

Для периодического перемещения заготовок с одной позиции на другую с точной фиксацией на каждой позиции применяются поворотные делительные столы. Конструкции поворотных столов делятся на горизонтальные и вертикальные в зави-

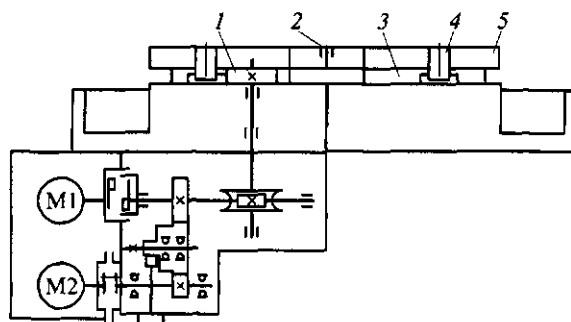


Рис. 11.9. Кинематическая схема электромеханического привода поворотного стола с вертикальной осью:

1 — зубчатое колесо привода; 2 — подшипник; 3 — зубчатый венец; 4 — фиксаторный палец; 5 — планшайба

симости от плоскости поворота в пространстве. Поворотные столы выполняют в виде круглых или кольцевых планшайб, реже — в виде узлов с прямолинейным перемещением в горизонтальной плоскости или барабанов — для поворота в вертикальной плоскости.

Кинематическая схема электромеханического привода поворота и фиксации поворотного делительного стола показана на рис. 11.9. К корпусу стола прикреплен редуктор с электродвигателями M1 и M2, связанными между собой зубчатой передачей. Электродвигатель M2 служит для ускоренного поворота планшайбы 5, а электродвигатель M1 — для обратного медленного поворота и подвода фиксаторного пальца 4 к откидному упору. Электродвигатель M1 через пару зубчатых колес и самотормозящую червячную передачу осуществляет вращение зубчатого колеса 1, которое находится в зацеплении с зубчатым венцом 3, прикрепленным к планшайбе 5 стола.

Планшайба центрируется подшипником 2. При прохождении фиксаторного пальца мимо упора посредством рычажной системы переключаются конечные выключатели, которые выключают электродвигатель M1 и включают электродвигатель M2. Происходит реверсирование планшайбы. После устранения зазоров во всей кинематической цепи сила тока в электродвигателе M2 увеличивается и реле максимального тока выключает его, при этом червячная пара оказывается заклиненной.

### 11.5. Агрегатные станки с ЧПУ

Агрегатные станки с ЧПУ предназначены для выполнения сверления, зенкерования, растачивания, развертывания, резь-

бонарезания, прямолинейного и контурного фрезерования в заготовках типа корпусов, арматуры, плит, панелей, строительных балок и других изделий в условиях изменяющегося производства. Иногда их применяют для увеличения концентрации операций в массовом производстве, тогда они комплектуются сменными силовыми многошпиндельными головками. Как правило, это многоинструментальные станки, оснащенные револьверными головками или инструментальными магазинами, а различные заготовки, устанавливаемые на координатно-силовом столе, могут обрабатываться с пяти сторон за один установ. Силовые головки и столы управляются от систем ЧПУ по трем либо двум координатам. Исполнение станков — с горизонтальной или вертикальной осью шпинделя, с поворотным, наклонно-поворотным или продольным столом.

**Агрегатный сверлильно-расточной станок с ЧПУ с одной силовой головкой.** Станок предназначен для обработки отверстий, оси которых лежат в одной плоскости и пересекаются в общем центре. На нем можно производить сверление, расточку, обточку, подрезку торца, выборку карманов, резьбонарезание в деталях гидравлической арматуры в условиях мелкосерийного производства.

Система ЧПУ станка — позиционная. По команде УЧПУ координатный стол и резец перемещаются, поворачивается делительный стол, изменяются режимы резания, выбирается нужный инструмент, выполняется цикл смены инструмента. Дискретность подачи стола по оси  $Z$  равна 0,01 мм, подачи резца — 0,001 мм.

Станок сконструирован из отдельных самостоятельных агрегатов, установленных на общей станине 1 (рис. 11.10). К унифицированным агрегатам относятся координатно-силовой стол 2 и его привод, магазин 7, автооператор 5, делительный стол 3, автоматическая коробка скоростей (АКС) 15, механизм 14 подачи резца. Оригинальные агрегаты: станина 1, шпиндельная бабка 4, коробка 16 резьбовых подач, системы охлаждения и смазывания, гидрооборудование, электрооборудование.

Главное вращательное движение сообщается шпинделю V с инструментом, движение подачи — координатно-силовому столу (с установленной на нем шпиндельной бабкой 4) вдоль оси  $Z$  и закрепленному в сменной план-суппортной головке резцу по оси  $R$  в радиальном направлении. Стол с закрепленной на нем заготовкой может занимать восемь фиксированных положений относительно оси  $q'$ : 5, 15, 30, 40, 45, 60, 90, 120°.

Главное движение шпиндель I получает от асинхронного двухскоростного электродвигателя М1 через зубчатую передачу 28/32, АКС, обеспечивающую частоту вращения шпинделя шести значений, передачу 60/60, полый вал III коробки резьбовых подач, шлицевый вал IV и пару зубчатых колес 45/45.



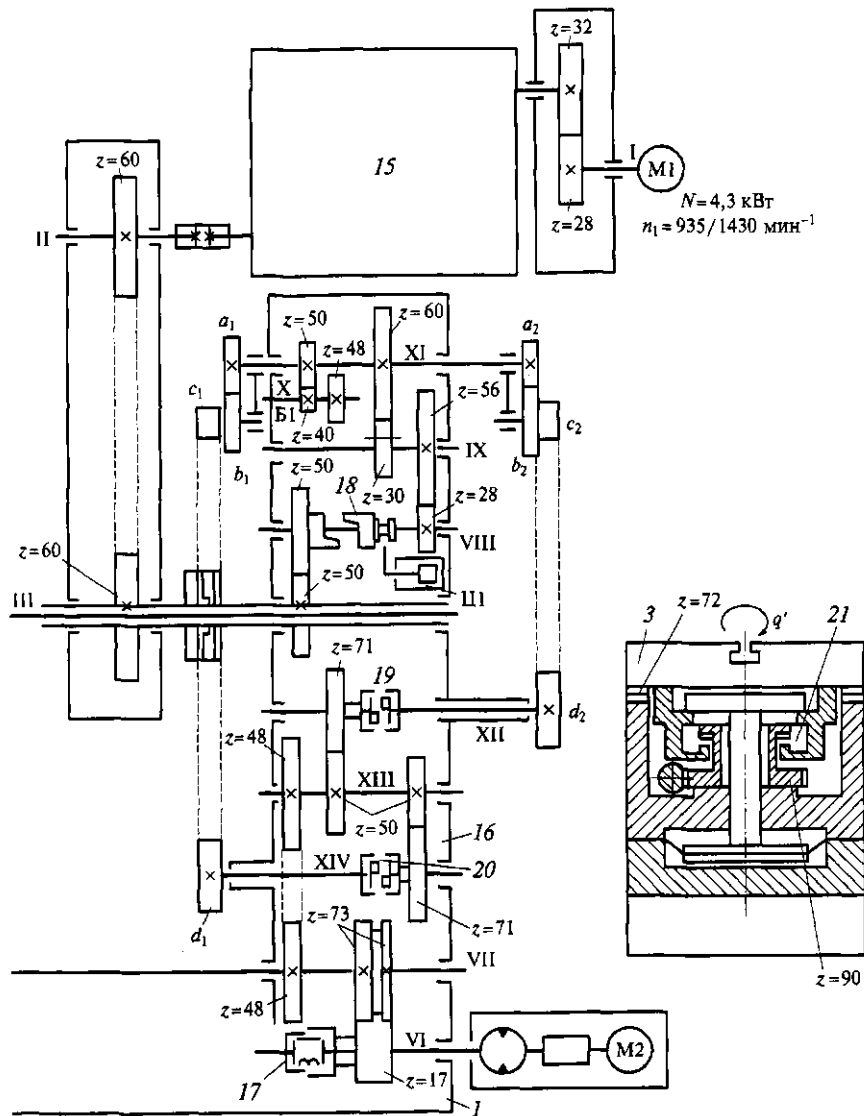


схема агрегатного станка с ЧПУ:

шпиндельная бабка; 5 — автооператор; 6 — клеши; 7 — инструментальный копир индексации шпинделя; 12 — ролик индексации шпинделя; 13 — ры-17—21 — муфты; M1—M4 — электродвигатели; Ц1—Ц5 — гидроцилиндры; реверса

Шпиндельная бабка установлена на координатно-силовом столе, который перемещается от винт-гайки качения VII. В зависимости от вида работы стол получает движение от различных приводов.

Быстрый подвод и отвод и рабочая подача выполняются от шагового электродвигателя М2 с гидроусилителем моментов через беззазорную передачу 17/73 (включена муфта 17). Мини-

мальная величина перемещения  $\frac{1}{240} \frac{17}{73} 10 = 0,01$  мм.

Подача при резьбонарезании осуществляется от привода главного движения. В этом случае движение от шпинделя V через зубчатые пары 45/45, 50/50 передается через включенную однозубую муфту 18 на вал VIII, передачу 28/56, механизм реверса Б1, переключаемый вручную и позволяющий менять направление винтовой нарезки, и далее на переднюю или заднюю гитары. Включение в работу одной или другой гитары производят вручную с помощью кулачковых муфт 19 и 20, что позволяет заранее наладить станок на нарезание резьб с разным шагом. При включенной муфте 20 движение передается с вала XIV через передачи 71/50, 48/48 на винт VII. При включенной муфте 19 винт VII получает вращение от вала XII через передачи 71/50, 48/48.

Однозубая муфта 18 переключается автоматически от гидроцилиндра Ц1. Рабочий ход резьбонарезания настраивается упорами.

Привод подачи резца в радиальном направлении осуществляется механизмом, состоящим из толкателя 9, проходящего внутри шпинделя и контактирующего со сменными план-суппортами. Механизм приводится шаговым двигателем М3, который вращает червяк  $z = 1$ , связанный с червячным колесом  $z = 25$ , внутри которого находится шариковая гайка. При вращении гайки винт XV, удерживаемый от вращения, выдвигается и нажимает на толкатель шпинделя. Толкатель через ряд передач обеспечивает перемещение резца по оси R. Минимальное пе-

ремещение резца  $\frac{1}{240} \frac{1}{25} 6 = 0,001$  мм. С помощью план-суппор-

тов на станке обрабатывают торцовые поверхности, внутренние и внешние канавки.

Шпиндельная бабка несет шпиндель V, который не совершает осевого перемещения относительно ее корпуса. В отверстие шпинделя входит трубчатая тяга 10, несущая на конце кулачковую муфту для захвата инструмента. Инструмент затягивается пакетом тарельчатых пружин 8, поставленных между тягой и торцом шпинделя. Во время разжима инструмента тяга подает-

ся вперед гидроцилиндром Ц2 через рычаг 13. На валу IV закреплен копир 11 индексации шпинделя. Ролик 12 индексации перемещается вдоль копира гидроцилиндром Ц2, положение штока которого контролируется тремя путевыми выключателями. Ролик 12 обеспечивает три положения инструмента в шпинделе: зажато, разжато и захвачено механической рукой.

Оригинальный механизм касания позволяет производить переход бабки с быстрого подвода на рабочую подачу при контакте подпружиненного инструмента с заготовкой. Для этого в захваченном (но не зажатом) положении инструмент несколько выдвинут и может перемещаться по оси относительно шпинделя. Это перемещение контролируется датчиком, смонтированным на толкателе, который проходит внутри трубчатой тяги. Возможна работа станка без контроля касания, но тогда усложняется подготовка программы обработки.

Делительный стол 3 фиксируется с помощью плоского зубчатого колеса  $z = 72$ . При расфиксации стол приподнимается гидравлической диафрагмой, при этом расцепляются зубья фиксирующих колес и входят в зацепление зубья муфты 21 поворота.

В расфиксированном положении стол поворачивается на требуемый угол гидроцилиндром через рейку и реечное колесо  $z = 90$ . В конце поворота производится торможение дросселем. Шток цилиндра возвращается в исходное положение после фиксации стола. Обратный ход штока ограничен упорами, расположенными на поворотном барабане.

Устройство автоматической смены инструмента состоит из магазина 7, автооператора 5 и клещей 6. Магазин 7 выполнен планетарным и включает в себя диск с четырьмя инструментальными барабанами и четырьмя гнездами для крупного инструмента. Емкость каждого барабана — восемь инструментов. Инструмент устанавливают в магазине в промежуточных втулках-спутниках, предохраняющих посадочные места инструментальных оправок от загрязнения.

Диск магазина приводится во вращение асинхронным электродвигателем на валу XVI через зубчатую пару 36/50 и червячный редуктор 1/80. На валу XVIII установлено храповое колесо  $z = 8$ , фиксирующее диск в одном из восьми положений. С осью диска целью связан контактный датчик. При поиске позиции диск вращается по часовой стрелке до получения от датчика команды о прохождении нужной позиции. По этой команде двигатель выполняет реверс и на ползучей скорости доводит диск до упора храповика в зуб храпового колеса. Червяк  $z = 1$  редуктора выполнен подвижным и подпружиненным; при остановке диска он сжимает пружину и сдвигается вдоль оси, замыкая путевой выключатель электродвигателя.



Барабаны установлены на диске на подшипниках качения. Валы барабанов имеют с нижней стороны рычаги с роликами, находящимися под диском. Ролики входят в паз крутового копира и не дают возможности барабанам вращаться. В рабочей позиции паз копира переходит в паз, прорезанный на храповом колесе  $z = 8$  вала XXI. Таким образом, барабан, находящийся в рабочей позиции, соединяется с приводом. Движение сообщается барабану от асинхронного двигателя через зубчатую пару 36/50 и червячную передачу 1/35.

Клеши 6 могут находиться в двух положениях: у магазина и у автооператора. Захват втулки-спутника и поворот клещей осуществляются от гидроцилиндра Ц5 через реечную передачу. Втулка-спутник удерживается в клещах с помощью пружины. Захват втулки-спутника связан зубчатой передачей 34/17 с осью XXIII поворота клещей. При ходе клещей к магазину гидроцилиндр Ц5 совершает дополнительный ход, который используется для разжима клещей.

Автооператор 5 представляет собой планку с двумя захватными устройствами и служит для передачи инструмента при его автоматической смене из клещей магазина в шпиндель и обратно. Поворот автооператора производится гидродвигателем М4 через передачи 20/60, 20/40, 20/70. Осевое перемещение автооператора происходит от гидроцилиндра Ц4, а его угловое положение контролируется тремя путевыми выключателями.

Рассмотрим цикл смены инструмента.

1. Исходное положение. Автооператор стоит горизонтально, клещи находятся у магазина, заготовка обрабатывается.

2. Одновременно с началом рабочей подачи УЧПУ дает команду на поиск нового инструмента; диск магазина вращается; барабан, пришедший на рабочую позицию, поворачивается и вкладывает в клещи требуемый инструмент; клещи занимают горизонтальное положение.

3. Подается команда на отвод шпиндельной бабки, смену инструмента и поиск пустого гнезда, соответствующего инструменту в шпинделе.

4. Бабка приходит в крайнее заднее положение. Шпиндель индексируется в среднем положении; инструмент предварительно разжимается.

5. Автооператор поворачивается на  $45^\circ$ , полностью раскрепляется инструмент, а затем поворачивается на  $90^\circ$  и захватывает инструмент, находящийся в клещах и шпинделе.

6. Автооператор выдвигается в переднее положение, поворачивается на  $180^\circ$ , меняя инструмент местами; инструмент вставляется в конус шпинделя и клещи.

7. Шпиндель поворачивается на  $45^\circ$  в промежуточное положение.

8. Автооператор поворачивается на  $90^\circ$  в исходное положение; клещи ставят отработавший инструмент на место.

9. Бабка начинает быстрый подвод инструмента до его касания с заготовкой; происходит торможение стола, зажим инструмента, разиндексация шпинделя; включается вращение шпинделя и подача инструмента для обработки заготовки.

**Агрегатный станок с ЧПУ с тремя силовыми головками.** На рис. 11.11 показан станок, предназначенный для выполнения традиционных операций агрегатной обработки. Станок оснащен одним крестовым столом 5 и тремя силовыми головками 3 со шпинделями 4. Силовые головки перемещаются в вертикальном направлении (координаты  $Y, V, Q$ ). Стойки 2 со шпиндельными бабками 3 устанавливаются либо на крестовом столе 5, как на агрегате I (координаты  $X$  и  $Z$ ), либо на станине 1, как стойки агрегатов II и III (координаты  $R, D$  и  $W, E$ ). Соответственно шпиндельная бабка агрегата I перемещается по координатам  $X, Y, Z$ , а шпиндельные бабки агрегатов II и III перемещаются соответственно по координатам  $Q, R$  и  $V, W$  и совершают поворот (координаты  $D$  и  $E$ ).

Агрегатный станок с ЧПУ состоит из унифицированных узлов: стоек со шпиндельными бабками, столов, механизмов автоматической смены инструмента, агрегатов гидрооборудования.

Бабки перемещаются по направляющим качения; привод главного движения и вертикальной подачи — от двигателей постоянного тока.

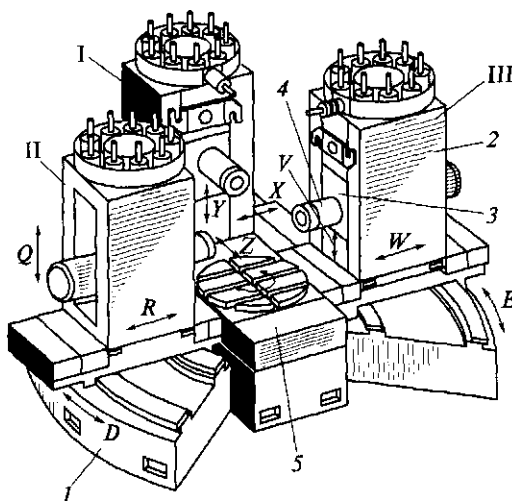


Рис. 11.11. Агрегатный станок с ЧПУ с тремя силовыми головками: 1 — станина; 2 — стойка; 3 — силовая головка (шпиндельная бабка); 4 — шпиндель; 5 — крестовый стол; I, II, III — агрегаты

Станок оснащен позиционным УЧПУ (на рисунке не показано), которое в автоматическом режиме управляет механизмами смены инструмента, координатными перемещениями подвижных органов станка, выбором режимов резания, т. е. работой станка.

**Агрегатные станки с ЧПУ со сменными шпиндельными коробками.** На рис. 11.12, *а* показан станок с двумя столами:

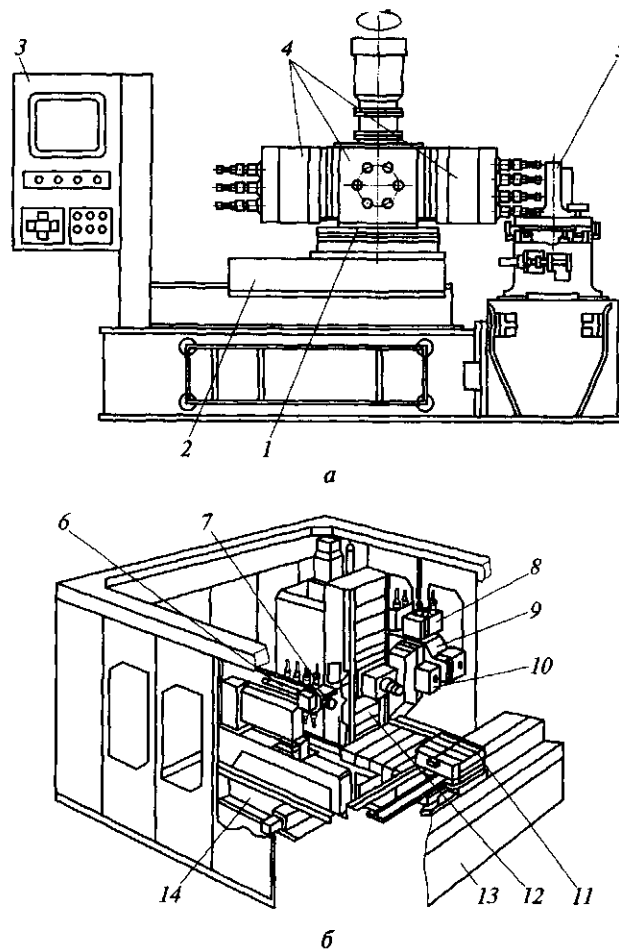


Рис. 11.12. Агрегатные станки с ЧПУ со сменными шпиндельными коробками (*а*) и с магазином шпиндельных коробок (*б*):

*1, 2* — столы (поворотный и силовой соответственно); *3* — УЧПУ; *4, 8* — шпиндельные коробки; *5* — заготовка; *6* — механизм смены инструмента; *7* — инструментальный магазин; *9* — магазин шпиндельных коробок; *10* — механизм смены шпиндельных коробок; *11* — стол-спутник; *12* — силовая головка; *13* — основание стола; *14* — основание силового агрегата

силовым 2 и поворотным 1. На поворотном столе на колонне смонтированы четыре шпиндельные коробки 4, каждая из которых предназначена для использования при обработке определенной заготовки 5. При переналадке станка УЧПУ 3 выдает команду на замену многошпиндельной головки, оснащенной соответствующим комплектом режущего инструмента, работающего на соответствующих режимах резания.

