

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Н. Н. СЕРГЕЛЬ

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

**Учебное пособие
для студентов инженерных специальностей
высших учебных заведений**

**В 2 частях
Часть 1**

**Допущено Министерством образования
Республики Беларусь в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений
по машиностроительным специальностям**

**Барановичи
РИО БарГУ
2009**

УДК 621.9.06 (075.8)

ББК 65.305.46

С32

А в т о р

Н. Н. Сергель

Р е ц е н з е н т ы:

В. И. Ходырев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»

Белорусско-Российского университета;

М. И. Михайлов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого

А. И. Кочергин, кандидат технических наук, профессор кафедры Белорусского национального технического университета

Сергель, Н. Н.

С32

Металлорежущие станки [Текст] : учеб. пособие для студентов инженер. специальностей высш. учеб. заведений : в 2 ч. / Н. Н. Сергель. — Барановичи : РИО БарГУ, 2009. — Ч. 1. — 257, [3] с. — экз.

ISBN 978-985-498-232-8 (Ч. 1)

ISBN 978-985-498-231-1

В пособии дается сжатое описание основного современного металлорежущего оборудования с учетом предполагаемых направлений его развития.

Освещены вопросы и темы, предусмотренные программой курсов, изучающих устройство, конструкцию и применение металлорежущих станков.

Книга предназначена для студентов машиностроительных специальностей университетов, может быть полезна конструкторам, технологам и эксплуатационникам оборудования машиностроительных предприятий.

УДК 621.9.06 (075.8)

ББК 65.305.46

ISBN 978-985-498-232-8 (Ч. 1)

ISBN 978-985-498-231-1

© Сергель Н. Н., 2009

© БарГУ, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>	5
1 Общие сведения о металлорежущих станках и устройстве их узлов . . .	14
1.1 Классификация металлорежущих станков	14
1.2 Техничко-экономические показатели станков	17
1.3 Основы кинематики и движения в станках	27
1.4 Типовые механизмы и детали металлообрабатывающих станков	46
1.5 Типовые шпиндельные узлы металлорежущих станков	52
1.6 Типовые механизмы металлорежущих станков	58
1.7 Приводы металлорежущих станков	77
2 Системы управления металлообрабатывающих станков	93
2.1 Основы управления станками	93
2.2 Аналоговые системы управления	97
2.3 Числовое программное управление станками	113
2.4 Технологические возможности и конструктивные особенности станков с ЧПУ	124
3 Устройство металлообрабатывающих станков и их эксплуатация	140
3.1 Станки токарной группы	140
3.2 Токарные автоматы и полуавтоматы	169
3.3 Токарные станки с ЧПУ	213
3.4 Сверлильные и расточные станки	222
3.5 Сверлильные и расточные станки с ЧПУ	250

*Моим родителям
Николаю Фомичу и
Марии Ивановне
посвящаю*

Предисловие

Данное учебное пособие сформировалось на основе курса лекций, прочитанного на протяжении нескольких лет на инженерном факультете Барановичского государственного университета.

Учебная дисциплина «Металлорежущие станки» базируется на знании студентами теоретической механики, сопромата, деталей машин, теории резания и режущего инструмента, технического черчения и др. и является базой для усвоения специальных предметов при подготовке инженера-механика. Без знания этого предмета невозможно в достаточном объеме усвоить технологию машиностроения, конструирование станков, их эксплуатацию.

При изучении учебной дисциплины «Металлорежущие станки» пугает большой объем предлагаемого материала, но это впечатление обманчиво. Как в детстве мы из малого количества элементов конструктора собирали различные машины и устройства, так и металлорежущие станки компонуются из ограниченного числа сходных по конструкции и работе узлов и деталей, которые могут иметь некоторые особенности в зависимости от выполняемой данным станком работы. Задачи студента при изучении курса четко классифицировать полученные сведения и на основе этого сформировать свое знание предмета.

Рассмотренные в учебном пособии станки не представляют полный спектр металлорежущего оборудования, но являются на сегодняшний день наиболее применимыми. Поэтому нельзя ограничивать свои знания в данной области предложенными сведениями.

Изучение дисциплины должно показать студентам место станков в общем цикле производства машин, продемонстрировать их важность в жизни всего общества и вселить в будущего специалиста гордость за выбранную профессию. Об А. Пугачевой и Битлах через тысячу лет никто не вспомнит, а изобретение токарного станка не забудут никогда. Никакие нанотехнологии их не вытеснят, потому, что оборудование для нанотехнологий надо делать на металлорежущем станке.

Введение

Краткий исторический обзор создания и развития станкостроения. Первое устройство для точения приводилось в движение рукой с помощью лука помощником токаря. Потом конструкцию усовершенствовали и заготовку стали вращать с помощью педали ногой. Устройство прикреплялось к двум соседним деревьям. Между двумя привязанными к древесным стволам отточенными кольщиками — прообразами центров — крепилось обрабатываемое изделие (рис. 1).

В начале XV века основание токарного станка представляло собой деревянную скамейку (рис. 2). На скамейке-станине находились две бабки, соединенные брусом, служившим опорой для резца. Это избавляло токаря от необходимости держать резец на вису. Детали станка изготовлялись из дерева. Над станком свешивалась укрепленная на столбе гибкая жердь. К ее концу прикреплялась веревка, которая обвивалась вокруг заготовки, спускалась вниз и привязывалась к деревянной педали. Нажимая на педаль, токарь приводил заготовку во вращение. Применение ножного привода освобождало обе руки и токарь мог держать резец значительно увереннее.

Производство огнестрельного оружия, в особенности в части обработки стволов, способствовало всестороннему развитию металлообработки. Отлитые пушки вначале «оттирались», т. е. очищались от литейных земли, шлаков, заусенцев и пр., затем «головка» (прибыль) или верхняя часть отливки 1 отпиливалась круглой стальной пилой 2, насаженной на вал, приводимый во вращение водой (рис. 3). Подача пушки при обработке производилась по двум направляющим брускам 3 при помощи ворота 4.

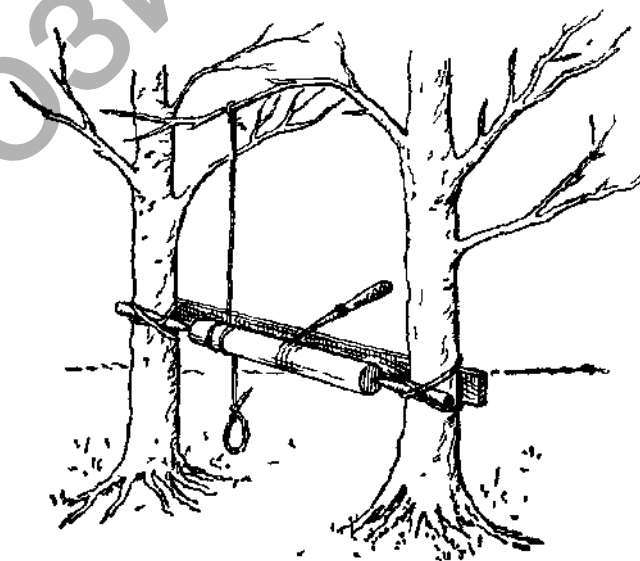


Рисунок 1 — Токарное устройство с ножным приводом

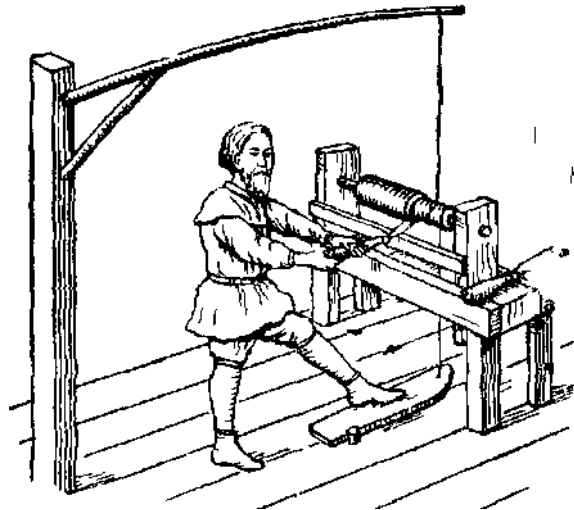


Рисунок 2 — Токарный станок, приводимый в движение ногами (из книги «Дом 12-ти братьев Менделя», 1400)

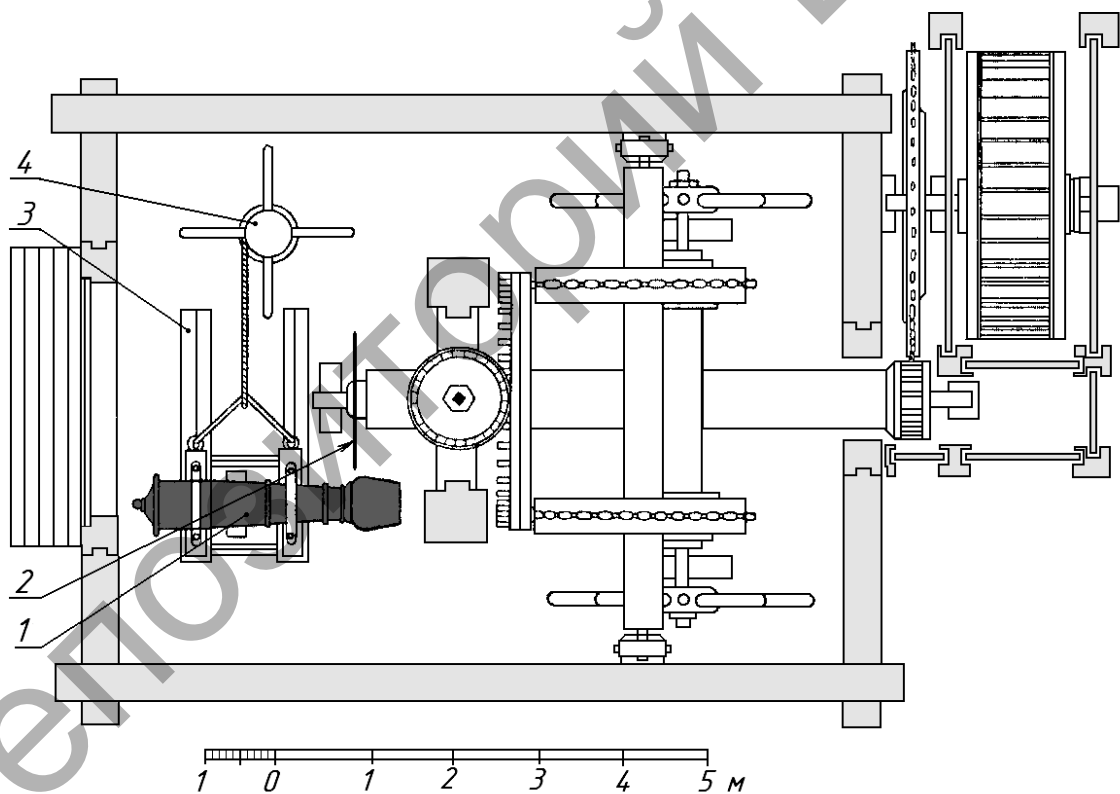
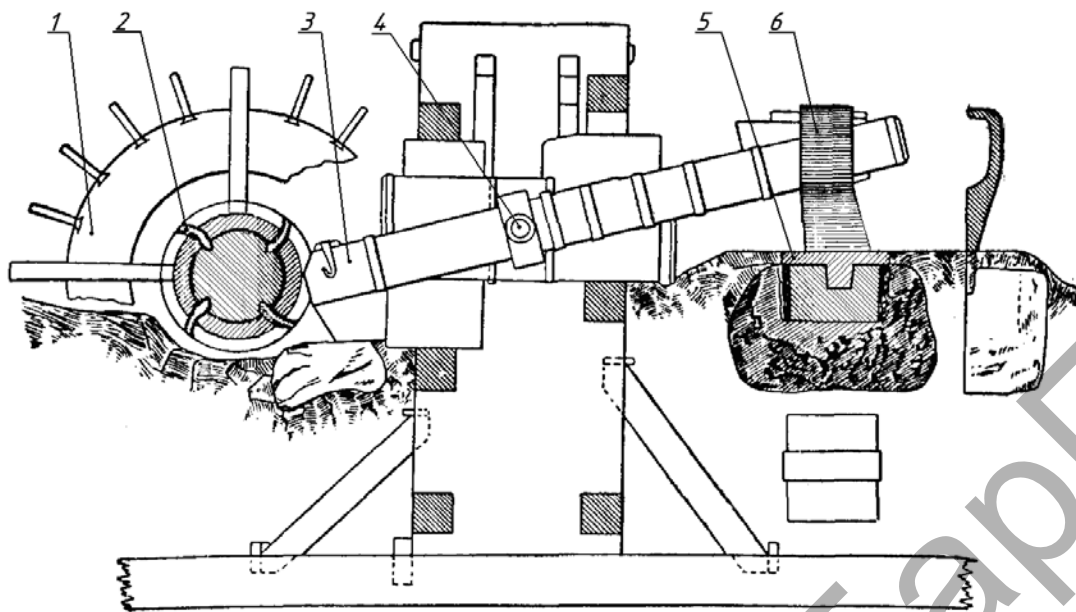


Рисунок 3 — Отрезка прибыли у пушки дисковой пилой

Из машин, применявшихся в металлообработке в мануфактурный период, наибольшее значение имели прессы, прокатные машины, механические молоты (рис. 4), сверлильные станки, проволочно-волочильные машины, шлифовально-точильные машины.



1 — водяное колесо; 2 — толкатели; 3 — рукоятка молота; 4 — ось; 5 — заготовка;
6 — молот

Рисунок 4 — Механический молот

Весьма интересны горизонтальные сверлильные машины для сверления стволов пушек (рис. 5).

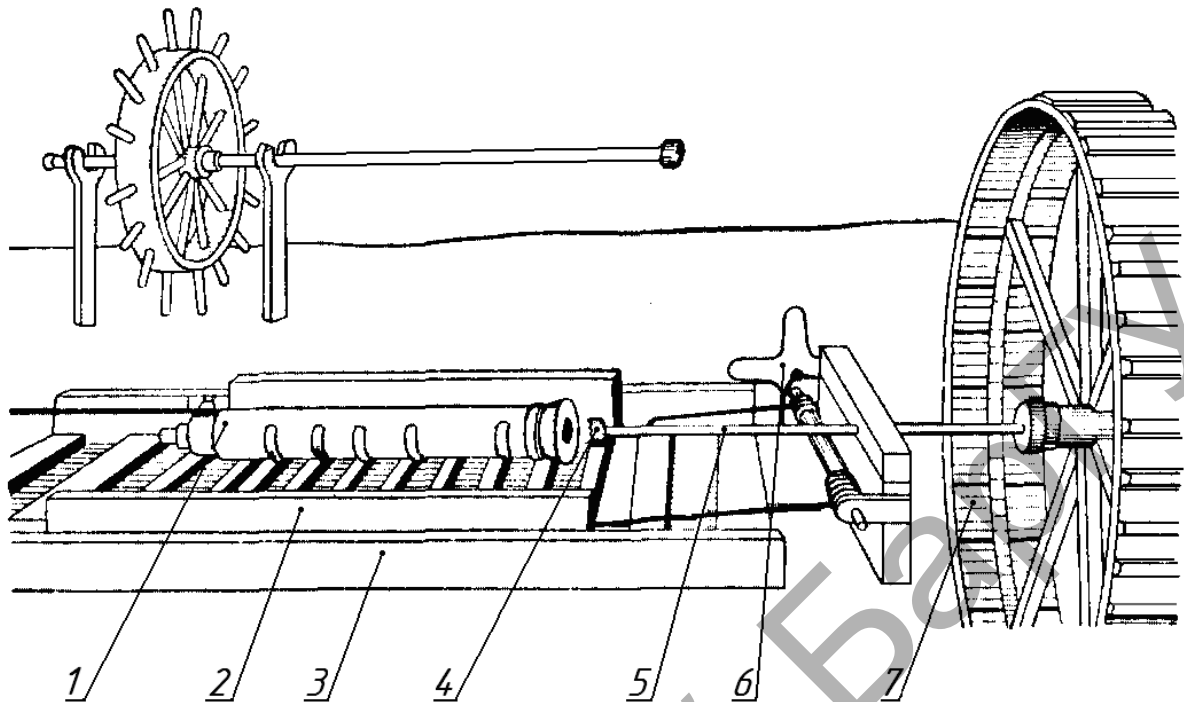
Уже в средние века изготовлялись чугунные зубчатые колеса для станков и машин. Большие зубчатые колеса отливались с зубьями, причем оставлялся только небольшой припуск на отделку. Зубья получались более точными, чем нарезанные на станке, и более износоустойчивыми за счет сохранения литейной корки.

Небольшие стальные колеса отковывались в виде сплошных заготовок, на которых нарезались зубья. Это привело к появлению зубообрабатывающих станков. Зуборезные станки, изобретение которых относится к 30-м годам XIX столетия, имелись двух видов:

- с вращающейся фрезой, или шарошкой, для нарезки малых колес. Фреза имела форму, соответствовавшую профилю впадины зуба;
- с резцом, имевшим прямолинейное движение, для строгания зубьев больших колес.

Развитию русского станкостроения в первой половине XVIII века способствовали труды А. К. Нартова. В 20-х годах XVIII века он демонстрировал подручник резца с винтовым приводом подачи. Последовательно развивая идею самоподачи суппорта, А. К. Нартов реализовал ее в 1729 году.

Современник Нартова М. Сидоров в 1714 году изготовил многопозиционный станок, который сверлил одновременно 24 ружейных ствола. Через год Я. Батищев создал хонинговальный станок, или, как тогда говорили, обтиральную машину, для одновременной отделки 12 стволов. Машина осуществляла возвратно-поступательное и вращательное движение инструмента с помощью храпового механизма. Станки Н. М. Сидорова и Я. Батищева оказались столь удачными, что проработали более 100 лет.



1 — отливка ствола; 2 салазки; 3 — направляющие; 4 — шарошка; 5 — шест; 6 — ворот; 7 — водяное колесо

Рисунок 5 — Горизонтальная сверлильная машина

Новые станки и технологические процессы в XVIII веке позволили в России освоить производство взаимозаменяемых деталей и узлов на 70—80 лет раньше, чем в Европе.

История развития станкостроения в Республике Беларусь. После третьего раздела Речи Посполитой в конце XVIII века, когда белорусские земли отошли к Российской Империи, нашей родине была отведена роль аграрного придатка. Поэтому речь о промышленном развитии в XVIII веке на территории современной Беларуси вести не приходится. Какие-то данные о ремесленной и промышленной металлообработке в Беларуси относятся к последней трети XIX века, когда с 1860-х по 1900-е годы численность ремесленников в металлообработке возросла в несколько раз. Также вырос и рост объема производства металлообработки.

Промышленная революция в Беларуси в отличие от центральной России началась не с хлопчатобумажной, а с железообрабатывающей отрасли. Были открыты машиностроительные, механические, чугуно-литейные заводы. Количество заводов металлообрабатывающей промышленности за послереформенный период (с 1861 года) возросло с 4 до 50 (в 13 раз), а объем выпускаемой продукции увеличился с 0,5 млн до 5,6 млн р. В 1917 году металлообрабатывающая отрасль развивалась за счет выполнения заказов воюющей армии и железной дороги (табл. 1).

В Беларуси станкостроение как отрасль машиностроения и металлообработки начало действительно развиваться с 1920-го года, хотя в начале из-за недостатка

материальных, сырьевых и денежных ресурсов было принято решение провести концентрацию промышленности, закрыть от половины до $\frac{4}{5}$ существующих предприятий (табл. 2) [1].

Но уже в 1926 году на Минском металлообрабатывающем заводе Поляка, Дорского и Семенюка «Энергия» был изготовлен первый образец токарного станка, в 1927 году выпущена первая партия, началось освоение вертикально-сверлильных станков, 13 января 1928 года выпущены первый сверлильный и 10 токарных станков. В 1928 году в Минске на базе чугуно-литейного и машиностроительного завода «Металл», завода «Восход» и сельскохозяйственных мастерских создан машиностроительный завод «Коммунар» (в 1934 году выпустил первые металлорежущие станки). В 1932 году металлообрабатывающая промышленность республики произвела около 1 500 металлорежущих станков и свыше 15 000 различных машин [2]. В 1934 году работало 5 станкостроительных заводов (в Минске, Витебске, Гомеле), которые освоили изготовление поперечно-строгальных, сверлильных станков и гайконарезных автоматов. В 1940 году эти заводы выпустили 10,2% станков общесоюзного производства.

В 1952 году БССР превзошла довоенный уровень производства станков. С 1956 года начал выпуск продукции Барановичский завод стакопринадлежностей. В 1957 году Минский завод автоматических линий изготовил первый агрегатный станок, а в 1959 — первую автоматическую линию. Молодечненский станкостроительный завод с 1959 года специализируется по выпуску сверлильных и резьбонарезных станков и гайконарезных автоматов. Плоскошлифовальные станки высокой точности с 1960 года производит Оршанский станкостроительный завод «Красный борец», бесцентрово-шлифовальные станки — Витебский станкостроительный завод им. С. М. Кирова.

Особенно бурно развивалось машиностроение в Беларуси в 1960—1980-е годы, когда среднегодовые темпы роста валовой продукции составили более 14%. Потом наступил некоторый спад.

Т а б л и ц а 1 — Промышленность Беларуси в 1917 году (в процентах к уровню 1913 года)

Отрасль	Процентное увеличение		Удельный вес отрасли по числу рабочих	
	предприятий	рабочих	1913	1917
			1913	1917
Металлообрабатывающая	49,2	64,7	15,43	20,79

Т а б л и ц а 2 — Концентрация металлообрабатывающей отрасли

Начало 1921 года		Конец 1922 года	
Количество предприятий	Число рабочих	Количество предприятий	Число рабочих
38	2 138	11	928

Подъем был достигнут благодаря тому, что в конце 60-х годов произошли прогрессивные изменения в структуре отрасли. Тогда же увеличился выпуск прецизионных, специальных и агрегатных станков. В восьмой пятилетке (1966—1970) развивалось производство станков тяжелых, уникальных, специального назначения, полуавтоматов и автоматов. Совершенствование специализации станкостроения наряду с улучшением структуры выпускаемой продукции обеспечило повышение фондоотдачи за 1958—1970 годы на 50%, повысилась производительность труда [3].

В девятой пятилетке построены и начали выпускать продукцию Барановичский завод автоматических линий, Оршанский инструментальный завод, первая очередь Пинского завода литейного оборудования. В 1977 году начал давать основную продукцию Пинский завод кузнечно-прессовых автоматических линий. Освоено свыше 100 новых видов станков, инструмента, оснастки. Доля новой продукции в 1977 году достигла 63%, прецизионных станков — 45,8%, станков высокой и особо высокой точности — 15,7%. С Государственным знаком качества выпускались 90% строгальных и 100% протяжных станков (1977). До 1985 года Беларусь производила около 99% протяжных станков в СССР.

В конце 1970 года белорусские станки вывозятся на экспорт в 56 стран, в том числе в Великобританию, США, ФРГ, Францию, Италию, Японию. В 1985 году около 30% продукции станкостроения Беларуси шло на экспорт.

В 1980 году производство металлорежущих станков достигло 29,7 тыс., а через пять лет выпуск снизился до 23,7 тыс. В 1990 году выпущено 15,5 тыс. металлорежущих станков, в 1995 — 4,7 тыс., в 2000 — 5,4 тыс., а в 2003 году производство металлорежущих станков составило 5,2 тысяч (рис. 6).

Станкостроение республики решает проблему возобновления производственных фондов в условиях жесткой рыночной конкуренции. В 1990 году станкостроительной промышленностью создано и освоено в производстве более чем 60 базовых моделей металлорежущего и кузнечно-прессового оборудования,

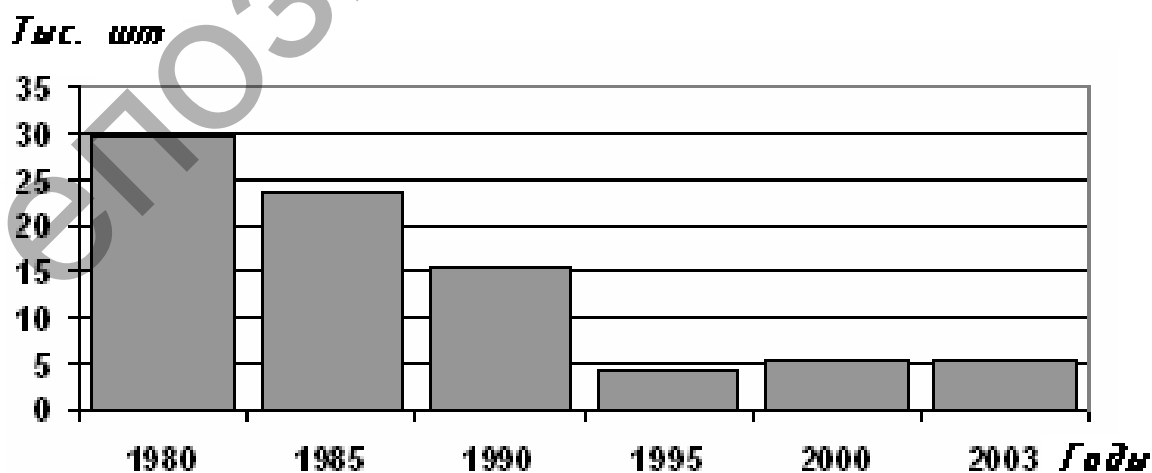


Рисунок 6 — Производство металлорежущих станков

в том числе четырехкоординатный сверлильно-фрезерно-расточной станок с числовым программным управлением (ЧПУ) типа «обрабатывающий центр», полуавтомат для заточки червячных фрез с ЧПУ, агрегатный станок для обработки больших по размерам деталей, зубообрабатывающие станки с системами цифровой индикации, прессовое оборудование и др.

Современное состояние станкостроения в Республике Беларусь. Рыночное преобразование экономики наложило свой отпечаток и на станкостроение. В Беларуси производство металлорежущих станков за 1990—1998-й годы сократилось почти в 3 раза, а кузнечно-прессового оборудования — почти в 68 раз.

После распада СССР в Республике Беларусь (РБ) осталась наукоемкая часть советского машиностроения: радиоэлектроника, приборостроение, станкостроение. Станкостроительная промышленность выпускает металло- и деревообрабатывающие станки, кузнечно-прессовые машины, литейное оборудование, автоматические линии для металлообработки и сборки, обрабатывающие центры, технологическую оснастку и инструменты. Эта подотрасль машиностроения дала в 1997 году 8,1% продукции машиностроения и металлообработки. Заводы станкостроительной промышленности находятся в Минске, Витебске, Орше, Молодечно, Барановичах, Кобрине и других городах. В 1997 году на экспорт ушло 91,3% всех произведенных станков. На конец 1990-х годов в СНГ примерно 60% станков производила Россия, более 20% — Украина, примерно 15% — Беларусь. Республика сохраняла на 1997 год в рамках СНГ монополию на производство продольно и поперечно строгальных, протяжных, балансировочных, бесцентрово-шлифовальных, шарообрабатывающих, фрезерно-отрезных, абразивно-отрезных, заточных станков, автоматизированных комплексов по резке заготовок.

Сейчас в машиностроении нашей страны занято более 30% всего промышленного персонала и до 10% всех работающих в РБ. Удельный вес расходов на научные исследования в машиностроении в стоимости всей продукции составляет 1,9%, а в среднем по промышленности — 0,6%. Но этого видимо мало, потому что в республике на производство продукции на 1 дол. США расходуется 1,67 кг эквивалента топливно-энергетических ресурсов, в то время как в Германии — 0,14, а в Австрии — 0,11 кг. Это свидетельствует о низкой конкурентоспособности нашей промышленной продукции вообще и станков в частности.

В 2005 году в Беларуси работало 32 станкостроительных предприятия, а также специальные конструкторские бюро, научно-исследовательские и проектно-технологические организации. Номенклатура производства станкостроительных предприятий включает примерно 350 типоразмеров металлорежущих станков, 60 типоразмеров деревообрабатывающих и 45 — кузнечно-прессовых. От аналогичного производства СНГ это составляет 36%. В 2002 году объем производства станкостроения по сравнению с 1995 годом увеличился на 23,4%.

К крупнейшим станкостроительным предприятиям Республики Беларусь относятся:

- Минский завод автоматических линий им. П. М. Машерова (МЗАЛ) (агрегатные, специальные и токарные станки и автоматические линии на их базе);
- Минский станкостроительный завод им. Октябрьской революции (МЗОР) (многооперационные фрезерно-расточные станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, продольно-строгальные, долбежные, балансировочные и другие станки);

- Минский станкостроительный завод им. С. М. Кирова (протяжные, отрезные, специальные и другие станки и оборудование);
- Витебский станкостроительный завод им. С. М. Кирова «Вистан» (станки высокой и особо высокой точности с ЧПУ, круглошлифовальные центровые, станки для подшипниковой промышленности, полуавтоматы шлифовальные для обработки коленчатых валов, автоматические линии);
- Витебский станкостроительный завод им. Коминтерна (станки с ЧПУ для обработки сложнопрофильных деталей, зубофрезерные станки и полуавтоматы с ЧПУ);
- Гомельский станкостроительный завод им. С. М. Кирова (станки с ЧПУ, сверлильно-фрезерно-расточные обрабатывающие центры);
- Гомельский завод станочных узлов и завод «Гидропривод»;
- Гомельский завод «Центролит» (чугунные отливки для станкостроения и других отраслей);
- Оршанский станкостроительный завод «Красный борец» (плоскошлифовальные станки высокой точности, шлифовальные станки для обработки сложных криволинейных поверхностей, комплексы с ЧПУ для гидроабразивной резки металла, стекла, керамики);
- Барановичский станкостроительный завод ЗАО «Атлант», Барановичский завод автоматических линий, ОАО «Барановичский завод станкопринадлежностей»;
- ПО «Кузлитмаш» в Молодечно и Пинске;
- специализированные инструментальные заводы в Минске, Кобрине, Борисове, Орше.

В соответствии с Концепцией социально-экономического развития Республики Беларусь до 2015 года в промышленности предполагается замена и модернизация всего станочного оборудования и технологических линий. Однако станкостроение нашей республики под данную концепцию не попало.

Основные тенденции развития машиностроительного производства. Во все годы перед станкостроителями стояли примерно одинаковые задачи, которые они решали средствами своего времени каждый раз на новом все более высоком уровне. К таким задачам относятся повышение производительности, точности обработки, уровня автоматизации, надежности и долговечности, степени унификации и агрегатирования. Современное машиностроение предъявляет высокие технико-экономические требования к показателям станков:

- а) максимальная производительность при обеспечении заданной точности и шероховатости обработанной поверхности;
- б) точность работы станка, которая зависит от геометрической и кинематической точности станка, температурных деформаций станка, жесткости деталей и стыков, износа деталей и возможности его компенсации, правильности установки и эксплуатации станка, конструкции и точности зажимных приспособлений и т. д.;
- в) простота, легкость и безопасность обслуживания и управления, удобство ремонта.

Одним из основных направлений развития современного станкостроения является автоматизация, которая включает комплекс мероприятий (технических, организационных и др.), позволяющих вести производственные процессы без непосредственного участия человека. Увеличивается выпуск автоматов, полуавтоматов и автоматических линий.

Значительный рост точного машиностроения поставил перед станкостроителями серьезные задачи в области создания высокоточных станков. Требования к

прецизионным станкам с каждым годом растут. Поэтому в них широко применяются направляющие качения, гидростатические и аэростатические направляющие, гидростатические и аэростатические опоры в шпиндельных узлах, передачи винт-гайка качения и гидростатические передачи винт-гайка, различные демпфирующие устройства и многое другое.

С ростом тяжелого, энергетического, транспортного и других отраслей машиностроения увеличивается выпуск тяжелых и уникальных станков. Все большее развитие получают новые методы обработки материалов: ультразвуковой, электроискровой, электроимпульсный, анодно-механический, электроконтактный, электрохимический, шлифования абразивными лентами и др. Выпуск и типаж станков, использующих новые методы металлообработки, непрерывно увеличивается.

Для современного станкостроения характерно максимальное использование нормализованных и стандартных узлов и деталей и возможно большая их унификация, дальнейшее развитие метода агрегатирования и создание гамм станков в виде нормального ряда типоразмеров с максимальной унификацией узлов и деталей. Повышение скорости холостых перемещений узлов диктуется необходимостью увеличения производительности станков.

Расширение номенклатуры материалов обрабатываемых деталей и стремление к еще большей универсальности станков общего назначения влечет за собой увеличение диапазонов регулирования частот вращения, двойных ходов и подач.

Наиболее существенный вклад сегодня в автоматизацию производства, снижение затрат живого и овеществленного труда и повышение производительности вносит опережающее развитие выпуска и внедрения станков с ЧПУ. На базе многооперационных станков, оснащаемых промышленными роботами, системами измерения и складирования решаются вопросы комплексной автоматизация изготовления деталей в мелкосерийном производстве, что позволит в недалеком будущем существенно улучшить экономические показатели машиностроительных предприятий.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ И УСТРОЙСТВЕ ИХ УЗЛОВ

1.1 Классификация металлорежущих станков

Любая классификация должна помочь лучше разобраться в свойствах того или иного предмета. Классификация автомобилей по грузоподъемности позволит быстро и без потерь перевезти груз. Классификация грибов на съедобные и ядовитые позволит избежать беды и т. д. У классификации станков также есть своя задача: помочь технологу или другому специалисту выбрать для обработки конкретной детали наилучшим образом подходящее для этого металлорежущее оборудование.

Классификация станков по технологическому назначению. Понятие группы и типа станка. Главной для станков является классификация по технологическому назначению. В зависимости от целевого назначения серийно выпускаемые станки делятся на девять основных групп: 1) токарные; 2) сверлильные и расточные; 3) шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные; 4) комбинированные и физико-химической обработки; 5) зубообрабатывающие и резьбообрабатывающие; 6) фрезерные; 7) строгальные, долбежные, протяжные; 8) разрезные; 9) разные.

В соответствии с ранее принятой классификацией модель станка обозначается тремя или четырьмя цифрами с добавлением в некоторых случаях букв. Первая цифра указывает группу станка. Каждая группа станков включает до девяти типов. В обозначении модели станка цифра, обозначающая тип, стоит второй, третья и четвертая цифры характеризуют один из важнейших параметров станка. Буква, стоящая после первой или второй цифры, указывает на модернизацию базовой модели станка, а буква после основных трех или четырех цифр — на модификацию базовой модели. Например, обозначение модели 2P135Ф2 означает, что станок относится ко второй группе сверлильных и расточных станков (цифра 2), является очередной модернизацией исходной модели (буква Р), принадлежит в своей группе к первому типу вертикально-сверлильных станков (цифра 1), имеет в качестве основной технической характеристики максимальный

диаметр сверления отверстий в стали со средними механическими свойствами 35 мм (цифры 35), оснащен системой ЧПУ (буква Ф), и система ЧПУ позиционная (цифра 2). Эти данные позволяют сделать предварительный выбор станка по его обозначению.

Для обозначения специальных станков используется аббревиатура названия завода с добавлением порядкового номера регистрации станка на заводе-изготовителе. Например, АБ5494 — агрегатный станок Барановичского завода автоматических линий, зарегистрированный на заводе под номером 5494. Именно этот метод обозначения станков получает сейчас наибольшее распространение, вытесняя ранее принятый.

Тип — это классификационное подразделение, объединяющее станки, сходные по назначению, принципу действия, методу выполнения технологической операции, конструктивной схеме и т. д. (например, вертикально-сверлильные станки).

Ряд типоразмеров (размерный ряд) — ряд основных параметров станков одного типа, дополненный конкретными размерами и другими их характеристиками (для нашего примера с вертикально-сверлильным станком это максимальные диаметры сверления 18, 25, 35 и 50 мм).

Типоразмер — один из представителей (членов) размерного ряда определенного типа станков с конкретными параметрами и размерами (наш станок с максимальным диаметром сверления в 35 мм).

Модель — конкретное конструктивное исполнение станка определенного типоразмера.

Базовая модель — станок определенного типоразмера, являющийся основой для создания ряда станков данного типа или различных исполнений (модификаций).

Типаж станков — технически и экономически обоснованная совокупность типов и типоразмеров (с указанием моделей) станков, объединенных общностью назначения, с прогрессивными показателями, учитывающими существующую и перспективную потребность промышленности.

Классификация станков по универсальности, точности, степени автоматизации, виду заготовок, массе. Каждый тип производства предъявляет свои требования к используемому оборудованию. В ремонтных мастерских колхоза нужны одни станки, в ремонтном цехе завода — другие, в механическом — третьи. Именно поэтому станки делят по степени специализации на:

- *универсальные*, выполняющие разнообразные операции по обработке деталей широкой номенклатуры (единичного и серийного производства);
- *специализированные*, предназначенные для обработки деталей, сходных по конфигурации, но отличающихся размерами (для серийного и массового производства);
- *специальные*, предназначенные для обработки одной или нескольких очень похожих деталей (для крупносерийного и массового производства).

Это не значит, что станок, предназначенный для серийного производства не применим в массовом. Он будет работать и в данном производстве, но для того чтобы он дал максимальную экономическую выгоду, необходима некоторая его модернизация.

По степени точности станки делятся на пять классов: 1) станки нормальной точности (Н); 2) станки повышенной точности (П); 3) высокой точности (В); 4) особо высокой точности (А); 5) особо точные (С). Требуемая точность работы станков классов В, А, С достигается при специальных условиях их эксплуатации в помещениях с постоянной, автоматически регулируемой температурой и влажностью. Если погрешность станков нормальной точности и трудоемкость их изготовления принять за 100%, то для других классов точности эти показатели выглядят следующим образом:

Класс точности станка	Погрешность, %	Трудоемкость изготовления станка, %
Нормальная точность (Н)	100	100
Повышенная точность (П)	60	140
Высокой точности (В)	40	200
Особо высокой точности (А)	25	280
Особо точные (С)	16	450

Значит, более точный станок является и более дорогим. Во время работы станка происходит износ оборудования, и его стоимость постепенно переходит в стоимость выпускаемой продукции. Поэтому применение более точного по классу станка требует экономического обоснования. Иначе увеличенные амортизационные отчисления с более дорогого станка, переходящие на продукцию, выпущенную на нем, могут сделать эту продукцию не конкурентоспособной.

Буква, обозначающая класс точности станка, обычно указывается в его модели после цифр, отражающих основную техническую характеристику. Например, буква В в обозначении шлифовального станка модели 3К152ВФ20. Нормальный класс точности в обозначении модели станка не указывается: 16К20.

По степени автоматизации различают механизированные и автоматизированные станки, в том числе полуавтоматы и автоматы. Полуавтоматом называется станок, работающий с автоматическим циклом, для повторения которого требуется вмешательство рабочего (обычно нужна

установка заготовки и включение цикла). Автомат осуществляет процесс обработки и производит все рабочие и вспомогательные движения цикла без участия рабочего, который только наблюдает за работой станка, контролирует качество деталей и налаживает станок.

По виду заготовок станки делятся на работающие со штучными заготовками (короткими отрезками проката, поковками, отливками и т. д.) и прутковыми заготовками (с длинными в 3...6 м отрезками труб круглого, квадратного, шестигранного и т. п. проката).

В зависимости от массы принято делить станки на легкие (до 1 т), средние (1...10 т), тяжелые (более 10 т) и уникальные (более 100 т).

Если нужна дополнительная детализация качеств оборудования, то станки можно классифицировать по количеству шпинделей, их расположению в пространстве, числу одновременно работающих инструментов, чередованию их работы и т. д.

1.2 Техничко-экономические показатели станков

Основные технические характеристики металлорежущих станков.

Обычно технические специалисты считают себя на машиностроительном заводе главными, но это не так. Целью любого производства, в том числе и любого технологического процесса, является получение максимальной прибыли. Этого можно добиться только в случае востребованности продукции, что возможно при минимальной себестоимости и оптимальном качестве. Эти параметры и являются основными критериями, исходя из которых определяются технические характеристики оборудования. Чем больше спрос на выпускаемую на станке продукцию, тем с большей уверенностью можно говорить о его соответствии указанным требованиям. Оценка станка на соответствие требованиям рынка производится с использованием ряда показателей, главными из которых будут: 1) эффективность, производительность, гибкость; 2) точность, габариты рабочего пространства, силовые характеристики; 3) экономическая эффективность; 4) уровень автоматизации станка; 5) безопасность, удобство, экологичность, ресурсосбережение.

Для специалиста, эксплуатирующего металлорежущее оборудование, на первом месте оказываются габариты рабочего пространства или размеры обрабатываемой заготовки (например, размеры стола у фрезерных и максимальные габариты заготовки у токарных станков), величины подач и рабочих ходов, дискретность их изменения, мощность привода главного движения и движения подачи, масса станка и его габариты.

Очень остро стоит вопрос энергозатрат, связанных с работой станков, и капитальных вложений в оборудование. От этого зависит себе-

стоимость продукции и, в конечном итоге, чистая прибыль. Можно выпустить много красивых вещей, но не продать ни одной из-за дороговизны. Тогда технические показатели оборудования, на котором выпущена продукция, потеряют значение. Экономические показатели окажутся важнее. Видимо, правильнее говорить об экономико-технических показателях оборудования.

Геометрические параметры, характеризующие рабочее пространство станка. Геометрические параметры станков характеризуются рабочей зоной, внутри которой инструмент и обрабатываемая деталь могут взаимодействовать в любой точке. В станках, предназначенных для обработки тел вращения (рис 1.1, а), рабочее пространство цилиндрическое, определяемое радиусом (высотой центров) и длиной устанавливаемой заготовки, а в станках для обработки призматических деталей (рис 1.1, б) рабочее пространство прямоугольное (реже цилиндрическое), определяемое длинами координатных перемещений. Эти параметры конкретных станков отражены в их паспортных данных. Для токарно-винторезного станка это высота центров, расстояние между ними и максимальный диаметр обработки над станиной; токарно-карусельного — диаметр планшайбы; продольно-строгального — размеры стола и высота до траверсы, у фрезерного — размеры стола и т. д.

Скоростная характеристика станка. Скорости рабочих движений (скорости резания и подачи) узлов станка, несущих инструмент или обрабатываемую деталь, зависят от рекомендуемых режимов резания при обработке заданного множества деталей и используемого набора режущих инструментов. Скорости резания имеют тенденцию к увеличению по мере совершенствования режущих инструментов и применения новых эффективных инструментальных материалов.

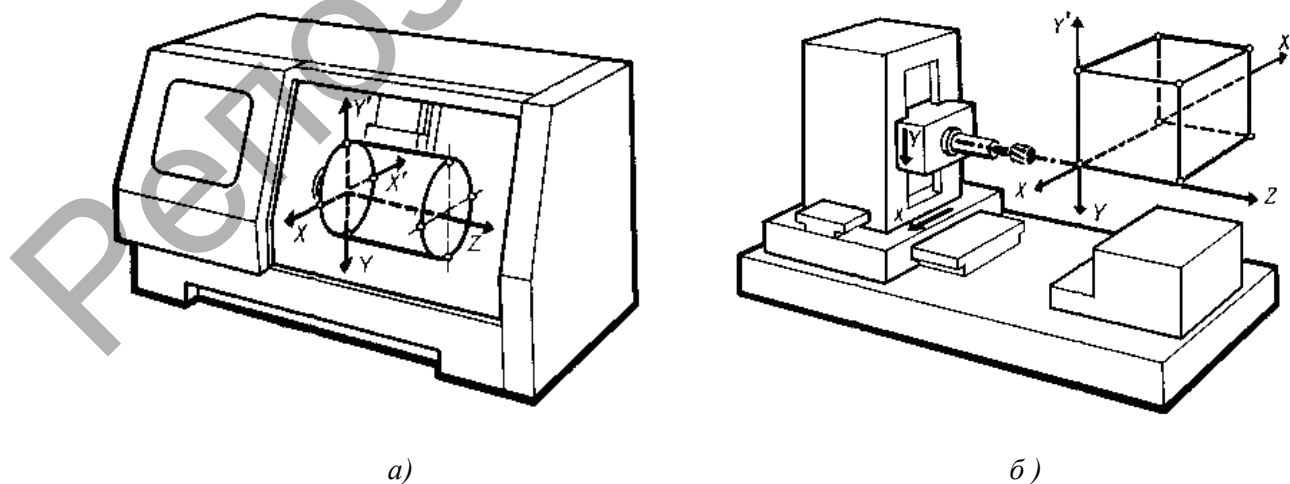
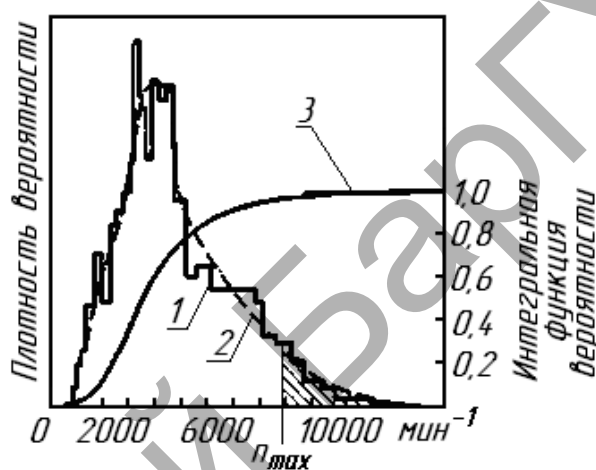


Рисунок 1.1 — Рабочее пространство (рабочая зона) станков

В реальных условиях производства, для которых предназначен станок, на основе статистического обследования устанавливают кривые распределения вероятностей применения различных скоростей резания во всей области служебного назначения станка. В качестве примера на рисунке 1.2 показано распределение вероятности использования различных частот вращений шпинделя быстроходного фрезерного станка для обработки алюминия и легких сплавов. Минимальное предельное значение скорости резания или частоты вращения шпинделя выбирают на основе тех же соображений, что и максимальное предельное. Это экономический анализ сопоставления затрат на усложнение конструкции станка и возможных экономических преимуществ, которые дает эксплуатация станка с более широкими возможностями. Исключение составляют те случаи, когда минимальная частота вращения необходима для выполнения конкретных технологических операций: нарезания резьбы на токарно-винторезных станках и обработки труднообрабатываемых материалов.



1 — гистограмма; 2 — плотность вероятности; 3 — интегральная функция вероятности

Рисунок 1.2 — Распределение вероятности использования различной частоты вращения шпинделя при фрезеровании легких сплавов

Ступенчатое и бесступенчатое регулирование. При расчете режимов резания частота вращения шпинделя n назначается исходя из рассчитанной скорости резания v , зависящей от свойств материала заготовки и качества режущего инструмента. Поскольку диаметр заготовки может быть любым в пределах технических возможностей станка, то для получения оптимальных по режимам резания скоростей, в соответствии с расчетом может потребоваться любое значение частоты вращения шпинделя n :

$$n = 1000v / \pi D, \quad (1.1)$$

где v — скорость резания;

D — диаметр обработки.

То есть требуется бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя. Но станки с бесступенчатым регулированием отличаются повышенной стоимостью, а при использовании механических вариаторов — еще и низкой надежностью и повышенными потерями. Поэтому в настоящее время в станках, особенно общего назначения и без ЧПУ, широко

применяют приводы со ступенчатым регулированием. К ним относятся приводы со ступенчатыми блоками зубчатых колес, с шестеренными коробками скоростей, с многоскоростными асинхронными электродвигателями, с зубчатыми или фрикционными муфтами, а также приводы, являющиеся комбинацией этих и аналогичных механизмов. Основные их достоинства — небольшая стоимость, высокий КПД, компактность, жесткость характеристики, возможность получения постоянства мощности на всем диапазоне регулирования.

Геометрический ряд частот вращения шпинделя. Конструктивные значения частот вращения не всегда совпадают с расчетными, полученными по формуле (1.1). Расчетные значения приходится округлять и, как правило, до ближайшего меньшего значения, имеющегося на станке. Например, при точении для токарно-винторезного станка 16К20 по расчету получена частота вращения шпинделя в 365 мин^{-1} . Ближайшие значения частот вращения по паспорту станка — 315 и 400 мин^{-1} . Исходя из математических методов округления, надо назначить 400 мин^{-1} , но, исходя из оптимальных условий долговечности инструмента, придется назначить 315 мин^{-1} .

Причина этого кроется в том, что при составлении справочников и эмпирических формул для определения режимов резания данные подбираются исходя из максимально возможной скорости и оптимальной стойкости инструмента. При округлении числа оборотов шпинделя в большую сторону повышается скорость резания и производительность, но стойкость режущего инструмента при этом падает и его приходится чаще менять. В большинстве случаев время на замену режущего инструмента существенно больше времени, сэкономленного на увеличении скорости резания, что приводит к экономическим потерям.

При ступенчатом регулировании частоты вращения шпинделя станка необходимо назначить такие значения частот, которые обеспечат оптимальные режимы обработки в широком диапазоне. Задачу выбора наилучшего принципа, которым надо руководствоваться при назначении частот вращения шпинделя для станков со ступенчатым приводом главного движения, успешно решил в 1876 году профессор Петербургской артиллерийской академии А. Гадолин.

Он исходил из того, что есть ряд частот вращения шпинделя станка

$$n_1, n_2, \dots, n_i, n_{i+1}, \dots, n_z,$$

где $n_1 = n_{\min}$;

$n_z = n_{\max}$;

z — число ступеней.

Была получена геометрическая прогрессия со знаменателем φ и каждый последующий член ряда равен:

$$n_2 = n_1\varphi; n_3 = n_2\varphi = n_1\varphi^2; n_4 = n_3\varphi = n_1\varphi^3; \dots n_z = n_1\varphi^{z-1}.$$

Знаменатели геометрической прогрессии, по которой изменяются частоты вращения шпинделя, стандартизованы. Изменение частот вращения по геометрической прогрессии также не лишено недостатков. В зависимости от величины знаменателя геометрической прогрессии φ , по которой изменяется частота вращения шпинделя данного привода, средние относительны экономические потери составят:

Значение знаменателя	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,00
Процент потерь	5	10	20	30	40	45	50

При одном и том же диапазоне регулирования при меньших значениях знаменателя коробка скоростей имеет большее количество частот вращения. Это позволяет установить скорость резания, более соответствующую теоретической и поэтому повышающей экономическую эффективность обработки за счет незначительного уменьшения принятой частоты вращения шпинделя по сравнению с расчетной.

В некоторых станках для регулирования частот вращения применяют арифметическую прогрессию. Есть и другие варианты ступенчатого регулирования частот вращения привода.

Эффективность станков — комплексный показатель, наиболее полно отражающий главное назначение станочного оборудования: повышать производительность труда и снижать затраты при обработке, шт. / р.:

$$A = N / c, \quad (1.5)$$

где N — годовой выпуск деталей, шт;

c — сумма годовых затрат на производство, р.

При эксплуатации станков надо стремиться к максимальной эффективности. Если задана годовая программа выпуска, то очевидно надо максимально снижать затраты. Сравнение эффективности двух вариантов станочного оборудования при заданной программе выпуска ведут по разности суммы годовых затрат. Этот анализ должен быть основным при выборе станка для выполнения технологической операции.

Производительность. Говоря о производительности оборудования, надо повторить, что главным требованием является ее постоянный рост. Производительно затраченным считается только то время, которое расходуется на основные процессы обработки (например, формообразование, контроль, сборку и т. д.). Все остальное время, включая время на вспомогательные (холостые) ходы рабочего цикла и внецикловые простои, является непроизводительно затраченным, т. е. это потери. Машина считается идеальной, если при высоком потенциале производительности и качестве продукции отсутствуют потери времени на холостые ходы и простои (это волшебная машина непрерывного действия, бесконечной долговечности и абсолютной надежности). Производительность машины определяет производительность труда, а над этой вечной проблемой работают и технолог, и конструктор, и экономист каждый своими средствами и методами.

Производительность станка определяет его способность обеспечивать обработку определенного числа деталей в единицу времени. Штучная производительность выражается числом деталей, изготовленных в единицу времени при непрерывной безотказной работе

$$П_{шт} = T_0 / T, \quad (1.6)$$

где T_0 — фонд времени, для которого выполняется расчет;

T — полное время всего цикла изготовления детали:

$$T = t_p + t_x,$$

где t_p — время резания;

t_x — время вспомогательных движений, не совмещенных во времени с обработкой.

Штучная производительность связана с выпуском деталей коэффициентом использования «к», учитывающим различные потери фонда времени:

$$N = кП_{шт}. \quad (1.7)$$

Для оценки эффективности технологических процессов используют разные методики. Например, производительность формообразования, измеренную площадью поверхности, обработанной на станке в единицу времени. При предварительной обработке или для сравнения разных технологических способов размерной обработки можно сопоставить производительность резания по объему материала, снятого с заготовки за единицу времени и затраченную при этом энергию. При подобном анализе соотношение производительности разного оборудования выглядит следующим образом:

Точение	Шлифование	Электроискровая обработка	Электрохимическая обработка	Ультразвуковая обработка	Лазерная обработка
25 000	1 333	15	1,5	0,04	0,000 002 5

Надо помнить, что, проиграв в производительности, способ обработки может позволить решить другие проблемы.

Основные пути повышения производительности: увеличение технологической производительности за счет снижения припусков, совмещения разных операций во времени, сокращения времени на вспомогательные движения, сокращения всех видов внецикловых потерь. Технологическая производительность увеличивается с повышением скорости резания и увеличением суммарной длины режущих кромок инструмента, участвующих в формообразовании (там, где обрабатывали одним резцом, можно поставить несколько). Резкое повышение скорости резания возможно при переходе на новые инструментальные материалы. Рост производительности достигается с применением смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ). Увеличение суммарной длины режущих кромок усложняет и удорожает инструмент, но экономически целесообразно в серийно-массовом производстве. Там же распространено одновременное выполнение нескольких операций на многопозиционных станках и автоматических линиях. Это является большим резервом повышения производительности. Сокращение времени на вспомогательные движения обеспечивается совершенствованием привода и системы управления.

Производительность оборудования, как обобщающий показатель, зависит от технических показателей станочного оборудования, таких как:

- надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность;
- точность;
- гибкость;
- виброустойчивость;
- теплостойкость;
- прочность, износостойкость и т. п.

Каждый из названных показателей, в свою очередь, является функцией многих переменных, в разной степени влияющих на производительность оборудования.

Надежность станка — свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции в заданном количестве в течение определенного срока службы. Нарушение работоспособности называется *отказом*. При отказе либо не выдается продукция, либо выпускается брак. Отказы бывают из-за разброса параметров заготовок, переменности сил резания и трения, отказа системы управления, потери точности из-за износа, ограниченной долговечности и т. д.

Комплексным показателем надежности станков является коэффициент использования, зависящий от числа элементов, подверженных отказам, интенсивности отказов каждого элемента и среднего времени на устранение отказа. Таким образом, чем сложнее станки, чем чаще они выходит из строя и дольше ремонтируется, тем менее надежными они являются. *Составляющие надежности* — это безотказность (свойство станка сохранять работоспособность в течение некоторого времени без вынужденных перерывов в работе), ремонтпригодность (приспособленность станка к предупреждению, обнаружению и устранению причин отказов), долговечность (срок, в течение которого станок сохраняет работоспособность с перерывами на ремонт, который экономически оправдан).

Точность станка в основном определяется точностью обрабатываемых на нем деталей. Поэтому обычным способом проверки точности металлорежущего оборудования на заводах является контроль обработанной на данном станке детали на соответствие требованиям чертежа. Вторым способом определения точности станка является измерение координат точек узлов станка при их перемещении, что чаще всего немного сложнее.

Источники снижения точности делятся на дефекты формообразования (интерполяция, настройка, схема обработки), технологические дефекты (закрепление, базирование), геометрические дефекты (неточное изготовление станка и его тепловые и упругие деформации), дефекты позиционирования (неточный привод станка, плохая измерительная система, повышенное трение), кинематические дефекты (неточные передачи в приводах станка, установки детали) и динамические дефекты (вынужденные колебания, параметрические колебания, автоколебания).

Точность станка непосредственно влияет на точность изготовления деталей. Из пяти видов погрешностей, образующихся на деталях (погрешности размеров, отклонения расположения поверхностей, отклонения формы, волнистости, шероховатости), на возникновение первых четырех станок влияет решающим образом.

Наиболее распространенными *путями повышения точности* станка через его параметры являются:

- совершенствование метода формообразования (переход, например, от лезвийной обработки к электрохимической или электрофизической);
- использование более коротких кинематических цепей (в станках с ЧПУ отказываются от коробок подач, в которых много соединенных последовательно элементов кинематической цепи, дающих в сумме большую погрешность, и устанавливают, обычно, одну зубчатую пару и одну винтовую пару качения);
- применение компоновок, обеспечивающих более высокую точность;
- повышение геометрической точности деталей и узлов станка;
- использование коррекционных механизмов (в станках с ЧПУ этот способ стал основным и реализуется через обратную связь);

- применение адаптивных систем управления точностью, реагирующих на изменение условий обработки: по какой-то причине, например, заготовка оказалась тверже предыдущей, силы резания увеличились и больше отжали резец. Это должно привести к увеличению обрабатываемого размера, но данная система управления автоматически с помощью ЧПУ уменьшит частоту вращения детали, отчего уменьшится сила резания и отжим резца и стабилизируется обрабатываемый размер.

Кроме этого повышать точность обработки можно множеством других способов.

Гибкость — способность станочного оборудования к быстрому переналаживанию для изготовления других деталей. Наибольшая гибкость у универсального оборудования. Целесообразная гибкость оборудования связана с номенклатурой обрабатываемых деталей. Высокая переналаживаемость определяется малыми потерями времени и средств на переналадку при переходе от одной партии деталей к другой. Внутренняя гибкость определяется возможностями (стоимостью и временем) переналадки и может быть выражена через x_i — величину, обратную количеству деталей в минимальной партии, обработка которой экономически целесообразна.

При $x_i = 1$ производство полностью гибкое; при $1 \geq x_i \geq 0,25$ — высокогибкое; $0,25 \geq x_i \geq 0,1$ — гибкое; при $0,1 \geq x_i \geq 0,025$ — малогибкое; при $0,025 > x_i$ — негибкое.

В зависимости от гибкости оборудования меняется и область его применения. Гибкое оборудование универсального типа применяется в единичном и мелкосерийном производствах. Средняя гибкость требуется в серийном производстве. При массовом и крупносерийном типе производства используются обладающие низкой гибкостью или совсем не имеющие возможности переналадки станки. Связь гибкости оборудования с экономическими показателями возможности использования того или иного типа оборудования отражается в виде диаграммы (рис. 1.3).

Жесткость станков характеризует свойство технологического оборудования противостоять появлению упругих перемещений узлов или отдельных деталей под действием постоянных или изменяющихся во времени силовых воздействий. Количественно жесткость измеряется отношением силы к упругой деформации в направлении действия силы:

$$J = F / L. \quad (1.8)$$

Величину, обратную жесткости, называют податливостью. Она вычисляется по формуле

$$c = 1 / J = L / F. \quad (1.9)$$

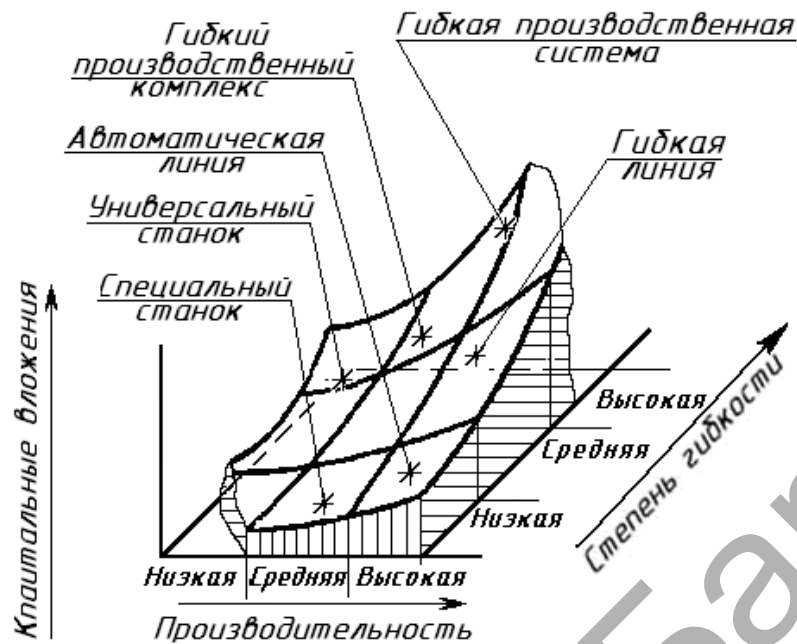


Рисунок 1.3 — Распределение производственного оборудования в зависимости от гибкости, производительности и капитальных вложений

Жесткость несущей системы станка должна обеспечить упругое перемещение между заготовкой и инструментом в пределах допуска на обработку. Жесткость базовых деталей станка из чугуна и стали подчинена закону Гука и постоянна, а вот большинство соединений — нет. Поэтому их жесткость определяют дифференциальным методом:

$$J = dF / dL. \quad (1.10)$$

На жесткость влияют качество соединения инструмента и детали со станком и их собственная жесткость, зазоры в соединениях, которые могут принимать критические величины.

Упругие перемещения систем станка, например, по координате Y имеют определенный гистерезис, представленный на рисунке 1.4.

Виброустойчивость, или динамическое качество станка, которое определяет его способность противодействовать возникновению колебаний, вызываемых:

- работающими рядом машинами;
- малой жесткостью станка и передач в его приводах;

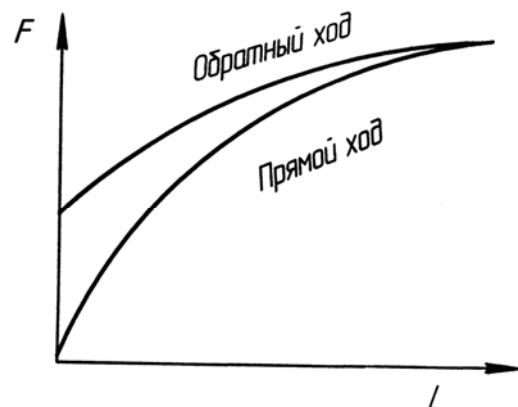


Рисунок 1.4 — Гистерезис упругих перемещений при измерении жесткости станков

- недостаточной уравновешенностью вращающихся частей станка или вращающейся заготовки;

- прерывистым характером процесса резания.

В станках возникают следующие *виды колебаний*:

- свободные колебания, от действия кратковременной возмущающей силы, например, при пусковых и переходных процессах;

- вынужденные колебания от внешней периодической силы, например, от дисбаланса вращающихся частей станка или при строгании, фрезеровании, от работающего рядом промышленного оборудования;

- автоколебания, т. е. незатухающие, самоподдерживающиеся колебания при резании, возникающие под действием периодической возмущающей силы резания;

- параметрические колебания, возникающие при наличии какого-либо переменного параметра, переменной жесткости детали или узла станка, создающего эффект, аналогичный действию периодической возмущающей силы.

Для улучшения виброустойчивости надо устранять источники периодических возмущений, подбирать параметры упругой системы, повышать демпфирующие свойства, внедрять системы автоматического управления уровнем колебаний.

Теплостойкость станка характеризует его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций. Основные источники теплоты: процесс резания, двигатели, трение в подвижных соединениях. При постоянном нагреве температурное смещение изменяется с течением времени по плавно возрастающей кривой (экспоненте), а при переменном — случайным образом. Любое нагревание станка при работе происходит неравномерно, что искажает форму деталей и приводит к изменению траекторий перемещения органов станка или положения его осей. Так, у оси шпинделя токарно-винторезного станка в процессе работы от неравномерного нагревания узлов станка передний конец смещается вверх и от инструмента.

1.3 Основы кинематики и движения в станках

Образование поверхностей. Тело любой детали — это замкнутое пространство, ограниченное реальными геометрическими поверхностями, которые образованы в результате обработки тем или иным способом. При этом, какой бы способ обработки ни был применен, реальные поверхности детали всегда отличаются от идеальных геометрических поверхностей, которыми мы мысленно оперируем при конструировании.

Поверхности, полученные на металлорежущих станках резанием, отличаются от идеальных формой, размерами и шероховатостью. Теоретически процесс формирования реальных поверхностей на станках аналогичен процессу образования идеальных поверхностей в геометрии, т. е. базируется на идеальных геометрических представлениях.

Формообразование на станках. Любую поверхность можно представить как след движения одной линии (образующей) по другой (направляющей). Обе эти линии называются производящими, причем образующая может быть направляющей и наоборот — направляющая образующей. Например, цилиндрическая поверхность может быть представлена как след движения прямой линии по окружности или след движения окружности по прямой (рис. 1.5). Боковую поверхность зуба прямозубчатого колеса можно рассматривать как след движения эвольвенты вдоль прямой или как след движения прямой по эвольвенте. Таким образом, с геометрической точки зрения процесс формообразования поверхности сводится к движению одной производящей линии по другой.

Производящие линии на станках образуются материальными точками и линиями режущей кромки инструмента за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента.

Существует четыре метода образования производящих линий: копирования, обката, следа и касания. *Метод копирования* (рис. 1.6, а, б) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде копии формы режущей кромки инструмента или его профиля, т. е. форма образующей производящей линии и режущей кромки совпадают. В связи с тем, что форма образующей производящей линии уже заложена в режущем инструменте, для получения производящей линии методом копирования не требуется никакого формообразующего движения.

Чтобы при обработке получить деталь необходимой формы и размера, рабочему органу станка иногда сообщается сложный комплекс согласованных между собой движений. К таким сложным движениям образования производящих линий относится *метод обката*. Еще его называют методом огибания.

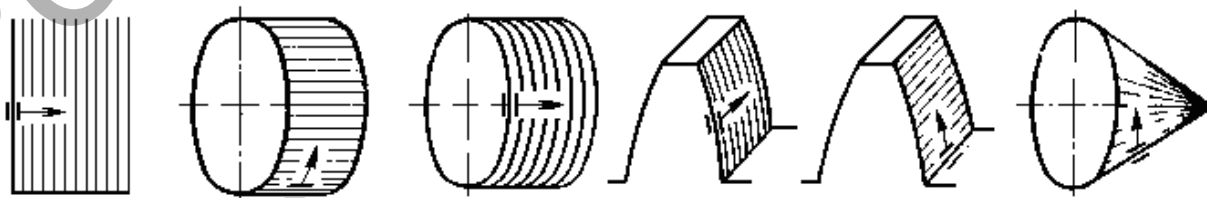


Рисунок 1.5 — Схемы образования поверхностей деталей

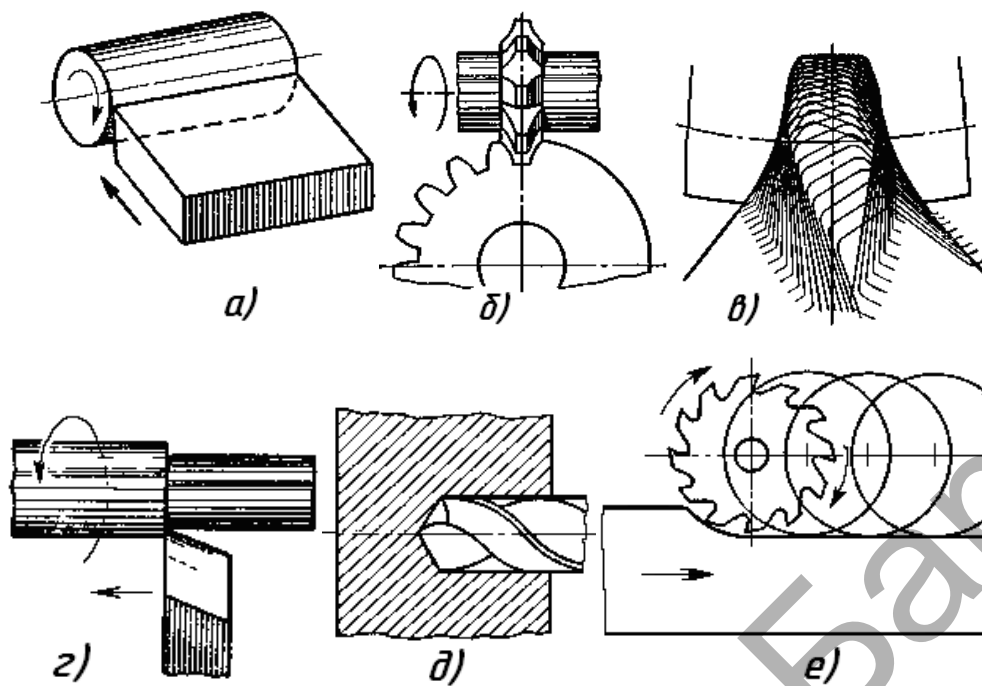


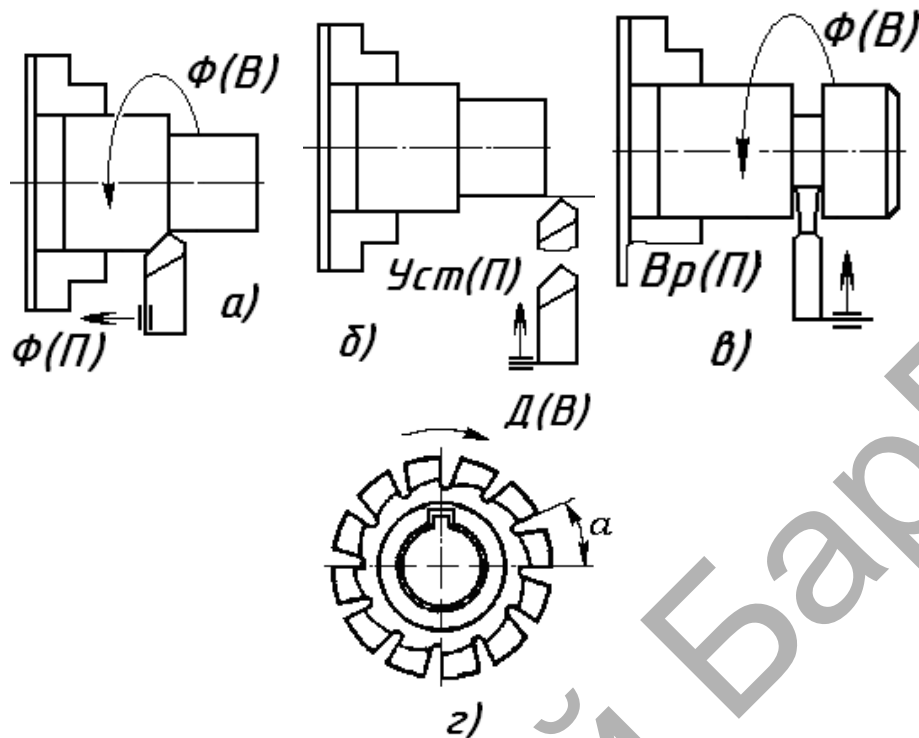
Рисунок 1.6 — Методы воспроизводства образующих линий

Метод обката заключается в том, что форма образуемой производящей линии возникает в виде огибающей ряда последовательных положений, занимаемых режущей кромкой инструмента при обкатывании ею без скольжения образуемой линии (рис. 1.6, в). В этом случае для получения производящей линии нужно одно, но всегда сложное формообразующее движение обката.

Метод следа состоит в том, что форма производящей линии получается в виде следа режущей кромки или точки (вершины) инструмента при относительном движении заготовки и инструмента (рис. 1.6, д, з). Здесь надо одно простое или одно сложное формообразующее движение (в зависимости от формы образуемой линии).

Метод касания заключается в том, что форма производящей линии возникает в виде огибающей мест касания множества режущих точек вращающегося инструмента (рис. 1.6, е) в результате относительных движений оси вращения инструмента и заготовки. Для получения производящей линии методом касания требуется два, реже три формообразующих движения.

Движения в станках: формообразующие, установочные, делительные, управления, вспомогательные. Любые движения в станках предназначены для исполнения конкретной функции и поэтому их называют *исполнительными*. По функциональному назначению все исполнительные движения в станках можно разделить на движения (рис. 1.7) формообразования (Ф), установочные (Уст), деления (Д), вспомогательные (Всп), управления (Упр). Они бывают прямолинейными (П) и вращательными (В).



a — формообразования; *б* — установочное; *в* — врезания; *г* — деления

Рисунок 1.7 — Примеры исполнительных движений

Рабочие исполнительные движения называются *движениями формообразования* (рис. 1.7, *a*). Они сообщаются инструменту и заготовке и делятся на главное и движение подачи. Главным называется движение, осуществляемое с большей скоростью, а движение подачи — с меньшей. Эти движения бывают вращательными и прямолинейными. При формообразовании поверхности всегда есть одно главное движение. Движений подачи может и не быть (протягивание), а может быть несколько. Формообразующие движения бывают простыми и сложными, т. е. состоящими из нескольких. Иногда эти движения получают в результате сложения других движений (например, главное движение при сверлении отверстий малого диаметра на токарных горизонтальных многошпиндельных станках, где складывается движение вращения детали и встречного движения вращения сверла; при нарезании косозубых цилиндрических колес на зубофрезерных станках к движению вертикальной подачи фрезы, согласованному с вращением заготовки, дающих прямой зуб колеса, добавляется движение от дифференциала, позволяющее получить косой зуб).

Установочными называют движения заготовки и инструмента, необходимые для перемещения их в такое относительное положение, при котором становится возможным с помощью формообразующих движений получать нужную поверхность требуемого размера (исходная позиция). Примером установочного движения является поперечное движение

Уст(П) резца для установки его в положение, позволяющее получить цилиндр требуемого размера (рис. 1.7, б). Иногда установочное движение, при котором отсутствует резание, называют наладочным или движением позиционирования.

Если при установочном движении происходит резание материала, но еще нет формообразования требуемой поверхности нужного размера, то такое движение называют движением врезания и его обозначают V_p . Например, поперечное перемещение резца для образования канавки требуемого размера (рис. 1.7, в) будет *движением врезания* $V_p(П)$. Нередко такое движение врезания осуществляется одновременно с движениями формообразования и иногда по своей структуре совпадают с одним из них.

Делительными называются *движения*, необходимые для обеспечения требуемого расположения на заготовке одинаковых образуемых поверхностей. Например, при нарезании двухзаходной резьбы фасонным резцом после нарезания одной винтовой канавки требуется повернуть заготовку на 180° для нарезания второй винтовой канавки. Поворот заготовки на 180° и будет делительным движением. Движением деления будет также движение $D(B)$ поворота дисковой фрезы на угол α при затыловании ее зубьев (рис. 1.7, г).

Делительные движения могут быть периодическими или непрерывными, что зависит в основном от конструкции режущего инструмента. Непрерывные делительные движения по своей структуре обычно совпадают с одним из формообразующих движений, которое реализует одновременно процессы формообразования и деления, как, например, обкаточное движение $\Phi(B_1B_2)$ при нарезании цилиндрических колес червячной фрезой.

К *вспомогательным движениям* относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, транспортирование, быстрое перемещение в зону резания и из нее заготовки и инструмента, охлаждение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента и т. п.

К *движениям управления* относятся те движения, которые совершают органы управления, регулирования и координирования всех других исполнительных движений станка. К таким органам относятся муфты, реверсирующие устройства, кулачки, ограничители хода и др.

Определяющую роль в формировании кинематической структуры станка играют движения формообразования, установочные (врезания) и деления.

Источники движения. Любой металлорежущий станок для создания в нем необходимых исполнительных движений имеет один или несколько источников движения, причем современные станки с ЧПУ, как правило, имеют число источников движения, равное числу рабочих исполнительных органов в станке. В качестве наиболее распространенных источников движения в станках с механическими системами управления используют-

ся асинхронные электродвигатели переменного тока, а в станках с ЧПУ — электродвигатели постоянного и переменного тока. Кроме того, в станках в качестве источников движения находят применение гидродвигатели и пневмодвигатели и значительно реже встречаются источники движения в виде устройств, аккумулирующих и по необходимости выдающих энергию, например, в виде пружин.

Источники движения можно разделить по признаку регулируемости параметров создаваемых ими движений на нерегулируемые и регулируемые. Причем среди регулируемых источников движения встречаются регулируемые только по скорости, только по направлению, по скорости и направлению, а также по скорости, направлению, исходной точке и пути. Источники движения, регулируемые по четырем параметрам, широко используются в станках с ЧПУ и в автоматизированных станочных системах. В качестве таких источников движения наибольшее распространение получили стандартные электроприводы с двигателями постоянного тока и переменного тока тиристорным управлением.

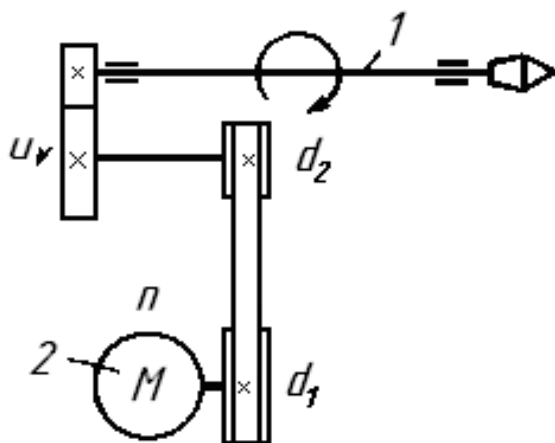
Основы кинематической настройки станков. Любое исполнительное движение в станке можно охарактеризовать пятью пространственными параметрами: траекторией, скоростью, направлением, путем и исходной точкой. Наиболее важные из них — траектория и скорость. Для обеспечения всех этих движений проводится кинематическая настройка станка, являющаяся составной частью его наладки, представляющей собой комплекс организационно-подготовительных работ, проводимых как вне станка, так и непосредственно на нем. Настройка подготавливает станок для выполнения им конкретных технологических операций, обеспечивающих образование на заготовке поверхностей заданных форм с требуемыми точностями их размеров.

Непосредственно кинематическая настройка станка представляет собой программирование скоростей его рабочих органов на выполнение конкретной технологической операции и сводится она к соединению механизмов станка в кинематические цепи с нужными параметрами для реализации требуемой операции. Кинематическим параметром любой кинематической цепи станка является ее передаточное отношение u , определяемое как произведение передаточных отношений кинематических пар, входящих в состав этой цепи, и характеризующее отношение скоростей ее конечных звеньев.