Станок, оснащенный двумя магазинами для хранения одиночного инструмента и шпиндельных коробок, изображен на рис. 11.12, б. С правой стороны станка установлены магазин 9 со шпиндельными коробками 8, а также механизм 10 их смены. С левой стороны силовой головки 12 установлен инструментальный магазин 7 с механизмом 6 смены инструмента. Стол-спутник 11 жестко фиксируется на крестовом столе с основанием 13. Силовой агрегат установлен на основании 14. На станке предусмотрено движение подачи по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , а поворотный стол отсутствует; он может быть применен при обработке деталей специально подобранной номенклатуры или для выполнения определенных видов обработки (фрезерования, сверления, растачивания), для обеспечения полной механической обработки различных заготовок, например корпусных деталей, рычагов и др.

Дальнейшим развитием концентрации операций является новое конструктивное решение, когда на агрегатном станке устанавливаются силовые узлы, оснащенные револьверными головками, причем в гнездах револьверной головки могут размещаться не только единичный режущий инструмент, но и шпиндельные коробки.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие станки называют агрегатными?
2. Как классифицируются однопозиционные и многопозиционные агрегатные станки по компоновке?
3. Чем отличаются самодействующие силовые головки от несамодействующих?
4. Для чего предназначены силовые и поворотные столы в агрегатных станках?
5. Применяются ли агрегатные станки в массовом производстве? Чем должна отличаться конструкция таких агрегатных станков?
6. Какие компоновки агрегатных станков со сменными шпиндельными головками вы знаете?

## ГЛАВА 12

### РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

#### 12.1. Общие требования

При создании и эксплуатации роботизированных технологических комплексов (РТК) необходимо учитывать следующие требования.

1. РТК должен обеспечивать свободный, удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к основному и вспомогательному оборудованию, а также к органам управления.

2. При комплектации РТК следует исключить возможность пересечения трасс следования промышленного робота (ПР) и оператора в процессе работы ПР по программе.

3. РТК должен обеспечивать беспрепятственное перемещение оператора вне рабочего пространства ПР при его работе по программе, а также возможность наблюдения за ходом технологического процесса и за состоянием оборудования.

4. РТК должен быть обеспечен средствами защиты от возможного проникновения человека в зону действия ПР (светозащита, ограждение, звуковая сигнализация, защитные сетки), причем автономно функционирующие средства защиты должны работать одновременно, подстраховывая и дополняя друг друга.

5. Размещение средств защиты РТК не должно ограничивать технологических возможностей основного оборудования и ПР; затруднять работу по обслуживанию; препятствовать визуальному наблюдению оператора за ходом технологического процесса.

6. Размещение средств управления РТК должно обеспечивать свободный и быстрый доступ персонала к органам аварийного отключения ПР и безопасность оператора при управлении в наладочном режиме.

7. К работе по наладке и эксплуатации оборудования РТК допускаются лица, прошедшие специальную подготовку по безопасности труда и получившие соответствующий документ (аттестат).

#### 12.2. Конструкции типовых РТК

В РТК заготовки и изделия перемещаются поштучно. В начале и в конце комплекса обычно размещаются накопители раз-

личного вида. Роботы выполняют загрузку-разгрузку станков, прессов и других машин, а также основные технологические операции: сборку, окраску, контроль, сварку, обработку, снятие заусенцев и т. д.; для этого они снабжаются специальным инструментом.

В состав РТК может входить один ПР, обслуживающий один или группу станков либо выполняющий технологическую операцию (например, сварку) на одной рабочей позиции. Если в РТК входят несколько ПР, то они выполняют взаимосвязанные или взаимодополняющие функции по изготовлению детали или сборке узла.

В состав РТК, в котором ПР выполняют только транспортные функции, входят также соответствующее технологическое оборудование и различного рода накопители.

По виду технологического процесса РТК подразделяются на комплексы для механической обработки резанием, холодной штамповки,ковки, литья, контроля, испытания и т. д.

**РТК механической обработки резанием.** На рис. 12.1 показаны примеры взаимного расположения ПР и оборудования в составе РТК механической обработки. ПР может быть самостоятельной единицей или конструктивно входить в состав основного технологического оборудования.

На рис. 12.1, *а* показан ПР 4 с системой управления 1, встроенный в металлорежущий станок 2 с системой управления 3. Тактовый стол 5 подает заготовку на фиксированную позицию.

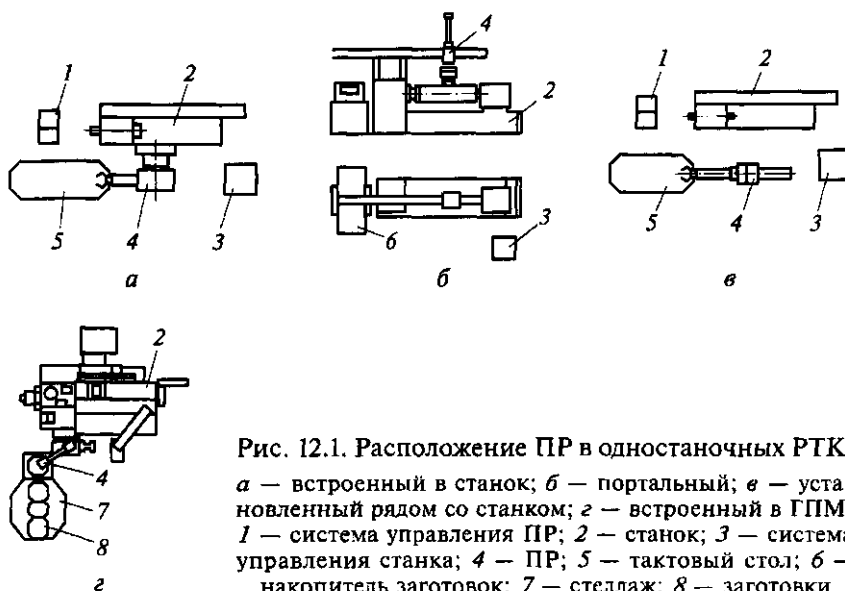


Рис. 12.1. Расположение ПР в одностаночных РТК: *а* — встроенный в станок; *б* — порталный; *в* — установленный рядом со станком; *г* — встроенный в ГПМ; 1 — система управления ПР; 2 — станок; 3 — система управления станка; 4 — ПР; 5 — тактовый стол; 6 — накопитель заготовок; 7 — стеллаж; 8 — заготовки

ПР снимает заготовку и устанавливает ее в рабочую зону станка 2. После обработки деталь снимается и устанавливается роботом в соответствующую позицию тактового стола. Затем система управления 1 ПР формирует сигнал для перемещения тактового стола на один шаг: обработанная деталь перемещается на другую позицию, а на ее место поступает новая заготовка.

На рис. 12.1, б представлен порталный ПР 4, установленный над станком 2 с системой управления 3. Накопитель 6 заготовок размещается рядом со станком. Для загрузки-разгрузки заготовок служит каретка ПР, перемещающаяся по порталу. На рис. 12.1, в изображен ПР 4, установленный рядом со станком 2 и работающий в цилиндрической системе координат. Загрузка заготовок происходит с помощью тактового стола 5 и ПР. Станок и ПР имеют каждый свою систему управления: 3 и 1 соответственно. На рис. 12.1, г показано применение ПР в составе гибкого производственного модуля (ГПМ) для обработки корпусных деталей. В ГПМ, кроме ПР 4, входят стеллаж 7 (для накопления заготовок 8 и деталей) и станок 2, работающий без участия рабочего. ПР 4 служит для снятия заготовки со стеллажа и установки в рабочую зону станка, а также для перемещения детали из рабочей зоны в стеллаж после обработки.

В РТК может отсутствовать технологическое оборудование, тогда основную технологическую операцию выполняет непосредственно ПР. На рис. 12.2 показан технологический ПР 4 для сверления и фасонного фрезерования деталей сложной формы. Сбоку от робота установлен инструментальный магазин с набором различных сверл и фрез в оправках (на рисунке не показан).

Заготовка (обрабатываемая панель) 3 устанавливается оператором на одну из граней поворотного приспособления 2. В это время с другой стороны производится обработка второй панели. После окончания обработки гидрофицированный механизм (гидропривод) 1

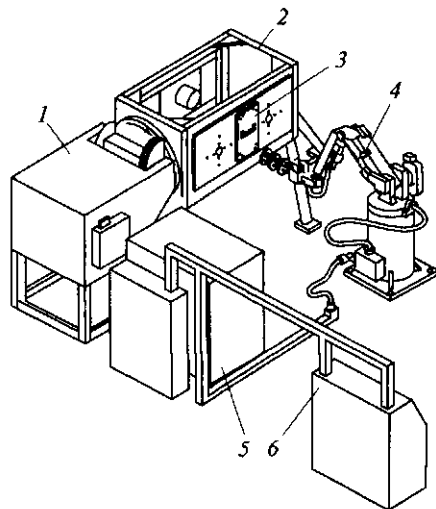


Рис. 12.2. Технологический ПР:  
1 — гидропривод; 2 — поворотное приспособление; 3 — заготовка; 4 — ПР; 5 — гидростанция; 6 — устройство управления

поворачивает приспособление и робот обрабатывает следующую деталь. Таким образом, время установки заготовки и съема детали совмещается. Для получения необходимой точности положения отверстий на обрабатываемую панель устанавливается кондуктор. В состав РТК входят также гидростанция 5 и устройство управления 6.

Применение РТК значительно дешевле, чем использование для тех же целей пятикоординатного металлорежущего станка.

**Конструкции РТК металлорежущий станок — робот.**

На рис. 12.3 показан РТК для токарной обработки в патроне деталей диаметром 40... 160 мм и массой до 10 кг широкой номенклатуры в условиях мелкосерийного и серийного производства. В состав РТК входят токарно-револьверный станок 3 с ЧПУ, ПР 1, дисковый магазин 2 (поворотный стол) для заготовок и обработанных деталей, устройство управления 4 ПР, манипулятор 5 и ограждение, обеспечивающее безопасность работы персонала (на рисунке не показано).

На рис. 12.4 показан РТК с роботом, встроенным в станок. Преимуществом такой компоновки является то, что ПР приближен к станку. Этот вариант исполнения более целесообразен при обработке деталей малых размеров.

В состав РТК входит токарный станок, по направляющим станины 11 которого перемещаются суппорты с револьверными головками 9 и 10.

Тактовый стол 1 предназначен для транспортирования заготовок в зону захвата ПР 4. Заготовки 2 можно устанавливать непосредственно на пластину стола, если их форма и размеры позволяют это сделать, или на приспособления-спутники, которые крепятся на пластинах тактового стола.

ПР имеет два схвата (5 и 6): схватом 6 он забирает заготовку, а схватом 5 устанавливает на тактовый стол 1 обработанную деталь 3. После этого поворотное устройство ПР пере-

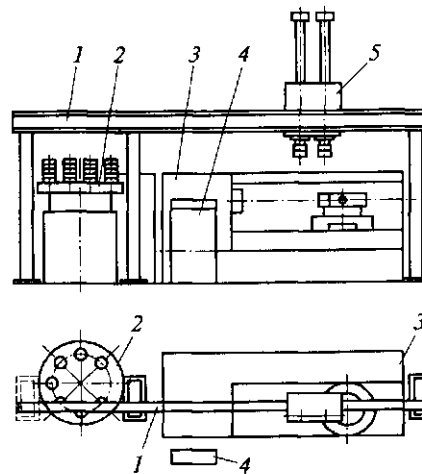


Рис. 12.3. Схема РТК с порталным роботом для токарной обработки: 1 — ПР; 2 — дисковый магазин (поворотный стол); 3 — токарно-револьверный станок с ЧПУ; 4 — устройство управления ПР; 5 — манипулятор



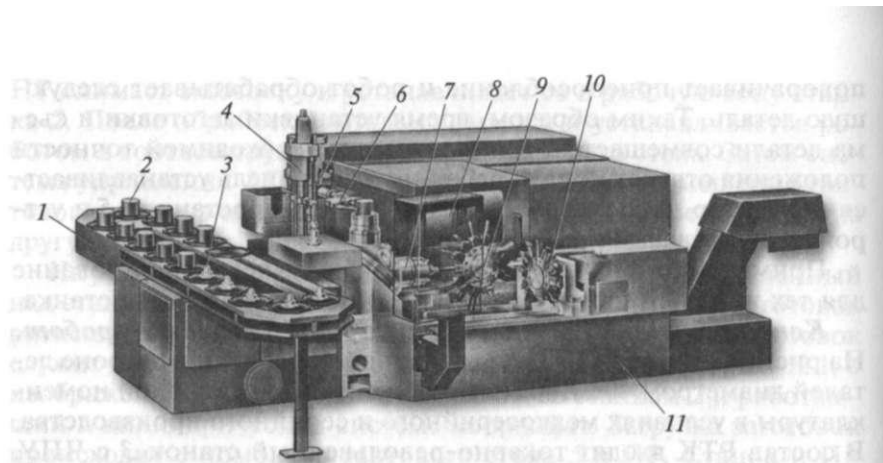


Рис. 12.4. РТК с роботом, встроенным в станок:

1 — тактовый стол; 2 — заготовка; 3 — обработанная деталь; 4 — ПР; 5, 6 — схваты; 7 — патрон; 8 — УЧПУ; 9, 10 — револьверные головки; 11 — станина

мещает схваты в зону ожидания. По окончании обработки заготовки каретка ПР перемещает схваты к патрону 7: схват 5 забирает обработанную деталь, поворачивает блок, несущий схваты, а схват 6 устанавливает новую заготовку в патрон 7. Обработанная деталь 3 с помощью ПР переносится на тактовый стол 1. Затем цикл повторяется.

Существуют токарные РТК с роботом напольного типа, в состав которых входят токарный станок с ЧПУ, УЧПУ станка, УЧПУ робота, пульт обучения ПР работе по программе, схват робота, поворотный блок, поворотное устройство ПР в горизонтальной плоскости, каретка для вертикального перемещения схвата, тактовый стол, зажимной патрон, ограждение рабочей зоны, револьверная головка с режущим инструментом и задняя бабка.

ПР перемещается от УЧПУ по пяти программируемым координатам: вертикальное (вверх-вниз) перемещение каретки, ее поворот в горизонтальной плоскости до  $300^\circ$ , угловой поворот блока до  $180^\circ$  и горизонтальное перемещение штока вместе со схватом. Кроме того, схват имеет возможность регулирования углового положения относительно поворотного блока в горизонтальной плоскости.

Установка заготовки и съем детали осуществляются поворотом ПР с помощью поворотного устройства, поскольку расстояние между осью его поворота и патроном достаточно большое. Подпружиненный схват компенсирует погрешности поворотного движения (вместо поступательного) загружаемой заготовки в патрон. Основные движения ПР программируются на рабочем месте, поэтому наладчик может найти в зависимости от конкретной ситуации наиболее целесообразное решение.

Применение тактового стола необязательно. Можно, используя УЧПУ робота, запрограммировать съем заготовок и укладку деталей на стационарном столе. Это достигается благодаря возможности программирования вертикального (каретка) и углового (поворотное устройство) перемещения ПР. Применение стационарного или тактового стола зависит от конкретных производственных условий: при использовании стационарного стола необходима разработка в каждом конкретном случае программы работы ПР, а РТК с тактовым столом занимает большую производственную площадь.

**Многостаночные РТК.** Для обработки корпусных деталей предназначен РТК (рис. 12.5), приближенный по сложности к ГПС (из-за комплектности охвата технологического процесса). РТК служит для обработки корпусов гидроблоков. В его состав входят пять многоцелевых фрезерно-сверлильно-расточных станков 12 с УЧПУ 2 и гидростанциями 3 и 4 у каждого ПР 5, оснащенного УЧПУ 1. Заготовки, установленные на приспособлениях-спутниках, из склада-накопителя 8 передаются кранштабелером 7 на поворотный стол 6, который доставляет их в юну, обслуживаемую ПР. По окончании механической обработ-

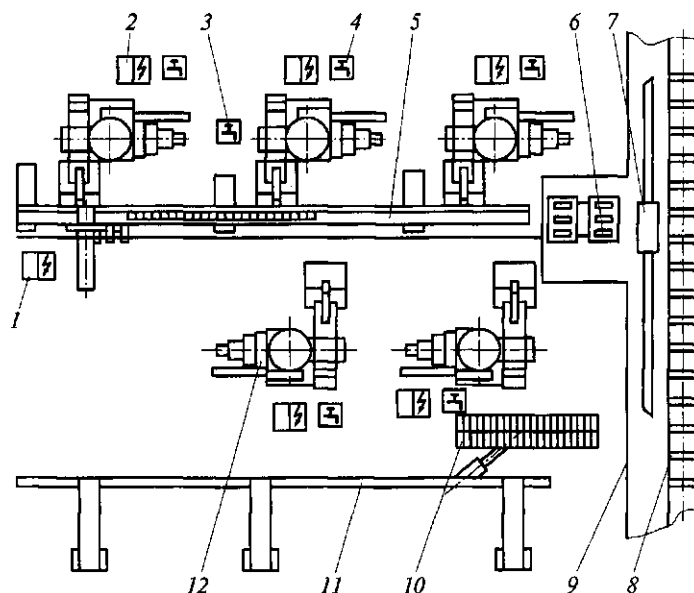


Рис. 12.5. Планировка многостаночного РТК:

1, 2 — УЧПУ; 3, 4 — гидростанции; 5 — ПР; 6 — поворотный стол; 7 — кранштабелер; 8 — склад-накопитель; 9 — ограждение; 10 — роликовый конвейер; 11 — манипулятор; 12 — многоцелевой станок (фрезерно-сверлильно-расточный)

ки детали размещаются на роликовом конвейере 10, откуда манипулятором 11 передаются на позицию мойки. Безопасность работы персонала обеспечивает ограждение 9. На данном РТК обрабатываются детали с габаритными размерами (длина × ширина × высота) 400 × 400 × 400 мм, массой до 92 кг. Время цикла обработки детали 240... 270 мин.

Склад-накопитель обеспечивает длительное по времени функционирование комплекса без остановок для восстановления запаса заготовок, что в сочетании с большим временем цикла обработки характерно для изготовления тяжелых корпусных деталей. Применение такого РТК позволяет повысить производительность станков в 2,5 раза по сравнению с нероботизированным производством.

На рис. 12.6 показан РТК для обработки валов 30 типоразмеров, состоящий из двух токарных станков 4 и 8 с ЧПУ и фрезерно-центровального станка 2 с ЧПУ.

Заготовки 12 из предварительно разрезанного проката подвозятся электрокарой и загружаются оператором на подающий конвейер 1. ПР 3, перемещающийся по монорельсу и обслуживающий все три станка, забирает заготовки с конвейера и складывает их в ячейки начального накопителя 14.

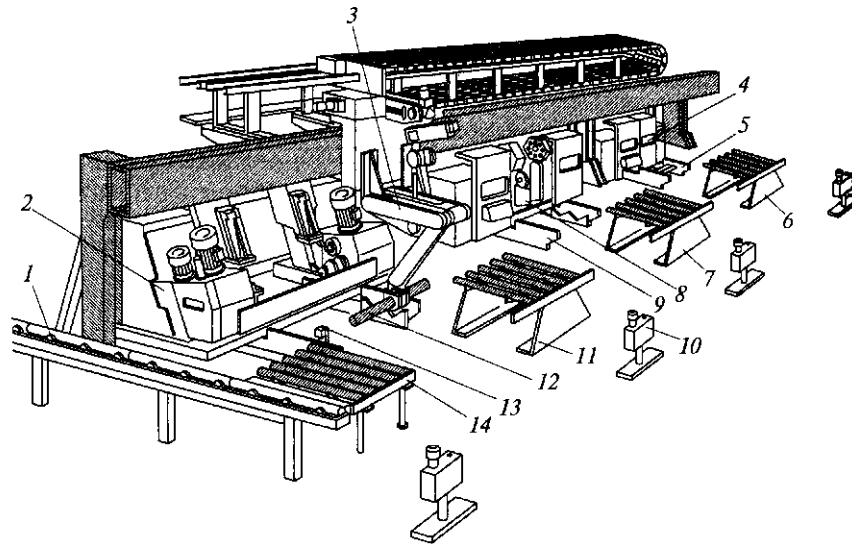


Рис. 12.6. Многостаночный РТК для обработки валов:

1 — подающий конвейер; 2 — фрезерно-центровальный станок с ЧПУ; 3 — ПР; 4, 8 — токарные станки с ЧПУ; 5, 9 — позиции ожидания; 6 — магазин готовых деталей; 7, 11, 14 — накопители заготовок; 10 — фотодатчик; 12 — заготовка; 13 — входное контрольное устройство

ПР обслуживает станки по их вызовам. При одновременном поступлении заявок предпочтение отдается станку с наибольшей длительностью цикла обработки. Между станками расположены межоперационные накопители 11 и 7. ПР снабжен тактильным щупом и осуществляет поиск заготовки в накопителе 14, измеряет ее длину с помощью входного контрольного устройства 13, устанавливая припуск на обработку торцов. Если длина заготовки выходит за пределы допусков, то заготовка бракуется. ПР обеспечивает загрузку станков, межстаночное транспортирование заготовок, их промежуточное складирование в накопителях 11 и 7, а также на позициях ожидания 9 и 5, расположенных перед токарными станками. После обработки ПР укладывает готовые детали в магазин 6 выходной позиции РТК. Безопасность работы персонала обеспечивается системой фотодатчиков 10, расположенных в стойке. Сзади станков проходит стружкоуборочный конвейер.

Одним из аспектов развития робототехники является машинное зрение. Создаются так называемые зрячие ПР, оснащенные встроенными видекамерами и соответствующим программно-математическим обеспечением. Такой ПР используется для автоматизации сортировки, захвата неориентированных деталей и контрольных операций.

**РТК сборочных операций.** Процесс автоматической сборки с помощью ПР разделяется на несколько этапов: накопление собираемых деталей в различных устройствах (пакетах, магазинах, бункерах, кассетах и т. п.), конструкция которых зависит от конфигурации и габаритов объектов сборки; захватывание объекта сборки ПР, оснащенный захватом или сборочным инструментом; транспортирование с помощью ПР на позицию сборки; ориентирование, которое может происходить как при предварительной подготовке объектов к сборке, так и в ходе технологического процесса; сопряжение деталей с помощью ПР или на специальном сборочном оборудовании.

К деталям, предназначенным для автоматической сборки в узлы, предъявляются особые требования: простота конструкции, обеспечивающая удобство ориентирования; наличие на сопрягаемых поверхностях направляющих элементов, облегчающих соединение; наличие базовых поверхностей, размеры и расположение которых относительно сопрягаемой поверхности должны быть выдержаны с необходимой точностью; стойкость к повреждениям при воздействии сборочного инструмента и оснастки; желательно, чтобы эти детали были унифицированы и стандартизованы.

ПР, применяемые для автоматической сборки изделий машиностроения, выполняют основные и вспомогательные операции, т. е. соединение и транспортирование деталей и изделий.

Для операции соединения ПР используют захваты, сборочный инструмент и приспособления. Эти устройства вместе с ПР, накопителями деталей, транспортирующим, технологическим и другим оборудованием составляют сборочные РТК.

Специфика сборки, в процессе которой необходимо компенсировать погрешности позиционирования, захвата и установки деталей, обуславливает специальные требования к сборочным ПР.

Взаимные основные движения сопрягаемых деталей (как правило, это прямолинейные перемещения) должны выполняться ПР в цилиндрической системе координат. Если необходимы более сложные движения, то они должны быть реализованы исполнительным органом ПР или сборочным инструментом. ПР необходимо не менее трех степеней подвижности, а также возможность увеличить их число до восьми в результате дополнительных движений исполнительного органа ПР или сборочного инструмента.

ПР, последовательно выполняющие несколько различных операций и переходов, должны иметь устройство, автоматически заменяющее захват и инструмент и подключающее их к силовой и измерительной сетям (пневматическим или электрическим). При необходимости выполнения в процессе сборки операций механической обработки (сверление, разворачивание и др.) исполнительный орган ПР должен обеспечить работу режущего инструмента с требуемыми скоростью и усилием подачи; если это невозможно, то в состав РТК включают соответствующее металлорежущее оборудование.

На рис. 12.7, а показана компоновка РТК для сборки подшипниковой опоры. Собираемый узел состоит из корпуса, крышки, двух резиновых манжет, подшипника, картонной прокладки и трех болтов с шайбами. Корпус и крышку ПР 2 забирает с конвейера 4 и подает их на рабочие сборочные позиции 3, обеспечивающие их установку и фиксацию. Процесс взятия ПР деталей (кроме болтов с шайбами) из питателей 1 однотипный: соответствующий сборочный инструмент захватывает верхнюю деталь из стопы, для чего все захватные устройства и инструмент оснащены пневматическими струйными датчиками. Датчики установлены таким образом, чтобы при подходе к верхней детали формировался сигнал на прекращение движения и захват детали.

Установка сменного сборочного инструмента на руке (6 или 9) ПР (рис. 12.7, б) и передача его на хранение в требуемые ячейки поворотного стола 5 осуществляются автоматически с помощью управления от системы ЧПУ. Система ЧПУ РТК обеспечивает возможность работы со значительным числом вспомогательных механизмов (пятипозиционные столы 5 с инструмен-

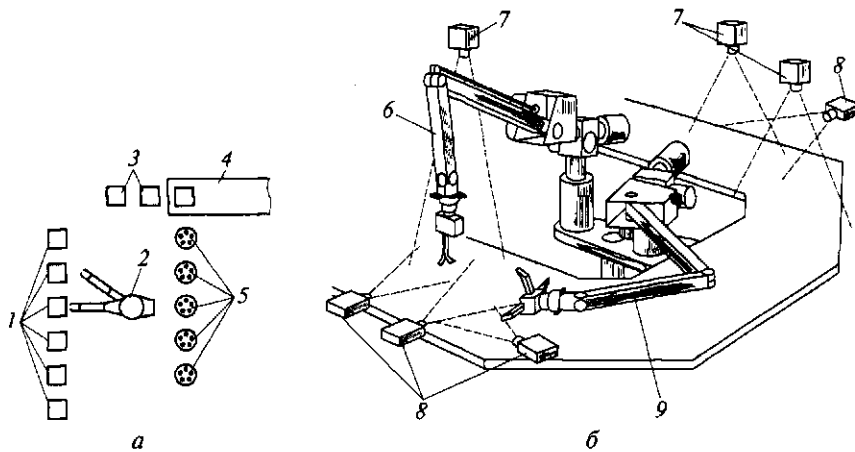


Рис. 12.7. Компонновка сборочного РТК (а) и его рабочая зона (б):

1 — питатели; 2 — ПР; 3 — рабочие сборочные позиции; 4 — конвейер; 5 — поворотные столы с инструментальными магазинами; 6 — правая рука для выполнения операций, требующих значительных затрат мощности; 7, 8 — вертикально и горизонтально расположенные телекамеры; 9 — левая рука (вспомогательная)

тальными магазинами, конвейер 4, устройства поштучной выдачи заготовок).

Рабочая зона ПР имеет достаточные размеры, чтобы разместить все вспомогательные устройства, приспособления и оснастку, необходимые для реализации технологического процесса сборки; инструментальные магазины и захватные устройства; подающие устройства; накопители собираемых деталей; средства контроля качества сборки. В зоне рабочего пространства ПР предусматриваются также средства обеспечения безопасности работы персонала, обслуживающего РТК.

Технологический процесс сборки включает в себя две группы операций: загрузочно-установочные (установка корпуса и крышки в соответствующие сборочные приспособления, загрузка выходного магазина-накопителя собранными узлами) и сборочные (запрессовка резиновых манжет в корпус и крышку, запрессовка подшипника в корпус, установка картонной прокладки на корпус, установка крышки на корпус, установка и завинчивание трех болтов с шайбами).

В состав набора сборочных инструментов входят широкодиапазонный пневматический захват для установки корпуса и крышки; запрессовщик резиновых манжет; запрессовщик подшипников качения в сборе; пневматический вакуумный захват для подачи картонных прокладок; гайковерт с пневматическим

приводом. Смена сборочного инструмента выполняется автоматически.

Специальные датчики на сборочных захватах контролируют наличие в них собираемых деталей (в том числе и в процессе транспортирования).

В конструкции гайковерта, выполняющего операцию завинчивания, предусмотрен струйный датчик перемещений. С его помощью обеспечивается контроль попадания переносимого болта в резьбовые отверстия крышки и корпуса изделия; синхронизация скоростей (поступательного движения ПР при завинчивании болтов и частоты вращения гайковерта); контроль качества сборки резьбового соединения.

Поскольку операция завинчивания винтов выполняется с заданным усилием, то сборочный ПР оснащен системами адаптации, при которой управление осуществляется через систему ЧПУ тактильными и контактными датчиками на основе полученной ими информации о силах и моментах, действующих в процессе резьбового соединения деталей.

Помимо системы адаптации сборочный ПР снабжен видеоустройствами, в состав которых входят телевизионные камеры 7, 8 (рис. 12.7, б), коррелятор совпадения полярности видеосигналов, следящий привод, рука с механизмом осязания.

### **12.3. Средства, обеспечивающие безопасность работы персонала**

*Устройства, обеспечивающие безопасность труда*, являются необходимым компонентом РТК: ПР, выполняющие ряд транспортных функций как устройства повышенной опасности, могут стать источником травматизма обслуживающего персонала. С развитием роботизации все большее значение приобретает безопасность применения ПР. Эту проблему решают разработанные унифицированные интерфейсы для связи управляющего контроллера с различными устройствами, обеспечивающими безопасность: световыми барьерами, аварийными датчиками и т. д. Известна система безопасности, в которой к одному интерфейсу подключено до 30 устройств, обеспечивающих безопасность (выключатели, световые барьеры, экраны, контактные сетки, аварийные кнопки, датчики и т. д.). Принцип работы таких устройств основан на формировании сигнала на остановку движения ПР, если человек оказался в зоне его рабочего пространства. Снимать блокирующий сигнал должен сам специалист, выполняющий наладку и обслуживающий РТК. В качестве таких устройств используют конструкции, в которых применяются различные сенсорные (чувствительные) элементы.

Наиболее перспективно применение специальных ограждений, выполненных на базе светолокационных датчиков и обеспечивающих эффективную защиту человека в РТК различной пространственной конфигурации. На рис. 12.8 показаны типовые конфигурации участков РТК и размещение стоек устройств ограждения. При входе в зону рабочего пространства ПР 1 и станка 2 человек пересекает световой луч, идущий от излучателя 3 к приемнику 4. В результате подается команда на остановку ПР, а также на включение лампочек, расположенных на стойках ограждения, что сигнализирует о запрещении работы ПР в автоматическом режиме в указанной зоне.

При необходимости может быть вновь дано разрешение на работу ПР: нажатием специалистом одной из кнопок «Сброс», находящихся на стойках ограждения запрещенной зоны работы ПР.

Пример обеспечения безопасности труда в РТК токарной обработки показан на рис. 12.9. Безопасность обслуживающего персонала обеспечивает информационная система и соответствующие каналы связи с УЧПУ. Это позволяет исключить возможность движения ПР в зоне нахождения человека.

В целях большей безопасности обслуживающего персонала помимо светозащиты предусматривают дополнительные устройства, например выдвижные упоры, расположенные в местах, ограничивающих рабочую зону ПР. При появлении в этой зоне человека упоры выдвигаются (по команде оператора или по сигналу устройства светозащиты) и препятствуют перемещению робота в эту зону.

*Устройства, обеспечивающие безаварийную работу оборудования*, служат для предотвращения аварийных ситуаций при работе ПР, а также для уменьшения тяжести последствий аварийных ситуаций, если они возникли.

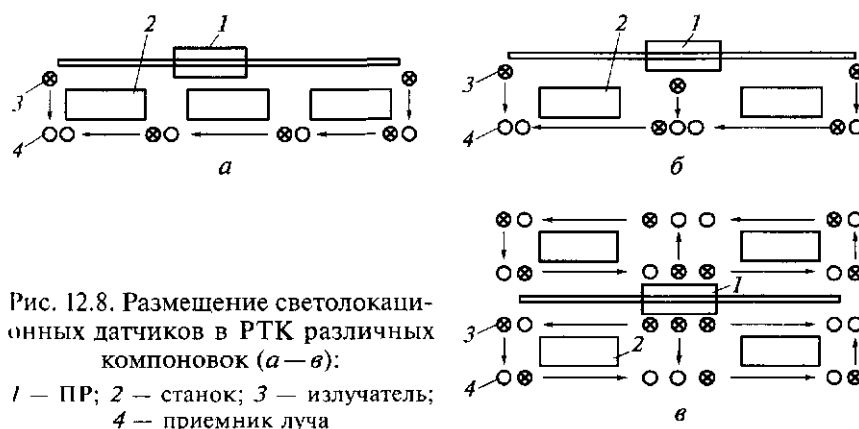


Рис. 12.8. Размещение светолокационных датчиков в РТК различных компоновок (а—в):

1 — ПР; 2 — станок; 3 — излучатель; 4 — приемник луча



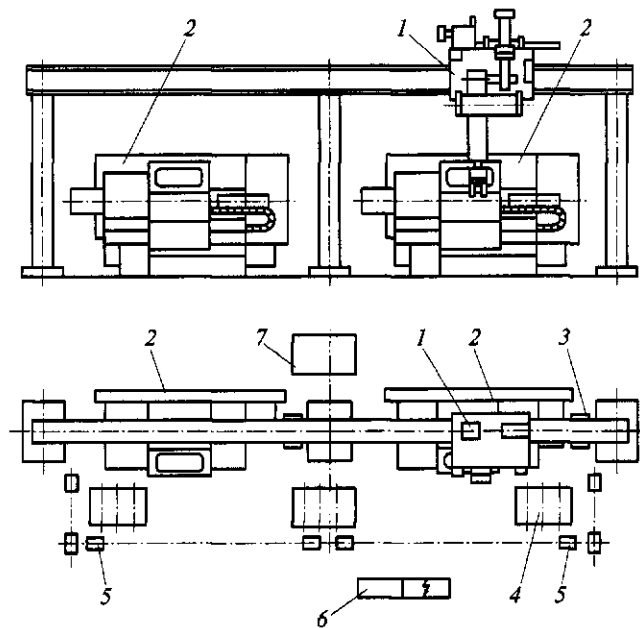


Рис. 12.9. РТК с системой безопасности:

1 — ПР; 2 — токарный станок с ЧПУ; 3 — промежуточная позиция; 4 — магазин; 5 — система светозащиты; 6 — шкаф электрооборудования; 7 — гидро-станция ПР

Основными причинами возникновения аварийных ситуаций в РТК являются непредусмотренные движения ПР во время обучения и в процессе автоматической работы (в том числе вследствие погрешностей позиционирования рабочих органов ПР); авария технологического оборудования на участке; ошибочные действия оператора во время наладки и ремонта; нарушение номинальной грузоподъемности ПР; неудобное и тесное размещение технологического оборудования, пультов управления, накопителей и транспортных средств на участке и т.п.

Устройства, обеспечивающие безаварийную работу оборудования, делятся на три группы: 1) контролирующие правильность отработки управляющей программы (УП) робота; 2) контролирующие параметры взаимодействия ПР с внешней средой; 3) осуществляющие диагностирование состояния питающих цепей, узлов и механизмов РТК.

Если устройства первой и второй групп в основном уменьшают тяжесть последствий аварийных ситуаций, то устройства третьей группы позволяют предотвратить их возникновение. Диагностирование производится путем измерения времени отработ-

ки перемещений ПР и сравнения этого времени с предельно допустимым, а также путем оценки конечного состояния РТК после отработки каждого кадра УП и сравнения этого состояния с заданным.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое РТК?
2. Как классифицируются РТК по виду технологического процесса?
3. Для каких целей РТК комплектуется тактовым столом?
4. Какие требования предъявляются к деталям, предназначенным для автоматической сборки?
5. Приведите примеры средств безопасности, применяемых в РТК.
6. Для чего сборочные РТК снабжают видеоустановками и в каких случаях?

## ГЛАВА 13

### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

#### 13.1. Предпосылки к созданию станков нового поколения

В ближайшем будущем к металлорежущим станкам будут предъявлены требования по увеличению частоты вращения шпиндельного узла, повышению мощности, жесткости, надежности работы и снижению себестоимости обработки. Объективных причин много, остановимся на некоторых.

**Обрабатываемые материалы.** К концу 2008 г. прогнозируется резкий рост потребления алюминия — до 52 %, при этом около 40 % потребляемого алюминия будет применяться в автомобильной промышленности. Резкое увеличение доли алюминия в автомобилестроении приведет к соответствующему прогрессу в разработке и внедрении новых технологий при обработке алюминия.

В первую очередь это относится к возросшей доле инструмента с режущими кромками из поликристаллического алмаза как наиболее производительного инструментального материала при обработке легких сплавов. Для этих же целей применяется алмазный инструмент при сверлении, фрезеровании, развертывании. Твердосплавные инструменты, широко применяемые для обработки алюминия, изменяют конструкции и становятся все менее привычными.

Алюминиевые сплавы уменьшают массу автомобильных компонентов, однако не все элементы автомобиля возможно изготовить из алюминия, например блоки цилиндров двигателей. Классическим материалом для изготовления блоков цилиндров двигателей является серый чугун: он легко обрабатывается, сравнительно недорог, детали из чугуна обладают высокой демпфирующей способностью и благоприятными фрикционными свойствами.

Для высоконагруженных дизельных двигателей возникла необходимость замены серого чугуна более прочным материалом. Альтернативой серому чугуну в современном машиностроении является высокопрочный чугун с вермикулярным графитом, обладающий литейными свойствами, демпфирующей способностью и теплопроводностью почти такими же, как у серого чугуна с пластинчатым графитом, и высокими прочностными характе-

ристиками, сопоставимыми с высокопрочным чугуном с шаровидным графитом.

Основное препятствие к широкому применению чугуна с вермикулярным графитом — его плохая обрабатываемость. Период стойкости различного инструмента при обработке чугуна с вермикулярным графитом на тех же режимах резания, что и при обработке традиционных чугунов, составил при фрезеровании 50 мин, при сверлении 40 мин, при черновом растачивании 5 мин и при чистовом растачивании 10 мин.

В авиакосмической области также достаточно быстро происходит смена обрабатываемых материалов, например в авиационном двигателестроении к 2020 г. прогнозируют применение керамических композитов до 10 %, алюминиево-магниево-металлических композитов 10 %, алюминидов титана 20 %, титановых металлических композитов 25 % и других труднообрабатываемых материалов.

**Инструментальные материалы.** В связи с ростом объема труднообрабатываемых материалов постоянно развивается структура и форма твердосплавных режущих пластин, расширяется область применения керамики и сверхтвердых материалов (СТМ), новых износостойких покрытий режущих кромок.

Основную долю применяемых *твердых сплавов* составляют сплавы с размером зерна 1,3...0,8 мкм; за последние годы размер зерна твердого сплава уменьшился в пять раз, в результате чего повысилась твердость, изгибная прочность, улучшились технологические свойства твердого сплава. Повышение изгибной прочности увеличивает прочность режущей кромки, а следовательно, уменьшается износ, вызванный выкрашиванием. Уменьшение размера зерна дает возможность получить более острую кромку с меньшим углом режущего клина и меньшим радиусом скругления. В результате уменьшаются усилия резания и температура в зоне контакта. С уменьшением размера зерна снижается теплопроводность твердого сплава и увеличивается количество теплоты, уходящей в стружку. За счет изменения геометрии клина снижается износ, вызванный налипанием материала и диффузией.

Современная *керамика* позволяет обрабатывать твердые материалы в неблагоприятных условиях (например при прерывистом резании), вывести на новый уровень производительность обработки никелевых сплавов (в авиационной промышленности время обработки сократилось более чем в три раза). Скорость резания керамикой составляет 1300 м/мин, что примерно в 100 раз выше скорости, принятой для обработки подобных материалов.

Многообразие обрабатываемых материалов и новых методов обработки определяет быстрое развитие новых видов *покрытий* режущей части инструмента. Например, при сухой обработке

стали 45 (без СОЖ) в зависимости от вида покрытия стойкость режущего инструмента колеблется от 1000 м пути резания до 2000 м; при обработке в аналогичных условиях и тем же инструментом, но без применения покрытия, стойкость составляет 300 м пути резания.

**Новые базовые технологии.** В настоящее время широко внедряются высокоскоростное и высокопроизводительное резание (в том числе сухое и твердое), лазерная и электрофизико-химическая (ЭФХ) сверхпрецизионная обработка, комбинированные методы, водоструйная обработка и др.

*Высокоскоростная обработка* — это сочетание всех технических средств, способных поднять скорость обработки при резании выше общепринятого предела: изменения в конструкции металлорежущих станков (направляющие, узлы приводов, шпиндельные подшипники, способные работать на высоких скоростях вращения и линейных перемещений); новых типов электрических приводов главного движения и подачи (мотор-шпиндели, линейные двигатели); систем ЧПУ с высокой скоростью расчета траектории перемещения рабочих органов; новых конструкций режущего и вспомогательного инструмента.

Зона высокоскоростной обработки отличается для различных материалов. Для титана она находится на скоростях резания от 300 до 1200 м/мин, для стали — от 300 до 1700 м/мин, а для алюминия высокоскоростной считается зона от 2500 до 6500 м/мин. Такие высокие скорости резания стали достижимы благодаря применению инструмента из прогрессивных материалов (керметов, кубического нитрида бора, поликристаллического алмаза, мелкозернистых твердых сплавов с однослойными и многослойными покрытиями), их реализации за счет использования высокооборотных мотор-шпинделей в сочетании с быстродействующими приводами перемещения узлов, обеспечивающими скорости быстрых ходов 60 ... 120 м/мин.

*Высокопроизводительная* обработка, в отличие от высокоскоростной, подразумевает не только увеличение скорости резания и подачи, но и оптимизацию всего процесса обработки с целью получения максимально возможной производительности. Например, при обработке штампов и пресс-форм за счет увеличения в 5—10 раз скорости подачи появляется возможность при том же времени обработки на прессе существенно уменьшить число оставшихся ступенек и сократить время доводки штампа или пресс-формы.