Под *передаточным отношением* кинематической пары u_n понимают отношение частоты вращения $n_{\text{вм}}$ (угловой скорости) ведомого вала (звена) к частоте вращения $n_{\text{вщ}}$ ведущего вала:

$$u_n = n_{\text{вм}} / n_{\text{вщ}}. \quad (1.11)$$

Изменение величины передаточного отношения цепи u позволяет изменять соотношение скоростей ее конечных звеньев (например, главного



1 — шпиндель; 2 — электродвигатель;
 d_1 и d_2 — диаметры приводных шкивов

Рисунок 1.8 — Кинематические связи при простых исполнительных движениях

движения и подачи) или же изменять величину скорости одного конечного звена (например, частоту вращения шпинделя) при постоянстве скорости другого (например, двигателя). Изменение величины передаточных отношений цепей в станках может осуществляться разными способами. В станках с механическими связями для этого используются специальные устройства механического типа в виде гитар сменных зубчатых колес, коробок скоростей и подач (рис. 1.8), и других механизмов, называемых органами кинематической настройки цепей, которые

позволяют за счет изменения только своего передаточного отношения изменить общее передаточное отношение всей цепи.

Требуемое передаточное отношение u конкретного органа кинематической настройки для настройки цепи на выполнение определенной технологической операции определяют по формуле настройки этого органа, а затем полученное значение передаточного отношения u с помощью органа настройки реализуют в цепи.

Формулу настройки конкретного органа настройки называют *уравнением кинематического баланса цепи*. Уравнение составляют по кинематической схеме станка с учетом предварительно составленной записи соотношения скоростей либо перемещений конечных звеньев цепи, при реализации которого будет обеспечено выполнение того или иного параметра обрабатываемого изделия или процесса его обработки. Например, частота вращения вала электродвигателя станка составляет $n_{эд} = 1460 \text{ мин}^{-1}$, а частота вращения шпинделя должна составить $n_{шп} = 500 \text{ мин}^{-1}$. Значит, уравнение кинематического баланса должно при решении дать величину передаточного отношения $u = n_{шп} / n_{эд} = 500 / 1460 = 0,342$.

Содержание и характер условия кинематического согласования скоростей (перемещений) конечных звеньев конкретной цепи определяются и обусловлены ее функциональным назначением. Так, для функциональных кинематических цепей, связывающих исполнительные органы станка, условие кинематического согласования должно отражать строгое функциональное соотношение перемещений (скоростей) конечных звеньев

цепи. Реализация этого соотношения в станке призвана обеспечить получение обрабатываемого изделия с определенным геометрическим или конструктивным параметром. Например, с заданным шагом резьбы, модулем, определенным числом зубьев и т. д.

Если началом кинематической цепи является электродвигатель (см. рис. 1.8), то можно найти связь между начальным и конечным звеньями:

$$nd_1 \eta_p u_v / d_2 = n_{шп}, \quad (1.12)$$

где n , $n_{шп}$ — частота вращения начального и конечного звеньев;

η_p , u_v — КПД и передаточное отношение ременной и зубчатой передач.

Для удобства неавтоматизированных вычислений рекомендуется в уравнении кинематического баланса (1.12) выделить постоянные величины структурной формулы и подсчитать их как коэффициент данной кинематической цепи, например:

$$nd_1 \eta_p u_v / d_2 = C_{шп} u_v = n_{шп}, \quad (1.13)$$

При вычислении с помощью компьютера это излишне. Это выражение справедливо и для станков, в цепи главного движения которых в качестве органа настройки используется коробка скоростей. Тогда в выражении (1.12) u_v будет передаточным отношением коробки скоростей.

В зависимости от того, какие кинематические пары входят в состав кинематической цепи, в нее включаются разные математические выражения, соответствующие передаточным отношениям этих пар. Уравнение кинематического баланса для цепи главного вращательного движения имеет вид:

$$n_n u = n_k, \quad (1.14)$$

где n_n и n_k — частота вращения соответственно начального и конечного звена, мин^{-1} ;

u — передаточное отношение кинематической цепи.

Уравнение кинематического баланса для цепи, у которой начальное звено имеет вращательное движение, а конечное — прямолинейное, будет

$$n_n u H = s_m, \quad (1.15)$$

где H — ход кинематической пары, преобразующей вращательное движение в прямолинейное, $\text{мм} / \text{об}$;

s_m — линейное перемещение конечного звена, $\text{мм} / \text{мин}$.

Величина хода равна перемещению прямолинейно движущегося звена за один оборот вращающегося звена. Для винтовой пары (винт-гайка) она равна

$$H = P_h = nP, \quad (1.16)$$

где P — шаг ходового винта, мм;
 n — число заходов.

Для реечной передачи определение хода осуществляется по формуле

$$H = \pi m z, \quad (1.17)$$

где m — модуль зацепления, мм;
 z — число зубьев реечного колеса.

На этом основании уравнение кинематического баланса для минутной подачи (мм / мин) для цепи с винтовой парой имеет вид:

$$n_n u P_h = s_M, \quad (1.18)$$

для реечной передачи

$$n_n u \pi m z = s_M. \quad (1.19)$$

Уравнение кинематического баланса для оборотной подачи:

$$1 \text{ об} \cdot u H = s, \quad (1.20)$$

где s — линейное перемещение конечного звена, мм / об.

Из уравнений (1.18)—(1.20) определяют передаточное отношение органа настройки. Например, из уравнения (1.13) находят

$$u_v = n_{\text{шп}} / C_{\text{шп}}. \quad (1.21)$$

Это выражение является формулой настройки сменных колес гитары цепи скоростей. При подстановке в формулы (1.12)—(1.15), (1.18)—(1.20) данных можно получить расчетные перемещения начальных и конечных звеньев кинематической цепи.

Анализ структурных схем, характеризующих наличие и взаимосвязь органов настройки металлорежущих станков, позволяет сделать следующие выводы:

- кинематическая структура станков зависит от геометрической формы, размеров обрабатываемой поверхности и метода обработки;
- чем меньше необходимое число исполнительных формообразующих движений, тем меньше кинематических цепей в структуре станка, тем проще его кинематика и конструкция.

Существенное значение для кинематических цепей имеют и другие факторы, например, точность и шероховатость поверхности, динамика резания, условия обслуживания станка, а также экономические факторы.

Органы настройки. Для изменения и регулирования параметров движения, т. е. для фактического соединения в нужной последовательности кинематических пар, определенных уравнением кинематического баланса цепи, в станках используются специальные устройства, называемые *органами настройки*. Органы настройки для регулировки количественных характеристик (скорости, направления, пути и исходной точки) всегда располагают во внешней связи кинематической группы (между источником движения и внутренней кинематической связью группы), а для регулировки качественных характеристик движения (траектории) — во внутренней кинематической связи группы. Органами настройки могут быть гитары, сменные и передвижные зубчатые колеса, муфты и т. д. Выбор вида органа настройки всегда определяется типом производства (единичное, серийное или массовое), в котором будет работать станок.

Для четкого представления о том, какие кинематические пары и в какой взаимосвязи составляют органы настройки и весь станок, разработаны межгосударственные стандарты на их условные обозначения, а условное изображение отдельных его элементов (звеньев) и механизмов, участвующих в передаче движений от двигателя или другого источника движения к исполнительным органам, называется *кинематической схемой станка*.

Зависимость движения связанных между собой элементов передач и механизмов определяется *кинематической связью*. Каждая связь состоит из механических, электрических, гидравлических и других кинематических цепей, по которым осуществляется передача движения. Кинематические цепи служат также для изменения скоростей и направления движения исполнительных органов с помощью соответствующих механизмов при неизменной скорости привода (электродвигателя), для преобразования и суммирования движений и т. п. Кинематические цепи состоят из отдельных звеньев, составляющих кинематические пары.

Внутренней кинематической связью является такая кинематическая связь исполнительных звеньев между собой, которая определяет только характер исполнительного движения, например, вращение или прямолинейное перемещение. При простом исполнительном движении (пусть это вращение) внутренняя кинематическая связь обеспечивается одной кинематической парой между звеном, участвующим в движении (например, шпинделем станка) и исполнительным звеном, не участвующим в движении — это шпиндельная бабка. В нашем примере ха-

рактёр движения обеспечивается конструкцией шпиндельного узла: подшипниками, втулками, шейками шпинделя и т. д. Скорость движения такая связь не регулирует.

Связь между источником движения и подвижным исполнительным звеном, определяющая скоростные характеристики последнего, является *внешней кинематической связью*. В станке внешние кинематические связи состоят из разнообразных видов передач, в том числе механических: с зубчатым зацеплением и трением — расположенных в определенной последовательности. При малых расстояниях между осями валов передачи осуществляются непосредственным контактом. Для этого используют различные зубчатые передачи. Для передачи вращения между параллельными валами используют цилиндрические зубчатые передачи, между пересекающимися валами движение передают с помощью конических зубчатых передач, а между скрещивающимися — червячных, винтовых. Существуют и другие виды передач.

Для средних расстояний между осями валов используют разнообразные ременные и цепные передачи. Отдельные элементы кинематических цепей изображаются на схемах условными обозначениями.

Условные обозначение кинематических пар, деталей и узлов металло-режущих станков регламентированы ГОСТ 2.770-68, ГОСТ 2.780-68, ГОСТ 2.781-68, ГОСТ 2.782-68. Элементы кинематики (ГОСТ 2.770-68) содержат условные и упрощенные изображения валов, осей, стержней, шатунов, кривошипов, зубчатых колес, червяков, шкивов, кулачков, муфт и т. д. Обозначения некоторых элементов кинематических схем приведены ниже в таблице 1.1.

Настройка кинематических цепей. В общем виде формула настройки (уравнение кинематического баланса) устанавливает зависимость величины передаточного отношения u органа настройки от переменных величин, характеризующих геометрические или конструктивные параметры обрабатываемого изделия, либо технологические параметры режима его обработки.

Чтобы вывести формулы настроек уравнений кинематического баланса настройки указанных цепей, необходимо для каждой из них:

- а) составить условие кинематического согласования или преобразования перемещений или скоростей конечных звеньев цепи в соответствии с ее функциональным назначением;
- б) составить уравнение кинематического баланса цепи кинематического согласования с учетом условия согласования;
- в) решить уравнение баланса относительно параметра, означающего передаточное отношение органа настройки.

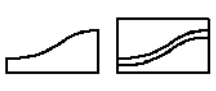
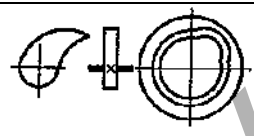
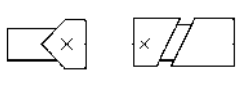
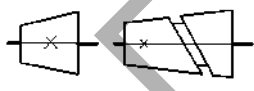
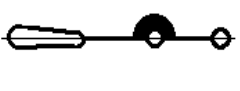
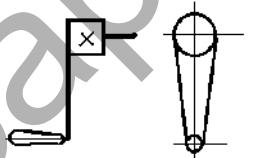
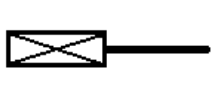
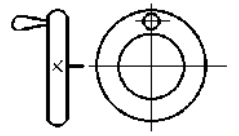
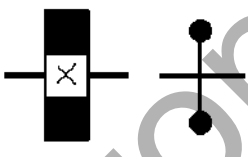
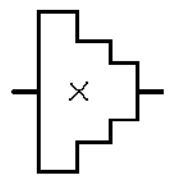


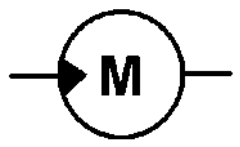
Т а б л и ц а 1.1 — Условные обозначения элементов кинематических цепей

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
<i>Валы, оси, винты</i>			
Вал, валик, ось и т. п.		Винт	
<i>Подшипники без уточнения типа</i>			
Радиальный		Упорные двусторонние	
Радиально-упорный двусторонний		Упорные односторонние	
<i>Подшипники скольжения</i>			
Радиальный		Радиальный самоустанавливающийся	
Радиально-упорный односторонний		Радиально-упорный двусторонний	
Упорные односторонние		Упорные двусторонние	
<i>Подшипники качения</i>			
Радиальный шариковый		Радиальный роликовый	
Радиально-упорный односторонний шариковый		Радиально-упорный односторонний роликовый	
Радиально-упорный двусторонний роликовый		Упорный односторонний роликовый	
<i>Соединение детали с валом</i>			
Свободное при вращении		Подвижное без вращения	
При помощи вытяжной шпонки		Глухое	

Продолжение табл. 1.1

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
<i>Соединение двух валов</i>			
Глухое		Глухое с предохранителем	
Эластичное		Шарнирное	
Зубчатой муфтой		Предохранительной муфтой	
<i>Муфты сцепления кулачковые</i>			
Односторонняя		Кулачковая двусторонняя	
<i>Муфты сцепления фрикционные</i>			
Общее обозначение (без уточнения типа)		Двусторонняя (общее обозначение)	
Фрикционная односторонняя (общее обозначение)		Односторонняя электромагнитная	
Односторонняя гидравлическая или пневматическая (общее обозначение)		Конусная односторонняя	
Дисковая двусторонняя		С колодками	
Муфта самовыключающаяся обгона односторонняя		Тормоза дисковые	
Тормоза конусные		Тормоза колодочные	

Окончание табл. 1.1

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
<i>Кулачки плоские</i>			
Плоский продольного перемещения		Плоский дисковый	
<i>Кулачки барабанные</i>			
Барабанный цилиндрический		Барабанный конический	
<i>Прочие элементы</i>			
Рычаг переключения		Рукоятка	
Конец вала под съемную рукоятку		Маховичок	
Маховик на валу		Шкив ступенчатый, закрепленный на валу	
<i>Двигатели</i>			
Электромотор		Пневмомотор	
Гидромотор			

Начальные и конечные звенья кинематических цепей. В уравнение кинематического баланса входят составляющие, характеризующие все элементы цепи от начального до конечного звена, в том числе и преобразующие движение, например, вращательное в поступательное. Начальным звеном обычно является двигатель, если движение в начале кинематической цепи не заимствуется от какого-то рабочего органа станка, а конеч-

ным звеном — исполнительный орган станка, например, шпиндель, суппорт, ползун и т. д. В этом случае в уравнение баланса входит параметр, определяющий условия этого преобразования: перемещение по винтовой линии в миллиметрах на один оборот (шаг винта) или модуль зубчатого зацепления колесо-рейка. Размерность этого параметра позволяет согласовать характеристики движения начального и конечного звеньев кинематической цепи. При передаче только вращательного движения в уравнение входят безразмерные составляющие (передаточные отношения механизмов и отдельных элементов), в связи с чем размерности движения конечного и начального звеньев одинаковы.

Уравнения кинематического баланса. Регулируемые звенья станков настраивают на основе уравнения кинематического баланса, например, для привода главного движения станка оно имеет вид

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{эл}} u_{\text{пост}} u_{\text{к.с}} \eta, \quad (1.22)$$

где $n_{\text{шп}}$ и $n_{\text{эл}}$ — частоты вращения соответственно шпинделя и электродвигателя, мин^{-1} ;

$u_{\text{пост}}$ — передаточное отношение всех постоянных передач данной кинематической цепи (например, для станка 16К20 это передаточные отношения клиноременной передачи);

$u_{\text{к.с}}$ — передаточное отношение коробки скоростей;

η — коэффициент, учитывающий проскальзывание ременной передачи (0,970...0,985).

Станок должен быть настроен на заранее подобранную по режимам резания частоту вращения. Основным кинематическим параметром, характеризующим все виды механических передач вращательного движения, является передаточное отношение, т. е. отношение частоты вращения n_2 ведомого вала II к частоте вращения n_1 ведущего I:

$$u = n_2 / n_1. \quad (1.23)$$

Отсюда следует, что для ременной, цепной и зубчатой передач передаточное отношение равно соответственно

$$u = d_1 / d_2 = z_1 / z_2, \quad (1.24)$$

где d_1 и d_2 — диаметры соответственно ведущего и ведомого шкивов;

z_1 и z_2 — число зубьев ведущего и ведомого колес или ведущей и ведомой звездочек.

Для червячной передачи

$$u = k / z, \quad (1.25)$$

где k — число заходов червяка;

z — число зубьев червячного колеса.

При последовательном расположении нескольких передач их общее передаточное отношение равно произведению передаточных отношений отдельных передач:

$$u_{\text{общ}} = u_1 u_2 u_3 \dots u_n. \quad (1.26)$$

Частота вращения последнего ведомого вала равна частоте вращения ведущего вала, умноженной на общее передаточное отношение кинематической цепи:

$$n_{\text{кон}} = n_{\text{нач}} u_{\text{общ}} \quad (1.27)$$

Ряд частот вращения шпинделя станка (ведомый вал) равен произведению частоты вращения ведущего вала (вала электродвигателя) на передаточные отношения, образуемые звеньями кинематической цепи. При наличии в кинематической цепи ременной или другой передачи, в которой есть проскальзывание, в уравнение вводят коэффициент, учитывающий скольжения. Математическое выражение связи движений ведущего и ведомого элементов (начального и конечного звеньев) кинематической цепи станка называется уравнением кинематического баланса. Так для станка 16К20 минимальная и максимальная частоты прямого вращения шпинделя определяются из уравнений кинематического баланса

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

$$n_{\text{шп max}} = n_{\text{дв}} \cdot \eta \cdot 140/268 \cdot 56/34 \cdot 38/38 \cdot 60/48 \approx 1\,600 \text{ мин}^{-1},$$

где $n_{\text{дв}}$ — частота вращения вала электродвигателя ($n_{\text{дв}} = 1\,460 \text{ мин}^{-1}$);

$140/268$ — отношение диаметров шкивов клиноременной передачи;

η — коэффициент проскальзывания ремней ($\eta = 0,985$).

Произведение $n_{\text{дв}} \eta \cdot 140/268$ — постоянная составляющая уравнения кинематического баланса, которую при расчетах можно заменить постоянным коэффициентом C .

Методика расчета кинематической настройки. Для настройки кинематической цепи скорости резания условие согласования скоростей ее конечных звеньев устанавливается из требования обеспечения последнему звену цепи (шпинделю с заготовкой) необходимой частоты вращения $n_{\text{шп}}$, соответствующей расчетной оптимальной скорости резания. Исходным значением является частота вращения $n_{\text{дв}}$ другого конечного звена цепи (начала этой кинематической цепи) — ротора приводного электродвигателя. Условие согласования скоростей конечных звеньев этой цепи можно еще сформулировать и так: при заданной частоте вращения $n_{\text{дв}}$ приводного электродвигателя заготовка должна иметь требуемую частоту вращения $n_{\text{шп}}$.

Теперь с учетом уравнения (1.12) и составленного условия согласования скоростей конечных звеньев скоростной цепи можно в общем виде составить уравнение ее кинематического баланса:

$$n_{\text{дв}} u_1 u_2 \dots u_v \dots u_n = n_{\text{шп}}, \quad (1.28)$$

где u_1, u_2, \dots, u_n — передаточные отношения всех n постоянных передач в скоростной цепи;

u_v — общее передаточное отношение коробки скоростей.

Решая составленное уравнение кинематического баланса, получают формулу настройки скоростной цепи, с помощью которой определяют величину общего передаточного отношения u_v коробки скоростей, обеспечивающего требуемую частоту вращения n_3 шпинделя станка с заготовкой:

$$u_v = n_{\text{шп}} / u_1 u_2 \dots u_n n_{\text{дв}},$$

или

$$u_v = C_v n_3 / n_{\text{дв}}, \quad (1.29)$$

где C_v — постоянный коэффициент скоростной цепи станка.

Для станков с ЧПУ, у которых рабочие исполнительные органы имеют индивидуальные регулируемые по скорости и направлению двигатели, кинематическая настройка станка сводится к подготовке управляющей программы для обеспечения исполнительными органами требуемых величин скоростей или перемещений.

Кинематические и структурные схемы станков. Простейшие кинематические схемы были выше представлены ременной и зубчатой передачами (см. рис. 1.8). Кинематическая структура станка представляет собой совокупность кинематических групп и их соединений. Группы между собой могут соединяться разными способами и их соединение зависит от многих факторов. Наибольшее влияние на соединение кинематических групп оказывает общность их исполнительных

органов и источника движения, а также необходимость координации и согласованности во времени создаваемых группами движений. Всякое соединение двух кинематических групп осуществляется через специальные дополнительные устройства такие, как суммирующие механизмы, муфты, реверсы и т. д.

Главной и определяющей частью кинематической структуры любого станка является его формообразующая часть, включающая все группы формообразования и их соединения. Положив в основу классификации всего многообразия кинематических структур станков общее число и характер групп формообразования, все структуры металлорежущих станков можно разделить на три класса:

- к *классу простых структур (П)* относятся станки с кинематической структурой, содержащей только простые группы формообразования, т. е. имеющие лишь один исполнительный орган, например, группы $\Phi(B)$, $\Phi(П)$ с вращательным и поступательным движениями формообразования;

- к *классу сложных структур (С)* относятся станки с кинематической структурой, содержащей только сложные группы формообразований, т. е. группы, имеющие по два и более исполнительных органов, например, создающие движения $\emptyset(B_1B_2)$, $\Phi(B_1B_2П_3)$ и т. д.;

- к *классу комбинированных структур (К)* относятся станки с кинематической структурой, содержащие одновременно простые и сложные группы формообразования.

Каждый класс содержит определенное число типовых кинематических структур, шифр которых можно условно записать буквой с последующими двумя цифрами. Буква указывает на класс структуры, первая цифра — на общее число формообразующих групп в структуре станка, вторая — на суммарное число всех простых вращательных и прямолинейных движений, составляющих совокупно все формообразующие движения станка. Например, запись $K24$ означает, что станок имеет кинематическую структуру комбинированного класса (буква K), формообразующая часть его состоит из одной простой и одной сложной группы (цифра 2) с общим суммарным числом простых движений, участвующих в формообразовании, равным четырем (последняя цифра шифра).

Если принять во внимание, что практически максимально возможное число групп формообразования в структурах станков равно трем, то можно составить таблицу шифров типовых кинематических структур всех станков (табл. 1.2). Примеры некоторых типовых структур станков, шифр которых в таблице 1.2 отмечен звездочкой, приведены в таблице 1.3 с указанием наименования станка, шифра его структуры и записи его групп формообразования.

Т а б л и ц а 1.2 — Кинематические структуры станков

Класс структуры	Структура станка при числе групп формообразования		
	1	2	3
Простой	П11	П22	П33
Сложный	С12	С24	С36
	С13	(С25)	(С37)
	С14	—	—
Комбинированный	—	К23	К34
	—	К24	(К35)
	—	К25	(К36)
	—	(К26)	—

Примечания. 1. В скобках указаны структуры станков, которые редко встречаются в станкостроении.

Т а б л и ц а 1.3 — Примеры станков с типовыми кинематическими структурами

Наименование станка	Протяжной	Абразивно-отрезной	Кругло-шлифовальный	Токарно-винторезный	Токарный с обкатным резцом	Зубофрезерный	Резьбофрезерный	Резьбошлифовальный
Кинематическая структура	П13	П22	П33	С12	С24	С36	К23	К34
Формообразующие движения	Фв (Пн)	Фв (Вн) Фз (Пз)	Фв (Вн) Фs1 (Вз) Фs2 (Пз)	Фв (ВзПи)	Фв (ВиВз1) Фз (ПиВзи)	Фв (ВиВз1) Фз1 (ПзВз2) Фз2 (ПиВз3)	Фв (Ви) Фз (ВзПи)	Фв (Ви) Фз1 (Пи1) Фз2 (Пи2Вз)

При составлении и анализе кинематической структуры станков следует четко представлять себе обрабатываемое изделие в целом и ту поверхность, которая должна быть обработана резанием на станке. Это означает, что создаваемую поверхность необходимо охарактеризовать двумя линиями, одна из которых характеризует поверхность в поперечном, а другая — в продольном сечении, т. е. установить формы двух производящих линий, при относительном движении которых может быть образована данная поверхность.

Необходимо также отчетливо представлять себе вид, конструкцию режущего инструмента и форму его режущих кромок, а также исходное и относительное взаимное положение обрабатываемой заготовки и инструмента в процессе формообразования требуемой поверхности.

Анализ и сопоставление форм производящих линий и режущей кромки инструмента, а также учет специфики обработки (фрезерование, шлифо-

вание и т. д.) позволят установить метод формообразования (сочетание методов образования образующей и направляющей производящих линий) поверхности, а также количество, характер и состав движений формообразования, необходимых для реализации выбранного метода.

1.4 Типовые механизмы и детали металлорежущих станков

Станины. Конструктивные варианты. Назначение. Основные требования. К корпусным деталям станков относят: станины 1, стойки 3, траверсы, проставочные плиты 2, корпуса силовых головок 4, коробок скоростей, подач, задних бабок, суппортов 5, столов, планшайб и др. (рис. 1.9).

Основное назначение корпусных деталей — удерживать подвижные узлы станка в нужных местах и на нужных траекториях их перемещения. Лучшим будет тот случай, когда возникающие в процессе работы силы (резания, инерции, давления) не могут больше допустимого изменить положение и (или) траекторию перемещения узлов. Оценить работоспособность корпусных деталей можно на основе учета максимальных усилий, действующих в процессе работы станка. В качестве примера на рисунке 1.9 показаны эпюры изгибающих M_n и крутящих M_k моментов, действующих в станине сверлильно-фрезерно-расточного станка.

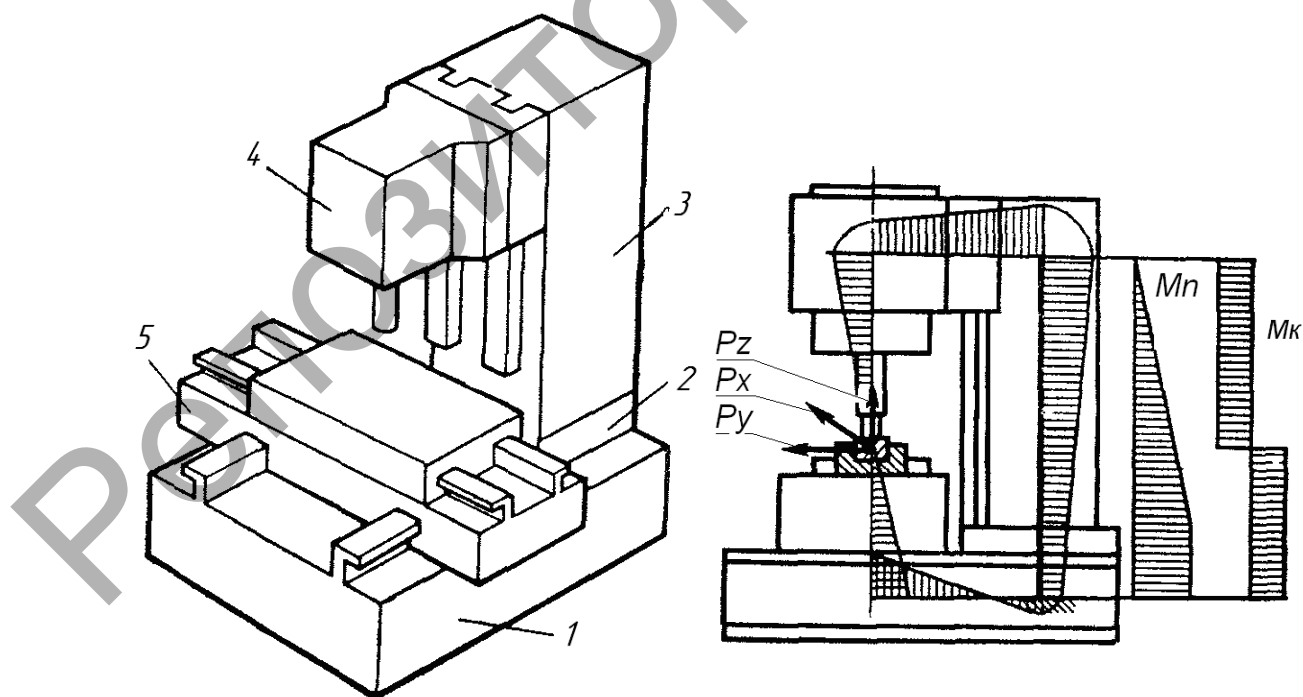


Рисунок 1.9 — Основные узлы станка и моменты сил, действующие в станках

Из всех корпусных деталей наиболее ответственной является станина, на базовых поверхностях которой располагаются различные подвижные и неподвижные узлы и механизмы станка: суппорты, стойки, столы, приводы и т. п. В основе конструкции станин, несмотря на большое разнообразие их форм, лежат некоторые общие принципы, обусловленные конструктивными, технологическими и прочностными требованиями. Конструкция станины должна обеспечить:

- возможность рационального расположения на ней всех необходимых узлов и механизмов;
- удобство монтажа;
- ремонтпригодность;
- технологичность, гарантирующую возможность изготовления станины с требуемой точностью геометрической формы и качеством базовых поверхностей при высокой производительности их обработки.

Наивыгоднейший профиль станин по конструктивным соображениям и прочностным характеристикам — это сечение в форме полого прямоугольника или кольцевого профиля (рис. 1.10, *a*, *б*, *в*). Такие профили наиболее характерны для вертикальных станин потому, что в этом случае они почти не входят в противоречие с другими требованиями.

Однако не всегда удается выдержать по всей длине станины замкнутый профиль, что связано с необходимостью обеспечить удобство удаления стружки, компактное расположение различных механизмов, узлов и агрегатов, сборку и демонтаж станка. Поэтому часто форма профиля станины имеет открытый вид, а для повышения ее жесткости применяют ребра жесткости, двойные стенки и т. п. (рис. 1.10, *г*, *д*, *е*). Жесткость станины значительно повышается, если полая внутренняя часть выполнена с перегородками.

В последнее время в связи с широким внедрением мощных токарных станков с ЧПУ все шире применяются станины с направляющими, расположенными на их боковой стороне, расположенной под прямым или несколько меньшим углом к горизонтали.

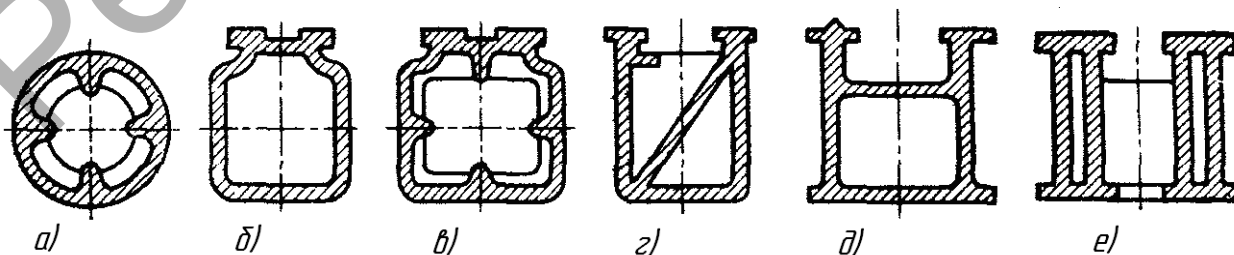


Рисунок 1.10 — Виды сечений станин

Важным фактором корпусной детали являются остаточные напряжения в отливке из-за неравномерного застывания металла, которые со временем могут исказить ее форму и ухудшить качество. Существенно уменьшают эти напряжения с помощью искусственного и естественного старения деталей (рис. 1.11).

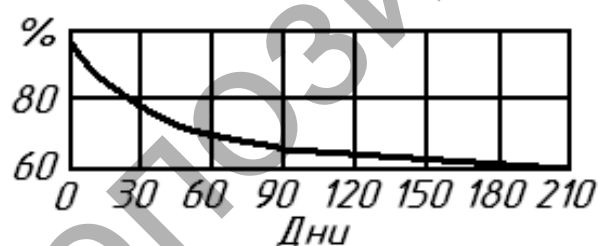
Направляющие. Их назначение и классификация. В металлорежущих станках для прямолинейного и кругового перемещения узлов в любых направлениях используют направляющие скольжения, качения и комбинированные. По характеру трения направляющие скольжения делятся на направляющие полужидкостного трения, жидкостного трения и аэроэластические направляющие.

Направляющие качения в зависимости от вида тел качения делятся на шариковые и роликовые.

В зависимости от траектории движения подвижного узла направляющие бывают прямолинейные и круговые, горизонтальные, вертикальные и наклонные. Находят применение направляющие с разными профилями поперечного сечения. Часто используют на одном станке сочетание различных профилей направляющих. Каждый из профилей можно применять в случае охватывающих и охватываемых направляющих.

Направляющие обеспечивают точность движения рабочих узлов и это зависит от точности изготовления направляющих, их жесткости, температурных деформаций, зазоров в сопряжениях. Это обеспечивается выполнением следующих требований:

- низкий коэффициент трения, не зависящий существенно от скорости;
- высокая жесткость в направлении, перпендикулярном подаче;



а)

б)

Рисунок 1.11 — Остаточные напряжения при естественном (а) и искусственном (б) старении

- высокая способность демпфирования;
- высокая износостойкость.

Точность направляющих достигается соответствующей технологией обработки, а длительное сохранение точности — правильным выбором материала, конструкции и условиями эксплуатации.

Направляющие скольжения, гидростатические направляющие, аэростатические направляющие. В соответствии нормативными документами установлены следующие типы направляющих скольжения: треугольные симметричные (рис. 1.12, *а*), треугольные несимметричные (рис. 1.12, *б*), прямоугольные (рис. 1.12, *в*) и остроугольные (рис. 1.12, *г*), цилиндрические. Регулировка зазоров в направляющих скольжения может производиться регулировочными клиньями *А*, прокладками *Б*, передвижными планками *В* (рис. 1.13). Равномерность смазки направляющих достигается за счет выполнения на их рабочей поверхности специальных смазочных канавок.

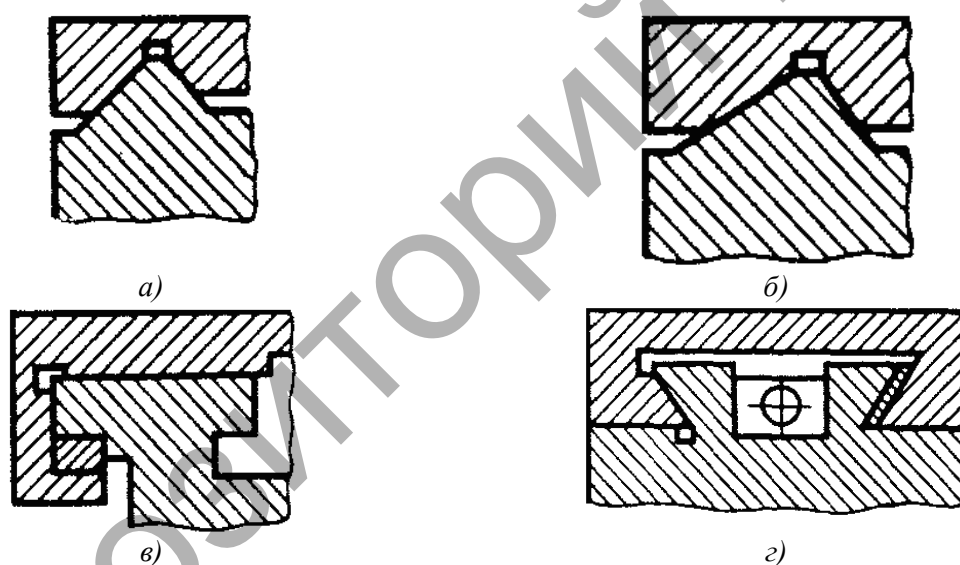


Рисунок 1.12 — Типы направляющих скольжения

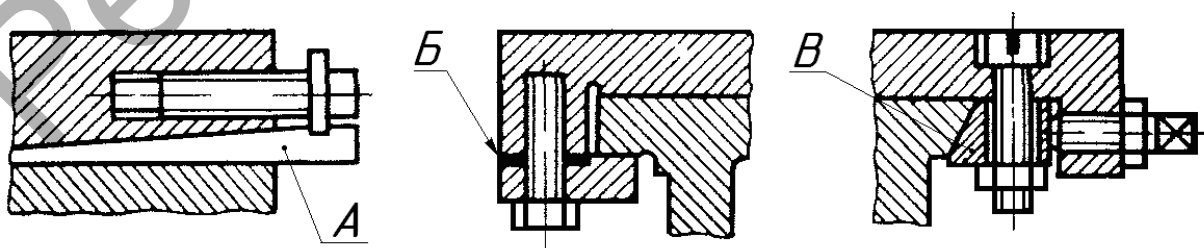


Рисунок 1.13 — Регулировка зазоров в направляющих скольжения

Направляющие скольжения, несмотря на преимущество простоты обычных конструкций (традиционное исполнение), имеют ряд существенных недостатков: невысокую износостойкость, низкую точность установочных перемещений, большие силы трения. Широко применяются направляющие с пластмассовыми накладками, что снижает трение и повышает износостойкость узла. В зоне контакта трущихся поверхностей улучшается температурный режим. Такие направляющие обладают высокой жесткостью и хорошей демпфирующей способностью.

Пластмассовые направляющие обычно располагают на более короткой из сопрягаемых поверхностей, например, на столах, салазках и т. п. Толщина пластмассового слоя 1,5...3 мм. Он наносится методом заливки или приклеиванием накладок. Чаще всего пластмассовые направляющие делают из фторопласта (тефлона).

Достоинство фторопластовых направляющих — малый коэффициент трения, что исключает скачкообразное перемещение рабочего узла при замедленных скоростях подачи. Кроме того, фторопластовые направляющие характеризуются равномерностью износа, высокой долговечностью и постоянством коэффициента трения. В паре с пластмассовыми направляющими, как правило, применяют закаленные стальные планки твердостью не менее *HRC 55*.

В ряде станков с ЧПУ, особенно крупногабаритных, применяют плоские и цилиндрические гидростатические направляющие, работающие в условиях жидкостного трения. Их достоинства: стабильность толщины масляного слоя, низкий коэффициент трения, плавность движения, высокая точность перемещений, пренебрежимо малый износ и нечувствительность к деформации станины. Демпфирующие свойства этих направляющих определяются вязкостью применяемого масла. Гидростатические направляющие могут быть замкнутого и незамкнутого типа. В замкнутых гидростатических направляющих (рис. 1.14) нижняя опора 3 выполняется плавающей. Масло от насоса 1 подается под постоянным давлением P_n через дроссели 2 и 4 в карманы верхних и нижних поверхностей. Из карманов масло вытекает наружу через зазоры h в направляющих. Станки с гидростатическими направляющими снабжены устройствами сбора масла и его очистки.

В станках, где нагрузки относительно невелики, можно использовать аэростатические направляющие, в которых, в отличие от гидростатических, вместо масляной подушки создается воздушная. Станки с аэростатическими направляющими снабжены устройствами очистки, охлаждения и сушки воздуха. К качеству изготовления аэростатических опор предъявляют высокие требования, так как от этого в значительной степени зависит устойчивость их работы. Зазор в направляющих должен быть минимальным — 10...15 мкм.

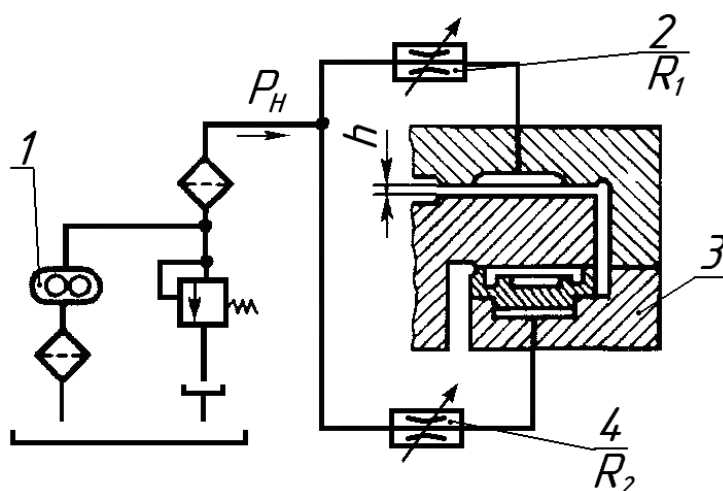


Рисунок 1.14 — Схема замкнутых гидростатических направляющих

Направляющие качения, роликовая замкнутая опора. В тех случаях, когда надо значительно снизить коэффициент трения и обеспечить его независимость от скорости перемещения, применяют направляющие качения без предварительного регулирования — незамкнутые (рис. 1.15, а, б) и с предварительным регулированием — замкнутые (рис. 1.15, в). Тела качения (ролики или шарики) изготавливают с допуском около 1 мкм.

Направляющие с роликовыми опорами, так же как и направляющие скольжения, могут быть замкнутыми и незамкнутыми. При исполнении замкнутой конструкции (рис. 1.16) для уменьшения деформаций и обеспечения равномерности распределения действующих нагрузок, каждая роликовая опора 1, 2, 3, 5, 8, 9 должна взаимодействовать с противостоящей опорой. Для повышения статической и динамической жесткости и точности перемещений в опорах создается предварительный натяг с помощью клиньев 4, 6, 7 или мерных прокладок.

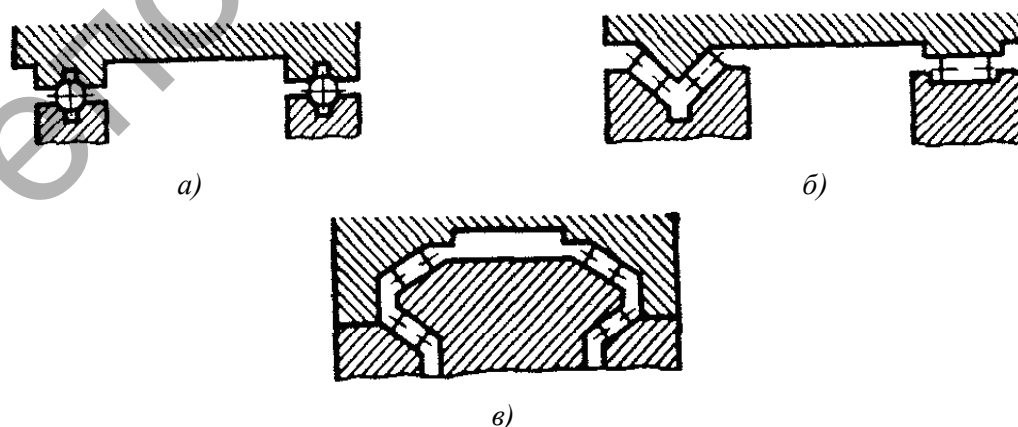


Рисунок 1.15 — Виды направляющих качения

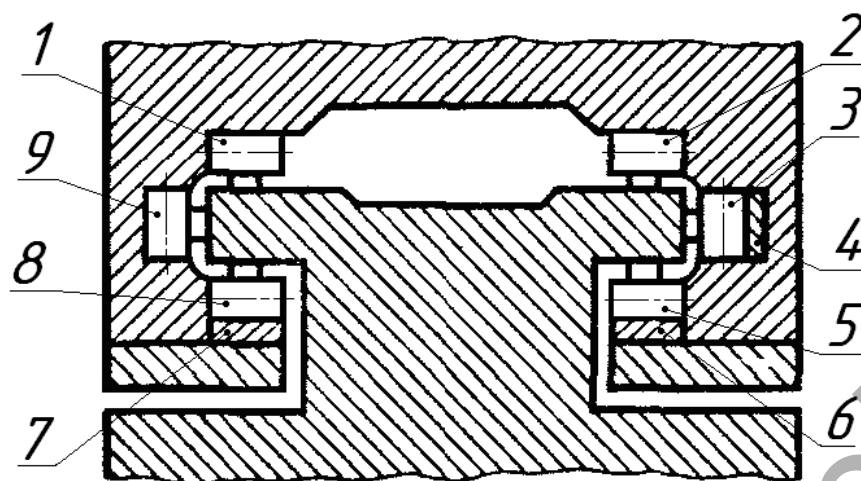


Рисунок 1.16 — Схема создания предварительного натяга в направляющих качения

1.5 Типовые шпиндельные узлы металлорежущих станков

Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам. Основные элементы. Шпиндель является сложным и ответственным узлом в конструкции привода любого станка. Учитывая степень влияния и взаимосвязей, правильнее говорить не о шпинделе, а о шпиндельном узле. От него во многом зависят технико-экономические показатели станка. Поэтому и требования, предъявляемые к шпиндельным узлам, довольно высокие. Обеспечиваются они соответствующим выбором материала и его термообработки, конструкцией, размерами и компоновкой шпинделя, качеством изготовления, сборки и регулировки. В настоящее время все чаще в станках применяют шпиндельные узлы повышенной точности, выпускаемые специализирующимися на их изготовлении заводами. В таком случае шпиндель является не частью шпиндельной бабки, а вставкой в эту бабку.

Факторы, определяющие конструкцию шпинделя:

- а) жесткость, точность движения, износостойкость трущихся поверхностей, виброустойчивость и др.;
- б) восприятие внешних сил от массы заготовки и сил резания с малыми статическими, динамическими и термическими смещениями;
- в) возможность изменения частот вращения в широких пределах;
- г) зажим-отжим инструмента (или заготовки) и ориентация шпинделя в заданном угловом положении при автоматической смене инструмента.

Кроме этого конструкция шпиндельного узла зависит от типа и размера станка, предельных параметров процесса обработки (максимальной частоты вращения, мощности привода).

Выполнение этих требований возможно только при учете всех параметров, влияющих на работу шпиндельного узла.

Конструкцию переднего конца шпинделя выбирают в зависимости от способа крепления инструмента или заготовки. Так как для их крепления применяют стандартные приспособления, то передние концы шпинделей для большинства станков стандартизированы.

Назначение диаметров и других размеров шпинделя производится с учетом силовых и скоростных характеристик станка.

Конфигурация внутренних поверхностей отверстия в шпинделе определяется конструкцией зажимного устройства, встраиваемого в шпиндель.

Тип опор назначают на основании требований по точности вращения и быстроходности с учетом условий эксплуатации. Применение гидростатических опор целесообразно в точных (с погрешностью до 2 мкм) и тяжелых станках, а также в машинах, где требуется высокое демпфирование (шлифовальные, зубообрабатывающие станки). Гидродинамические подшипники применяют в станках, где частота вращения шпинделя меняется редко (шлифовальные, специальные). Аэростатические подшипники применяют в станках особо высокой точности, например, для обработки оптических изделий, где требуется обеспечить высокую точность вращения и малое тепловыделение. Электромагнитные опоры находятся на стадии создания и предназначены для сверхскоростной (со скоростью свыше 300 м / с) обработки.

Уплотнения шпиндельных узлов служат для защиты подшипников от проникновения в них грязи, пыли и охлаждающей жидкости, а также препятствуют вытеснению смазочного материала из подшипников.

Механизмы фиксации деталей на шпинделе должны обеспечить тонкую регулировку и высокую надежность (исключить ослабления).

Тип приводного элемента (зубчатую, ременную передачи, муфту) выбирают в зависимости от частоты вращения шпинделя, передаваемого крутящего момента, компоновки станка, требований к точности. Зубчатая передача, обладая простотой и компактностью, обеспечивает передачу больших крутящих моментов. Недостатки — ограничение частоты вращения исходя из окружной скорости передачи около 30 м / с; дополнительные динамические нагрузки в приводе из-за погрешностей передачи. Ременная передача обеспечивает высокую плавность и применяется при окружной скорости ремня до 100 м / с. Недостаток — большие габариты. Муфты используют для связи коробки скоростей со шпинделем, благодаря чему исключают изгибающую деформацию шпинделя от приводного элемента. В современных станках шпиндель может являться одновремен-

но и валом электродвигателя, тогда необходимость в приводных элементах отпадает вообще.

Для оценки работоспособности шпиндельного узла анализируют его точность, быстроходность, нагрузочную способность, статическую жесткость, динамические характеристики, энергетические потери, нагрев опор, статические, динамические и температурные смещения конца шпинделя, ресурс работы.

Точность оценивается радиальным (ECR), осевым или торцовым (ECA) биением (рис. 1.17) шпинделя, которые для станков средних размеров составляют 5...8 мкм. Подшипники выбирают с допустимым биением примерно в три раза меньшим, чем допустимое биение шпинделя. Наиболее точные станки имеют биение шпинделя 0,01—0,02 мкм.

Быстроходность шпинделей оценивается по произведению nd мм / мин, где d — диаметр под шейку переднего подшипника, мм, а n — частота вращения шпинделя, мин^{-1} . Для разных опор достигнуты следующие максимальные значения показателя быстроходности шпинделей:

- на подшипниках качения: $(2, \dots, 2,5) \cdot 10^6$;
- на гидростатических: $(1,5, \dots, 1,8) \cdot 10^6$ (ограничено потерями мощности);
- на аэростатических: $(2,5, \dots, 3) \cdot 10^6$ (ограничено потерей устойчивости);
- на электромагнитных опорах: $6 \cdot 10^6$ (лимитируется механической прочностью материала шпинделя, разрушающегося от центробежных сил).

Установка каждого дополнительного подшипника снижает быстроходность примерно на 25%. Повышение быстроходности в два раза достигается применением керамических подшипников, автоматическим регулированием натяга в подшипниках, использованием совершенной системы смазывания.

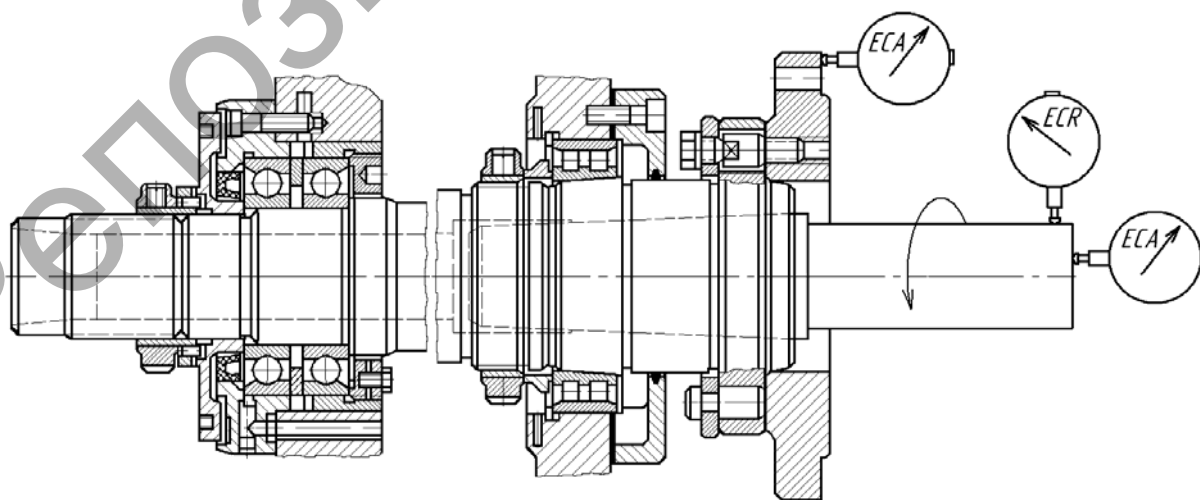


Рисунок 1.17 — Проверка шпиндельного узла токарного станка на точность

Статическая жесткость определяется по радиальному и осевому смещениям конца шпинделя под действием силы F . При этом суммарная деформация δ складывается из собственной деформации δ_1 шпинделя и деформации δ_2 опор. Наибольшее влияние на жесткость оказывает диаметр шпинделя (в четвертой степени) и его вылет (в кубе). Достигнутая статическая жесткость составляет примерно $(4...5)d$ Н / мкм, где d измеряется в миллиметрах. Для максимальной жесткости желательно увеличивать диаметр d , который, однако, ограничен быстроходностью.

Виброустойчивость станков на 40...50% также определяется шпиндельным узлом. Причинами вибраций могут быть дисбаланс деталей (шкивов, втулок и т. п.), передаточные механизмы, в частности зубчатые колеса, переменная жесткость опор и т. п. Наиболее характерными показателями динамического качества являются частота собственных колебаний, амплитудно-частотные характеристики, форма колебаний на собственной частоте. Чем выше собственная частота колебаний f_0 и меньше резонансная амплитуда A_0 , тем лучшими потенциальными возможностями обладает шпиндельный узел.

Энергетические потери и нагрев опор характеризуются моментом трения и мощностью холостого хода и учитываются при выборе опор и назначении мощности привода (особенно важно для скоростных шпинделей). Двухрядный роликовый подшипник имеет примерно вдвое большие потери, чем шариковый радиально-упорный.

Ресурс работы определяется износом опор и не регламентируется. Долговечность подшипников качения зависит от чистоты смазочного материала и составляет 10 000...30 000 ч.

Опоры шпинделей. Основной вид деформации шпинделей — это их изгиб от массы заготовки, сил резания, давления от натяжения ремней, дисбаланса самого шпинделя, центробежных сил, натяга в подшипниках и т. п. Поэтому шпиндель рассчитывают, как правило, на жесткость, а для тяжело нагруженных шпинделей проводят проверочный расчет на прочность. При расчете на жесткость шпиндель рассматривают как балку на опорах, тип которой зависит от типа принятых подшипников. Так, при двух шариковых подшипниках качения расчетная схема принимает вид, показанный на рисунке 1.18, *а*. Если в передней опоре два подшипника качения или один роликовый, то можно считать, что шпиндель не имеет поворота (рис. 1.18, *б*). Если в передней опоре поставлен подшипник скольжения (рис. 1.18, *в*), то он создает определенный реактивный момент M_p , который равен $(0,3...0,35) M_{изг}$ в передней опоре. При двух подшипниках скольжения (рис. 1.18, *г*) вначале определяют прогиб y_1 при деформации шпинделя в пределах радиального зазора подшипников. Если сила вызывает большую деформацию, то следует подсчитать прогиб y_2 конца шпинделя от той составляющей, которая деформирует его как консольную

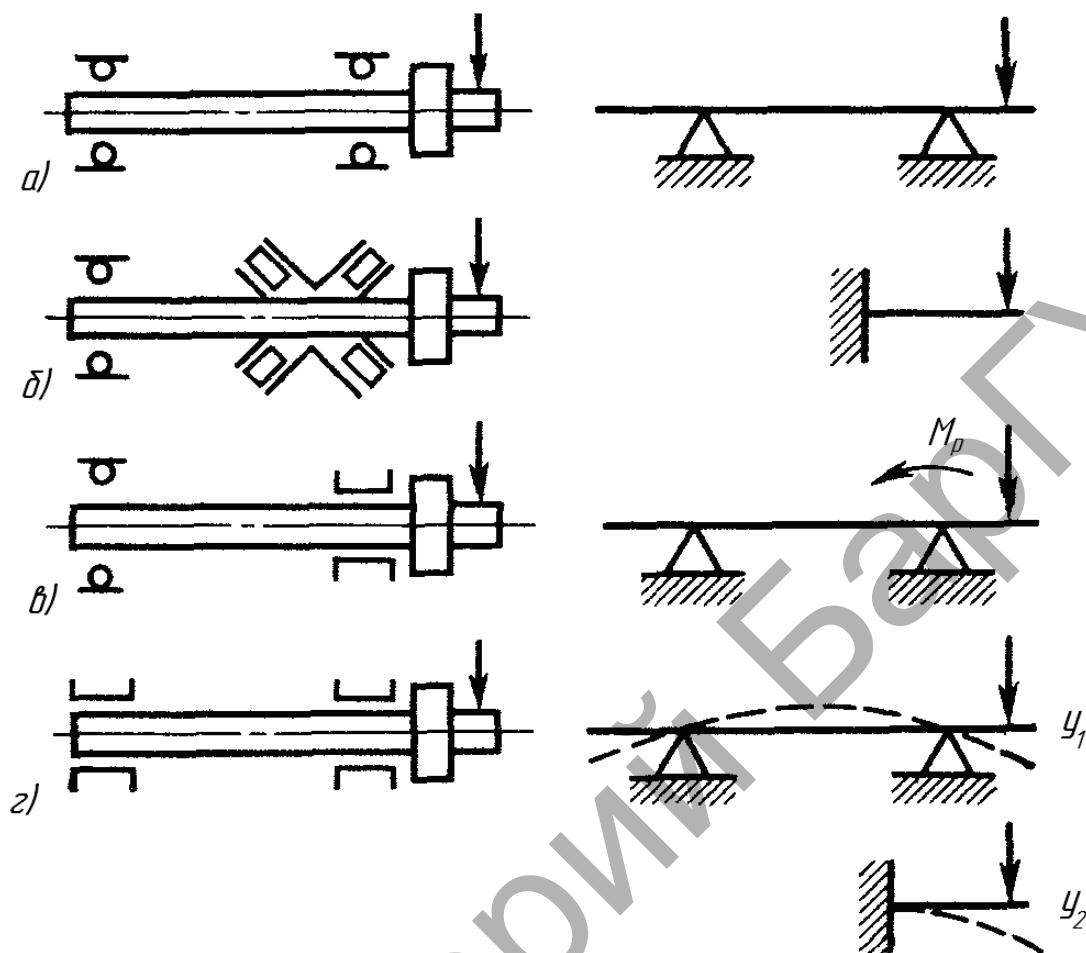


Рисунок 1.18 — Варианты опор шпинделя станка

балку с заделкой в передней опоре. В этом случае суммарный прогиб $y = y_1 + y_2$. К прогибу шпинделя следует добавить его деформацию на упругих опорах, рассматривая при этом шпиндель как жесткое тело.

В шпинделях станка могут возникать продольные, поперечные, осевые и крутильные колебания. По виду их подразделяют на собственные, вынужденные и автоколебания. Расчет колебаний представляет определенную трудность.

Точность вращения, жесткость и виброустойчивость шпинделей во многом зависят от типа опор. В качестве опор применяют прецизионные подшипники качения и подшипники скольжения с жидкостным трением, к которым предъявляют следующие требования:

- а) высокая точность вращения;
- б) опоры шпинделей должны быть долговечны. Подшипники качения имеют ограниченный срок службы, зависящий от частоты вращения шпинделя и нагрузки. Подшипники скольжения изнашиваются, в основ-

ном, в период пуска, остановки или реверса шпинделя станка. Поэтому при редких включениях они могут работать длительное время;

в) виброустойчивость опор — важное условие для работы высокооборотных шпинделей. Современные прецизионные подшипники качения отвечают требованиям виброустойчивости, а подшипники скольжения обладают способностью гасить колебания за счет демпфирующего действия масляного слоя;

г) для универсальных станков необходимо, чтобы подшипники работали одинаково надежно во всем диапазоне применяемых скоростей и нагрузок. В этом отношении существенное преимущество имеют подшипники качения.

Эксплуатационными преимуществами (легкость замены, простота эксплуатации и др.) обладают подшипники качения, вследствие чего они получили наибольшее применение в современных станках. Подшипники скольжения применяют в тех случаях, когда режим работы постоянный и требуется высокая виброустойчивость.

На точность вращения шпинделей и их жесткость в опорах большое влияние оказывает точность шейки шпинделя. Из-за ее отклонений от круглости при вращении шпинделя в подшипниках скольжения происходит искажение формы обрабатываемой детали. При работе шпинделя в подшипниках качения малая скорость вращения внутреннего кольца подшипника вместе со шпинделем приводит к тому, что погрешность формы шейки шпинделя почти полностью копируется дорожками качения. Поэтому допуски на отклонения формы и размер шейки шпинделя должны соответствовать допускам прилегающего элемента подшипника.

Для шпинделей применяют все основные типы подшипников качения: шариковые радиальные и радиально-упорные, роликовые с коническими и цилиндрическими роликами, а также специальной конструкции.

Для повышения жесткости шпиндельных опор и устранения зазоров между отдельными телами качения и кольцами создают предварительный натяг в подшипниках.

При работе шпиндельного узла главную роль играет передняя опора шпинделя. Поэтому компоновка шпиндельного узла осуществляется обычно таким образом, чтобы передняя опора имела более точные подшипники, часто — сдвоенные для увеличения жесткости (рис. 1.19). Точность передних подшипников обычно выбирают на класс выше, чем задних. Если осевые нагрузки воспринимаются передней опорой, задняя опора выполняется плавающей, т. е. незакрепленной в осевом направлении.

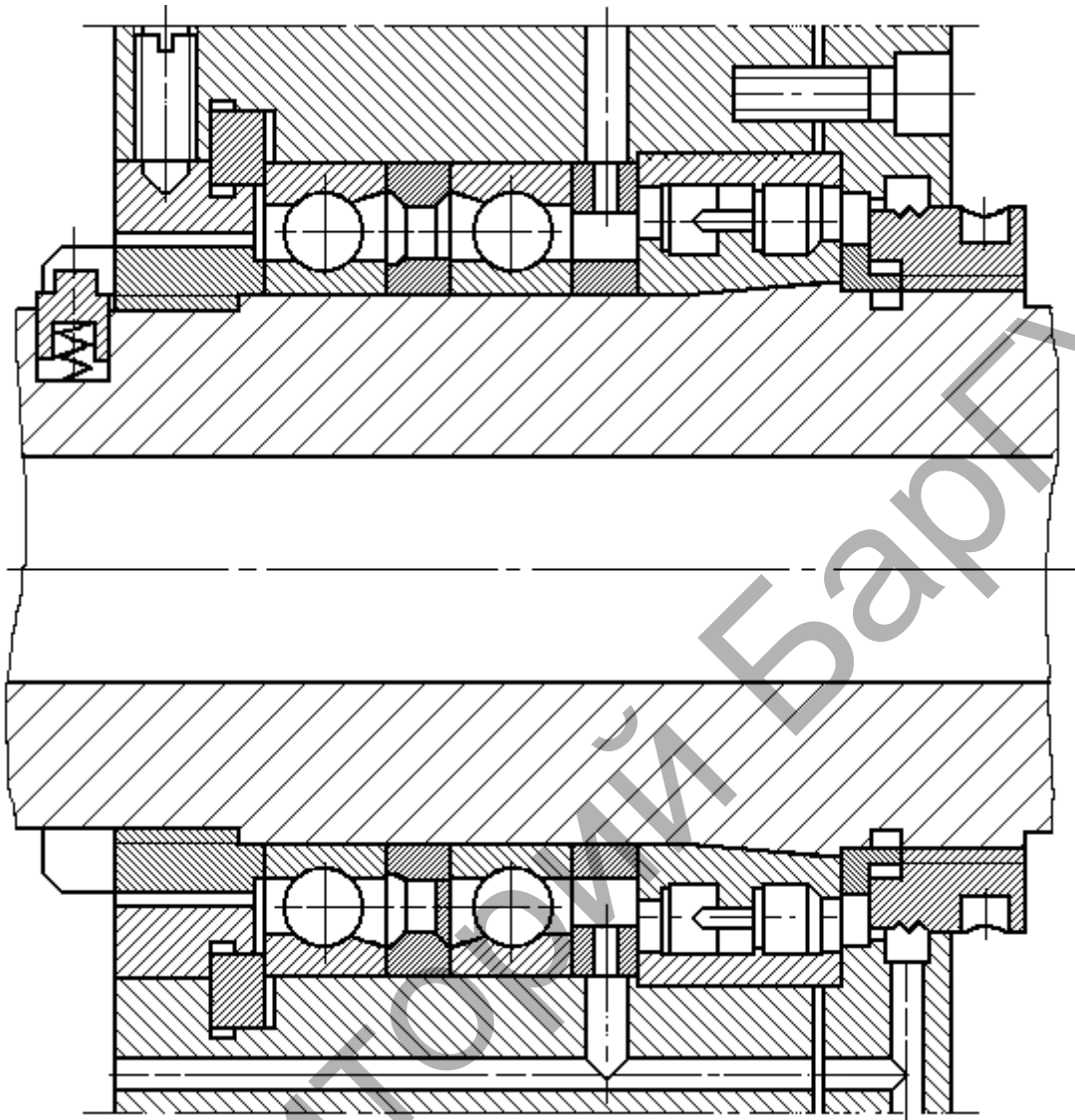


Рисунок 1.19 — Передняя опора шпинделя расточного станка с тремя подшипниками

1.6 Типовые механизмы металлорежущих станков

Главный привод. Для осуществления главного движения, движения подачи и различных вспомогательных движений нужны особые механизмы, называемые приводами. Привод начинается с двигателя или выходного вала какого-нибудь механизма (например, привод главного движения токарного станка начинается с главного электродвигателя, а привод подач — с вала шпинделя), потом в состав привода включается механизм, позволяющий изменять выходные параметры привода — обычно это коробка передач, а заканчивается привод исполнительным звеном — это или шпиндель станка, или его суппорт и т. п.

Задача главного привода — обеспечить оптимальную скорость резания, которая, как уже говорилось, выбирается в основном в зависимости от материала детали и материала режущего инструмента. Скорость резания может изменяться в широком диапазоне. Существует два метода регулирования: теоретически более «правильный» метод бесступенчатого регулирования, позволяющий получить любую расчетную скорость резания, и более часто встречающийся в настоящее время метод ступенчатого регулирования, с помощью которого можно получить в большинстве случаев только скорость, близкую к расчетной. Наиболее распространенным типом главного привода со ступенчатым регулированием является шестеренная коробка скоростей. Во многих случаях привод встраивается в шпиндельную бабку, что имеет определенные преимущества: компактность конструкции, концентрация органов управления приводом и некоторое упрощение изготовления. Но такая компоновка имеет и недостатки: распространение вибраций от зубчатых колес на шпиндель и его нагрев, приводящие к повышению шероховатости обработанной поверхности и отклонениям формы детали.

Необходимость регулирования передаточного отношения главного привода предполагает наличие органов для выполнения этой операции. Это могут быть:

- коробки скоростей со сменными зубчатыми колесами при редком переналаживании (в автоматах и специальных станках серийного и массового производства);
- коробки скоростей с передвижными колесами;
- коробки скоростей с кулачковыми муфтами;
- коробки скоростей с фрикционными муфтами, позволяющими делать переключение скоростей на ходу. Данный вариант, также как второй и третий, находит применение преимущественно в универсальных станках.

Выбор в пользу того или иного механизма делается в зависимости от назначения станка, требуемого диапазона регулирования, величины передаваемых нагрузок и других условий работы привода металлорежущего станка.

Множительные механизмы привода главного движения являются наиболее простой структурой коробки скоростей, состоящей из элементарных двухваловых зубчатых механизмов (пар зубчатых колес), соединенных между собой в одну последовательную или последовательно-параллельную кинематическую цепь. Она называется множительной потому, что общее число скоростей получается перемножением чисел скоростей элементарных двухваловых передач. Кинематические условия настройки этих приводов определяются свойствами множительных групп передачи.

Ременные передачи и их основной вид — ступенчато-шкивный привод — остаются в маломощных станках некоторых типов и в станках, предназначенных для приборостроения. Ступенчато-шкивный привод бывает двух-, трех- и даже пятиступенчатый с перебором или без него. Схема четырехступенчатого шкивного привода с перебором показана на рисунке 1.20. Вращение передается от вала I, который делает $n_0 = 300 \text{ мин}^{-1}$. На этом валу жестко закреплен ступенчатый шкив. Через плоский ремень вращение передается тоже четырехступенчатому шкиву, свободно вращающемуся на шпинделе III.

Ступенчатый шкив, установленный на шпинделе, жестко связан с зубчатым колесом 1, передающим вращение колесу 4. На одной втулке с колесом 4 сидит колесо 9, находящееся в зацеплении с колесом 10, которое закреплено жестко на шпинделе. Втулка, на которой закреплены колеса 4 и 9, свободно вращается на валу II с эксцентричной шейкой 3. Зубчатая передача 1—4, 9—10 называется перебором.

Вращение шпинделя, как видно из рисунка 1.22, может быть осуществлено либо с включением перебора, либо без него (включение стопора 11).

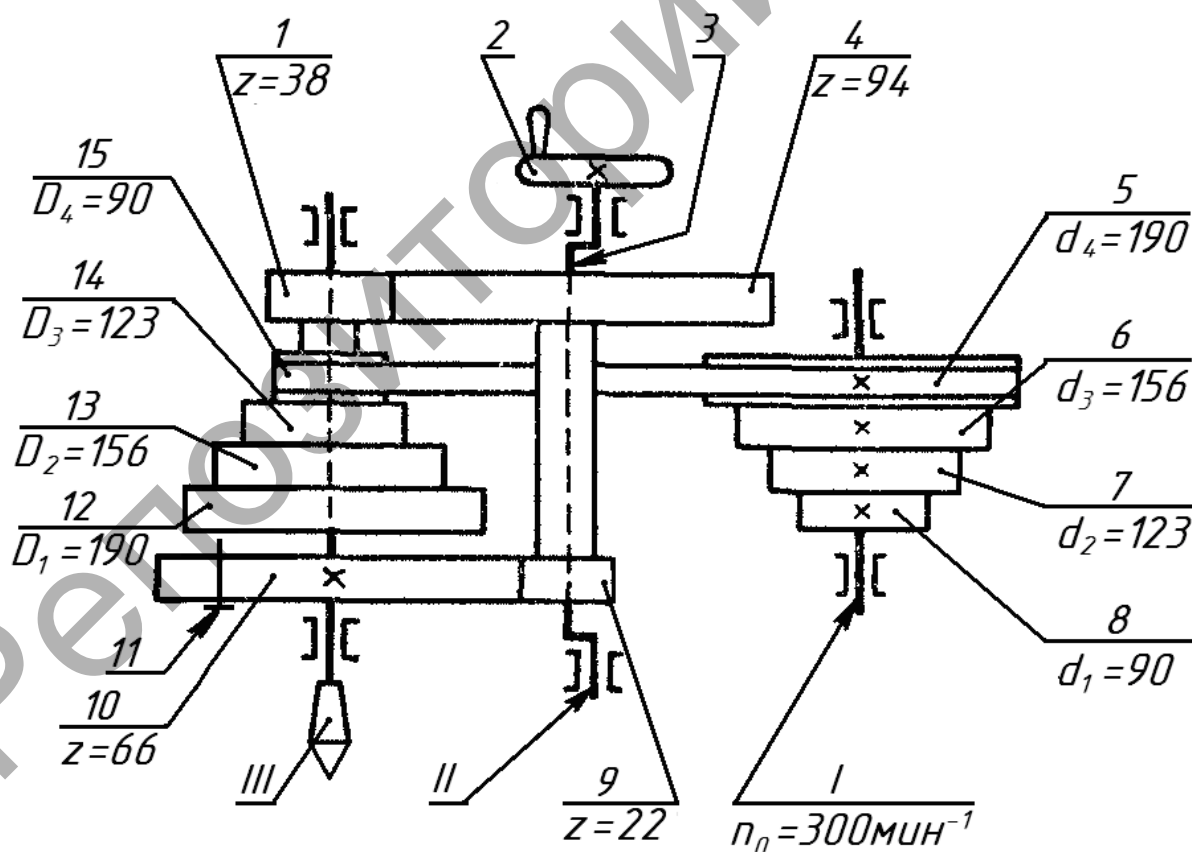


Рисунок 1.20 — Схема ступенчато-шкивного привода с перебором

Для использования одного ремня на всех ступенях необходимо соблюдать условие

$$d_1 + D_1 = d_2 + D_2 = d_3 + D_3 = d_4 + D_4, \quad (1.30)$$

т. е. сумма диаметров ступеней ведущего и ведомого шкивов должна быть постоянна.

В связи с применением шестеренных коробок скоростей, переборные устройства некоторое время применялись редко. Однако в настоящее время вследствие повышения быстроходности станков и использования так называемых разделенных приводов (когда коробка скоростей монтируется отдельно от шпиндельного узла) переборные устройства усовершенствованной конструкции вновь находят себе применение. Перебор позволяет вдвое увеличить количество скоростей шпинделя и понизить число оборотов до 16 раз.

Коробки скоростей применяются как самостоятельные узлы в станках с разделенным приводом и как составная часть шпиндельной бабки или механизма подачи (встроенные коробки). Последние, несмотря на свои недостатки, имеют широкое применение в станках нормальной точности вследствие их компактности, относительно невысокой стоимости и удобства передачи вращения рабочим органам станка.

Коробки скоростей с передвижными блоками колес. Применение нескольких блоков зубчатых колес дает возможность увеличить число скоростей шпинделя (рис. 1.21). Получение различных чисел оборотов достигается зацеплением пар зубчатых колес при перемещении соответствующих блоков. При перемещении блока B_1 на валу I в зацеплении может быть одна из четырех пар: 21/59, 27/53 или 33/47, 40/40. В последнем случае колесо $z = 40$ вала I внутренними зубцами зацепляется с колесом $z = 27$ блока B_1 . При перемещении блока B_2 на валу II в зацеплении будет одна из двух пар: 21/81 или 51/51.

Гитары сменных зубчатых колес. В тех случаях, когда надо обеспечить изменение скорости в широком диапазоне с большим количеством скоростей при точном передаточном отношении, используют гитару сменных колес. Особенно широкое применение этот механизм нашел в приводах делительных цепей и обкатки, реже он встречается в приводах подачи. Передаточное отношение для каждой настройки привода определяется соотношением чисел зубьев сменных колес. К станкам, имеющим гитару, прилагаются наборы сменных колес. Наборы бывают пятковые, четные и универсальные. В пятковом наборе числа зубьев сменных колес от 20 до 100 чередуются через пять, в четном наборе — через четыре зуба. Универсальный набор используется для ответственных делительных цепей.

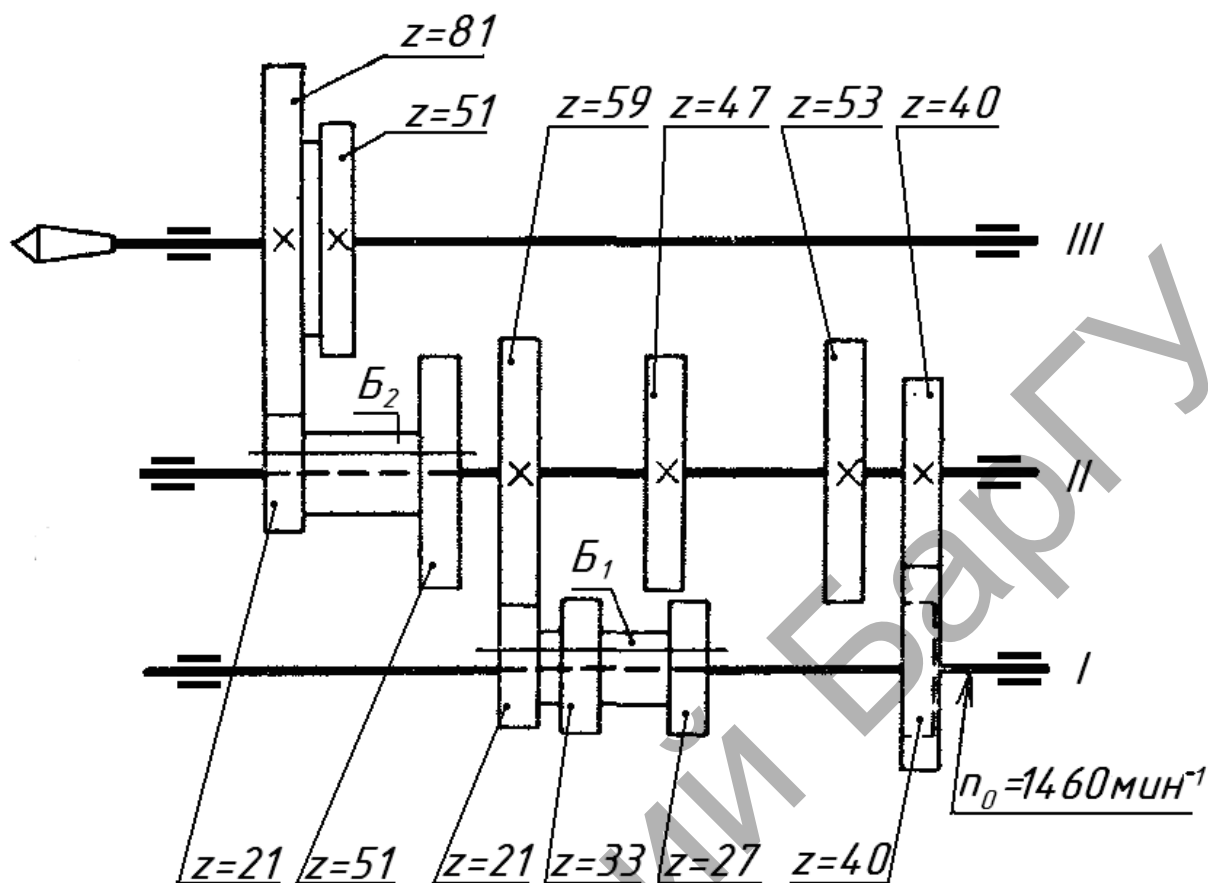


Рисунок 1.21 — Коробка скоростей с передвижными блоками колес

Множительные механизмы с муфтами. Кулачковые, зубчатые и фрикционные муфты применяются в коробках скоростей для включения зубчатых колес в работу. Эти муфты позволяют использовать в коробках скоростей зубчатые колеса с косыми и шевронными зубьями, обеспечивающими при прочих равных условиях большую прочность и долговечность, а также меньший шум в работе, но имеют пониженный КПД, что делает их менее пригодными для быстроходных приводов.

Множительные механизмы коробок подач. Диапазон регулирования приводов подач (отношение максимальной подачи к минимальной) значительно больше, чем приводов главного движения и может составлять от $R = 1\ 000$ до $R = 30\ 000$ и больше. Точность поддержания заданной скорости подачи зависит от диапазона регулирования. Если он меньше чем 200, то погрешность между фактической скоростью и обозначенной на табличке станка должна быть не больше 5%, а для $R > 10\ 000$ допускается 10...20%. Точность регулирования зависит и от назначения подачи. Если это делительная цепь, цепь резьбонарезания или обкатывания, то погрешности должны быть меньше допусков на обрабатываемые поверх-

ности. В общем случае точность регулирования подачи выше точности регулирования скорости главного движения. Кроме того, множительные механизмы коробок подач испытывают в отличие от механизмов главного привода существенно меньшие нагрузки, что позволяет использовать для них менее мощные устройства.

По сравнению с механизмами главного движения они являются тихоходными. Приводы подач должны обеспечивать минимальное время переходных процессов при пуске и торможении. К этим приводам предъявляют жесткие требования по динамическим характеристикам при изменении нагрузки (особенно в случае малых скоростей). В зависимости от назначения станков и методов формообразования поверхностей механизмы подач осуществляют прямолинейное или вращательное движение.

Это влияет на структуру и конструкцию коробок подач (число ступеней, диапазон регулирования, характер движения, механизм переключений, накопленную погрешность). Коробки подач могут быть со ступенчатым и бесступенчатым регулированием. К коробкам подач со ступенчатым регулированием подачи относятся все варианты механизмов ступенчатого регулирования приводов главного движения и некоторые дополнительные, не применяемые в приводах главного движения в основном из-за их пониженной мощности:

- коробки подач со сменными колесами при постоянном расстоянии между осями валов;
- коробки подач с передвигными колесами и блоками;
- коробки подач с зубчатыми или фрикционными муфтами;
- коробки подач со встроенными ступенчатыми конусами колес и вытяжной шпонкой (рис. 1.22, *а*);
- коробки подач с нортоновскими конусами (с накидной шестерней, рис. 1.22, *б*);
- коробки подач с гитарами сменных колес;
- коробки подач с механизмом типа меандр (рис. 1.22, *в*).