С помощью высокоскоростного фрезерования производительность при обработке инструментальных сталей высокой прочности увеличивается более чем в три раза, при обработке алюминиевых деталей — в 10 раз, при обработке графитовых электродов — более чем в 10 раз. Такое увеличение производи-

тельности приводит к сокращению производственного цикла и, соответственно, к сокращению срока изготовления и поставки изделия заказчику, что закладывает базис для более динамичного развития производства.

При высокоскоростном резании предъявляются жесткие требования к балансировке инструмента. При частоте вращения более  $8000 \text{ мин}^{-1}$  применение несбалансированного инструмента может привести к резкому ухудшению качества обработанной поверхности, а при частоте вращения более  $10\,000 \text{ мин}^{-1}$  балансировка является обязательной. На рис. 13.1, *а, б* показаны сбалансированные конструкции торцевой и концевой фрез, сменные пластины которых изготовлены из мелкозернистого твердого сплава с износостойким покрытием.

Для высокоскоростного сверления применяют цельные твердосплавные сверла (рис. 13.1, *в*) с внутренними винтовыми канавками для подвода СОЖ. Такие сверла дают увеличение про-

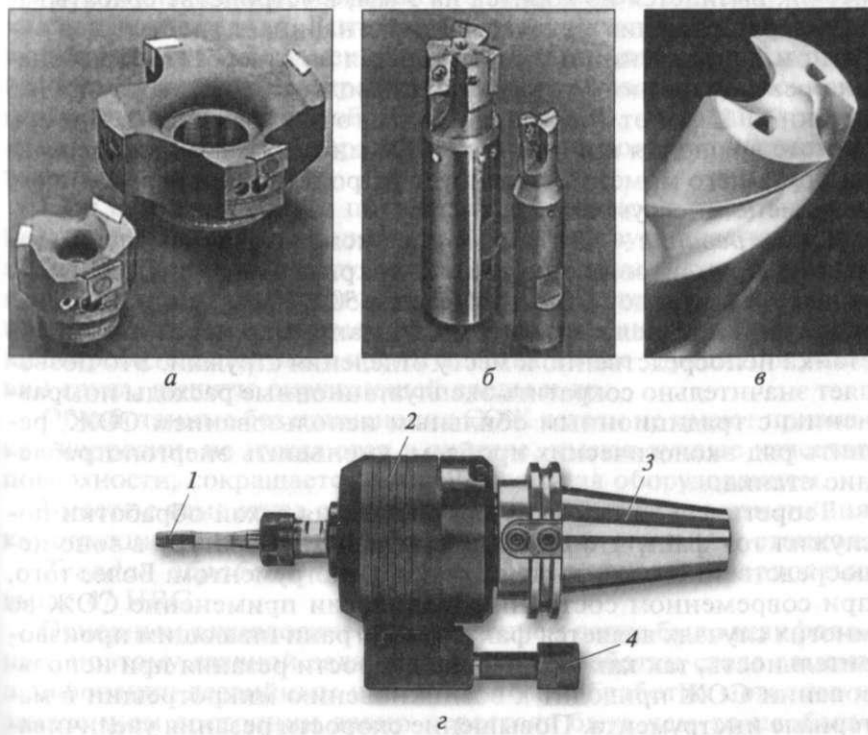


Рис. 13.1. Инструменты, применяемые при высокоскоростном резании: *а, б* — соответственно сбалансированные торцевые и концевые фрезы со сменными пластинами; *в* — цельное твердосплавное сверло с винтовыми канавками для подвода СОЖ; *г* — резьбонарезное устройство; 1 — метчик; 2 — патрон; 3 — хвостовик оправки; 4 — рычаг

изводительности до 10 раз по сравнению со сверлами из быстрорежущей стали (при скорости резания 60... 160 м/мин и подаче 0,08... 0,7 мм/об). Стойкость до переточки составляет 1200 отверстий при глубине сверления до трех диаметров.

Высокопроизводительное нарезание резьбы метчиком стало возможным при использовании резьбонарезного устройства (рис. 13.1, з), которое устанавливается в шпиндель станка с помощью хвостовика 3 оправки. Метчик 1 крепится в патроне 2. Принцип работы устройства следующий. Метчик в патроне вращается в прямом направлении вместе со шпинделем станка с ЧПУ и нарезает резьбу. За 2,5 мм от заданной глубины резьбы программируется реверс подачи шпинделя без реверса его вращения. Поскольку метчик продолжает вращаться в прямом направлении и нарезать резьбу, то цанга с метчиком вытягивается из корпуса устройства на 2,5 мм, а сам корпус перемещается в обратном направлении на такую же величину. Как только метчик вытянется из корпуса на 5 мм, в устройстве срабатывает реверс вращения метчика. Метчик начинает вращаться в обратном направлении и вывинчивается из отверстия. Применение резьбонарезного устройства позволяет нарезать резьбу М6 глубиной 10 мм от точки подвода до точки отвода за 0,33 с при частоте вращения шпинделя до 4000 мин<sup>-1</sup>. Рычаг 4 для передачи крутящего момента фиксирует устройство при автоматической смене инструмента.

*Сухое резание* — это обработка с использованием специальных инструментов, в том числе с покрытиями, без СОЖ или с подводом микродоз СОЖ (в пределах 50... 20 см<sup>3</sup>/ч и менее с измельчением капель до 3... 5 мкм), например через шпиндель станка непосредственно к месту отделения стружки. Это позволяет значительно сократить эксплуатационные расходы по сравнению с традиционным обильным использованием СОЖ, решить ряд экологических проблем, уменьшить энергопотребление станка.

Теоретической основой для внедрения сухой обработки послужил тот факт, что СОЖ не снижает температуру в зоне непосредственного контакта стружки с инструментом. Более того, при современном состоянии технологии применение СОЖ во многих случаях является фактором, ограничивающим производительность, так как увеличение скорости резания при использовании СОЖ приводит к возникновению микротрещин в материале инструмента. Повышение скорости резания увеличивает эту опасность. На практике это означает, что применение СОЖ ограничивает возможности высокоскоростной обработки.

Ежегодно в мире потребляется около миллиона тонн СОЖ. Затраты на СОЖ различны для различных видов производства. Тем не менее в автомобильной промышленности затраты на

СОЖ от общих затрат производства при централизованной подаче СОЖ ко всем единицам оборудования могут достигать 17 %, а на инструмент — всего 4 % при изготовлении корпусной детали. Для токарной обработки и децентрализованной подачи СОЖ цифры меньше: стоимость СОЖ 1,5 % при стоимости инструмента около 10 %.

В процессе резания СОЖ выполняет три функции — смазывание (создание масляного клина между инструментом и заготовкой, в результате чего уменьшается износ инструмента и улучшается качество обработанной поверхности); охлаждение, что приводит к улучшению размерной стойкости, уменьшению износа инструмента и эффекта закаливания; смыв стружки, в результате чего улучшается ее отвод.

При переходе на обработку без применения СОЖ все три функции не реализуются. Существуют виды обработки, где можно полностью отказаться от СОЖ и перейти к сухому резанию. Если это технологически невозможно, то используют установку минимального смазывания. В этом случае пытаются восстановить первую функцию СОЖ, заменив поток эмульсии потоком воздуха, в котором присутствует определенное количество масла. Возможна также замена метода обработки (например, нарезания резьбы метчиком — резбифрезерованием или шлифования — твердым точением).

При сухой обработке появляется возможность существенно повысить скорость резания, так как отсутствует опасность появления трещин в инструментальном материале при охлаждении режущей кромки потоком СОЖ. Соответственно увеличивается стойкость инструмента. При переходе на сухую обработку потребитель получает преимущества в виде улучшения условий труда, защиты окружающей среды и др.

Обработанные без применения СОЖ детали не имеют признаков коррозии, не нуждаются в очистке, имеют лучшее качество поверхности, сокращается площадь, занятая оборудованием.

Вместе с тем, отказ от применения СОЖ требует изменения конструкции инструмента, а в отдельных случаях — и станков.

*Твердая обработка* — это обработка деталей твердостью выше 47 HRC.

Основным технологическим решением ранее было шлифование, поэтому главной задачей твердой обработки стала замена шлифования лезвийным инструментом. Обработка металлов в закаленном состоянии давно перестала быть чем-то необычным. Под такую технологию перестроены многочисленные производства в автомобильной и других отраслях промышленности. Наибольшее распространение получило твердое точение, за ним следует твердое фрезерование, твердое сверление и протягивание.



Принцип твердого точения заключается в том, что в зоне среза из-за специально подобранной геометрии инструмента и режимов резания обрабатываемый материал нагревается и пластифицируется. В результате получается стружка не элементная и не сливная: она как бы течет. Если твердость материала была 62 HRC, то в зоне среза пластифицированный материал имеет твердость 25 HRC, а полученная стружка — 45 HRC; твердость детали после обработки уменьшается на одну-две единицы.

В связи с тем, что усилия резания велики, твердую обработку применяют для финишных операций с глубиной срезаемого слоя 0,15...0,3 мм, заменяя шлифование точением. Поэтому первостепенными требованиями к станку, на котором осуществляется процесс твердой обработки, является повышенная жесткость, виброустойчивость и точность.

Токарные станки для твердой обработки обеспечивают шероховатость обработанной поверхности до  $Ra$  0,1 мкм; отклонение от круглости не превышает 1 мкм.

Целью замены шлифования твердой обработкой является повышение экономичности обработки, так как твердое точение на 30...50 % экономичнее шлифования: объем снимаемого материала снижается в 2—3 раза, стоимость токарного станка повышенной точности ниже стоимости аналогичного шлифовального в 3—5 раз, затраты на инструмент не возрастают.

В качестве инструментального материала для твердого точения применяются режущая керамика и кубический нитрид бора. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Керамика существенно дешевле, но не воспринимает ударные нагрузки, поэтому ограниченно пригодна для прерывистого резания. Кубический нитрид бора менее восприимчив к ударным нагрузкам, но стоит дороже. Тем не менее, оба инструментальных материала находят применение.

Одним из примеров перестройки технологической цепочки под использование твердого точения является обработка зубчатых колес. На двухшпиндельном вертикальном токарном станке все поверхности окончательно обрабатываются под нарезание зуба и термообработку. После этих операций деталь попадает на станок для твердого точения, где зажимается в специализированном патроне по делительному диаметру шестерни. Производится твердое точение внутреннего диаметра и торца шестерни. Такая обработка при указанном базировании обеспечивает минимальное радиальное биение посадочного диаметра и торца зуба, т. е. основные параметры (кроме точности зуба) низкошумной шестерни.

В области *лазерной обработки* предполагается использование новых твердотельных YAG-лазеров и газовых CO<sub>2</sub>-лазеров, имеющих в несколько раз большую (5...6 кВт и выше) мощ-

ность; повышение качества луча; использование быстродействующих линейных приводов перемещения узлов, высокоточных измерительных систем; автоматизация вспомогательных процессов с управлением от современных УЧПУ типа CNC, благодаря чему намного увеличивается скорость резания (до 20 м/мин), ускоряются вспомогательные процессы и повышается точность обработки (0,01 мм на длине 1000 мм).

*Электрофизические методы обработки* предполагают внедрение новых генераторов импульсов с более высокой частотой (до 100 кГц) и максимальной силой тока (до 600 А); применение специальных керамик для узлов станка с малым тепловым расширением и высоким удельным сопротивлением ( $10^{14}$  Ом·см и более); использование быстродействующих линейных двигателей перемещения узлов, высокоточных измерительных систем; автоматизацию вспомогательных процессов с управлением от современных УЧПУ типа CNC благодаря чему намного повышается производительность по сечению реза (до 250...300 мм<sup>2</sup>/мин в вырезных станках), по съему металла (до 20 мм /мин и более на 1 А тока в прошивных станках), значительно повышаются чистота обработанной поверхности (до 0,08 мкм), точность обработки (до 0,004 мм на длине 300 мм) и уровень ее автоматизации.

### **13.2. Направления развития металлорежущих станков**

Указанные ранее предпосылки определяют основные направления развития металлорежущих станков. Станки для высокоскоростной обработки должны быть более жесткими и виброустойчивыми. Узлы подачи и их управление должны обеспечивать максимальную динамику линейных перемещений. Станок должен обеспечивать подачу СОЖ через шпиндель под высоким давлением или быть оснащенный системой минимальной подачи СОЖ. Системы ЧПУ должны реализовывать функцию «просмотра кадров вперед» как можно на большее количество кадров для сглаживания контура.

Намечаются новые компоновки станков с параллельной кинематикой, реализуемой с использованием линейных двигателей или ШВП с большим шагом. Механизмы автоматической смены инструмента должны обеспечивать их смену от реза до реза за 5...2 с и менее, а время смены столов-спутников — 8...5 с и менее; все другие вспомогательные действия — с управлением от быстродействующих УЧПУ на базе персональных компьютеров.

Для токарных станков с ЧПУ нового поколения характерна вертикальная компоновка; функции манипулятора выполняет

сам шпиндель; отсутствует тактовый стол и манипулятор, следовательно, сокращается производственная площадь. В таких станках нет коробки скоростей: ее функцию выполняет высокоскоростной мотор-шпиндель с регулируемой частотой вращения.

Развитие конструкций долбежных, поперечно-строгальных, продольно-строгальных и особенно тяжелых продольно-строгальных станков идет по следующим направлениям:

- комбинирование, т. е. применение на одном станке процессов долбления, фрезерования и растачивания;
- применение на продольно-обрабатывающих станках процессов строгания, фрезерования, шлифования и растачивания;
- создание поперечно-строгальных станков с гидрокопировальными устройствами и системами ЧПУ, позволяющими обрабатывать сложные фасонные профили;
- проектирование продольно-обрабатывающих станков с двумя столами для обработки крупногабаритных деталей массой до 200 т, поскольку установка заготовки с выверкой и закреплением требует до 40 % времени обработки.

Долбление и строгание по сравнению с фрезерованием имеют свои преимущества и недостатки, поэтому в дальнейшем эти способы обработки будут не вытеснять, а дополнять друг друга.

Выполнение на одном многофункциональном станке всего комплекса обработки: точение, сверление, фрезерование, шлифование, а также необходимые измерения — тенденция, носящая глобальный характер.

Именно такой подход лежит в основе перспективного развития станкостроения.

Обработка деталей на одном станке гораздо экономичнее, чем последовательная обработка на нескольких специализированных станках. Наряду с экономией времени многофункциональные станки сокращают инвестиционные расходы и издержки, связанные с обслуживающим персоналом и производственной площадью.

Дальнейшее развитие металлорежущих станков с ЧПУ прогнозируется в следующих направлениях:

- оснащение станков большим количеством первичных преобразователей, измерительных и диагностических устройств для автоматического контроля процесса обработки и состояния узлов и периферийных устройств, а также для установления причин и компенсации погрешностей обработки, предотвращения поломки и быстрого устранения неисправностей;
- создание вычислительных устройств в составе системы ЧПУ для автоматического расчета и оптимизации технологических параметров, учета статических, динамических и тепловых характеристик станков; внедрение новейших материалов,

улучшающих технические показатели отдельных узлов и станка в целом;

- оснащение станков типовыми периферийными устройствами для автоматизации операций смены инструмента и шпиндельных узлов, смены и зажима заготовок, транспортирования;
- встраивание в станок системы мониторинга состояния инструмента и хода технологического процесса;
- широкое использование мехатронных узлов (мотор-шпинделей, линейных двигателей и др.);
- применение новых материалов (полимерного бетона, углепластика, фторопласта и др.) в станочных узлах;
- широкое внедрение нанотехнологии, обеспечивающей субмикронную точность обработки (формы и размеров поверхностей  $0,1 \dots 0,3$  мкм, их взаимного расположения  $0,5 \dots 0,8$  мкм, шероховатости поверхностей  $Ra = 0,04$  мкм) за счет специальных компоновок станков, использования лазерных измерительных систем, применения аэро- и гидростатических направляющих, применения встроенных в станок сенсорных и контрольных средств в сочетании с управлением от современных УЧПУ. Например, создан станок с УЧПУ для обработки заготовок из различных материалов с нанометрической точностью. Разрешающая способность обработки перемещений по линейным координатам  $X$  и  $Z$  составляет  $1,0$  нм. Три одновременно управляемые координаты ( $X$ ,  $Z$  и  $B$ ) позволяют получить согласованную по углу подачу режущего инструмента для обеспечения резания постоянной точкой. Ожидается, что станок обеспечит прорыв в такой важнейшей области нанотехнологии, как обработка асферической оптики. Для этого в станке был использован целый ряд оригинальных конструкторских решений: шелевые аэростатические опоры шпинделей главного движения и фрезерной головки, а также направляющие суппортов по линейным осям  $X$  и  $Z$ ; линейные и круговой синхронные электроприводы подач со специальным интерфейсом управления; уникальное программное обеспечение устройства управления, включающее компенсацию погрешностей основных исполнительных узлов и измерительной системы перемещений; специальные высокодемпфирующие материалы и сплавы с низким коэффициентом линейного расширения.

### **13.3. Многофункциональные станки с ручным управлением**

Многофункциональные токарные станки с ручным управлением давно использовались в ремонтных мастерских. Такие станки имели фрезерную головку, сверлильный агрегат, долбеж-

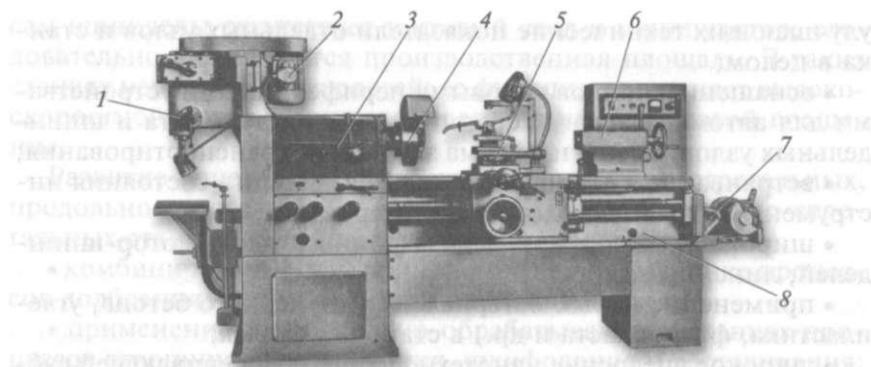


Рис. 13.2. Многофункциональный станок с ручным управлением, оснащенный инструментальными головками на передней бабке и на станине:

1 — инструментальная головка; 2 — индивидуальный электродвигатель; 3 — передняя бабка; 4 — патрон; 5 — суппорт; 6 — задняя бабка; 7 — заточно-шлифовальное приспособление; 8 — станина

ное и заточное приспособления. Это позволяло одним станком заменять 4—5 традиционных станков и экономить производственную площадь.

В настоящее время также сохраняется тенденция концентрации технологических операций на каждой единице оборудования. На рис. 13.2 показан многофункциональный токарный станок с ручным управлением, на передней бабке 3 которого стационарно смонтирована инструментальная головка 1 с индивидуальным электродвигателем 2. В шпинделе головки устанавливают патрон для закрепления режущего инструмента: сверл, метчиков, зенкеров, разверток, расточных оправок и небольших цековок. На таком станке наряду с токарными можно выполнять сверлильно-расточные и резьбонарезные работы за один установ заготовки.

При обтачивании длинных заготовок, закрепленных в патроне 4, используют заднюю бабку 6. Станок можно применять и для обработки корпусных деталей, закрепляя их на суппорте 5, а в шпинделе станка устанавливать оправки с фрезами (при продольном движении подачи суппорта).

Кроме того, на станке можно выполнять затачивание резов с помощью заточно-шлифовального приспособления 7, установленного на станине 8. Приспособление работает от индивидуального электродвигателя.

Все это способствует расширению технологических возможностей традиционных станков с ручным управлением.

### 13.4. Станки с параллельной кинематикой

Новая компоновка станков-гексаподов с использованием шарнирных штанг позволяет существенно упростить и облегчить конструкцию станка и создать оптимальные условия для скоростной обработки резанием. Изменение рабочей длины штанг осуществляется с помощью ШВП с предварительным натягом; шарниры штанг — шаровые (качения) с предварительным натягом.

На рис. 13.3 представлен гексапод — станок вертикальной компоновки с параллельной кинематикой с шестью телескопическими штангами 3, с перемещаемой платформой 1. Станок предназначен для получистовой и окончательной обработки различных деталей со сложными объемными поверхностями, требующими одновременно управляемых от УЧПУ пятикоординатных взаимных перемещений инструмента и заготовки. Область применения станка — изготовление штампов и прессформ в различных отраслях машиностроения. На станке могут выполняться сверлильные, расточные, фрезерные, резьбонарезные и шлифовальные работы. Заготовка крепится на неподвижном столе 6, режущий инструмент — в шпинделе 5. Шпиндельная бабка 4 меняет положение в пространстве за счет перемещения платформы 1 и изменения длины штанг 3.

Модификационные исполнения станка зависят от обрабатываемой детали: для обработки объемных заготовок из легких сплавов (со стенками малой толщины); с автоматической сменной инструмента (емкость инструментального магазина — 20 и 40 шт.) с двумя столами-спутниками; с накопителем столов-спутников при эксплуатации станка на предприятиях с широкой номенклатурой обрабатываемых деталей при небольших объемах партий (емкость накопителя столов-спутников — 4 и 8 шт.).

Станки такого типа могут быть выполнены с возможностью перемещения шпиндельной бабки и возможностью некоторых угловых поворотов стола.

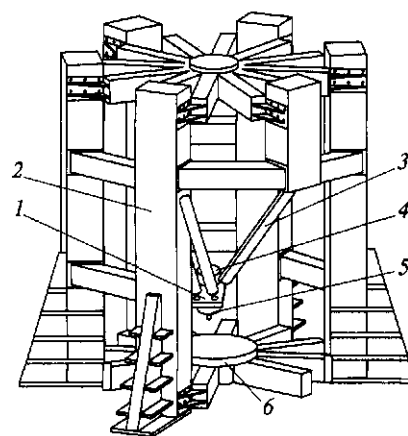


Рис. 13.3. Компоновка станка-гексапода:

1 — платформа; 2 — каркас (станина);  
3 — штанга; 4 — шпиндельная бабка;  
5 — шпиндель; 6 — стол

Станина 2 станка — стальная, сварная. Отсчетно-измерительная система — лазерная, с автоматической температурной компенсацией.

Шпиндельный узел — мотор-шпиндель с автоматизированной дозированной масляно-воздушной смазкой и циркуляционным охлаждением жидкостью, с автоматическим поддержанием ее температуры. Мотор-шпиндель — с частотным векторным цифровым регулированием частоты вращения, с обеспечением уменьшения эффективной мощности при увеличении частоты вращения от номинальной ( $10\,000\text{ мин}^{-1}$ ) до максимальной ( $40\,000\text{ мин}^{-1}$ ) не более 20 %.

В станке применена кабинетная герметичная защита рабочей зоны и устройство контроля точности обработки без снятия заготовки: станок оснащен системами охлаждения инструмента и автоматизированного удаления стружки. УЧПУ выполнено на базе персонального компьютера.

Наряду с преимуществами такие станки имеют и недостатки (сложность обработки простых поверхностей, низкая нагрузочная и демпфирующая способность, ограничение угла наклона шпинделя и др.), определяющие область их эффективного использования при полустойковой и чистовой обработке деталей с пространственно-сложными поверхностями (штампы, пресс-формы).

### **13.5. Оборудование для водоструйного резания**

*Водоструйная обработка* — новая экологически чистая технология, основанная на использовании струи жидкости с добавлением порошка абразива, работающей под давлением до 400 МПа. Такая обработка позволяет с высокой скоростью и определенной точностью производить резание (в том числе фасонное) ряда материалов и деталей, которые нельзя качественно обработать другими методами из-за смятия, оплавления или «размочаливания» кромки реза: сотовые панели, титановая губка, мрамор, вредные и взрывоопасные материалы и др.

С помощью водоструйной резки можно обрабатывать практически все материалы: бумагу и картон, ткани, кожу и резину, стекло и керамику, гранит и мрамор, бетон и железобетон, полимерные материалы всех видов, в том числе композиционные, фольгированные и металлизированные пластики, металлы и сплавы всех видов, включая труднообрабатываемые — нержавеющие и жаропрочные стали, твердые и титановые сплавы.

Инструментом водоструйной резки материалов является определенным образом сформированная струя жидкости, исходящая из специального сопла диаметром 0,08... 0,5 мм со сверхзву-

ковой скоростью (1000 м/с и более). Поскольку расстояние от среза сопла до поверхности материала составляет несколько миллиметров, то давление струи превышает предел прочности материала — за счет этого и осуществляется резка.

Существуют два способа водоструйной резки материалов: гидрозрезка (резка водой) и гидроабразивная резка (вода плюс абразив). Наличие абразива в струе увеличивает ее технологические возможности — жидкостно-абразивной суспензией можно резать твердые и труднообрабатываемые материалы значительной толщины.

Режимы водоструйной резки этими способами могут быть расширены за счет подвода к струйной головке хладагента, способствующего образованию в струе льдинок, придающих ей абразивные свойства.

При водоструйной резке учитывается угол атаки — угол между направлением струи и обрабатываемой поверхностью. Максимальная режущая способность и производительность процесса достигаются при угле атаки  $90^\circ$ .

Спектр отраслей, в которых сегодня применяются технологии водоструйной резки, велик: космическая отрасль и ракетостроение; оборонная промышленность; авиа-, судо-, автомобиле- и приборостроение; электротехника и микроэлектроника; легкая (в том числе кожевенно-обувная) и пищевая промышленность; строительство; медицина.

Особенно часто водоструйная резка сегодня применяется для следующих технологических операций:

- в оборонной промышленности — утилизация устаревших образцов вооружений (разрезание корпусов ракет, боевой техники, судов и подводных лодок), разрезание корпусов снарядов и вымывание взрывчатых веществ;
- в электронной промышленности — резание электронных плат (применение водоструйной резки позволило достичь размера пропила до 0,1 мм и обеспечить отсутствие пыли, а также решить проблему расслоения материала), снятие облоя с корпусов микросхем;
- в автомобильной промышленности — резание фальшпотолков, ковриков, приборных досок, бамперов из пластика и др.;
- в строительстве — резка бетонных конструкций для их последующего демонтажа, расчистка швов, производство сложных контуров в мраморе и граните (узкий пропил позволяет создавать инкрустации при изготовлении декора);
- в пищевой промышленности — резка продуктов глубокой заморозки, различных плотных пищевых продуктов, шоколада;
- в медицине — хирургические операции с помощью гидроскальпирования.



Основные достоинства водоструйной обработки состоят в следующем.

1. *Нивелирование теплового воздействия.* Генерируемая в процессе резания теплота практически мгновенно уносится водой. В результате не происходит заметного повышения температуры в заготовке. Эта характеристика является решающей при обработке особо чувствительных к нагреву материалов. Небольшая сила (1... 100 Н) и температура (60... 90 °С) в зоне резания исключают деформацию заготовки, оплавление и пригорание материала в прилегающей зоне. Ни одна технология, кроме гидроабразивной резки, не может обеспечить отсутствие термического влияния на металл вблизи пропила.

2. *Универсальность обработки.* При обработке многих труднообрабатываемых материалов, таких, как титановые сплавы, высокопрочные керамики и стали различных видов, а также композитные материалы, не создается разрывов в структуре материала, и он сохраняет свои первоначальные свойства. Струей воды режутся различные сэндвич-конструкции. Гидроабразивные системы способны резать металлы толщиной до 300 мм, камень и бетон — до 1000 мм. При этом достигается достаточно высокая точность обработки — 0,1 мм при резке металлов толщиной до 100 мм.

3. *Способность воспроизводить сложные контуры и профили.* Струя жидкости по своим техническим возможностям приближается к идеальному точечному инструменту, что позволяет обрабатывать сложный профиль с любым радиусом закругления, поскольку ширина реза составляет 0,1... 3 мм.

При резании хрупкого материала (стекла) гидроабразивная обработка позволяет получать сложные контуры непосредственно в процессе резания.

4. *Хорошее качество поверхности.* Можно получать финишную поверхность с шероховатостью  $Ra = 0,5... 1,5$  мкм и во многих случаях отпадает необходимость в дополнительной обработке.

5. *Технологичность процесса обработки.* Инструмент резки (струя воды или воды с абразивом) не нуждается в переточке, как другой режущий инструмент; ударная нагрузка на изделие минимальна; технологические операции (например, сверление и резку) можно выполнять одним и тем же инструментом; низкое тангенциальное направление усилия позволяет в ряде случаев обойтись без зажима детали; существует возможность резки на расстоянии около 200 м от насоса, а также возможность резки от одного насоса высокого давления одновременно двумя и более режущими головками на одном столе или несколькими головками на разных столах; резку можно производить на высоте и глубине до нескольких сотен метров, в том числе и под водой.

6. *Экономичность процесса.* Скорость резания — высокая. Резку можно начинать в любой точке заготовки и при этом не нужно предварительно делать отверстие. Малая ширина реза позволяет экономить дефицитные материалы при их раскросе. Среднее потребление воды в абразивно-жидкостном режущем устройстве всего около 3...4 л/мин, несмотря на высокое давление струи (400 МПа и более).

7. *Автоматизация процесса.* Достаточно легко использовать системы компьютерного управления, оптические следящие устройства и полномасштабные шестикоординатные роботы.

8. *Доступность.* Использование в качестве абразива таких относительно недорогих компонентов, как вода и кварцевый песок, делает процесс обработки доступным.

9. *Безопасность.* Поскольку нет теплоты, накапливаемой при абразивно-жидкостной струйной обработке, процесс взрыво- и пожаробезопасен. Отсутствует радиационное излучение, опасность вылета шлаковых или мелкодисперсных частиц. Переносимая по воздуху пыль фактически устранена. Уровень шума колеблется в пределах 85...95 дБ.

К недостаткам технологии гидрорезания можно отнести конструктивные трудности при создании высокого давления жидкости, довольно низкую стойкость сопел и сложность их изготовления.

Факторами, сдерживающими широкое внедрение водоструйной техники на предприятиях, являются высокие энергоемкость и стоимость по сравнению с другим оборудованием для резки.

Водоструйная резка — альтернатива не только механической, но и лазерной, плазменной, ультразвуковой резке, а в некоторых случаях это единственно возможный вид обработки.

С точки зрения экономической целесообразности применение водоструйной технологии наиболее оправданно при резке хрупких (стекло, камень) заготовок толщиной 40...100 мм, фанеры, древесины, композиционных материалов во всем диапазоне допустимых толщин и при больших объемах раскроса: нержавеющей стали при толщине листа свыше 6...10 мм, меди — свыше 2...3 мм, алюминиевых сплавов — свыше 5...6 мм.

При контурном раскросе тонкого листа практически всегда более эффективны лазерные системы, поскольку себестоимость лазерной резки заготовок малой толщины значительно ниже, чем себестоимость гидроабразивной резки.

В конечном счете области применения лазерной и водоструйной технологий резки в машиностроении будут разделены их технологическими и экономическими показателями. Бесспорно одно: при сегодняшнем уровне развития машиностроения объемы применения водоструйной резки за рубежом постоянно увеличиваются.

Существуют различные варианты компоновок водоструйного оборудования, в том числе в виде роботизированных комплексов, установок с поворотным столом и др., однако наиболее распространены компоновки с подвижным или неподвижным порталом.

Примером компоновки с неподвижным порталом служит установка (рис. 13.4, а) со столом размером 2 × 3 м. В центре прямоугольной рамы 1 закреплены портал 2 и поперечина 5, несущая

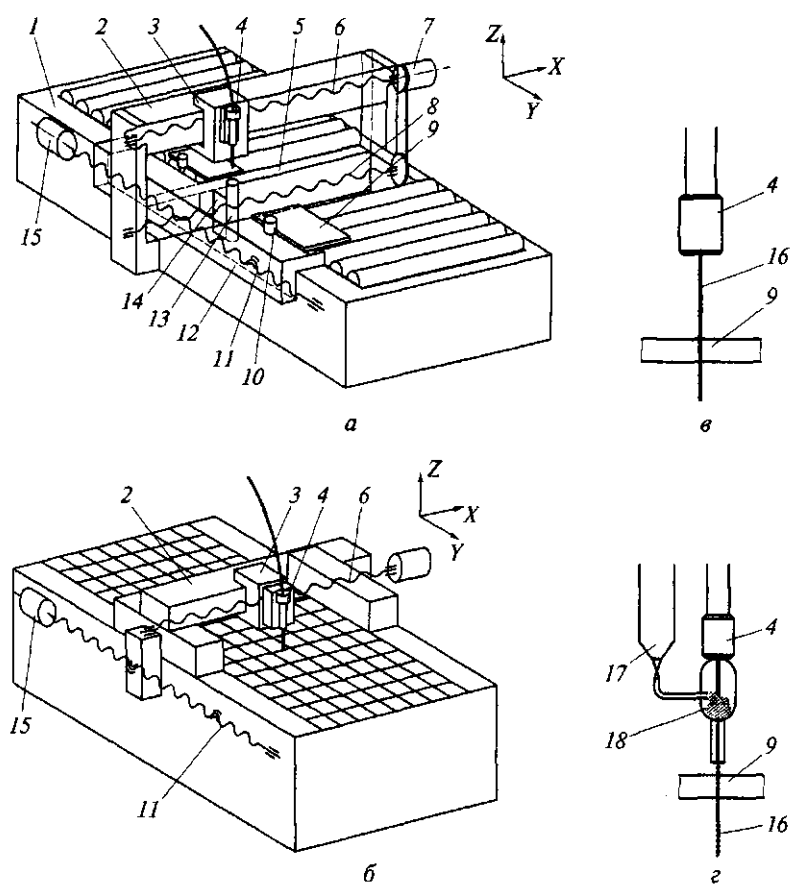


Рис. 13.4. Типовые компоновки водоструйных установок с неподвижным (а) и подвижным (б) порталом и принципиальные схемы режущих головок для гидрорезки (в) и гидроабразивной резки (г):

1 — прямоугольная рама; 2 — портал; 3, 12, 14 — каретки; 4 — струйная режущая головка; 5 — поперечина; 6, 8, 11 — ШВП; 7, 15 — серводвигатели; 9 — заготовка; 10 — пневмоцилиндр; 13 — ловушка струи; 16 — струя воды; 17 — устройство подачи абразива; 18 — абразив

щая каретку 14 с ловушкой 13 струи. По порталу перемещается каретка 3 со струйной режущей головкой 4. Синхронное перемещение кареток 3 и 14 от серводвигателя 7 (ось X) реализовано с помощью ШВП 6 и 8, связанных между собой зубчатой ременной передачей. На передней стенке рамы предусмотрены направляющие для каретки 12, перемещаемой ШВП 11 с приводом от серводвигателя 15 (ось Y). К каретке 12 с помощью пневмоцилиндров 10 крепится заготовка 9, опирающаяся на рольганг; водоабразивная струя проходит между центральными роликами.

Во втором случае (рис. 13.4, б) по подвижному порталу 2 (ось Y) перемещается каретка 3 (ось X) с рабочей головкой 4. Вертикальное перемещение головки (ось Z) осуществляется вручную или с помощью программируемого (возможно следящего) электромеханического привода. Подобное решение отличается простотой конструкции и компактностью. К недостаткам можно отнести трудности гашения остаточной энергии струи на выходе из заготовки, а также проблемы базирования заготовки. Установки с подвижным порталом целесообразно использовать для обработки массивных изделий, перемещение которых в процессе резания нежелательно.

В комплекс для водоструйной резки входят насос высокого давления; режущая головка; координатный стол и приводы перемещений режущей головки; разводка высокого давления; система подачи порошка абразива (для гидроабразивной резки); система ЧПУ. Дополнительно комплекс может оснащаться устройством для предотвращения столкновений режущей головки с заготовкой, несколькими режущими головками, ловушкой струи воды, гасящей ее энергию и служащей также для сбора отработанного абразива.

Гидрорежущее оборудование обладает разной степенью универсальности и автоматизации, в том числе изготавливается в виде роботизированных комплексов.

Создание сверхзвуковой струи жидкости как режущего инструмента обеспечивает насос высокого давления. В качестве усилителя давления используется специальный мультипликатор двустороннего действия.

Режущая струйная головка окончательно формирует высоконапорную тонкую струю как режущий инструмент по своим геометрическим и энергетическим параметрам. Конструктивные особенности струйной головки (взаиморасположение деталей, характер их соединения и герметизация), оказывая влияние на гидродинамические характеристики и компактность формируемой струи, определяют качество и надежность ее работы. Струйные головки классифицируют следующим образом:



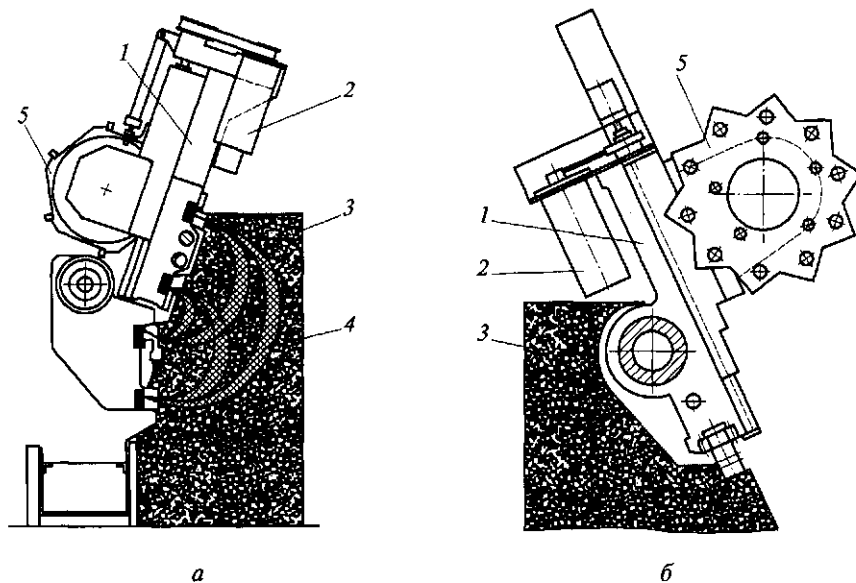


Рис. 13.5. Железобетонная (а) и бетонная (б) станины токарных станков с ЧПУ:

1 — каретка; 2 — стальная роликовая направляющая каретки; 3 — станина; 4 — металлический каркас; 5 — револьверная головка

показатель станин из традиционного чугуна в 3,5—4 раза, что также заметно сказывается на снижении шумовых характеристик станка.

На рис. 13.5 показаны примеры применения железобетонных и бетонных станин 3 токарных станков с ЧПУ, в которых револьверная головка 5, установленная на каретке 1, перемещается по стальным роликовым направляющим 2. На металлическом каркасе 4 анкерными болтами крепятся металлические направляющие. Бетонные станины более эффективно гасят вибрации (в 6 раз по сравнению с чугунными), имеют более высокую температурную стабильность — их тепловое сопротивление в 30—40 раз выше, чем у чугуна. Высокая термическая стабильность материала такой станины обеспечивает точность автоматической обработки в пределах 3...6 мкм, что позволяет исключить из технологического процесса черновое шлифование.

#### Контрольные вопросы

1. Какие предпосылки вызывают проектирование станков нового поколения?
2. Что такое сухое резание?

3. Какие существуют способы водоструйной резки и для каких материалов они применяются?
4. Что вы знаете о нанотехнологии?
5. Расскажите о станках-гексаподах, их компоновках и основных узлах.
6. Какие новые прогрессивные материалы применяют в станочных узлах?
7. Какие тенденции наметились в токарной обработке резанием и как это влияет на конструкцию узлов и кинематику токарных станков?
8. Что такое твердая обработка, повлияет ли ее применение на конструкцию и кинематику станков?
9. Какие многофункциональные токарные станки с ручным управлением вы знаете и какие виды обработки на них выполняются?

## ГЛАВА 14

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### 14.1. Техническая документация

Для каждой модели станка разрабатывают конструкторские документы, в которых содержатся графические и текстовые материалы (в том числе в электронном виде), определяющие состав и устройство станка, а также необходимые данные для разработки технологии изготовления, контроля, приемки, подготовки управляющих программ, эксплуатации и ремонта.

В соответствии с действующими стандартами разрабатывают номенклатуру и комплект обязательных эксплуатационных и ремонтных документов. Часть конструкторских документов (технические условия, программа и методика испытаний), а также эксплуатационные и ремонтные документы составляют комплект, который называется Руководством по эксплуатации станка.

В Руководстве по эксплуатации приводятся общий вид станка с описанием устройства основных узлов и обозначением органов управления; паспорт с выходными параметрами станка и сведениями о гарантиях изготовителя (поставщика); кинематическая схема с разъяснением работы отдельных кинематических цепей и принципа действия станка; схема расположения подшипников и схема смазывания; правила транспортирования и монтажа; габаритные размеры рабочего пространства, посадочные и присоединительные базы станка; результаты приемосдаточных испытаний, а также методы проверки на геометрическую и кинематическую точность, сведения о порядке ремонта станка, данные о ремонтной сложности.

Правила безопасной работы на станке изложены в соответствующих разделах Руководства по эксплуатации при описании транспортирования станка, установки на месте эксплуатации, подготовки к монтажу, выполнения монтажа, демонтажа, наладки, пуска, контрольных испытаний, регулирования и первичной обкатки, а также в разделе «Электрооборудование».

Наличие комплекта документов позволяет технологам разрабатывать технологические процессы с наиболее эффективным использованием оборудования, механикам — заранее подготавливать плановый ремонт станков и быстрее устранять различ-



ные отказы, нормировщикам — правильно назначать технически обоснованные нормы в условиях конкретного завода.

## 14.2. Транспортирование

Основными требованиями, предъявляемыми к таре для перевозки станков и другого технологического оборудования, являются прочность, простота конструкций, возможность выполнения погрузочно-разгрузочных работ как вручную, так и с применением средств механизации, обеспечение сохранности при транспортировании и длительном хранении. Степень защиты оборудования от повреждений определяется видом упаковки, предохраняющей оборудование от ударов и толчков, от вредного воздействия окружающей среды.

Основным и наиболее универсальным видом упаковки для оборудования, перевозимого железнодорожным, речным, морским и автомобильным транспортом, являются деревянные ящики: плотные или решетчатые, одноразовые или многооборотные. На расстояния до 300 км можно транспортировать оборудование автомобильным транспортом без упаковки. В этом случае оборудование тщательно укрывается специальным чехлом или пленкой.