Для осуществления нужного во многих случаях прямолинейного движения подачи после коробки устанавливают следующие механизмы, получившие название тяговых устройств:

- реечную передачу (зубчатое колесо-рейка), винтовую передачу (ходовой винт-гайка), червячно-реечную передачу, кривошипно-шатунный, кривошипно-кулисный и рычажный механизмы, кулачок;
- гидравлические и пневматические двигатели типа поршень-цилиндр;
- электромагнитные устройства в виде линейно развернутых электродвигателей, бесконтактных электромагнитных передач, соленоидов.

Отдельную группу представляют устройства для малых перемещений.

Во многих случаях коробки подач имеют свои отдельные двигатели, а у станков с ЧПУ по каждой из координат обычно предусматривают

самостоятельный привод. Широкое применение получили электрические, гидравлические и электрогидравлические двигатели. На станках с ЧПУ применяются регулируемые электродвигатели постоянного и переменного тока. Предпочтение здесь отдается регулируемым приводам на высокомоментных двигателях или асинхронных двигателях с частотным регулированием.

Конус с вытяжной шпонкой (см. рис. 1.22, а) один из тех вариантов множительных механизмов коробок подач, которые из-за ограничений по передаваемой мощности не применяются в коробках скоростей. Вал I — ведущий, вал II — ведомый. Вращение вала II передается через вытяжную шпонку 3, которая под действием плоской пружины 1 попадает в шпоночную канавку одного из колес z_6, z_4, z_2, z_8 . Остальные колеса вала II свободно вращаются. Колеса z_1, z_3, z_5, z_7 закреплены жестко на валу и вращаются с числом оборотов в минуту n_0 . Для изменения числа оборотов вала II шпонку 3 перемещают тягой 2 до попадания ее головки в канавки других колес.

В коробках подач находит применение конус зубчатых колес с накидной шестерней — конус Нортон (см. рис. 1.22, б). От вала I вращение передается валу II при помощи зубчатой передачи z_9/z_{10} . Колесо z_9 , сидящее на пальце 1 кронштейна 2, может сцепляться с любым зубчатым колесом конуса. Для этого поворотом кронштейна 2 на втулке 3 выводят из зацепления колесо z_9 и затем передвигают кронштейн по шлицевому валу II. Конус Нортон применяется преимущественно в коробках подач токарно-винторезных станков, например, 1А62.

У механизма Меандра (см. рис. 1.22, в) на валу I свободно вращаются: колесо $z_1 = 28$, блок $z_4/z_5 = 56/28$ и колесо $z_8 = 56$. На валу II свободно вращаются блоки $z_2/z_3 = 56/28$ и $z_6/z_7 = 56/28$. Накидное колесо $z_9 = 40$, которое может сцепляться с любым из следующих колес: z_2, z_3, z_6 или z_7 , передает вращение колесу $z_{10} = 56$.

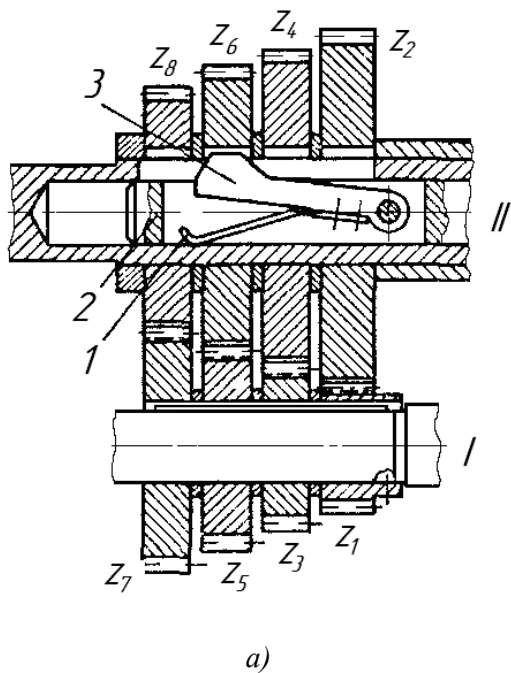
Колеса z_1 или z_2 сцепляются с ведущим валом (на схеме не показан) через кулачковые муфты K_1 или K_2 . Снимается движение с вала III. Передаточные отношения соответственно следующие:

$$i_1 = z_1/z_2 \cdot z_2/z_9 \cdot z_9/z_{10} = 28/56 \cdot 56/40 \cdot 40/56 = 1/2;$$

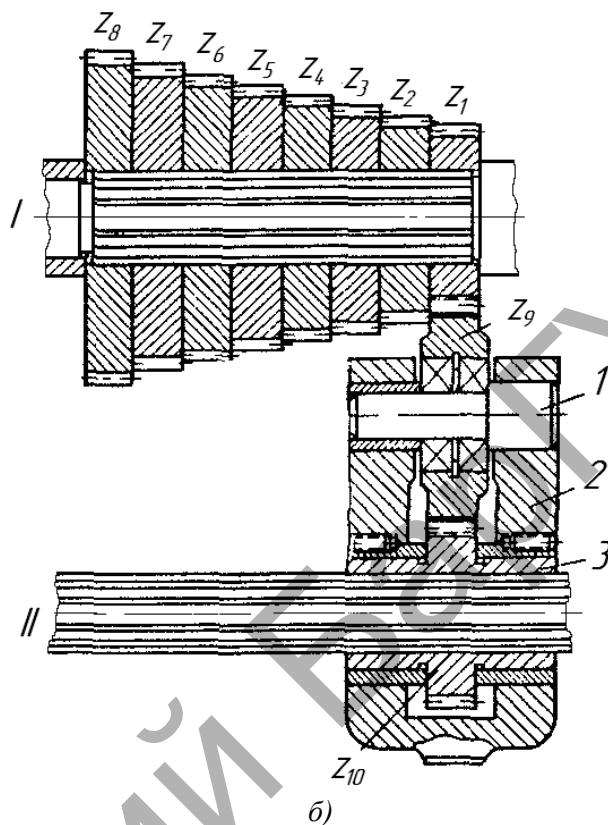
$$i_2 = z_1/z_2 \cdot z_3/z_9 \cdot z_9/z_{10} = 28/56 \cdot 28/40 \cdot 40/56 = 1/4$$

$$i_3 = z_1/z_2 \cdot z_3/z_4 \cdot z_5/z_6 \cdot z_6/z_9 \cdot z_9/z_{10} = \\ = 28/56 \cdot 28/56 \cdot 28/56 \cdot 56/40 \cdot 40/56 = 1/8;$$

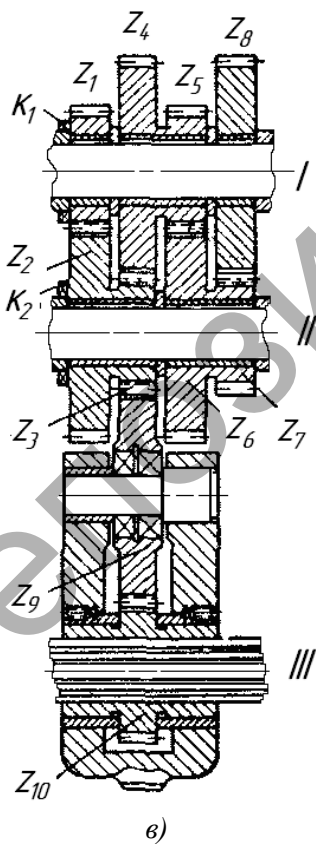
$$i_4 = z_1/z_2 \cdot z_3/z_4 \cdot z_5/z_6 \cdot z_7/z_9 \cdot z_9/z_{10} = \\ = 28/56 \cdot 28/56 \cdot 28/56 \cdot 28/40 \cdot 40/56 = 1/16.$$



a)



б)



в)

Рисунок 1.22 — Механизмы коробок подач

Эти механизмы, также как и конус Нортонa, применяются в токарно-винторезных станках.

Бесступенчатое регулирование скорости: электрическое, гидравлическое, с помощью механических вариаторов. Основные достоинства приводов с бесступенчатым регулированием — это повышение производительности обработки за счет точной настройки станка на рассчитанные режимы резания. В то время как при ступенчатом регулировании при выборе скорости главного движения (v) или подачи (s) на станке расчетные значения v и s округляются до ближайшего меньшего значения, увеличивая время обработки, при бесступенчатом регулировании этого делать не нужно.

Кроме того, появляется возможность плавного изменения скорости во время работы. При этом легко автоматизировать переключение скоростей.

Для бесступенчатого регулирования скорости подачи иногда применяют фрикционные вариаторы, но чаще — регулируемые двигатели.

Электрическое бесступенчатое регулирование может осуществляться разными способами. Один из них — электромашинный усилитель, который обеспечивает возможность бесступенчатого изменения скорости движения рабочих органов станков в широком диапазоне $R \leq 1\ 000$.

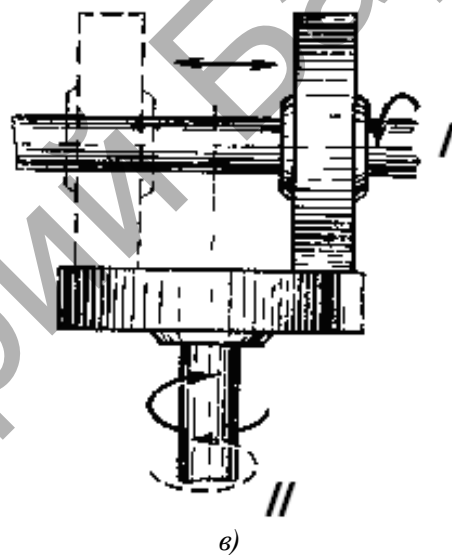
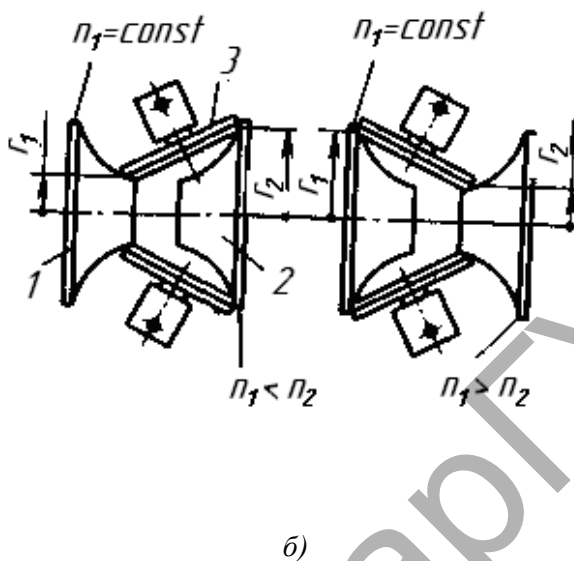
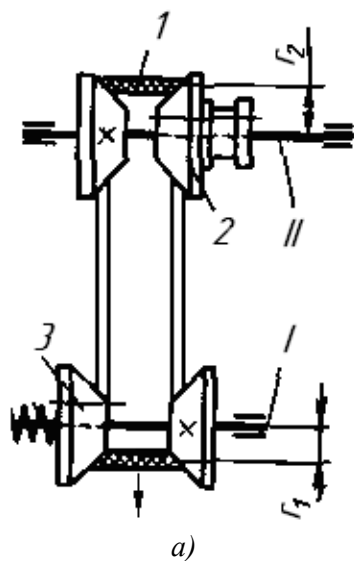
Нашли применение электродвигатели постоянного тока с тиристорной системой управления. Так делают на станках с ЧПУ, многооперационных станках. В этих электродвигателях небольшой диапазон регулирования скоростей $R_g = 2,5 \dots 10$, поэтому применяют комбинацию бесступенчатого регулирования электродвигателем с последовательно соединенной с ним коробкой подач.

При гидравлическом бесступенчатом регулировании асинхронный электродвигатель переменного тока вращает гидравлический насос, который подает масло в гидравлический двигатель, соединенный с рабочими органами станка. Бесступенчатое изменение скорости осуществляется за счет изменения количества масла как подаваемого насосом, так и потребляемого гидравлическим двигателем.

Бесступенчатое регулирование с помощью механических вариаторов находит ограниченное применение из-за наличия проскальзывания в вариаторе, что приводит к изменению передаточного отношения и к износу механических элементов вариатора. Для большинства вариаторов диапазон бесступенчатого регулирования очень мал: $R_g = 4 \dots 6$. С увеличением передаваемой мощности падает надежность вариаторов. Вариатор с раздвижными конусами (рис. 1.23, а) выполняется с различным видом связи 1: применяются стандартные или специальные клиновые ремни, специальная цепь или стальное кольцо трапецевидного сечения. Плавное изменение скорости выходного шкива 3 в диапазоне $R \leq 8$ достигается путем одновременного раздвигания одной и сближения другой пары конусов. При этом изменяются диаметры рабочей части ведущих 2 и ведомых 3 конусов.

В сдвоенном торцовом вариаторе (рис. 1.23, б) движение от ведущей чашки 1 чашке 2 передается подвижным роликом 3. Бесступенчатое изменение скорости вращения выходного вала в диапазоне 20...25 и выше достигается за счет изменения наклона ролика и, соответственно, радиусов его контакта с ведущей и ведомой чашками.

Торцовый вариатор (рис. 1.23, в) применяется для пересекающихся валов и позволяет выполнять реверсирование движения вала II.



Суммирующие механизмы (дифференциальные) предназначены для алгебраического сложения однородных движений и применяются для увеличения диапазона настройки цепей с целью расширения технологических возможностей затыловочных, зуборезных, резьбошлифовальных и других станков. В качестве суммирующих механизмов используют реечные, винтовые, червячные, зубчатые и другие передачи. Дифференциальный механизм из цилиндрических колес представлен на рисунке 1.24. На валах I и III жестко установлены зубчатые колеса z_1 и z_4 . Полный вал II имеет водило, в которое вмонтирован сателлитный вал с колесами z_2 и z_3 . Движение любых двух валов может суммироваться на третьем валу. Наиболее часто в практике станкостроения суммируют вращение валов I и II.

Рисунок 1.23 — Механические вариаторы

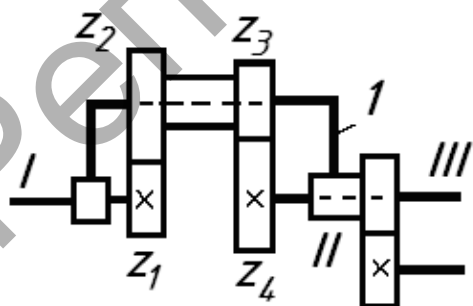


Рисунок 1.24 — Схема прямозубого дифференциального механизма

Полый вал II имеет водило, в которое вмонтирован сателлитный вал с колесами z_2 и z_3 . Движение любых двух валов может суммироваться на третьем валу. Наиболее часто в практике станкостроения суммируют вращение валов I и II.

Вращение ведомого вала III можно представить состоящим из двух движений: первое он получает от вала I при неподвижном вале II, второе от вращения вала II при

неподвижном вале I. Вал I передает вращение по цепи колес $z_1/z_2 \cdot z_3/z_4$. При вращении вала II с водилом сателлитное колесо z_2 , обкатываясь вокруг неподвижного колеса z_1 , получает вращение вокруг своей оси, которое передает валу III при помощи передачи z_3/z_4 . Передаточное отношение от ведущих звеньев I и II к ведомому III:

$$u_{I-III} = z_1 z_3 / z_2 z_4; \quad u_{II-III} = 1 - z_1 z_3 / z_2 z_4. \quad (1.31)$$

Для решения аналогичных задач распространен и конический дифференциал. В токарных многошпиндельных горизонтальных автоматах и полуавтоматах применен реечный дифференциальный механизм для регулировки подачи продольного суппорта.

Передача шестерня-рейка и червяк-рейка. Основное достоинство механизмов данного типа заключается в возможности получения больших скоростей перемещения ведомого элемента при достаточно высоком КПД, а также простота изготовления. Однако из-за зазоров в зацеплении и биения шестерни передача шестерня-рейка значительно уступает по точности и плавности движения передаче винт-гайка и имеет ограниченное применение. При малой окружной скорости реечного колеса (механизмы подачи) передача чаще всего прямозубая. При более высоких скоростях применяют косозубые реечные передачи.

В тех случаях, когда необходимо обеспечить более высокую плавность перемещения, применяют червячно-реечную передачу. Ее преимущество в одновременном зацеплении нескольких пар зубьев, отчего реверсирование происходит плавнее. Подбирая соответствующим образом число заходов червяка и частоту его оборотов, можно с помощью червячно-реечной передачи получать как низкие скорости перемещения, так и сравнительно высокие.

Для продольного перемещения столов тяжелых станков и в приводах подач крупногабаритных станков с ЧПУ применяют **гидростатические червячно-реечные передачи и гидростатические передачи винт-гайка**. Достоинства гидростатических передач — это высокий КПД (0,95...0,99), отсутствие износа и люфта, плавность перемещения, высокая жесткость.

На рисунке 1.25 приведена схема гидростатической червячно-реечной передачи, состоящей из рейки 3, червяка 4, упорных подшипников скольжения 1 и 8, имеющих маслораспределители 2. Смазка к карманам 7 червяка 4 подается через систему каналов 5, 6, 9, выполненных в его корпусе. Принципиальная схема подачи смазки имеет тот же вид, что на рисунке 1.15.

Передачи винт-гайка качения и скольжения. В современных станках широкое применение находят передачи винт-гайка качения, которые могут работать в широком диапазоне температур и скоростей и обеспечивают

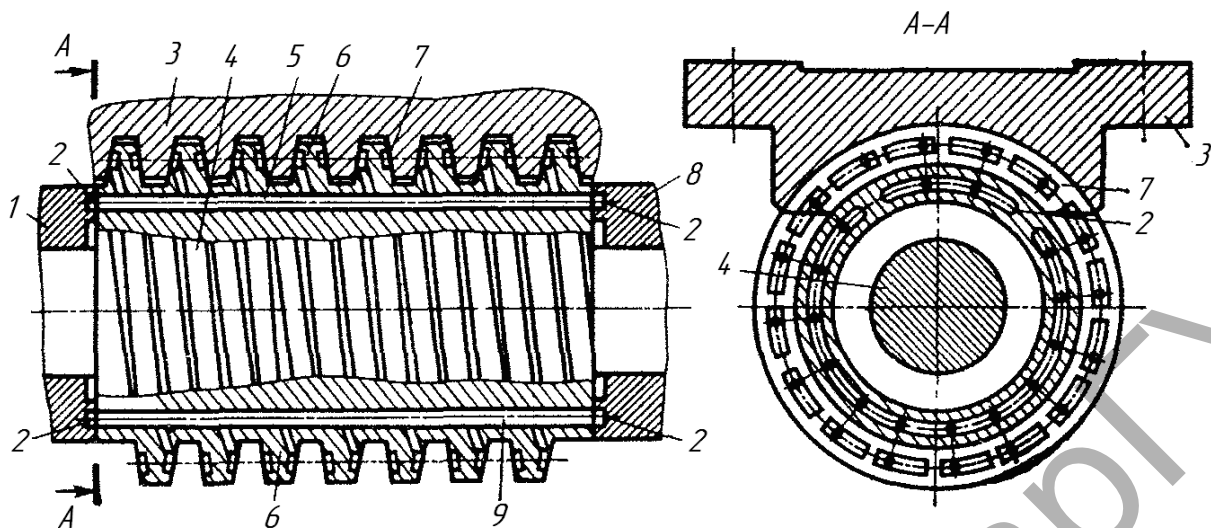


Рисунок 1.25 — Схема гидростатической червячно-реечной передачи

хорошую равномерность движения, высокий КПД (0,9...0,95), сравнимый с КПД гидростатической передачи винт-гайка, но более удобны в эксплуатации и не требуют циркулярной системы смазки. Типовая передача винт-гайка качения (рис. 1.26) состоит из винта 1, гайки 2, комплекта шариков 3 и направляющих 4, служащих для возврата (циркуляции) шариков. При вращении винта шарики катятся по впадинам канавок винта и гайки, перемещаясь в направлении канала направляющих 4, которые соединяют начало и конец витков резьбы гайки.

Для устранения зазоров и повышения осевой жесткости в передачах винт-гайка качения создается предварительный натяг посредством установки двух гаек и последующего их сближения или раздвижения, а также групповой сборки, гарантирующей нужный натяг.



a — схема шариковой винтовой передачи; *б* — винтовая пара качения станка фирмы HAAS

Рисунок 1.26 — Винтовая пара качения

В универсальных станках традиционной конструкции применяется передача винт-гайка скольжения с трапецеидальным профилем резьбы, а для точных перемещений — с прямоугольным профилем. Трапецеидальный профиль более технологичен и удобен при регулировке зазоров в передаче. Основные технические требования к передаче: точность резьбы соединяемых деталей; отсутствие зазора между боковыми поверхностями резьбы винта и гайки; отсутствие осевых смещений винта и гайки во время работы передачи.

Для обеспечения высокой износостойкости пару винт-гайка скольжения рассчитывают на допускаемое давление, которое для точных винтов равно 2...3 МПа, а для обычных — до 8...12 МПа. Кроме того, механизм винтовой передачи рассчитывается на прочность, жесткость и устойчивость ходового винта. Передача винт-гайка скольжения, обладая определенными достоинствами и, прежде всего простотой конструкции, имеет ряд существенных недостатков: невысокую точность позиционирования перемещаемых узлов из-за зазоров в паре, низкий КПД (0,2...0,4) вследствие значительного трения, малые скорости перемещения, невысокую износостойкость и др.

Способы регулирования зазора и натяга в винтовой передаче. Наиболее простой, но менее точный — установка двух гаек и регулировка расстояния между ними с помощью набора тонких прокладок (компенсаторов), устанавливаемых между гайками. Широкое распространение получила конструкция, в которой гайки снабжены зубчатыми венцами. Венцы гаек входят во внутренние зубцы стакана. Число зубьев на одной гайке отличается от числа зубьев на другой на единицу, например, 100 и 101. Число зубьев на венцах стакана также имеет соответствующие значения — 100 и 101. Регулировка натяга обеспечивается поворотом одной из гаек относительно другой в процессе вывода ее из зацепления со стаканом. Эта конструкция позволяет производить весьма тонкую регулировку осевого перемещения гаек. Так, при приведенных выше значениях чисел зубьев и шаге резьбы 10 мм перестановка гайки на один зуб будет соответствовать относительному осевому перемещению гаек порядка 1 мкм.

На рисунке 1.27 приведена конструкция, позволяющая производить регулировку натяга в передаче винт-гайка качения непосредственно на станке. Обе гайки 1 и 4 посажены в корпусе 2 на общую шпонку 3 и имеют возможность осевого перемещения. Натяг и стопорение осуществляются гайками 5 и 6.

Кривошипно-шатунные механизмы (рис. 1.28) содержат кривошип, шатун и ползун. Кривошип является ведущим звеном и представляет собой палец 1, находящийся на расстоянии r от оси, позволяющая производить регулировку натяга в передаче на станке вокруг которой он вращается, и связанный с этой осью стержнем или диском 2. Ползун 4 — ведомое звено,

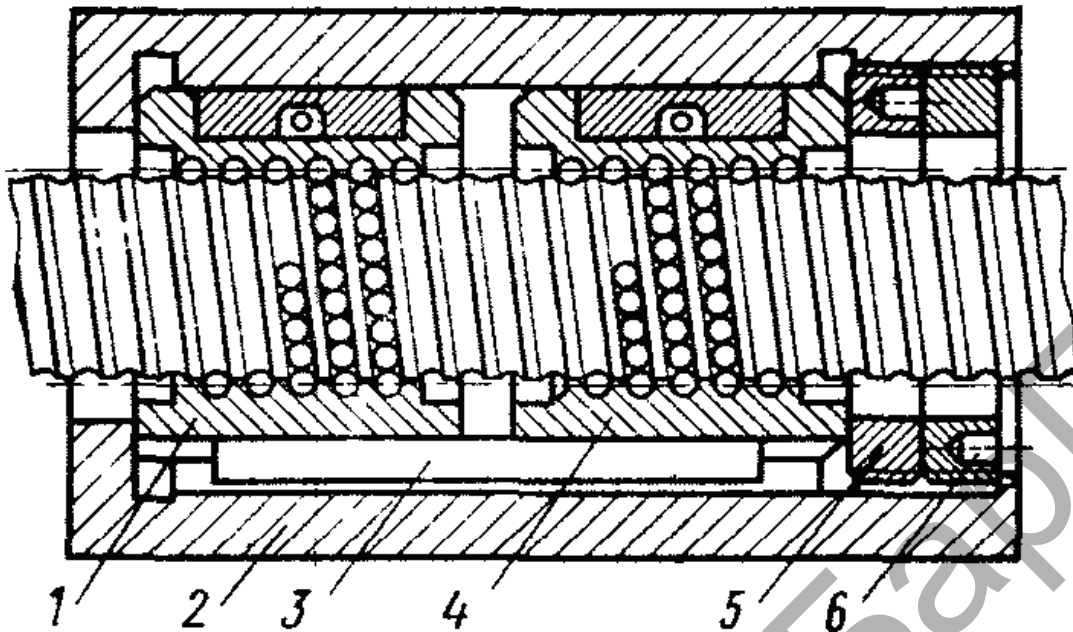


Рисунок 1.27 — Конструкция передачи винт-гайка качения

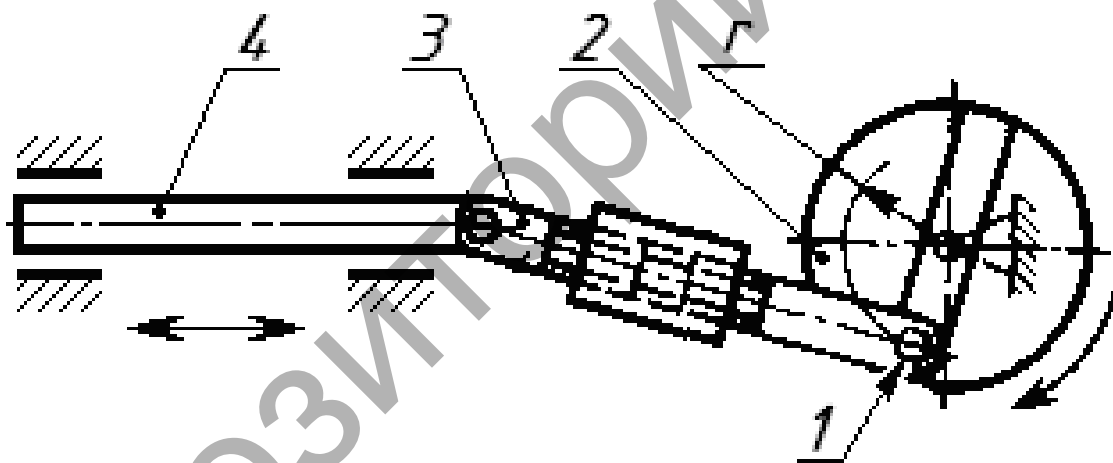


Рисунок 1.28 — Кривошипно-шатунный механизм

совершающее возвратно-поступательное движение. Шатун 3 шарнирно соединен с кривошипом и ползуном. Ход ползуна равен $2r$, поэтому в конструкции кривошипа предусматривают радиальный паз, чтобы регулировать положение пальца. Регулируя длину шатуна, меняют место хода, т. е. сдвигают крайние положения ползуна. Если диску 2 сообщить неравномерное вращение от специального механизма, то скорость перемещения ползуна 4 станет более равномерной, что нужно в большинстве случаев.

Кривошипно-кулисный механизм. В ряде металлорежущих станков (строгальных, долбежных, протяжных, зубострогальных и др.) для осуществления прямолинейного главного рабочего движения применяют кулисные механизмы.

На рисунке 1.29 представлена кинематическая схема кулисного привода, применяемого в поперечно-строгальных станках: кулисное колесо 1, несущее палец 2 с надетым на него кулисным камнем (ползуном) 3. Камень вставлен в прорезь кулисы 4 и может скользить вдоль ее оси. Верхний конец кулисы через серьгу 5 связан с ползуном 6, несущим режущий инструмент.

Длина хода ползуна L зависит от амплитуды качания кулисы. Ее можно регулировать изменением радиуса R за счет перемещения пальца 2.

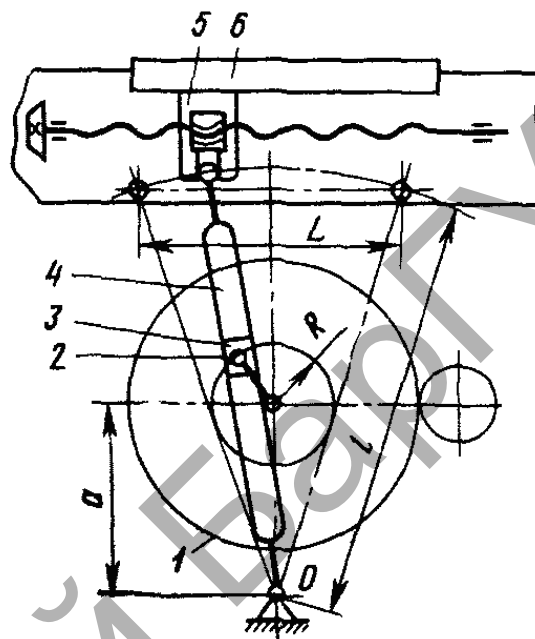


Рисунок 1.29 — Схема кулисного механизма

Пользуясь обозначениями на рисунке, можно написать:

$$R = 0,5La / l, \quad (1.32)$$

где l — длина кулисы, мм ($l \approx 4/3L$);

a — расстояние между центром вращения кулисного колеса и центром качания кулисы, мм: $a = (0,45...0,55)L$.

Основной недостаток данного механизма в том, что скорость движения ползуна не является постоянной: в крайнем положении кулисы она, как и у кривошипно-шатунного механизма, равна нулю, а в середине хода максимальна. Главное отличие в том, что у кривошипно-шатунного механизма скорость прямого и обратного ходов одинаковая, а у кривошипно-кулисного — скорость обратного холостого хода выше, чем прямого рабочего.

Кулачковые механизмы (рис. 1.30) сходны с зубчатыми зацеплениями, и их можно рассматривать как зубчатые колеса с одним зубом в сочетании с обычным зубчатым колесом. Такие механизмы существуют в действительности (в некоторых типах вычислительных машин).

Основная схема кулачкового механизма — это вращающееся звено 1 или 3, кулачок, и второе звено 2, приводимое в движение кулачком. Исполнительное звено 2 может быть закреплено в одной точке и качаться вокруг нее, описывая дугу, или двигаться поступательно по прямой линии между двумя крайними точками.

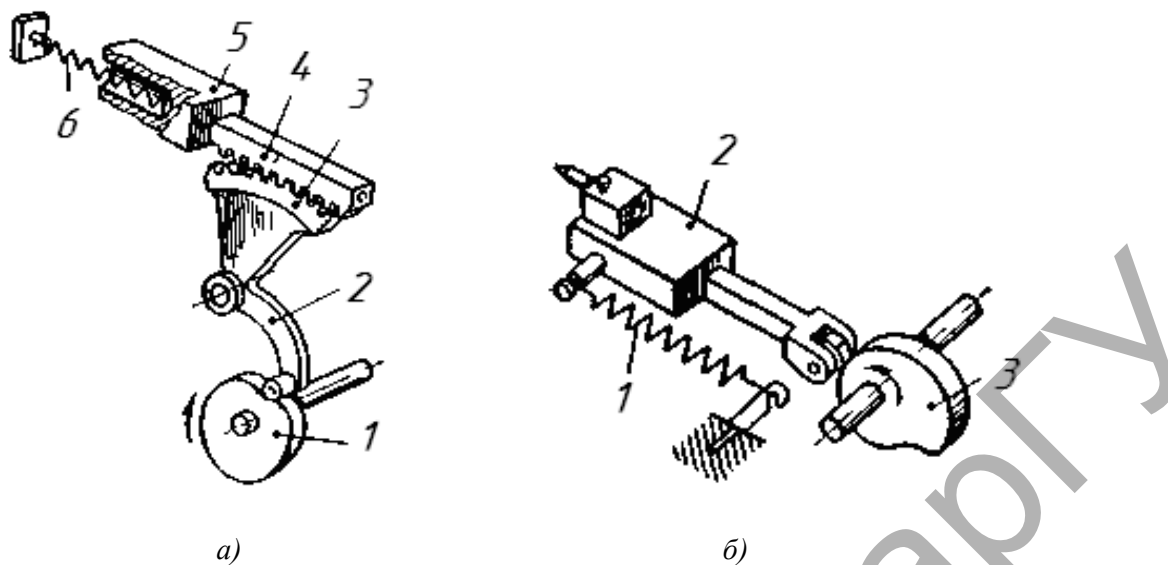


Рисунок 1.30 — Кулачковые механизмы

Наибольшее развитие кулачковые механизмы получили с появлением технологических мельниц, требующих преобразования вращательного движения в поступательное. При изобретении двигателя внутреннего сгорания точная последовательность тактов работы двигателя была обеспечена кулачковым механизмом. Профиль кулачка всегда выполнялся в соответствии с фазами движения ведомого звена механизма (толкателя или коромысла). Они очень широко используются в технике вообще и в станкостроении в частности: приводы суппортов (токарные автоматы и полуавтоматы), приводы пинолей (самодействующая силовая головка агрегатных станков), механизм перемещения фрезерной бабки (резьбофрезерные станки) и т. д.

Устройства для малого перемещения. При использовании систем автоматического регулирования, адаптивного управления и автоматической компенсации погрешностей необходимо обрабатывать малые перемещения с большой точностью. Основным источником погрешностей при малых перемещениях является переменность сил трения. В условиях смешанного трения имеет место большое различие в силе трения при трогании и силе трения при последующем движении. Существует критическая скорость, характерная для каждой упругой системы привода, ниже которой имеет место скачкообразное движение. При малых скоростях движения и ограниченной жесткости привода вместо непрерывного движения исполнительный узел станка будет перемещаться прерывисто, периодическими скачками. Величина скачка ограничивает возможную чувствительность и точность малых перемещений, которые могут быть повышены либо выравниванием характеристики силы трения покоя и

движения, либо повышением жесткости привода. В условиях смешанного трения характеристика силы трения улучшается при использовании специальных антискачковых смазок с введением в минеральные масла незначительного количества консистентных добавок. Уменьшения различия в силах статического и кинетического трения можно достигнуть применением осциллирования.

Замена трения скольжения трением качения существенно повышает чувствительность и точность при малых перемещениях, но не устраняет полностью возможность скачкообразного движения. Радикальным способом устранения скачкообразного движения является переход на полное жидкостное трение. При жидкостном трении возможно производить перемещения узла с точностью около 0,001 мм.

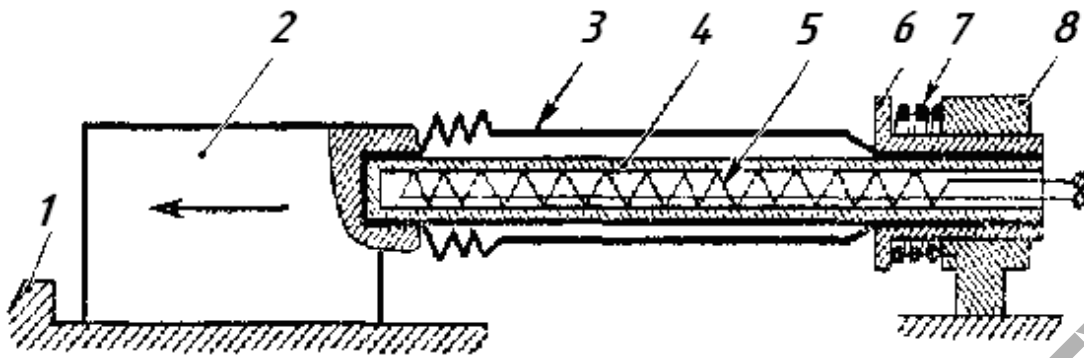
Кроме обычных схем механизмов, приспособленных для этого случая, в последнее время с ростом требований к точности станков применяют специальные механизмы для малых перемещений, обладающие рядом преимуществ.

На рисунке 1.31, а показана схема *термодинамического механизма* подачи круга в круглошлифовальных станках, работающего на принципе теплового расширения тел при нагревании (конструкция Б. Т. Бреева). Латунная трубка 4 закреплена одним концом во втулке б и кронштейне 8, а другим — в шлифовальной бабке 2.

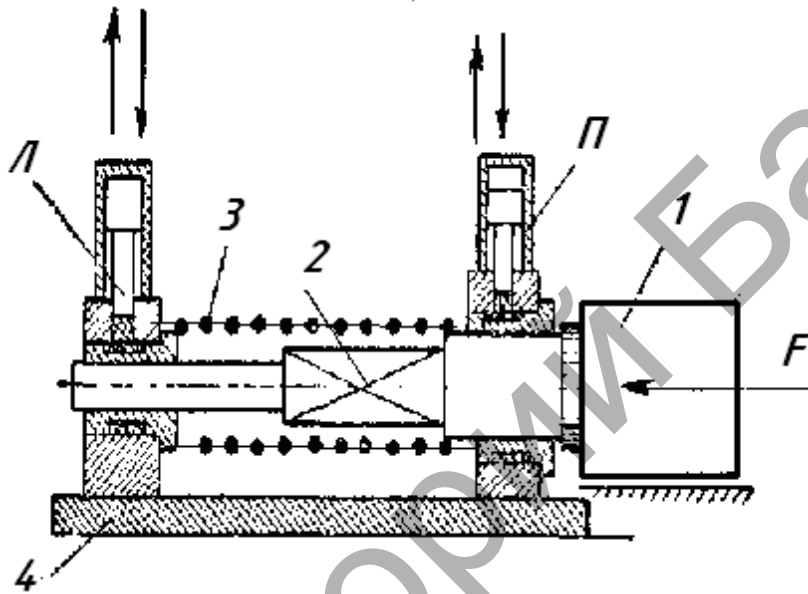
Трубка нагревается при пропускании тока через спираль 5 и, расширяясь, перемещает бабку, причем скорость перемещения можно регулировать реостатом. Ход бабки ограничен жестким упором 1, после чего при дальнейшем расширении трубки втулка б отходит вправо, сжимая пружину 7. Для быстрого отвода бабки трубка охлаждается жидкостью, которая подается под кожух 3. Такой механизм прост по устройству и обеспечивает плавное перемещение и легкое регулирование величины подачи в широком диапазоне.

Другой вариант механизма для малых перемещений — так называемый *магнотриксционный привод*. Он основан на использовании эффекта изменения длины ферромагнитного стержня в направлении оси возбужденного в нем магнитного поля (тот же, что и в ультразвуковом излучателе). Принципиальная схема его устройства показана на рис. 1.31, б. Малое и точное перемещение подвижной части 1 станка осуществляется при помощи никелевого стержня 2, помещенного в магнитное поле катушки 3. Один из концов стержня свободен, второй жестко связан с перемещаемым узлом. На неподвижной части 4 станка укреплены два зажима Л (левый) и П (правый), которые надежно фиксируют в определенные моменты цикла положение концов стержня 2.

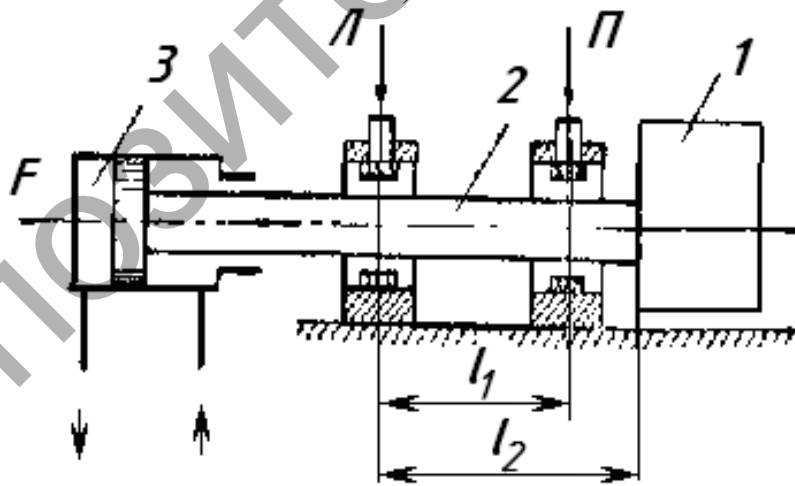
В начальный момент зажим П закрыт, зажим Л открыт, а обмотка катушки 3 отключена. При подключении обмотки к источнику постоянного



a)



б)



в)

a — термодинамический; *б* — магнитострикционный; *в* — упругосиловой

Рисунок 1.31 — Механизмы для малых перемещений

тока часть стержня 2, расположенная между зажимами, намагничивается и длина ее сокращается при смещении свободного конца вправо. Затем замыкается зажим Л, а катушка продолжает находиться под током. После этого открывается зажим П, выключается обмотка катушки и стержень 2 удлиняется в направлении не зажатого конца, смещая при этом подвижную часть 1. Минимальная подача соответствует магнитострикционному удлинению стержня за один цикл намагничивания.

Подобную схему работы имеет упруго-силовой механизм перемещения (рис. 1.31, в), в котором используется потенциальная энергия деформации. Например, при сжатии стержня 2 при помощи гидроцилиндра 3 и включенном правом зажиме после последовательного включения левого зажима и открытия правого происходит перемещение узла 1 станка.

Таким образом, в данном разделе мы рассмотрели в некоторой степени несущую систему и силовые агрегаты станка. Органы управления станка, бурно совершенствующиеся и развивающиеся со второй половины XX века, будут проанализированы в нескольких следующих разделах.

Постоянное совершенствование шпиндельных узлов станков устранило многие недостатки, которые были присущи гидродинамическим опорам, в которых вал, действуя как насос, затягивает масло в зазор между вкладышами подшипника и шейкой вала и повышает давление в масляном слое до величины, уравнивающей внешнюю нагрузку. Недостаточная толщина масляного слоя в начальный момент работы снижает долговечность шпиндельного узла. В гидростатическом подшипнике это давление создается специальным насосом. Поэтому при любой частоте вращения внешняя нагрузка уравновешена гидростатическим давлением в масляном слое. При реверсе и остановке шпинделя, а также при любых низких частотах вращения, обеспечивается жидкостное трение. Срок службы гидростатических подшипников может быть неограниченно большим. Их недостатком является большой расход масла и необходимость в специальном насосе для его подачи.

Особенность конструкции гидростатических подшипников заключается в применении специальных карманов 1 для подачи смазки с разных сторон в зазор между подшипником и шейкой вала (рис. 1.32). Если сделать подшипник с одним входным отверстием для масла, то вал прижмется к противоположной стенке подшипника, а если подвести масло с нескольких сторон, то оно будет вытекать со стороны большего зазора и гидростатического эффекта не будет. Поэтому выполняют специальные поддерживающие карманы, к которым масло подается через тонкие капиллярные трубки и дроссель 2. Так как карманов несколько, то обеспечивается устойчивое положение вала.

Использование смазок с малой вязкостью расширяет область работы подшипников скольжения до скоростей порядка $v = 10$ м / с.

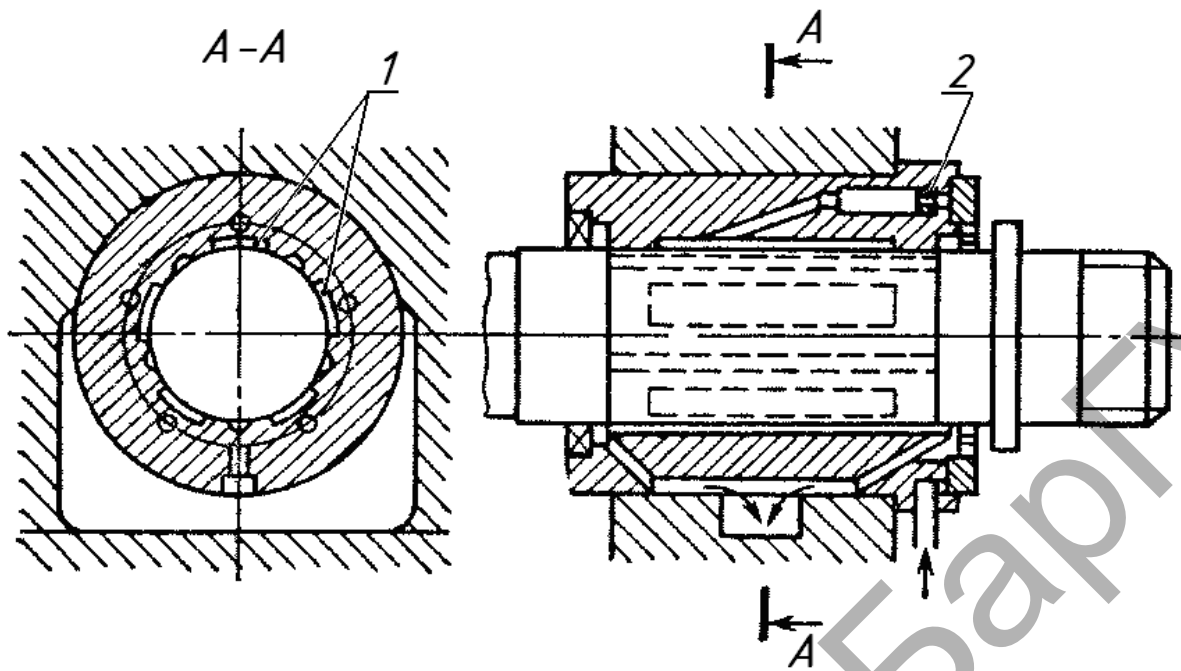


Рисунок 1.32 — Гидростатический подшипник шпинделя

1.7 Приводы металлорежущих станков

Привод главного движения. Основные требования:

а) *изменение частот вращения на исполнительном звене* — шпинделе — в расчетном диапазоне регулирования. В современных станках, особенно широкоуниверсальных, при значительных диапазонах требуемых скоростей резания v и диапазонах обрабатываемых диаметров d диапазон регулирования R_n доходит до 200 и более;

б) *обеспечение необходимых для процесса резания мощности и крутящего момента*. Полезная мощность на шпинделе, кВт, определяется по формуле

$$P = F_z v / 60 \cdot 10^3, \quad (1.33)$$

где F_z — тангенциальная составляющая силы резания, Н.

При обработке на станке деталей различных размеров величины F_z и v для определенного режима в первом приближении остаются постоянными. Переход на чистовые режимы приводит к уменьшению F_z , но к увеличению v . Поэтому желательно (хотя и не всегда возможно и обязательно), чтобы в приводах главного движения обеспечивалось постоянство развиваемой мощности привода по всему диапазону регулирования R_n . В этом случае крутящий момент на шпинделе, Нм,

$$M_k = 9\,750P / n \quad (1.34)$$

достигает максимального значения при $n = n_{\min}$.

Часто в станках общего назначения применяют привод с комбинированным регулированием (рис. 1.33), когда до условной расчетной частоты n_p обеспечивается регулирование с постоянным моментом в диапазоне R_M , а выше — регулирование с постоянной мощностью в диапазоне R_P . Значение максимального крутящего момента в приводе уменьшается, что позволяет уменьшить его габариты и стоимость. Величина n_p , до которой используется полная мощность привода, определяется на основе анализа технологических процессов, применяемых на станке (как правило, полная мощность не используется в нижней трети общего диапазона);

в) обеспечение включения, выключения, а также, если это необходимо, торможения и реверсирования вращения шпинделя. Названные функции осуществляются либо системой управления двигателем, либо соответствующими механическими устройствами;

г) обеспечение высокой точности и плавности вращения шпинделя;

д) минимальные потери на трение, т. е. высокий КПД привода;

е) высокая надежность привода;

ж) удобство управления;

з) простота и минимальная стоимость изготовления и эксплуатации.

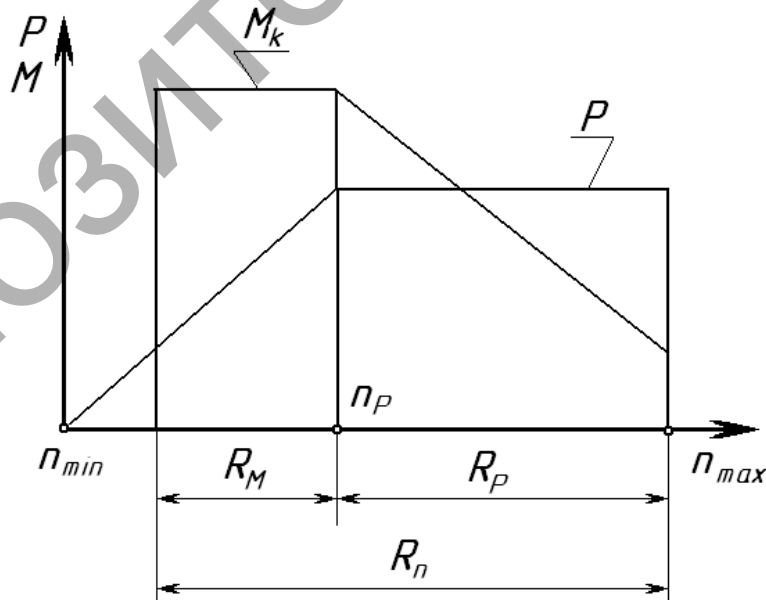


Рисунок 1.33 — Диаграмма мощности и крутящего момента привода главного движения

Зависимость типа привода от вида выполняемых на станке операций, способа регулирования частоты вращения, мощности. Приводом станка называется совокупность устройств, получающих энергию извне и сообщающих движение соответствующим рабочим органам станка. Приводы бывают групповые и индивидуальные (привод главного движения, привод подачи, привод вспомогательных и установочных перемещений). В настоящее время в металлорежущих станках применяется в основном индивидуальный электрический привод.

Основные технические характеристики привода:

- диапазон регулирования;
- точность регулирования;
- чувствительность привода;
- динамические характеристики;
- коэффициент полезного действия.

Если для приводов подач диапазон регулирования достигает десятков тысяч, то для приводов главного движения он не превышает 1 000. Точность регулирования у приводов подач большая, чем у приводов главного движения. Колебания частоты вращения из-за скачкообразного изменения нагрузки стараются уменьшить любыми способами.

Динамические характеристики двигателей в приводах главного движения важны только в отдельных случаях, например, при нарезании резьбы, когда нужно резко включать обратный ход во избежание поломки резца. У приводов подач динамические характеристики при изменении нагрузки, особенно на малых скоростях, должны обеспечивать стабильность работы узла.

На сегодняшний день экономически наиболее выгодным является привод главного движения основных металлорежущих станков с механическим регулированием скорости, состоящий из односкоростного двигателя переменного тока и коробки скоростей разных конструкций (в зависимости от типа производства, где применяется станок).

Среди таких приводов наиболее распространены приводы главного движения со ступенчатым регулированием параметров выходного звена, хотя с точки зрения экономики привод с бесступенчатым регулированием лучше. Причина в некоторых нерешенных технических проблемах. Ступенчатое изменение скорости главного движения может осуществляться ступенчатыми шкивами, ременными передачами, гитарами сменных зубчатых колес, многовенцовыми зубчатыми блоками, множительными механизмами с муфтами, с переборами, коробками скоростей, многоскоростными асинхронными двигателями (обычно две скорости, но может быть до четырех: 3 000, 1 500, 1 000, 750 мин⁻¹) или комбинацией всех этих механизмов. Они просты по конструкции и надежны в эксплуатации, однако не всегда позволяют получить оптимальные режимы резания.

У станков с ЧПУ привод главного движения делается на основе устройства бесступенчатого регулирования. Могут применяться электродвигатели постоянного тока или асинхронные с частотным регулированием.

В зависимости от расположения электродвигателя относительно станка приводы бывают с приставным, фланцевым и встроенным электродвигателем. Получила распространение конструкция так называемого «мотор-шпинделя».

Применение нескольких регулируемых электродвигателей позволяет упростить кинематическую схему металлорежущего станка, механическую часть привода и открывает возможность простыми средствами автоматизировать работу оборудования.

Для бесступенчатого регулирования движений применяют электрическое и гидравлическое регулирование, а также регулирование механическими вариаторами. Бесступенчатые приводы удобны в эксплуатации, однако механические устройства пока что сложны, мало мощны и имеют низкий КПД. Имеющие большие возможности гидравлические приводы обеспечивают бесступенчатое регулирование и прямолинейное движение в приводе главного движения протяжных, строгальных и долбежных станков, в приводе подачи и вспомогательных перемещений — многих станков. Гидроприводы вращения также обеспечивают бесступенчатое регулирование и имеют малые габариты.

Приводы со ступенчатым регулированием. Ступенчатое регулирование скорости главного движения осуществляется при помощи коробок скоростей. Их конструируют в виде самостоятельных узлов или встраивают в корпусные детали, например, в станины, а именно в шпиндельные бабки. Коробки скоростей современных, в частности универсальных станков, имеют большое число ступеней и большой диапазон регулирования скоростей, особенно если это касается подачи. Приводы должны быть простыми и компактными, иметь малый вес, минимальное число валов, передач, высокий КПД, низкий уровень шума. Их конструкция должна быть технологичной, надежной в эксплуатации, удобной в ремонте и в обслуживании.

В зависимости от места применения привода будет изменяться и метод регулирования скорости. Для главного движения, где основными параметрами являются мощность и вращающий момент, приводы отвечают этим требованиям, а для регулирования скорости в настоящее время применяют следующие методы:

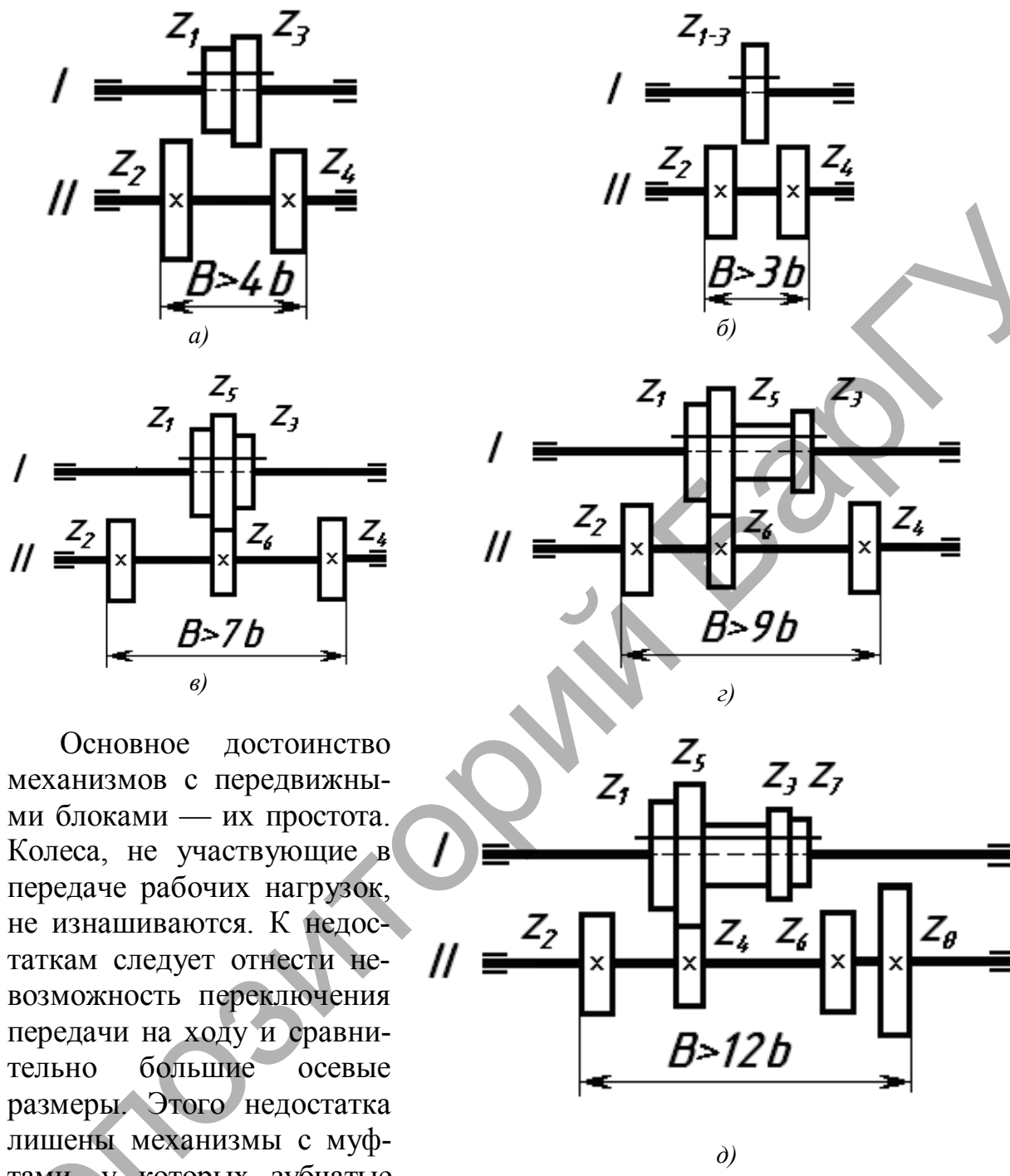
- с помощью регулируемого электродвигателя;
- с помощью сменных зубчатых колес;
- с помощью передвижных зубчатых колес и блоков зубчатых колес;
- с помощью зубчатых муфт;
- с помощью фрикционных муфт.

Известно, что возможно изготовление асинхронных трехфазных двигателей с несколькими скоростями, чаще всего с двумя, которые нашли широкое применение в приводах металлорежущих станков. При этом число оборотов изменяется у них в два раза: 3 000—1 500, 1 500—750. Применение двигателей и с тремя и четырьмя скоростями усложняет конструкцию привода и растет цена, что сдерживает их применение. Ступенчатое регулирование скорости с помощью асинхронного трехфазного электродвигателя легко поддается автоматизации.

Регулирование скоростей с помощью сменных зубчатых колес, по-видимому, имеет самую старую историю. Со ступенчатых шкивов, а также сменных зубчатых колес, начиналось регулирование скоростей в первых станках. Сейчас этот метод применяется довольно широко в тех случаях, когда изменение выходных параметров привода производится редко (обычно во время наладки станка для обработки новой детали), например, в специальных и специализированных станках. Обычно используются пары колес, устанавливаемых на валы с неизменным межосевым расстоянием. Для обеспечения большего числа скоростей при наладке колёса можно менять местами. Такие станки комплектуются наборами сменных колес, обязательным условием для которых является постоянство суммы зубьев устанавливаемой пары зубчатых колес. Сменные зубчатые колеса в виде гитар используют и при наладке универсального оборудования (так настраивается гитара токарно-винторезного станка 16К20 для нарезания резьбы).

Широкое распространение получили механизмы, состоящие из подвижных многовенцовых блоков зубчатых колес (рис. 1.34). Число колес в блоке чаще всего два или три, реже четыре.

Блоки применяют в качестве ведущих и ведомых элементов. Если применить скорректированное зацепление колес с разной суммой зубьев зубчатых колес на параллельных валах при одном межцентровом расстоянии, то в отдельных случаях двухвенцовый блок (рис. 1.34, а) может быть заменен одним колесом z_{1-3} (рис. 1.34, б), зацепляющимся поочередно с колесами z_2 и z_4 . На рисунке 1.34, в показан механизм с трехвенцовым блоком зубчатых колес. Для ввода в зацепление колес z_1 и z_2 необходимо, чтобы блок беспрепятственно перемещался мимо колеса z_6 , не задев за него колесом z_3 . Это возможно, если разность числа зубьев $z_5 - z_3$ больше пяти. Если эта разность меньше пяти, то используют конструкцию, показанную на рисунке 1.34, г. Все сказанное относится и к соседним зубчатым колесам четырехвенцового блока (рис. 1.34, д). На рисунках видно, как в зависимости от схемного решения изменяется ширина B коробки.



Основное достоинство механизмов с передвижными блоками — их простота. Колеса, не участвующие в передаче рабочих нагрузок, не изнашиваются. К недостаткам следует отнести невозможность переключения передачи на ходу и сравнительно большие осевые размеры. Этому недостатка лишены механизмы с муфтами, у которых зубчатые колеса находятся в постоянном зацеплении (рис. 1.35, а). Колеса z_2 и z_4 на вал II насажены свободно и включаются в работу муфтой. Если муфта I фрикционного типа, то частоту вращения можно изменять на ходу.

Передачи могут быть косозубыми. На рисунке 1.35, б показан элементарный механизм с двумя электромагнитными муфтами, которые получили широкое распространение, позволяя простыми средствами автоматизировать переключение.

Рисунок 1.34 — Множительные механизмы с многовенцовыми блоками зубчатых колес

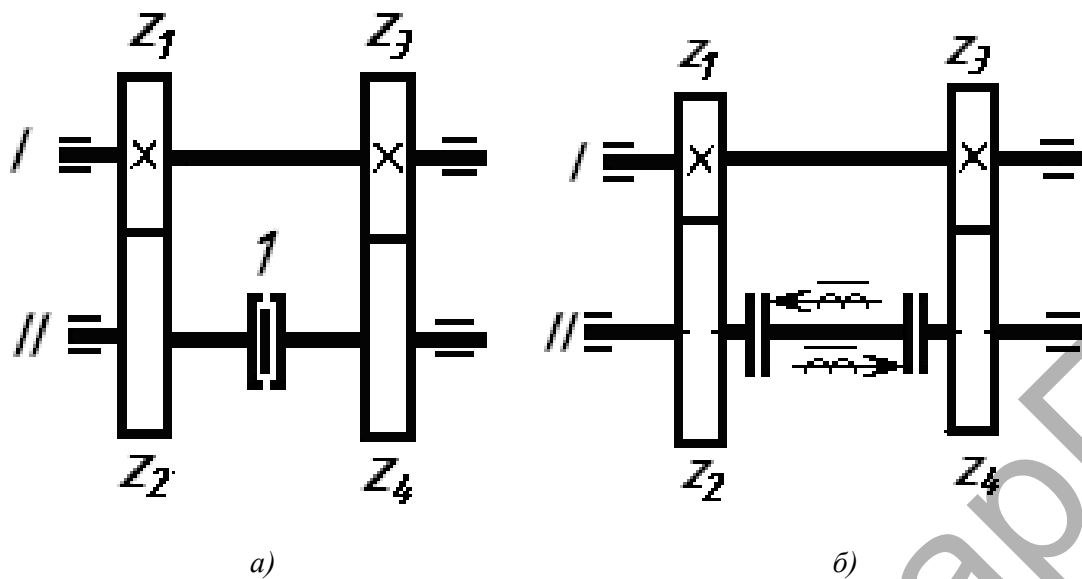


Рисунок 1.35 — Множительные механизмы с муфтами

На рисунке 1.36, *a* показан множительный механизм с кулачковой муфтой и перебором. Вращение колеса z_1 , осуществляемое колесом z_5 , может быть передано валу I через перебор, по цепи колес $z_1 — z_2, z_3 — z_4$ и непосредственно, если переместить колесо z_4 влево, до сцепления кулачков полумуфты. Вал II, колеса z_2 и z_3 называют переборными. На рисунке 1.36, *б* — механизм с зубчатой муфтой, перемещение которой влево позволит передавать движение с вала I на вал II по цепи z_1/z_2 , а при включении муфты М вправо — через передачу z_4/z_3 .

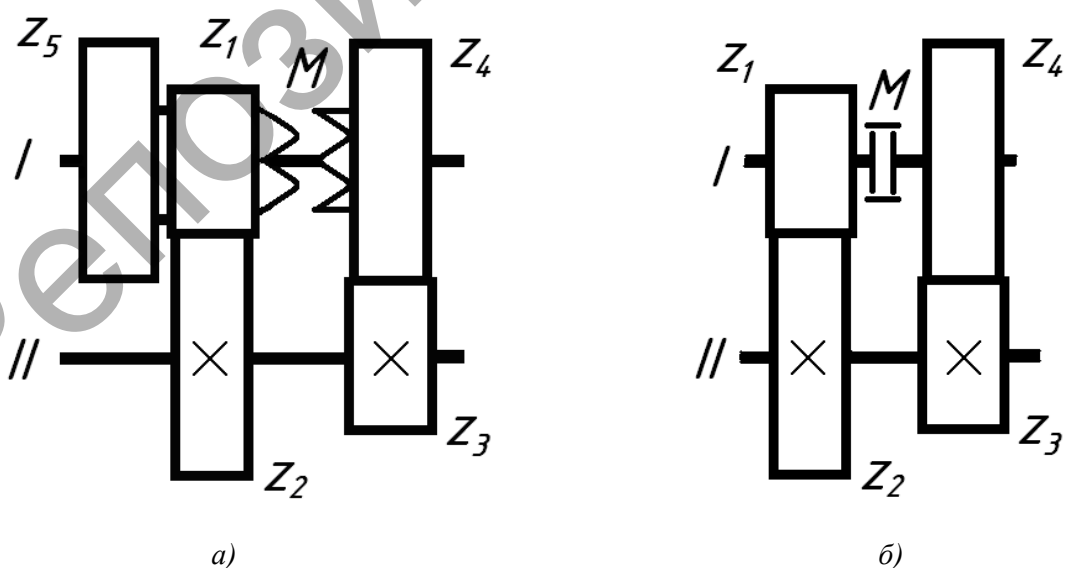


Рисунок 1.36 — Множительные механизмы с муфтами и перебором

Диапазон регулирования. Теоретически привод должен обеспечивать любую частоту вращения шпинделя для всех предполагаемых скоростей резания и возможных диаметров обработки на проектируемом станке исходя из условия

$$v = \pi D n / 1\,000,$$

откуда

$$n = 1\,000 v / \pi D, \quad (1.35)$$

где v — расчетная скорость резания, определяемая крайними значениями механических свойств материала заготовки и материала режущей части инструмента, $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$;

D — обработки, определяемый техническими возможностями станка, $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$.

При этом надо рассчитывать частоту вращения шпинделя n для соотношений v_{\min} / D_{\max} и v_{\max} / D_{\min} , получив очень большой интервал между n'_{\min} и n'_{\max} . Полное обеспечение всего этого интервала частот вращения нецелесообразно, поскольку неизбежно приводит к излишнему усложнению и удорожанию станка. Кроме того, во многих случаях весь требуемый интервал регулирования просто невозможно осуществить имеющимися техническими средствами.

Введя ограничения для крайних максимальных и минимальных значений частот вращения шпинделя, остановимся на более узком диапазоне регулирования

$$R_n = n_{\max} / n_{\min}, \quad (1.36)$$

где n_{\max} и n_{\min} — предельные скорости вращения шпинделя, обеспечиваемые приводом станка.

В пределах этого диапазона регулирования в зависимости от конструктивных особенностей станка изменение скорости может быть ступенчатым или бесступенчатым.

Геометрический ряд частот вращения шпинделя. Ступенчатые приводы главного движения дают возможность получения постоянства мощности на всем диапазоне регулирования. При этом промежуточные значения частот вращения выбирают по закону геометрической прогрессии, который осуществляется последовательным включением групп зубчатых передач в виде двойных и тройных блоков. Значения знаменателя и геометрической прогрессии определяются нормалью станкостроения Н-П-1. В соответствии с этой нормалью значение знаменателя геометрической прогрессии ϕ лежит в пределах $1 < \phi \leq 2$: т. е. $\phi = 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2,0$.

Малые значения знаменателя приводят к существенному усложнению привода и экономически оправдывают применение бесступенчатого регулирования, поэтому $\phi = 1,06$ в станках практически не применяют; $\phi = 1,12$ применяют в станках с ЧПУ и тяжелых, где требуется точная настройка на заданный режим. Наибольшее распространение для приводов универсального оборудования получили значения $\phi = 1,26$ и $\phi = 1,41$. Знаменатель, равный 1,58 и 1,78 применяют в специализированных станках, где велико вспомогательное время и поэтому точная установка скорости не обязательна; $\phi = 2$ практически не применяют, так как потеря производительности в этом случае доходит до 50%.

Рассмотрим устройство *шестиступенчатой коробки скоростей* (рис. 1.37, а). Для передачи вращения от вала I к валу II служит множительный механизм с трехвенцовым блоком, а от вала I к валу II — с двухвенцовым блоком. В результате последовательного соединения этих элементарных механизмов при одной скорости ведущего вала I ведомый вал III (или шпиндель) может иметь шесть различных скоростей. На рисунке 1.37, б представлена схема шестиступенчатой коробки скоростей, имеющей другой конструктивный порядок, но обеспечивающая то же число скоростей на выходе.

Построение графика частот вращения. Для коробки скоростей (рис. 1.38) на рисунке 1.39 показан график чисел оборотов (еще он называется структурной сеткой). Он показывает числа оборотов каждого вала коробки скоростей и как осуществляется передача движения от одного вала к другому.

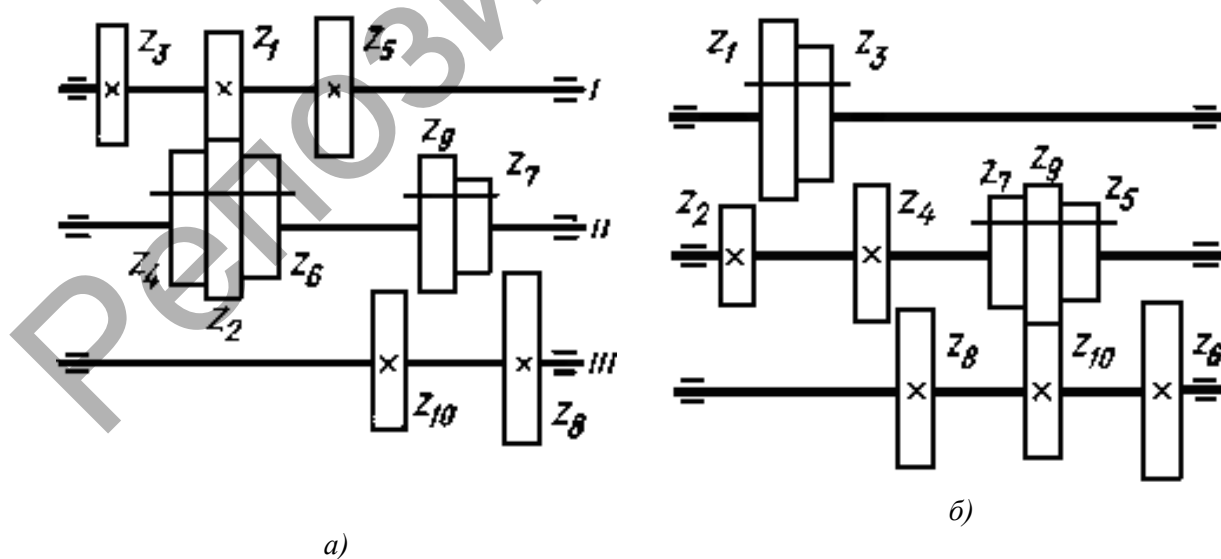


Рисунок 1.37 — Схемы вариантов шестиступенчатых коробок скоростей

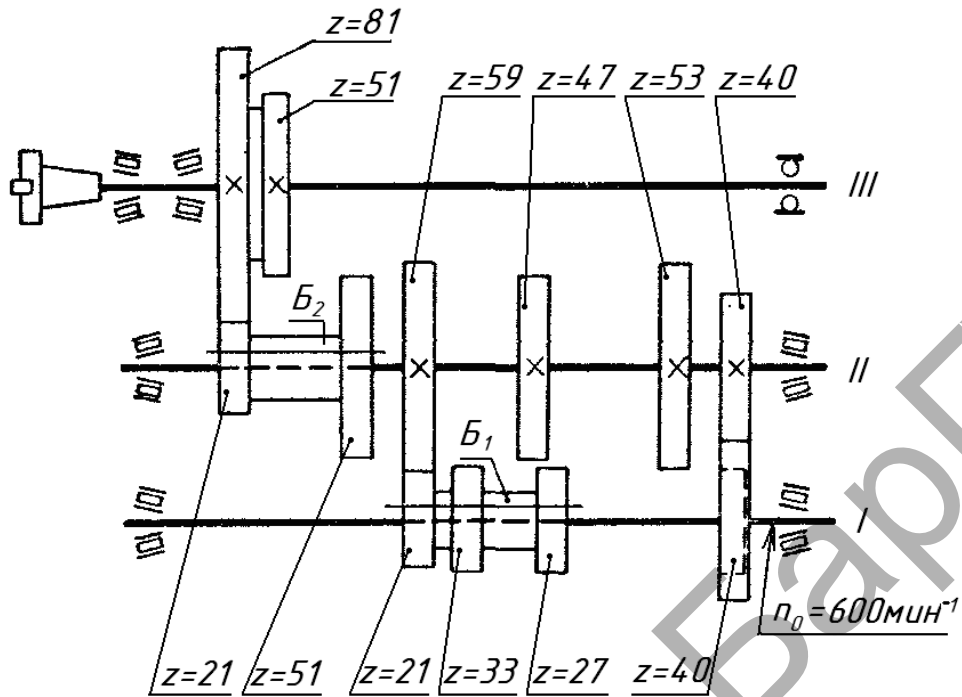


Рисунок 1.38 — Коробка скоростей с передвижными блоками колес

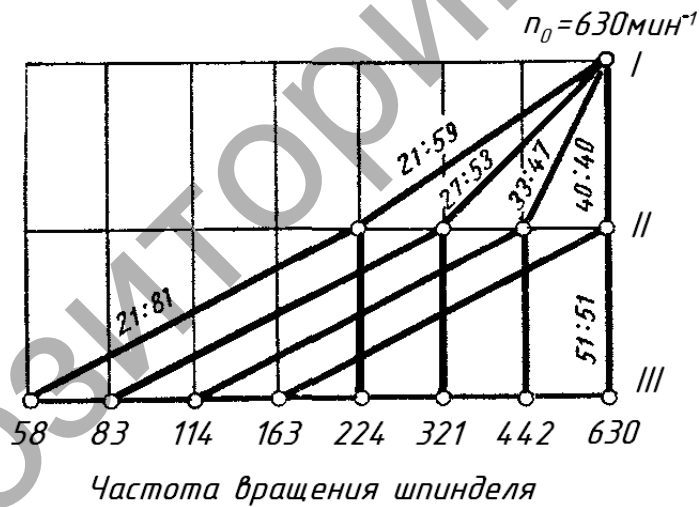


Рисунок 1.39 — График частот вращения — структурная сетка

График чисел оборотов состоит из ряда горизонтальных и вертикальных линий, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Число этих горизонтальных соответствует числу валов коробки скоростей. Первым считается вал электродвигателя или тот, с которого начинается движение, а последним — шпиндель или другой исполнительный орган станка. Вертикальные линии соответствуют частотам вращения шпинделя. На каждой горизонтальной линии наносятся точки по числу скоростей

данного вала, обозначающие числа оборотов на той или иной скорости. Чем правее находится точка, тем большее число оборотов она изображает, а чем левее, тем меньшее число оборотов. Если соединить точки одной горизонтальной линии с точками другой горизонтальной линии соответствующей передачи, то линии соединения этих точек символически представляют собой передаточные отношения колес от одного вала к другому.

Вертикальное расположение этих линий означает, что передаточные отношения колес $u = 1$. При наклоне линий вправо от ведущего к ведомому $u > 1$, а при наклоне влево — $u < 1$. Шкала чисел оборотов — логарифмическая. Поэтому отрезок шкалы соответствующий изменению скоростей от 1 мин^{-1} до 10 мин^{-1} равен отрезку от 10 до 100, от 100 до 1 000 и т. д.

Передача движения от вала I к валу II может осуществляться четырьмя передачами: $21/59$, $27/53$, $33/47$, $40/40$. Вал II имеет четыре скорости вращения, поэтому на нем изображены четыре точки. Наклон соединяемых линии точек вала I и вала II для трех передач: $21/59$, $27/53$ и $33/47$ влево. Это означает, что передаточное отношение $u < 1$. Для передачи $40/40$ соединяемая линия вертикальна. Следовательно, передаточное отношение $u = 1$.

Передача движения от вала II к валу III может осуществляться двумя передачами: $21/81$ и $51/51$ и вал III имеет восемь скоростей, а линия вала III — восемь точек, соответствующих этим восьми скоростям. Для первой из этих двух передач отклонение соединяющей линии влево (передаточное отношение $u < 1$), а для второй передачи соединяющая линия вертикальна.

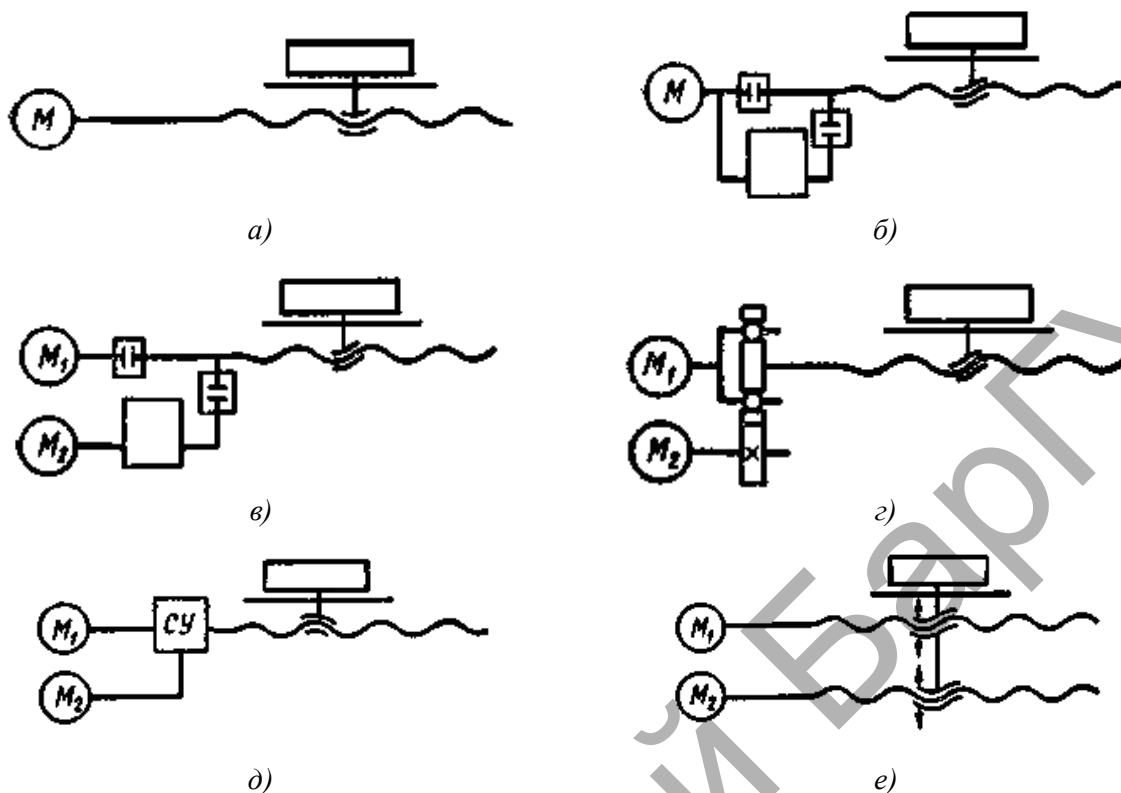
По графику можно быстро определить частоты вращения каждого вала. Например, вал II вращается в пределах $224 \dots 630 \text{ мин}^{-1}$. Видно какие зубчатые передачи надо использовать для получения нужной частоты вращения шпинделя. Например, для $n = 114 \text{ мин}^{-1}$ — это передачи $33/47$ и $21/81$; для $n = 321 \text{ мин}^{-1}$ — $27/53$ и $51/51$ и т. д. Достаточно проследить, с какой точкой вала III соединяется точка вала II, затем вала I.

Электромеханический привод подач. Если наряду со сравнительно медленными рабочими движениями узел станка должен перемещаться быстро при установочных перемещениях, как это делается в приводах подач, то решение этой технической задачи может быть осуществлено несколькими путями.

Наиболее часто применяемые электромеханические приводы подач показаны на рисунке 1.40.

Для привода подач с минимальными скоростями рабочего движения (часто несколько миллиметров в минуту) и быстрыми движениями (порядка метров в минуту) необходим двигатель с диапазоном частот вращений в несколько тысяч.

В тех случаях, когда характеристика двигателя все же допускает такую возможность, то решение оказывается простейшим, так как используется одна и та же кинематическая цепь привода. К недостаткам этого варианта (рис. 1.40, а) относятся тяжелые условия работы элементов привода и тяговых устройств в широком диапазоне скоростей и рабочих нагрузок.



a — от общего двигателя; *б* — разветвления кинематической цепи; *в* — с двумя двигателями; *г* — с дополнительным двигателем через муфту обгона; *д* — с суммирующим устройством; *е* — с двумя тяговыми устройствами

Рисунок 1.40 — Схемы устройств быстрых перемещений

Типовые структуры привода подач. По структуре выделяют следующие виды коробок подач:

- простые со сменными колесами;
- простые с последовательно расположенными множительными двухваловыми передачами с нарастающим диапазоном частот;
- простые на базе многоскоростного привода со ступенчатым и бесступенчатым регулированием;
- составные из параллельно соединенных многоскоростных передач с простой структурой.

По компоновке коробки подач могут быть с неразделенным приводом (устанавливаются в кинематической цепи после коробки скоростей, как у токарно-винторезного или вертикально-сверлильного станков) и разделенным (от отдельного электродвигателя, как у консольного фрезерного станка). Коробки подач бывают с перебором, механизмом удвоения (звеном увеличения шага нарезаемой резьбы) и комбинированные. По способу переключения ступеней коробки бывают со сменными колесами (приме-

няют в специализированных станках, автоматах и полуавтоматах крупносерийного и массового производства) и с передвижными колесами, механическими и электромагнитными муфтами и с комбинированным переключением (в станках для единичного и серийного производств с частым переключением).

Практически во всех приводах подач присутствуют механические тяговые устройства, которые преобразуют вращательное движение электродвигателя или соответствующих передач в прямолинейное движение узла станка вдоль направляющих: винт-гайка, червяк-рейка, зубчатое колесо-рейка, а также кулачковые, кривошипно-шатунные, ленточные и некоторые другие механизмы.

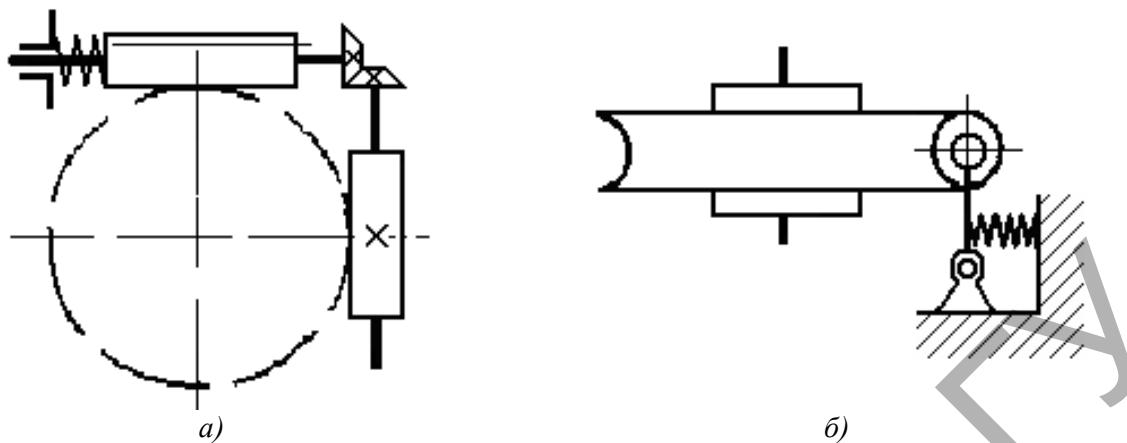
Обеспечение точности и плавности перемещений, уменьшение потерь на трение, обеспечение осевой жесткости. С распространением в станках принципов ЧПУ роль привода для точных отсчетных перемещений постоянно возрастает. Назначением привода позиционирования является перемещение узла станка из начального положения в заданное конечное с определенной точностью. Такие же требования предъявляются и к станкам высоких классов точности (В, А и С).

Обеспечение точности расчетных перемещений связано с повышением точности кинематических цепей за счет уменьшения погрешностей отдельных звеньев, устранения вредного влияния зазоров в соединениях, применения корректирующих устройств. В некоторых станках точность обрабатываемых поверхностей зависит от точности согласования отдельных исполнительных движений, т. е. от точности внутренних кинематических связей.

Устранение влияния на точность движения зазоров в передачах и подвижных соединениях обеспечивается условием нераскрытия этих зазоров. Для этого необходимо обеспечить одностороннее нагружение всей кинематической цепи или отдельных ее элементов с помощью пружин или гидравлической системы (рис. 1.41). Нагружение всей кинематической цепи привода (подтормаживание) постоянным по величине и направлению силовым воздействием применяют в резьбонарезных и зубообрабатывающих станках.

Корректирующие устройства вносят поправку в движение исполнительного органа станка в соответствии с заранее зафиксированным законом изменения кинематических погрешностей.

При использовании жесткого программносителя ошибок кинематической цепи в виде коррекционной линейки обеспечивается высокая надежность и простота всего коррекционного устройства, однако чувствительность (наименьшее обрабатываемое перемещение) при этом не очень высока.



a — двумя червяками; *б* — качающимся червяком

Рисунок 1.41 — Способы выбора зазоров в червячных парах

Автоматическая компенсация погрешностей осуществляется на основе использования принципов автоматического регулирования. Измеряемое в процессе работы кинематической цепи рассогласование в передаточном отношении скоростей исполнительных органов поступает как входной сигнал в систему, обрабатывающую поправку в движении привода.

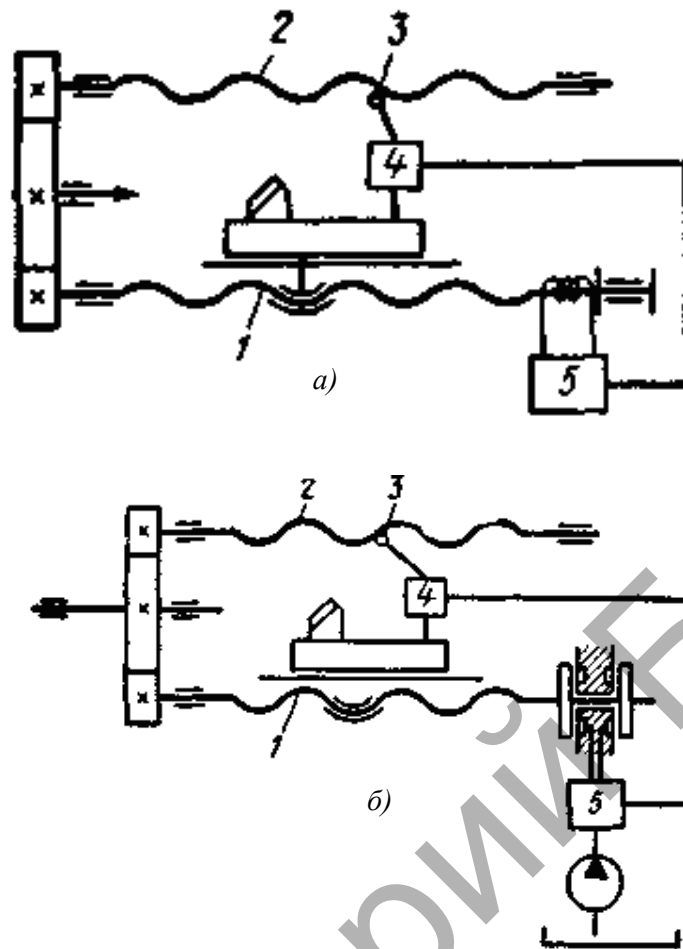
Наибольшие сложности связаны с созданием системы измерения и с обеспечением высокой чувствительности привода коррекционных движений. В прецизионных станках для измерения кинематических погрешностей применяют дифракционные решетки, индуктосины, оптические, сейсмические и другие высокочувствительные датчики. Обработка дополнительных перемещений осуществляется через суммирующие устройства или с использованием специальных приводов для малых перемещений. На рисунке 1.42 приведены схемы автоматической компенсации погрешностей в кинематических цепях резбонарезных станков. Измеренная с помощью эталонного ходового винта погрешность перемещения анализируется по знаку (произошло фактически отставание или обгон исполнительного органа относительно теоретически верного положения), после чего соответствующий сигнал подается с помощью магнитостриктора (рис. 1.42, *a*) или гидростатического подпятника с управляемой величиной толщины слоя смазки (рис. 1.42, *б*) на исполнительный привод микроперемещений или другой подобный механизм.

Потери на трение в передаче винт-гайка скольжения определяют главным образом трением на боковых рабочих поверхностях и связаны с КПД передачи в виде

$$\eta = \operatorname{tg} \lambda / \operatorname{tg}(\lambda + \rho), \quad (1.37)$$

где λ — угол подъема резьбы по среднему диаметру;

ρ — угол трения, причем $\operatorname{tg} \rho = 0,05 \dots 0,2$ в зависимости от скорости скольжения.



1 — рабочий винт; 2 — эталонный винт; 3 — датчик; 4 — усилитель; 5 — регулятор

Рисунок 1.42 — Автоматическая компенсация погрешностей в кинематических цепях резьбонарезных станков с приводом микроперемещений от магнитостриктора (а) или от регулируемого гидростатического подпятника (б)

Долговечность передач винт-гайка скольжения в значительной мере зависит от тщательности их защиты от загрязнения. Ответственные ходовые винты снабжают неподвижными и телескопическими щитками, гармониками и спиральными стальными лентами.

Создание жидкостного трения на боковых поверхностях резьбы в передачах винт-гайка полностью устраняет износ, резко снижает потери на трение и устраняет зазоры, которые всегда заполняются смазочной жидкостью. К недостаткам гидростатических передач винт-гайка следует отнести сложность системы смазки, ограниченную несущую способность и высокие требования к изготовлению и сборке передачи.

Жесткость ходового винта, обусловленная растяжением или сжатием его на рабочей длине между гайкой и подпятником, существенно влияет на общую жесткость всего тягового устройства.

Искажение шага резьбы при растяжении-сжатии винта равно

$$\Delta t = \pm Qt / EF, \quad (1.38)$$

где E — модуль упругости материала винта;

F — площадь поперечного сечения (обычно $F = \pi d^2 / 4$).

Искажение шага не должно превышать некоторой доли (часто берут одну треть) допуска на разность соседних шагов. Жесткость J_b Н/м стального ходового винта

$$J_b = 1,57 \cdot 10^9 d^2 / L_b, \quad (1.39)$$

где d — средний диаметр ходового винта, мм;

L_b — рабочая длина ходового винта, мм.

Тяжело нагруженные ходовые винты должны иметь высокую механическую прочность. Допустимое напряжение ограничивают по пределу текучести

$$\sigma_0 \leq \sigma_T / 3 \dots 3,5. \quad (1.40)$$

У длинных ходовых винтов, когда длина рабочего участка в 7,5...10 раз превышает диаметр, работающих на сжатие, важно обеспечить устойчивость, при снижении параметров которой не обеспечивается точность перемещений.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

2.1 Основы управления станками

Основные понятия и задачи управления станками. В процессе работы на металлорежущих станках необходимы движения, осуществляющие функции управления, — это включение и выключение привода главного движения и подачи, подвод и отвод инструмента, установка его на размер. Кроме того, нужно устанавливать и закреплять заготовки, контролировать размеры, поворачивать столы, револьверные головки и т. д. В основном это сводится к перемещению подвижных элементов: зубчатых колес, муфт, гидравлических, пневматических и электрических устройств и т. д. Системы управления (СУ), выполняющие эти функции, оказывают влияние на основные технико-экономические показатели станка.

По виду воздействия на управляющий орган СУ делятся на ручное управление и автоматизированное. Ручное управление, в свою очередь, включает механические (рукоятки, маховички, муфты, блоки колес), гидрофицированные (золотники, гидроцилиндры), электрифицированные (кнопки, рычаги, тумблеры, электродвигатели) варианты.

Автоматическое управление обеспечивает подачу команд в нужной последовательности для выполнения всего цикла обработки детали на станке.

В общем смысле перед системами управления стоят задачи слежения за процессами, происходящими в станке, и их стабилизация. Поэтому к СУ предъявляют *требования*:

- безопасность управления (органы управления располагают в удобных зонах с применением блокировок, ограничителей перемещений, сигнальных устройств);

- легкость и удобство манипулирования ручными средствами (усилия, прилагаемые к рукояткам не должны превышать 80 Н, а при частых включениях — менее 45 Н, высота расположения 800—1 000 мм, ширина — 900 мм, дублирование при неудобном расположении);

- быстрота управления;

- мнемоничность управления (т. е. направление движения руки станочника при перемещении рукояток должно соответствовать движениям управляемого узла);

- точность СУ.

Системы управления весьма разнообразны, но состоят из *трех* частей: управляющего органа, или датчика, получающего команду на заданное движение; исполнительного органа, или приемника, выполняющего это движение согласно команде; промежуточного устройства, передающего команду от управляющего органа к исполнительному.

Цикл обработки — это совокупность перемещений, повторяющихся при обработке каждой детали. Каждый цикл характеризуется длиной ходов и их последовательностью. Для задания цикла необходимо указать длину каждого хода и определить их порядок. Поэтому первую часть информации называют размерной, или геометрической, а вторую — командами. Выполнение команд возлагается на систему управления.

В общем случае можно изменять состав и последовательность действий, нужных для обработки заготовки, параметры движений (траекторию, скорость, направление, исходное положение, путь).

Цикл обработки предполагает наличие программы и программносителя. Системы программного управления обеспечивают автоматизацию универсального, часто переналаживаемого оборудования. *Программа* — это и есть последовательность команд, которые должны быть выполнены рабочими органами станка за цикл обработки детали. Командами могут выступать: последовательность использования инструментов, режимы резания, вспомогательные действия, относительные перемещения заготовки и инструмента.

В обобщенном виде система программного управления представлена блок-схемой (рис. 2.1), которая имеет следующие элементы:

а) ввод программы (ВП) считывает с программносителя закодированные управляющие сигналы в виде электрических, магнитных, световых или других физических воздействий. Он включает в себя считывающее и транспортирующее программноситель устройства, которые различают по способу считывания: контактные и бесконтактные, непрерывные и периодического действия, последовательные и параллельные;

б) блок управления (БУ) преобразовывает соответствующие физические воздействия в электрические командные импульсы или потенциалы;

в) усилитель (У) увеличивает полученный электрический потенциал до уровня, обеспечивающего надежное управляющее воздействие;

г) исполнительный орган (ИО) реализует командные импульсы путем подключения рабочего органа станка к источнику движения или выполнения других функций автоматического управления;

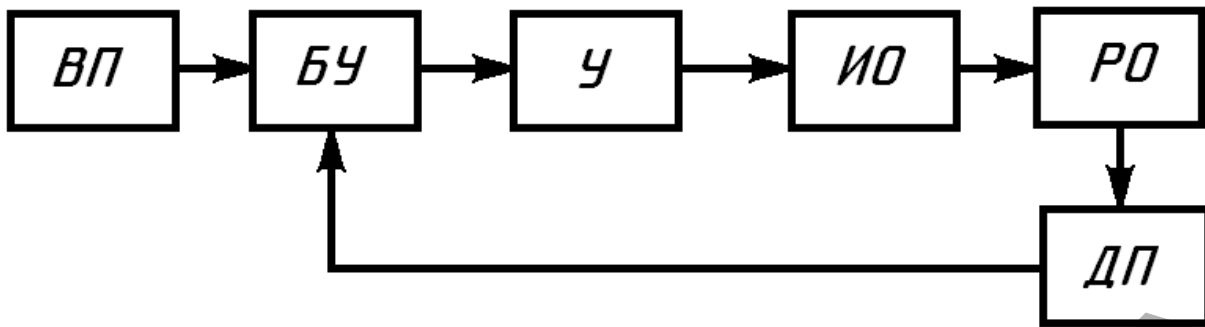


Рисунок 2.1 — Блок-схема программного управления

д) рабочий орган (РО) реализует командные воздействия, являясь целевым управляемым органом станка;

е) датчик перемещений (ДП) регистрирует фактическое перемещение рабочего органа станка.

Различают следующие *системы программного управления*:

а) программное управление (ПУ) станком по детерминированной программе (аналоговое);

б) цикловое программное управление (ЦПУ) циклами перемещений или режимами обработки по программе с заданием величин параметров на путевых переключателях, штекерах или других измерительных преобразователях;

в) числовое программное управление (ЧПУ) применяется для управления обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде.

Программоносители придуманы давно и используются повсеместно. Это такие устройства, как конечные выключатели, положение которых определяет момент срабатывания исполнительного механизма (включение освещения в бытовом холодильнике). Это копиры, устанавливаемые на станках (А. К. Нартов в начале XVIII века применял их); кулачки, приводившие в движение сложные механизмы игральные автоматы в средние века и сейчас стоящие в двигателе автомобиля многие десятки лет, обеспечивая цикл газораспределения; командоаппараты, распределительные валы. В качестве программноносителей для систем ЧПУ служат перфолен-ты, магнитные ленты, дискеты, а для ЦПУ — штырьковые барабаны или панели, магазины переключателей и др.

Развитие систем программного управления. Длительное время автоматизация охватывала в основном крупносерийное и массовое производства, где создано и внедрено множество станков-автоматов, отдельных автоматических линий и их комплексов. Для серийного и тем более мелкосерийного производства, составляющего около 80% общего объема

машиностроительного производства, такие средства автоматизации малоэффективны или даже убыточны из-за длительности их изготовления и отладки, для которой может не хватить той небольшой партии деталей, которая заказана. Основным способом решения указанной проблемы стали станки и станочные комплексы с числовым программным управлением, сочетающие в себе благодаря системам числового программного управления производительность и точность станков-автоматов с гибкостью универсального оборудования.

Создание оборудования с ЧПУ можно считать одним из наиболее существенных достижений научно-технической революции в области станкостроения после изобретения быстрорежущих сталей и твердых сплавов.

Для современного этапа развития станков с ЧПУ характерно резкое расширение их функциональных возможностей, повышение уровня автоматизации и все более широкое применение в системах управления мощных вычислительных средств. Появилась новая разновидность металлорежущего оборудования — *многооперационные станки*.

В многооперационных станках выражен новый подход к построению технологического процесса. Они обеспечивают различными видами инструмента комплексную обработку деталей без переустановок или при минимальном их числе.

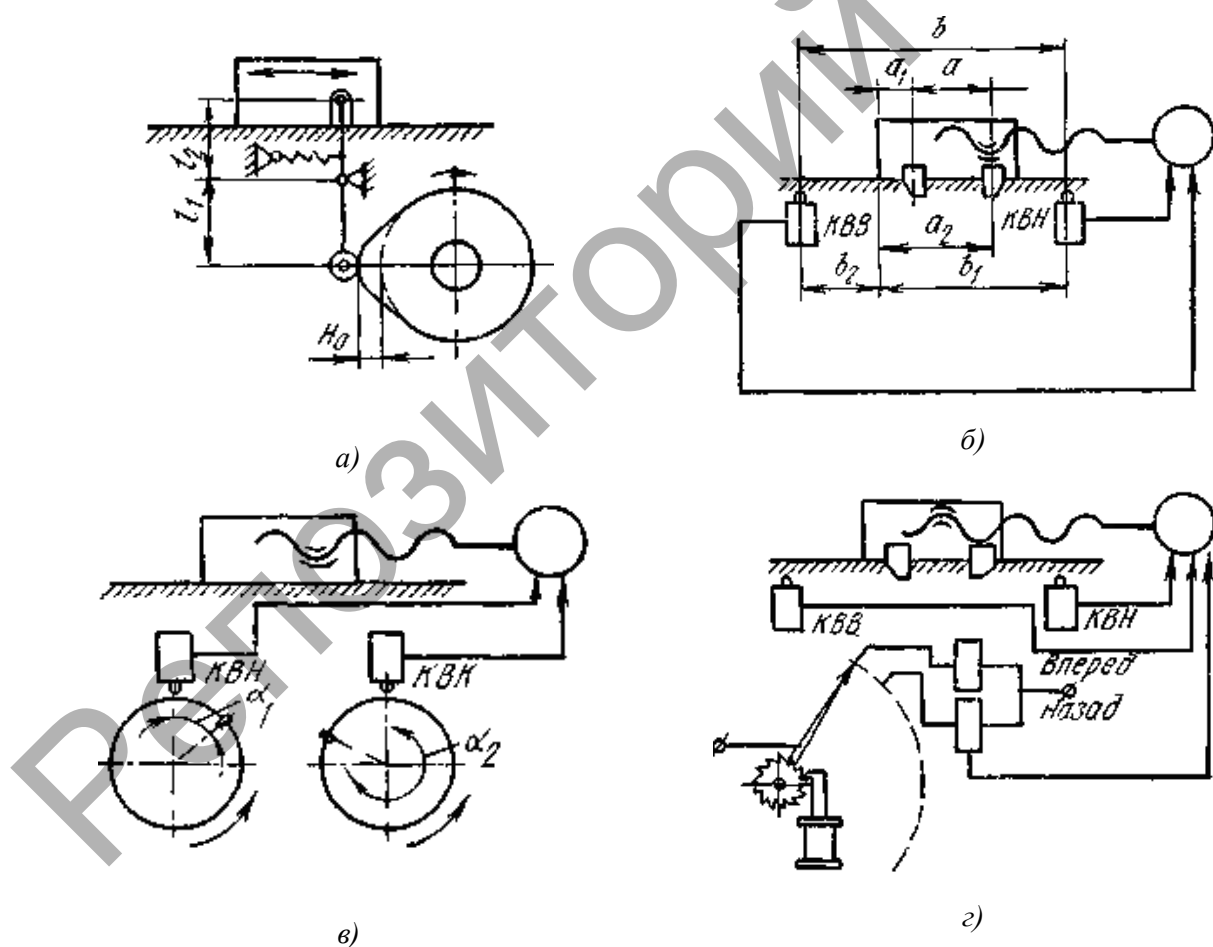
В своем развитии системы ЧПУ прошли несколько этапов начиная с позиционных систем, потом контурные и комбинированные. Если вначале в системах ЧПУ незамкнутого типа невозможно было судить о выполненной работе, то появление замкнутых систем с обратной связью позволило, если надо, автоматически исправлять результаты работы станка. Адаптивная система ЧПУ, являясь на сегодняшний день наиболее совершенной, позволяет станку в автоматическом режиме реагировать на происходящие в работе изменения, обеспечивая оптимальные условия резания. Началось применение устройств промышленного зрения и слуха, что еще больше расширило возможности металлорежущих станков.

Большие перспективы дальнейшего повышения производительности труда и эффективности в машиностроительном производстве имеет создание *гибких производственных систем* (ГПС), управляемых от ЭВМ. Данная система представляет собой совокупность оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени. Такое оборудование сейчас является основой всех станкостроительных выставок. Это направление обеспечивает на современном этапе применение программного управления, наиболее полно соответствующего требованиям развития отрасли.

2.2 Аналоговые системы управления

Способы задания программы в аналоговом виде. В зависимости от способа задания размерной информации все системы управления технологическим оборудованием принято делить на два класса: нечисловые (традиционные, или непрерывные — аналоговые) и числовые. К первым (нечисловым) системам управления относят кулачковые и копировальные, путевые, временные и цикловые (рис. 2.2).

Кулачковые системы управления, основанные на использовании отдельных кулачков и распределительных валов с кулачками, являются основой программного управления различных токарных автоматов и полуавтоматов. Такая система управления весьма универсальна. Любая швейная машина в своем механизме имеет кулачки. Список легко продолжить. Если кулачек развернуть на прямой линии, то получится копир, применяемый в токарных копировальных полуавтоматах.



a — кулачковая; *б* — путевая; *в* — временная; *г* — цикловая

Рисунок 2.2 — Нечисловые системы управления

Путевые системы управления обеспечивают работу силовых столов агрегатных станков. Временная система управления представляет собой упоры путевой системы управления, но установленные не на прямой планке, а на диске. Такой вариант управления характерен, например, для токарных автоматов как одношпиндельных, так и многошпиндельных, имеющих на распределительном валу барабан командоаппарата с упорами. Во многих случаях такой вариант управления и называют управлением с помощью программируемого командоаппарата. Цикловые системы, удобные в серийном производстве, применяются на фрезерных консольных станках, токарно-револьверных, гидрокопировальных токарных и т. д., а также промышленных роботах (например, модель СМ40Ц4301, «Универсал-15М» и др.).

Системы управления по числу потоков информации делятся на разомкнутые, замкнутые и самонастраивающиеся (адаптивные).

Разомкнутые системы — это все аналоговые и часть с ЧПУ (называемых еще импульсно-шаговыми). Характеризуются одним потоком информации, направляемым от программы управления к рабочему органу станка. Перемещения рабочего органа при этом не контролируются и не сопоставляются с перемещениями, заданными управляющей программой. Эти системы являются более простыми, но из-за отсутствия контроля действительного положения рабочего органа (РО) обеспечивают невысокую точность обработки. Они строятся на основе силовых или несиловых шаговых двигателей. Применяются чаще всего для управления металлорежущими станками малых и средних размеров и в последнее время снимаются с производства.

Замкнутые системы ПУ характеризуются двумя потоками информации: один поступает от управляющей программы, а второй — от датчика обратной связи (ДОС). Наличие обратной связи позволяет сопоставлять фактическую обработку программы с заданной и, при необходимости, устранять возникающее рассогласование. Эти системы по сравнению с разомкнутыми обеспечивают более высокую точность обработки, но они дороже и сложнее.

В зависимости от места установки ДОС замкнутые системы могут быть трех типов (рис. 2.3). Большинство систем ЧПУ класса *CNC* являются замкнутыми и применяются для управления металлорежущими станками средних и крупных размеров.

Самонастраивающиеся, или адаптивные, системы приспосабливаются к изменению внешних условий и являются наиболее прогрессивными. Они имеют, помимо основного, дополнительные потоки информации, позволяющие корректировать процесс обработки с учетом деформации системы станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД) и ряда случайных факторов, таких, как затупление режущего инструмента, колебания припуска и твердости заготовок и др.

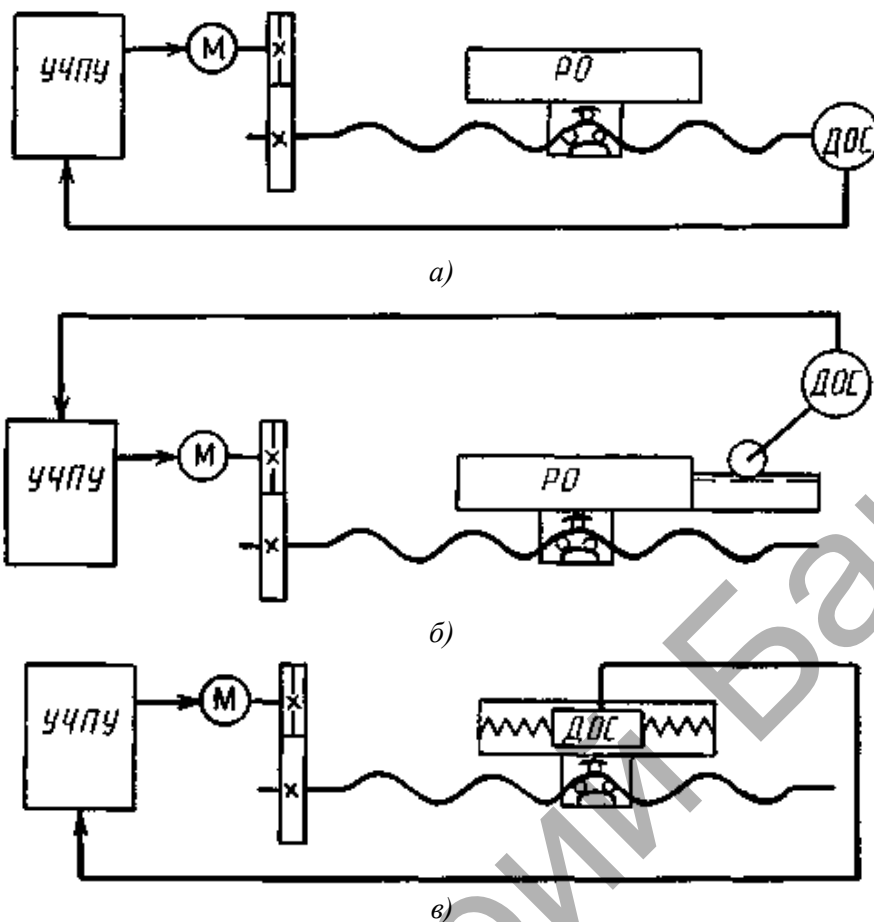
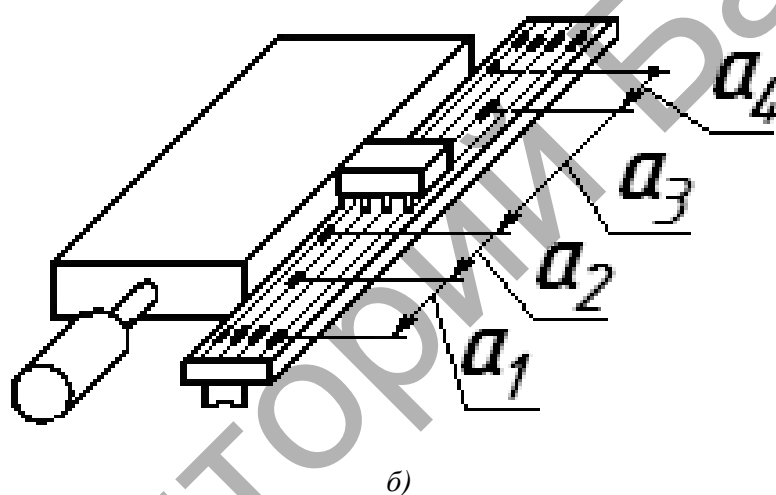
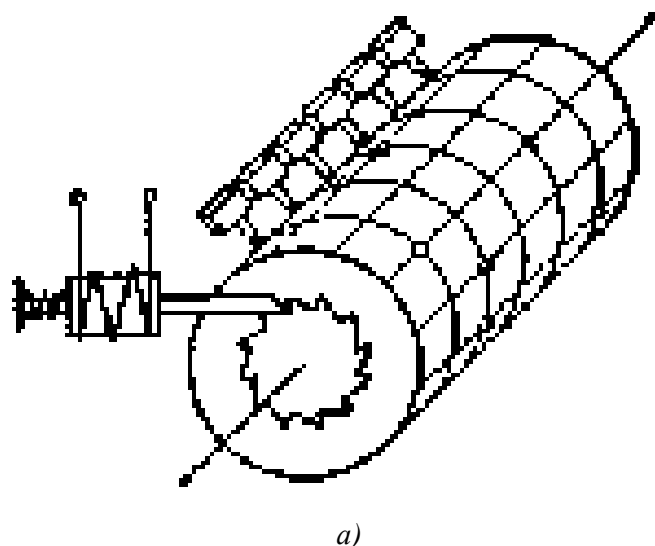


Рисунок 2.3 — Структурные схемы замкнутых приводов подач станков с ЧПУ

Существуют самонастраивающиеся системы двух видов: предельного регулирования (разработчики ограничивают один из параметров работы станка — силу резания, мощность, крутящий момент на шпинделе и т. д., по которому идет корректировка технологического процесса) и оптимального регулирования (по одному из критериев — максимальной производительности, минимальной себестоимости и т. д.). Осуществляется такое управление с применением методов математического моделирования.

Путевые системы управления. Временные системы управления. Управление с регулируемым упорами встречается в станках разного назначения, но в специализированных и специальных — больше всего.

Эти системы управления иногда подразделяют на *временные* (рис. 2.4, а), когда последовательность работы упоров запрограммирована во времени, и на *путевые* (рис. 2.4, б), когда команда от очередного упора поступает после исполнения команды предыдущего упора, т. е. после прохождения рабочим органом станка заданного пути. Встречаются и смешанные системы, частично временного, частично путевого управления.



a — командоаппарат (временная СУ); b — регулируемые упоры (путевая СУ)

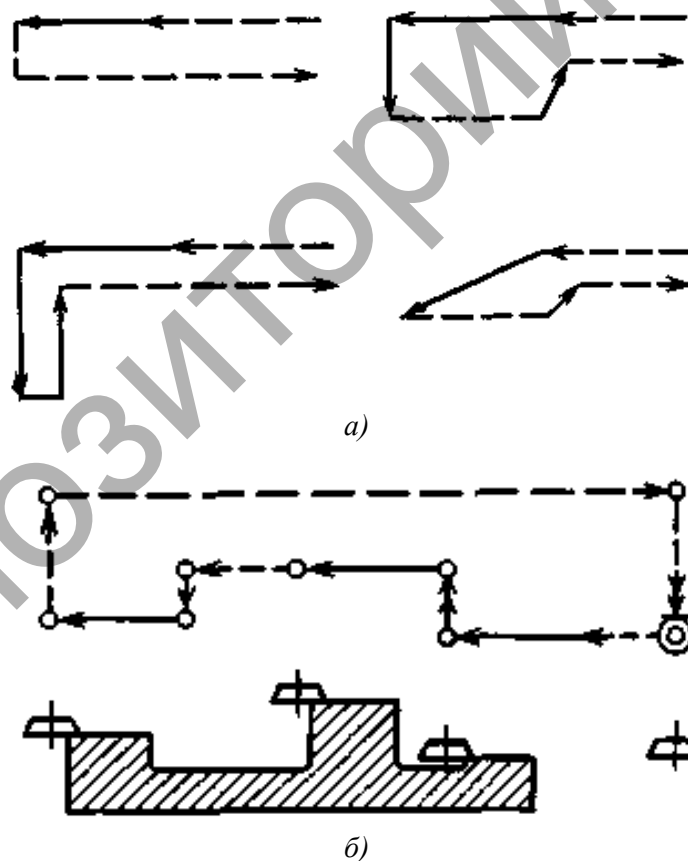
Рисунок 2.4 — Программноносители в системах управления

Преимуществом системы путевого управления является ее высокая надежность и меньшие затраты времени на переналадку по сравнению с кулачковой системой управления (не надо изготавливать новые кулачки — экономится время и деньги, упоры только передвигаются на командоаппарате). В связи с этим подобные системы и используются в станках для серийного и массового производства. Недостаток заключается в том, что для наладки технологического процесса приходится обработать несколько деталей и только при этом постепенно можно установить упоры в тех местах на дорожках командоаппарата, где подача команды будет происходить в нужный момент. Аналогичные качества можно отметить и у временной СУ.

Системы циклового программного управления (ЦПУ) предназначены для того, чтобы управлять станком по быстро сменяемой программе. При такой системе частично или полностью программируются цикл работы станка и режимы обработки. Величины перемещений рабочих органов не программируются, а задаются с помощью упоров. Станки с системами ЦПУ являются полуавтоматами и предназначены для обработки деталей, требующих небольшого количества переходов при прямолинейных перемещениях инструментов — это токарно-револьверные, токарно-копировальные, карусельные, лоботокарные, вертикально-фрезерные и горизонтально-фрезерные и сравнительно редко сверлильные с револьверной головкой, алмазно-расточные и координатно-расточные.

Системы циклового программного управления отличаются от ЧПУ сравнительной простотой построения и невысокой стоимостью. Соответственно технологические и функциональные возможности систем ЦПУ ограничены (рис. 2.5).

Область применения станков с ЦПУ — это серийное и крупносерийное производство при значительной длительности обработки партий деталей,



a — на токарном станке; *б* — на фрезерном станке

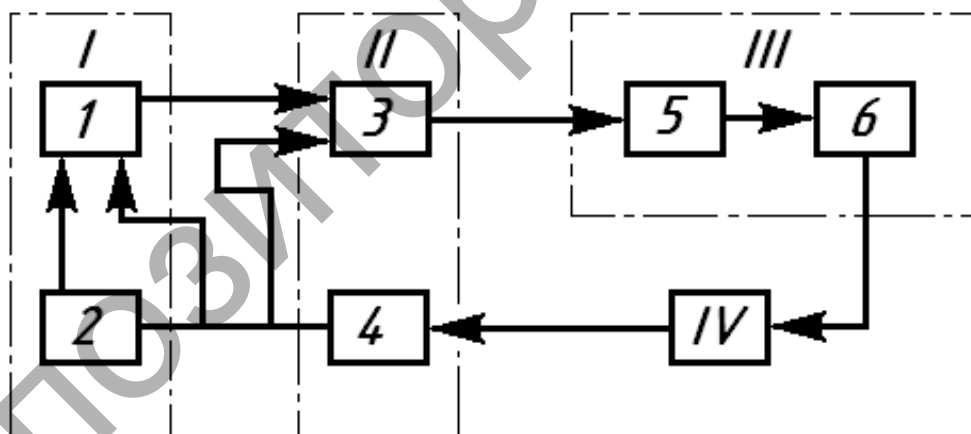
Рисунок 2.5 — Циклы перемещений инструмента

так как переналадка оборудования с ЦПУ требует больших затрат времени. Широкое применение системы ЦПУ получили в промышленной робототехнике, а также при управлении транспортно-накопительными устройствами, автоматизированными складами, загрузочными и другими вспомогательными механизмами гибких производственных систем.

Сравнивая станки с числовым и цикловым программным управлением, следует отметить, что первые имеют широкие технологические возможности, а вторые целесообразно применять при обработке партий сравнительно простых деталей. При этом конструкция станков с цикловым программным управлением проще и стоимость их меньше.

Принципиальная схема системы циклового программного управления (ЦСПУ). Цикловая система управления состоит из следующих устройств (рис. 2.6): задания, ввода и вывода программы, управления, исполнительного устройства, контроля окончания отработки этапа программы.

Принцип работы ЦСПУ заключается в следующем. Устройство задания и ввода программы (программатор) снабжает систему программного управления информацией о цикле. Оно состоит из блока задания программы (обычно штекерная панель, рис. 2.7) и блока поэтапного ввода программы (обычно шаговый искатель или релейная счетная схема).



- I* — устройства задания, ввода и вывода программы;
II — устройство управления, *III* — исполнительное устройство;
IV — устройство контроля окончания отработки этапа программы;
 1 — блок задания программы; 2 — блок поэтапного ввода программы;
 3 — блок управления циклом работы станка; 4 — блок преобразования сигналов контроля; 5 — исполнительные элементы;
 6 — рабочие органы станка

Рисунок 2.6 — Упрощенная структурная схема цикловой системы управления

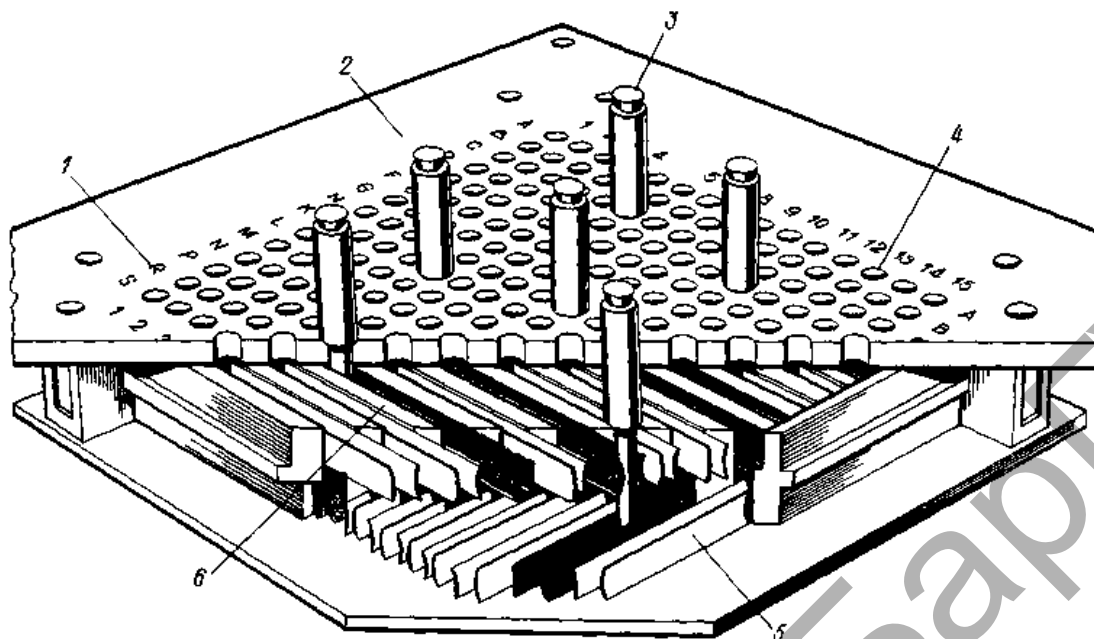


Рисунок 2.7 — Штекерная двухслойная панель

Управление исполнительными элементами, перемещающими рабочие органы станка, обеспечивает устройство управления.

В штекерных панелях информация вводится путем установки в соответствующие гнезда специальных элементов — штекеров. На лицевой части 2 указаны адреса 1 и номера строк.

Штекеры 3 устанавливаются в соответствующие гнезда 4 панели и замыкают верхние 6 и нижние 5 шины, определяя конкретную схему включения исполнительных реле. Таким образом, каждой строке соответствует определенный набор исполнительных команд, которые задаются установкой штекеров. В процессе обработки заданной программы последовательно считываются строки. В некоторых конструкциях панелей предусмотрено использование специальных штекеров со встроенными диодами.

Вместо штекерной панели может применяться дисковый декадный переключатель или панель с секторными переключателями.

Схему устройства управления довольно часто выполняют на электромагнитных реле. Исполнительное устройство обеспечивает обработку заданных программой команд и состоит из исполнительных элементов и рабочих органов станка. Устройство контроля окончания отработки этапа программы контролирует окончание предыдущего этапа программы и подает команду на переключение на следующий этап. Окончание отработки этапа программы может контролироваться путевыми переключателями, реле времени, реле давления и т. п.

Размерная информация в системах ЦПУ задается упорами на линейках, закрепленных, например, на продольном и поперечном суппортах. При перемещении линеек упоры воздействуют на конечные выключатели, выдающие сигнал об окончании отработки каждого этапа.

Упоры задают в этих системах только конечные точки пути, а все промежуточные положения траектории движения образуются копированием направляющих рабочих органов станка.

В настоящее время системы ЦПУ строятся на базе микропроцессорных устройств программно-логического управления, которые получили название **программируемых командоаппаратов** (ПК, *PLC*), или контроллеров. Программируемый контроллер — это специализированное микропроцессорное устройство управления, выполняющее заданные логические, а также арифметические и временные (таймерные) операции, которые необходимы для реализации функций ЦПУ. Они являются бесконтактными устройствами логического управления, основанными на использовании интегральных схем. Главная составная часть программируемого контроллера — центральный процессор, который осуществляет в основном логические операции. Постоянное запоминающее устройство хранит программу, вводимую с помощью клавиатуры. На клавишах нанесены обозначения логических элементов или даже контактов принципиальной электросхемы, которую хотят воссоздать в бесконтактной форме. Набранную программу можно записать на магнитный носитель, как и многие другие программы.

Отсчет времени, контроль числа изготовленных деталей, другие операции выполняют вспомогательные устройства. Возможно подключение к ПК монитора для контроля за состоянием оборудования, затратами основного и вспомогательного времени и другими данными. В подключенный к локальной сети контроллер можно передавать необходимые дополнительные данные для обработки или тестирования неполадок в оборудовании. Таким образом, при помощи ПК можно реализовать функции программируемой автоматики.

С другой стороны, оснащение ПК дополнительными блоками числового программного управления (например, интерполяторами) дает возможность построения на их базе систем ЧПУ. Широкое применение ПК находят в системах управления ГПС, построенных по структуре локальной вычислительной сети.

Основное отличие ПК от заменяемых ими электрических устройств управления обычного типа — построение не по схемному, а по программному принципу. Соответственно этому для автоматизации различных циклов не требуется индивидуальное комплектование аппаратурой и монтаж соединений, необходимо лишь выбрать одно из стандартных исполнений ПК (требуемый набор блоков) по количественным параметрам

Помимо указанных модулей в комплект ПК для расширения его функций могут также входить периферийные устройства программирования, содержащие дисплей; устройства записи и считывания; тестовые устройства и др.

Запоминающее устройство, в которое вводится управляющая программа, может быть гибким или оперативным (ОЗУ), с относительно простым изменением его информационного содержания, либо постоянным (ПЗУ) с относительно жесткой памятью. При использовании ОЗУ можно легко менять программу цикла, с помощью дополнительного оборудования, главными элементами которого являются пульт программирования (клавишный) и экран дисплея для наблюдения за создаваемой при программировании схемой. Схема на экране индицируется чаще всего в общепринятых релейно-контактных символах; исходным документом для программирования также служит обычная релейная схема либо эквивалентные ей формулы цепей в символах алгебры, логики. Кроме указанных возможностей, заполнение ОЗУ программной информацией может производиться через устройство ввода или от ЭВМ.

В случае использования ПЗУ стоимость комплекта ниже, однако, изменение программы может быть выполнено только на заводе-изготовителе ПК.

Наиболее характерно поочередное использование ОЗУ и ПЗУ на разных этапах: на этапе отладки — структура с ОЗУ при временном исключении ПЗУ, на этапе эксплуатации — ПЗУ.

Последние модели ПК, как правило, выполняют на базе микропроцессоров, которые используются в качестве центрального процессора, а для построения запоминающих устройств применяют большие интегральные схемы (БИС) из микропроцессорного набора.

Системы управления кулачками. Кулачковый механизм был известен еще греческим инженерам древности, например, Герону, но он использовался в античном мире лишь для так называемых «механических забав». Только в средние века этот механизм стал приносить пользу в машинах (см. рис. 4, ч. 2). Кулачковые системы с распределительным валом являются самыми надежными из систем механического типа. Кулачковые механизмы используют в кинематических цепях прямолинейного движения самых разнообразных по назначению металлорежущих автоматов и полуавтоматов: токарных, токарно-револьверных, затыловочных, сверлильных, фрезерных, зуборезных и др., но особенно широко в станках первых двух типов.

Различают кулачковые механизмы с плоскими и цилиндрическими кулачками. При вращении фигурного плоского кулачка 1 (рис. 2.9, а) через ролик 2, рычажную передачу 3 и зубчатый сектор 4 движение передается рейке 5, которая совершает возвратно-поступательное движение в соответствии с профилем кулачка.

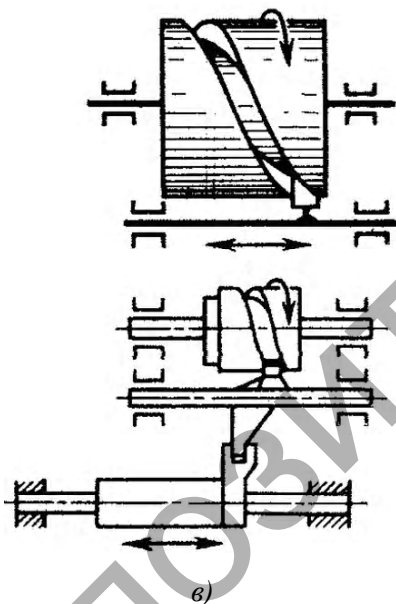
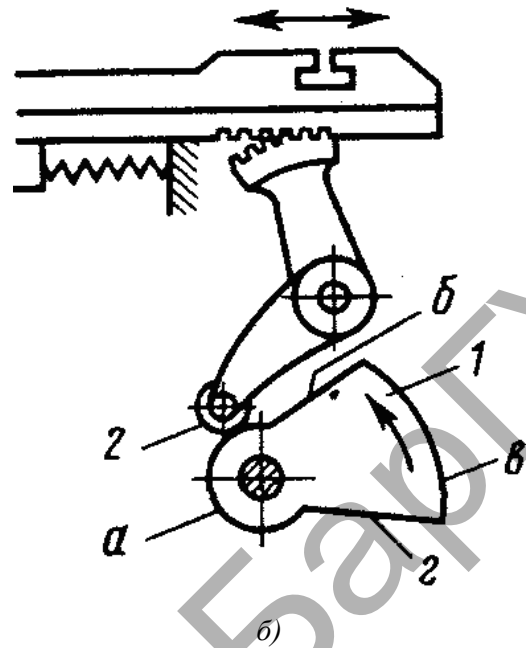
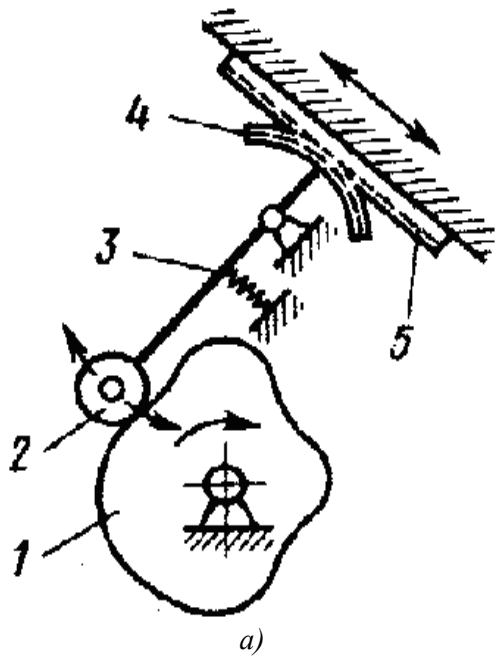


Рисунок 2.9 — Схема работы плоских и цилиндрических кулачков

применяют в прутковых токарных автоматах как для выполнения рабочих движений инструмента, так и для подвода и зажима прутков.

Каждый кулачок, будь то плоский или цилиндрический, по отдельности выполняет простейшее действие, но кулачки, собранные вместе на распределительный вал, обеспечивают сложное взаимодействие различных узлов автоматических и полуавтоматических станков и автоматических линий.

Как на дисковом, так и на цилиндрическом кулачках имеются участки, которые из исходного положения (участок *a* на рисунке 2.9, *б*) обеспечивают быстрый подвод инструмента (участок *б*), рабочую подачу и остановку суппорта для зачистки обработанной поверхности (участок *в*), быстрый отвод (участок *г*) и выстой инструмента в исходном положении (участок *a*). Движение от кулачка к исполнительному органу передается системой рычагов, изменением длины плеч которых можно изменить длину и скорость хода исполнительного органа.

Цилиндрические кулачки барабанного типа (рис. 2.9, *в*) широко

Особенности применения дисковых и цилиндрических кулачков.

Если с помощью упоров можно изменять количественные характеристики движения (частота вращения и подача), то с помощью кулачков изменяют качественные (траектория). Кулачковые системы являются простейшими по схеме автоматики контурными системами (со сложным движением) незамкнутого типа (без информации о фактическом положении исполнительных устройств). Характерная особенность кулачковой передачи — простота осуществления с ее помощью требуемого закона движения ведомого элемента. Профилируя контур кулачка по соответствующему закону, можно реализовать сложные циклы движений. Другое достоинство передачи — плавность движения ведомого элемента при условии правильного профилирования контура кулачка. Размеры кулачков ограничиваются габаритами станка, а величина хода рабочего органа не превышает 120...200 мм для плоских кулачков и до 300 мм — для барабанного типа.

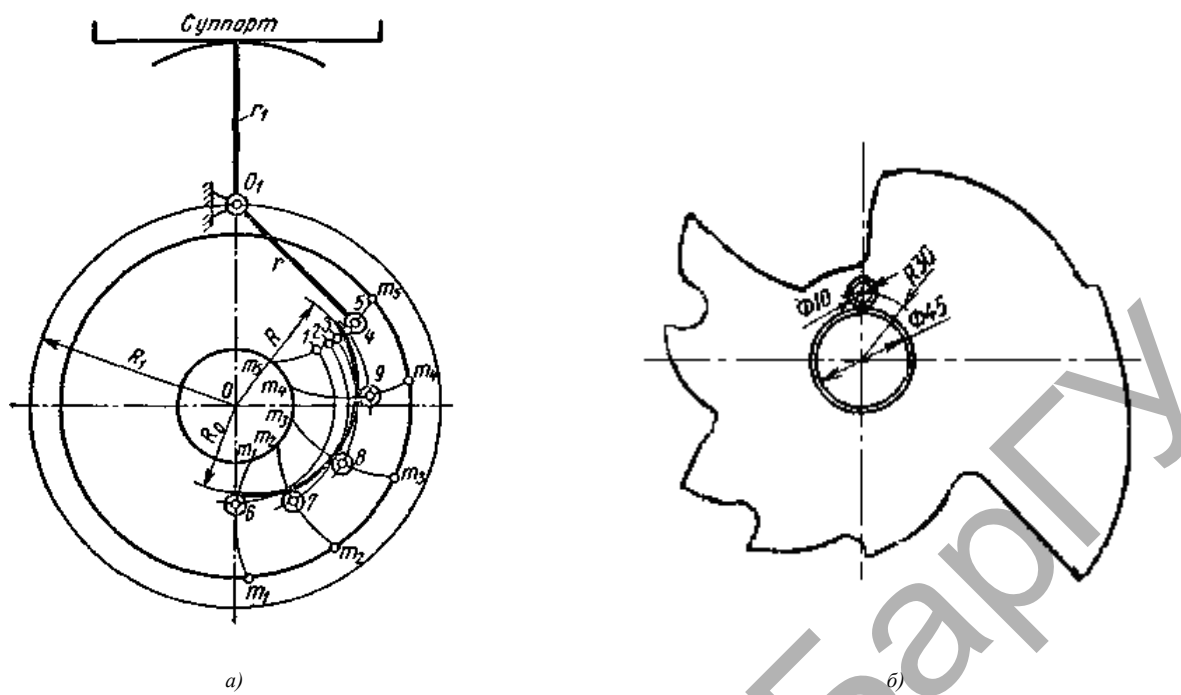
Профилирование кулачков. Расчет и проектирование дисковых кулачков заключается в построении их профиля. Для этого, прежде всего, необходимо распределить функции между отдельными участками кулачка по выполнению рабочих и вспомогательных движений и установить размеры, определяющие положение кривых профиля в плоскости кулачка.

Для каждого автомата и его суппортов существуют определенные диски-заготовки, которые характеризуются следующими размерами: максимальным и минимальным диаметрами диска, в пределах которых может располагаться профиль кулачка; диаметром посадочного (на распределительный вал) отверстия кулачка; диаметром отверстия для фиксирования кулачка на распределительном валу в определенном положении.

Диск-заготовка разбивается на 100 равных участков-секторов, в связи с чем угол поворота кулачка во время работы оценивается количеством сотых частей (делений), на которые он поворачивается.

Требованию *равномерности подачи* отвечает профиль участков рабочих ходов кулачка, очерченный по спирали Архимеда. Для построения профиля кулачка необходимо знать величины начального и конечного радиус-векторов, разность которых равна величине хода суппорта, умноженному на передаточное отношение кинематической цепи между кулачком и тем резцом, который этот кулачок перемещает. Второй параметр — *величина угла*, на который должен повернуться кулачок за время выполнения данного рабочего хода, выраженная через деления кулачка, между которыми располагается данный участок профиля.

Построение схемы рабочего профиля дискового кулачка (рис. 2.10) осуществляется при воздействии его на ролик рычага, центр которого описывает дугу окружности вокруг точки O_1 качания рычага. Поэтому способ построения рабочего профиля участка состоит в следующем. Допустим, что рабочий участок располагается между m_1 и m_5 делениями



a — общий вид кулачка револьверной головки; *б* — кулачок одношпиндельного токарного автомата

Рисунок 2.10 — Схема построения рабочего участка профиля дискового кулачка

Репозиторий БарГУ

кулачка, а величина радиус-векторов — в начале R_0 и в конце R . Через точки m_1 и m_5 радиусом, равным r (радиус качания рычага), проводим дуги окружностей m_1m_1 и m_5m_5 , центры которых лежат на окружности радиуса R_1 . Из центра кулачка O засекаем величины R_0 и R до пересечения с дугами m_1m_1 и m_5m_5 ; откладывая на них величину радиуса ролика, получим точки 5 и 6, которые представляют собой положение центра ролика рычага в начале и в конце рабочего участка.

Дугу m_1m_5 делим на произвольное число равных частей (для простоты разделим ее на четыре части) и из центров, лежащих на окружности радиуса R_1 радиусом r проведем дуги m_2m_2 , m_3m_3 и m_4m_4 . Далее, из точки O радиусом $O — 6$ описываем окружность до пересечения с дугой m_5m_5 в точке 1. Отрезок дуги m_5m_5 , равный $1—5$, делим на то же количество равных частей (в данном случае на четыре части), в результате чего получим точки 2, 3 и 4. Затем, из центра O проводим окружность радиусом $O — 4$ до пересечения с дугой m_4m_4 в точке 9 и радиусом $O — 3$ — до пересечения с дугой m_3m_3 в точке 8 и т. д.

Точки 7, 8 и 9 представляют собой промежуточные положения центра ролика. Описывая из них окружности радиусом, равным радиусу ролика, и проводя плавную линию, касательную к этим окружностям, получим искомый профиль участка рабочей подачи. Для упрощения вычерчивания кривую профиля можно заменить двумя отрезками дуг окружностей. Обычно при профилировании кулачков рычаг с зубчатым сектором и суппортом не вычерчивают. Здесь они приведены для большей наглядности.

Существует другой способ построения профиля кулачка, более простой и удобный, но менее точный.

Построение участка профиля кулачка для нарезания резьбы имеет некоторую особенность. Для того чтобы плашка не срывала резьбу, при нарезании последней суппорт должен несколько отставать от инструмента, а при свинчивании — опережать его. Плашко-держатель имеет для этой цели компенсирующую пружину.

Три структуры систем управления с распределительным валом: с постоянной скоростью вращения вала; с двумя скоростями вращения вала; с двумя управляющими валами. При наличии в станке некоторого количества плоских и цилиндрических кулачков возникает необходимость согласовать их работу. Наиболее простым и надежным оказался вариант их установки на один вал, который в сборе с кулачками будет называться *распределительным валом*, по характеру работы которого станки делят на три группы, или, как еще говорят, три структуры. Автоматическое управление полным циклом обработки детали с помощью распределительного (кулачкового) вала на автоматах и полуавтоматах обычно выполняется за один оборот вала.

Первая группа — автоматы, имеющие один распределительный вал, вращающийся с постоянной для данной настройки частотой. Вал управляет как рабочими, так и вспомогательными движениями. Для автоматов этой группы характерна большая потеря времени при вспомогательных движениях, так как эти движения (быстрый отвод и подвод суппорта и т. п.) выполняются при той же (медленной) частоте вращения распределительного вала, что и рабочие операции. Однако в автоматах малых размеров с небольшим количеством холостых движений применение такой схемы целесообразно вследствие ее простоты.

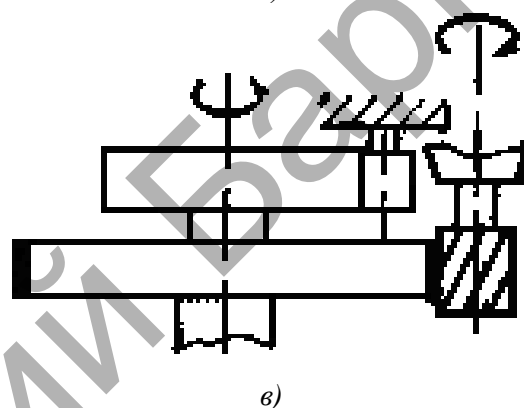
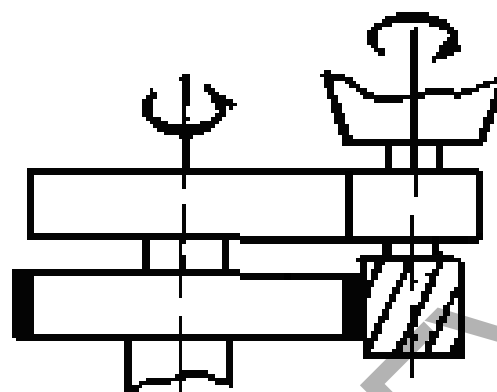
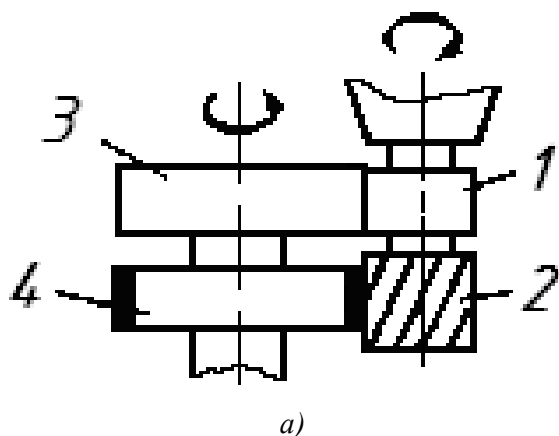
Вторая группа — станки с одним распределительным валом, которому в течение цикла обработки сообщаются две частоты вращения: малая при рабочих и большая при холостых ходах. Для сообщения ему повышенной скорости при холостых ходах командоаппарат, установленный на данном валу, включает дополнительный электродвигатель, который поворачивает распределительный вал некоторую часть цикла с большей скоростью. Такая схема обычно применяется в многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах.

Третья группа — оборудование, имеющее, кроме основного распределительного вала, еще и быстроходный вспомогательный вал, обеспечивающий холостые движения. Команды на выполнение холостых движений подаются распределительным валом с помощью закрепленных на нем специальных барабанов с упорами.

Копировальные системы управления станка включают: программоноситель (копир), считывающее устройство (щуп), перемещающийся относительно копира, передаточно-преобразующее устройство и исполнительные двигатели (гидромотор, электродвигатель, пневмоцилиндр, гидроцилиндр и т. д.), а также устройства обратной связи. Копировальные системы управления бывают: прямого (механические) и непрямого (гидравлические, электрические, электрогидравлические) копирования.

Благодаря относительно быстрой смене программоносителя копировальные системы управления применяются в серийном и массовом производстве. Их недостатком является высокая стоимость копиров. Но она имеет тенденцию к снижению. Если раньше рабочий профиль копира изготавливался по традиционной технологии обработки: слесарная, фрезерная, шлифовальная и опять слесарная операция, то он и стоил дорого. Сейчас профиль вырезается на электроэрозионном станке с ЧПУ и первые три операции отпадают. Точность профиля гарантируется. Готовый копир можно получить через два — три часа, а не дня.

Копировальные система управления прямого действия (рис. 2.11) позволяют выполнять простые фасонные профили, но из-за больших сил



1 — шуп; 2 — фреза; 3 — копир;
4 — заготовка

Рисунок 2.11 — Схемы прямого копирования

трения между копиром 3 и шупом 1 и быстрого износа профиля копира такие системы имеют ограниченное применение в металлообработке, хотя при обработке мягких материалов с малыми силами резания, применяются часто (деревообработка). Этому недостатка лишены системы управления непрямого действия, или системы управления со следящим приводом (рис. 2.12).

С использованием гидравлических или электрических усилителей силы 6 взаимодействия между шупом 11 и копиром 12 не зависит от режимов резания, а только от жесткости той пружины, которой шуп прижимается к копиру. Увеличивается долговечность копира, точность обработки, сложность получаемых профилей 2. Есть станки, у которых вообще отсутствует контакт между шупом и копиром (фотокопировальные). Непрямое копирование может осуществляться разными способами. Наиболее простой вариант, когда каретке копировального суппорта сообщается задающая подача вдоль одной оси от гидроцилиндра, а инструмент 3 (резец, фреза), установленный на суппорте, перемещается поперек этой оси в зависимости от профиля копира. При обработке тел вращения на токарных станках этого достаточно, а при фрезерной обработке шуп смещается по третьей координате на величину шага и процесс копирования повторяется.

В зависимости от типов датчика и привода подач различают гидравлические, электрические, электрогидравлические, пневмоэлектрические и другие следящие системы.

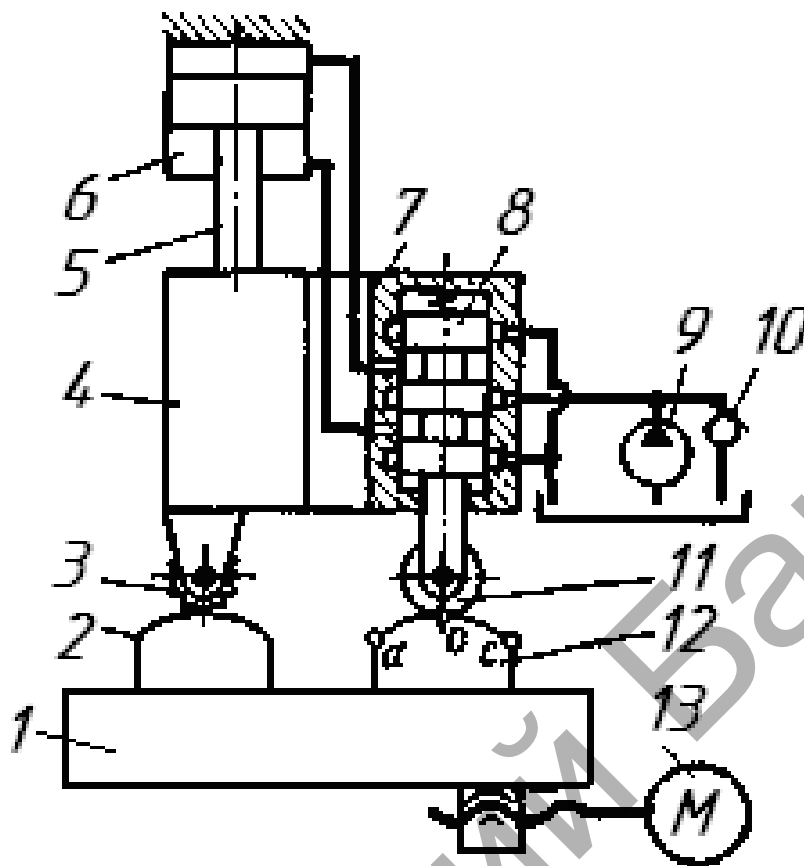


Рисунок 2.12 — Гидравлическая схема следящего привода

2.3 Числовое программное управление станками

Способ задания программы управления в цифровом виде. Подготовленная технологом программа по обработке детали, т. е. исходная информация, записывается на программноноситель (часто на перфоленту) по определенной форме и состоит из набора кадров, каждый из которых содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного участка детали, чаще всего между двумя соседними опорными точками. Кадры состоят из слов — информации, определяющей программу работы отдельных исполнительных органов: перемещения по координатам X , Y , Z , скорость подачи, работу механизмов смены инструмента и др. Каждое из слов записывается обычно на нескольких поперечных строчках перфоленты.

Различают два способа записи управляющей информации на перфолентах: с *постоянной* и *переменной* длиной кадра.

При записи программы кадрами постоянной длины считывание информации получается наиболее простым, так как заранее известна часть

кадра, где фиксируется та или иная информация. Недостатки — большой расход перфоленты и более высокая трудоемкость программирования. Информацию на перфоленте с постоянной длиной кадра обычно записывают при помощи двухпозиционного кода (двоичной системы счисления).

В настоящее время наиболее применима в системах ЧПУ запись на жесткий диск индивидуальной ЭВМ станка или компьютера, управляющего группой станков, непосредственный набор на клавиатуре блока управления станка, а перенос информации осуществляется с помощью компактных флэш-карт. Запись информации выполняется при использовании алфавитно-цифровых кодов.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является основным для всех современных отечественных станков с ЧПУ. Код предназначен для записи информации на восьмидорожечной перфоленте и позволяет кодировать 128 символов.

Помехозащищенность в коде ИСО-7 бит осуществляется построчным контролем на четность, которая обеспечивается введением отверстия на восьмой дорожке, если на семи предыдущих число отверстий нечетное.

Задание программы на дискетах, компакт-дисках, флэш-картах в десятки раз дешевле и удобнее, чем на не очень надежную в эксплуатации, малоемкую одноразовую бумажную ленту. Кроме того, не нужен специальный электромеханический блок-перфоратор и соответствующее приемное устройство для перфоленты. Можно обойтись стандартными, вмещающими много информации средствами.

Обобщенная структурная схема устройства числового программного управления (УЧПУ) приведена на рисунке 2.13. В принципе само устройство является как бы составляющей частью комплекса «станок с ЧПУ», куда еще входят управляющая программа и собственно станок. Устройством ЧПУ информация в соответствии с управляющей программой транслируется и используется в вычислительном цикле, в результате чего формируются реальные команды на обработку.

В целом УЧПУ включает в себя довольно широкий круг *составляющих*:

- устройство ввода и хранения системного программного обеспечения;
- устройство ввода и хранения управляющей программы;
- интерпретатор кадров;
- интерполятор положения управляемых объектов;
- устройство управления приводом главного движения;
- устройство логического управления приводом, скоростью и т. п.;
- устройство коррекции работы в связи с изменением размеров инструментов;
- устройство смены инструментов;
- устройство коррекции погрешностей оборудования и измерительных устройств;

- устройство адаптивного управления обработкой;
- устройство для накопления статистической информации;
- устройство автоматического контроля обработки;
- устройство каких-то еще функций, которые появятся в будущем.

На рисунке 2.13 большинство структурных элементов отдельно не показано. Они входят в другие более крупные устройства. Управляющая программа считывается в устройстве ввода 1, т. е. преобразуется в электрические сигналы, которые направляются в блок обработки программы 2, который, в свою очередь, через устройство управления привода 3 воздействует на привод подачи 4. Величина перемещения узла (суппорта) контролируется датчиком 5, который включен в цепь обратной связи. Информация с датчика проходит через устройство обратной связи 6, где происходит сравнение фактического перемещения с заданным по программе.

Необходимые коррективы вносятся в последующее движение суппорта. Дополнительные функции (включение привода других узлов, выключение привода других узлов и т. п.) выполняются исполнительными органами этих узлов 8 при получении команды от устройства технологических программ 7, которые получены из устройства ввода 1. На схеме показана работа УЧПУ с замкнутой структурой управления, т. е. когда обратная связь идет по одной координате. В случае выполнения УЧПУ

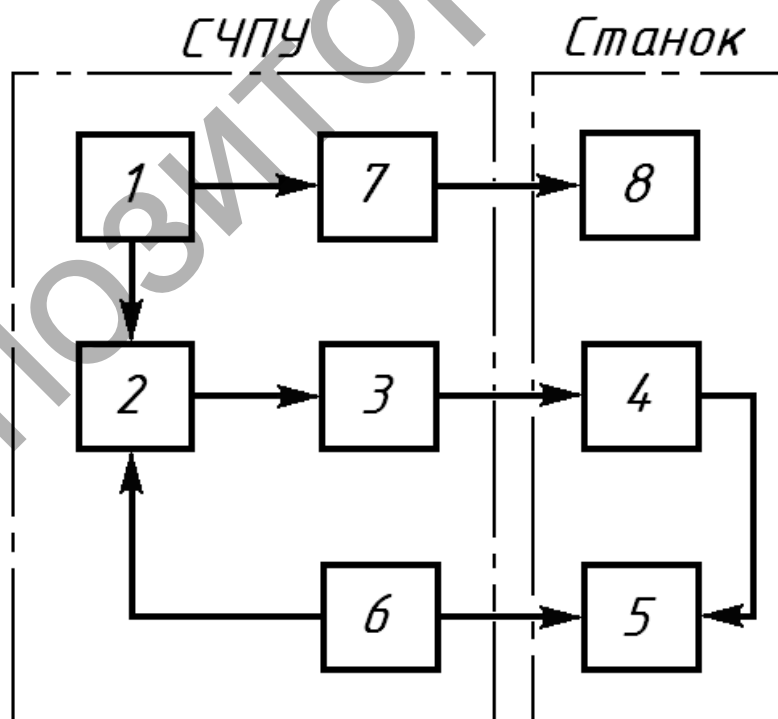


Рисунок 2.13 — Общая структурная схема УЧПУ

разомкнутого типа датчик 5 и устройство обратной связи 6 отсутствуют, что, конечно, снижает точность обработки, но удешевляет оборудование.

Система числового программного управления (СЧПУ). Числовым программным управлением металлорежущим станком называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные представлены в цифровой форме.

Под СЧПУ понимают совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станком (см. рис. 2.13).

Основой СЧПУ является УЧПУ, связанное с ним конструктивным единством и выдающее управляющие воздействия в реальном масштабе машинного времени станка на его исполнительные органы в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта.

Математическое обеспечение системы числового программного управления станками является основой программного управления. Для разработки программ нужны исходные данные о геометрии деталей и заготовок, технологических параметрах, параметрах станков и СЧПУ.

Программное управление станками может быть индивидуальным или групповым, а его система — самоприспосабливающейся и интегрированной (управление группой станков и вспомогательным технологическим оборудованием от общей вычислительной системы). Весьма важным параметром системы ЧПУ является ее чувствительность, т. е. наименьшее корректируемое смещение рабочего органа станка.

Принципиальное отличие СЧПУ от аналогового программного управления заключается в способе расчета и задания управляющей программы и ее передачи для управления рабочими органами станка.

В обычных системах ПУ управляющая программа воплощается в физические аналоги (кулачки, копиры, упоры, кондукторные плиты и другие средства, которые являются программносителями), приобретая два неустранимых недостатка. Первый состоит в том, что информация чертежа детали из цифровой (дискретной) превращается в аналоговую (в виде кривых кулачка, копира), что вызывает погрешности, вносимые при изготовлении и при изнашивании этих программносителей. Вторым недостатком — необходимость изготовления программносителей с последующей трудоемкой наладкой на станке, с большими затратами средств и времени, что делает неэффективным применение обычных систем ПУ для автоматизации серийного, и особенно мелкосерийного, производства.

В СЧПУ имеет место только информация в цифровой (дискретной) форме, а УЧПУ преобразует эту информацию в управляющие команды для исполнительных механизмов станка и контролирует их выполнение. Поэтому в станках с ЧПУ стало возможным получать сложные движения

его рабочих органов не за счет кинематических связей, что упростило станок: длинные кинематические цепи уступили место коротким, качественно новой стала возможность увеличения числа одновременно управляемых координат, появились новые компоновки станков с широкими технологическими возможностями при автоматическом управлении, создались предпосылки для комплексной автоматизации на основе данных станков и централизованного управления от ЭВМ.

Подготовка управляющей программы (программирование) для СЧПУ означает подготовку, расчет и введение в память УЧПУ команд, которые необходимы для управления обработкой заготовки и которые СЧПУ может автоматически считывать и выполнять.

СЧПУ в своем развитии уже прошли несколько *этапов*, определяемых уровнем развития электронной техники:

- релейно-контакторную и транзисторную базы;
- микросхемы малой и средней степени интеграции;
- мини-ЭВМ и микропроцессорные наборы;
- большие интегральные схемы памяти.

По структуре построения различают устройства ЧПУ двух видов: 1) аппаратные (типа *NC* — Numerical Control); 2) программируемые (типа *CNC* — Computer Numerical Control).

Аппаратным УЧПУ называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Изменять структуру этих устройств ЧПУ можно только путем перепайки схем. Укрупненная структурная схема такой СЧПУ показана на рисунке 2.14.

Программируемым УЧПУ называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления этого устройства. Принципиальным отличием программируемых УЧПУ от аппаратных является их структура, соответствующая структуре управляющей ЭВМ и включающая вычислительное устройство (процессор), блоки памяти и ввода-вывода информации (рис. 2.15). Объем функций, характер и последовательность проводимых операций определяются не специальными схемами соединения элементов УЧПУ, а программами функционирования, которые вводятся в блок памяти устройства и там хранятся постоянно или до замены.

Основные *достоинства* микропроцессорной техники, обуславливающие возрастающую степень их применения для управления металлорежущими станками и автоматическими линиями, следующие:

- низкая и постоянно снижающаяся стоимость;
- гибкость, т. е. возможность изменения функций микропроцессора путем изменения программы;

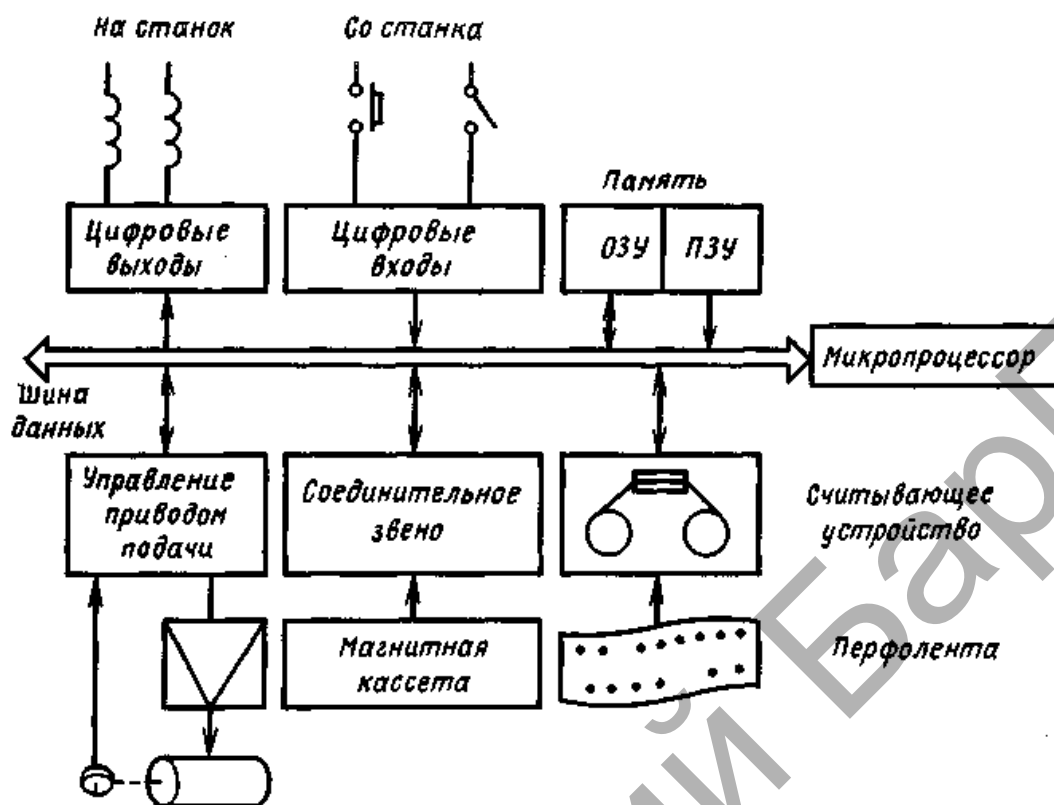


Рисунок 2.15 — Увеличенная структурная схема программируемого устройства ЧПУ (типа CNC)

- надежность (в современных микропроцессорах время наработки на отказ достигает десятка тысяч часов);
- малые размеры и масса;
- быстро возрастающие вычислительные возможности (объем памяти, скорость вычислений);
- малое время разработки СЧПУ, построенных на основе микроЭВМ.