В качестве примера на рис. 14.1, *а* показан деревянный сборно-разборный многооборотный ящик с упакованными в нем узлами 6 станка, закрепленными с помощью болтов 5. Ящик состоит из салазок 7 с опорными брусьями и полом, а также щитов: боковых 4, торцовых 11 и верхнего 3. Каждый щит собирается из стоек 9 и брусьев 8 с раскосами 10, образующих жесткую раму, на которую прибивают обшивные доски.

Для защиты от попадания влаги щиты с внутренней стороны покрывают рубероидом или пергамином 2, оборудование закрывают чехлом из полимерной пленки, а в чехол укладывают силикагель для поглощения влаги. Между собой щиты и салазки соединяются посредством стяжек 1, обеспечивающих быструю сборку-разборку ящика. На внешнюю сторону щитов ящика наносят предупредительные знаки 12—20 (рис. 14.1, *б*), определяющие условия и особенности погрузки-разгрузки и транспортирования.

При транспортировании ящик несет основную нагрузку. Размеры его брусьев и досок определяют соответствующими расчетами. Освободившаяся многооборотная тара подлежит возврату на завод — изготовитель оборудования. Для экономии места при транспортировании и хранении порожний ящик разбирают и, скрепив его отдельные детали проволокой 21 (рис. 14.1, *в*), складывают в штабель. На заводе-изготовителе ящик снова собирают.

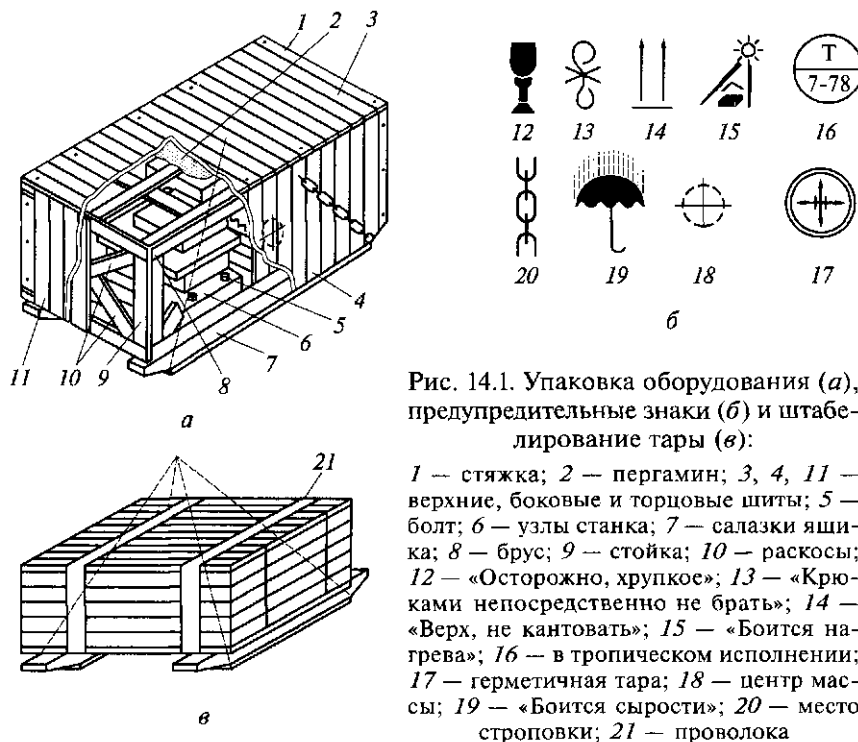


Рис. 14.1. Упаковка оборудования (а), предупредительные знаки (б) и штабелирование тары (в):

1 — стяжка; 2 — пергамин; 3, 4, 11 — верхние, боковые и торцовые щиты; 5 — болт; 6 — узлы станка; 7 — салазки ящика; 8 — брус; 9 — стойка; 10 — раскосы; 12 — «Осторожно, хрупкое»; 13 — «Крюками непосредственно не брать»; 14 — «Верх, не кантовать»; 15 — «Боится нагрева»; 16 — в тропическом исполнении; 17 — герметичная тара; 18 — центр массы; 19 — «Боится сырости»; 20 — место строповки; 21 — проволока

Для транспортирования крупногабаритных станков применяют облегченную упаковку «под колпаком». При таком способе транспортирования основную нагрузку несет не упаковка, а сам станок — ящик только предохраняет станок от механических повреждений и коррозии. В станину станка ввертываются рым-болты, которые выводят за упаковку. При погрузочно-разгрузочных работах они служат для зачаливания.

### 14.3. Установка на фундамент

Назначение фундамента — воспринимать массу станка и равномерно передавать ее на грунт, воспринимать и гасить возникающие колебания. При сравнительно небольшой площади основания и значительной массе оборудования удельная нагрузка на фундамент достаточно велика. Для предотвращения самопроизвольного опускания в грунт и обеспечения устойчивого положения оборудования под ним строят твердое основание большей площади: такой, чтобы масса оборудования вместе с самим фундаментом, приходящаяся на  $1 \text{ см}^2$ , была меньше до-

пустимой нагрузки, выдерживаемой грунтом. Высоту бетонного фундамента  $H$ , м, обычно устанавливают в зависимости от его длины  $L$ :

$$H = K\sqrt{L},$$

где  $K$  — коэффициент, зависящий от группы станка.

Величина коэффициента  $K$  для станков разных групп различается: для токарных и горизонтально-протяжных станков — 0,2; для продольно-строгальных, продольно-фрезерных и расточных — 0,3; для шлифовальных — 0,4; для зуборезных — 0,6.

Оборудование монтируется на индивидуальные фундаменты или общую бетонную плиту, так называемую подготовку пола всего здания. На индивидуальный фундамент монтируют тяжелое оборудование (обычно массой свыше 10 т); оборудование с узлами, совершающими возвратно-поступательные перемещения (прессы, компрессоры и т. п.); прецизионное (особо точное) оборудование.

На общую бетонную плиту устанавливают остальное оборудование. Индивидуальные фундаменты могут быть простыми — в виде толстой местной плиты, а также сложными — с металлическим каркасом, подземными туннелями (например, для подачи СОЖ) и приямками для сбора СОЖ. Широко применяют балочные фундаменты из проката и поддоны для сбора СОЖ, залитые в бетон.

Оборудование с фундаментом соединяют посредством подвижных анкерных или неподвижных заливных фундаментных болтов, а также путем подливки жидкого цементного раствора. Фундаментные болты применяют в тех случаях, когда прочность соединения оборудования с фундаментом только подливкой раствора недостаточна (при установке прессов, прецизионных шлифовальных станков и др.).

На рис. 14.2 показаны различные схемы выверки и закрепления станка на фундаменте: с помощью подвижного анкерного болта 4 (рис. 14.2, а), перед монтажом станка 3 установленного вместе с плитой 12 в отверстие фундамента 11 (при необходимости болт может быть опущен в нижнюю часть отверстия и верхний его конец не будет выступать, мешая перемещению станка); с помощью болта 10, который заливается бетоном (рис. 14.2, б) после установки в фундамент; посредством фундаментного болта 15 (рис. 14.2, в), ввинченного в планку 17, приваренную (после установки станка 16) к каркасу 18 балочного фундамента; посредством цангового фундаментного болта 20 (рис. 14.2, д), ввинченного в разрезную цангу 19, находящуюся в отверстии, заранее просверленном в фундаменте или в общей плите до установки оборудования.

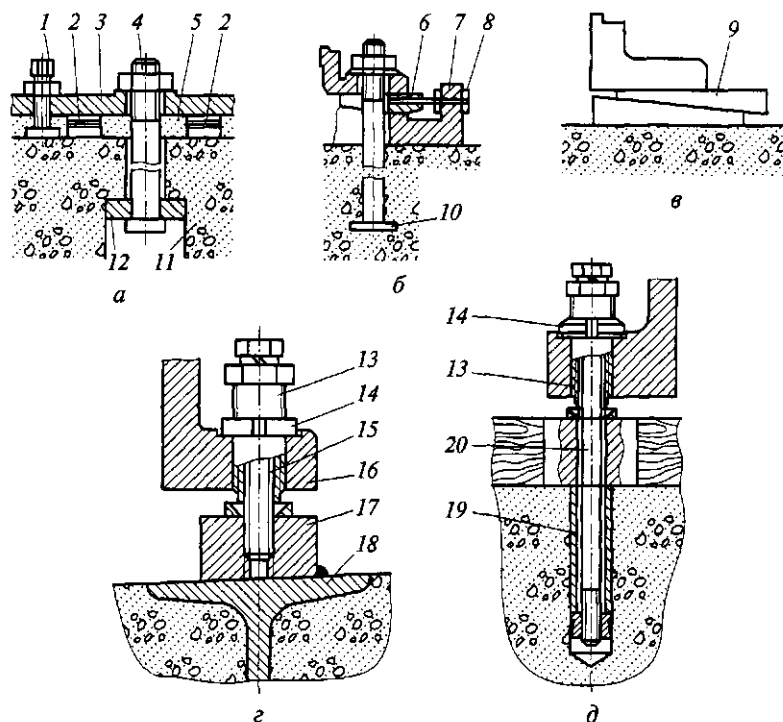


Рис. 14.2. Способы установки и закрепления станков на фундаменте (а—г): 1, 4, 10, 15, 20 — болты; 2 — прокладки; 3, 16 — станки; 5 — цементная подливка; 6, 7 — верхняя и нижняя части башмака; 8 — винт; 9 — клин; 11 — фундамент; 12 — плита; 13 — винтовая втулка; 14 — гайка; 17 — планка; 18 — каркас балочного фундамента; 19 — разрезная цанга

Анкерные подвижные фундаментные болты используют при монтаже оборудования, работающего с толчками и ударами. Неподвижные заливные болты применяют при установке оборудования, работающего без резких толчков. Установку заливных болтов в заранее изготовленные отверстия (размером 100×100 мм и глубиной 300...400 мм) в фундаменте и заливку их жидким цементным раствором выполняют после установки и выверки оборудования. По высоте выверяют оборудование с помощью прокладок, клиньев, регулировочных винтов, башмаков, вибрационных опор и ковриков. На рис. 14.2, а показан вариант выверки станка 3 посредством регулировочного болта 1 и прокладок 2. После установки иногда необходимо подлить цементный раствор (подливка 5). На рис. 14.2, б показана установка оборудования по высоте с помощью башмака перемещением его верхней 6 клиновидной части относительно нижней 7 винтом 8; на рис. 14.2, в — установка оборудования по высоте путем удара по

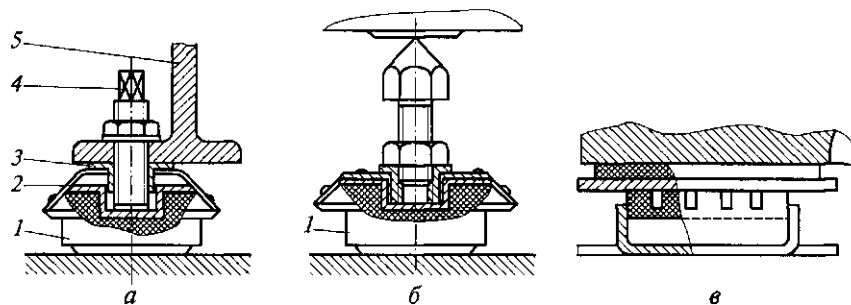


Рис. 14.3. Виброизолирующие опоры (а, б) и коврик (в):

1 — опора; 2 — гофрированная пружина; 3 — гайка; 4 — болт; 5 — станок

клину 9; на рис. 14.2, з, д — вращением винтовых втулок 13 с последующим законтриванием гайками 14.

Для установки оборудования применяют также виброизолирующие опоры и коврики различных конструкций, позволяющие производить бесфундаментную (непосредственно на плиту, подготовленную под фундамент) установку металлорежущих станков с отношением длины станины к высоте не более 4 : 5, массой до 10 т.

На рис. 14.3 показаны виброизолирующие опоры и коврики. Опора состоит из гайки 3, соединенной с верхней крышкой опоры 1 гофрированной пружиной 2, не допускающей поворачивания гайки относительно опоры, но не препятствующей ее вертикальному перемещению при ввинчивании болта 4. При наличии у станины станка 5 опорных лап или ниш с отверстиями используют проходные болты (рис. 14.3, а), а при отсутствии отверстий — опорные болты (рис. 14.3, б). Резиновые виброизоляционные коврики (рис. 14.3, в) предназначены для установки станков с их выверкой по высоте клиновыми башмаками или регулировочными болтами.

#### 14.4. Испытания станков

Испытание и приемка станков после изготовления (а также после ремонта) проводятся в соответствии с техническими условиями, указанными в рабочей документации. Специально выделяются испытания станка на заводе-изготовителе и заводе-заказчике. В процессе испытания выполняют проверку внешнего вида; испытание оборудования на холостом ходу и под нагрузкой; проверку геометрической точности, жесткости и виброустойчивости; проверку обработанных деталей на соответствие техническим условиям. Все испытания станка на соответствие

нормам (точности, жесткости и др.) можно проводить только после выполнения требований, предъявляемых к первоначальному пуску станка.

**Первоначальный пуск.** Подключить заземление станка к общей цеховой системе заземления, затем станок к электросети, причем напряжение сети должно соответствовать напряжению электрооборудования станка. Ознакомившись с назначением рукояток управления, проверяют вручную работу всех механизмов. Должны быть выполнены все относящиеся к пуску указания, изложенные в Руководстве по эксплуатации конкретной модели станка в разделах «Система смазки» и «Электрооборудование». При отсутствии давления в системе смазки и отсутствии масла в контрольных точках работа на станке недопустима.

После подключения станка к сети проверяют работу электродвигателя (без подключения рабочих органов станка) и смазочную систему (по манометру). Только после этого можно опробовать работу всех механизмов станка на холостом ходу.

При испытании оборудования на холостом ходу проверяют механизмы главного движения последовательно на всех режимах (частота вращения шпинделя, двойных ходов ползуна и др.). На максимальной скорости вращения шпинделя станок работает до 2 ч — до стабилизации температуры всех его механизмов, которая не должна быть выше указанной в технической документации: для подшипников качения — 80 °С, подшипников скольжения — 70 °С, других механизмов — 50 °С, для масла гидросистем — 60 °С.

Во время испытаний станка непрерывно наблюдают за взаимодействием всех механизмов, безотказностью средств автоматики. Особое внимание уделяют проверке работы станочных узлов, подачи СОЖ, функционирования гидравлических и пневматических систем. Одновременно станок проверяют на плавность переключения и вращения маховиков, на отсутствие сильного шума, вибраций.

После изготовления деталей-образцов проверяют их точность и шероховатость, результаты фиксируют в протоколах.

Проверку геометрической точности и жесткости станков выполняют согласно техническим условиям, составленным в соответствии с действующими ГОСТами на данный тип испытываемого станка.

**Проверка геометрической точности.** Испытания станков классов точности В и А проводятся при температуре 20 °С. Колебания температуры не должны превышать  $\pm 2$  °С для станков указанной точности и  $\pm 0,5$  °С для станков класса точности С. Перед проверкой геометрической точности станок необходимо прогреть до указанной температуры. Затем проверяется точность работы отдельных механизмов: точность вращения (бие-

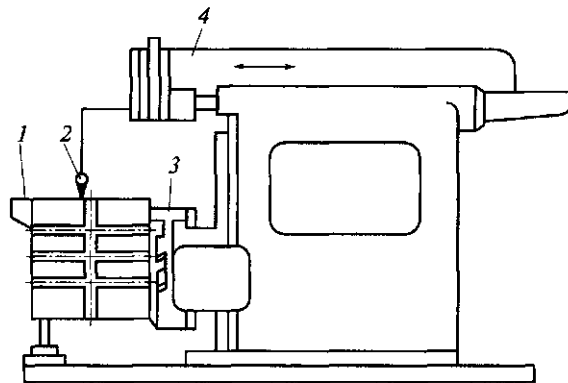


Рис. 14.4. Проверка параллельности рабочей поверхности неповоротного стола поперечно-строгального станка направлению перемещения ползуна:

1 — стол; 2 — индикатор; 3 — поперечина; 4 — ползун

ние) шпинделей, прямолинейность и плоскостность направляющих или поверхностей столов, правильность взаимного положения и движения узлов и элементов станка — например, проверка параллельности оси шпинделя токарного станка направляющим или проверка параллельности рабочей поверхности стола поперечно-строгального станка направлению перемещения ползуна (рис. 14.4).

На ползуне 4 укрепляют индикатор 2 так, чтобы его измерительный наконечник касался верхней рабочей поверхности стола 1 и был перпендикулярен к ней. Ползун перемещают на всю длину хода. Стол устанавливают по оси ползуна. Не допускается наклон стола в сторону станины. Параллельность поверхности стола измеряют в средней его части при среднем и двух крайних положениях по высоте; поперечина 3 должна быть закреплена. Отклонение от параллельности определяют как наибольшую величину алгебраической разности показаний индикатора на длине стола. Последовательность измерений и допустимое отклонение указываются в Руководстве по эксплуатации станка; если фактическое отклонение не превышает допустимого, то станок считается годным к эксплуатации по проверяемому параметру.

**Проверка кинематической точности.** Проверка проводится для тех станков, погрешность шага кинематических пар которых влияет на точность обработки: токарно-винторезных и токарно-затыловочных, зубообрабатывающих (зубодолбежных, зубофрезерных, зубострогальных, зубошлифовальных), резьбообрабатывающих (резьбофрезерных и резьбошлифовальных).

**Проверка на жесткость.** Геометрическая и кинематическая точность станка являются необходимым, но недостаточным условием для обеспечения требуемой точности обработки. Как было отмечено (см. подразд. 1.5), большую роль играют деформации узлов станка под нагрузкой. Для определения этих величин производится испытание станков на жесткость.

Для каждого типа станков разработаны ГОСТы, которые предусматривают метод нагружения, величину максимальной нагрузки, направление ее приложения и допустимые деформации узлов.

**Проверка на виброустойчивость.** Жесткость станка в большой степени определяет его виброустойчивость.

Ярким показателем качества изготовления и сборки станка является уровень его колебаний *на холостом ходу*. Наибольший интерес представляют измерения относительных колебаний инструмента и заготовки, непосредственно влияющих на точность обработки. При испытании опытных образцов станков относительные колебания измеряют во всем диапазоне частот вращения шпинделя. В конусное отверстие шпинделя устанавливают регулируемую оправку с биением измерительной шейки менее 3 мкм.

Датчиком (емкостным или индуктивным), установленным на суппорте станка, измеряют относительные колебания и подвергают их частотному анализу в диапазоне частот до 1 кГц.

Частотный спектр колебаний холостого хода определяется в основном наиболее мощными возбудителями колебаний (неуравновешенные вращающиеся детали привода главного движения станка, погрешности зубчатых и ременных передач, муфт, подшипников качения и др.) и собственными колебаниями элементов упругой системы станка. Колебания холостого хода нормируют по частотным диапазонам: нормы на составляющие спектра, частоты которых лежат ближе к частоте потенциально неустойчивой формы колебаний станка (частота возможных в системе автоколебаний), должны быть более жесткими, чем для других частотных диапазонов.

Для серийных станков эту проверку проводят на частоте вращения шпинделя, соответствующей чистой обработке.

Испытания станков на виброустойчивость при резании сводятся к определению предельной стружки — максимальной глубины резания  $t_{пр}$ , снимаемой без вибраций.

Для опытных образцов станка определяют зависимость предельной стружки от частоты вращения шпинделя при всех характерных видах обработки и нескольких подачах. Например, характерными видами обработки на токарных станках являются продольное точение вала в центрах, обработка вала, закрепленного консольно, и торцовая обработка кольца.



Определение предельной стружки довольно нелегко, так как предельный режим работы станка по своей природе неустойчив. Признаком предельной стружки обычно служит появление характерного звука при работе станка и резкое увеличение амплитуды относительных колебаний инструмента и заготовки, на которой при этом появляются следы вибраций.

Параллельно с определением предельной стружки фиксируют частоту возникающих при этом на станке вибраций (так называемую частоту потенциально неустойчивой формы колебаний).

Полученные данные позволяют построить графики зависимости  $t_{пр}$  от частоты вращения для каждого вида обработки и не менее чем при трех подачах. Это графики определяют границы устойчивости, которые оценивают путем сравнения с лучшими образцами аналогичных станков.

Испытание серийных станков на заводе-изготовителе проводят по сокращенной программе. Их цель — проверка виброустойчивости как критерия качества изготовления и сборки каждого станка. Для испытаний выбирают вид обработки, дающий наименьшую виброустойчивость. Подачу  $S$  рекомендуют брать среднюю, но вызывающую резкое увеличение амплитуды колебаний при увеличении глубины резания. Частоту вращения шпинделя  $n$  принимают равной  $n$  в зоне наименьшего значения  $t_{пр}$  по графику границы устойчивости для выбранной ранее подачи. Глубину резания, соответствующую принятым  $n$ ,  $S$  и виду обработки, при которой еще не наступает потеря станком устойчивости, нормируют. Норму устанавливают статистически по результатам испытаний станков данной модели.

**Проверка на шум.** Одним из критериев качества изготовления и сборки станка является шум при его работе. Для обеспечения нормальных условий работы людей в производственных помещениях шум каждого станка регламентирован.

Цель проверки шумовых характеристик — установить, не превышает ли уровень шума станка допустимого значения. Допустимые значения устанавливаются в зависимости от чувствительности человеческого уха к шумам в различных частотных диапазонах (до 90 дБ — для частот ниже 350 Гц, до 75 дБ — для частот выше 4 кГц). Для оценки шума используют шумомеры, реагирующие на звук подобно человеческому уху. В состав шумомера входят микрофон, усилители, корректирующие контуры (А, В и С), набор полосовых фильтров и стрелочный измерительный прибор.

Шум измеряют обычно при наибольшей частоте вращения шпинделя. Три переключаемых корректирующих контура могут изменять частотную характеристику шумомера в зависимости от уровня шума, что позволяет более объективно оценить шум про-

веряемого станка. Для опытных образцов проводят частотный анализ шума с помощью включения полосовых фильтров, позволяющих определить уровень шума в узких полосах частот. Для точного анализа используют октавные (отношение средних частот соседних полос 1 : 2) и третьоктавные (отношение 1 : 1,26) фильтры. Результаты анализа представляют в виде спектра шума, показывающего уровни шума на разных частотах исследуемого диапазона.

**Проверка в работе.** Данное испытание состоит в проверке результатов обработки образца. В Руководстве по эксплуатации на основании ГОСТа на проверку точности для каждого типа станка указываются материал, размеры образца, а также допускаемые отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей после обработки.

**Особенности проверки станков с ЧПУ.** Кроме рассмотренных выше, эти испытания предусматривают и дополнительные проверки.

*Проверка точности позиционирования* подвижных исполнительных узлов станка с ЧПУ (столов, суппортов, салазок, стоек) является одной из основных проверок его точности. Точность позиционирования характеризуют такие статистические показатели, как накопленная погрешность позиционирования, среднее квадратическое отклонение погрешности позиционирования при многократных подходах подвижного узла к запрограммированному положению.

*Проверка обработки прямолинейной траектории* под углом к осям координат предусмотрена для станков с контурными системами ЧПУ.

*Проверка точности обработки* системой привода подачи станка единичного импульса программы проводится следующим образом. Узлу сообщают движение единичными импульсами сначала в прямом, а потом в обратном направлении. Число импульсов не менее 20. С помощью многооборотного стрелочного индикатора или какого-либо другого датчика перемещения фиксируют отклонения фактического перемещения узла от номинального значения импульса (дискреты). Наибольшая величина этого отклонения является оценкой точности обработки системой привода подачи единичного импульса.

*Проверка времени смены инструмента* проводится на холостом ходу секундомером с помощью имеющегося на станке манипулятора.

*Проверка функционирования* осуществляется при обработке по специальной программе типичной детали в течение 2 ч для серийных станков и 4 ч — для опытных образцов.

*Проверка постоянства размеров* образцов партии, обработанных на станке с ЧПУ, заключается в определении среднего

значения, размаха отклонений полученных размеров и границ допускаемых отклонений.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какая техническая информация содержится в Руководстве по эксплуатации станка?
2. Какие существуют методы транспортирования станков?
3. Для чего станки устанавливают на фундамент?
4. Для каких станков помимо проверки геометрической точности проводится проверка кинематической точности?
5. Почему кроме проверки геометрической точности стандартами введена проверка станка на соответствие нормам жесткости?
6. Какие дополнительные испытания станков с ЧПУ проводятся по сравнению с испытаниями станков с ручным управлением?

## ГЛАВА 15

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТАНКОВ В СТАНОЧНЫХ СИСТЕМАХ

### 15.1. Техническая документация

На все виды технологического оборудования, входящего в состав станочных систем, разрабатывается техническая документация.

О документации металлорежущих станков подробно рассказано в подразд. 14.1. В дополнение к базовым техническим документам поставляются специальные эксплуатационные документы, позволяющие быстрее запустить станочную систему в производственный процесс и при возникновении отказов — устранять их.

Сведения, необходимые обслуживающему персоналу, приводятся в сопровождающей технической документации.

### 15.2. Монтаж станков в станочные системы

Монтаж (сборка) любых станочных систем происходит в два этапа: на заводе-изготовителе и на заводе-потребителе (заказчике). Последовательность и объем работ по монтажу оборудования указан применительно к заводу-потребителю, поскольку в этом случае необходимый объем и содержание выполняемых работ значительно превышает их объем на заводе-изготовителе.

**Подготовка помещения для монтажа на заводе-потребителе.** Перед началом монтажа на заводе-потребителе в помещении, где будут установлены станочные системы, должны быть закончены строительные и санитарно-технические работы:

- изготовлены фундаменты под оборудование и каналы в полу для размещения конвейеров для удаления стружки;
- проложены в полу магистральные напорные и сливные трубы централизованных систем подачи СОЖ, сжатого воздуха, воды, пара, газа и другие коммуникации;
- установлены трансформаторные подстанции, распределительные щиты с разводкой шинопроводов;
- смонтированы цеховые грузоподъемные средства (краны, кран-балки, стрелы и др.).

Вначале производят «привязку» оборудования в горизонтальной плоскости — к системе осей колонн, затем в вертикальной — к высотным отметкам, соответствующим уровню чистого пола. Все оси, отметки (жесткие точки, называемые знаками) контролируют с помощью геодезических инструментов: проверяют шаги между колоннами, наносят на них отметки (вертикаль-

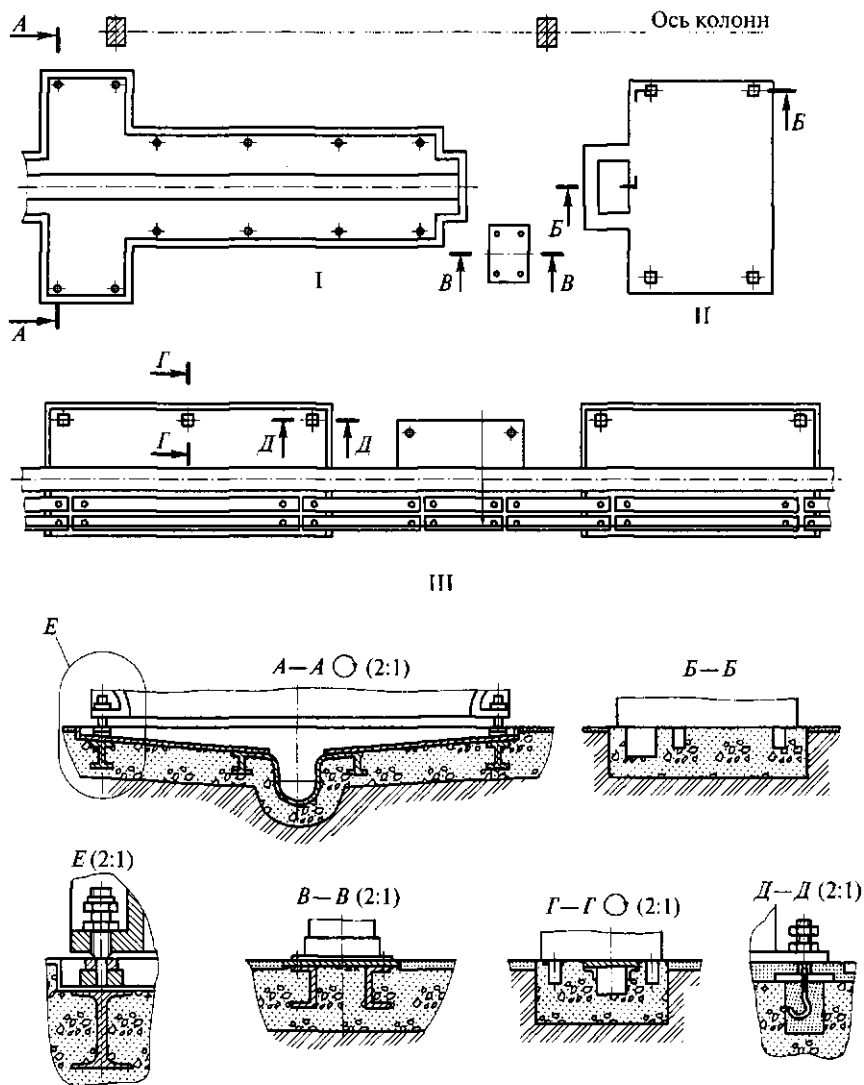


Рис. 15.1. Установка оборудования в станочной системе на балочном (I) и бетонном (II) фундаменте, в линию с жесткой транспортной связью (III)

ные линии), указывают на колонне ее номер и проставляют ось. Относительно колонн на полу определяют жесткие точки расположения осей (плашки). Кроме того, в нескольких местах, обычно у подошвы колонны, наносят высотные отметки (реперы). Уровень чистого пола устанавливают с учетом прокладки в полу трубопроводов, укладки мозаичной или другой плитки. На рис. 15.1 в качестве примера показана часть фундаментного чертежа, по которому производят установку оборудования в станочной системе.

**Порядок монтажа.** Последовательность монтажа станков в станочные системы следующая:

- установка в каналах пола конвейеров для удаления стружки;
- завоз оборудования и предварительная расстановка его на фундаментах согласно фундаментному чертежу и общему виду линии; вначале завозят и монтируют основное технологическое оборудование, а затем ПР, контрольные и транспортные устройства, магазины, стеллажи и др.
- удаление с оборудования средств противокоррозионной защиты и покрытие его тонким слоем чистого масла;
- установка оборудования в горизонтальной и вертикальной плоскостях с «привязкой» к колоннам;
- закладка в отверстия фундамента фундаментных болтов, их заливка цементным раствором и (после его затвердевания) затяжка болтов;
- установка гидростанций, воздухоочистительных станций, шкафов электрооборудования, стенов и аналогичного оборудования согласно указаниям в фундаментном чертеже;
- укладка в полу труб для сливной и напорной системы подачи СОЖ и других коммуникаций, присоединение их к оборудованию;
- разводка коробов, трубопроводов гидросистем, электропитания, сжатого воздуха и прочих коммуникаций, размещаемых над полом;
- закладка в короба трубопроводов, электропроводки и соединение их с оборудованием, шкафами электрооборудования и пультами; прозванивание (проверка правильности соединения); выполнение работ по заземлению оборудования.

Методы монтажа и проверки точности расположения в линии оборудования зависят от многого. Для сблокированных линий станки и устройства, требующие высокой точности расположения, предварительно устанавливают в продольном направлении по натянутой струне (тонкой проволоке). При монтаже оборудования выдерживают запроектированные расстояния от струны до фиксаторов, технологических отверстий или других баз в корпусах приспособлений, транспортных устройств и других механизмов.

### 15.3. Проверка установки и испытания станков

**Проверка установки.** Прежде всего, определяют расположение станков и другого технологического оборудования относительно колонн и чистого пола цеха в горизонтальной и вертикальной плоскостях с помощью рулетки. Точность взаимного расположения станков и устройств в продольном направлении проверяют по штанге конвейера или транспортным планкам (рис. 15.2), а взаимного расположения оборудования по высоте — контрольной линейкой 2, уложенной на поверхности соседних станков 3. На линейку устанавливают уровень 1 с ценой деления 0,01 мм. Допустимая погрешность установки оборудования по высоте в продольном и поперечном направлениях 0,04...0,05 мм на длине 1 м.

При монтаже оборудования заблокированных линий с жесткой транспортной связью обеспечивают определенные перепады по высоте между верхними плоскостями базовой 6 и промежуточных 4 и 8 планок. Эти перепады составляют при заходе заготовки на базовую планку 0,1 мм, а при сходе с нее — 0,25 мм. Перепады проверяют щупом, определяя зазоры между линейкой 5, приложенной к промежуточной планке 4, и базовой планкой 6 с одной стороны и между линейкой 7, приложенной к базовой планке 6, и промежуточной планкой 8 с другой.

При монтаже заблокированных линий также проверяют правильность расположения штанги (ленты) и направляющих привода конвейера (рис. 15.3). Щупом толщиной 0,1 мм измеряют зазор между штангой 2 и направляющими роликами 1 при ручном перемещении штанги, отсоединенной от каретки 3 привода 6 конвейера. Одновременно проверяют параллельность штанги 2 относительно направляющих 5 предварительно выверенного привода 6. Для этой проверки используют стойку с индикатором 4, установленную на направляющих привода 6 и перемещаемую на длину хода каретки, при этом измерительный наконечник индикатора касается поверхности штанги.

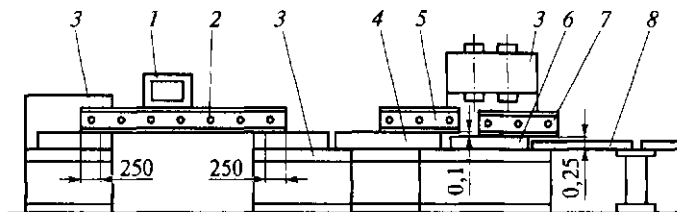
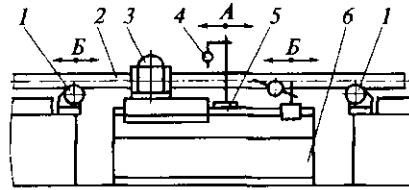


Рис. 15.2. Схема выверки станков в горизонтальной плоскости:  
1 — уровень; 2, 5, 7 — линейки; 3 — станки; 4, 8 — промежуточные планки;  
6 — базовая планка

Рис. 15.3. Схема проверки параллельности штанги конвейера и направляющих его привода:

1 — направляющие ролики; 2 — штанга; 3 — каретка; 4 — индикатор; 5 — направляющая; 6 — привод



Проверку параллельности штанги базовым плоскостям выполняют в горизонтальной плоскости (положение А и положение В). При отклонении от параллельности штанги свыше допустимых значений проводят регулировку узлов.

При монтаже и проверке точности взаимного расположения оборудования в несблокированных линиях сначала устанавливают основное технологическое и контрольного оборудование, а затем транспортное. Основное оборудование устанавливают с точностью  $\pm 5$  мм в продольном и поперечном направлениях по базовым отметкам, указанным на планировке станочной системы, относительно натянутой струны. В вертикальном направлении оборудование устанавливают с точностью  $\pm 1$  мм, используя регулируемые башмаки.

**Предпусковые испытания.** Испытание и приемку станочной системы после ее наладки на заводе-изготовителе и заводе-потребителе проводят в соответствии с техническими условиями (ТУ), которые предусматривают проверку укомплектованности оборудования (принадлежностями, инструментом, запасными узлами и деталями); точности сборки, работы станочной системы на холостом ходу и под нагрузкой. Проверяют качество изготовления, надежность работы оборудования и его узлов, заданную производительность обработки, удобство обслуживания при запроектированной численности персонала.

Продолжительность испытания при сдаче станочной системы комиссиям устанавливают в зависимости от сложности ее конструкции и требований, предъявляемых к обработанной детали, а также от места проведения испытаний. Обычно на заводе-изготовителе станочную систему испытывают в течение 0,5—1 смен и более, на заводе-потребителе — в течение 6—12 смен.

**Подготовка к пуску в условиях эксплуатации.** В начале рабочего дня проводят пуск станочной системы в следующем порядке: осмотр оборудования на отсутствие видимых неисправностей (поломок, трещин, течи масла); проверка нахождения всех механизмов и агрегатов в исходном положении; проверка уровня масла по маслоуказателям в баках, резервуарах, бачках для смазки и т. д.; проверка состояния режущих инструментов; ознакомление с записями в журнале работы, сделанными наладчиками предыдущей смены, и устранение отмеченных неполад-



док; смазка оборудования в соответствии с картой обслуживания системы смазки; проверка отключения вводного автомата после подачи напряжения кнопкой «Аварийный стоп»; подача звукового (или светового) предупредительного сигнала перед пуском электродвигателей; пуск станочной системы на холостом ходу или в наладочном режиме, проверка давления в агрегатах гидросистемы, включение системы смазки, проверка работы системы охлаждения, устранение замеченных неполадок; включение электродвигателей на 5... 10 мин перед пуском станочной системы на автоматический цикл; включение системы смазки за 20 мин до начала работы станков с гидродинамическими подшипниками; проверка запаса заготовок с учетом графика их доставки; включение станочной системы в работу в автоматическом цикле.

Междусменную передачу станочной системы производят в рабочем состоянии или при коротких остановках. При этом нельзя снимать настроенный инструмент. При остановке станочной системы в конце смены необходимо подать команду «Предварительный стоп» либо не подавать команду на начало следующего цикла. После остановки агрегатов необходимо в исходном положении снять напряжение. При сдаче станочной системы сменщику изделия, забракованные контрольными автоматами и контролерами ОТК, необходимо тщательно пере-проверить, отделить окончательный и исправимый брак. Окончательный брак после соответствующего оформления передают в изолятор, исправимый — исправляют в наладочном режиме на оборудовании станочной системы.

Перед окончанием смены должны быть выполнены все работы по уборке станочной системы, не связанные с ее остановкой. При большом количестве стружки, особенно чугуновой, необходимо остановить станочную систему и почистить оборудование.

Все основные неисправности, отклонения качества заготовок и состояния инструмента наладчики заносят в журнал и сообщают сменщикам.

#### **15.4. Техническое диагностирование отказов**

Важным элементом наладки и эксплуатации оборудования является техническое диагностирование, которое состоит в определении работоспособности оборудования; установлении форм проявления отказов и видов брака; создании методики поиска неисправностей и определения их причин без разборки или с частичной разборкой оборудования (при этом качество выпускаемой продукции не должно ухудшаться); прогнозировании времени дальнейшей безотказной работы оборудования.

Прогнозирование технического состояния всей станочной системы заключается в определении ее функционирования в будущем на основе оценки прошлого и настоящего. Основная цель прогнозирования — сократить потери производства путем научно обоснованного метода поиска неисправностей.

Методы диагностирования различаются в зависимости от того, когда они используются при наладке, эксплуатации или ремонте оборудования. Различают также методы диагностирования с использованием и без использования технических средств. Технические средства диагностирования бывают внешними по отношению к технологическому оборудованию, встроенными в оборудование, связанными с оборудованием каналами связи. В диагностических устройствах, входящих в состав оборудования, используют световые сигналы аварийных ситуаций («Нет смазки», «Поломка инструмента» и др.).

По глубине поиска дефектов методы диагностирования делятся на общие (работает или не работает оборудование) и поэлементные (с определением отказавшего элемента оборудования).

По объему информации различают методы, позволяющие получить сведения о моменте, месте и причине отказа или только о месте и причине отказа.

Для получения диагностической информации используют следующие параметры: уровень вибрации; акустические колебания; постоянные и переменные деформации и усилия; параметры процесса обработки (режим резания, длительность цикла обработки, количество выпущенной продукции, температура инструмента). Помимо этого определяют состояние соприкасающихся сред и проводят дефектоскопию.

В процессе поиска дефекта элементы, узлы и отдельные агрегаты могут находиться в исправном (работоспособном), неисправном (неработоспособном) и непроверенном состояниях. Поиск неисправностей заключается в установлении отказавшего элемента (группы элементов). В начале поиска считают, что все элементы оборудования находятся в непроверенном состоянии.

При возникновении неисправностей, создающих реальную угрозу для обслуживающего персонала или вызывающих прогрессирующее разрушение механизмов и устройств станка и сопровождающихся ненормальным шумом, скрежетом, треском, обильной утечкой масла, воздуха или СОЖ, появлением открытого огня, дыма, запаха горелой изоляции и т. п., станок должен быть немедленно отключен с помощью вводного автомата до выявления и устранения повреждений.

Если отказ вызвал лишь прерывание цикла работы станка или невыполнение каких-либо пусковых команд, работа на станке должна быть приостановлена, но при этом никаких от-

ключений в цепях управления не производится, так как для определения места и причины возникновения неисправности необходимо провести анализ состояния системы управления.

Чтобы определить неработоспособный узел и причину его отказа, необходимо выполнить ряд тестов диагностирования исправности или работоспособности всей станочной системы. Например, при остановке станка сначала нажимают кнопку «Пуск», а если станок не включается, то приступают к диагностированию состояния (проверяют работу предохранительных механизмов и т. п.).

При поиске неисправности необходимо прежде всего проверить работоспособность каждого механизма, участвующего в реализации соответствующей функции станка: убедиться в срабатывании конечного выключателя системы управления станком (функциональное диагностирование), проверить выполнение станком или узлом станка специальных сигналов (команд). Таким образом, проверка технического состояния оборудования состоит из отдельных переходов, называемых элементарными проверками. После их проведения можно получить сведения о работоспособности проверяемого узла или системы станка.

При повышенных требованиях к качеству наладки и работоспособности оборудования применяют более сложные методы диагностирования: на оборудование устанавливают различные измерительные преобразователи (тензометрические и др.), сигналы с которых снимают регистрирующими устройствами; сравнивают значения полученных параметров с паспортными; по установленным отклонениям определяют отказавший элемент.

На рис. 15.4 показан прибор для контроля состояния подшипников качения без разборки узла. Действие прибора основано на измерении скорости распространения шумов, возникающих при соударении двух тел, что позволяет фиксировать повреждение на дорожке качения подшипника или в самом теле качения.

Прибор состоит из чувствительного элемента 1, который поглощает сигналы возникающего шумового эффекта, и измерительного прибора 2, позволяющего получать информацию в виде звуковых импульсов непосредственно или с помощью наушников 4. Настройка прибора состоит в установке на лимбе 3 значений диаметра исследуемого вала и частоты его вращения. Питание прибора — от батарей.