В целом СЧПУ классифицируются:

- по структуре (числу потоков информации): незамкнутые, замкнутые, самоприспосабливающиеся (адаптивные);
- по назначению: на системы позиционные и прямоугольные, контурные (непрерывные), универсальные (комбинированные);
- по типу программносителя и принципу задания программ — на системы с заданием декодированной программы на магнитном носителе и заданием кодированной программы на перфокарте (в абсолютных координатах или в приращениях);
- по типу привода: на системы со ступенчатым приводом (только для позиционирования и прямоугольной обработки) и со следящим и шаговым приводами;

- по числу одновременно управляемых координат: на системы с одной, двумя, тремя, четырьмя и более координатами.

Система подготовки программ для управления станками — часть СЧПУ станками, осуществляющая подготовку программы, передаваемой для реализации устройству числового программного управления станками. С целью ускорения этой работы используют автоматизированные системы подготовки программ для управления.

Разновидности систем ЧПУ в зависимости от уровня технических возможностей: NC, SNC, CNC, DNC. Различают следующие виды программного управления:

- *NC* (Numerical control) — числовое программное управление обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде;
- *HNC* (Hand NC) — разновидность устройства ЧПУ с ручным заданием программы с пульта устройства (на клавишах, переключателях и т. п.);
- *SNC* (Speicher NC, Memory NC) — разновидность, устройства ЧПУ, имеющая память для хранения всей управляющей программы;
- *CNC* (Computer numerical control) — автономное управление станком с ЧПУ, содержащее ЭВМ или процессор;
- *DNC* (Direct numerical control) — управление группой станков от общей ЭВМ, осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления станков, на которых могут быть установлены устройства типов *NC*, *SNC*, *CNC*.

Характеристика систем различных классов, их возможности. Современные модели УЧПУ оцениваются рядом характеристик, определяющих наличие у системы тех или иных эксплуатационных, функциональных и сервисных возможностей. Среди основных можно назвать следующие характеристики УЧПУ как устройства управления станками:

- 1) число программируемых координат; тип системы;
- 2) число одновременно управляемых координат;
- 3) дискретность задания координат, мм;
- 4) линейная интерполяция (на плоскости);
- 5) круговая интерполяция (на плоскости);
- 6) объемная линейная интерполяция;
- 7) винтовая интерполяция;
- 8) смещение начала (нуля) отсчета (программируемое);
- 9) зеркальная обработка программы;
- 10) обработка программы в масштабах;
- 11) коррекция размеров инструмента и элементов станка;
- 12) индикация положения;
- 13) индикация функций;
- 14) дисплей, индикация кадра (кадров) ;
- 15) возможность управления от ЭВМ;

- 16) способ задания размеров — абсолютный;
- 17) способ задания размеров — в приращениях;
- 18) наличие смещения нуля с пульта системы;
- 19) наличие постоянных циклов;
- 20) наличие системы редактирования УП;
- 21) наличие выхода на внешний носитель;
- 22) способ задания перемещений функциями (параметры) ;
- 23) ручной ввод программ;
- 24) ввод программы от перфоленты, магнитной ленты, магнитного диска;
- 25) максимальная скорость привода (быстрота перемещения), мм/мин;
- 26) предельная скорость рабочей подачи, мм/мин;
- 27) данные технологической памяти микроЭВМ;
- 28) системы диагностики и самодиагностики;
- 29) расширение функции языка программирования;
- 30) наличие диалогового режима;
- 31) возможности адекватного управления;
- 32) вариантность и блочность построения системы;
- 33) тип управляемого привода;
- 34) защитные функции;
- 35) вводы-выводы (интерфейс и др.) ;
- 36) габаритные размеры, масса;
- 37) конструктивные особенности;
- 38) эргономическое решение.

Функциональные особенности моделей УЧПУ различают по поколениям в зависимости от использованной элементной базы.

Устройства *первого поколения* выполнялись на реле и элементах с низкими частотными параметрами. Они характеризуются ограниченными функциональными возможностями. К этой группе относятся УЧПУ типов «Координата Р-68», «Контур 4МИ», «Контур 2П», «Контур 3П», «Контур 2ПТ-71», «Контур 2ПТ-71/3».

Устройства *второго поколения* выполнялись на электронных элементах с более высокими частотными характеристиками и обладают сравнительно широкими функциональными возможностями. К этой группе УЧПУ относятся «Координата С-70», «Координата С-70/3», П32-3, П32-3А, П32-3В, агрегатированные устройства Н33-1, Н33-2, У33-1, У22-1 и ЭМ-907А.

Устройства *третьего поколения* выполнены на базе интегральных элементов, они характеризуются широкими функциональными возможностями, часть которых приспособлена для решения специальных задач. Некоторые из этих устройств по настоящее время используются на предприятиях. Устройства Н22-1М, Н33-1М, Н33-2М, Н55-1, Н55-2 являются первыми устройствами контурного и комбинированного управления третьего поколения, они построены на интегральных схемах ИМС-155 и

предназначены для токарных и фрезерных станков с автоматической сменной инструментом.

Современные УЧПУ относятся к *четвертому* и *пятому* поколениям. Их выполняют по агрегатно-блочному принципу и оснащают различными дополнительными узлами. В связи с большим расширением технологических возможностей УЧПУ в настоящее время практически стерлась грань между контурными и позиционными видами ЧПУ и произошел переход к универсальным (контурно-позиционным) устройствам. Увеличилось число управляемых координат станка, причем взаимосвязь их в работе может быть одновременной и последовательной в любых комбинациях. Большинство современных контурных и универсальных УЧПУ позволяют осуществлять линейно-круговую интерполяцию при двухкоординатной обработке в любой плоскости и линейную — при большем числе координат.

Общая тенденция современных УЧПУ — повышение скорости переработки в них информации, вследствие чего уменьшается дискретность систем при одновременном увеличении скоростей рабочих подач и холостых перемещений. В новых УЧПУ обеспечена возможность ввода информации в абсолютных координатах и в приращениях.

Практически в состав всех вновь создаваемых УЧПУ входит микро-ЭВМ, что и определяет их высокий класс.

К современным отечественным системам класса *CNC* (или близким к этому классу) относятся УЧПУ 2У22, 2Р22, 2У32-61, 2С42, 2М42, 2М43-22, 2С85, 2Р32, 2Р32М, 2С85-63, ИЦО-П, «Электроника НЦ80-31».

Станки, оснащенные УЧПУ классов *NC* и *SNC*, в настоящее время еще достаточно распространены. Они являются наиболее простыми системами управления с ограниченным числом информационных каналов. В системах класса *NC* принято покадровое чтение перфоленты на протяжении цикла обработки каждой заготовки. Они работают в следующем режиме: после включения станка и УЧПУ читаются первый и второй кадры программы. Как только заканчивается их чтение, станок начинает выполнять команды первого кадра. В это время информация второго кадра программы находится в запоминающем устройстве УЧПУ. После выполнения первого кадра станок начинает обрабатывать второй кадр, который для этого выводится из запоминающего устройства. В процессе отработки станком второго кадра система читает третий кадр программы, который вводится в освободившееся от информации второго кадра запоминающее устройство, и т. д.

Основным недостатком рассмотренного режима работы является то, что для обработки каждой следующей заготовки из партии системе ЧПУ приходится вновь читать все кадры перфоленты. В процессе такого чтения нередко возникают сбои из-за недостаточно надежной работы считывающих устройств УЧПУ.

Особенность систем класса *CNC* заключается в возможности изменять и корректировать в период эксплуатации (а не только в период проектирования и изготовления системы) как управляющую программу обработки детали, так и программы функционирования самой системы в целях максимального учета особенностей данного станка.

Системы класса *CNC* позволяют достаточно просто выполнять в режиме диалога доработку и отладку программ и их редактирование, используя ручной ввод информации и вывод ее на дисплей (на переносной графопостроитель), а также получать отредактированную и отработанную программу на перфоленте, магнитном диске, пленке и т. п.

Системами класса *DNC* можно управлять непосредственно по проводам от центральной ЭВМ, минуя считывающее устройство станка. Однако наличие этой ЭВМ не означает, что необходимость в УЧПУ у станков полностью отпадает. В одном из наиболее распространенных вариантов систем *DNC* каждый вид оборудования на участке сохраняет свои УЧПУ классов *NC*, *SNC*, *CNC*. Нормальным для такого участка является режим работы с управлением от ЭВМ, но в условиях временного выхода из строя ЭВМ такой участок сохраняет работоспособность, поскольку каждый вид оборудования может работать от перфоленты, подготовленной заранее на случай аварийной ситуации.

В функции *DNC* входит управление и другим оборудованием автоматизированного участка, например, автоматизированным складом, транспортной системой и промышленными роботами, а также решение некоторых организационно-экономических задач планирования и диспетчирования работы участка.

Основные характеристики УЧПУ. В состав большинства отечественных и зарубежных устройств ЧПУ класса *CNC* входят микроЭВМ общепромышленного назначения. Все устройства имеют большой объем памяти. Тенденция к обеспечению свободы программирования проявляется в организации гибкого хранения программного обеспечения, для чего предусматривается значительная емкость памяти оперативного запоминающего устройства. Проблема энергозависимости памяти решается либо выбором элементной базы, либо использованием автономного питания (аккумуляторы, батареи и т. д.). Для всех систем характерна ориентация на многокоординатное управление и связь с объектом по большому числу двухпозиционных и аналоговых входов-выходов. Применяемые микроЭВМ оперируют в основном 16-разрядными словами. Однако в последнее время для устройств ЧПУ используются специализированные микроЭВМ повышенной разрядности (32 разряда и более), что позволяет использовать прямую адресацию, наиболее удобную при программировании.

Классификация ЧПУ по характеру движения рабочих органов. В зависимости от технологических задач управления обработкой ЧПУ станков бывают):

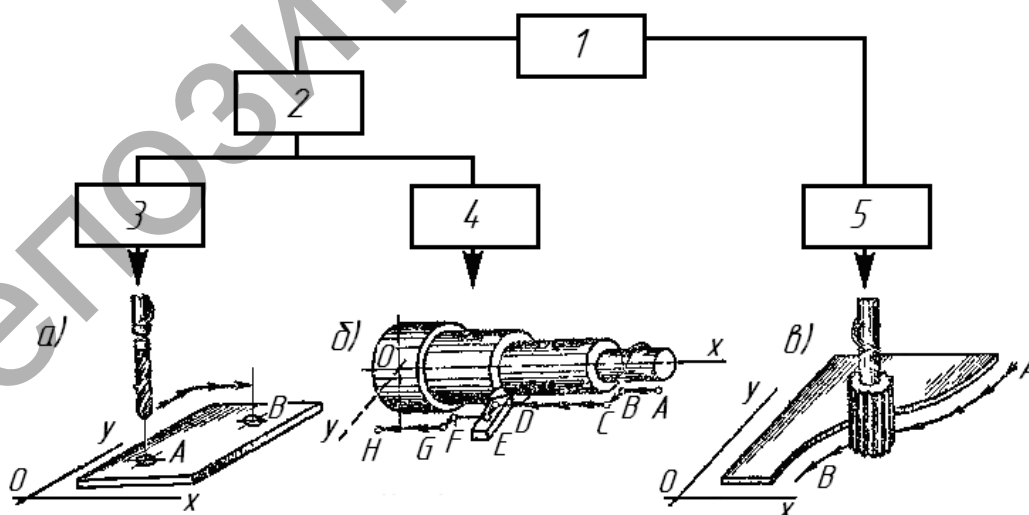
- *позиционными* (рис. 2.16, а), которые определяют не траекторию инструмента, а только исходную и конечную точки (сверлильные и расточные станки при обработке заготовок деталей типа плит, фланцев, крышек и т. д., в которых выполняют сверление, зенкерование, растачивание отверстий, нарезание резьбы и др.);

- *контурными* (рис. 2.16, б), применяемыми для получения сложных профилей (токарные, фрезерные, электроэрозионные станки, когда перемещение рабочих органов станка происходит по заданной траектории и с заданной скоростью);

- *комбинированными*, или универсальными (рис. 2.16, в), которые используют для обработки для обработки сложных профилей (контурно-позиционные станки, которые помнят о положении инструмента). Такая система ЧПУ хорошо подходит для обрабатывающих центров.

2.4 Технологические возможности и конструктивные особенности станков с ЧПУ

Автоматизацию механической обработки и сборки в различных отраслях машиностроения с индивидуальным и мелкосерийным характером производства осуществляют на основе растущего использования станков



1 — программное управление; 2 — позиционное ПУ; 3 — системы программного управления (СПУ) с программированием точек; 4 — СПУ с программированием отрезков прямых; 5 — СПУ контурное с программированием фасонных профилей деталей

Рисунок 2.16 — Классификация СПУ по технологическим условиям

и другого технологического оборудования с числовым программным управлением. Современные станки с ЧПУ отличаются от других видов автоматического и полуавтоматического станочного оборудования не тем, что они работают по заранее составленной программе, а тем, что программа для них составляется и передается принципиально другим путем. Они получили распространение в результате широкого развития систем программного управления и электронных цифровых вычислительных машин. Применение станков с ЧПУ — это качественно новый этап автоматизации механосборочного производства и машиностроения в целом.

Зарубежный и отечественный опыт эксплуатации станков с ЧПУ показал, что они обладают рядом серьезных преимуществ по сравнению с обычным оборудованием: обеспечивают высокую степень автоматизации и широкую универсальность выполняемой обработки, сокращают время перенастройки станка с одной операции на другую. Вхолостую время у станков с ЧПУ в основном тратится на смену программносителя и инструментальной оснастки, предварительно налаживаемой вне станка. Продолжительность технологической подготовки производства при переходе с одного объекта на другой значительно сокращается, так как отпадает необходимость конструирования и изготовления сложных приспособлений, копиров, кулачков и других специальных устройств. С появлением станков с ЧПУ технолог впервые получил возможность резко сократить путь от чертежа до готовой детали в процессе ее изготовления, а также установить преемственность между технологией опытного и серийного производства.

Производительность при переходе на станки с ЧПУ повышается в ряде случаев в 4—6 раз, а иногда до 10 раз и более. Этого достигают сокращением вспомогательного времени на холостые ходы, перестановки и измерения обрабатываемой заготовки, оптимизацией условий обработки, одновременным использованием в работе нескольких режущих инструментов, устранением разметки заготовки.

Не всегда, конечно, в мелкосерийном производстве надо применять станки с ЧПУ. Практика показала, что программное управление целесообразно если предстоят:

- многочисленные и сложные операции настройки;
- сложная и разнообразная обработка;
- при высококвалифицированной работе время обработки мало по сравнению с установочным;
 - обработка малыми партиями особенно сложных деталей;
 - сложная деталь, массовое производство которой может привести к субъективным ошибкам;
 - обработка деталей с жесткими допусками;
 - обработка деталей с индивидуальными отклонениями в партии;

- обработка деталей, подверженных частым изменениям;
- обработка деталей, требующих точной оснастки;
- стоимость оснастки высока по сравнению с деталью;
- мало времени на подготовку производства;
- сложно хранить инструмент;
- дорогостоящий контроль детали.

В последние годы наблюдается непрерывный рост выпуска станков с ЧПУ во всех промышленно развитых странах, как по количеству, так и по типу.

До середины шестидесятых годов станки с ЧПУ применялись в единичном и мелкосерийном производстве для изготовления точных и сложных деталей. В настоящее время область применения этих станков сильно расширилась. Числовое программное управление чаще всего выполняется по схеме *DNC* (управление группой станков от одной ЭВМ) и *CNC* (каждого станка в отдельности). Их нередко используют в серийном и поточно-массовом производстве, при групповой обработке и в автоматических линиях. Для обслуживания станков с ЧПУ при установке и снятии заготовок в последнее время начинают использовать промышленные роботы, организуя, таким образом, гибкие производственные модули (ГПМ). Их применяют как для обслуживания отдельных станков, так и для групп оборудования.

Основные параметры и характеристики станков с ЧПУ. Из основных характеристик станков с ЧПУ в первую очередь необходимо выделить геометрические и рабочие параметры, которые определяют технологические возможности станков.

Геометрические параметры станков характеризуют рабочее пространство, в котором инструмент оказывает технологическое воздействие на обрабатываемую деталь. Рабочее пространство станков, предназначенных для обработки тел вращения, определяется наибольшим диаметром заготовки и расстоянием между центрами, а станков для обработки призматических деталей — максимальными перемещениями инструмента или детали вдоль соответствующих координат.

Рабочие параметры станков характеризуют скорости движений их рабочих органов и мощность, реализуемую в процессе резания. Разнообразие технологических операций, выполняемых на одном станке с ЧПУ, требует широких диапазонов скоростей резания и рабочих подач.

Поскольку от любого металлорежущего оборудования требуется одно и то же, качество всех станков, в том числе и с ЧПУ, оценивается такими показателями, как производительность, точность, жесткость, виброустойчивость, теплостойкость. Но эти показатели являются производными от экономических показателей: стоимость, металлоемкость, энергоемкость и, что самое главное, себестоимость выпускаемой продукции.

Обозначение станков. В моделях станков с числовым программным управлением, выпускаемых на постсоветском пространстве, индекс степени автоматизации отмечается добавлением в конце обозначения базовой модели, на основе которой сделан станок с ЧПУ, буквы «Ф» с цифрой, где:

- Ф1 — станки с цифровой индикацией и преднабором координат;
- Ф2 — станки с позиционными и прямоугольными системами;
- Ф3 — станки с контурными системами;
- Ф4 — станки с универсальной (комбинированной) системой для позиционной и контурной обработки.

Например, модель 6P13Ф3 — фрезерный (цифра 6) вертикальный (1) консольный станок с третьим типоразмером стола (3) с контурной системой ЧПУ (Ф3). Буквенный индекс после цифр означает класс точности станков (П — повышенный, В — высокий, А — особо высокий); индекс «М», стоящий перед буквой «Ф», означает наличие инструментального магазина (например, модель 2135ПМФ2 — вертикальный одностоечный сверлильный станок повышенной точности с крестовым столом, инструментальным магазином и автоматической сменой инструмента); индекс «Р», стоящий после первой цифры (у сверлильных) и перед буквой Ф (у фрезерных станков), означает наличие револьверной головки (например, модель 2P135Ф2 и 6P13PФ3).

Специальные и специализированные станки (а сейчас частично и универсальные) обозначают буквенными индексами заводов-изготовителей с указанием порядкового номера модели. Например, обозначение модель OF-46 расшифровывается так: станок Одесского завода фрезерных станков им. С. М. Кирова, модель SM213 — станок Минского завода автоматических линий и т. д. Многооперационные специализированные станки (типа «обрабатывающий центр») ранее индексировались согласно рекомендациям Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС): например, у модели SM630Ф4-5 число 630 обозначает диаметр стола в миллиметрах, буква Ф является признаком системы ЧПУ, первая стоящая за ней цифра 4 указывает на тип системы управления (комбинированная), вторая — на количество управляемых координат (5). В последнее время при индексации многооперационных станков стремятся опустить указание на управление от системы ЧПУ, поскольку без него эти станки не применяются. Скорее всего со временем каждый завод будет присваивать станкам свое обозначение, что, конечно, затруднит работу специалистов.

Конструктивные особенности станков. Для обеспечения высокой точности обработки и производительности процесса резания станки с ЧПУ делают более точными и жесткими. Повышенная точность обеспечивается кроме всего прочего укорочением кинематических цепей, для чего все рабочие органы имеют автономные быстродействующие приво-

ды. При этом механические передачи часто заменяют гидравлическими, электрическими и электронными, как сделали на Витебском станкостроительном заводе «Вистан», где сложные кинематические цепи зубофрезерного станка заменили электронными связями (см. далее подраздел 3.8).

В станках с ЧПУ узлы привода главного движения оборудуют регулируемые электродвигателями, обеспечивающими бесступенчатое регулирование частоты вращения. Движение от электродвигателя на шпиндель передается поликлиновыми или зубчатыми ремнями. Во многих случаях электродвигатель напрямую соединяют со шпинделем. Повышение радиальной жесткости шпиндельного узла достигается увеличением диаметра шпинделя и установкой в его опорах более жестких подшипников (роликовых, с керамическими телами качения). Обычно применяют подшипники с предварительным натягом или увеличивают число тел качения. В шпиндельных узлах все чаще применяют многоклиновые гидродинамические подшипники, которые обеспечивают высокую стабильность положения оси шпинделя при работе вхолостую и под нагрузкой.

Механизмы подач изготавливают с минимально возможными зазорами, высокой жесткостью, что обеспечивает плавность перемещения при малых скоростях. Для осуществления этих требований применяют направляющие качения и гидростатические направляющие, шариковые и гидростатические винтовые передачи, беззазорные редукторы с короткими кинематическими цепями и т. д.

В приводах подач применяются быстродействующие высокомоментные регулируемые двигатели.

Направляющие станков с ЧПУ должны иметь высокую износостойкость при относительно малом коэффициенте трения (направляющие качения и гидростатические направляющие).

Передача винт-гайка в приводах подач станков с ЧПУ является последним звеном кинематической цепи. Передача винт-гайка качения обеспечивает высокую осевую жесткость, КПД около 0,9, длительно сохраняет первоначальную точность. Применяют также гидростатические передачи винт — гайка, но у них меньшая жесткость и несущая способность.

Оси координат станков с ЧПУ. При подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ наиболее трудоемким этапом является расчет траектории инструмента, очень сильно зависящий от правильного выбора и взаимной увязки систем координат детали, станка и инструмента.

В системе координат станка определяются начальные и текущие положения рабочих органов станка, их предельные перемещения. Для обеспечения общности методов подготовки управляющих программ выбор системы координат станка должен соответствовать рекомендациям ИСО (R84). По ГОСТ 23597-79 стандартная система координат представляет собой правую прямоугольную декартову систему координат XYZ. Ее на-

чало совмещается с базовой точкой узла станка, несущего заготовку и зафиксированного в положении, при котором все перемещения рабочих органов станка могли бы описываться положительными координатами. Помимо трех основных декартовых координат, относительное положение инструмента и заготовки характеризуют возможные дополнительные вращения и перемещения. Так, четвертая координата может быть связана с поворотом стола, пятая — с поворотом шпинделя, шестая — с дополнительным движением шпиндельной бабки и т. д.

За исходную ось Z принимают ось рабочего шпинделя, ось X всегда горизонтальна. За положительное направление перемещения рабочего органа считают то, при котором инструмент и заготовка удаляются друг от друга. Если « $+X$ » — движение инструмента, то движение обрабатываемой заготовки в противоположном направлении обозначают через « $+X'$ ».

Если у станка имеется несколько рабочих органов, несущих инструмент, для задания их перемещений используются разные системы координат. В отличие от осей X , Y , Z (первичных) параллельные им оси, расположенные дальше от шпинделя, называют вторичными и обозначают соответственно U , V , W . Оси третьего рабочего органа обозначают буквами P , Q , R . Через A , B , C обозначают вращение инструмента вокруг осей X , Y , Z (рис. 2.17).

Выбор направления осей стандартной системы координат станка связывают с положением оси вращения инструмента или детали. У сверлильных, расточных, фрезерных и токарных станков с осью вращения инструмента (детали) совпадает положение оси Z с положительным направлением от детали к шпинделю (направление выхода сверла из детали). Для станков, на которых сверление невозможно, ось Z перпендикулярна к плоскости установки заготовки. Ось X перпендикулярна к оси Z и параллельна плоскости установки заготовки. При наличии двух осей, перпендикулярных к оси Z , за ось X принимают ту, вдоль которой возможно большее перемещение исполнительного органа. Положение оси Y определяется из условия расположения осей правой прямоугольной системы координат. На рисунке 2.18 обозначены основные оси координат некоторых станков.

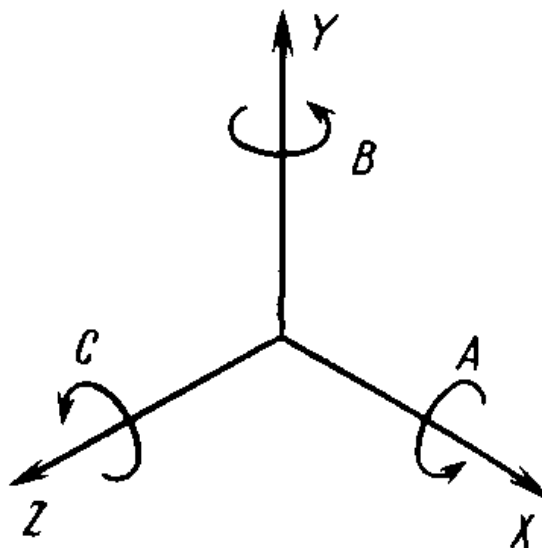
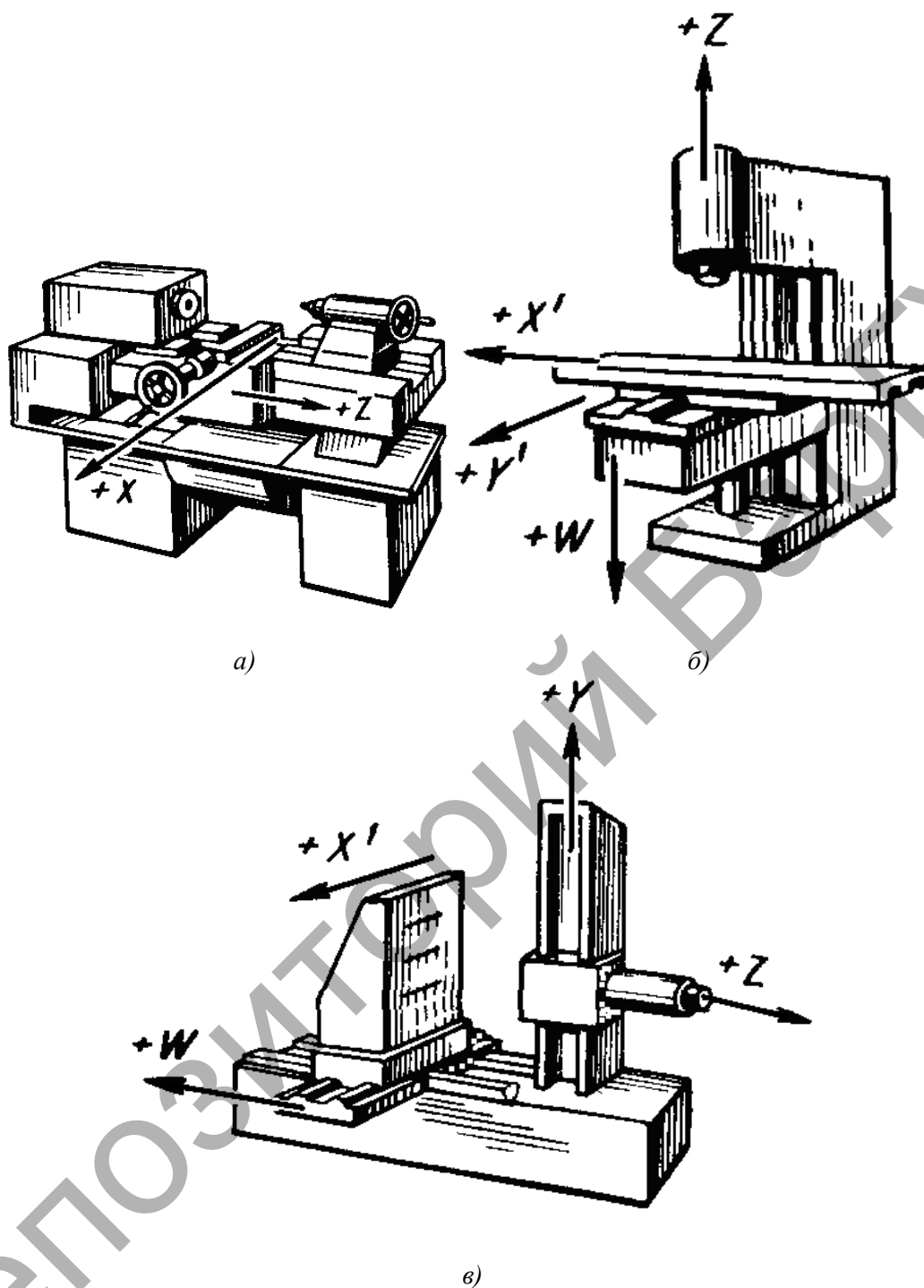


Рисунок 2.17 — Обозначение движений инструмента и расположение осей координат в станках с ЧПУ



a — токарный; *б* — вертикально-сверлильный; *в* — горизонтально-расточной

Рисунок 2.18 — Примеры расположения осей координат в станках с ЧПУ

Конструкция привода главного движения. Автоматизированный электропривод главного движения (АЭП) является одним из основных конструктивных элементов металлорежущих станков, и его роль в совре-

менном станкостроении исключительно велика потому, что повышение технического уровня станков в первую очередь связано с совершенствованием характеристик и расширением функциональных возможностей комплектующих электроприводов. Развитие станочного электропривода привело к коренному изменению конструкции станков, их электрооборудования и систем управления.

Существенной особенностью станков ЧПУ является наличие органического противоречия между электронными системами управления и механическими исполнительными устройствами. Непосредственно управление механизмами станка от системы ЧПУ невозможно, поэтому необходимо устройство, связывающее систему управления со станком. Роль такого согласующего звена выполняет электропривод (рис. 2.19). Команды для него поступают от системы управления, согласно которым на выходе электропривода формируется необходимая последовательность движений исполнительного механизма станка. Кроме прямых связей система ЧПУ — электропривод — станок существует ряд обратных связей, которые позволяют получать замкнутые системы управления и несут, как правило, информационный характер. Питание электропривода осуществляется от центральной электросети.

Кроме согласования системы ЧПУ со станком электропривод осуществляет следующие основные функции:

а) энергетическую, заключающуюся в преобразовании электрической энергии, потребляемой из сети, в механическую энергию исполнительного механизма станка;

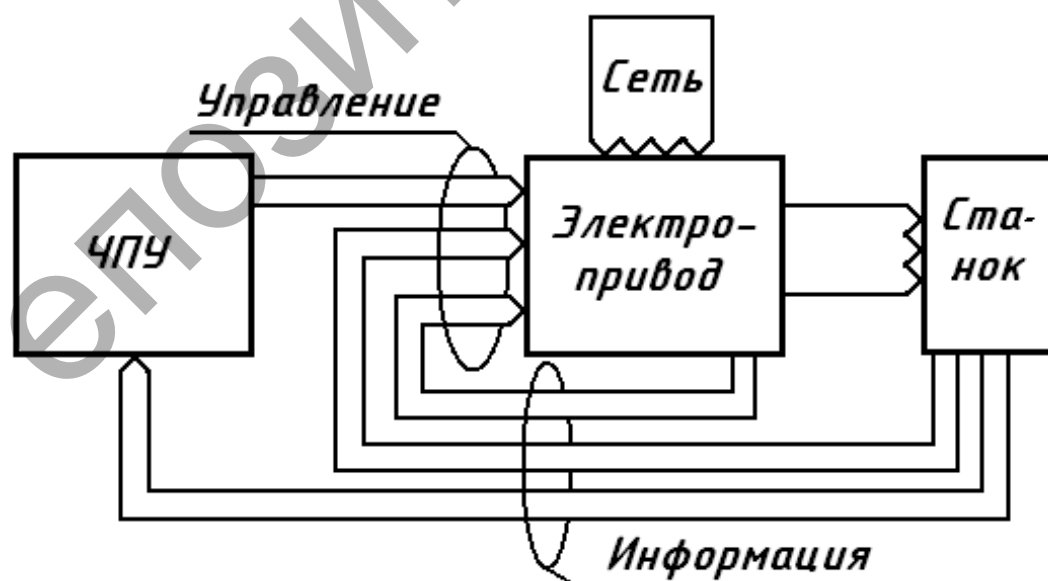


Рисунок 2.19 — Обобщенная схема работы электропривода металлорежущего станка с ЧПУ

б) информационную, заключающуюся в снятии и обработке информации с датчиков обратных связей, по которой можно определить силовые параметры технологического процесса, осуществить диагностику и контроль работы оборудования;

в) управляющую, состоящую в формировании выходных параметров электропривода в соответствии с поступающими на его вход заданиями и сигналами с датчиков обратной связи.

Исходя из этого, электрический привод определяется как электромеханическое устройство, предназначенное для приведения в движение рабочих органов машин и управления их технологическими процессами.

В приводах главного движения станков с ЧПУ преимущественно применяют регулируемые приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразователем напряжения. Необходимая мощность привода главного движения станка изменяется в функции частоты вращения. Так как основную нагрузку по снятию припуска в процессе обработки несет привод главного движения, то его считают работающим в режиме постоянной мощности. Поэтому по мере уменьшения скорости исполнительного органа момент нагрузки на валу возрастает и соблюдается соотношение

$$P = M\omega = \text{const}, \quad (2.1)$$

где P — мощность привода главного движения;

M и ω — момент и частота вращения на валу привода главного движения.

Для регулирования частоты вращения в режиме автоматического управления технологическим процессом требуется непрерывное управление скоростью в определенном диапазоне. Для двигателей постоянного тока серии 2П этот диапазон $R = 4$. Однако при обработке заготовок различного размера с помощью многих различных инструментов (многоцелевые станки) значение частоты вращения необходимо иметь в диапазоне $R = 50$. В этом диапазоне частота вращения может изменяться ступенчато с применением дополнительной коробки скоростей.

Ступенчатое регулирование с большим диапазоном осуществляется с помощью высокомоментных регулируемых электродвигателей.

Приводы подач станков с ЧПУ. Привод подач является одним из основных узлов, который определяет производительность, точность и надежность работы станка с ЧПУ.

Наиболее распространен *следающий электропривод* (рис. 2.20). Управляющие импульсы от интерполятора УЧПУ поступают в цифроаналоговый преобразователь, в котором импульсный сигнал преобразуется в аналоговый. Число управляющих импульсов, поступающих от интерполятора, определяет перемещение, а их частота — скорость

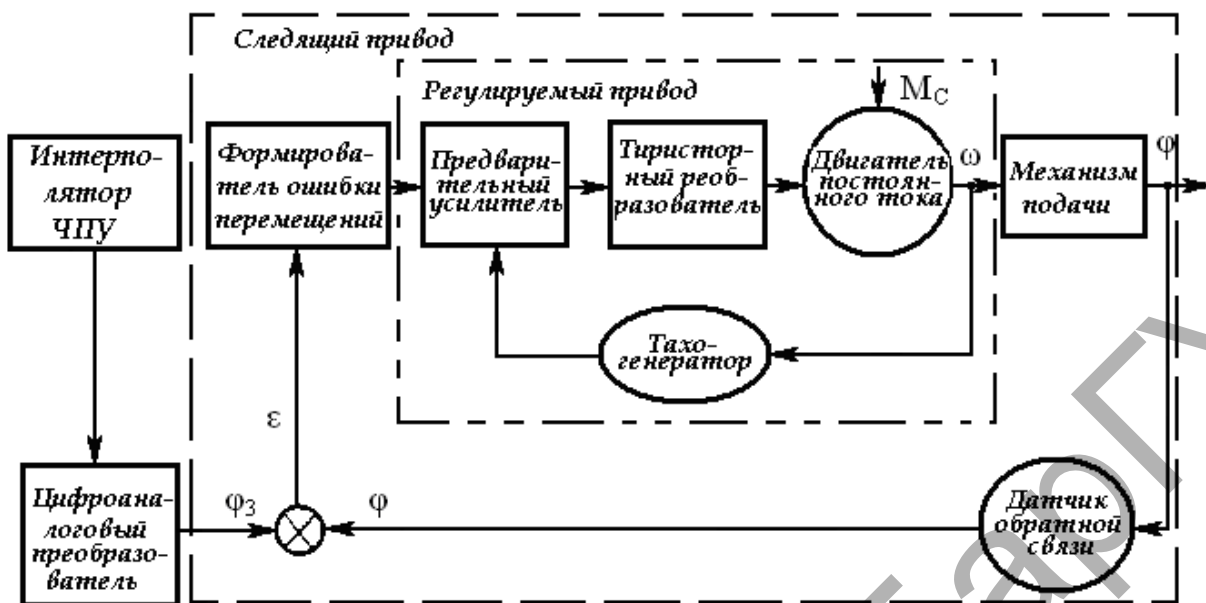


Рисунок 2.20 — Схема контурной СЧПУ со следящим электроприводом

перемещения исполнительного органа. Заданный сигнал φ_3 поступает на элемент сравнения, который сравнивает его с сигналом φ , характеризующим фактическое положение исполнительного органа. На основе сравнения сигналов φ_3 и φ вырабатывается сигнал рассогласования ε , поступающий в контур формирователя ошибки перемещения. Сигнал рассогласования поступает в предварительный усилитель системы импульсно-фазового управления. Регулируемый привод обрабатывает сигнал рассогласования в сторону его уменьшения.

Для увеличения диапазона регулирования привод имеет обратную связь по частоте вращения ω . Для этого на валу двигателя устанавливается тахогенератор, напряжение которого пропорционально угловой скорости выходного вала. Разность между заданным напряжением и напряжением от тахогенератора усиливается и подается в тиристорный преобразователь. Система импульсно-фазового управления преобразует выходное усиленное напряжение в прямоугольные импульсы, фаза которых изменяется пропорционально входному воздействию. Эти импульсы управляют тиристорами. Напряжение на входе тиристорного преобразователя пропорционально рассогласованию ε и производной от рассогласования $d\varepsilon / dt$. Тиристорный преобразователь управляет двигателем, который обеспечивает через механизм подачи движение исполнительного органа с заданной скоростью и на заданное расстояние. Основной характеристикой следящего электропривода является минимально улавливаемая погрешность положения $\varepsilon = \varphi_3 - \varphi$.

В следящих приводах подачи применяют малоинерционные исполнительные двигатели постоянного тока с высокой частотой вращения. Их соединение с ходовым винтом обычно осуществляется через редуктор.

С целью улучшения динамических свойств двигателей необходимо увеличивать отношение момента двигателя к собственному моменту инерции M/J , большое отношение *которые* достигается за счет снижения момента инерции вращающихся частей и увеличения динамического момента при неизменном собственном моменте инерции якоря машины.

В приводах станков с ЧПУ нашли применение и *малоинерционные двигатели с гладким якорем*. В этих двигателях уменьшение момента инерции достигнуто за счет резкого увеличения активной длины якоря и уменьшения его диаметра. В качестве общего недостатка, который характерен для всех типов малоинерционных двигателей, следует отметить необходимость специального динамического согласования двигателя с механической системой станка.

Увеличение динамического момента при неизменном моменте инерции достигается в *высокомоментных двигателях*, которые применяют сейчас очень часто. Высокомоментные двигатели постоянного тока выполняют с возбуждением от постоянных магнитов. Применение постоянных магнитов позволяет увеличить КПД на 10...15% и уменьшить размеры двигателя по сравнению с электромагнитным возбуждением.

Распространенные *тиристорные* приводы с высокомоментными двигателями постоянного тока ПВБ-100, ПВБ-112 и ПВБ-132 выпускают с мощностью 0,75...5,5 кВт. Они обеспечивают диапазон регулирования $R = 10\ 000$ при номинальном значении частоты вращения $n = 1000\ \text{мин}^{-1}$. Этот двигатель устанавливается непосредственно на ходовой винт механизма подачи станка. Привод подачи с высокомоментным двигателем позволяет выполнить разгон перемещаемого исполнительного органа до максимальной скорости за весьма малое время (например, разгон до скорости 10 м/мин осуществляется примерно за 0,25 с). Улучшение динамических свойств высокомоментных двигателей с коллекторами и щетками идет по пути создания вентильных бесконтактных двигателей.

В станках с ЧПУ в качестве привода подачи находит применение *гидропривод*, который имеет высокий КПД, равный 0,85...0,95, что выше КПД электрических приводов. Существуют две основные схемы питания гидродвигателей в гидропередачах станков с ЧПУ: от гидронасоса с регулируемой производительностью — объемное управление и от дроссельного устройства — дроссельное управление. В настоящее время в приводах подачи станков с ЧПУ чаще применяются гидроприводы объемного регулирования, которые в сравнении с гидроприводом дроссельного управления имеют более высокий КПД, меньший нагрев рабочей жидкости, обеспечивают более плавный реверс и торможение гидродвигателя.

Датчики обратной связи являются важным элементом металлорежущих станков с ЧПУ и систем ЧПУ с дополнительными источниками информации. Датчики обратной связи контролируют положение исполнительного органа в конкретной позиции, ДОС по перемещению выделяют информацию о пройденном пути исполнительным органом. Другие датчики могут выделить информацию о конкретном положении исполнительного органа, если задаться началом отсчета.

В качестве датчиков обратной связи по положению широко используются упоры (контактные и бесконтактные), кодовые преобразователи и многоразрядные датчики положения, различного типа конечные выключатели и т. п. Датчики обратной связи по перемещению в зависимости от принципа действия бывают фазовые и импульсные.

В датчиках обратной связи для фазовых систем ЧПУ перемещение на один шаг приводит к изменению выходного сигнала от 0° до 360° по линейному закону. В качестве таких датчиков широко применяют синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ) и индуктосины (линейные и угловые), индуктивные и емкостные датчики.

Для импульсных систем ЧПУ широко применяют фотоэлектрические датчики.

Возросшие требования к метрологическим характеристикам (контролируемое перемещение, точность, чувствительность, порог чувствительности, стабильность работы и др.) датчиков обратной связи потребовали создания качественно новых типов измерительных преобразователей. Наиболее перспективными в этом плане следует считать *лазерные датчики*. Известно несколько лазерных методов измерения, применяемых в датчиках обратной связи и устройствах активного контроля размеров. К ним относятся: интерференционные, дифракционные, основанные на геометрии прохождения лазерного луча, точной фокусировки. В датчиках обратной связи чаще всего применяется интерференционный метод измерения.

Несмотря на многочисленность разработок лазерных интерферометрических измерительных систем, все они не свободны от недостатков. К ним относятся: увеличение погрешности измерений, вызванное изменением условий окружающей среды (температура, давление, влажность); частотная нестабильность лазера; необходимость проведения интерполяции интерференционных полос, усложняющая используемую аппаратуру, и др.

Фотоэлектрические датчики обратной связи, основанные на дифракционном методе, представляют собой дифракционные решетки с чередующимися прозрачными и непрозрачными полосами равной ширины. Одна из решеток значительной длины укрепляется на станине, вторая решетка небольшой длины — на суппорте стан-

ка. Световой поток от лазера проходит через дифракционные решетки при совпадении прозрачных участков и попадает на фотоэлемент. При смещении одной из решеток на $1/2$ шага решетки свет проходить не будет, так как непрозрачные штрихи одной решетки полностью закроют прозрачные участки второй решетки. При непрерывном перемещении одной решетки относительно другой на фотоэлемент будет попадать импульсный световой поток. На выходе фотоэлемента появятся импульсы фототока, число которых определяет перемещения подвижной решетки, а частота — скорость движения исполнительного органа.

Особенности конструкции и эксплуатации станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ являются сложными технологическими комплексами, включающими непосредственно станок и устройство ЧПУ, построенное часто с применением мини-ЭВМ (рис. 2.21), которые должны быть органически взаимосвязаны с учетом их особенностей и возможностей. Надежность и качество работы станка с ЧПУ в равной степени зависят от надежности и качества работы как самого станка, так и устройства ЧПУ.

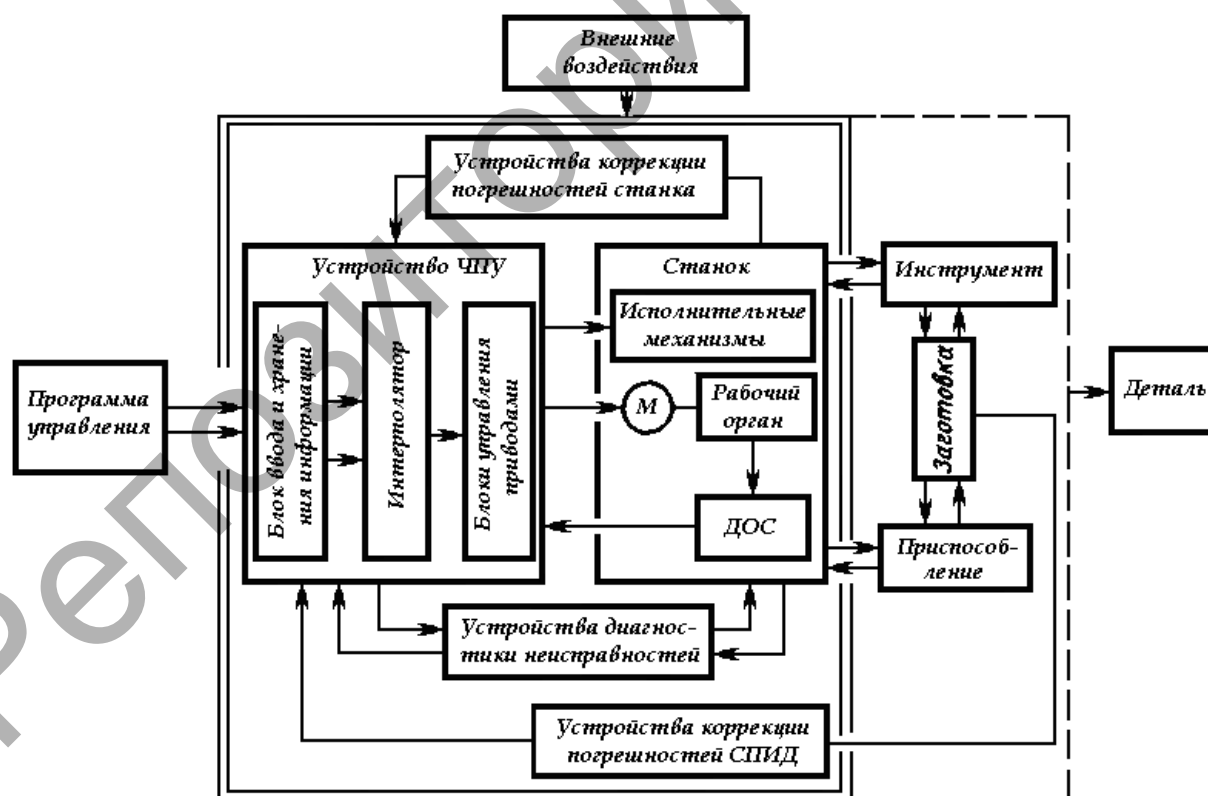


Рисунок 2.21 — Структурная схема технологической системы при применении станка с ЧПУ

При этом важно не только обеспечить безотказное функционирование станка с ЧПУ с точки зрения выхода из строя его отдельных механизмов и блоков, но и гарантировать в течение установленного периода эксплуатации выполнение обусловленных его назначением технологических операций с показателями качества и производительностью, установленными технической документацией, т. е. обеспечить заданную технологическую надежность.

Изменение точности станка с ЧПУ в процессе эксплуатации, происходящее под действием различных технологических процессов и внешних воздействий, вызывается появлением допустимых и недопустимых повреждений как в самом станке, так и в устройстве ЧПУ.

Повреждения, которые приводят сразу к остановке станка (из-за повреждения самого станка или устройства ЧПУ) или к недопустимым условиям его работы, являются причинами *отказов функционирования*. Эти отказы являются следствием неправильных методов конструирования, изготовления или эксплуатации станка.

Повреждения, которые не ограничивают возможности функционирования станка с ЧПУ, но приводят при его дальнейшей эксплуатации к снижению точности обработки, являются причинами его *параметрических отказов* (отказов по точности обработки). Параметрические отказы присущи любому сложному технологическому комплексу, каким является и станок с ЧПУ.

Если для станка более характерным является параметрический отказ, то для устройства ЧПУ — отказ функционирования. Последний может проявляться в устройстве ЧПУ в виде неиндицируемых сбоев, которые не обнаруживаются в момент их возникновения; индицируемых сбоев, которые фиксируются системой ЧПУ в момент их возникновения с прекращением дальнейшей отработки программы управления; устойчивых отказов, которые приводят сразу к остановке станка с ЧПУ. Таким образом, если индицируемые сбои и устойчивые отказы устройства ЧПУ приводят к отказам функционирования станка с ЧПУ, то его неиндицируемые сбои приводят к параметрическим отказам.

Неиндицируемые сбои в станках с разомкнутыми системами ЧПУ проявляются в виде пропуска управляющих импульсов, что может иметь место в самих электронных блоках устройства ЧПУ, при работе шагового электродвигателя и гидроусилителя, а также в передаточных механизмах привода подачи (например, из-за наличия люфта в зубчатых передачах и в передаче винт-гайка в момент реверса перемещения).

В станках с замкнутыми системами ЧПУ появление неиндицируемых сбоев возможно из-за изменения параметров точности самого станка, датчика обратной связи, элементов блока ДОС в устройстве ЧПУ. Так, тепловые деформации базовых и перемещающихся элементов станка,

упругие деформации, износ направляющих и другие погрешности могут оказывать влияние на точность измерения датчиками обратной связи действительного положения рабочих органов. В этом случае ДЭС будет передавать искаженную информацию о перемещении рабочих органов, что приведет к появлению неиндицируемых сбоев и соответственно к параметрическому отказу станка с ЧПУ.

Наряду с непосредственным повышением точности станков с ЧПУ с применением новых механизмов в приводах подач (беззазорных зубчатых передач и редукторов, беззазорных шариковых винтовых пар), новых типов направляющих, снижающих потери на трение, а также повышением жесткости шпиндельного узла, опор ходового винта привода подач и других элементов станка, системы ЧПУ позволяют проводить компенсацию погрешностей как самого станка, так и погрешностей, возникающих в процессе обработки деталей. Первый метод заключается в проведении компенсации систематической составляющей погрешностей на основе заранее полученной аналитическими расчетами или экспериментальными исследованиями информации о погрешностях станка с ЧПУ или всей технологической системы. Это упругие и тепловые деформации, люфты в приводе подач, погрешности инструмента, ходового винта и др.

Компенсация может выполняться внесением поправки в программу управления на этапе программирования или в процессе эксплуатации редактированием программы управления, находящейся в памяти системы ЧПУ; путем программного ввода коррекций с пульта устройства ЧПУ (радиуса, длины и положения инструмента и др.).

Такие возможности повышают не только начальную точность станка с ЧПУ, но и путем периодического измерения меняющихся погрешностей станка и их коррекции в памяти устройства ЧПУ поддерживают точность станка в процессе эксплуатации.

При другом методе компенсация погрешностей станка осуществляется на основе информации, поступающей непрерывно или прерывисто от системы обратной связи, измеряющей:

- начальные погрешности станка (например, геометрические параметры);
- погрешности, возникающие в процессе эксплуатации (например, вибрации, тепловые деформации, износ инструмента);
- погрешности, вызываемые внешними воздействиями (температура, вибрации, припуск на обработку, твердость обрабатываемого материала);
- погрешности обрабатываемых деталей (размеры, форма, шероховатость и др.).

Применение обратных связей усложняет строение станка с ЧПУ, но позволяет компенсировать не только систематическую, но и случайную составляющую погрешностей и проводить эту компенсацию непрерывно

в процессе эксплуатации. По такому методу работают самоприспосабливающиеся (адаптивные) системы управления.

Необходимость рассмотрения станка с ЧПУ как единого технологического комплекса меняет не только задачи его конструирования, но также методы контроля и приемки, эксплуатации, профилактики и ремонта.

Применение станков с ЧПУ потребовало, учитывая их специфику, разработать рациональную систему их технического обслуживания, профилактики и ремонта. Большая сложность станков и случайный характер отказов в процессе эксплуатации создают трудности в поиске возникающих неисправностей, а также в определении причин изменения точности обработки. Это приводит к длительным простоям дорогостоящего оборудования. Но современные системы ЧПУ уже позволяют проводить диагностику технического состояния станка и устройства ЧПУ, обеспечивают оперативную выдачу информации о возникающих неисправностях, прогнозируют состояние как отдельных механизмов и блоков, так и станка в целом с выдачей информации для проведения необходимых мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту.

Репозиторий ВАСИУ

УСТРОЙСТВО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

3.1 Станки токарной группы

Доля обработки металлов резанием в машиностроении велика, что весьма плохо, и достигает 30—60%, но есть тенденция к уменьшению. В обработке металлов резанием наиболее часто применяют токарные станки. На их наиболее часто выполняемыми являются обработка наружных цилиндрических, конических и торцовых поверхностей, прорезание канавок и отрезание, чистовая и отделочная обработка, обработка отверстий, нарезание резьб.

Токарный станок явился, как считают, продуктом новой волны открытий начала железного века. Его изобретение могло относиться либо к 1200, либо к 1000 году до н. э. Достоверно установлено, что к 800 году до н. э. он уже вошел в обиход. Древний токарный станок (насколько можно судить по дошедшим до нас сведениям) был устроен ненадежно. Существенный их недостаток — деталь вращалась то по часовой стрелке, то против. Такие станки применяли до начала XVII века и применяют по ныне. В средние века станину и бабку токарного станка сделали жесткими. Не позднее 1250 года ремень, поворачивающий заготовку, прикрепляли внизу к педальному механизму, а наверху — к пружинящему шесту (см. рис. 2). В XIV веке для привода станков стали использовать водяное колесо. Ременным приводом через колесо с кривошипом стали пользоваться, видимо уже с 1411 года. Токарный станок с ременной передачей от маховика-шкива описан Соломоном де Ко в книге, изданной во Франции в 1615 году. Маховик находился в стороне от станка, имел ручку, которую вращал помощник токаря. С XVI века токарные станки стали оснащать педалью с шатуном и кривошипом, как теперь делают в швейных машинах с ножным приводом. Однако, если верить утверждению историка Плиния, еще до 400 года до н. э. мастер с острова Самос в Эгейском море Феодор сделал токарный станок, на котором заготовка вращалась в одну сторону. Станок имел кривошипный механизм, маховик и ножной педальный привод. Самое первое изображение токарного станка с

патроном, к которому деталь крепили болтами или зажимами, относится к 1568 году. Первые шаги по созданию передвижного суппорта были сделаны приблизительно в 1480 году, а устройство, которое высвободило руки рабочего от необходимости удерживать резец, получает распространение со второй половины XVI века. В 1565 году во Франции в станке Жака Бессона появилась специальная «подставка» — support. В своей книге «Театр инструментов» он описал станок для нарезки винтов, который был с суппортом. Прошло еще немало десятилетий, пока в 1794 году двадцатичетырехлетний английский механик Генри Модсли не сконструировал так называемый крестовый суппорт. В 1738 году А. К. Нартов сообщил в Академии наук о токарном станке с механизированным суппортом и сменными зубчатыми колесами задолго до их появления в Англии.

Поворотным моментом в истории станкостроения было создание Генри Модсли современного вида металлорежущего станка. Он внес в конструкцию станка три новшества, известных и до него: цельнометаллическую конструкцию, изготовил точные плоские направляющие и разработал технологию изготовления точного ходового винта, что сделало станок высокоточным и универсальным устройством. Считается, что Г. Модсли одним из первых стал делать станки на продажу.

Станки для токарной обработки составляют значительную долю в парке металлорежущего оборудования (до 30—40%).

Классификация станков токарной группы:

а) по признакам работы:

- автоматы и полуавтоматы одношпиндельные;
- автоматы и полуавтоматы многошпиндельные;
- револьверные;
- сверлильно-отрезные;
- карусельные;
- токарные и лобовые;
- многорезцовые;
- специализированные;
- разные токарные;

б) по размерам:

- настольные;
- средние;
- тяжелые или уникальные;

в) по точности:

- нормальной (Н);
- повышенной (П);
- высокой (В);
- особо высокой (А);
- особо точные (С);

г) по количеству одновременно работающих инструментов:

- однорезцовые;
- многорезцовые;

д) по чередованию работы:

- обыкновенные;
- револьверные;

е) по количеству одновременно работающих шпинделей:

- одношпиндельные;
- многошпиндельные;

ж) по расположению оси шпинделя:

- горизонтальные;
- вертикальные.

Данная классификация не является исчерпывающей.

Назначение, технологические возможности, основные параметры станков. В токарных станках главным движением является вращение шпинделя с закрепленной в нем заготовкой, а движением подачи — перемещение суппорта с резцом в продольном и поперечном направлениях. Все остальные движения вспомогательные.

Универсальные токарные станки по назначению представлены несколькими типами: собственно токарные, не имеющие ходового винта для нарезания резьбы резцами, токарно-винторезные, токарно-револьверные, токарно-карусельные, токарно-лобовые, токарно-затыловочные, резьботокарные.

Лобовые и карусельные токарные станки предназначены для обработки деталей больших диаметров и сравнительно небольшой длины (шкивы, маховики и др.). На этих станках выполняется обтачивание наружных цилиндрических и конических поверхностей, обработка торцов, протачивание канавок, растачивание и т. д.

Лобовые станки, у которых вместо патрона имеются планшайба большого диаметра, а задняя бабка отсутствует, рассчитаны на обработку деталей, имеющих пропорции дисков.

На карусельных станках, предназначенных для обработки более тяжелых, чем на лобовых, деталей, ось вращения планшайбы вертикальна. Они используются для выполнения почти всех токарных работ. По компоновке они бывают одностоечными и двухстоечными (портального типа).

На токарно-револьверных станках обрабатываются детали небольших и средних размеров сложной формы из пруткового материала (прутковые) или штучных заготовок (патронные) в условиях серийного производства, когда для их изготовления требуется применять несколько инструментов: при обработке наружных поверхностей — резцы, отверстий — сверла, зенкеры, развертки, метчики и т. д. Эти станки, в отличие от токарно-винторезных, не имеют задней бабки и ходового винта, а имеют револьверную головку, в гнездах которой устанавливаются различные инструменты.

Токарно-затыловочные станки применяются в инструментальном производстве для обработки задних поверхностей зубьев режущих инструментов (особенно фасонных) по криволинейной поверхности (чаще архимедовой спирали) — червячных, модульных, дисковых, цилиндрических с винтовым зубом и фасонных фрез.

Основными параметрами токарно-винторезных станков, определяющими его рабочее пространство, являются наибольший диаметр D (рис. 3.1) обрабатываемой заготовки, устанавливаемой над станиной, и наибольшее расстояние между центрами передней и задней бабок, которое ограничивает наибольшую длину обрабатываемой заготовки. Диаметр D приблизительно равен удвоенной высоте центров H , измеряемой от горизонтальной плоскости направляющих. Важным размером станка является также наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, устанавливаемой над суппортом D_1 . По максимальному диаметру токарно-винторезные станки выпускаются в пределах размерного ряда с $\phi = 1,25$ от 100 до 6 300 мм. Станки с одним и тем же диаметром обработки могут иметь различные межцентровые расстояния, которые в тяжелых станках достигают до нескольких десятков метров (125...24 000 мм).

При правильной эксплуатации на станках среднего размера нормальной точности могут быть получены поверхности по 8...7 качеству точности с шероховатостью Ra не более 3,2...1,6 мкм. На специальных особо точных токарных станках при применении инструмента из монокристаллических алмазов можно получать поверхности с погрешностью формы,

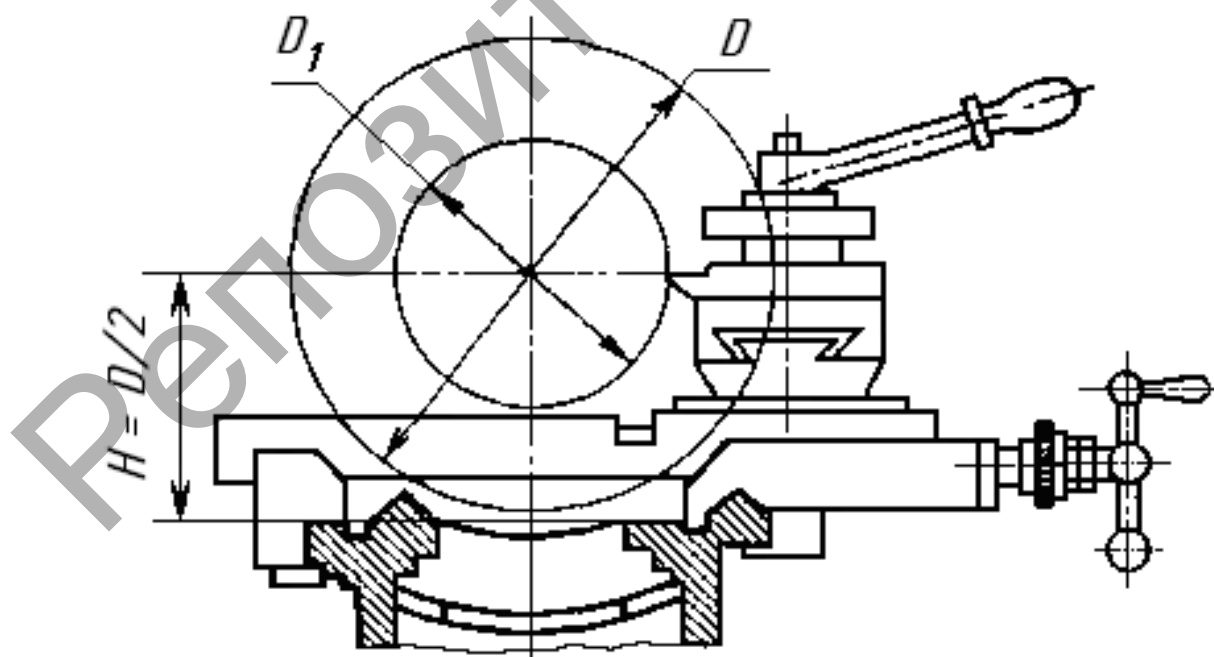


Рисунок 3.1 — Габариты обрабатываемых на станке заготовок

определяемой десятиными долями микрометра и шероховатостью Rz до тысячных долей микрометра.

Токарно-винторезные станки на примере станка модели 16К20. Данный станок наряду со своим предшественником токарно-винторезным станком 1К62 на сегодняшний день является основным на металлообрабатывающих заводах.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр заготовки, устанавливаемой над станиной — 400 мм, а над суппортом — 200 мм; наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя — 50 мм; число частот вращения шпинделя — 22; пределы частот вращения шпинделя: $12,5 \dots 1\ 600 \text{ мин}^{-1}$ (диапазон регулирования $R = 128$); пределы продольных подач: $0,05 \text{—} 2,8 \text{ мм / об}$; поперечных $0,025 \dots 1,4 \text{ мм / об}$; шаг нарезаемой метрической резьбы: $0,5 \dots 112 \text{ мм}$, дюймовой: $56 \dots 0,5 \text{ нитки на } 1''$, модульной: $0,5 \dots 112 \text{ мм}$, питчевой $56 \text{—} 95 \text{ питчей}$. Станок 16К20 изготавливают с расстояниями между центрами 710, 1 000, 1 400, 2 000 мм. На нем можно обрабатывать детали из незакаленной и закаленной стали, а также из труднообрабатываемых материалов. Размеры станка составляют $3\ 770 \times 430 \times 944 \text{ мм}$.

На базе основной модели 16К20 с максимальной унификацией, одинаковой кинематической схемой и унифицированной конструкцией выпускаются токарно-винторезные станки моделей 16К20П, 16К20Г и 16К25. При этом 16К20 — базовый станок нормальной точности, 16К20П — станок повышенной точности, 16К20Г — станок нормальной точности с выемкой в станине (диаметр обработки над выемкой станины — до 630 мм), 16К25 — облегченный станок нормальной точности с увеличенным диаметром обработки (над суппортом 290 мм, над станиной — 500 мм). Данные станки выпускаются нескольких модификаций, касающихся длины обрабатываемой детали. Так, все станки имеют модификации для обработки деталей длиной 710 и 1 000 мм, а станки 16К20, 16К20Г и 16К25 еще и 1 400, и 2 000 мм. Максимальная масса обрабатываемых деталей 1 500 кг.

Основные узлы станка. *Общий вид станка* представлен на рисунке 3.2. На станине слева размещены передняя бабка 1 и коробка подач 28, на направляющих станины 25 — каретка 15 с фартуком 22 и поперечным суппортом 14 с резцедержателем, справа — задняя бабка 11. В передней бабке размещена коробка скоростей со шпинделем, а на ее панели — органы управления 31, 2, 3 и 4. Продольная и поперечная подача каретки и суппорта осуществляется от механизмов, расположенных в фартуке и получающих движение от ходового вала при точении или ходового винта 24 при нарезании резьбы.

Нижняя часть станины является корытом для сбора стружки и охлаждающей жидкости.

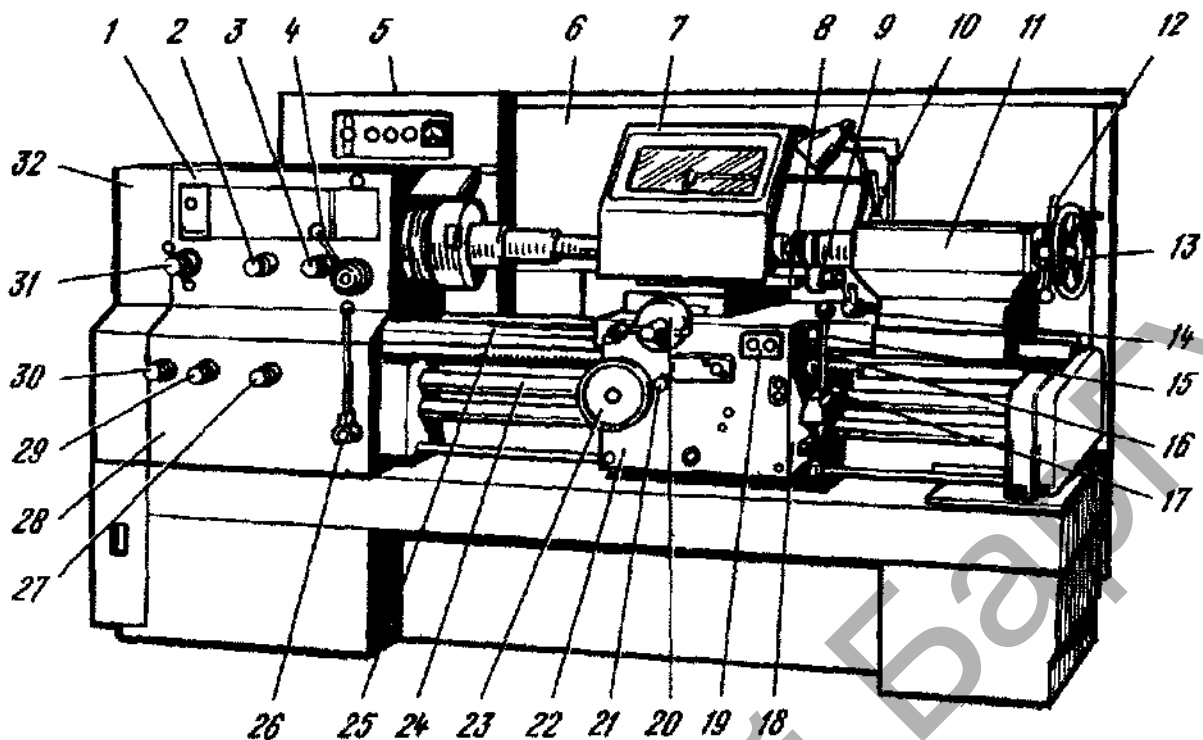


Рисунок 3.2 — Общий вид станка мод. 16К20

Рукоятки 4 и 31 служат для переключения частот вращения. Поперечные салазки суппорта 8 движутся в поперечном направлении относительно оси детали. Кнопочная станция 19 служит для включения и выключения главного электродвигателя, установленного в нише передней тумбы станины. Сблокированные рукоятки 26 и 17 предназначены для управления фрикционной муфтой включения главного привода станка.

Для управления приводом подачи служат рукоятки: 2 — для установки нормального или увеличенного шага резьб, 3 — для изменения направления нарезаемой резьбы, 30, 29, 27 — для установки величины подачи или шага резьбы. Рукояткой 21 включают и выключают реечную шестерню продольной подачи при нарезании резьбы, а рукояткой 15 — подачу суппорта; включение ускоренной подачи в любом направлении осуществляется той же рукояткой 15 нажатием кнопки на ее торце. Для включения и выключения гайки ходового винта 24 служит рукоятка 16. Маховичками 23 и 20 производится ручное перемещение суппорта соответственно в продольном и поперечном направлениях; с помощью маховичка 9 перемещают верхние поворотные салазки суппорта.

Перемещение пиноли задней бабки осуществляется маховичком 13, ее зажим — рукояткой 10, а закрепление бабки на направляющих станины — рукояткой 12. Электрооборудование станка размещается в электрошкафу 5. Для обеспечения безопасности работы на станке установлены экран 6,

прозрачный щиток 7 и кожух 32, закрывающий гитару и ременную передачу, связывающую коробку скоростей с электродвигателем.

Компоновка станка состоит из одного стационарного элемента (основание, состоящее из двух тумб, соединенных между собой, станины, передней бабки и коробки подач) и ряда подвижных элементов, выполняющих одно определенное координатное движение, перемещаясь по направляющим (каретка суппорта, поперечные салазки, поворотные салазки, фартук, задняя бабка). Надо отметить, что данная компоновка не самая лучшая. Она представляет скобу, которую разгибают силы резания. Именно поэтому современные токарные станки с ЧПУ для максимального использования их возможностей имеют замкнутую компоновку, похожую на сплюснутую букву «θ» с горизонтальной перемычкой в виде направляющих суппорта внутри.

Конструкция суппорта, задней бабки. *Суппорт* (рис. 3.3) состоит из:

- каретки 12, перемещающейся в продольном направлении по треугольной 17 и плоской 11 направляющим станины;
- поперечных салазок 10;
- поворотной части (поворотных салазок) 9;
- резцедержателя 6.

Регулировка зазора в направляющих каретки 12 осуществляется подшлифовкой соответствующих планок (одна из них — 13 — видна на рисунке). *Поперечные салазки* 10 перемещаются по направляющим 26 типа ласточкин хвост с помощью винта 14. Зазор в передаче винт-гайка выбирается с помощью пружины при осевом смещении полугайки 15 относительно неподвижной полугайки 16. Зазор между поперечными салазками 10 и направляющими 26 регулируется клином 27.

Ручное перемещение салазок 10 производится рукояткой 1, при этом предусмотрено отключение ее вращения при включении механической подачи. В этом случае от рычажной системы, расположенной в фартуке, смещается вправо муфта 18 со штифтом, расположенным в пазу штока 19. Шток смещается вправо, сжимая пружину и отключая зубчатую полумуфту, выполненную на торце втулки 20. При выключении механической подачи пружина обеспечивает сцепление зубчатой муфты рукоятки 1 и возможность ручного перемещения.

Резцовые салазки 8 перемещаются по направляющим типа ласточкин хвост 7 поперечных салазок либо механически через систему зубчатых передач (см. кинематическую схему), либо вручную от рукоятки 25 с помощью винта 24 и гайки 23. Зазор в направляющих регулируется клином 2.

Резцедержатель 6 поворачивается относительно вертикальной оси основания 5; его надежное закрепление обеспечивается с помощью конусного сопряжения рукояткой 4 и колпаком 3. Фиксация в основных четырех положениях осуществляется подпружиненным шариком 22, попадающим

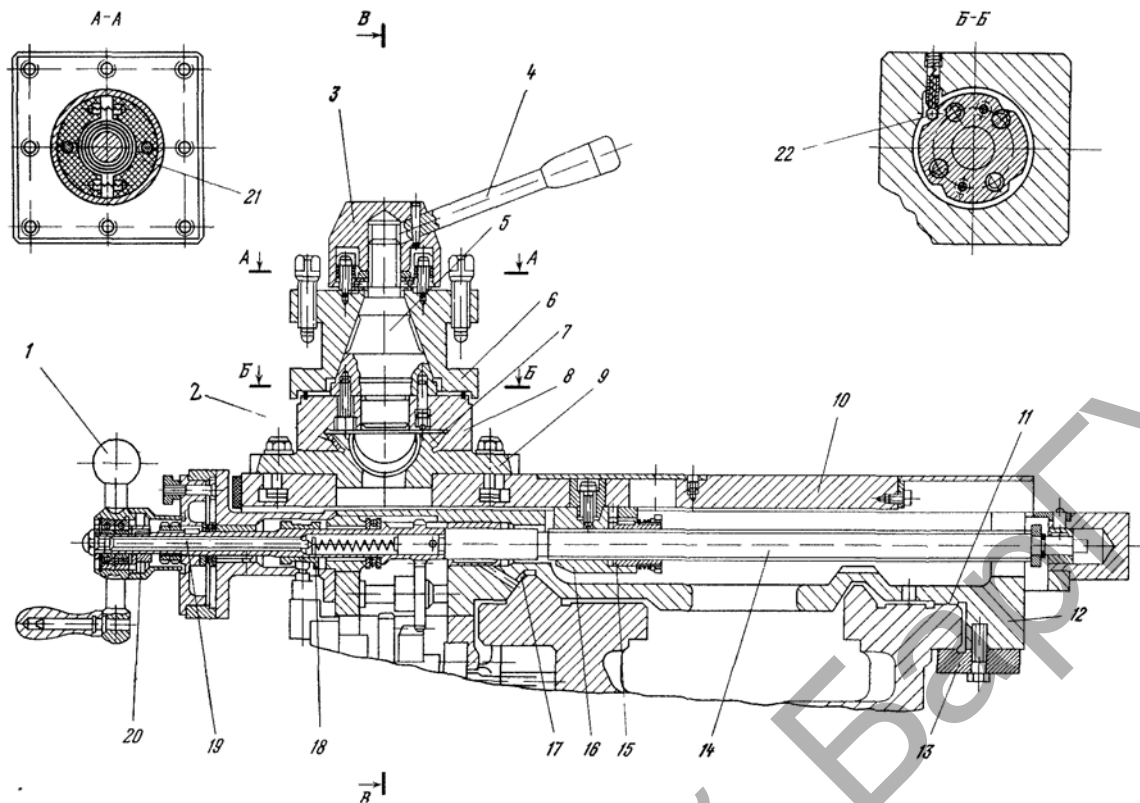


Рисунок 3.3 — Суппорт станка модели 16K20

РЕПОЗИТОРИЙ БГУ

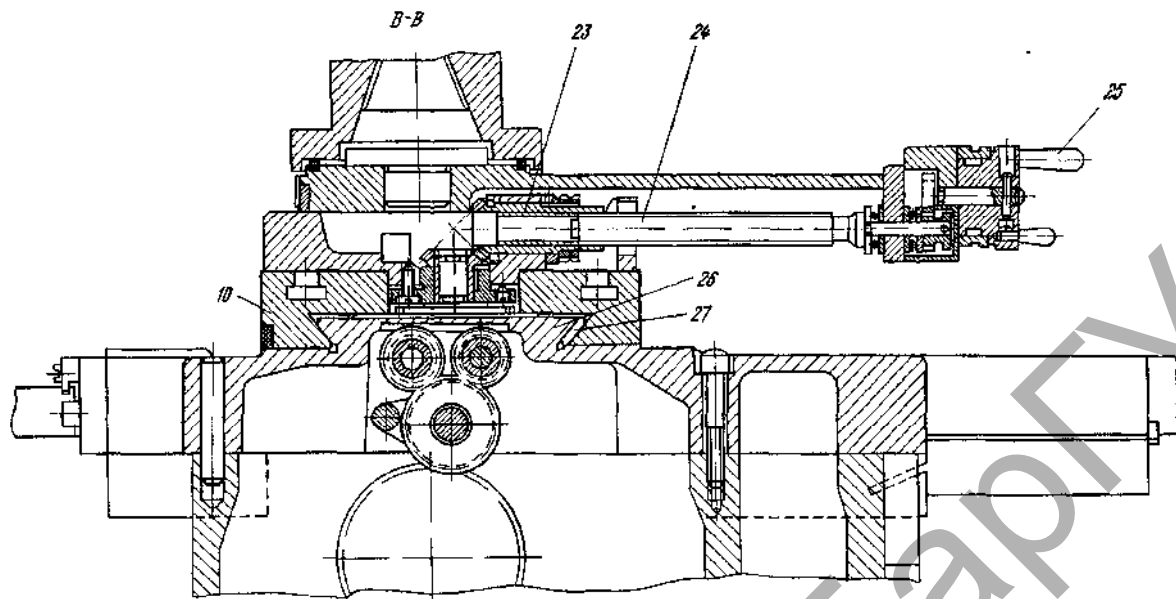


Рисунок 3.3 — Окончание

в соответствующие гнезда основания. При повороте рукоятки 4 вначале колпак 3 свинчивается по резьбе винта основания 5, освобождая резцедержатель. Подпружиненные фрикционные колодки 21 передают на него вращение. При зажиме вначале поворачивается от рукоятки колпак вместе с резцедержателем, а после его фиксации колпак, преодолевая трение в колодках, навинчивается на винт, обеспечивая надежное силовое замыкание конического соединения.

Задняя бабка (рис. 3.4) закрепляется на сделанных для нее направляющих станины планкой 20 при повороте рукоятки 5 с помощью эксцентрика 7 и тяги 8. Усилие закрепления можно регулировать с помощью винтов 9 и 10. Перемещение пиноли 2 с центром 1 производится при вращении маховичка 6 с помощью винта 3 и гайки 4. Пиноль закрепляется в требуемом положении поворотом рукоятки 16 за счет взаимного смещения сухариков 14 и 15. Корпус 13 бабки может смещаться в поперечном направлении с помощью винтов 12 и 17, что используется при обработке конусов. Для облегчения перемещения бабки из цеховой магистрали осуществляется подвод сжатого воздуха к направляющим через сверления 11, 18, 19.

Структурная схема станка включает три звена настройки (рис. 3.5): коробку скоростей u_v , гитару u_T и коробку подач $u_{кп}$. Наличие небольшого количества звеньев обусловлено функциональным назначением станка и, как следствие, простыми формообразующими движениями: 1) вращение заготовки В от двигателя 1 через звено настройки — коробку скоростей u_v — и на шпиндель; 2) поступательное движение n_1 и n_2 , которое начинается

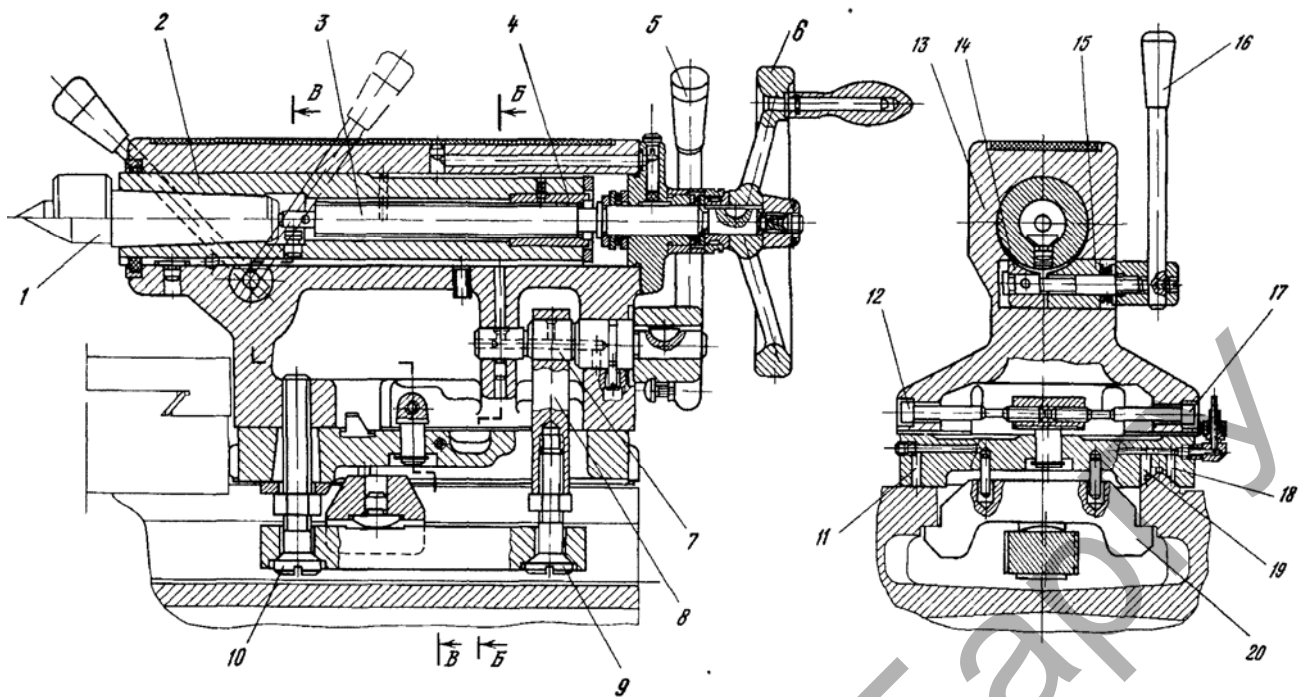


Рисунок 3.4 — Задняя бабка станка модели 16К20

РЕПОЗИТОРИЙ БАРГУ

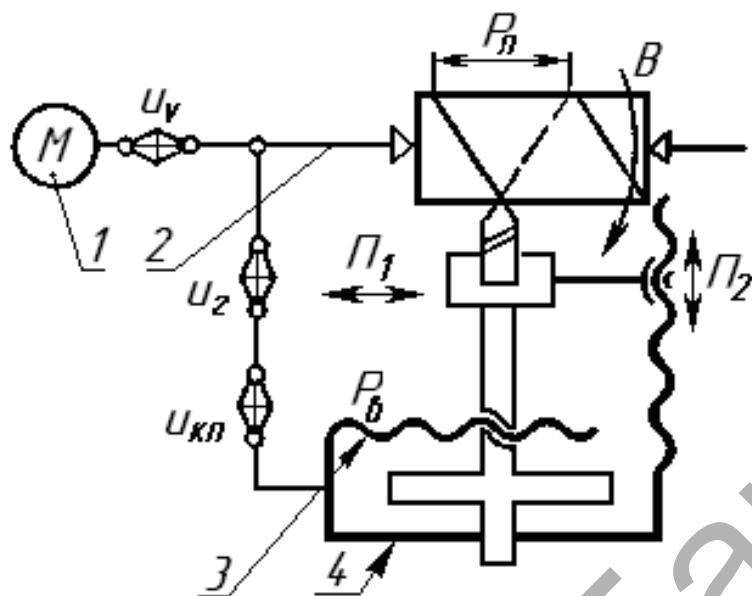
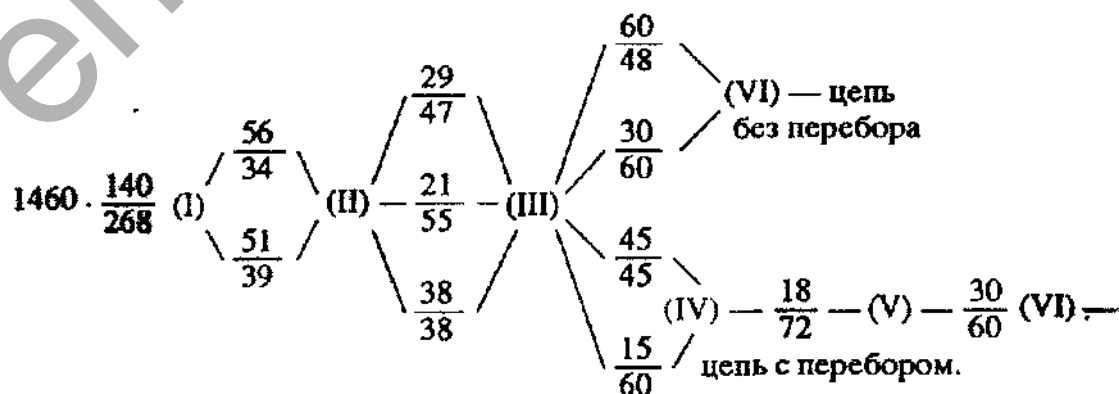


Рисунок 3.5 — Структурная схема токарно-винторезного станка

после коробки скоростей от шпинделя, далее — к звеньям настройки гитара u_r и коробки подач $u_{кп}$, затем — на ходовой вал 4 при точении или на ходовой винт 3 при нарезании резьбы.

Кинематическая схема станка модели 16К20 (рис. 3.6). Привод вращения шпинделя осуществляет главное движение. От электродвигателя М1 через клиноременную передачу 140/268 и коробку скоростей с передвижными скользящими блоками шпиндель получает 22 различные «прямые» частоты вращения против часовой стрелки при включении фрикционной муфты (главного фрикциона M_1) влево в диапазоне от 12,5 до 1 600 мин^{-1} . При включении муфты M_1 вправо через промежуточные (паразитные) передачи 50/24 и 36/38 осуществляется изменение направления вращения и шпиндель получает 12 «обратных» частот вращения в пределах от 19 до 1900 мин^{-1} .

Кинематическая цепь привода главного движения представляется следующим образом:



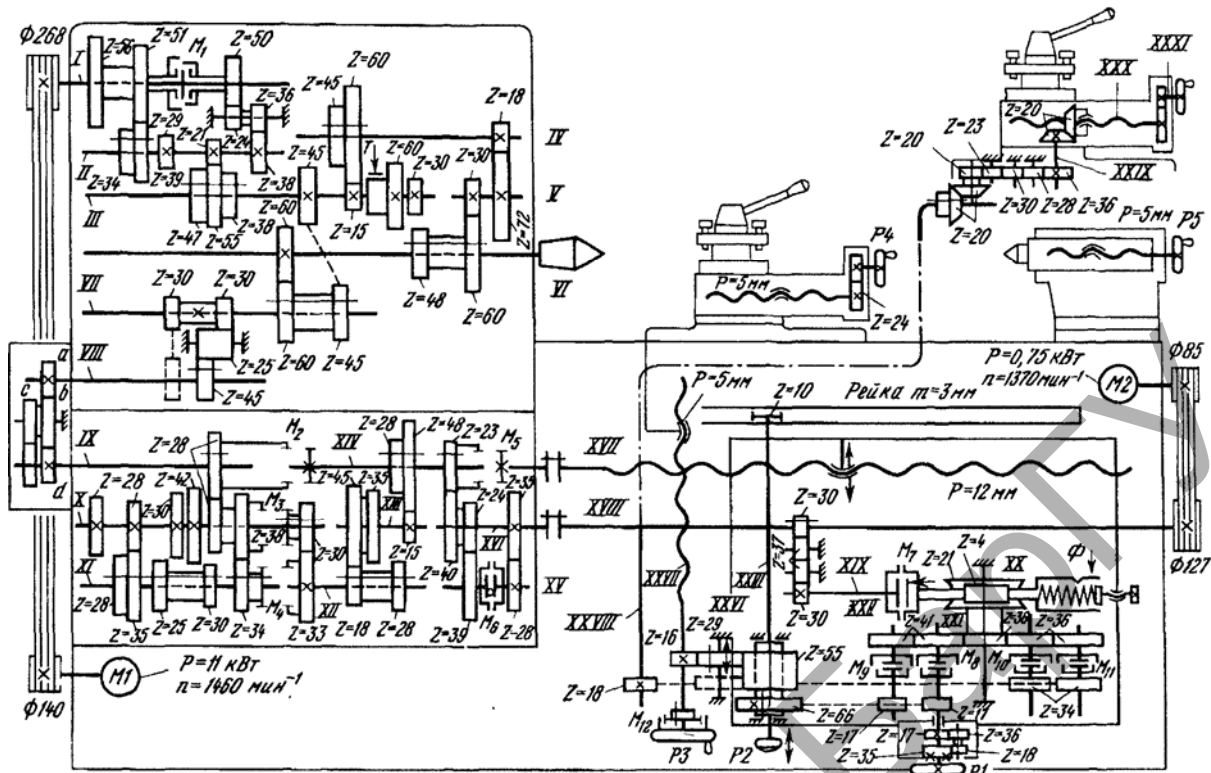
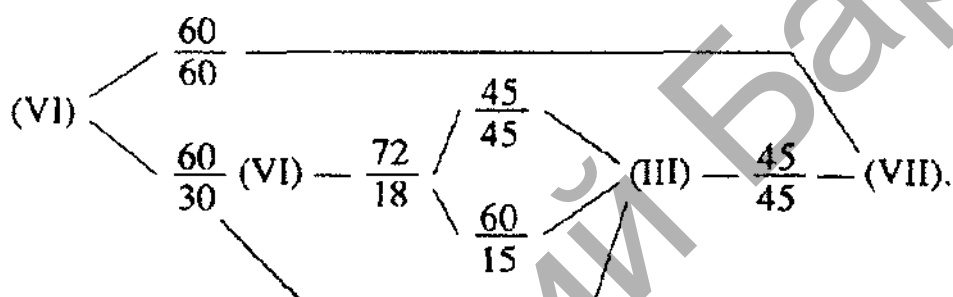


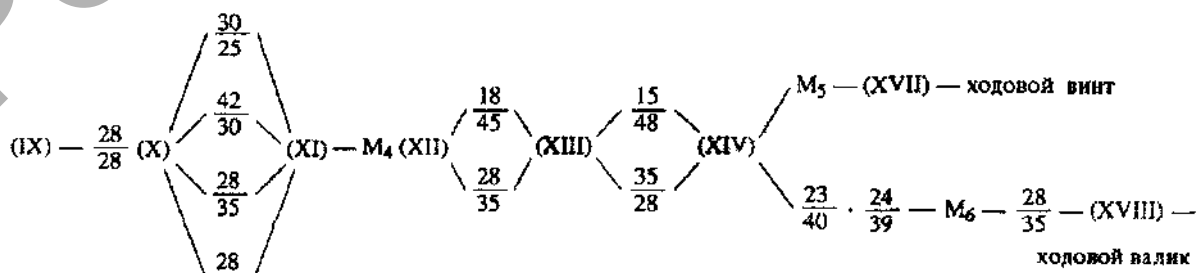
Рисунок 3.6 — Кинематическая схема станка модели 16K20

Здесь в скобках записаны номера валов привода, а в промежутках — возможные передаточные отношения между ними при соответствующих позициях зубчатых блоков. Частоты вращения шпинделя 500 и 630 мин⁻¹ повторяются дважды (перекрытие), что и определяет наличие 22, а не 24 скоростей. Торможение коробки осуществляется с помощью ленточного тормоза Т, расположенного на ступице колеса $z = 60$ на валу III.

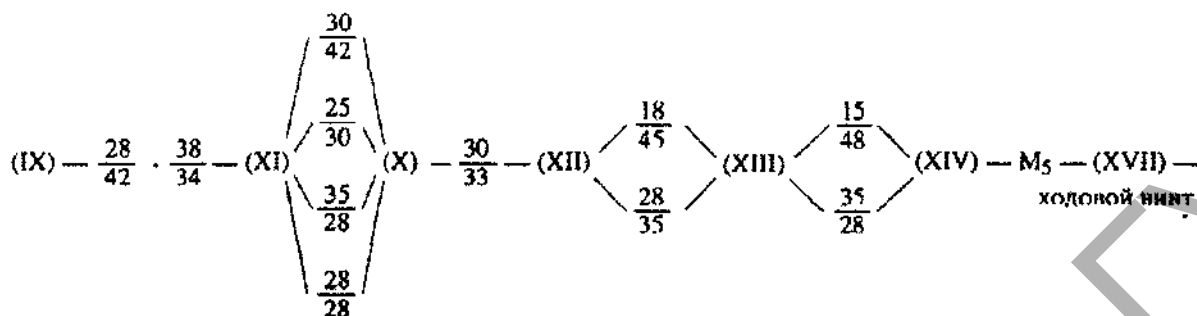
Привод подачи служит для получения продольной и поперечной подач суппорта от ходового вала XVIII или нарезания резьб при вращении ходового винта XVII. Движение механизму подачи передается либо от шпинделя VI, как показано на схеме, либо, для увеличения подачи (или шага нарезаемой резьбы) в 2, 8 и 32 раза, через звено увеличения шага:



Далее с вала VII вращение через реверсивный механизм (правое вращение — передача 30/45, левое — передачи 30/25 · 25/45) передается на вал VIII и через гитару сменных колес $a/b \cdot c/d$ на вал IX коробки подач с передвижными зубчатыми блоками. При нарезании метрических и дюймовых резьб, а также для получения механических подач от ходового валика устанавливается гитара $a/b \cdot c/d = 40/86 \cdot 86/64$; при нарезании модульных и питчевых резьб $a/b \cdot c/d = 60/73 \cdot 86/36$. С вала IX коробки подач движение может передаваться по двум кинематическим цепям. При включении зубчатых муфт M_3 , M_4 и M_5 и выключенной муфте M_2 нарезается *метрическая* или *модульная резьба*, а при включении муфты M_6 вращается ходовой валик:

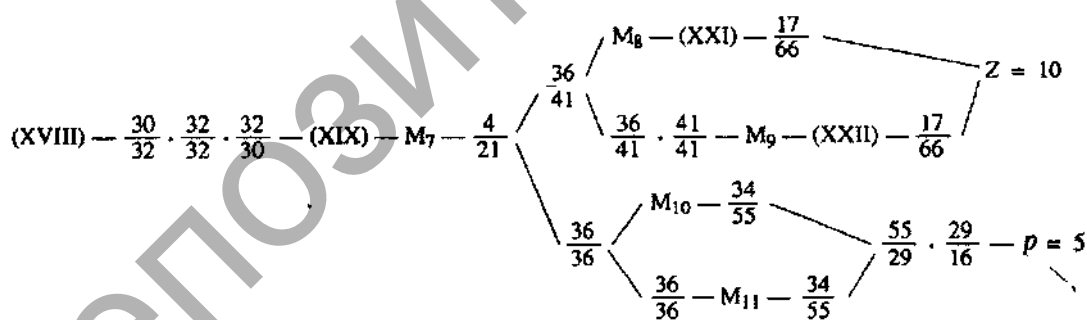


При отключении муфт M_2 , M_3 и M_4 и включенной муфте M_5 нарезаются дюймовая или метрическая резьба.



Резьбы повышенной точности, а также резьбы с нестандартными шагами нарезают при непосредственном соединении ходового винта со шпинделем через механизм реверса и гитару сменных колес (они подбираются расчетом) при включенных муфтах M_2 и M_5 . Говорят, что коробка подач в таком случае включена напрямую. Уменьшение количества зубчатых пар, участвующих в передаче движения, уменьшает общую погрешность передачи.

При токарной обработке механизмы фартука получают вращение от ходового вала XVIII через скользящее вдоль него зубчатое колесо $z = 30$. Муфты M_8 и M_9 служат для получения продольной подачи в прямом и обратном направлениях с помощью реечного колеса $z = 10$ на валу XXIII и рейки $m = 3$ мм, жестко закрепленной на станине. Муфты M_{10} и M_{11} служат для получения поперечной подачи в прямом и обратном направлениях от винта XXIII с шагом $P = 5$ мм:



Включение муфт M_8 , M_9 , M_{10} и M_{11} на станке производится одной рукояткой, причем направление наклона рукоятки при включении совпадает с направлением перемещения резца.

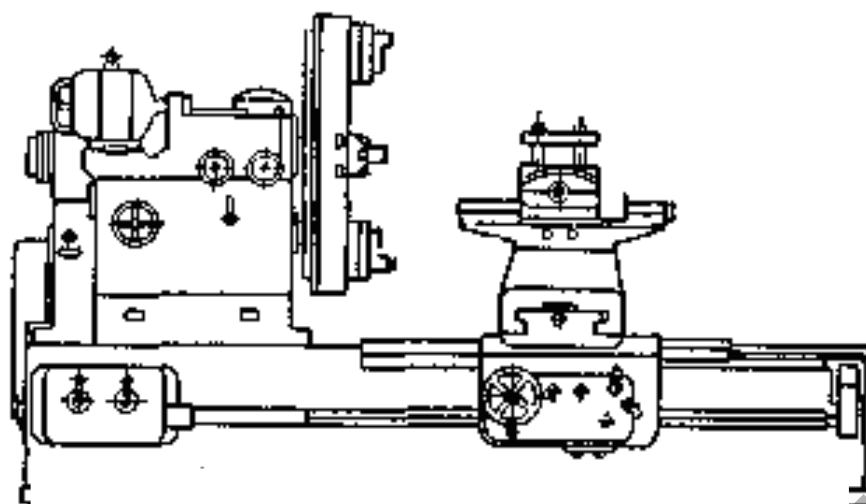
По особому заказу станок оснащается суппортом с механическим приводом поворотных резцовых салазок. В этом случае колесо $z = 29$ на валу XXVI сцепляется с колесом $z = 18$ на валу XXVIII, обеспечивая через соответствующую кинематическую цепь вращение винта XXX.

Продольное ручное перемещение суппорта производится маховичком Р1, а поперечное — маховичком Р3, когда рукоятка включения механической подачи 15 (см. рис. 3.2) установлена в среднее (нейтральное) положение. Рукоятка Р2 (позиция 21 см. рис. 3.2) служит для осевого смещения реечного колеса $z = 10$ при включении и выключении продольной подачи от ходового вала. Для предохранения цепи подач от перегрузок, а также для работы на жесткий упор на оси червяка $z = 4$ установлена предохранительная зубчатая муфта М7 (вал XIX). Быстрые перемещения суппорта осуществляются от электродвигателя М2, при этом сопряжение цепей ускоренных перемещений и рабочей подачи обеспечивается с помощью муфты обгона М6.

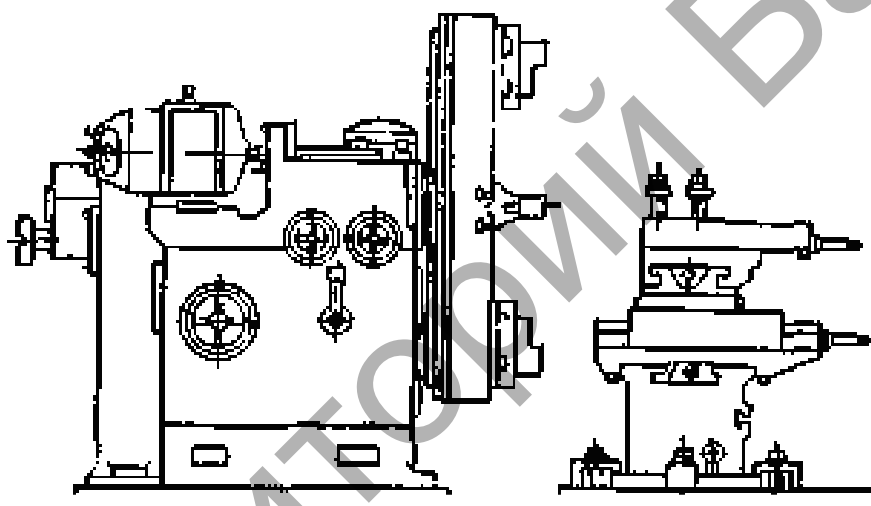
Виды работ, выполняемых на токарно-винторезных станках. Токарно-винторезные станки, как с ручным управлением, так и с ЧПУ, являются наиболее универсальными станками токарной группы для обработки деталей типа валов, дисков и втулок в единичном и серийном производствах. Подвергая их модернизации, т. е. автоматизируя управление, устанавливая загрузочные устройства и т. д., такие станки можно применять и в крупносерийном, и массовом производствах, вплоть до встраивания в автоматические линии. Такой подход должен обосновываться расчетом соответствующих технико-экономических показателей.

Эти станки обеспечивают выполнение следующих *основных видов работ*: обтачивание наружных цилиндрических и конических поверхностей, обработку торцовых поверхностей, прорезку канавок и отрезку, растачивание цилиндрических и конических отверстий, фасонное точение, сверление, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание наружной и внутренней резьб резцами, метчиками и плашками. На этих станках можно производить накатывание рифленых поверхностей, выглаживание и раскатку поверхностей. Применение различных приспособлений еще больше расширяет круг работ, выполняемых на токарно-винторезных станках (можно шлифовать, фрезеровать, сверлить и т. д.).

Компоновка лобовых токарных станков. Для обработки заготовок большого диаметра и небольшой длины в единичном производстве применяют токарно-лобовые станки. При сравнительно небольшой длине имеют планшайбу большого диаметра. На рисунке 3.7 показаны лобовые станки с суппортом, установленным на одной станине со шпиндельной бабкой (рис. 3.7, а), и станки с обособленным суппортом (рис. 3.7, б). Последние станки предназначены для обработки особо крупных деталей, превышающих диаметр планшайбы. Для этого в фундаменте под планшайбой делают углубление. Привод подачи суппорта такого станка осуществляется или от отдельного электродвигателя, или от шпинделя станка через храповые устройства.



a)



б)

Рисунок 3.7 — Токарно-лобовые станки

Так, лобовой токарный модели станок 1Р694 (рис. 3.8) предназначен для обработки торцовых поверхностей деталей тел вращения диаметром до 2 000 мм. Станок *состоит* из плиты (основания), на которую монтируется тумба с установленной на ней передней бабкой, и станины, на которой смонтированы: фартук, каретка, сменный суппорт (токарный или шлифовальный), резцедержатель или шлифовальная головка.

Станина после ее перемещения по плите выставляется при помощи контрольной оправки, вставленной в шпиндель передней бабки, и индикаторной

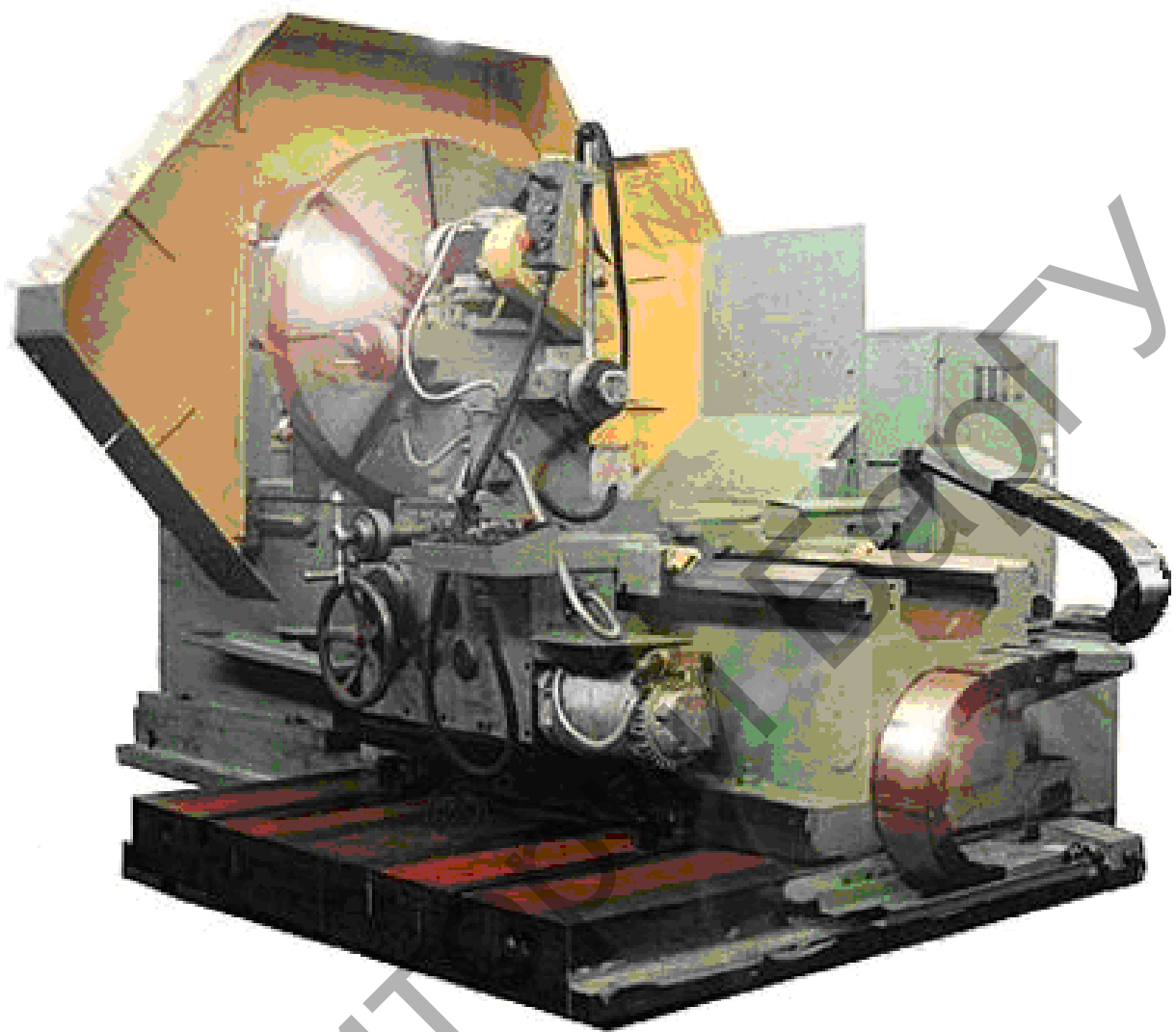


Рисунок 3.8 — Токарно-лобовой станок модели 1P694

стойки, установленной на суппорте. Станок может оснащаться специальным шлифовальным суппортом с собственным приводом перемещения или шлифовальной головкой, которая устанавливается на суппорт станка вместо резцедержателя. Привод подач суппорта осуществляется от регулируемого электродвигателя, который установлен на фартуке и позволяет бесступенчато изменять величину подач суппорта. Главный привод устанавливается на отдельный фундамент, тем самым, уменьшая влияние вибрационных сил.

Ввиду невысокой точности и сложности установки заготовки на вертикальной планшайбе, а также низкой производительности, лобовые станки применяют редко, они вытеснены более совершенными карусельными станками.

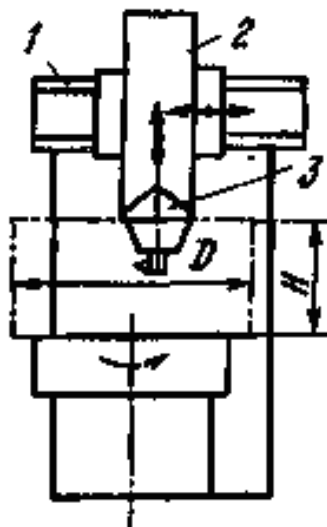
Токарно-карусельные станки: одностоечные и двухстоечные.

Типовые компоновки токарно-карусельных станков обусловлены тем, что их обычно применяют для обработки концентрических деталей больших габаритов и массы, таких как зубчатые колеса больших размеров, диски турбин, маховики, шкивы и т. п., установка которых на планшайбах и в патронах с горизонтальной осью токарных и лоботочных станков затруднена или невозможна. На токарно-карусельных станках планшайба совершает вращательное движение вокруг вертикальной оси, движение подачи сообщается инструменту. На легких и средних токарно-карусельных станках обрабатывают детали с отношением длины к диаметру $L / D \leq 1$, на тяжелых — $L / D \leq 0,5$.

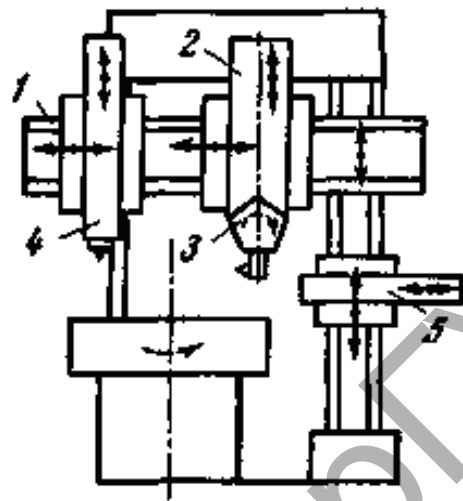
В зависимости от размеров и назначения станки выпускаются *одностоечными* или *двухстоечными* (рис. 3.9). Станки с диаметром обработки до 2 м выполняют, как правило, одностоечными (рис. 3.9, *а* — *в*). Ряд иностранных фирм выпускают одностоечные станки до диаметра обработки в 3 500 мм. В зависимости от высоты заготовки H станки имеют неподвижную (см. рис. 3.9, *а*) или подвижную (см. рис. 3.9, *б*) поперечину 1 (перемещается в период подготовки к работе — «установочно»). В первом случае высота H заготовки значительно меньше диаметра D , а во втором — равна или даже несколько больше диаметра. Часто станки с неподвижной поперечиной имеют один вертикальный суппорт 2 с револьверной головкой 3 . Станки с подвижной поперечиной могут иметь дополнительно вертикальный 4 и горизонтальный 5 суппорты (см. рис. 3.9, *б*). Выпускаются также станки без поперечины (см. рис. 3.9, *в*). Здесь салазки 1 суппорта 2 перемещаются по вертикальным направляющим стойки 3 .

Отдельную группу составляют получающие все большее распространение *перестраиваемые станки* и *станки свободной компоновки* (рис. 3.10), позволяющие создавать из стандартных элементов — модулей — различные компоновки как одностоечных, так и двухстоечных станков, наиболее приспособленных к особенностям конфигурации и размерам обрабатываемых деталей. На рисунке 3.10, *а* — *е* приведены варианты станков перестраиваемой компоновки серии ОК фирмы SCHIESS—FRORIEP.

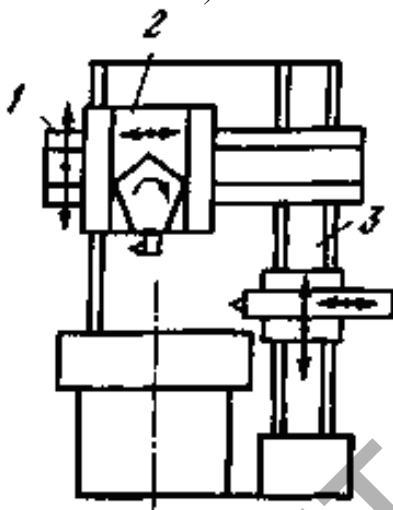
Перестраиваемую модульную компоновку имеют и тяжелые токарно-карусельные станки предприятия RAFAMET (Польша) серии KRB. Эти станки состоят из отдельных модулей-узлов, закрепленных на мощном фундаменте, который воспринимает силы резания. На рисунке 3.10, *ж*, *л* приведены комбинации станков, позволяющие вести черновую и чистовую обработку деталей диаметром до 9 000 мм и массой до 100 т. Портал станка собирают, исходя из требуемой высоты обработки. Сборку производят из коробчатых жестких элементов, скрепляемых между собой шпильками и увязываемыми сверху балкой-поперечиной. Станки могут быть и в одностоечном исполнении.



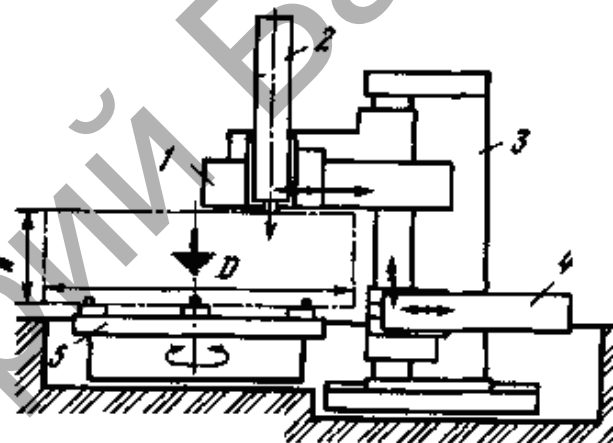
a)



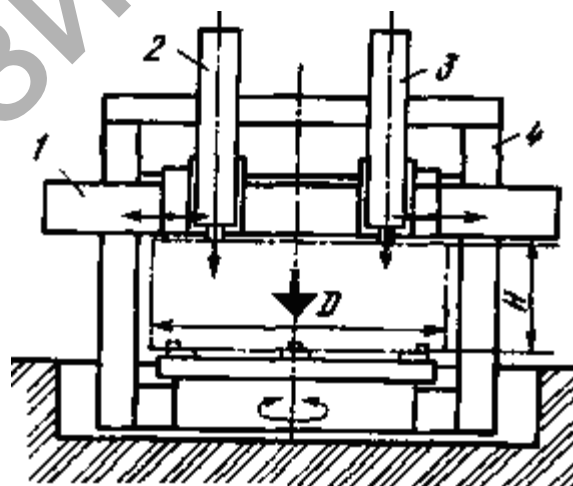
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3.9 — Компоновки токарно-карусельных станков

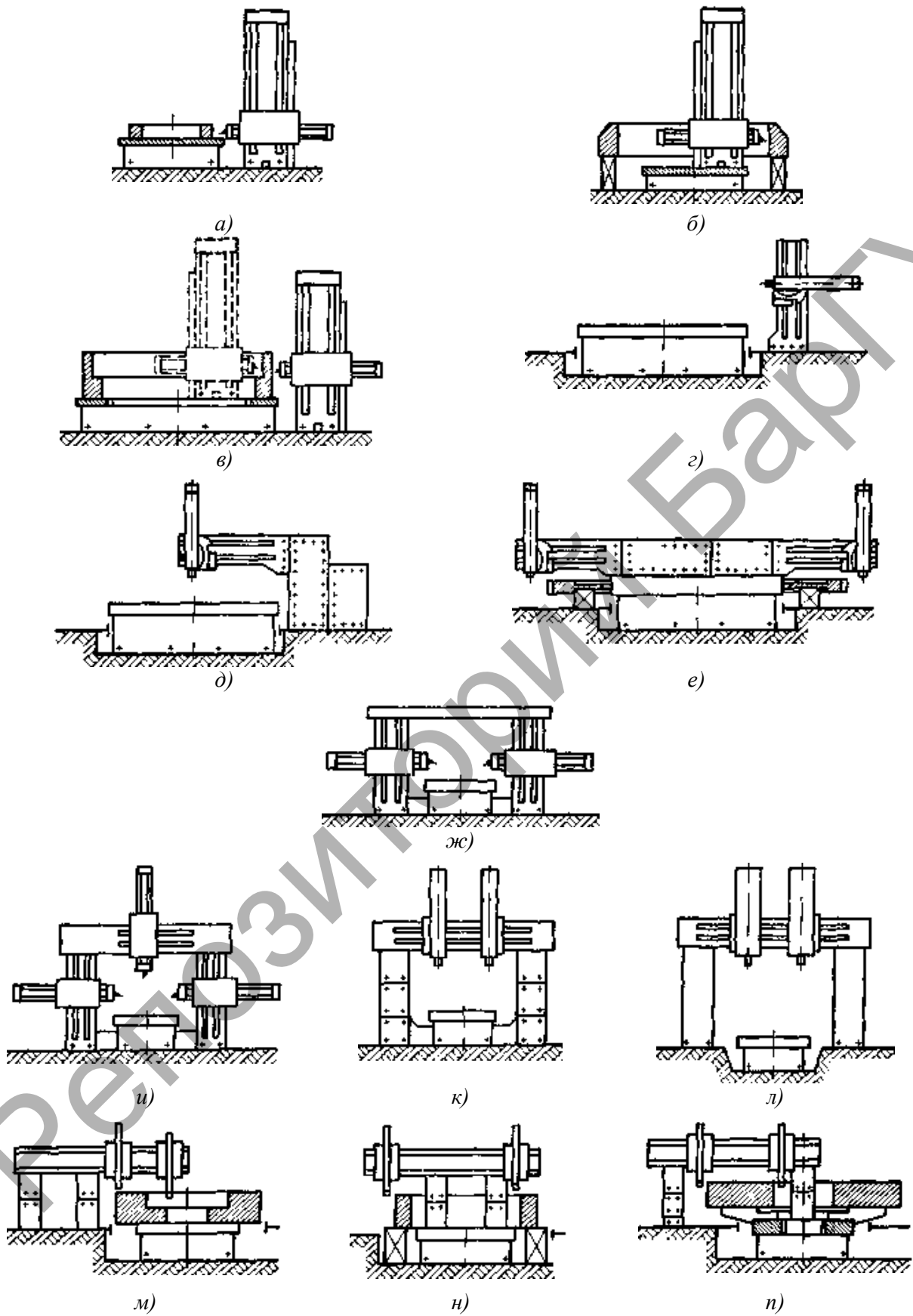


Рисунок 3.10 — Токарно-карусельные станки перестраиваемой компоновки

Фирма TOSHIBA (Япония) выпускает гамму перестраиваемых станков серии TOP различных размеров в зависимости от диаметра и высоты обрабатываемой детали от 5 000 × 3 000 мм до 16 000 × 6 000 мм двухстоечного исполнения с неподвижной поперечиной. Перестраиваемые станки Коломенского завода тяжелого станкостроения позволяют обрабатывать деталь диаметром до 16000 мм и высотой до 2600 мм.

Первый токарно-карусельный станок сделал в 1839 году швейцарец И. Г. Бодмер.

Стол токарно-карусельного станка является наиболее важным узлом, от которого зависят геометрическая точность и шероховатость обрабатываемых деталей. Узел состоит (рис. 3.11) из корпуса стола 1, планшайбы 5 со шпинделем, круговых направляющих и привода планшайбы 8. *Корпус стола* — это чугунная отливка с развитой системой ребер, придающих ему большую жесткость. Для жесткого скрепления со станиной у него есть расположенный по периметру пластик с отверстиями для крепления. На верхней плоскости корпуса стола есть кольцевая канавка, в которую входит соответствующий выступ планшайбы, образуя лабиринт 6. Это препятствует разбрызгиванию смазки и защищает от попадания внутрь стола стружки, чугунной пыли, эмульсии и других загрязняющих элементов. Привод планшайбы осуществляется от коробки скоростей.

Шпиндель, жестко связанный с планшайбой, имеет у малых по размеру станков в качестве опор двухрядные роликовые подшипники 14 с коническим посадочным отверстием внутреннего кольца. Для восприятия вертикальных усилий от массы обрабатываемой детали и планшайбы и вертикальных составляющих сил резания служат плоские кольцевые направляющие из текстолита.

Планшайба 5 представляет собой полый диск с рядом внутренних радиальных ребер. На верхней плоскости планшайбы имеются Т-образные пазы для закрепления зажимных кулачков, специальных приспособлений или для непосредственного крепления обрабатываемых деталей. Для точной установки по центру деталей или приспособлений в планшайбе сделана центрирующая расточка, предохраняемая от забоин специальной заглушкой. Станок в основном исполнении поставляется с планшайбой, имеющей для крепления обрабатываемых деталей, четыре кулачка, каждый из которых может перемещаться независимо от других. Чтобы предотвратить сбрасывание незакрепленных кулачков с планшайбы во время ее вращения, в подошву корпуса кулачка запрессован штырь, головка которого входит в отверстие планшайбы.

Столы у станков с диаметром обработки 2 500 мм и более взамен подшипниковых опор планшайбы все чаще имеют круговые гидростатические направляющие.

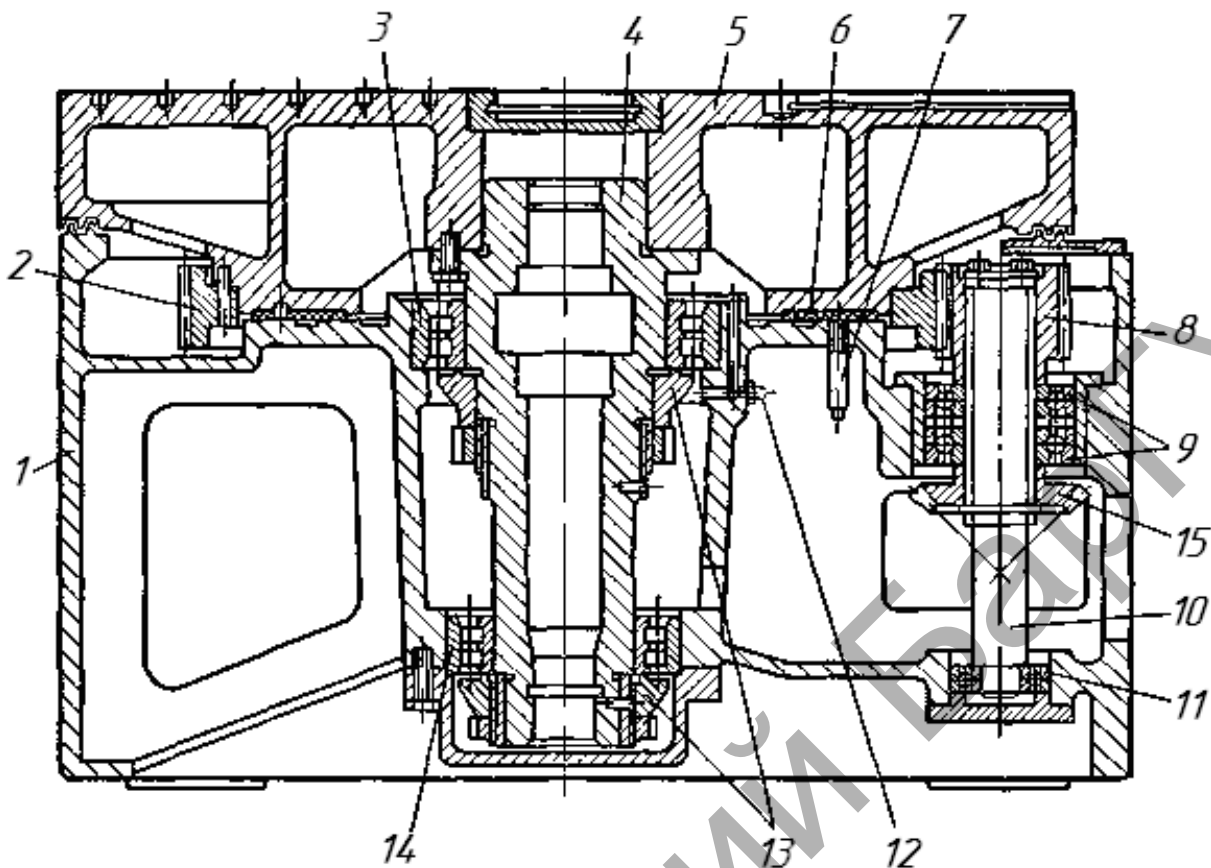


Рисунок 3.11 — Стол токарно-карусельного станка

Расположение и установка инструмента на двухстоечном токарно-карусельном станке. Тяжелые и уникальные станки с диаметром обработки от 4 000 до 20 000 мм двухстоечной компоновки могут иметь перемещающийся портал, что позволяет увеличить диаметр D заготовки. Одностоечные станки (рис. 3.9, *з*) выполняются также с подвижным столом 5 и неподвижной стойкой 3. Основными преимуществами одностоечной компоновки являются значительно меньшие масса, стоимость, занимаемая площадь, удобные загрузка станка крупными заготовками и обслуживание, так как рабочая зона открыта для установки заготовки. На таких станках эффективно используется боковой суппорт 4, который можно устанавливать на минимальном расстоянии от деталей. Недостатком станков является меньшая жесткость, особенно при точении вертикальным суппортом 2 деталей малого диаметра.

Преимуществом двухстоечной компоновки является высокая жесткость несущей системы, позволяющая эффективно использовать два вертикальных суппорта.

Работы, выполняемые на токарно-карусельных станках. Станки являются широкоуниверсальными и позволяют производить различные

виды работ. На станках *средних размеров* (диаметром до 2 500 мм) можно обтачивать цилиндрические, торцовые, конические и фасонные поверхности; сверлить и растачивать центральные отверстия и канавки; нарезать наружные и внутренние цилиндрические и конические резьбы. Для повышения гибкости и производительности станков средних размеров инструмент часто устанавливают в поворотной револьверной головке.

Крупные токарно-карусельные станки с диаметром обработки более 3 000 мм оснащаются различными сменными узлами, устанавливаемыми на суппорт, что позволяет обрабатывать заготовки исключительно сложной формы. Специальные токарно-карусельные станки, изготовленные на базе универсальных, имеют увеличенную или уменьшенную высоту обработки, число и конструкцию горизонтальных и вертикальных суппортов, зажимных устройств, дополнительные приводные головки (фрезерные, шлифовальные, сверлильно-расточные), приспособления и устройства для отсчета углов поворота планшайбы, растачивания глубоких отверстий, прорезания кольцевых пазов и канавок, обтачивания и растачивания конусов, копировальной обработки фасонных поверхностей вращения, нарезания резьбы, работы по упорам и т. д. Ввиду своей уникальности эти станки часто оборудуют системами ЧПУ, которые еще больше расширяют их возможности. С использованием современных систем ЧПУ на станках можно точить, растачивать, фрезеровать, сверлить, шлифовать детали с одной установки и решать другие сложные технические задачи.

Пример комплексной обработки корпусной заготовки *1* с помощью сменных узлов, устанавливаемых вместо резцедержателя *13* на условно изображенном в виде призмы ползуне *14*, приведен на рисунке 3.12, *а*. Подрезка торца осуществляется резцом, установленным в резцедержателе *13*; обработка вертикальных плоскостей и уступов — угловой фрезерной головкой *12*; получение наклонной наружной поверхности на патрубке — поворотной планшайбой *11* с радиальной ползушкой или расточно-подрезным устройством *5*; фрезерование отверстия — с помощью угловой фрезерной головки *10* методом контурного фрезерования; обработка пазов — угловой фрезерной головкой *9*; наклонных плоскостей — головками *7* и *8*; фрезерование по контуру переходных поверхностей — с помощью угловой фрезерной головки *6*; обработка плоскостей разъема — прямой фрезерной головкой *4*; обработка канавок — планшайбой *3*; сверление отверстий — прямой фрезерной головкой *2* или непосредственно шпинделем станка, встроенным в ползун суппорта.

На рисунке 3.12, *б* показана схема обработки резьб большого диаметра (60...300 мм) с использованием приспособления *1* для резьбонарезания.

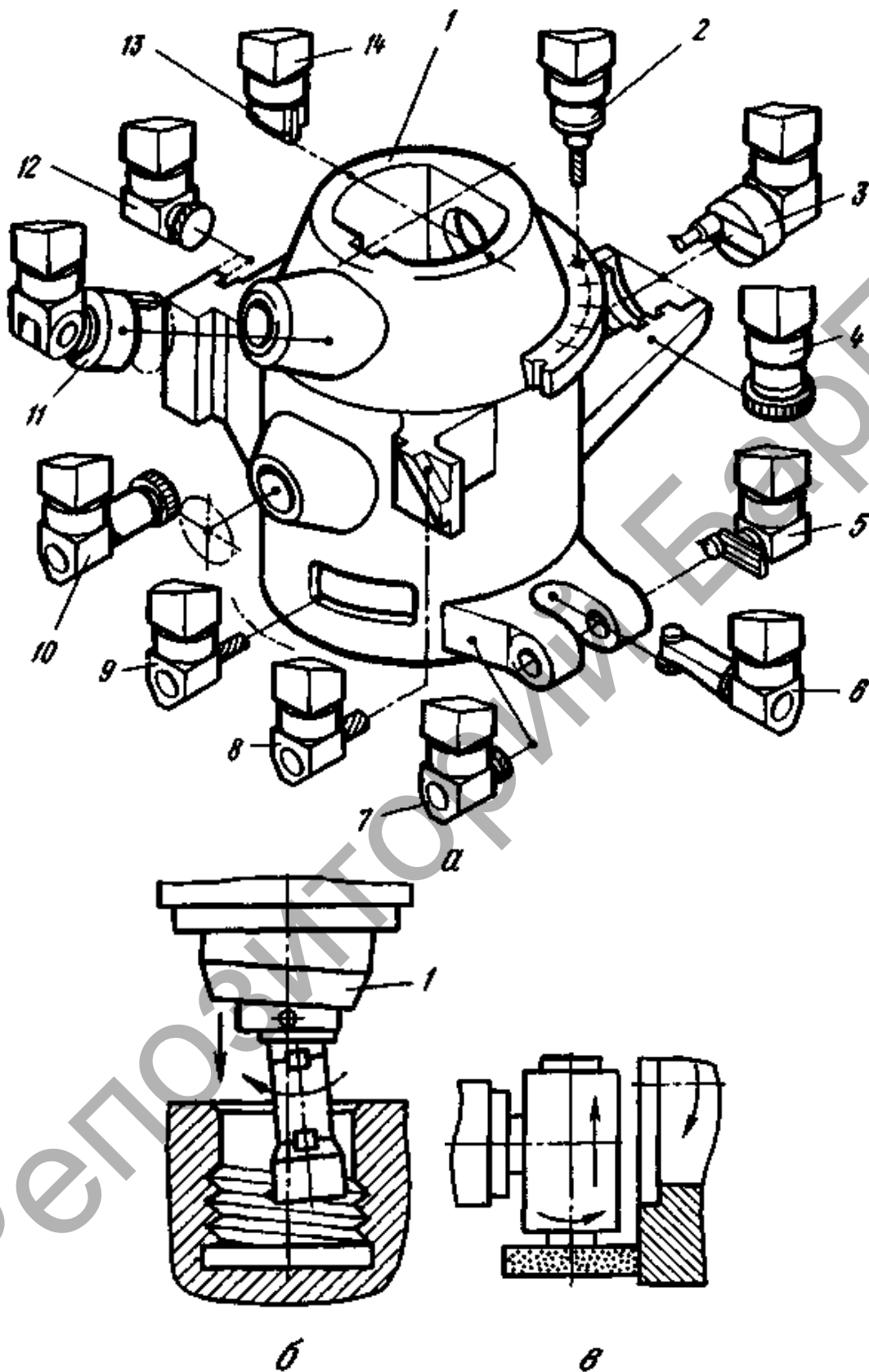


Рисунок 3.12 — Пример комплексной обработки сложной детали на тяжелом станке с использованием сменных узлов

Для осуществления финишных операций устанавливают различные шлифовальные головки (рис. 3.12, в).

Несмотря на большие размеры, станки обеспечивают высокую точность, малое радиальное и торцевое биение планшайбы до 5—10 мкм, что повышает осевую и угловую жесткость, а также виброустойчивость станка. Чтобы обработать торцевые и боковые поверхности карманов и цилиндрические отверстия, оси которых не совпадают с осью вращения заготовки, столы токарно-карусельных станков оснащают устройствами углового позиционирования планшайбы и фиксации ее в заданном положении. Точность углового позиционирования планшайбы при повороте на любой угол составляет от $\pm 5''$ до $\pm 10''$. У современных токарно-карусельных станков стол с закрепленной на нем заготовкой перемещается со скоростью рабочей подачи в направлении, перпендикулярном к плоскости направляющих поперечины; величина этого перемещения обычно не превышает 0,75 наибольшего диаметра обработки.

У крупных станков (с размером обрабатываемых диаметров 10...12,5 м) радиальное и торцевое биение планшайб не превышает 20...30 мкм. Параллельность перемещения ползуна относительно оси вращения детали — 20 мкм. Погрешность траекторий перемещений суппортов на всей длине (5...6 м) (параллельность, прямолинейность) обычно не превышает 40...50 мкм, погрешность позиционирования на всей длине — 40...50 мкм.

Токарно-револьверные станки. Универсальные токарно-револьверные станки применяются для обработки заготовок в виде прутков диаметром до 100 мм и штучных заготовок диаметром до 630 мм (рис. 3.13). Предназначены эти станки для работы в мелкосерийном или серийном производствах, а в случае полуавтоматической или автоматической конструкции — в крупносерийном и массовом.

Все револьверные станки разделяют:

а) по виду заготовки:

- на прутковые;
- патронные;

б) по расположению оси поворота револьверной головки:

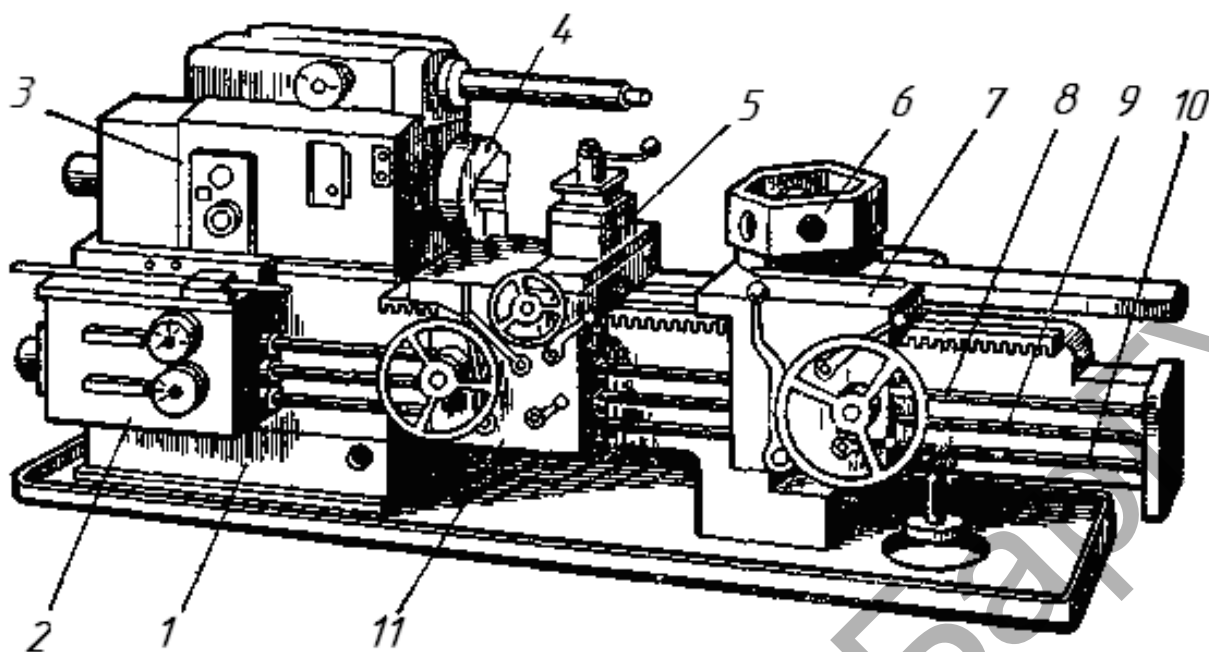
- с вертикальной;
- горизонтальной продольной осью головки;

в) по числу гнезд в головке для размещения инструментов:

- 4-;
- 6-;
- 16-позиционные;

г) по степени автоматизации:

- на обычные;
- полуавтоматы.



1 — тумба; 2 — коробка подач; 3 — коробка скоростей в передней бабке; 4 — патрон на шпинделе; 5 — поперечный суппорт; 6 — револьверная головка; 7 — револьверный суппорт; 8, 9, 10 — ходовые валы; 11 — фартук поперечного суппорта

Рисунок 3.13 — Токарно-револьверный станок модели 1П365

Признаки «а» и «г» могут отражаться в наименовании станка, например, токарно-револьверный прутковый станок или токарно-револьверный патронный полуавтомат и т. п.

По роду обрабатываемых заготовок токарно-револьверные станки классифицируются на:

- *легкие* — для обработки пруткового (круглого, многогранного) материала. В зависимости от диаметра обрабатываемого прутка различают три типоразмера станков: малые (прутки диаметром до 25 мм), средние (диаметром до 40 мм) и крупные (диаметром свыше 40 мм);

- *среднего размера* — для обработки пруткового материала и штучных заготовок;

- *тяжелые станки* — для обработки штучных заготовок в патроне.

Типажом станков предусмотрены токарно-револьверные станки с наибольшим диаметром обрабатываемых прутков 10, 16, 18, 25, 40, 65 и 100 мм. Револьверные станки относятся к третьему типу станков первой (токарной) группы, что отражается в индексе модели: 1П371, 1365, 1Н318, 1А340, 1Н325 и др. Последние две цифры могут обозначать наибольший диаметр обрабатываемого круглого прутка. Например, в приведенных моделях 18, 25, 40 и 65 мм. Патронные станки обрабатывают заготовки

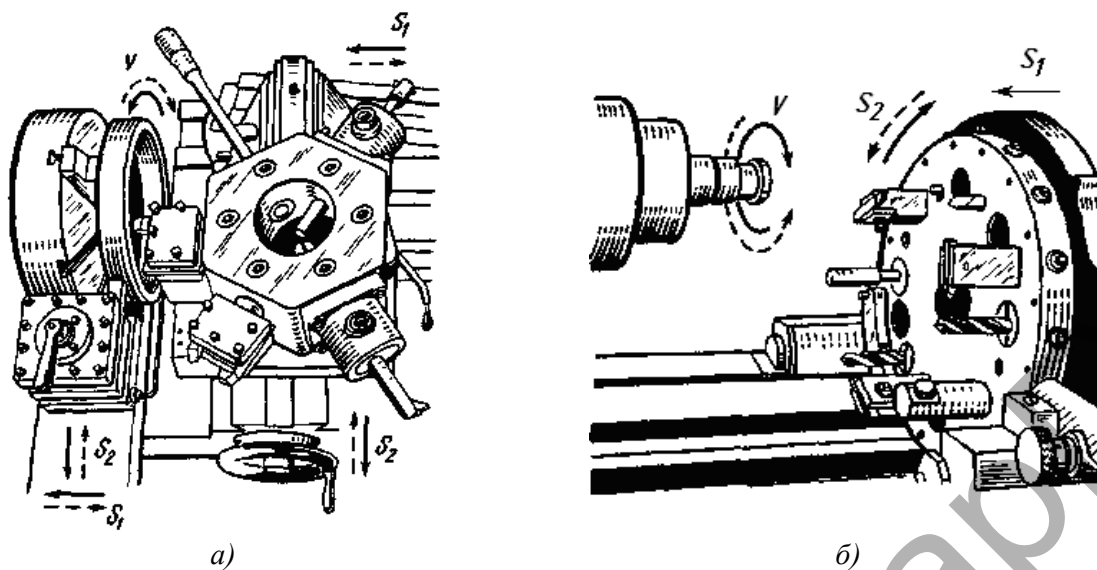
диаметром от 160 до 630 мм. Большую часть составляет оборудование, приспособленное для выполнения обоих видов работ. Наибольший диаметр обрабатываемого прутка и наибольший диаметр обрабатываемой (над станиной и над суппортом) заготовки являются их основной технической характеристикой.

Специальные токарно-револьверные станки отличаются от базовых универсальных удлиненной или укороченной станиной, конструкцией и точностью исполнения шпиндельного узла, диапазонами частот вращения шпинделя, пределами рабочих подач, величинами и скоростью перемещений суппортов и револьверных головок, установочно-зажимными приспособлениями, наличием или отсутствием дополнительных устройств и оригинальных узлов и т. д.

Токарно-револьверные станки предназначены для изготовления деталей, представляющих собой тела вращения сложной конфигурации, с применением разнообразных токарных, сверлильных, расточных, резьбо-нарезных и других инструментов. Основной особенностью револьверных станков является наличие продольного суппорта, несущего многопозиционную револьверную головку, в которой закрепляют различные инструменты в необходимой по технологическому процессу последовательности обработки. Однако, ввиду меньшей, чем у токарных станков универсальности, коробки скоростей и подач ТРС имеют меньшие диапазоны регулирования; привод подачи конструктивно проще, так как не предусматривается нарезание резьбы резцом. По этой же причине отсутствует и ходовой винт с механизмами его включения.

Токарно-револьверные станки имеют более высокую производительность по сравнению с токарными за счет сокращения как машинного времени (применение многоинструментальных державок, совмещение обработки инструментами револьверной головки и поперечного суппорта), так и вспомогательного (уменьшение времени на смену заранее настроенных на размер инструментов, применение быстросействующих автоматических механизмов подачи и зажима прутка, обработка деталей по принципу автоматического получения размеров за счет использования продольных и поперечных упоров и размерного осевого инструмента, автоматизация переключения режимов обработки для всех переходов).

Главным движением v у токарно-револьверных станков является вращение шпинделя, несущего заготовку, а движениями подачи продольное s_1 и поперечное s_2 перемещения суппортов с инструментами. Причем поперечная подача s_2 револьверной головки осуществляется или перемещением поперечных салазок (рис. 3.14, *a*), или ее медленным поворотом (рис. 3.14, *б*). В последнем случае поперечный суппорт, как правило, отсутствует и поперечная подача не прямолинейная, а круговая.



а — с вертикальной осью поворота револьверной головки;
 б — с горизонтальной осью поворота револьверной головки

Рисунок 3.14 — Движения в револьверных станках

Заготовка (пруток) зажимается автоматически в цанговых патронах с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом; штучная отливка или поковка закрепляется в универсальных кулачковых патронах с ручным или автоматизированным приводом.

Для обработки заготовок на револьверных станках в зависимости от серийности производства применяется как нормальный, так и специальный, и комбинированный инструменты, которые закрепляют на поперечном суппорте и в гнездах револьверной головки при помощи различных приспособлений: державок, втулок, патронов, которые частично видны на рисунке 3.14.

Револьверные головки. Привычный токарно-винторезный станок имеет возможность одновременного закрепления как максимум пяти режущих инструментов. Во многих случаях этого недостаточно. В XIX веке в США была предложена для установки на станке револьверная головка, которая может нести значительно большее количество инструмента. По конструкции револьверной головки станки делятся на *станки с вертикальной* и *горизонтальной осями вращения* револьверных головок (рис. 3.14). Револьверные головки бывают *цилиндрическими* и *призматическими*. Горизонтальная ось головки может быть параллельной и перпендикулярной оси станка. Головки призматической формы обычно имеют шесть граней. Инструменты в необходимой последовательности крепят в соответствующих позициях револьверной головки и резцедержателях поперечных суппортов. При наличии специальных державок можно

в одном гнезде револьверной головки закрепить несколько режущих инструментов, что обычно и делается. Все режущие инструменты устанавливаются заранее, при наладке станка, и в процессе обработки они поочередно или параллельно вводятся в работу. После каждого рабочего хода револьверная головка поворачивается и рабочую позицию занимает новый режущий инструмент. Каждый раз при повороте револьверной головки с инструментами происходит синхронный поворот барабана с упорными винтами, регулирующими длину рабочего хода с точностью 0,1...0,2 мм и барабана, на котором установлены упоры включения конечных выключателей командоаппарата, изменяющего частоты вращения шпинделя и величины подачи.

Работы, выполняемые на ТРС. На станках кроме обтачивания и растачивания резцами удобно выполнять последовательные операции сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы с помощью инструментов, устанавливаемых в револьверной головке. Специальными технологическими приемами, в частности групповой обработкой, расширяют область рационального применения револьверных станков в условиях единичного и мелкосерийного производства.

На рисунке 3.15 приведены типовые детали из штучных заготовок, обрабатываемые на токарно-револьверных станках. Можно обрабатывать такие детали, как фланцы, барабаны, шкивы, крышки, поршни и т. д. из штучных заготовок, полученных отливкой, штамповкой или ковкой, либо из прутка круглого, шестигранного или квадратного сечения. Однако надо помнить, что из-за того, что большинство вспомогательных движений выполняется на станке вручную, а производство, где применяется станок, серийное или даже крупносерийное, а оплата труда сдельная и рабочий вынужден работать быстро, то работа на этих станках весьма утомительна и их надо заменять на более совершенные.

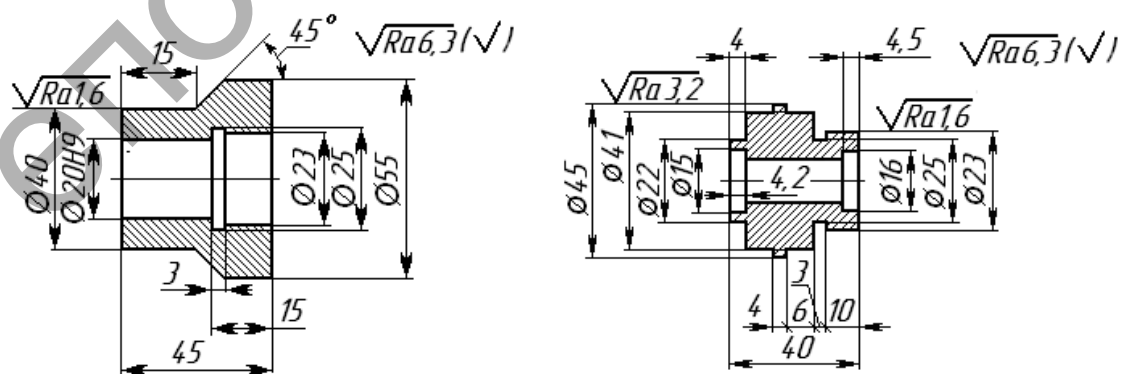


Рисунок 3.15 — Типовые детали, обрабатываемые на токарно-револьверных станках

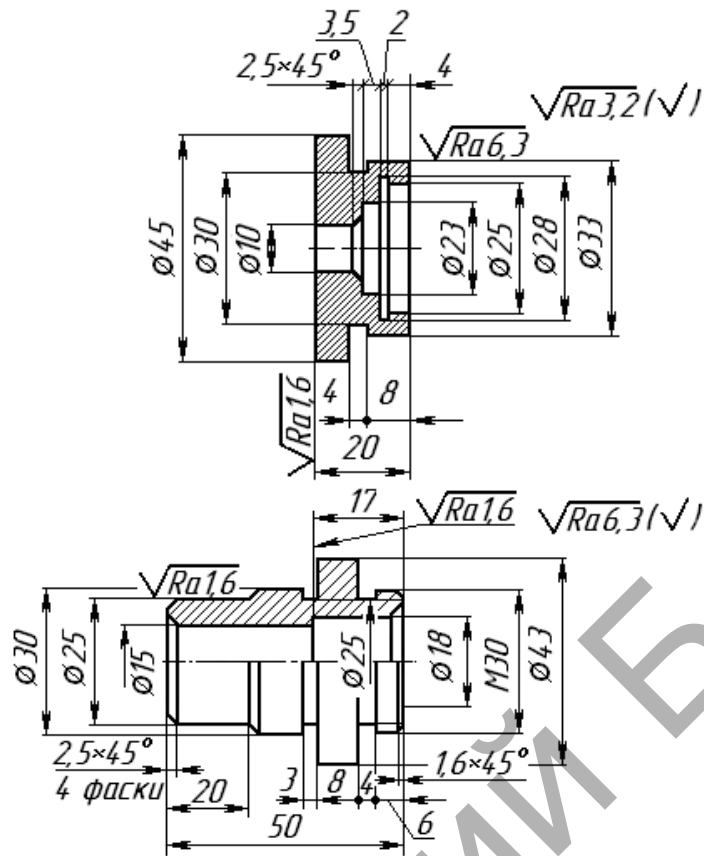


Рисунок 3.15 — Окончание

3.2 Токарные автоматы и полуавтоматы

Классификация токарных автоматов и полуавтоматов. Токарные автоматы и полуавтоматы представляют в группе токарных станков первый (одношпиндельные) и второй (многшпиндельные) типы станков, которые в свою очередь делятся на прутковые (автоматы) и патронные (автоматы и полуавтоматы). По расположению шпинделей — на горизонтальные и вертикальные. По конструктивной компоновке и характеру работы одношпиндельные автоматы делятся на револьверные, продольного точения и фасонно-отрезные, многшпиндельные — на горизонтальные автоматы и полуавтоматы, вертикальные полуавтоматы, которые бывают последовательного и параллельного действия.

В ряде случаев используют автоматы или полуавтоматы узкого назначения, например, для обработки шеек коленчатых или распределительных кулачковых валов либо колец подшипников и других поверхностей или деталей. Другие автоматы и полуавтоматы позволяют обрабатывать широкую номенклатуру поверхностей и деталей — это станки-автоматы универсального вида.

На полуавтоматах установка детали, пуск станка и снятие готовой детали производятся вручную, цикл обработки и остановка станка — автоматически. Автоматы оснащены специальными устройствами для передачи заготовки из зоны загрузки в зону резания, загрузки ее в патрон или цангу, выгрузки из патрона или цанги и транспортирования в зону хранения готовой детали.

Первый токарный автоматический станок сконструировал в 1835 году Джозеф Уитворт.

Виды обрабатываемых деталей. На токарных автоматах и полуавтоматах обрабатывают заготовки двоякого вида:

- прутковые заготовки из калиброванного и некалиброванного проката круглого, шестигранного, квадратного сечений, труб различных сечений и другого подобного материала длиной несколько метров;
- штучные заготовки из отрезанных кусков того же прутка или трубы, отливки, штамповки, поковки и т. п.

На прутковых токарных автоматах целесообразно изготавливать малые детали типа втулок и дисков, используя при этом возможность обработки наружных и внутренних поверхностей вращения в одну установку. Помогает оснащенность специальных автоматов устройствами для соосного и поперечного сверления, центрования, подрезания торцов, протачивания конусов, обтачивания многогранников, нарезания и фрезерования резьб, фрезерования шлицев или лысок, для обработки со стороны отрезания и т. д. В качестве заготовок для автоматов используются прутки разного поперечного сечения, трубы и проволока, свернутая в бунт.

Специальные механизмы станков расширяют их технологические возможности. Например, поддерживающие устройства, обеспечивающие удержание при обработке прутковых заготовок; загрузочные устройства, превращающие полуавтоматы, обрабатывающие штучные заготовки, в автоматы; механизмы, позволяющие выполнять с одной установки операции, не свойственные данному станку: фрезерование, внецентровое сверление, шлифование, нарезание резьб, обработку с обеих сторон и т. д.

Одношпиндельные токарные автоматы подразделяют *по способу обработки* на:

- автоматы продольного точения;
- фасонно-отрезные автоматы;
- токарно-револьверные автоматы.

Фасонно-отрезные автоматы обтачивают вращающуюся заготовку (пруток) резцами, перемещающимися по радиусу заготовки или касательно к ней, т. е. перпендикулярно к ее оси. Автоматы продольного точения обрабатывают вращающуюся и поступательно движущуюся заготовку

(пруток) резцами, перемещающимися по ее радиусу. Сочетание этих движений позволяет обрабатывать фасонные детали большой длины. Револьверная обработка вращающейся заготовки (прутка) проводится последовательно рядом инструментов, закрепленных в револьверной головке.

Управление циклом работы одношпиндельных автоматов осуществляется одним из следующих способов:

- рабочие и холостые ходы выполняются от распределительного вала, равномерно вращающегося в течение всего цикла обработки, со скоростью, определяемой условиями рабочих ходов. Этот способ широко применяется в автоматах фасонно-отрезных и продольного точения. Относится к первому типу работы распределительного вала;

- кроме распределительного вала, управляющего рабочими ходами и частью холостых ходов, автомат имеет быстровращающийся вспомогательный вал, осуществляющий остальные холостые ходы. Такой способ управления циклом применяется в токарно-револьверных автоматах. Относится к третьему типу.

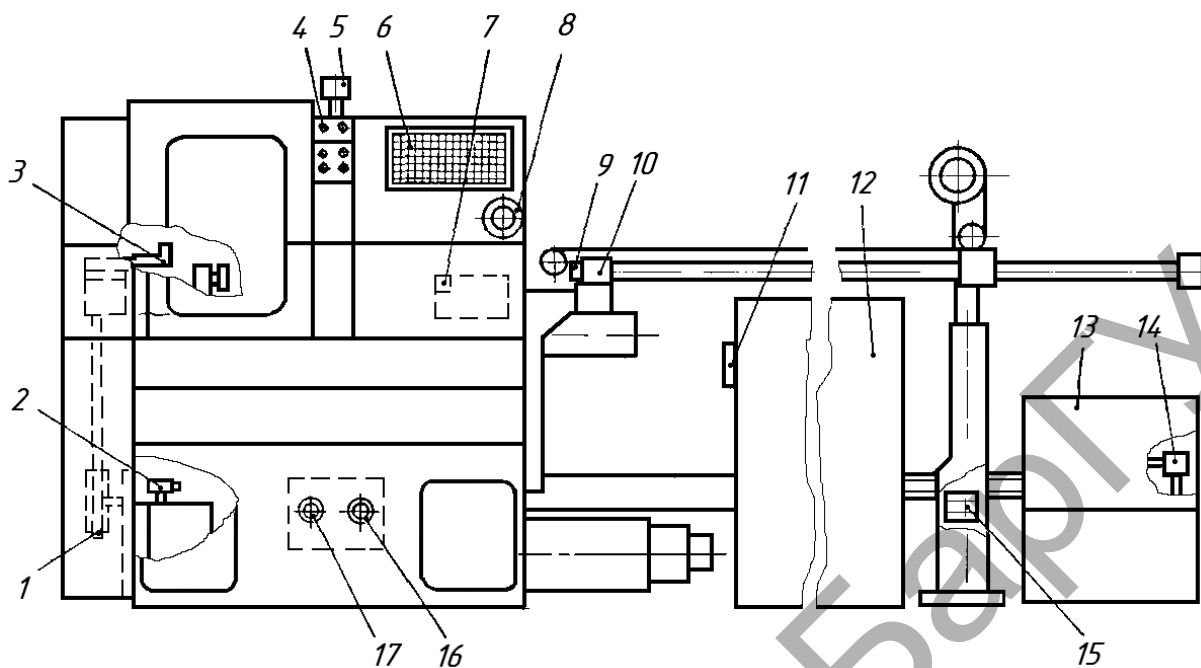
Второй тип, применяемый в частности в многошпиндельных автоматах, характеризуется медленным вращением распределительного вала во время рабочих ходов и ускоренным — во время холостых ходов.

Для мелких работ рекомендуется применение автоматов первой группы. Для мелких и средних работ, требующих сложной последовательности обработки, применяют автоматы третьей группы. Для средних и тяжелых работ — автоматы и полуавтоматы второй группы.

Одношпиндельные автоматы относят по классификации к первому типу, станков первой (токарной) группы, что находит отражение в обозначении моделей этих станков: 1112, 1Б125, 1Д118, 1Ш6П, 11Ф16, 11Ф25, 11Ф40, 1Б140 и т. п.

Схема работы автомата продольного точения. *Продольным точением* называется такой метод обработки, при котором профиль детали обрабатывается неподвижным резцом при продольной рабочей подаче прутка, а также поперечно перемещающимися резцами после прекращения перемещения прутка. При одновременном согласованном перемещении шпиндельной бабки с прутком и поперечных суппортов на этих автоматах можно без применения фасонных резцов обрабатывать конические и фасонные поверхности.

Одношпиндельные автоматы продольного точения модели 1Б10П, 1Б10В, 1Б10А, ЛА155Ф30 (рис. 3.16) предназначены для изготовления методом продольного точения деталей диаметром до 6 мм и длиной до 60 мм из холоднотянутого калиброванного прутка. На автоматах модели 1Б10В и 1Б10А обрабатываются детали сложной конфигурации (например, детали часов и приборов) с точностью по диаметрам 5, 6-го качества, а по длине — не хуже 6-го при шероховатости обработанной поверхности с параметром $Ra = 0,8 \dots 0,4$ мкм.



1 — механизм натяжения ремня главного привода; 2 — рукоятка установки правой и левой резьб; 3 — механизм установки длины резьбы; 4 — наладочный пульт; 5 — сигнальная лампа «Неисправность станка»; 6 — пульт оператора; 7 — реле времени периодической смазки; 8 — маховик ручного перемещения по координатам X и Z ; 9 — винт регулирования длины остатка прутка; 10 — фиксатор поворотной трубы поддерживающего устройства; 11 — вводный выключатель; 12 — шкаф электроавтоматики; 13 — станция гидропривода; 14 — клапан регулирования давления в системе гидропривода; 15 — регулирование усилия подачи прутка в поддерживающем устройстве; 16 — дроссель регулирования скорости поворота трехшпиндельного устройства; 17 — дроссель регулирования скорости выдвижения шпинделей трехшпиндельного устройства

Рисунок 3.16 — Автомат продольного точения с ЧПУ модели ЛА155Ф30

Все суппорты автомата, которых может быть четыре или пять, расположены веерообразно вокруг обрабатываемого прутка. Они имеют только прямолинейное поперечное перемещение (рис. 3.17) и располагаются в непосредственной близости от неподвижного люнета 4, являющегося дополнительной передней опорой для прутка, благодаря чему на автоматах продольного точения можно обрабатывать с высокой точностью достаточно длинные заготовки малого диаметра с отношением длины к диаметру детали $l/d = 20...30$. Оснащение автомата вращающимся люнетом позволяет обрабатывать профильные (квадратные или шестигранные) прутки и труднообрабатываемые материалы, а оснащение его сверлильно-фрезерным устройством обеспечивает поперечное сверление отверстий, продольное фрезерование пазов и лысок.