Метод диагностирования механизма, основанный на использовании изменения характера движения рабочего органа, заключается в сопоставлении эталонной, характеризующей нормальную работу, и фактической скорости последнего звена механизма. Эталонная скорость снимается в начале эксплуатации

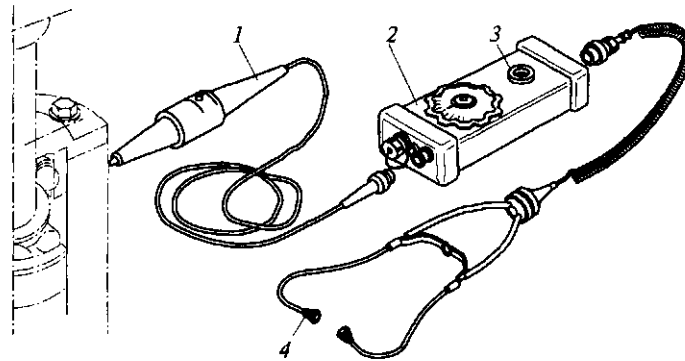


Рис. 15.4. Прибор для контроля технического состояния подшипников качения:

1 — чувствительный элемент; 2 — измерительный прибор; 3 — лимб; 4 — наушники

(или после ремонта оборудования), и ее значения записываются в документации. Изменение скорости в процессе эксплуатации связано с техническим состоянием оборудования. Диагностирование выполняется наложением эталонной характеристики последнего звена механизма на фактическую, имеющую отклонения от эталонной.

Один из диагностических параметров — длительность рабочего цикла. В процессе эксплуатации техническое состояние оборудования ухудшается, что приводит к увеличению средней длительности цикла, в том числе на лимитирующей операции. Возможные причины: изнашивание механизмов и разбалтывание соединений, засорение дросселей в гидравлической системе и т. п.

Диагностирование общего технического состояния станочной системы по длительности цикла можно выполнять с помощью секундомеров: измеряют длительность 5—10 циклов, вычисляют ее среднее значение и сравнивают его с заданным в технической документации. Однако существуют и автоматизированные приборы для измерения длительности цикла. На рис. 15.5 показан прибор с индивидуальной системой управления. Его

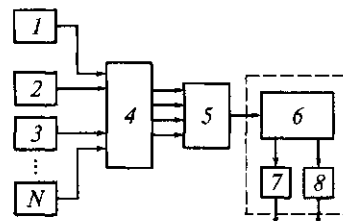


Рис. 15.5. Структурная схема прибора для контроля длительности цикла:

1, 2, 3, ..., N — измерительные преобразователи; 4 — шкаф электрооборудования; 5 — разъемы; 6 — блок промежуточных реле; 7, 8 — электросекундомеры

подключают через разъемы 5, имеющиеся в шкафу 4 электрооборудования. В состав прибора входит блок 6 промежуточных реле, обеспечивающий логическое соединение электросхемы прибора с электросхемами оборудования. Длительность цикла регистрируется электросекундомером 7, а его элементов — электросекундомером 8. Информация о работе оборудования поступает на прибор от измерительных преобразователей 1, 2, 3, ..., N (по количеству единиц технологического оборудования в станочной системе).

В процессе эксплуатации оборудования необходимо следить за правильностью наладки устройств диагностического контроля, так как их использование существенно сокращает время поиска неисправностей и, следовательно, простой оборудования. В случае отсутствия на станке диагностических устройств поиск места и причины отказа осуществляют с помощью технической документации на оборудование, содержащей раздел по типовым неполадкам, причинам их возникновения и способам устранения, а также с помощью логических алгоритмов поиска неисправностей.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как подготавливается помещение на заводе-потребителе для монтажа станков в станочную систему?
2. Как проверяется расположение станков относительно колонн цеха и взаимное расположение оборудования?
3. В какой последовательности осуществляется подготовка станочной системы к пуску?
4. Что такое техническое диагностирование?
5. Какие устройства применяются для диагностирования отказов оборудования?

## ГЛАВА 16

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Современные экономические условия ставят перед машиностроительными и станкостроительными предприятиями, производящими сложную наукоемкую продукцию, задачи повышения конкурентоспособности и упрочнения положения на рынке. Для решения этих задач в XXI в. применяют информационные технологии как один из инструментов повышения эффективности процессов проектирования и производства продукции. За счет автоматизации и информационной интеграции обеспечивается сокращение сроков разработки и вывода станочной продукции в рыночную среду.

Методическую основу улучшения деятельности предприятия составляет анализ и совершенствование жизненного цикла (ЖЦ) продукции, выявление процессов, входящих в его состав, и компьютерное управление технологическим оборудованием и производством.

На примере наукоемкого изделия машиностроения — металлорежущего станка — рассмотрим понятия продукции, ее жизненного цикла и информации, которая описывает ее на различных этапах ЖЦ. Ранее были рассмотрены отдельные металлорежущие станки и другое технологическое оборудование на различных этапах ЖЦ.

Жизненный цикл металлорежущего станка — совокупность взаимосвязанных процессов (стадий) создания и последовательного изменения состояния от обработки сырья для его изготовления до эксплуатации и утилизации изделия.

Жизненный цикл металлорежущего станка в России обычно составляет полтора-два десятка лет, но есть станки со сроком эксплуатации 30 и более лет.

К основным стадиям ЖЦ металлорежущего станка относятся (рис. 16.1):

- маркетинг, на основании которого подготавливается техническое задание на проектирование;
- проектирование и разработка конструкции, в том числе планирование и контроль процессов проектирования и разработки технологии обработки и сборки;

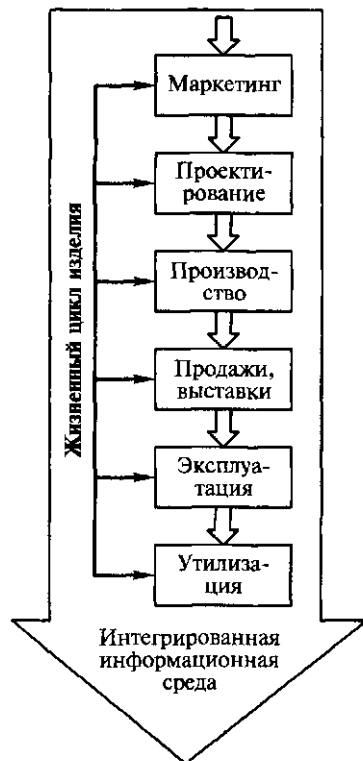


Рис. 16.1. Схема жизненного цикла изделия

- производство станка (закупка материалов и комплектующих, изготовление деталей, узлов и станка в целом, упаковка и хранение;
- продажи, выставки;
- эксплуатация станка (транспортирование, монтаж и ввод в эксплуатацию у заказчика, техническая помощь и сервисное обслуживание у заказчика, непосредственно эксплуатация заказчиком, модернизация);
- утилизация в конце полезного срока службы.

Применение средств вычислительной техники меняет весь процесс проектирования оборудования и его эксплуатации на предприятии. Это особенно важно, поскольку затраты на поддержание

оборудования в работоспособном состоянии могут быть равны или даже превышать затраты на его приобретение.

Традиционный подход, сложившийся в первоначальный период внедрения вычислительной техники в производственные процессы на предприятиях, изготавливающих металлорежущие станки, состоял в том, что с ее помощью решались отдельные, частные задачи, относившиеся к различным стадиям ЖЦ продукции (рис. 16.2). Исторически первыми здесь были задачи, позволяющие автоматизировать отдельные учетно-управленческие функции в рамках так называемой автоматизированной системы управления производством (АСУП). Почти одновременно с ними появились автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). Затем стали разрабатываться и внедряться системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволили использовать средства вычислительной техники в процессах конструкторской и технологической подготовки производства (в зарубежной технической литературе они известны как CAE, CAD, CAM). Подготовка технических заданий, проектирование, изготовление и экс-

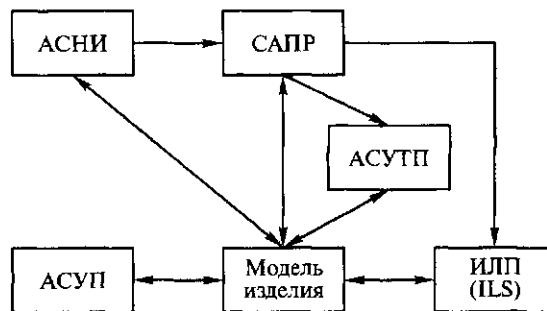


Рис. 16.2. Использование обобщенных компьютерных систем на разных стадиях жизненного цикла продукции

плуатация велась в соответствии с рекомендациями автоматизированной системы научных исследований (АСНИ).

Для оптимизации стоимости работ в процессе ЖЦ используется интегрированная логистическая поддержка (ИЛП), которая на английском языке обозначается как ILS.

Для каждого конкретного изделия создается своя интегрированная система управления (ИАСУ). Например, для автоматизированного завода (АЗ) добавляются к указанным ранее АСУ гибкими производственными участками (АСУ ГАУ), АСУ транспортно-складской системой (АСУАТСС), АСУ инструментальным обеспечением (АСИО) и другие.

По мере увеличения числа таких систем на предприятиях возникла проблема передачи информации между ними, что естественным образом привело к идее информационной интеграции.

Современная эпоха развития интеграции производственных данных во всем мире проходит под эгидой CALS-технологий. CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) — принятая в большинстве промышленно развитых стран концепция информационной поддержки ЖЦ продукции. В основе этой концепции лежит использование единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), обеспечивающего единообразные способы информационного взаимодействия всех участников ЖЦ продукции: заказчиков (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. Эта концепция воплотилась в новом классе информационных технологий, поддерживаемых международными стандартами.

Концепции и стандарты CALS определяют набор правил и регламентов, в соответствии с которыми организуется информационное взаимодействие участников на этапах ЖЦ: проектирование, производство, испытания, эксплуатация, сервис.



Стратегия CALS предусматривает двухэтапный процесс внедрения.

1. Автоматизация отдельных процессов (или этапов) ЖЦ изделия и представление данных в электронном виде. Предполагается, что на этом этапе обмен данными между исходными системами осуществляется отдельными файлами (электронными документами) на магнитных носителях либо по сетям.

2. Интеграция автоматизированных процессов и относящихся к ним данных. Взаимодействие осуществляется с помощью программных средств в режиме реального времени; параллельная работа исполнителей организуется через единую компьютерную сеть.

В настоящее время на российских и на зарубежных предприятиях, производящих и эксплуатирующих металлорежущие станки, автоматические линии РТК, ПР и другое технологическое оборудование в составе современных заводов, идет подготовка к внедрению CALS-технологий при изготовлении наукоемкой продукции. Исходным положением является широкое внедрение ЧПУ на базе компьютерной техники, систем станков (автоматических линий, гибких автоматических линий, РТК и другого оборудования), которые имеют в системе управления технические средства для их взаимной информационной поддержки и на базе этого организацию производства и бизнеса. Автоматизируется процесс управления предприятием, что позволяет изменять структуру ЖЦ производимого изделия.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что включается в жизненный цикл металлорежущего станка?
2. Каковы этапы внедрения CALS-технологий?
3. Какие обобщенные компьютерные системы используются для автоматизации жизненного цикла продукции?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Босинзон М. А.* Перспективы создания и применения мехатронных модулей линейных и вращательных перемещений металлорежущих станков. — М.: Изд-во МГОУ, 2002. — 198 с.
2. *Вереина Л. И.* Подбор сменных зубчатых колес в кинематических цепях зуборезных станков с помощью ЭВМ // Станки и инструмент. — 1989. — № 4. — С. 27—28.
3. *Вереина Л. И., Усов Б. А.* Конструкции и наладка токарно-заточных станков: Учебник для СПТУ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1985. — 191 с.
4. *Вереина Л. И.* Справочник токаря: Учеб. пособие для нач. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2002. — 448 с.
5. *Вереина Л. И.* Обработка на строгальных и долбежных станках: Справочник: Библиотека технолога. — М.: Машиностроение, 2002. — 304 с.
6. *Вереина Л. И., Краснов М. М.* Техническая механика: Учебник для сред. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 302 с.
7. *Власов С. Н., Годович Г. М., Черпаков Б. И.* Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учебник для техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1995. — 463 с.
8. *Власов С. Н., Черпаков Б. И.* Справочник наладчика агрегатных станков и автоматических линий. — 3-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2002. — 384 с.
9. *Иванов Г. М., Свешников В. К., Черпаков Б. И.* Оборудование для водоструйного резания // СТИН. — 2000. — № 4. — С. 28—32.
10. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении: Учеб. пособие / Т. А. Альперович, В. В. Барабанов, А. Н. Давыдов и др.; Под ред. Б. И. Черпакова. — М.: ГУП «ВИМИ», 1999. — 512 с.
11. *Косовский В. Л.* Справочник молодого фрезеровщика. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1992. — 400 с.
12. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1987. — 960 с.
13. *Локтев Д. А.* Современные инструментальные материалы и режущий инструмент в производственной программе фирмы *KENNA-METAL HERTEL AG*: Каталог. — 6-е изд., перераб. и доп. — М., 1998. — 92 с.
14. Машиностроение: Энциклопедия. Т. IV-7: Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование / Б. И. Черпаков, О. И. Аве-

рьянов, Г. А. Адоян и др.; Под ред. Б. И. Черпакова. — М.: Машиностроение, 1999. — 863 с.

15. *Наерман М. С., Наерман Я. М., Исаков А. Э.* Справочник молодого шлифовщика. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1991. — 207 с.

16. *Овумян Г. Г., Адам Я. И.* Справочник зубореза. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1983. — 223 с.

17. *Петрик М. И., Шишков В. А.* Таблицы для подбора зубчатых колес. — М.: Машиностроение, 1973. — 528 с.

18. *Покровский Б. С., Скакун В. А.* Справочник слесаря: Учеб. пособие для нач. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 384 с.

19. *Попов С. А.* Шлифовальные работы: Учебник для СПТУ. — М.: Высш. шк., 1987. — 383 с.

20. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник: В 3 т./ А. С. Проников, О. И. Аверьянов, Ю. С. Алполонов и др.; Под общ. ред. А. С. Проникова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана; Машиностроение; Изд-во МГТУ «СТАНКИН», 2000. — 1468 с.

21. *Сандаков М. В., Вегнер В. А., Вегнер М. К.* Таблицы для подбора шестерен: Справочник. — 6-е изд., доп. — М.: Машиностроение, 1988. — 571 с.

22. *Сахарова О. П., Эстерзон М. А.* Автоматизированный высокоточный гравировальный станок для многопроходного строгания рисунков модельных форм // Промышленность России. — 1999. — № 5. — С. 7—9.

23. Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков. — М.: Анахарсис, 2002. — 304 с.

24. *Черпаков Б. И.* Технологическая оснастка: Учебник для сред. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 288 с.

25. *Черпаков Б. И., Альперович Т. А.* Металлорежущие станки: Учеб. для нач. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 368 с.

26. *Черпаков Б. И., Вереина Л. И.* Автоматизация и механизация производства: Учебник для техникумов. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 384 с.

27. *Черпаков Б. И., Кашева М. Я.* Концепция развития инновационного станкостроения России до 2010 года // Станкостроение: базовые и информационные технологии: Сб. науч. трудов ЭНИМС / Под ред. Б. И. Черпакова. — М., 2001. — С. 3—13.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	5
Основные сокращения .....	5
<b>ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Классификация .....	7
1.2. Размерные ряды станков .....	12
1.3. Движения в станках .....	14
1.4. Управление станками .....	17
1.5. Показатели технического уровня и надежности станков .....	21
<b>ГЛАВА 2. ТИПОВЫЕ УЗЛЫ И МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ .....</b>	<b>33</b>
2.1. Станины и направляющие .....	33
2.2. Шпиндельные узлы .....	37
2.3. Передачи, применяемые в станках .....	56
2.4. Муфты и тормозные устройства .....	67
2.5. Механизмы реверса .....	70
2.6. Коробки скоростей .....	72
2.7. Коробки подач .....	74
2.8. Электрооборудование и элементы систем управления станками .....	79
2.9. Мехатронные узлы .....	89
2.10. Системы смазывания и охлаждения .....	92
<b>ГЛАВА 3. ТОКАРНЫЕ СТАНКИ .....</b>	<b>96</b>
3.1. Назначение и классификация .....	96
3.2. Токарно-винторезные станки с ручным управлением .....	96
3.3. Токарно-винторезные станки с ЧПУ .....	106
3.4. Токарно-револьверные станки .....	112
3.5. Токарно-затыловочные станки .....	118
3.6. Токарно-карусельные станки .....	123
3.7. Лоботокарные станки .....	128
3.8. Токарные полуавтоматы и автоматы .....	130
<b>ГЛАВА 4. СВЕРЛИЛЬНЫЕ И РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ .....</b>	<b>149</b>
4.1. Назначение и классификация .....	149
4.2. Сверлильные станки с ручным управлением .....	151
4.3. Сверлильные станки с ЧПУ .....	153
4.4. Горизонтально-расточные станки .....	161
4.5. Координатно-расточные станки .....	169

<b>ГЛАВА 5. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ</b> .....	174
5.1. Назначение и классификация .....	174
5.2. Круглошлифовальные станки .....	174
5.3. Бесцентрово-шлифовальные станки .....	184
5.4. Внутришлифовальные станки .....	188
5.5. Плоскошлифовальные станки .....	194
5.6. Шлифовальные станки для финишной обработки .....	198
<b>ГЛАВА 6. ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ</b> .....	203
6.1. Зубодолбежные станки .....	203
6.2. Зубофрезерные станки .....	210
6.3. Зубострогальные станки .....	216
6.4. Зубоотделочные станки .....	221
6.5. Настройка кинематических цепей .....	223
6.6. Зубообрабатывающие станки с ЧПУ .....	228
<b>ГЛАВА 7. РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ</b> .....	232
7.1. Резьбофрезерные станки .....	232
7.2. Станки для нарезания резьбы метчиками .....	238
7.3. Станки для вихревого нарезания резьбы .....	240
7.4. Резьбошлифовальные станки .....	240
<b>ГЛАВА 8. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ</b> .....	252
8.1. Основные типы станков .....	252
8.2. Горизонтальные консольно-фрезерные станки .....	253
8.3. Бесконсольные вертикально-фрезерные станки .....	255
8.4. Фрезерно-центровальные станки .....	256
8.5. Продольно-фрезерные станки .....	257
8.6. Приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков .....	258
8.7. Фрезерные станки с ЧПУ .....	267
<b>ГЛАВА 9. СТРОГАЛЬНЫЕ, ДОЛБЕЖНЫЕ И ПРОТЯЖНЫЕ СТАНКИ</b> .....	274
9.1. Общие сведения о строгальных и долбежных станках .....	274
9.2. Поперечно-строгальные станки .....	278
9.3. Продольно-строгальные станки .....	288
9.4. Комбинированные строгальные станки .....	292
9.5. Долбежные станки .....	297
9.6. Протяжные станки .....	300
<b>ГЛАВА 10. МНОГОЦЕЛЕВЫЕ СТАНКИ</b> .....	305
10.1. Общие сведения .....	305
10.2. Станки для обработки корпусных деталей .....	313
10.3. Станки для обработки деталей типа тел вращения .....	320
10.4. Мониторинг состояния инструмента и процесса обработки .....	324
<b>ГЛАВА 11. АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ</b> .....	328
11.1. Классификация и типовые компоновки .....	328

11.2. Силовые головки .....	332
11.3. Силовые столы .....	335
11.4. Поворотные делительные столы .....	337
11.5. Агрегатные станки с ЧПУ .....	338
<b>ГЛАВА 12. РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ .....</b>	<b>348</b>
12.1. Общие требования .....	348
12.2. Конструкции типовых РТК .....	348
12.3. Средства, обеспечивающие безопасность работы персонала .....	358
<b>ГЛАВА 13. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА .....</b>	<b>362</b>
13.1. Предпосылки к созданию станков нового поколения .....	362
13.2. Направления развития металлорежущих станков .....	369
13.3. Многофункциональные станки с ручным управлением ....	371
13.4. Станки с параллельной кинематикой .....	373
13.5. Оборудование для водоструйного резания .....	374
13.6. Новые конструкционные материалы в станкостроении .....	380
<b>ГЛАВА 14. ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ .....</b>	<b>383</b>
14.1. Техническая документация .....	383
14.2. Транспортирование .....	384
14.3. Установка на фундамент .....	385
14.4. Испытания станков .....	388
<b>ГЛАВА 15. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТАНКОВ В СТАНОЧНЫХ СИСТЕМАХ .....</b>	<b>395</b>
15.1. Техническая документация .....	395
15.2. Монтаж станков в станочные системы .....	395
15.3. Проверка установки и испытания станков .....	398
15.4. Техническое диагностирование отказов .....	400
<b>ГЛАВА 16. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ .....</b>	<b>405</b>
Список литературы .....	409

*Учебное издание*

**Черпаков Борис Ильич,  
Верейна Людмила Ивановна**

**Технологическое оборудование машиностроительного  
производства**

**Учебник**

3-е издание, исправленное

Редактор *Г. Г. Андреева*  
Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*  
Компьютерная верстка: *В. А. Крыжко*  
Корректоры *С. Ю. Свиридова, Т. Н. Морозова*

Изд. № 103108113. Подписано в печать 02.06.2009. Формат 60×90/16.  
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 26,0.  
Тираж 1 500 экз. Заказ № 28734.

Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.  
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48. Тел./факс: (495) 648-0507, 616-0029.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством  
электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».  
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**



**Издательский центр  
«Академия»  
[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)**