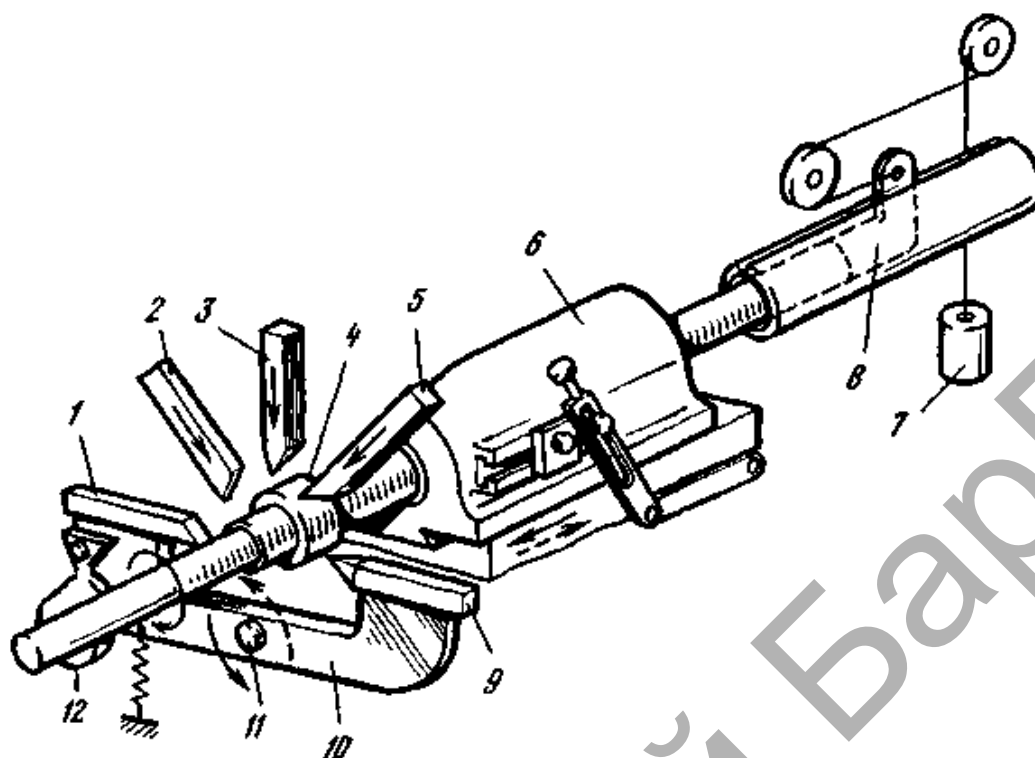


Рисунок 3.17 — Схема работы автомата продольного точения

Вертикальные суппорты 2, 3 и 5, расположенные на специальной стойке, управляются от индивидуальных кулачков распределительного вала. Два горизонтальных суппорта 1 и 9, расположенные на балансира 10, получают качательное движение вокруг оси 11, а балансир с суппортами управляются от одного кулачка 12.

С заднего конца прутки постоянно поджимается толкателем 8 с помощью груза 7 для удержания его в переднем положении при отходе шпиндельной бабки назад. Шпиндель в автоматах продольного точения всегда вращается в одну сторону (имеет левое вращение), и поэтому нарезание правой резьбы на них производится методом обгона.

Система управления станком. Автоматы продольного точения имеют систему управления от распределительного вала первого (с одним медленно вращающимся распределительным валом) или второго типа (двухскоростной распределительный вал). На распределительном валу установлены три кулачка шпиндельной бабки, кулачки вертикальных суппортов и два кулачка балансира. При обработке сложных деталей подача шпиндельной бабки (по аналогии с балансиром) может производиться от двух или трех кулачков, работающих последовательно.

Фирма Gildemeister (ФРГ) выпустила шестишпиндельный горизонтальный автомат ASL-10 продольно-фасонного точения для об-

работки прутков диаметром до 10 мм. Такие автоматы выпускались до этого времени только в исполнении с одним шпинделем. По данным фирмы, автомат ASL-10 по сравнению с одношпиндельными обладает рядом преимуществ, главные из которых — сокращение в среднем в 5—6 раз штучного времени и значительное упрощение и облегчение наладки.

Фасонно-отрезные автоматы (11Ф16, 11Ф25, 11Ф40) предназначены для обработки деталей из прутка диаметром до 40 мм или (1Б023, 1Б032) из стальной (диаметром до 8 мм), или латунной (до 10 мм) проволоки, свернутой в бунт. Детали из проволоки, свернутой в бунт, обрабатываются вращающейся резцовой головкой, причем резцам сообщается независимая радиальная подача. Станок производит очистку и правку проволоки, фасонное точение без продольной подачи, продольное точение, отрезку деталей. Вместо проволоки можно обрабатывать пруток, но его надо поддерживать стойкой. На фасонно-отрезных автоматах делают детали до 100 мм длиной, для которых не нужна высокая точность. У этих станков ни пруток, ни шпиндельная бабка в процессе обработки продольного перемещения не имеют. Обработка ведется методом врезания фасонными, отрезными и другими резцами, установленными в резцовой вращающейся головке (поперечных суппортах).

Резцовая головка автомата получает вращение от основного электродвигателя через клиноременную передачу со сменными шкивами и зубчатую ременную передачу. От второго электродвигателя с помощью второй зубчатой ременной передачи вращение подается на ротор механизма правки круглой проволоки, для закрепления которой служат два зажима: передний и задний, в каждом из которых имеется цанга, сжимаемая пакетом тарельчатых пружин. Освобождение проволоки производится барабанами распределительного вала, который посредством рычагов в нужный момент сжимают пакеты пружин. Перемещение проволоки с ускоренной или рабочей подачей осуществляется цангой, зажимаемой специальным механизмом. Материал подается до откидного упора.

Некоторые станки имеют устройство для продольного точения, а также агрегатные головки для сверления, нарезания резьбы, фрезерования. Выпускаются станки с продольным суппортом, позволяющим при подаче вдоль оси детали сверлить отверстия. Фасонно-отрезные автоматы, имеющие несколько рабочих позиций, могут обрабатывать детали с помощью разных дополнительных приспособлений. Параллельность обработки дает возможность получать детали сложной конфигурации с очень высокой производительностью.

Продольный суппорт фасонно-отрезного пруткового токарного автомата расположен справа от торца шпинделя. Каретка суппорта движется по направляющей вдоль оси шпинделя станка. Т-образные пазы плиты суппорта служат для установки и закрепления различных вспомогательных инструментов и приспособлений.

Принципиальной особенностью автомата модели 1Б10В является то, что при продольной обточке обрабатываемому прутку сообщаются вращательное и поступательное (вдоль оси) движения. Пруток, зажатый цангой, перемещается вместе со шпиндельной бабкой.

Резцы могут перемещаться только в направлении, перпендикулярном к оси материала (рис. 3.18). Фасонно-отрезные автоматы применяются для обработки сравнительно простых деталей небольшой длины в массовом и крупносерийном производстве.

Заготовка закрепляется во вращающемся шпинделе 1 с помощью цангового патрона. Станок имеет два — четыре суппорта 2, перемещающихся только в поперечном направлении и несущих фасонные и отрезные резцы.

Порядок работы инструментов и движение прутка задаются кулачками распределительного вала, рассчитанными и настроенными на данную деталь. Короткие детали могут обрабатываться без применения люнета, при этом шпиндельная бабка подводится к инструменту так, что изделие обрабатывается перед зажимной цангой.

Достоинством автомата является и то, что на нем возможна обработка конусных и сферических поверхностей за счет согласованных и автоматически повторяющихся движений материала и резца. Одной из особенностей схемы является метод нарезания резьбы и сверления. Поскольку вращение заготовки левое, кинематические схемы резьбонарезных устройств рассчитываются таким образом, что резьбонарезной инструмент вращается в ту же сторону, что и главный шпиндель, но с некоторым обгоном (10...30%). После нарезания резьбы на заданную длину шпиндель, несущий резьбонарезной инст-

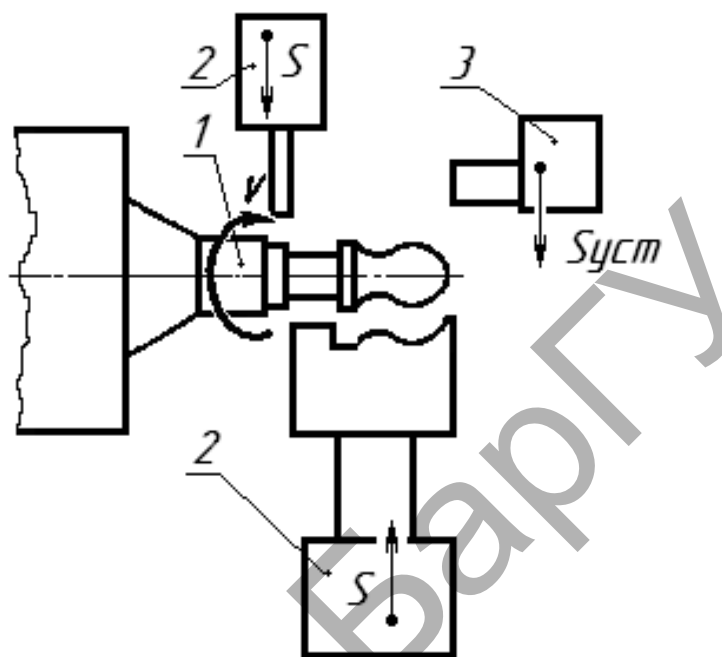


Рисунок 3.18 — Схема работы пруткового фасонно-отрезного автомата

румент, начинает вращаться с меньшей скоростью, чем главный шпиндель (отставание 40—50%), и происходит свинчивание инструмента с изделия. На сверлильный и резьбонарезной шпиндели вращение передается одновременно, но с противоположно направленными скоростями. Таким образом, скорость резания при сверлении равна сумме скоростей сверлильного шпинделя приспособления и главного шпинделя станка.

Для получения детали заданной длины станок снабжен подвижным упором 3, автоматически устанавливающимся по оси шпинделя после окончания цикла. Материал подается с помощью механизма подачи до соприкосновения с упором. Обработка заготовок ведется из труб и прутков круглого, квадратного и шестигранного сечений, а при применении магазинной загрузки — из штучных заготовок. В промышленности применяются фасонно-отрезные автоматы с наибольшим диаметром прутка 16, 25 и 40 мм. На фасонно-отрезных автоматах малого типоразмера (модели 1106, 1Б023 и др.) в качестве исходного материала используется не пруток, а проволока, свернутая в бунт. Заготовка в таком случае не вращается, а вращаются вокруг нее резцы резцовой головки.

Конструктивно фасонно-отрезные автоматы незначительно отличаются друг от друга (рис. 3.19). Шпиндельная бабка 5 и поперечные суппорта 4 смонтированы на станине 2, установленной на массивном основании 1, в котором расположены электродвигатель 6, редуктор, электрошкаф, баки охлаждения и смазки. Все подвижные узлы автоматов закрыты съемными или откидными кожухами 3. На автоматах модели 11Ф25 и 11Ф40 передний поперечный суппорт выполнен крестовым, что позволяет производить продольную обточку заготовок.

Кроме того, они имеют продольный суппорт, на котором устанавливаются головка для крепления центрального инструмента или резцы для продольной обточки, обработки торцов и фасок.

Схема обработки заготовки на таком автомате показана на рисунках 3.20 и 3.21. После отрезки готовой детали резцы вращающейся головки отходят в исходное положение, зажимные устройства разжимаются и проволока подается вперед, выталкивая готовую деталь (рис. 3.21, а).

Затем проволока зажимается, к ней быстро подходят резцы 1, производящие обточку диаметра 2,5 мм и обточку фаски, и резец 2, осуществляющий подрезку торца, отрезку детали и обточку конуса (рис. 3.21, б). Типовые детали, изготавливаемые на таких автоматах, показаны на рисунке 3.22.

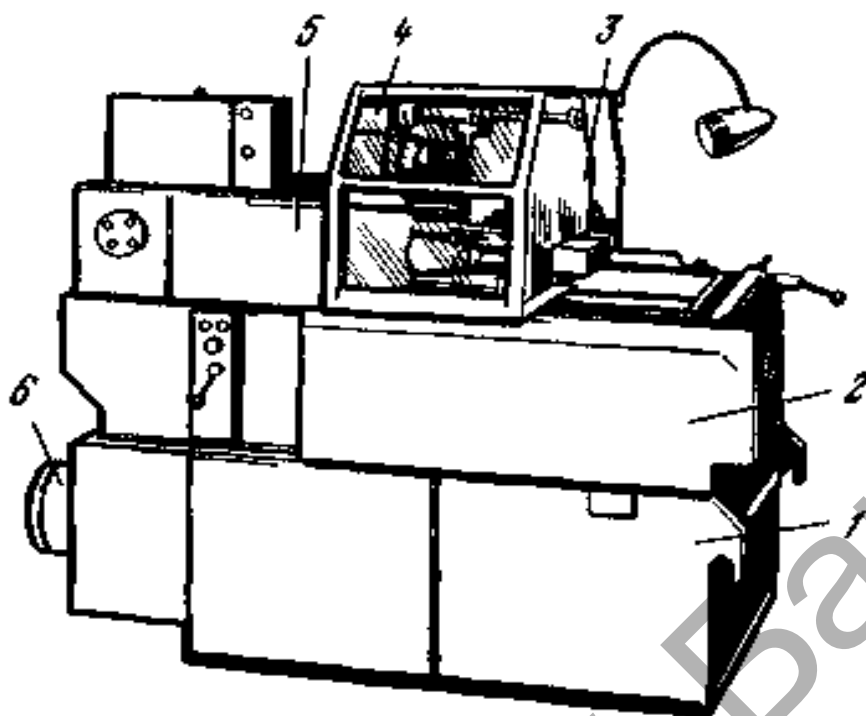


Рисунок 3.19 — Общий вид фасонно-отрезного автомата.

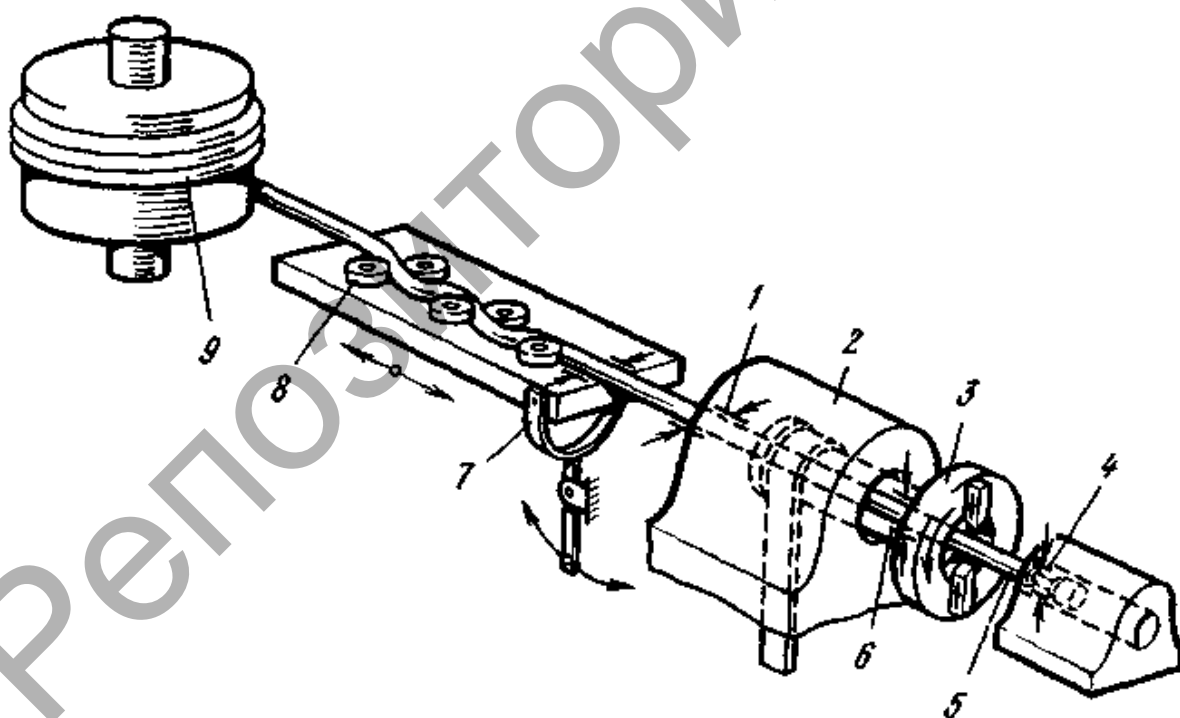
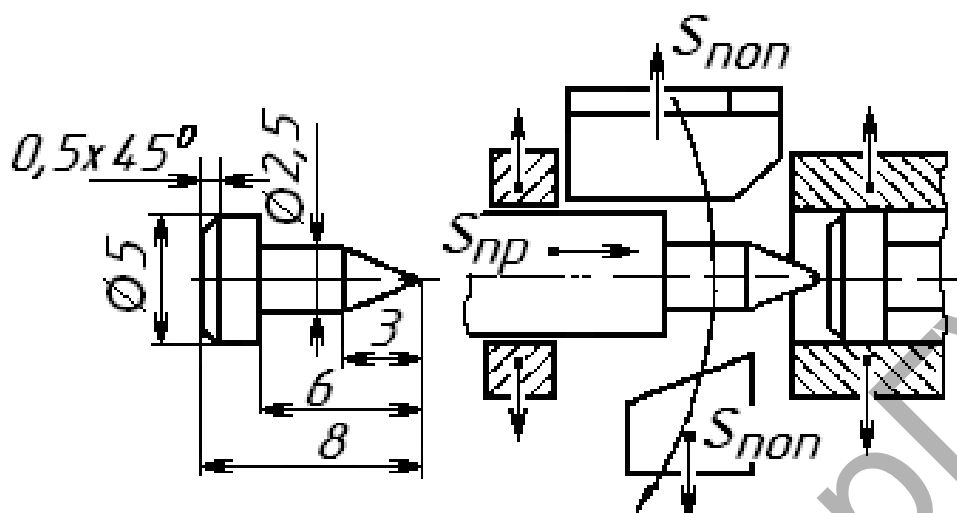
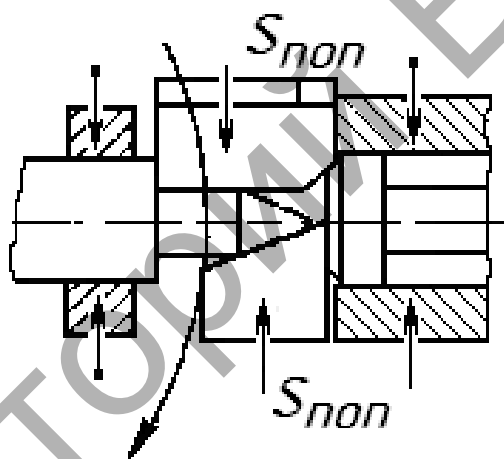


Рисунок 3.20 — Схема работы фасонно-отрезного автомата при изготовлении деталей из проволоки



а)



б)

а — разжим и подача проволоки; б — зажим и обработка заготовки.

Рисунок 3.21 — Схема обработки заготовки на фасонно-отрезном автомате



Рисунок 3.22 — Типовые детали, обрабатываемые на фасонно-отрезном автомате

Всеми исполнительными механизмами автомата управляет распределительный вал, получающий вращение от основного электродвигателя. От рас-

предвала движение передается кулачковому валу, который управляет механизмом правки и задним зажимом. Управление каждым резцом осуществляется от пары кулачков, что позволяет получать с помощью каждого резца по две обточенные ступени с независимой настройкой их диаметра. Величина рабочего хода суппортов и механизма подачи материала регулируется изменением отношения плеч рычагов, а также изменением вылета пальцев, скользящих по профилю кулачков. После обработки и отрезки детали все механизмы станка устанавливаются в исходное положение.

Кинематические схемы фасонно-отрезных автоматов разных моделей не имеют принципиальных отличий друг от друга (рис. 3.23). Они состоят из двух основных цепей: главного движения — привода вращения резцовой головки 18 (или шпинделя с прутком в прутковых автоматах) и привода вращения распределительного вала V. Резцовая головка 18 приводится во вращение от электродвигателя 1 через плоскоремennую передачу со сменным шкивом Φ и шкивом $\text{Ø}110$. Распределительный вал V получает вращение через предохранительную зубчатую муфту 26, цилиндрическую зубчатую передачу 2-3, коническую зубчатую передачу 4-5, сменные зубчатые колеса a и b гитары подач, червячную передачу 9-10.

На распределительном валу V установлены: кулачок 12 механизма 13 подачи и правки материала из бунта 11, кулачок 14 механизма 15 заднего и среднего зажима материала, кулачки 23 и 22 механизмов 16 и 17 подачи поперечных суппортов 19 на резцовой головке 18 и кулачок 21 механизма 20 переднего зажима обрабатываемой заготовки.

Включение и выключение вращения распределительного вала V осуществляется зубчатой муфтой 26. При наладке автомата вращение распределительного вала вручную производится рукояткой 25 через цепную передачу 24—6 и зубчатую передачу 6-7. Диаметр сменного шкива Φ , которым настраивают частоту вращения резцовой головки ($n_{\text{рг}}$) в соответствии с требуемой скоростью резания, определяют из уравнения кинематического баланса цепи главного привода:

$$n_{\text{рг}} = n_{\text{эл}} \Phi / 110, \quad (3.1)$$

где $n_{\text{эл}}$ — частота вращения главного двигателя ($n_{\text{эл}} = 1440 \text{ мин}^{-1}$).

Передаточное отношение сменной пары зубчатых колес a/b находят из уравнения кинематического баланса цепи привода распределительного вала, частота вращения которого ($n_{\text{рв}}$) соответствует продолжительности цикла в секундах ($T_{\text{ц}}$) обработки одной детали:

$$n_{\text{эл}} \cdot 25/52 \cdot 26/40 \cdot a/b \cdot 2/45 = n_{\text{рв}},$$

откуда $a/b = 0,05n_{\text{рв}}$ или с учетом зависимости $n_{\text{рв}} = 60 / T_{\text{ц}}$

$$a/b = 3 / T_{\text{ц}}. \quad (3.2)$$

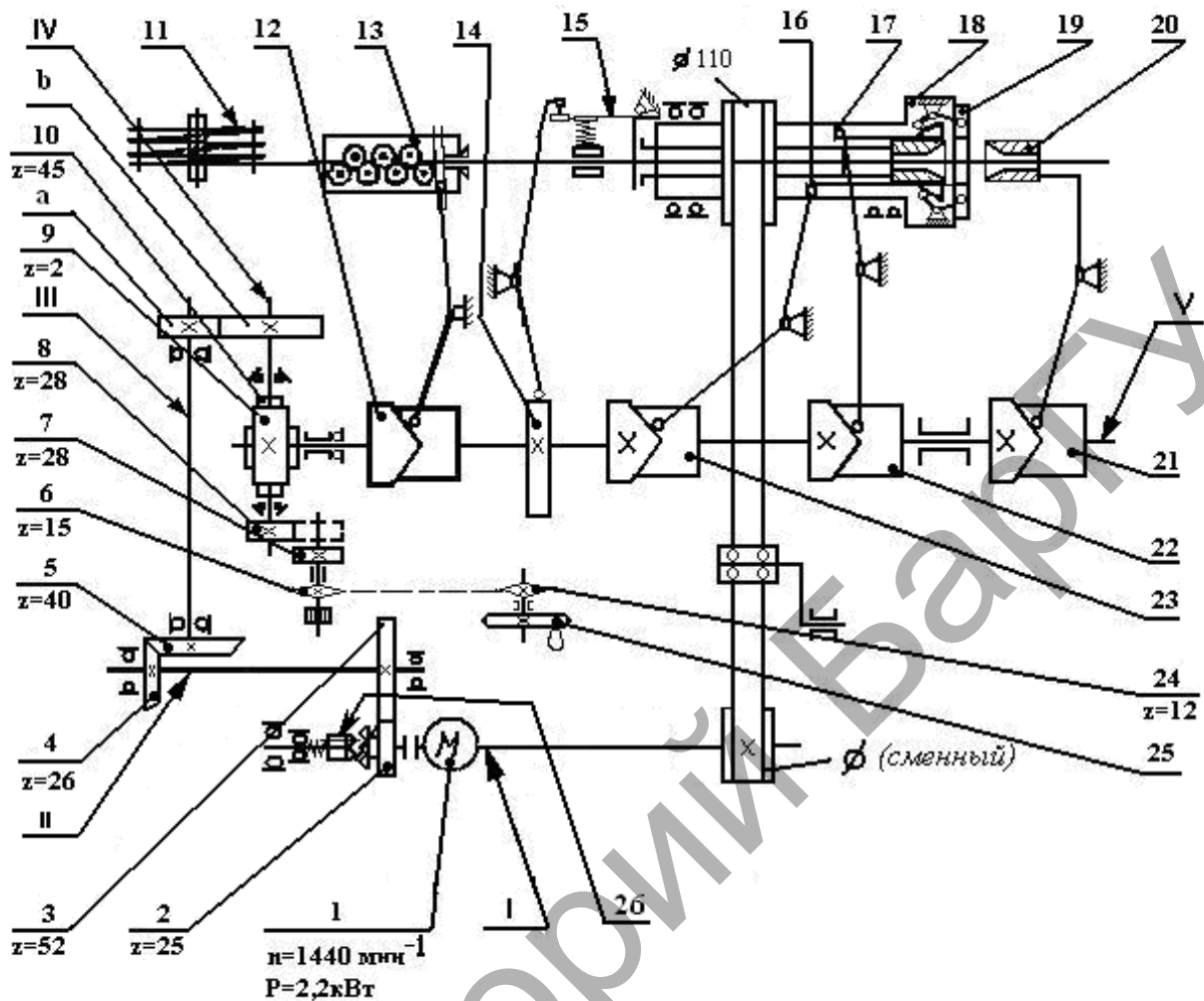


Рисунок 3.23 — Кинематическая схема фасонно-отрезного автомата мод. 1106

Токарно-револьверные автоматы. Принципиальная особенность токарно-револьверных автоматов состоит в том, что они имеют кулачковую систему управления третьего типа, т. е. состоящую из поперечного и продольного распределительных валов. *На продольном распределителе* размещены: барабан переключения командоаппарата, ригельный барабан переключения револьверной головки, ригельный барабан включения подачи и зажима материала, червячная шестерня привода распределителя, блок сменных кулачков подачи поперечных и вертикальных суппортов и барабанный кулачок подачи продольного суппорта. *Поперечный распределитель* несет: кулачок подачи револьверного суппорта, червячную шестерню привода поперечного распределителя, кулачок привода ловителя, ригельный барабан остановки револьверного суппорта в отведенном положении и расцепления мальтийского механизма.

Пруток пропускают через направляющую трубу и закрепляют в шпинделе станка цанговым зажимом. Инструменты устанавливают в револьверной головке и на поперечных суппортах.

На токарно-револьверных автоматах можно производить следующие *виды работ*: черновое и чистовое точение, подрезку, центрование, сверление, расточку отверстий и внутренних канавок, зенкерование, развертывание, нарезку наружной и внутренней резьб, отрезку и ряд других технологических операций. Образцы деталей, обрабатываемых на токарно-револьверных автоматах показаны на рисунке 3.24.

При применении специальных магазинных загрузочных устройств на токарно-револьверных автоматах в патроне можно обрабатывать штучные заготовки, а в полуавтоматическом режиме — при загрузке заготовок вручную.

Инструментами револьверной головки протачивают наружные поверхности, обрабатывают отверстия и нарезают резьбу; инструментами поперечных суппортов обрабатывают фасонные и конусные поверхности, подрезают торцы, снимают фаски и отрезают готовые детали.

Компоновка станка (рис. 3.25). В основании 4 автомата размещены системы смазки и охлаждения, а также коробка скоростей. Сверху к основанию крепится станина 6, на которой смонтирована шпиндельная бабка 1 с расположенным на ней специальным кронштейном для одного или двух вертикальных поперечных суппортов и которая имеет продольные прямоугольные направляющие для револьверного суппорта 3 с шестипозиционной головкой 2 и поперечные направляющие для двух горизонтальных (переднего и заднего) поперечных суппортов. На рисунке поперечные суппорты закрыты ограждением 5.

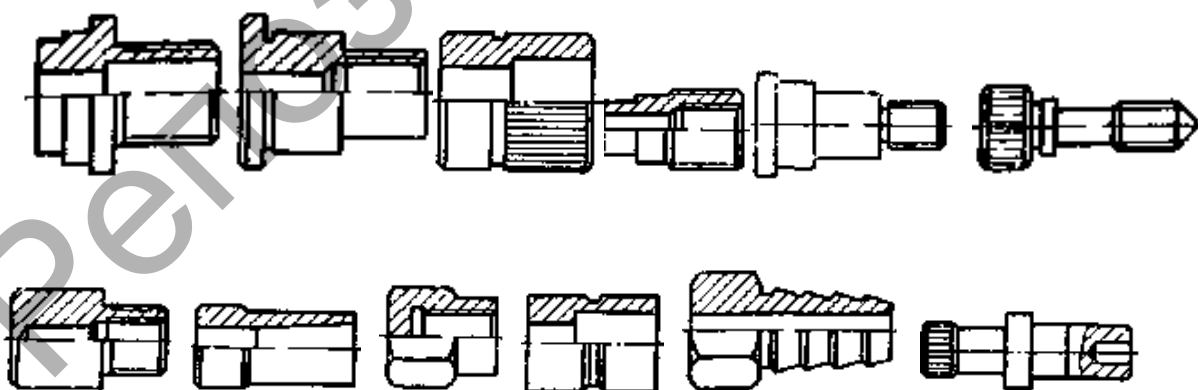


Рисунок 3.24 — Типовые детали, обрабатываемые на токарно-револьверных автоматах

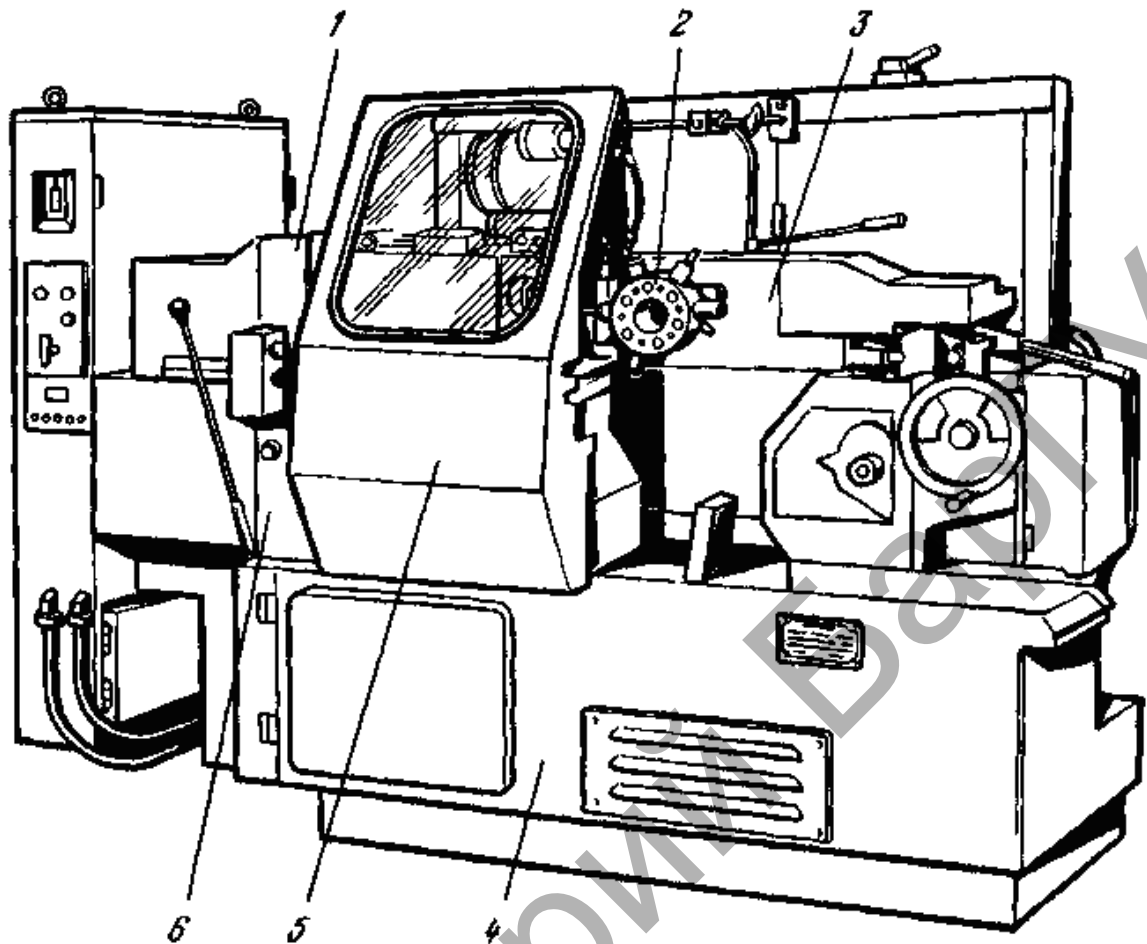


Рисунок 3.25 — Токарно-револьверный автомат модели 1E140П

Кинематическая схема токарно-револьверного автомата на примере модели 1E140 (рис. 3.26). Главное движение шпиндель V получает от электродвигателя 1 через коробку скоростей и клиноременную передачу 6-14. Коробка обеспечивает автоматическое переключение трех скоростей через шестерни 2-3, 79-80, 78-77 с вала I на вал II через электромагнитные муфты при работе обгонной муфты в колесе 80 и реверс выходного вала IV через шестерни 4-5, 76-75, 75-70 посредством электромагнитных муфт. Сменные шестерни 71, 72 служат для расширения диапазона регулирования.

Рабочие и холостые ходы осуществляет электродвигатель 20, передающий движение вспомогательному (ВВ) IX и распределительному (РВ) XV валам. Вспомогательный вал IX получает вращение от электродвигателя 20 через червячную передачу 19-18 при включенной муфте 21. Ее включение и выключение производят вручную. Частота вращения ВВ составляет $1440 \cdot 2 / 24 = 120 \text{ мин}^{-1}$. На ВВ установлены однооборотная муфта 24 и самовыключающиеся

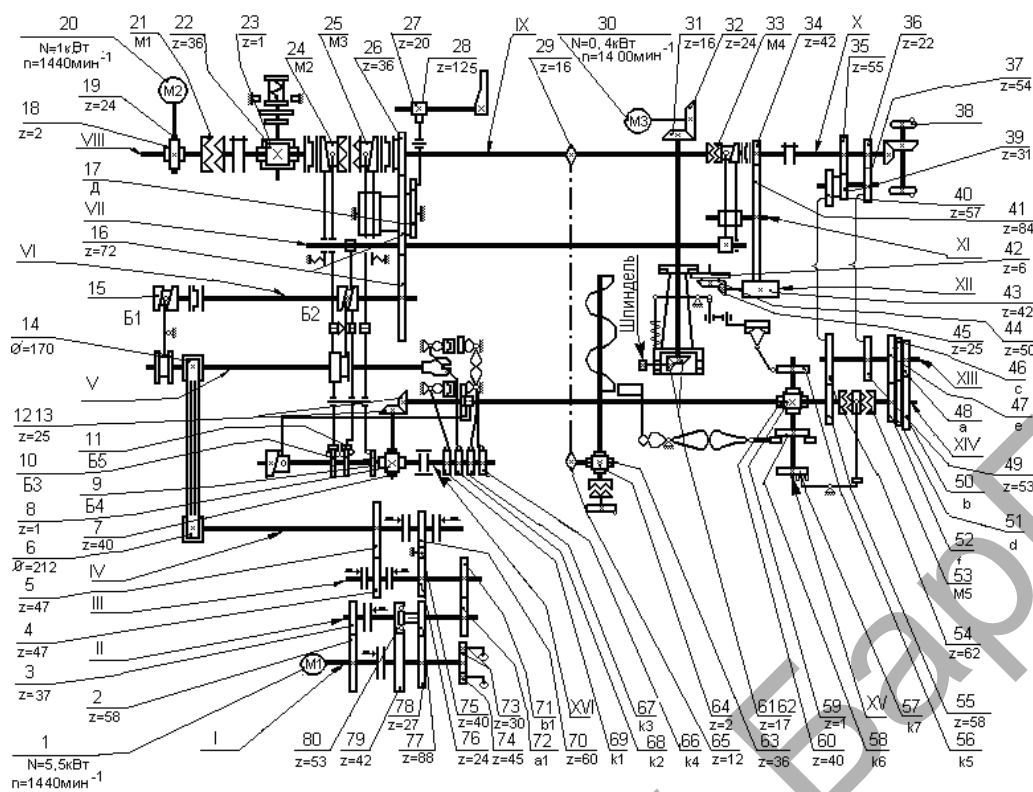


Рисунок 3.26 — Кинематическая схема токарно-револьверного автомата модели 1E140П

после двух оборотов зубчатые муфты 25 и 33. Муфта 24 периодически включает командоаппарат, получающий вращение от ВВ через червячную передачу 22-23. При включении муфты 25 вращение через зубчатые колеса 26-16 передается валу IV, на котором установлены цилиндрические кулачки Б1 и Б2, управляющие механизмами подачи и зажима прутка. С учетом передаточного отношения от вала IX за два оборота муфты 25 вал VI сделает один оборот. Частота вращения вала VI постоянна и равна $120 \cdot 36/72 \cdot 72/72 = 60 \text{ мин}^{-1}$, а время подачи и зажима прутка за один оборот вала VI равно 1 секунде. Через зубчатые колеса 26-16 движение передается на кулачок 17, управляющий через зубчатый сектор 28 и колесо 27 качающимся упором для прутка. При включении муфты 33 вращение передается на мальтийский механизм поворота револьверной головки через зубчатые колеса 34-41 на широкое колесо 43. С этого колеса через коническую передачу 45-44 движение передается поводку мальтийского креста, установленного на одной оси с револьверной головкой (РГ). Торцевой кулачок на конической шестерне 44 выводит фиксатор из РГ. За два оборота муфты 33 поводок совершает один оборот. Мальтийский крест имеет шесть пазов и за один оборот поводка поворачивается на 60° .

Распределительный вал состоит из поперечного вала XV и продольного вала XVI, соединенных между собой конической передачей 12-13. Вращение РВ (XV) получает от ВВ (вал IX) через зубчатые колеса 36-57, 57-49, сменные зубчатые колеса 48-50 (46-51; 47-52) и червячную передачу 59-60. Вращение РВ (продольный вал XVI) получает по той же кинематической цепи до вала XIV и далее через коническую пару 12-13 и червячную передачу 8-7, т. е. частота вращения обеих частей РВ одинакова.

Быстрое вращение РВ осуществляется от ВВ через зубчатые передачи 35-39, 40-54, 54-55, 59-60 при включении цепи быстрого хода муфтой 53. Частота вращения РВ, определяющая время цикла обработки, настраивается сменными зубчатыми колесами. На валу XV установлен дисковый кулачок 56 продольной подачи револьверной головки, кулачок 58 привода приемника Пр деталей и кулачок 57 переключения кулачковой муфты 53. На продольном валу XVI установлены кулачковые барабаны 9, 10, 11 включения зубчатых муфт 24, 25, 33 и дисковые кулачки 66, 67, 68, 69 подачи верхних и горизонтальных поперечных суппортов, цилиндрический кулак подачи вспомогательного продольного суппорта.

Сверлильное приспособление размещается в одном из гнезд револьверной головки РГ, шпиндель которой получает вращение от электродвигателя 30 через две конические передачи 32-31, 61-62 и центральный вал,

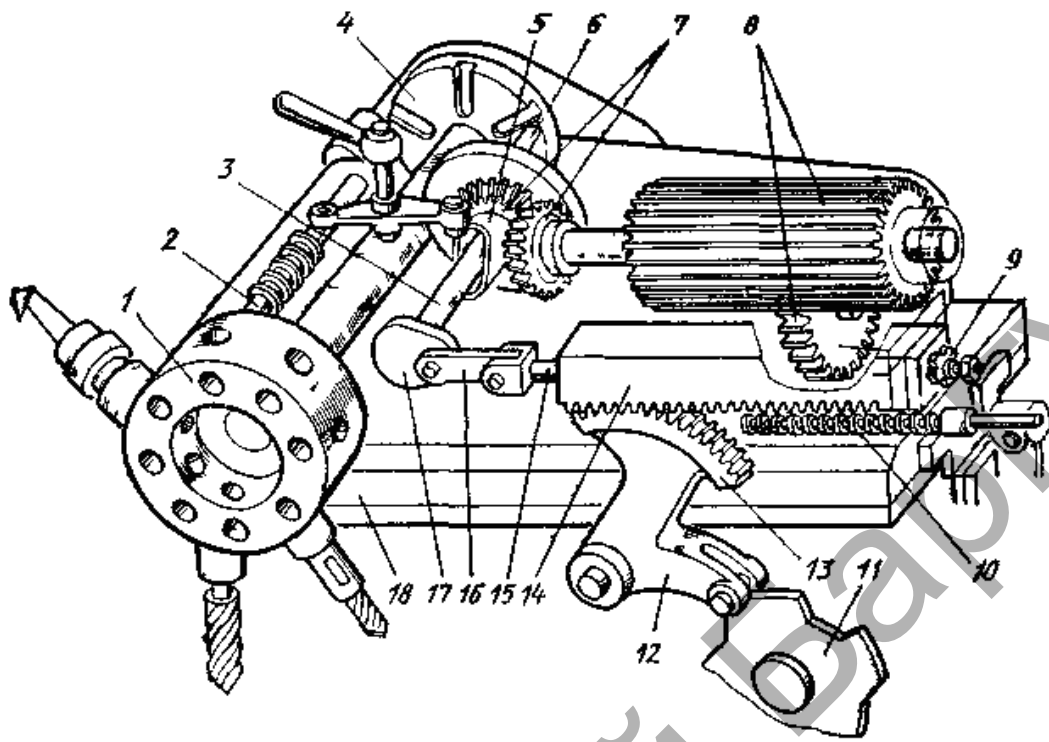
проходящий по оси поворота РГ. Направление вращения шпинделя сверлильного приспособления противоположно к вращению шпинделя автомата и обеспечивает высокие скорости резания при сверлении отверстий малого диаметра.

Устройство суппорта револьверной головки. Продольный суппорт 18 несет револьверную головку 1, имеющую горизонтальную ось вращения, перпендикулярную к оси вращения шпинделя (рис. 3.27). Такая компоновка обеспечивает одновременное размещение инструментов головки и поперечных суппортов в зоне обработки. Рабочий ход суппорта осуществляется в направлении к шпинделю от дискового кулака 11 (рис. 3.27, I) через рычаг 12 с зубчатым сектором 13, зацепляющимся с рейкой 14. Рейка через штангу 1/5 шатун 16 и кривошип 17, которые при рабочем ходе расположены на одной линии в «мертвом» положении, толкает суппорт вперед, сжимая пружину 10.

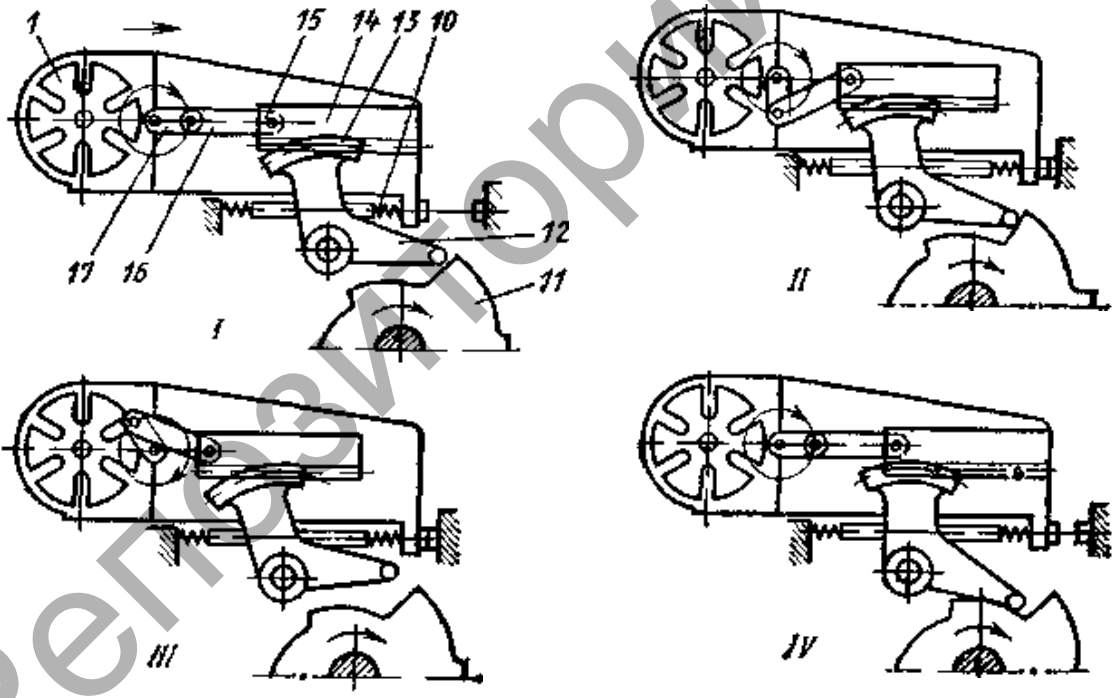
Зона хода суппорта регулируется перемещением штанги относительно рейки через резьбовую втулку 9. Быстрый отвод суппорта происходит под действием пружины при спаде на кривой кулачка 11. К этому моменту включается зубчатая муфта M_3 на вспомогательном распредвале. Вращение ВВ через зубчатую 8 и коническую 7 передачи передается кривошипному валу 3. Суппорт под действием пружины быстро смещается вправо относительно неподвижной рейки 14, замкнутой через секторный рычаг 12 на кулачок 11 (рис. 3.27, II). Отвод суппорта производится до неподвижного упора. Кривошипный валик торцовым кулачком 5 выводит фиксатор 2 из гнезда револьверной головки, а поводок 6, установленный на диске валика, заходит в паз мальтийского креста 4 и поворачивает его с револьверной головкой на 1/6 оборота. В этом положении секторный рычаг 12 отрывается от кулачка 11 (рис. 3.27, III). При дальнейшем вращении валика 3 кривошипно-шатунный механизм распрямляется и секторный рычаг 12 спускается на следующий участок кулачка 11, устанавливая суппорт в новое положение относительно торца шпинделя (рис. 3.27, IV).

Механизм подачи и зажима прутка шпинделя токарно-револьверного одношпиндельного автомата представлен в разрезе на рисунке 3.28. Шкив 3 установлен на подшипниках кронштейна 4 и связан со шпинделем 2, составной частью которого и является механизм. Состоит он из подающей цанги 10, зажимной цанги 12, стакана 11, втулки 13, трубы 9 и механизма подачи трубы, перемещающейся вдоль оси шпинделя.

При перемещении муфты 5 влево длинные плечи рычагов 8 сближаются, а рычаги поворачиваются, опершись на кольцо 7. При этом короткие плечи рычагов смещают вправо зажимную трубу 9 и стакан 11, который своим внутренним конусом сжимает зажимную цангу 12.



a)



б)

a — общий вид; *б* — схема работы: I — начало отвода; II — окончание отвода; III — поворот мальтийского креста головки; IV — рабочий ход

Рисунок 3.27 — Продольный суппорт с револьверной головкой

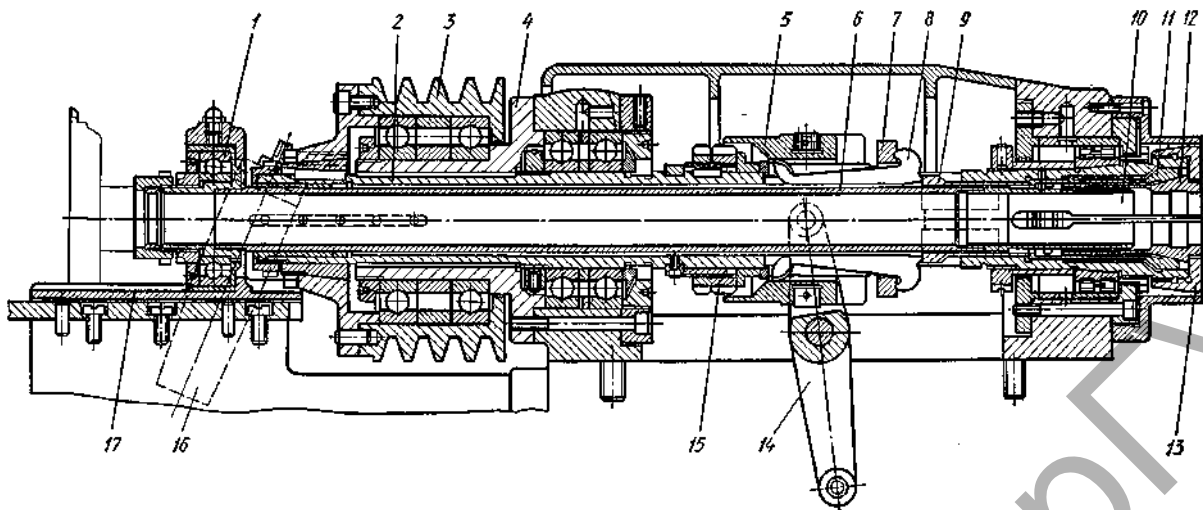


Рисунок 3.28 — Шпиндельная бабка и механизм подачи прутка автомата модели 1Е140П

Зажим заготовки начинается когда подающая цанга находится в правом положении. Кулачок, установленный на барабане Б4 (см. рис. 3.26), воздействует через рычаг на муфту M_3 . Под действием пружины она перемещается влево, входит в зацепление с полумуфтой, закрепленной на вспомогательном валу, и начинает поворачиваться, передавая вращение через колеса $z = 36$ на барабаны Б1 и Б2, которые за один оборот перемещают рычагами 14 и 16 (см. рис. 3.28) муфту 5 и салазки 17. Салазки смещаются влево на величину подачи прутка, а лепестки подающей цанги проскальзывают по заготовке. После этого муфта 5 отходит вправо, освобождая зажимную цангу 2 и пруток, а салазки 17 с трубой 6, подающей цангой и прутком перемещаются вправо, и пруток доходит до откидного упора, который устанавливается в это время против торца шпинделя. После этого муфта 5 перемещается влево, и цанга 12 зажимает пруток.

Аналогичный механизм, но с необходимыми конструктивными изменениями, используется в токарно-револьверных станках типа 1341, в многошпиндельных горизонтальных токарных автоматах модели 1А240-П6.

Многошпиндельные автоматы. Многошпиндельные станки появились в 1895 году. По компоновкам автоматы делятся на *вертикальные* и *горизонтальные*. У первых шпиндели в блоке располагаются вертикально, у вторых — горизонтально. Применяются они в массовом и крупносерийном производстве. Конструктивные изменения, внесенные в современные модели автоматов, позволяют использовать их в мелкосерийном производстве, особенно при применении группового метода обработки.

Автоматы с вертикальной компоновкой появились как результат поисков конструкции, занимающей минимальную площадь. Однако эти станки не получили широкого распространения из-за неудобства загрузки их заготовками. Загрузку производят со специальных высоко поднятых площадок, построенных вокруг них.

Автоматы с горизонтальной компоновкой типа рамы — это станки, у которых базовые детали — станина, корпус шпиндельного блока, коробка передач и траверса — образуют жесткую раму. Внутри этой рамы располагаются зажимные патроны для обрабатываемого материала и суппорты для установки на них различных инструментов и устройств. Высокая жесткость конструкции автоматов позволяет обрабатывать на них заготовки на повышенных режимах с применением твердосплавных режущих инструментов.

Между токарными горизонтальными автоматами рядов 1Б240, 1Б265 и 1Б290 как представителями станков с верхним расположением распределительного вала существует большая степень типизации различных узлов и механизмов. Автоматы рядов 1216 и 1Б225 имеют нижний разветвленный распределительный вал.

Фирма Асме (США) выпускает многошпиндельные автоматы с очень жесткой массивной рамой и предельно простыми приводами суппортов. Нижние поперечные и продольный суппорты приводятся в движение непосредственно от кулачков барабанного типа, а верхние и средние поперечные суппорты имеют в приводе по одному рычагу. При каждой переналадке станка необходимо проектировать, изготавливать и устанавливать на станок новые комплекты кулачков. К достоинствам этой конструкции относятся высокая жесткость приводов суппортов. Недостатком такой системы является затрудненный сход стружки в приемную зону транспортера, так как через эту зону вдоль оси станка проходит главный участок распределительного вала. Это особенно ощутимо на станках средних и крупных размеров, где объем снимаемой при обработке стружки велик.

Для устранения этого недостатка фирма Соне (США) разработала конструкцию и изготавливает прутковые автоматы с верхним расположением распределительного вала. Барабаны с кулачками приводов поперечных суппортов располагаются на двух вертикальных участках распределительного вала. От кулачков через жесткий рычаг, имеющий форму диска, получает движение каждый из поперечных суппортов. При рассмотрении конструкции суппортов с приводами становится очевидным, что все силы были направлены на получение максимальной жесткости этих узлов. С этой целью суппорты прямоугольной коробчатой формы врезаны в корпус шпиндельного блока. Для повышения жесткости конструкции направляющие суппортов максимально приближены к рычагам приводов. Однако такая конструкция суппортов не позволяет построить на базе автоматов

полуавтоматы. Поэтому фирма Cone полуавтоматов не изготавливает. Переналадка этих автоматов осуществляется только путем замены кулачков.

По мере того как совершенствовались конструкции автоматов и познавались их достоинства, начинала проявляться тенденция к применению их не только в массовом и крупносерийном, но и в среднесерийном производстве. Однако система сменных кулачков в большинстве случаев делала экономически нецелесообразным применение автоматов в среднесерийном производстве. Для расширения области применения многошпиндельных автоматов вплоть до серийного производства фирмой Gildemeister был разработан автомат с регулируемым приводом поперечных суппортов. От кулачков распределительного вала движение суппортам передается через систему рычагов, связанных между собой тягами. Эта система позволяет выбирать величину хода суппорта при одном кулачке в определенных пределах. Привод продольного суппорта нерегулируемый и осуществляется непосредственно от кулачков барабана, сидящего на едином, имеющем верхнее расположение распределительном валу.

Фирмой Wickman (Англия) выпускаются автоматы, имеющие регулируемые приводы всех суппортов, не требующие замены кулачков. Эти станки легко переналаживаются, что позволяет использовать их не только в среднесерийном, но в ряде случаев и в мелкосерийном производстве. Однако приводы эти очень сложны по конструкции.

На токарных автоматах должно быть обеспечено надежное закрепление заготовок по заданным базам при ограниченных размерах зажимных элементов и минимальном влиянии силы зажима на обрабатываемую деталь.

Для этой цели используются цанговые зажимные устройства, позволяющие закреплять заготовки различного профиля. Применяют три типа зажимных цанг (рис. 3.29). Для закрепления заготовки в цанге первого типа (рис. 3.29, *a*) необходимо вдвинуть цангу 1 в гайку 2, имеющую обратный конус и закрепленную на шпинделе.

Недостатками такой схемы закрепления являются возможность самопроизвольного зажима прутка при его подаче, снижение жесткости зажима под действием осевых сил резания и повышенное давление на упор во время зажима цанги. Цанги первого типа применяются редко. Зажим заготовки в цанге второго типа (рис. 3.29, *б*) происходит при втягивании ее в коническое отверстие шпинделя. Цанги этого типа имеют малый габарит, от сил резания усилие зажима в цанге увеличивается, что исключает проскальзывание материала. Недостатком цанг второго типа является отскок прутка от упора при зажиме цанги. Они находят широкое применение в токарных многошпиндельных автоматах. Зажим заготовки в цанге третьего типа (рис. 3.29, *в*).

Под действием осевых зажим заготовки в цанге третьего типа (рис. 3.29, *в*) происходит за счет осевого перемещения втулки с коническим

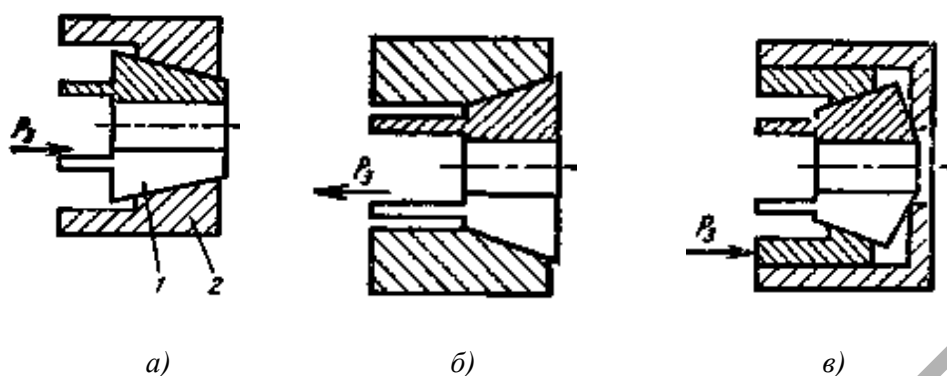


Рисунок 3.29 — Типы зажимных цанг

отверстием при неподвижной зажимной цанге. Цанги третьего типа обеспечивают точное положение и центрирование и имеют высокую жесткость; недостатком их является увеличение габаритных размеров зажимного узла, поэтому они применяются в одношпиндельных токарных автоматах.

Назначение. Многошпиндельные токарные полуавтоматы и автоматы (рис. 3.30) широко применяют в серийном и массовом производстве. Их подразделяют: по виду заготовки (прутковые и патронные); по принципу работы (станки последовательного, параллельного и последовательно-параллельного действия); по расположению шпинделя (горизонтальные и вертикальные). Наибольшее распространение получили многошпиндельные автоматы и полуавтоматы последовательного действия. На таких станках заготовки с загрузочной позиции периодическим поворотом шпиндельного блока последовательно подводятся к рабочим позициям и одновременно обрабатываются на них инструментальными группами в соответствии с технологическим процессом (ТП).

Многошпиндельные токарные горизонтальные автоматы выпускаются 17 разных размеров. Каждый из них предназначен для обработки прутковых заготовок или труб диаметром от 16 до 160 мм. Конструкция автоматов выполнена с учетом возможности встраивания их в автоматические линии. Шестишпиндельные и восьмишпиндельные автоматы, в отличие от четырехшпиндельных, можно настраивать для работы с двойной индексацией, т. е. шпиндельный блок или стол могут поворачиваться не на одну позицию, а на две, что ускоряет процесс обработки. Можно обрабатывать одновременно две одинаковые детали, одну деталь, но с двух сторон или две разные детали.

Горизонтальные многошпиндельные прутковые автоматы предназначены для изготовления различных деталей из калиброванных прутков круглого, квадратного, шестигранного сечений и труб из стали и цветных сплавов различных марок. Номенклатура деталей, которые могут быть полностью или частично обработаны на автоматах и полуавтоматах, очень велика.

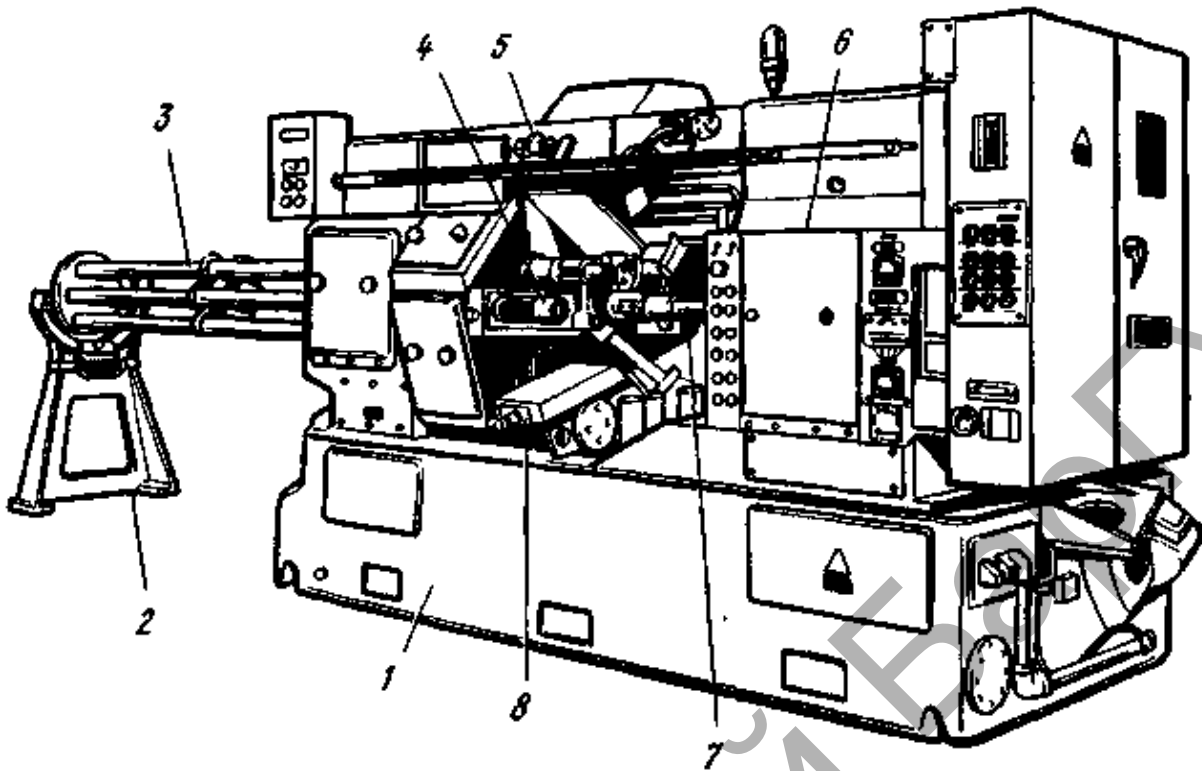


Рисунок 3.30 — Общий вид шестишпиндельного токарного автомата

Это различной формы штуцеры, золотники, клапаны, корпуса вентиля, шкивы, маховики, ступенчатые втулки и валы, фланцы и корпуса небольших электродвигателей, поршни, шаровые пальцы, корпуса водяных насосов, различные детали двигателей и коробок передач автомобилей и т. д.

На токарных автоматах можно производить следующие *работы*: черновое и чистовое точение, подрезку, центрование, сверление, растачивание, зенкерование, развертывание, нарезание наружной и внутренней резьб, отрезку и ряд других работ. При необходимости автоматы и полуавтоматы могут быть оснащены следующими *приспособлениями*: 1) для нарезания резьбы резцом; 2) для сверления эксцентрично расположенных отверстий; 3) для прошивки квадратов или многогранников; 4) для точения и растачивания конусов, внутренних канавок; 5) для сверления отверстия со стороны отрезки и обработки торца без заусенцев; 6) для фрезерования шлицев и лысок; 7) для поперечного сверления с механизмом останова шпинделя; 8) для обтачивания многогранников; 9) для нарезания резьбы гребенкой; 10) для накатывания резьбы; 11) для фрезерования торцовых пазов с механизмом для останова шпинделя; 12) для фрезерования резьбы (внутренней и наружной); 13) для точения эксцентриков; 14) для точения по сфере; 15) для изготовления червяков; 16) резьбонарезной

головкой; 17) для суперфинишной обработки внутренних и наружных поверхностей; 18) для вывода сверла при глубоком сверлении.

Схема работы многошпиндельного автомата последовательного действия модели 1Б265-6К. Все токарные горизонтальные многошпиндельные автоматы работают по одному принципу: вокруг блока шпинделей расположены четыре, шесть, восемь поперечных суппортов, а по центральному валу перемещается общий для всех шпинделей продольный суппорт. Он выполнен, как правило, в виде многогранника, на каждой грани которого устанавливаются державки с соответствующими инструментами. Поперечные суппорты получают подачу от индивидуальных кулачков, а продольный суппорт — от одного общего кулачка.

В случае необходимости на продольном суппорте могут быть установлены скользящие державки с режущими инструментами, получающие подачу от индивидуальных кулачков, расположенных на барабане независимых устройств. Здесь же могут устанавливаться инструментальные шпиндели с независимым приводом вращения.

При обработке на многошпиндельном автомате все операции технологического процесса распределяются равномерно по позициям, которых может быть четыре, шесть или восемь. Обработка производится различным режущим инструментом при последовательном прохождении шпинделей через все позиции автомата.

На последней позиции происходит отрезка готовой детали и подача прутка для изготовления следующей детали.

Новые модели автоматов позволяют осуществлять фрезерование и поперечное сверление при остановленном шпинделе, подачу прутка в двух противоположных позициях и другие работы

Многошпиндельный автомат последовательного действия модели 1Б265-6К (рис. 3.31) имеет шесть шпинделей 6, расположенных по окружности в едином шпиндельном блоке 1 и получающих вращение с одинаковой частотой от главного привода через вал 3 и общее центральное колесо 7. Периодическим поворотом шпиндельного блока шпиндели переводятся из одной позиции в другую.

Режущие инструменты устанавливаются на индивидуальных для каждой позиции поперечных суппортах 2 и на общем для всех позиций продольном суппорте 5, перемещающимся по направляющей гильзе 4. Этот суппорт выполнен в виде многогранника с числом граней, равным количеству шпинделей. На гранях располагаются державки с инструментами.

Обработка заготовки производится различными группами режущих инструментов при последовательном прохождении шпинделя через все позиции автомата. На последней позиции происходит отрезка готовой детали и подача прутка для изготовления следующей детали.

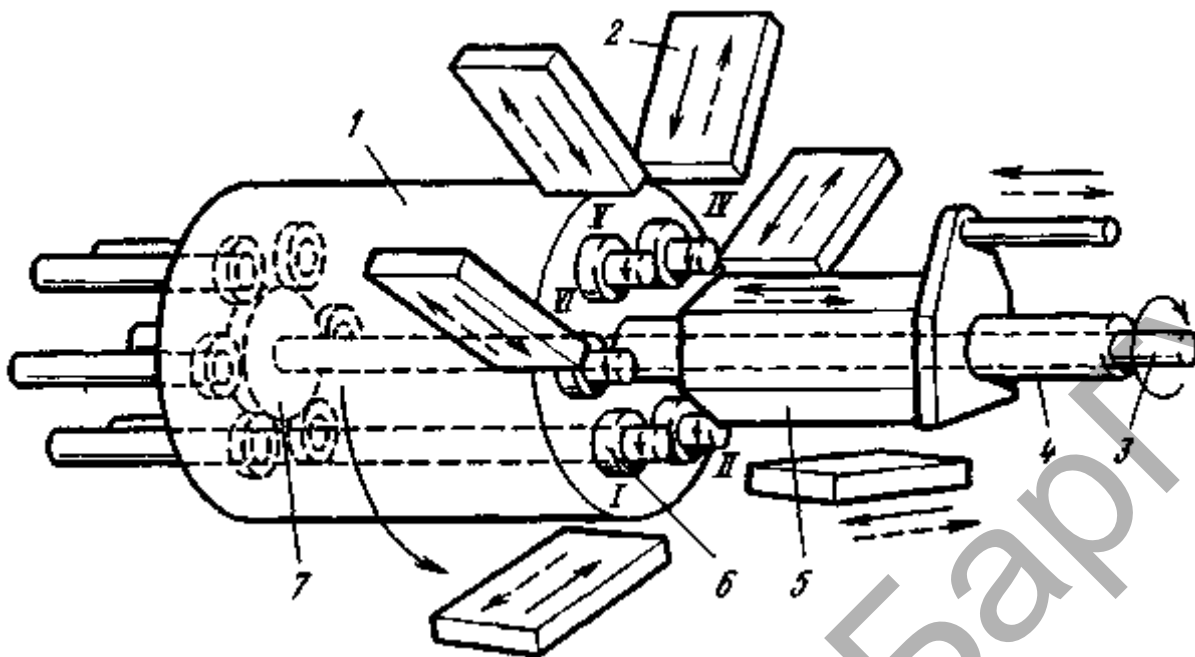


Рисунок 3.31 — Схема работы многошпиндельного токарного автомата

Автоматы, на которых заготовки обрабатываются по схеме, представленной на рисунке 3.31, получили название автоматов последовательного действия. Но если на них задействовать двойную индексацию, то получится последовательно-параллельная работа.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы применяют для токарной обработки литых и штампованных средних и крупных заготовок. Шпиндели станка разгружены от изгибающих нагрузок, вызываемых массой заготовки, станок занимает мало места (рис. 3.32). Современные полуавтоматы этого типа имеют от 4 до 16 рабочих шпинделей. Первая позиция — загрузочная, на остальных позициях расположены рабочие механизмы и каждую из этих позиций можно рассматривать как станок, связанный с другими такими же станками общим приводом, управлением и единством базовых деталей. Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы *по принципу своей работы* могут быть последовательного, параллельного и последовательно-параллельного действия.

На рисунке 3.33 показана схема обработки заготовки на вертикальном восьмишпиндельном полуавтомате последовательного действия, в которой на III и IV позициях с поперечной подачей производятся подрезание торца, снятие фаски и протачивание выточки и канавки. Кроме того, в данном примере используется специальное приспособление для растачивания внутренней сферы на VI и VII позициях.

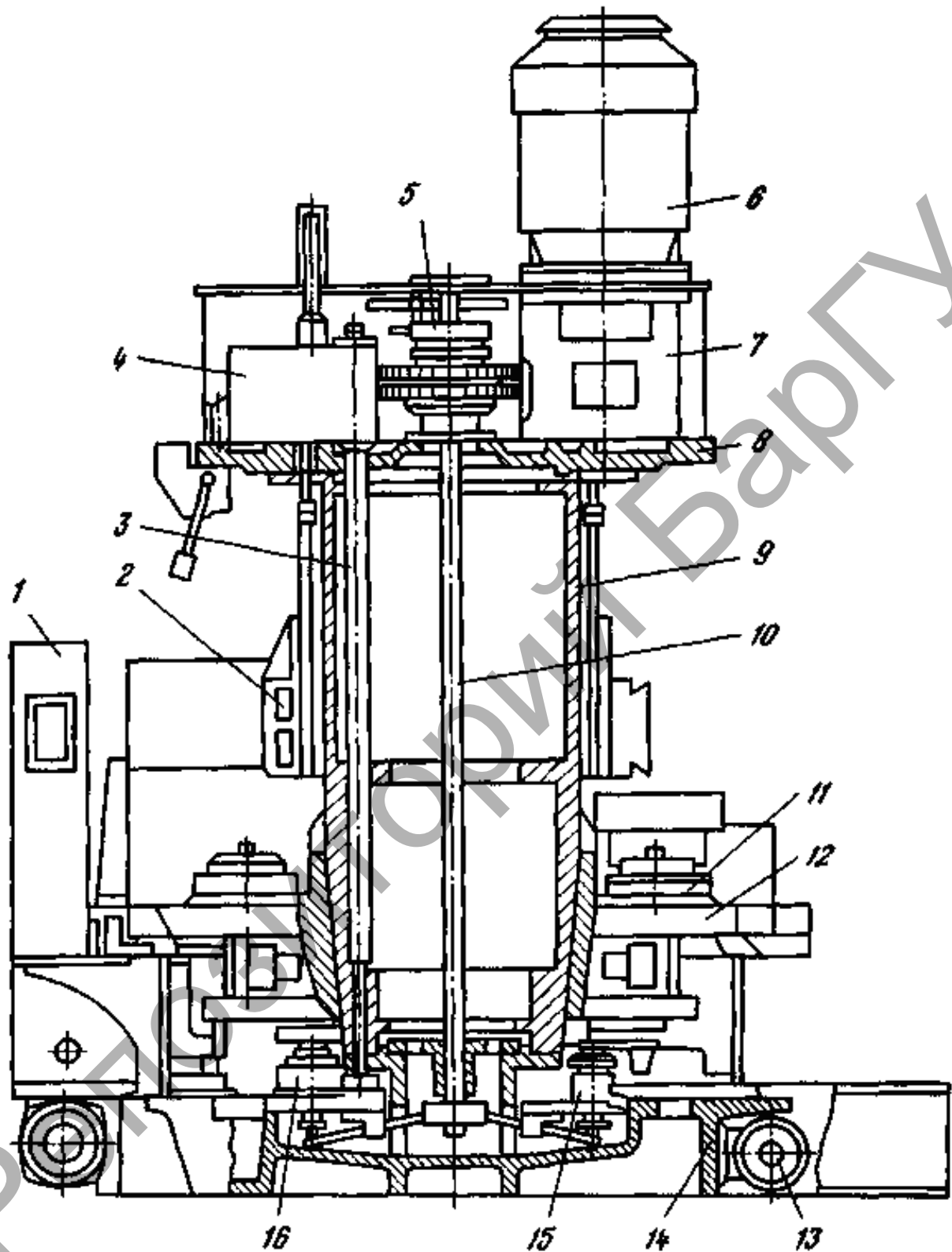


Рисунок 3.32 — Компоновка вертикального восьмишпиндельного полуавтомата модели 1K282

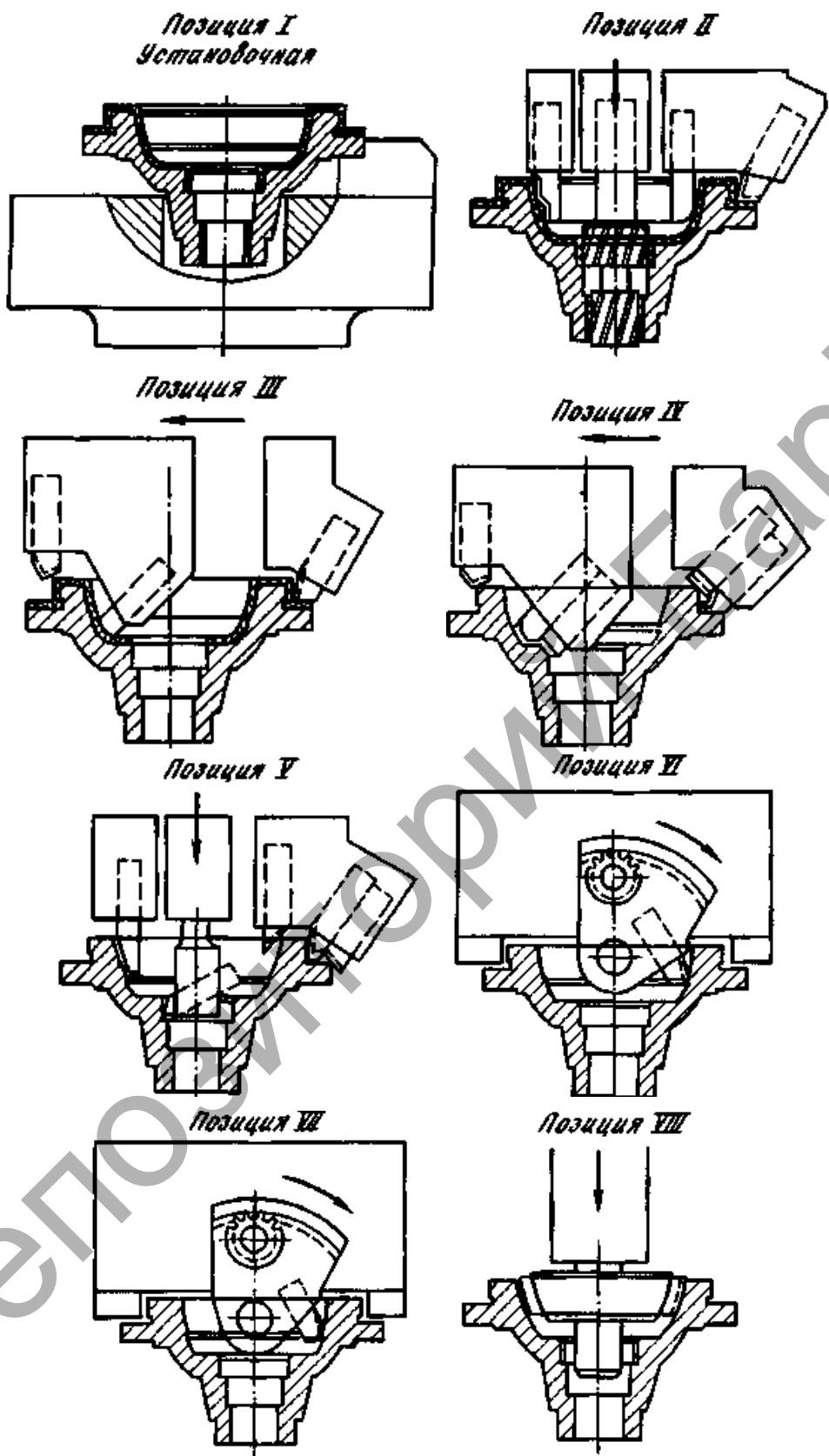


Рисунок 3.33 — Схема обработки чашки дифференциала на вертикальном полуавтомате последовательного действия

Основные *технические характеристики* распространенных вертикальных полуавтоматов:

- наибольший диаметр обрабатываемой детали (диаметр патрона от 250 до 800 мм) — 250...630 мм;
- число шпинделей (от 4 до 16) — 6...8;
- число скоростей шпинделя — 21...50;
- диапазон регулирования вращения шпинделя — 12,5...980 мин⁻¹;
- наибольшее перемещение суппорта — 200...450 мм;
- диапазон регулирования подач — 0,028...5 мм / об;
- мощность главного привода — 0...110 кВт;
- масса станка — 5 000...35 500 кг.

На рисунке 3.32 приведена компоновка восьмишпиндельного полуавтомата последовательного действия модели 1К282, на основании 14 которого смонтированы все основные узлы и механизмы станка. В тумбе основания закреплена основная несущая часть полуавтомата — пустотелая колонна 9, у которой внизу на конусе смонтирован поворотный стол 12 с рабочими шпинделями 11, в средней части — направляющие для суппортов 2, а сверху на венце 8 — семь коробок скоростей и подач 4, электродвигатель 6 с редуктором 7 и стойка 5 с гидроцилиндром для включения через тягу 10 семи синхронизаторов 16 и тормоза 15. Вращение на шпиндели от коробок скоростей передается валами 3, размещенными внутри колонны. Механизм поворота и фиксации 13 стола установлен в нише основания, которая одновременно является резервуаром гидросистемы станка. Электрооборудование полуавтомата смонтировано в специальном шкафу 1.

Принципиальная схема токарного вертикального полуавтомата последовательного действия включает основание, на котором установлена у шестишпиндельного станка неподвижная шестигранная колонна 3 (рис. 3.34), вокруг которой и основания 5 периодически поворачивается стол 4 с шестью шпинделями. Пять суппортов 2, которые размещены на гранях неподвижной колонны 3, обслуживают одновременно пять шпинделей. Заготовка устанавливается в патроне 1 в загрузочной позиции, не имеющей суппорта. Обработка заготовок производится несколькими группами инструментов, закрепленных на суппортах. После поворота стола на 60° шпиндель начинает вращаться, и деталь обрабатывается в позиции I. По окончании первой операции суппорта отходят вверх, а стол снова поворачивается, перемещая заготовку с первой позиции во вторую, а со второй — на третью и т. д. Таким образом, в каждой позиции осуществляется определенная операция, и по окончании обработки в загрузочную позицию приходит готовая деталь.

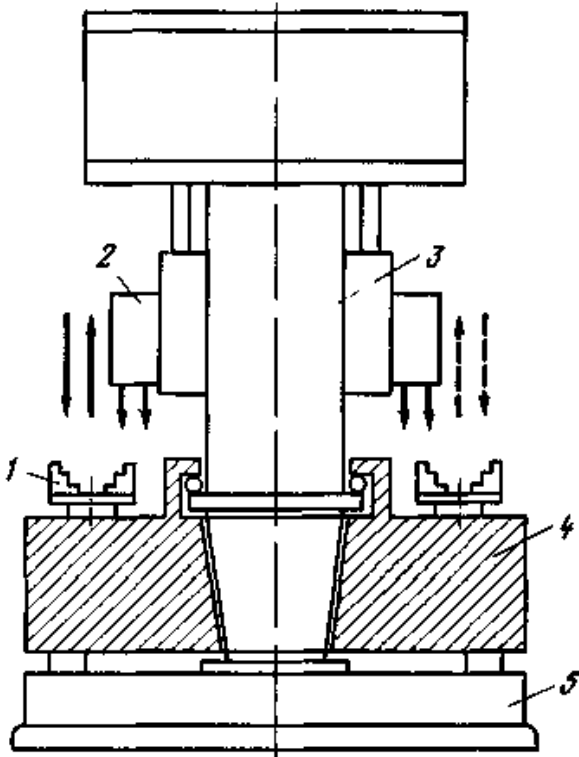


Рисунок 3.34 — Схема работы вертикального многошпиндельного полуавтомата последовательного действия

поверота стола и фиксатор, насос СОЖ, электрошкаф, резервуар для масла и другие механизмы. Заготовки крепятся в патронах 1 вращающихся вертикальных шпинделей, расположенных по окружности в общем шпиндельном блоке в виде поворотного стола 4, который периодическим поворотом относительно неподвижных основания 5 и колонны 3 осуществляет смену позиций.

Поперечных суппортов на вертикальных полуавтоматах нет, поэтому для получения в отдельных позициях полуавтоматов поперечной подачи инструментов используются специальные суппорты, в которых продольное перемещение преобразуется в поперечное.

Технологические возможности токарных вертикальных многошпиндельных полуавтоматов очень широки и обеспечивают при изготовлении разнообразных деталей высокую степень концентрации обработки. Применение таких станков способствует повышению производительности труда, сокращению станкочемкости, уменьшению производственных площадей, упрощению транспортных связей. Вертикальные токарные многошпиндельные полуавтоматы служат для обработки в патроне или приспособлении, реже в центрах, деталей сравнительно больших размеров в условиях массового производства. Большое число рабочих позиций позволяет использовать их в разных сочетаниях. Детали сложной формы

В целом, станок комплектуется из трех блоков: верхнего, среднего и нижнего. В верхнем блоке расположены главный электродвигатель с редуктором и по пять коробок скоростей и подач (по числу рабочих позиций), столько же командоаппаратов и другое оборудование. В среднем блоке на пустотелой колонне смонтированы узлы, определяющие точность станка и его жесткость: направляющие, суппорты, базируется поворотный шпиндельный стол; через полость колонны проходят валы привода вращения шпинделей рабочих позиций, тяги тормоза загрузочной позиции и тяги синхронизаторов рабочих позиций. На нижнем чашеобразном блоке-основании установлены синхронизаторы, тормоз, редуктор, механизм

проходят обработку на всех позициях станка, перемещаясь в каждом цикле на следующую позицию (одинарная индексация). Для простых деталей, которые можно обработать на меньшем числе позиций, применяют более производительную последовательно-параллельную обработку. Ее может быть несколько вариантов. Наиболее часто станок используется как два параллельно работающих станка, обрабатывающих две одинаковые детали, поворачивая в каждом цикле стол на две позиции (двойная индексация). При двойной индексации, как и на горизонтальных многошпиндельных автоматах, можно обрабатывать не только одну деталь с двух сторон, но и даже две разные детали.

Токарный вертикальный восьмишпиндельный полуавтомат последовательного действия модели 1К282 предназначен для патронных работ по черновой и получистовой обработке деталей в условиях крупносерийного и массового производства. На семи рабочих позициях в соответствии с их оснасткой могут производиться операции: обточка, расточка отверстий, сверление одним или несколькими инструментами, зенкерование и развертывание отверстий.

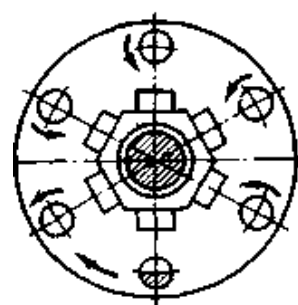
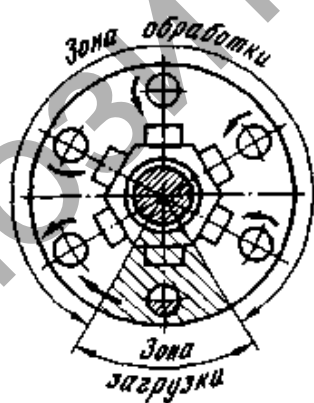
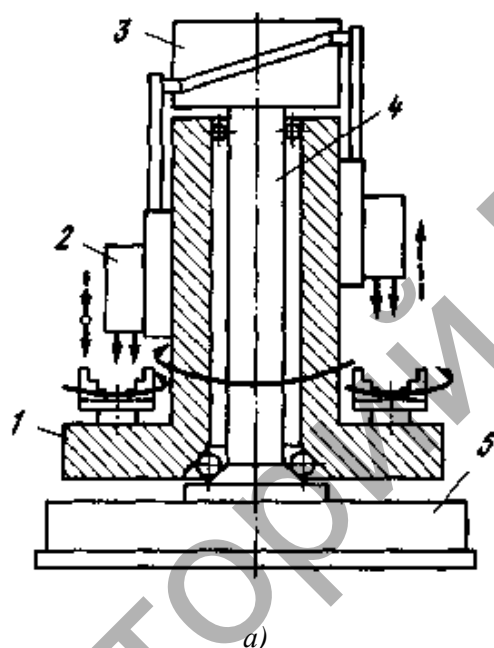
Станки выпускаются в силовом и скоростном исполнениях.

Настройка *режимов резания* — частоты вращения шпинделя и скорости подачи суппорта на рабочих позициях — выполняется посредством установки сменных шестерен и выполнения переключений на коробках подач соответствующих позиций. Координаты изменения скорости и направления перемещения суппорта настраиваются в командоаппаратах рабочих позиций с помощью кулачков. Стабильность этой координаты при использовании исключительно электрической системы управления невысока (0,3...0,5 мм), поэтому применяют жесткие упоры в конце хода суппорта. Размер изделия окончательно настраивается регулировкой инструмента. К упорам конечных положений элементов суппорта предъявляются требования стабильности ограничения перемещения (каретки — в вертикальном, а ползуна — в горизонтальном направлениях).

Настройка *безударного включения* шпинделей при повороте шпиндельного стола на следующую позицию производится с помощью регулирования времени их разгона дросселем на панели управления синхронизаторами.

На полуавтоматах параллельного действия в отличие от полуавтоматов последовательного действия на всех шпинделях производятся одновременно одинаковые операции и за один цикл работы завершается обработка столько заготовок, сколько шпинделей имеет станок. У шестিশпиндельного варианта такого станка на основании (нижний блок) установлена неподвижная вертикальная колонна, вокруг которой вращается непрерывно стол, несущий шпиндели, и шестигранная гильза с шестью суппортами, представляющие собой единое целое — карусель.

Схема работы полуавтомата параллельного действия приведена на рисунке 3.35. Карусель 1 полуавтомата с расположенными по окружности рабочими шпинделями и индивидуальными для каждой позиции суппортами 2 медленно поворачивается относительно основания 5 вокруг колонны 4 и установленной на ней группы кулачков 3. При повороте стола и гильзы суппорты перемещаются по ее вертикальным направляющим от неподвижного барабана (верхний блок), с которым они связаны тягами.



a — параллельного действия; *б* — с непрерывным вращением карусели;
в — с периодическим поворотом карусели

Рисунок 3.35 — Схема работы вертикального многшпindelного полуавтомата

Кинематическая схема полуавтомата (рис. 3.36) состоит из двух кинематических цепей, приводимых во вращение от индивидуальных электродвигателей: цепи привода главного движения и цепи привода вращения карусели полуавтомата и перемещения суппортов.

Кинематическая цепь главного движения осуществляется от электродвигателя через зубчатые колеса $z_1 - z_2 - z_3 - z_4$, гитару сменных зубчатых колес a и b , конические зубчатые колеса $z_7 - z_8$, зубчатое колесо z_{15} , три паразитных зубчатых колеса z_{16} на зубчатое колесо с внутренним z_{14} и наружным z_{60} зацеплением. Колесо z_6 является центральным. От него вращение через зубчатое колесо z_5 , синхронизатор z_{17}, z_{18} передается на шпиндель, частота вращения которого во всех позициях одинакова.

Кинематическая цепь привода вращения карусели и перемещения суппортов осуществляется от электродвигателя через червячную передачу k_1 и z_{14} ,

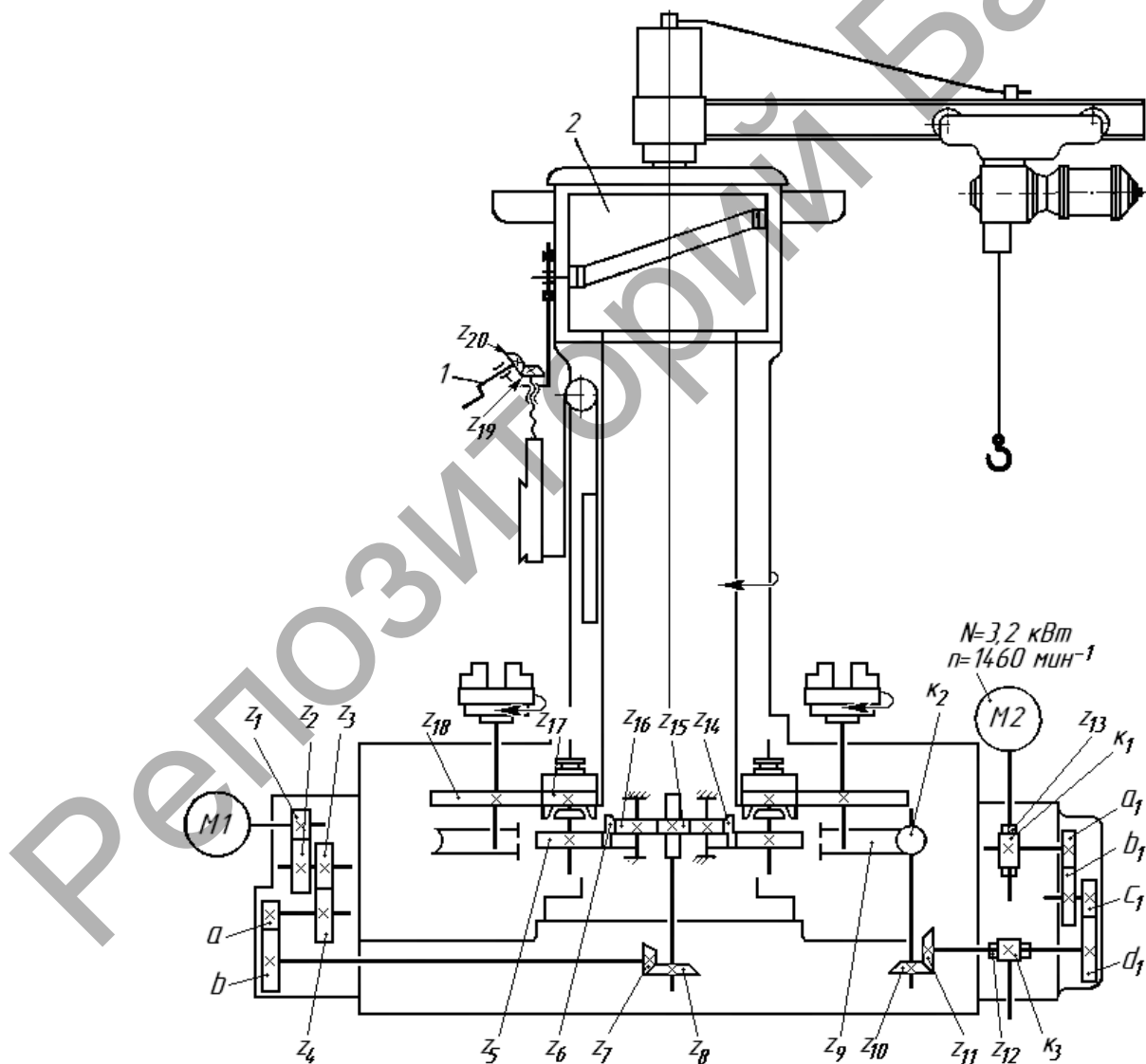


Рисунок 3.36 — Кинематическая схема полуавтомата 1285

гитару сменных зубчатых колес a , b , c и d , конические зубчатые колеса z_{11} , z_{10} и червячную передачу k_2 и z_9 . При вращении червячного колеса z_9 получает вращение карусель полуавтомата со всеми шпинделями и суппортами относительно неподвижной колонны и общего барабанного кулачка 2 привода суппортов. В результате величина перемещения и скорость перемещения каждого суппорта за один оборот карусели получаются одинаковыми. Величины подач суппортов на рабочих и холостых ходах будут зависеть от частоты вращения карусели и настраиваются сменными колесами a , b , c и d .

Место хода каждого суппорта регулируется вращением рукоятки 1, конических зубчатых колес z_{19} и z_{20} и ходового винта.

Обрабатывается заготовка от начала и до конца на одной позиции и только одной группой инструментов за время почти полного оборота карусели. Готовая деталь снимается с полуавтомата в зоне загрузки после поворота карусели на угол одной позиции. Съем готовой детали и установка заготовки производятся на этих полуавтоматах или на ходу во время прохождения зоны загрузки (см. рис. 3.35, б) или с остановкой в данной позиции (см. рис. 3.35, в). В этой зоне сначала автоматически выключается вращение шпинделя и освобождается от зажима деталь, а соответствующий суппорт быстро отходит вверх, после чего готовая деталь снимается и устанавливается новая заготовка, которая автоматически зажимается, шпинделю сообщается вращение, а суппорт быстро подводится к заготовке. Для облегчения условий работы в этой зоне предусматривается специальное подъемное устройство.

Технологические возможности полуавтоматов этого типа ограничены и поэтому на них обрабатываются довольно простые заготовки.

На рисунке 3.37 показана схема обработки заготовки на шестишпиндельном полуавтомате параллельного действия, у которого на пяти позициях производятся одни и те же операции группой инструментов из 15 резцов, установленных на резцовых головках.

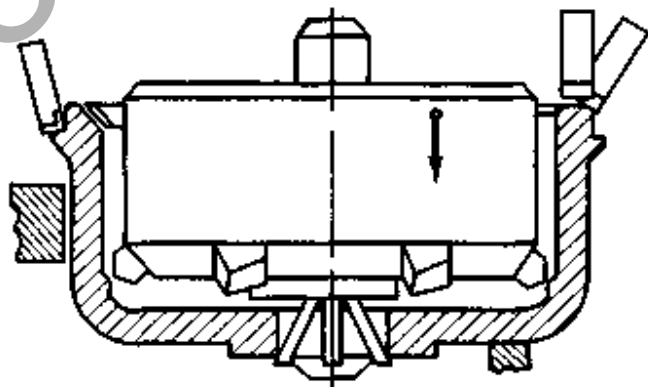
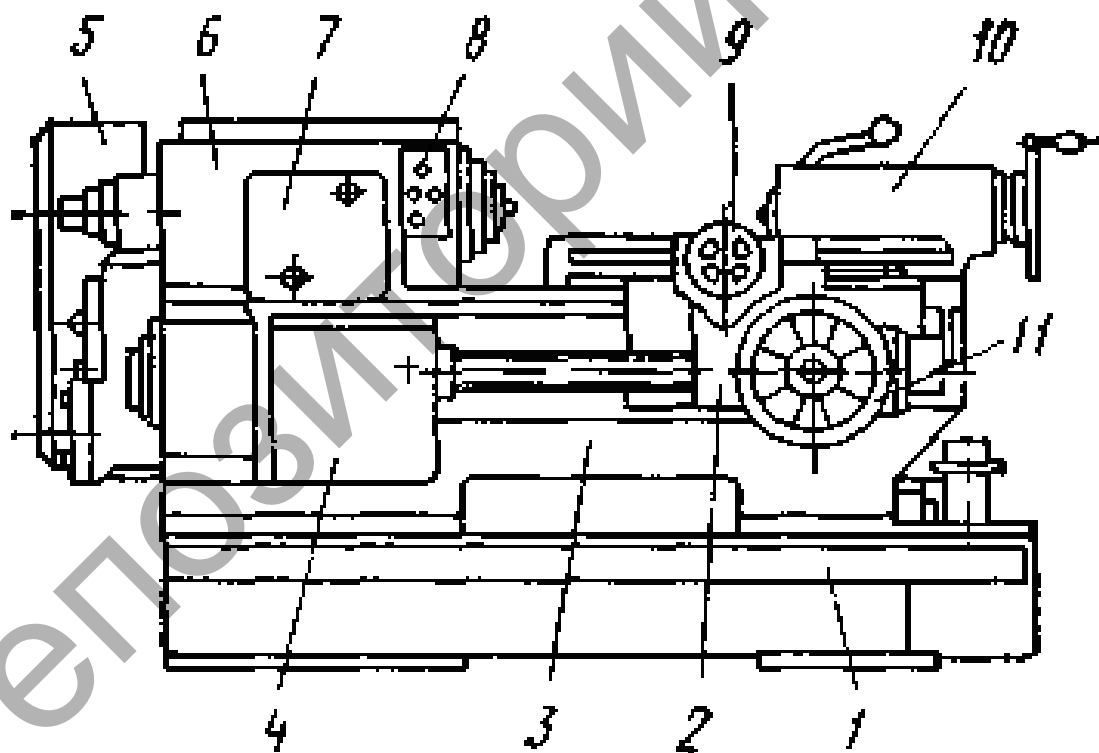


Рисунок 3.37 — Схема обработки тормозного барабана на вертикальном полуавтомате параллельного действия

Многорезцовые токарные полуавтоматы. Одношпиндельные токарные полуавтоматы предназначены для черновой и чистовой обработки в массовом и крупносерийном производстве многоступенчатых валов, ступенчатых втулок, блоков зубчатых колес, колец, фланцев и других подобных деталей из штучных заготовок из различных сталей, цветных металлов и сплавов в патроне или центрах при помощи многорезцовой наладки или копира. Данные станки можно разбить на три группы: многорезцовые, копировальные и многорезцово-копировальные. Они могут встраиваться в автоматические линии.

Устройство и компоновка многорезцового токарного полуавтомата модели 1А730 показана на рисунке 3.38, его кинематическая схема — на рисунке 3.39.

Схема работы многорезцового полуавтомата. Обработка заготовок 2 на многорезцовом полуавтомате (рис. 3.40) осуществляется большим количеством одновременно работающих по одинаковым траекториям резцов, установленных на продольном 12 и поперечном 3 суппортах. Установка



- 1 — основание; 2 — фартук; 3 — станина; 4 — коробка подач; 5 — электрошкаф;
 6 — коробка скоростей; 7 — крышка; 8 — панель управления;
 9 — маховик поперечного перемещения; 10 — задняя бабка;
 11 — маховик продольного ручного перемещения суппорта

Рисунок 3.38 — Устройство и компоновка многорезцового полуавтомата 1А730

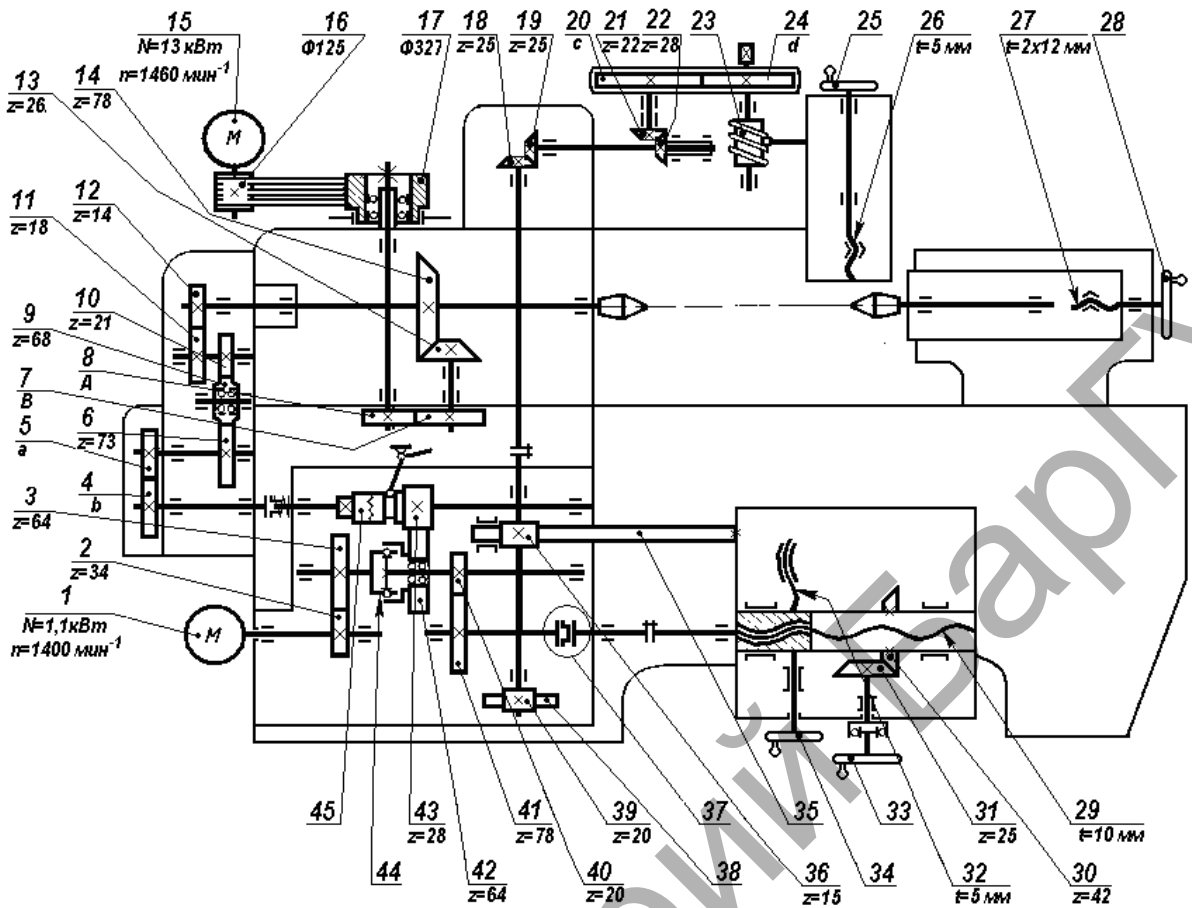


Рисунок 3.39 — Кинематическая схема многолезцового полуавтомата

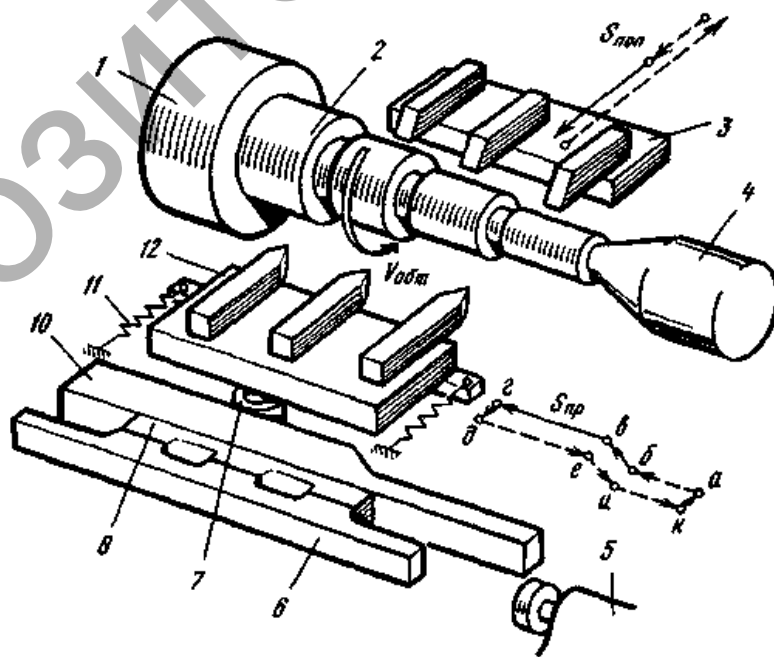


Рисунок 3.40 — Схема работы многолезцового полуавтомата

заготовки в центрах передней 1 и задней 4 бабок, пуск станка и снятие готовой детали производится вручную, а подвод суппортов к заготовке, ее обработка и возврат суппортов в исходное положение производятся автоматически. Суппорт 12 перемещается вместе с планками 6 и 8 относительно неподвижной линейки 10, при этом ролик 7 перекачивается по линейке 10 и постоянно поджимается к ней пружинами 11.

Цикл работы продольного суппорта следующий: быстрый подвод суппорта (участок $a-b$), врезание резцов (участок $b-v$), когда ролик 7 катится по наклонному участку линейки 10, обработка заготовки с подачей $S_{пр}$ (участок $v-z$), отскок суппорта (участок $z-d$), его возвращение в исходное положение (участки $d-e$, $e-u$, $u-k$) и перемещение (подскок) вперед (участок $k-a$).

Отскок-подскок (примерно на 1 мм) суппорта осуществляется с помощью планок 6 и 8 при их смещении относительно друг друга, когда происходит смена контактирующих пар поверхностей с пары «выступ-выступ» на пару «выступ-впадина» и наоборот. Отскок в конечной точке обработки настраивается упором 9, а подскок в исходном положении — упором 5. При установке на продольном суппорте линейки 10 с фасонным профилем на таком полуавтомате можно обрабатывать заготовки с фасонными и коническими поверхностями.

Цикл работы поперечного суппорта 3 проще и включает: быстрый подвод, обработку заготовки на рабочей подаче $S_{поп}$ и быстрый отвод в исходное положение. Привод этого суппорта осуществляется от постоянного барабанного кулачка (на рисунке не показан), получающего вращение от продольного суппорта при его перемещении вдоль оси заготовки. Компонировка такого многорезцового полуавтомата аналогична компоновке универсальных токарных станков, но есть и другие варианты компоновки. Компонировка полуавтомата модели 1Н713 с органами управления показана на рисунке 3.41.

На нижней станине 1 установлена передняя бабка 2 с механизмом главного движения и шпинделем 4. По продольным направляющим нижней станины можно перемещать заднюю бабку 15, а по поперечным направляющим — поперечный суппорт 7 с механизмом подачи. На верхней станине 13 закреплена коробка подач 5 продольного суппорта 8, который перемещается по направляющим станины. На передней панели бабки расположен щиток 6 с кнопками управления станком.

Справа от продольного суппорта смонтированы передвижной кронштейн копирной линейки 12, командоаппарат 11 для управления циклом работы продольного суппорта и передвижной упор 10 для установки в рабочее положение линейки отскока продольного суппорта. Квадратными рукоятками 9 и 17 настраивают соответственно ползуны продольного 8 и поперечного 7 суппортов. Педалью 16 управляют работой пневмосистемы задней бабки. Ременная передача механизма главного движения закрыта кожухом 3.

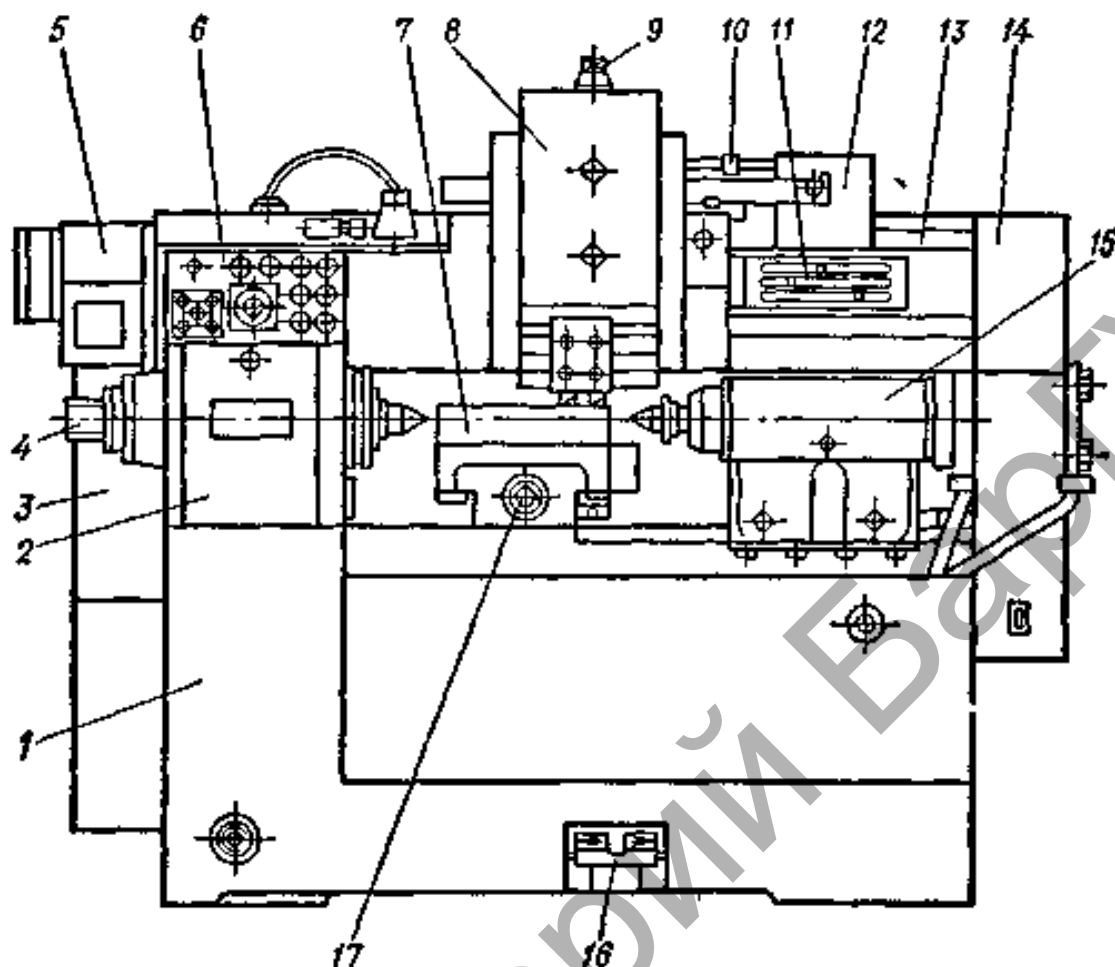


Рисунок 3.41 — Многорезцовый полуавтомат модели 1Н713

Электрооборудование станка расположено в шкафу 14, а пневмоаппаратура — в корпусе станины 1. Электродвигатель главного движения находится внутри станины под передней бабкой. Устройство многорезцового полуавтомата модели 1Н713 существенно отличается от выполняющего такую же работу многорезцового полуавтомата модели 1А730.

Устройство командоаппарата многорезцового полуавтомата модели 1Н713 характерно для многих станков и представляет комплект конечных выключателей, приводимых в действие упорами, расположенными на продольном суппорте. Нажатие упором на тот или иной конечный выключатель приводит к срабатыванию определенной электрической цепи (включение рабочей или поперечной подачи, насоса подачи СОЖ, отвода узлов в исходное положение и т. п.). Сейчас вместо конечных и путевых выключателей нажимного действия во многих случаях применяют бесконтактные индуктивные выключатели и переключатели. В таком случае упор на планке командоаппарата заменяется металличе-

ской пластинкой, которая, попадая в зону магнитного поля индуктивного выключателя, приводит к ее изменению, а логический элемент системы управления, реагируя на это изменение, подает сигнал на срабатывание того или иного механизма.

Токарно-копировальные полуавтоматы благодаря возможности быстрой переналадки эффективно применяются не только в крупносерийном, но и в серийном производстве. При оборудовании загрузочно-разгрузочными приспособлениями они легко встраиваются в автоматические линии и применяются в массовом производстве.

На гидрокопировальном полуавтомате (рис. 3.42) заготовка 16, установленная в центрах или зажатая в патроне, обрабатывается одним резцом 5, закрепленным в копировальном суппорте 3, который в поперечном направлении перемещается по направляющим каретки 2 гидроцилиндром 4, выполняя однокоординатное копирование. В продольном направлении задающая подача сообщается копировальному суппорту вместе с кареткой гидроцилиндром 1. Поперечное перемещение резца 5 реализуется следящей подачей, которая обеспечивается копиром 8 через щуп 7 и гидроцилиндр 4 копировальной головки 6.

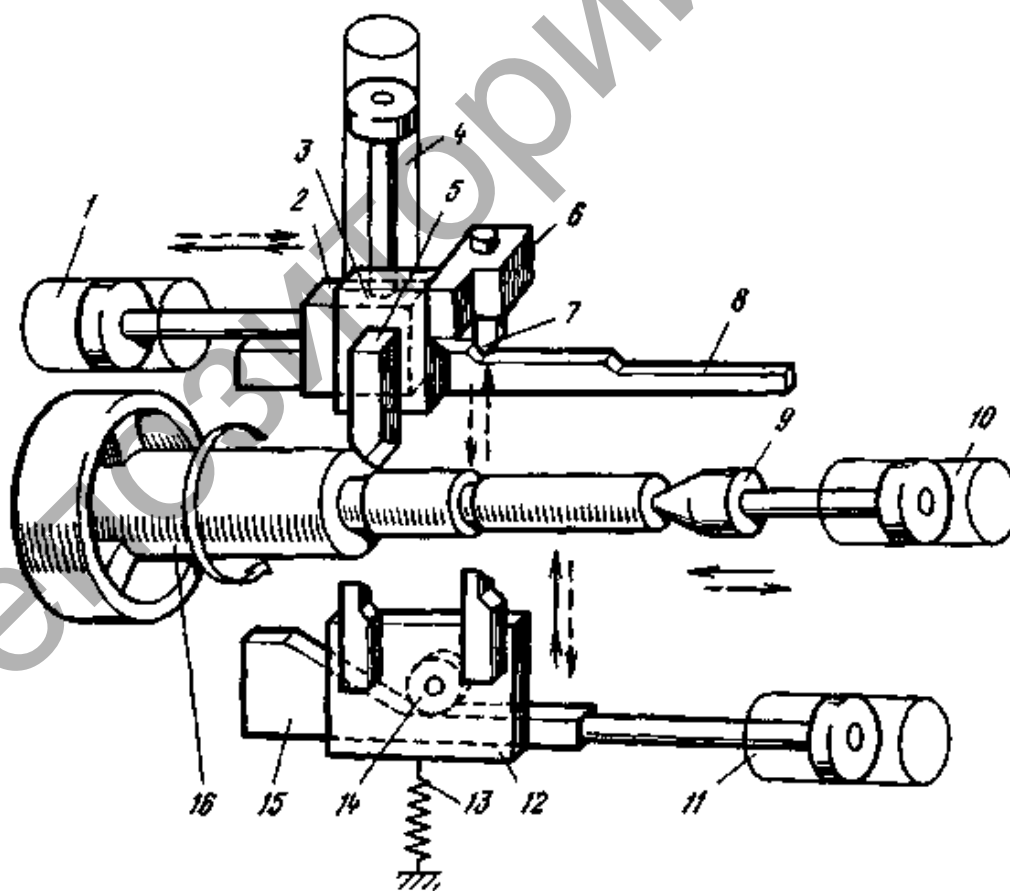


Рисунок 3.42 — Принципиальная схема гидрокопировального полуавтомата

Чтобы размеры и форма детали точно соответствовали чертежным, профиль наконечника шупа точно соответствует профилю резца 5, а размеры рабочего профиля копира точно воспроизводят чертежные размеры контура обрабатываемой детали.

Пиноль 9 задней бабки постоянно поджимается гидроцилиндром 10.

Прорезка канавок, снятие фасок и другие операции, которые не могут быть выполнены на заготовке копировальным суппортом, производятся резцами, установленными на поперечном суппорте 12, которых может быть один или два. Привод поперечного суппорта осуществляется через ролик 14 от ползуна 15 при его перемещении гидроцилиндром 11, обратный ход суппорта обеспечивается пружиной 13.

Схема работы станка модели EM473-1-02A. Данный станок предназначен для черновой и чистовой обработки деталей типа валов диаметром до 250 мм и длиной до 710 мм с прямолинейными и криволинейными образующими методом копирования одним или несколькими резцами, а также подрезки торцов и проточки канавок. Он имеет один копировальный и один подрезной суппорты. Система копирования однокоординатная. Шпинделю станка сообщается 14 скоростей вращения с возможностью автоматического переключения двух скоростей во время обработки. Задняя бабка гидрофицирована.

Копировальный суппорт имеет продольный ход каретки 825 мм, поперечный ход ползуна — 165 мм, пределы регулируемых дросселем продольных рабочих подач от 10 до 1250 мм/мин и две автоматически переключаемые подачи. Как и переключаемые при обработке скорости, они нужны для черновой и чистовой обработки. У поперечного суппорта ход составляет 125 мм, а подача бесступенчато регулируется от 10 до 630 мм/мин.

Основными составными частями станка являются: основание, станина, бабка шпиндельная, бабка задняя, суппорт копировальный, суппорт поперечный, привод копировального суппорта, механизм установки копиров, механизм шупа, командоаппараты копировального и поперечного суппортов и задней бабки, гидрооборудование, электрооборудование, педаль и привод патрона, охлаждение, транспортер стружки, ограждение.

Устроен и работает станок следующим образом. Вращение шпинделя осуществляется от электродвигателя через кинематическую цепь шпиндельной бабки (рис. 3.43), рабочие и ускоренные подачи копировального суппорта — от гидропривода, от которого также работают ползуны копировального и поперечного суппортов, задняя бабка, смена копиров, поворот резцовой головки.

Шпиндельная бабка — это четырехваловая коробка скоростей. Шпиндель смонтирован на подшипниках качения 4 и 5 классов точности. Крутящий момент от двигателя 1 через клиноременную передачу, электромагнитные муфты, зубчатые колеса передается на шпиндель.

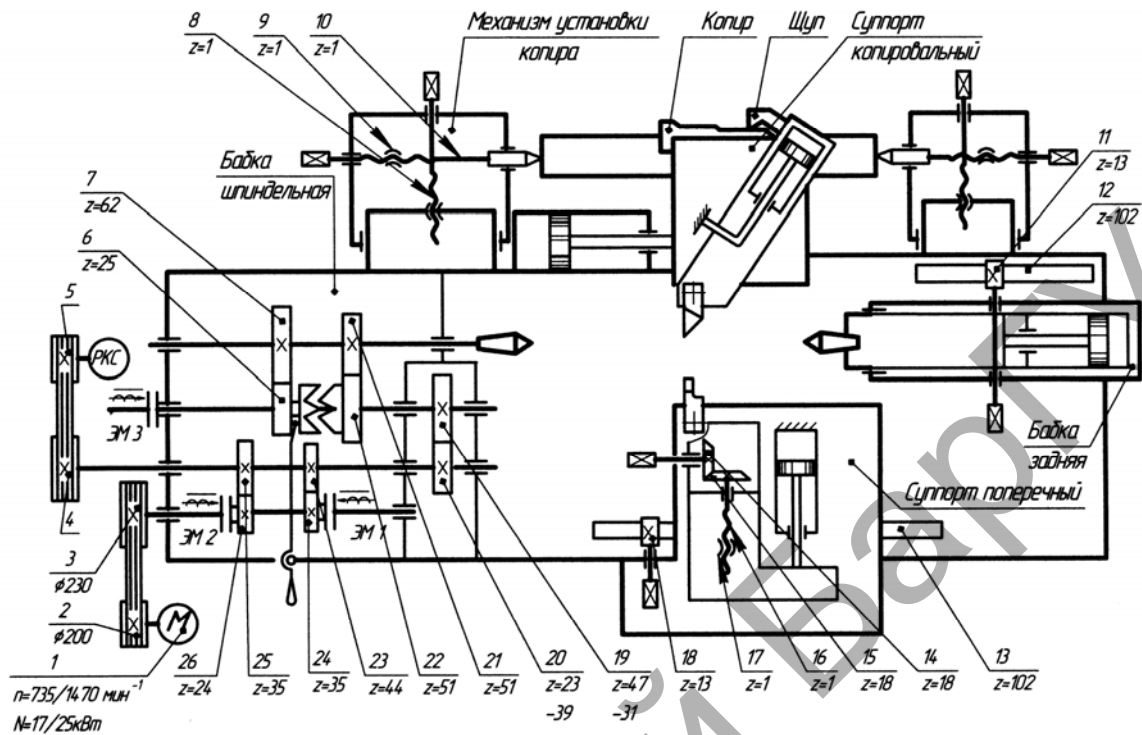


Рисунок 3.43 — Кинематическая схема станка модели EM473-1-02A

Электромагнитные муфты ЭМ1 и ЭМ2 обеспечивают две автоматические скорости. Торможение шпинделя осуществляется тормозной муфтой ЭМ3. Настройка необходимой частоты вращения шпинделя производится переключением электромагнитных муфт ЭМ1 и ЭМ2, включением с помощью рукоятки в работу зубчатых колес 7 или 21 и установкой сменных зубчатых колес 19 и 20. Пять пар сменных зубчатых колес обеспечивают весь диапазон частот вращения шпинделя.

У задней бабки общие направляющие с поперечным суппортом. Перемещение пиноли задней бабки осуществляется подачей масла под давлением в правую или левую полости гидроцилиндра, закрепленного на правом торце бабки. Шпиндель задней бабки, как и шпиндель станка, смонтирован на подшипниках качения 4 и 5 классов точности. При зажатой в центрах детали гидравлический подпятник, закрепленный в шпинделе бабки, разгружает подшипники от осевой нагрузки, воспринимаемой ими при отсутствии заготовки. На передней поверхности бабки смонтирован командоаппарат (конечный выключатель и регулируемый по положению кулачок), сигнализирующий о поджатом положении.

Копировальный суппорт состоит из ползуна и каретки, перемещение которой осуществляется от гидроцилиндра, установленного на левом торце станины. Ползун копировального суппорта расположен под углом 60° к оси

центров (у других модификаций станка — под углом 90°) и перемещается к оси центров станка с помощью гидроцилиндра, поршень которого через шток жестко соединен с кареткой, а корпус — с ползуном. Перемещение ползуна к оси центров при отсутствии копира ограничивается упором, воздействующим через рычаг на золотник гидроцилиндра ползуна.

Образование фасонной поверхности детали при обработке заготовки на копировальном полуавтомате осуществляется одним резцом, установленным в копировальном суппорте. Принцип действия гидравлических копировальных устройств основан на применении следящих золотников.

На рисунке 3.44 показана принципиальная схема гидравлического привода суппорта токарно-копировальных полуавтоматов. Ползун копировального суппорта 9, имеющий поперечное перемещение, жестко связан с корпусом 6 следящего золотника и со штоком поршня неподвижного гидроцилиндра 8 поперечной подачи. Продольная подача каретки суппорта осуществляется с помощью задающего гидроцилиндра 10. Плунжер 7 следящего золотника прижимается пружиной к рычагу 5, наконечник которого (щуп) находится в контакте с неподвижным копиром или эталонной деталью. Таким образом, рычаг 5 удерживает плунжер золотника в определенном положении относительно копира. При перемещении щупа вверх или вниз плунжер получит такое же перемещение.

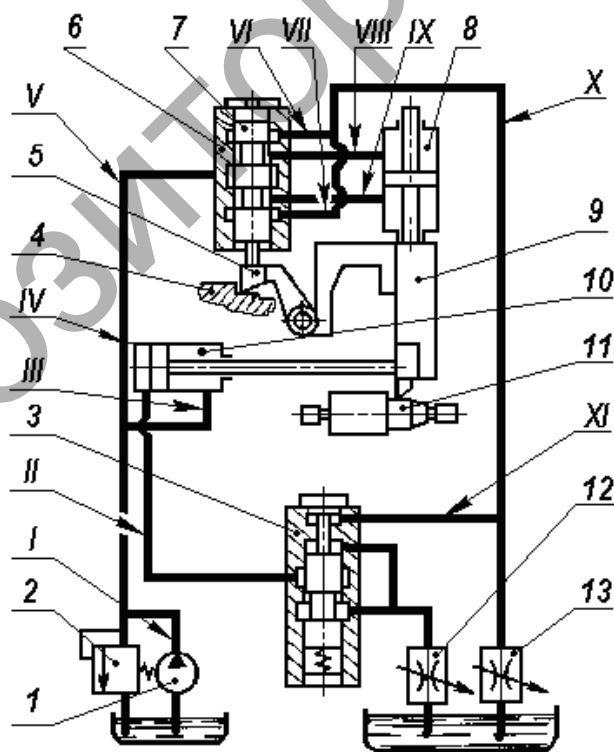


Рисунок 3.44 — Схема следящего гидрокopировального привода

При смещении плунжера вверх масло от насоса 1 по трассам I и V поступает в среднюю полость корпуса б, а затем по трассе IX — в нижнюю полость цилиндра 8, и поршень вместе с ползуном 9 получит движение в том же направлении, что и плунжер. Вместе с ними будет перемещаться и корпус б золотника, который в результате займет первоначальное положение относительно плунжера (как показано на схеме). Подача масла через золотник прекратится, и ползун остановится. То же произойдет при перемещении плунжера золотника по копиру вниз.

Таким образом, перемещение щупа, а вместе с ним и плунжера вверх, или вниз вызывает такое же перемещение поршня гидроцилиндра и связанного с ним ползуна 9 с резцом. Поэтому резец, повторяя движение щупа, будет обрабатывать деталь по профилю копира. Масло, вытесняемое из верхней полости цилиндра 8 (при движении поршня вверх) или из его нижней полости (при движении вниз), идет по трассам VIII или IX, затем через крайние выточки в корпусе золотника поступает в трассу VI или VII, далее — в трассу X и через дроссель 13 сливается в бак.

В процессе обработки, помимо поперечного перемещения ползуна (следящая подача — одна координата), сообщается и продольное перемещение каретке суппорта (задающая подача — другая координата). При этом масло от насоса 1, пройдя по трассам I, V и III, через распределительное устройство (на схеме не показано) подается в правую полость цилиндра 10, и шток поршня перемещает каретку суппорта влево. Масло из левой полости цилиндра по трассе II через автоматический регулятор скорости 3 и дроссель 12 сливается в бак. Таким образом, резец может получать движение подачи по двум координатам. Результирующая подача резца определяется величиной проходных сечений дросселей 12 и 13, первый из которых регулирует скорость продольной подачи, а второй — поперечной. Клапан 2 предохраняет систему от перегрузки и отводит излишки масла в бак.

Каретка поперечного суппорта базируется с нижней стороны станины (как бы на потолке) на направляющих и имеет установочное перемещение вдоль оси шпинделя. Рабочая подача ползуну суппорта сообщается гидроцилиндром. Крайние положения ползуна ограничиваются конечными выключателями и регулируемым жестким упором командоаппарата поперечного суппорта.

Установочные перемещения центров *механизма установки копиров* в горизонтальном и вертикальном направлениях осуществляются с помощью маховичков и винтовых передач, отсчет положения — по лимбам. Поворот линейки для смены копиров выполняется плунжерами гидроцилиндров.

Механизм щупа крепится к гидроцилиндру ползуна копировального суппорта с задней стороны. При движении наконечника щупа по копиру, движения рычага, к которому прикреплен щуп, передаются через толкатель на следящий золотник, распределяющий поток масла в соответствующие полости гидроцилиндра ползуна, обеспечивая на изделии воспроизведение профиля копира.

Командоаппарат гидросуппорта станка выполнен восьмидорожечным. Смонтирован он на верхней плоскости станины и состоит из бесконтактных выключателей.

По заказу станок оснащается двухпозиционной резцедержкой с резцовой головкой. Резцедержка предназначена для автоматической смены инструмента при переходе от черновой обработки к чистовой. Резцовые вставки устанавливаются и закрепляются в корпусе резцовой головки, которая крепится к шпинделю резцедержки. Смена производится поворотом шпинделя от двух плунжеров гидравлически.

Настройка величин подач каретки копировального суппорта и ползуна поперечного суппорта бесступенчатая и выполняется регулируемыми дросселями. Ограничение величины рабочего хода каретки копировального суппорта на каждом проходе, автоматическое переключение скоростей и подач, включение в работу поперечного суппорта производятся с помощью командоаппарата.

Многорезцово-копировальные полуавтоматы (рис. 3.45) объединяют технологические возможности многорезцовых и копировальных полуавтоматов и принцип их работы совпадает с принципом работы последних. Полуавтоматы этого типа имеют два накладных копировальных суппорта с автономными следящими системами, управляемыми отдельными копиями.

Продольная (задающая) подача не имеет прямой зависимости от поперечной подачи и осуществляется от механического привода с конечной передачей ходовой винт-гайка. Поперечные суппорты имеют независимые приводы и перемещаются непосредственно от гидроцилиндров без промежуточных кулачковых механизмов.

На рисунке 3.46 приведены типовые схемы обработки на многорезцово-копировальном полуавтомате.

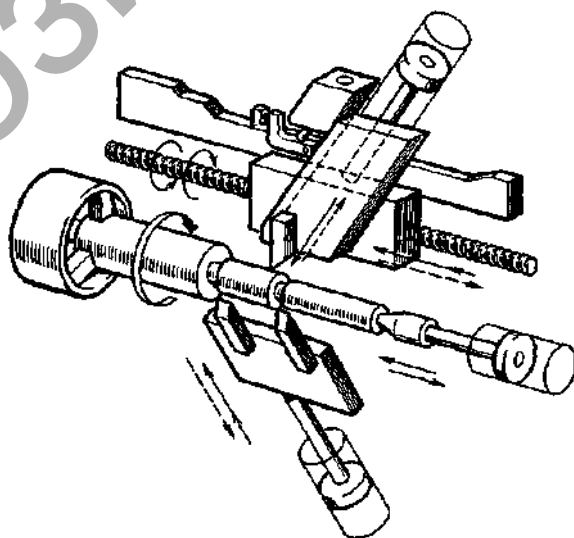
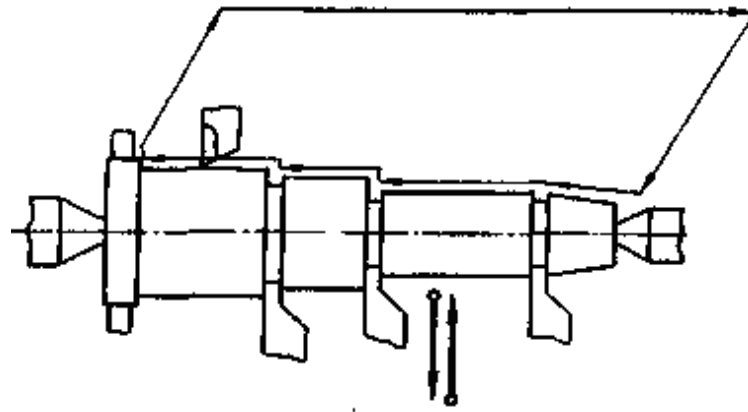
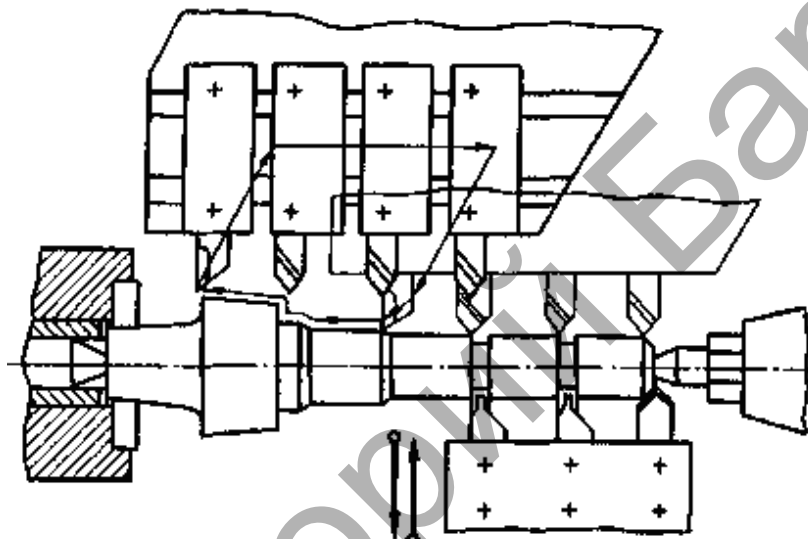


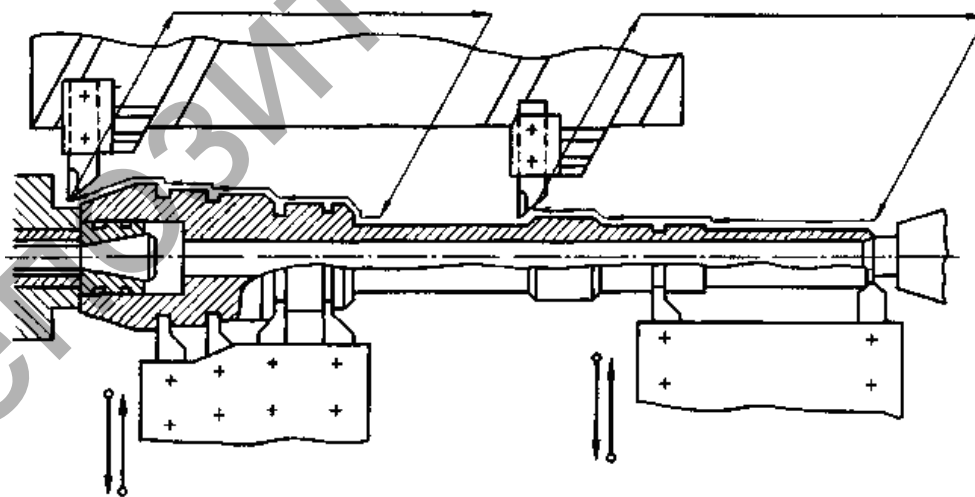
Рисунок 3.45 — Схема работы многорезцово-копировального полуавтомата



a)



б)



в)

a — одним резцом; *б* — блоком резцов; *в* — с двух копировальных и двух подрезных суппортов

Рисунок 3.46 — Схема обработки заготовок на многорезцово-копировальных полуавтоматах

Обычным является технологический процесс, когда с копировально-го суппорта обрабатывается основной профиль детали: цилиндрические ступенчатые поверхности, конические и фасонные элементы. На долю поперечного, или иначе называемого подрезного суппорта, остается обработка канавок, подрезка торцов уступов и снятие некоторых фасок.

3.3 Токарные станки с ЧПУ

Токарные станки с ЧПУ предназначены для высокопроизводительной комплексной обработки в автоматическом режиме заготовок типа тел вращения в условиях мелкосерийного и серийного производства (обточки, расточки, подрезки торцов, прорезки канавок, сверления центральных отверстий, обработки фасонных поверхностей, нарезания резьбы и т. д.).

В станках с ЧПУ полностью автоматизирован цикл обработки детали с установлением необходимых режимов резания, все вспомогательные движения и функции: ускоренное перемещение рабочих органов, смена инструмента, устанавливаемого в револьверных головках или магазинах, зажим заготовки, перемещение задней бабки и люнета, включение и выключение механизмов стружкодробления и стружкоудаления, включение системы охлаждения, введение коррекции на положение заранее настроенных на размер инструментов и т. д.

Патронные и центровые станки. Токарные станки с ЧПУ классифицируются: а) по расположению оси шпинделя (горизонтальные, вертикальные); б) по числу используемых инструментов, способу их закрепления и смены (с револьверными головками или с магазином сменных инструментов); в) по виду выполняемых работ (прутковые, патронные, центровые, патронно-центровые); г) по типу применяемого ЧПУ.

Вид токарного станка с ЧПУ — патронный или центровой (патронно-центровой) — определяется по основным параметрам обработки, т. е. по отношению длины обработки L к диаметру D . Патронные станки предназначены для обработки деталей с $L/D = 0,25 \dots 1,0$, а центровые — для обработки деталей с $L/D = 1,0 \dots 10$ и выше.

В типаж токарных станков с ЧПУ включены как базовые модели, так и их модификации (с револьверной головкой, с инструментальным магазином, многосуппортные, двухшпиндельные и др.).

Ограничением диаметра заготовки, обрабатываемой на станке с ЧПУ, является не высота его центров, а условие исключения столкновений инструмента и заготовки, что определяется видом и размерами инструментов, расстоянием между ними при их установке в револьверной головке. В случае пруткового варианта, как и у обычных станков, диаметр заготовки ограничивается диаметром сквозного отверстия в шпинделе. Поэтому

основным размером токарного станка с ЧПУ следует считать (наряду с наибольшим диаметром устанавливаемой заготовки) наибольший диаметр обрабатываемого изделия.

Обычно выпускаются станки с горизонтальной осью шпинделя с наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки 125...5 000 мм, прутковые станки имеют диаметр обработки 10...125 мм. Станки средних размеров обычно изготавливают по классу точности П, малых — иногда В.

В отличие от обычных, среди токарных станков с ЧПУ существенно больше оборудования (около трети) с вертикальным расположением одного или двух шпинделей. Такие станки очень похожи на токарно-карусельные, но разработчиками к данному типу оборудования не относятся.

Конструктивные особенности и технологические возможности токарных станков с ЧПУ. В приводах главного движения токарных станков передняя бабка обычно является шпиндельной. Большие мощности и частоты вращения, высокая нагруженность шпиндельных подшипников привели к необходимости интенсивного охлаждения, которое обеспечивается в основном путем оребрения бабки или пропусканием через специальные каналы в ней охлаждающей жидкости (рис. 3.49).

Предпочтение отдается варианту мотор-шпиндель, обеспечивающему большую мощность, но еще повсеместно движение от электродвигателя

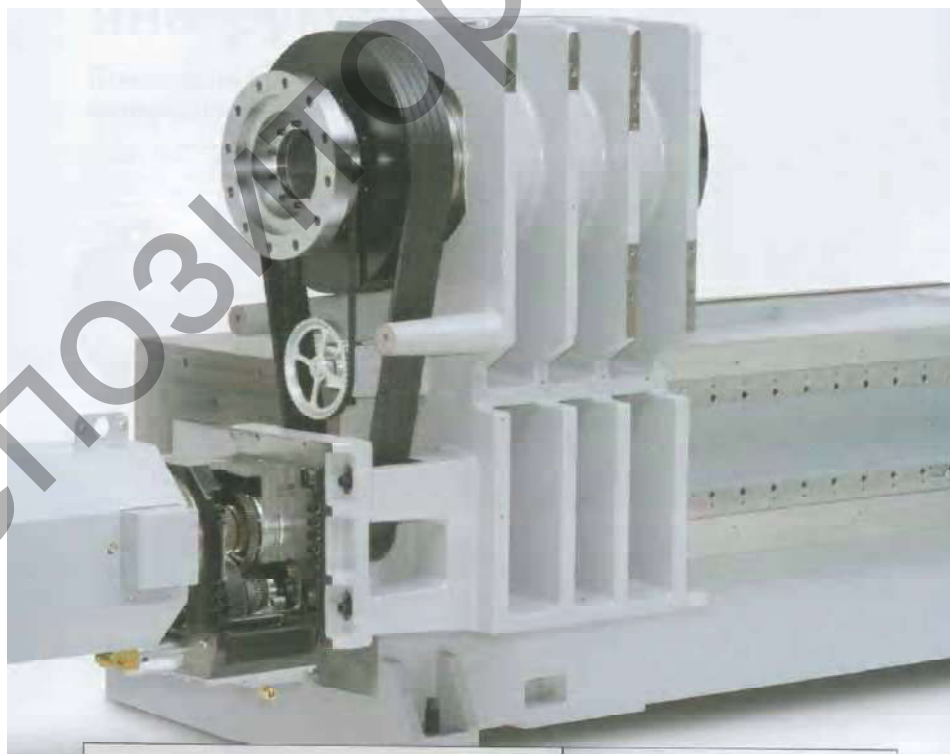


Рисунок 3.49 — Система оребрения шпиндельных узлов станков фирмы HAAS (США)

на шпиндель передается с помощью поликлинового или зубчатого ремня. Сам шпиндельный узел стал сменным и во многих случаях изготавливается на специализированных заводах.

Частота вращения шпинделя ввиду появления лучших инструментальных материалов составляет для станков с патроном диаметром 250 мм около $10\,000\text{ мин}^{-1}$ и выше при мощности, достигающей до 43 кВт.

Положение направляющих в пространстве традиционно наклонное.

Общей практикой стало заменять заднюю бабку на контршпиндель с характеристиками, равными или близкими характеристикам основного шпинделя. Время, нужное для передачи заготовки из одного шпинделя в другой занимает около 10 секунд и выполняется или за счет «наезда» контршпинделя, или с помощью манипулятора (например, станок INTEGREX 200-IIIST фирмы MAZAK, Япония).

У токарных станков инструмент устанавливается в револьверной головке на 12, реже 10 (8) позиций. Возможен вариант исполнения револьверной головки на 24 инструмента (рис. 3.50).

Размер сечения резца, установленного в револьверной головке колеблется от 20 до 32 мм, а диаметр осевого инструмента — от 32 до 50 мм. Приводными являются, как правило, все позиции револьверной головки (12, 24) или 18 позиций при их общем числе 24. Время смены соседних инструментов от 0,15 до 1 с, но встречается за 4 с. Больше четверти всех станков с ЧПУ имеют 2, 3 и даже 4 револьверные головки, которые могут работать одновременно (рис. 3.51).

Как правило, станки оборудуются системами измерения как заготовки и детали, так и инструмента, что освобождает от необходимости точных измерений до начала обработки.

Современные токарные станки с ЧПУ имея револьверную головку на 12—24 инструмента, превратились в револьверные станки в полном смысле этого слова, а наличие приводных инструментов в револьверной головке, позволяющее вести обработку любых поверхностей детали, в том числе и силовое фрезерование, фактически привело к слиянию токарных универсальных, токарных револьверных и токарных обрабатывающих центров в один тип станка. Уже предлагаются гибриды токарного и вертикально-фрезерного станков (рис. 3.52), на которых еще больше мощность привода осевого инструмента, а револьверная головка за счет упрощения конструкции и повышения жесткости может оснащаться резцами с большим сечением. Скорее всего, такие станки в будущем будут называться токарными станками с ЧПУ.

На станках в основном применяются системы ЧПУ фирм Siemens и Fanuc, а деталь представляют на экране монитора в системе 3D, т. е. объемно.

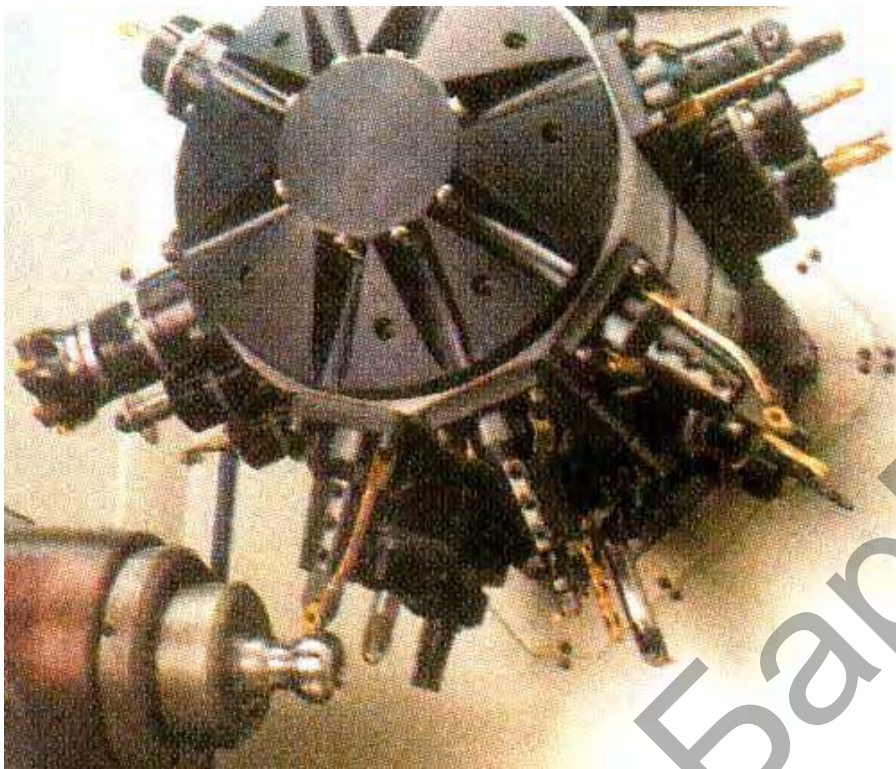


Рисунок 3.50 — Револьверная головка на 24 инструмента из которых
18 — приводные со скоростью $9\,000\text{ мин}^{-1}$ и мощностью 6 кВт

Репозиторий БарГУ

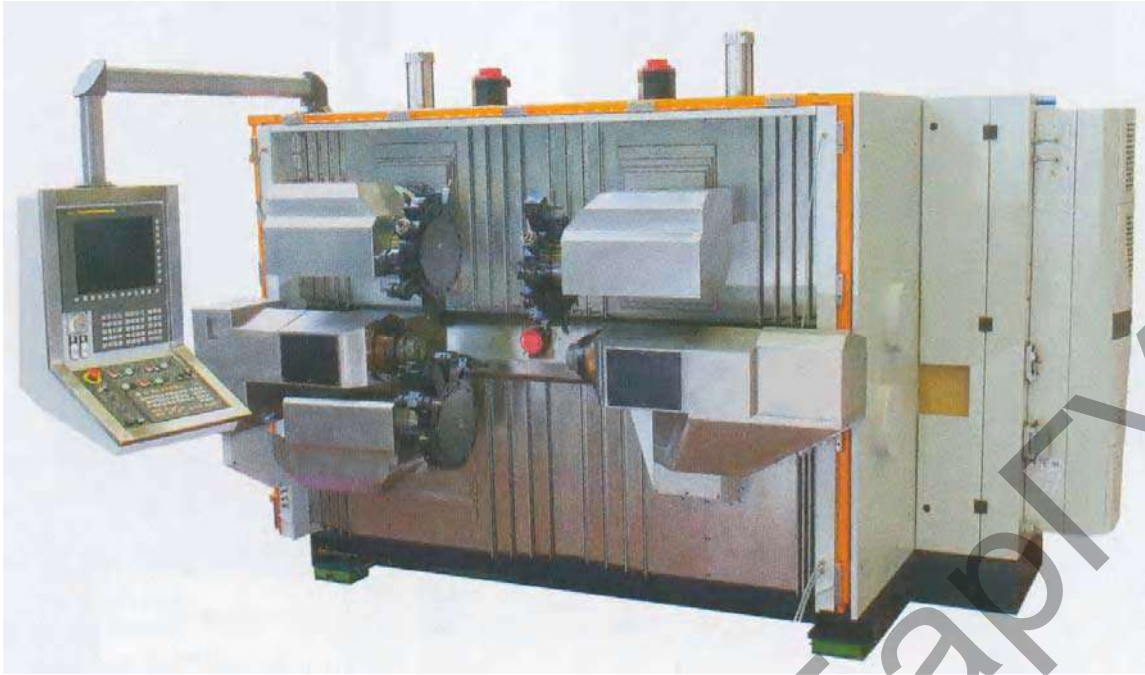


Рисунок 3.51 — Токарный обрабатывающий центр серии TD42-Triplex (без защитного ограждения) с двумя шпинделями и тремя револьверными головками. Компания SPINNER (Германия)

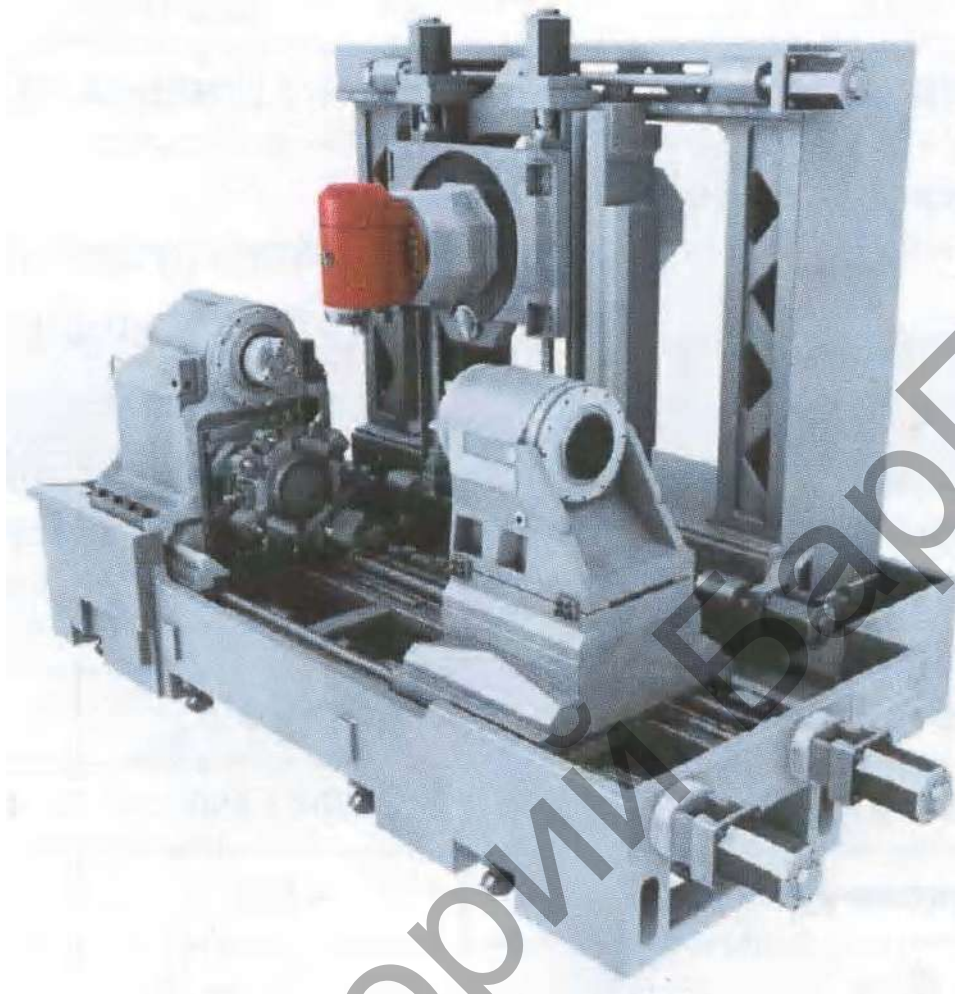


Рисунок 3.52 — Токарно-фрезерный обрабатывающий центр модели NT4200DCG компании MORI SEIKI (Япония)

Как и многие другие станки с ЧПУ, в конструкции токарных станков вместо зубчатых кинематических цепей применены беззазорные шариковые винтовые передачи с высокомоментными регулируемыми электродвигателями, что обеспечивает точное перемещение суппортов. При этом не только значительно уменьшаются силы трения (коэффициент трения покоя для направляющих качения в 20 раз меньше, чем для направляющих скольжения), исключается прерывистость движения вызванного при скольжении эффектом прилипания, но и уменьшается износ сопряжения.

В своем большинстве современные станки средних размеров с ЧПУ имеют оригинальную компоновку, позволяющую повысить их жесткость, улучшить защиту направляющих и винтовых передач, обеспечить свободный отвод стружки и удаление ее из рабочей зоны, применять загрузочные устройства любых типов, обеспечить свободный доступ к инструменту и приспособлениям, повысить безопасность работы.

В качестве приводных двигателей в станках с ЧПУ обычно применяются регулируемые двигатели постоянного и переменного тока. Последние проще по конструкции и обладают большей надежностью ввиду отсутствия щеточных узлов (особенно в области высоких частот вращения, которые требуются для главного движения). Диапазон регулирования двигателя с постоянной мощностью $(R_{д})_p$ ограничен величиной 3...5 (в последних моделях двигателей 6...8), что требует, как правило, применения в приводе главного движения механических устройств (коробок скоростей) с числом ступеней скорости от двух до четырех.

В системе координат токарных станков с ЧПУ определяются начальные и текущие положения рабочих органов станка, их предельные перемещения.

За исходную ось Z принята ось рабочего шпинделя. При наличии контршпинделя выделяют ось Z_1 для основного шпинделя и ось Z_2 — для контршпинделя, ось X всегда горизонтальна (параллельна направляющим) (рис. 3.53). За положительное направление перемещения рабочего органа берется то, при котором инструмент и заготовка удаляются друг от друга. Надо помнить, что эта система координат отличается от системы координат, принятой для расчета сил резания.

Индексация поворота основного и контршпинделя обеспечена через $0,0001^\circ$. Кроме основных осей X и Z , которых может быть по несколько, и осей C_1 и C_2 станки оборудуются управлением перемещения по осям B и Y . Средняя точность позиционирования $0,005...0,008$ мм. Скорости перемещения по осям $X, Z (Y)$ от 15 до 40 м / мин, но чаще всего 20...24 м / мин, хотя уже встречается и 100 м / мин; по оси C позиционирование выполняется со скоростью до 100 м / мин. Ускорение при перемещении достигает $10 \text{ м} / \text{с}^2$, но чаще $1...4 \text{ м} / \text{с}^2$. Нашли применение сдвоенные вертикальные станки с ЧПУ (например, модели QL200HM, V450TM фирмы SPINNER).

При обработке детали на станке с ЧПУ можно выделить три координатные системы положения. Первая — система координат станка X_MZ , имеющая начало отсчета в точке M — нуль станка. В этой системе определяются положения базовых точек отдельных узлов станка.

Вторая — система координат детали. Предназначена для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей, а также координат опорных точек траектории инструмента. В качестве системы координат детали используются правая прямоугольная, цилиндрическая и сферическая системы координат.

Третья — система координат инструмента, в которой определено положение центра P инструмента относительно базовой точки $F (K, T)$ элемента станка, несущего инструмент. Система координат инструмента предназначена для задания положения его настроечной точки относительно державки или центра поворота инструментальной головки. Эти оси $X_{и}, Z_{и}$ параллельны осям системы координат станка и направлены в ту же сторону.

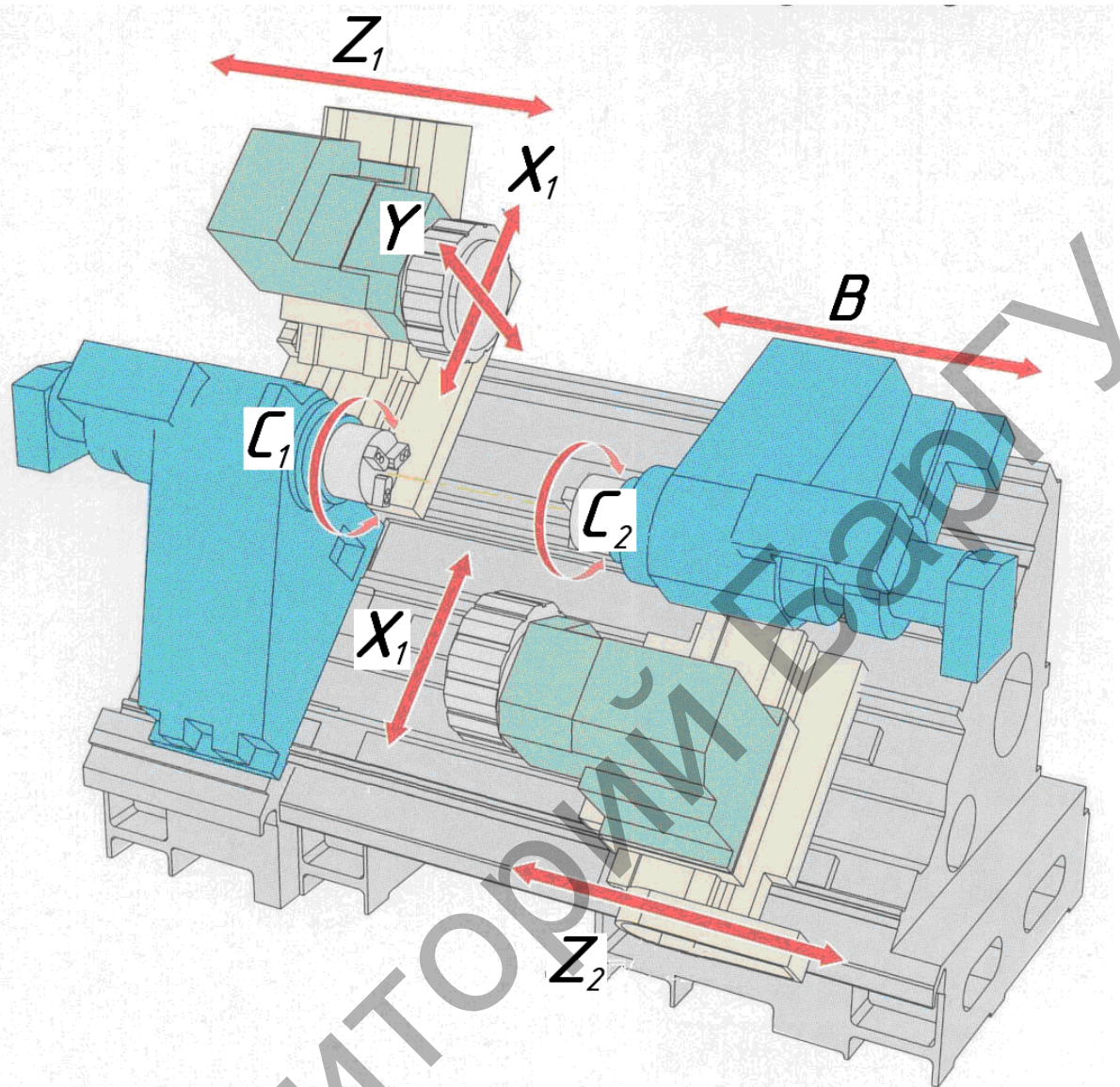


Рисунок 3.53 — Положение осей у токарного станка с ЧПУ при наличии контршпинделя и двух револьверных головок

Наличие связи систем координат станка, детали и инструмента позволяет выдерживать заданную точность обработки детали при ее переустановке, а при подготовке управляющей программы задавать траекторию перемещения инструмента в системе координат детали.

Кинематическая схема токарного полуавтомата с ЧПУ модели 1734Ф3. Станок (рис. 3.54) предназначен для черновой и чистовой обработки в патроне, например, таких деталей, как диски, фланцы, шестерни, чашки с наибольшим устанавливаемым диаметром 320 мм и высотой до 200 мм. В несколько проходов на нем может выполняться обработка наружных и внутренних поверхностей с криволинейными и ступенчатыми образующими.

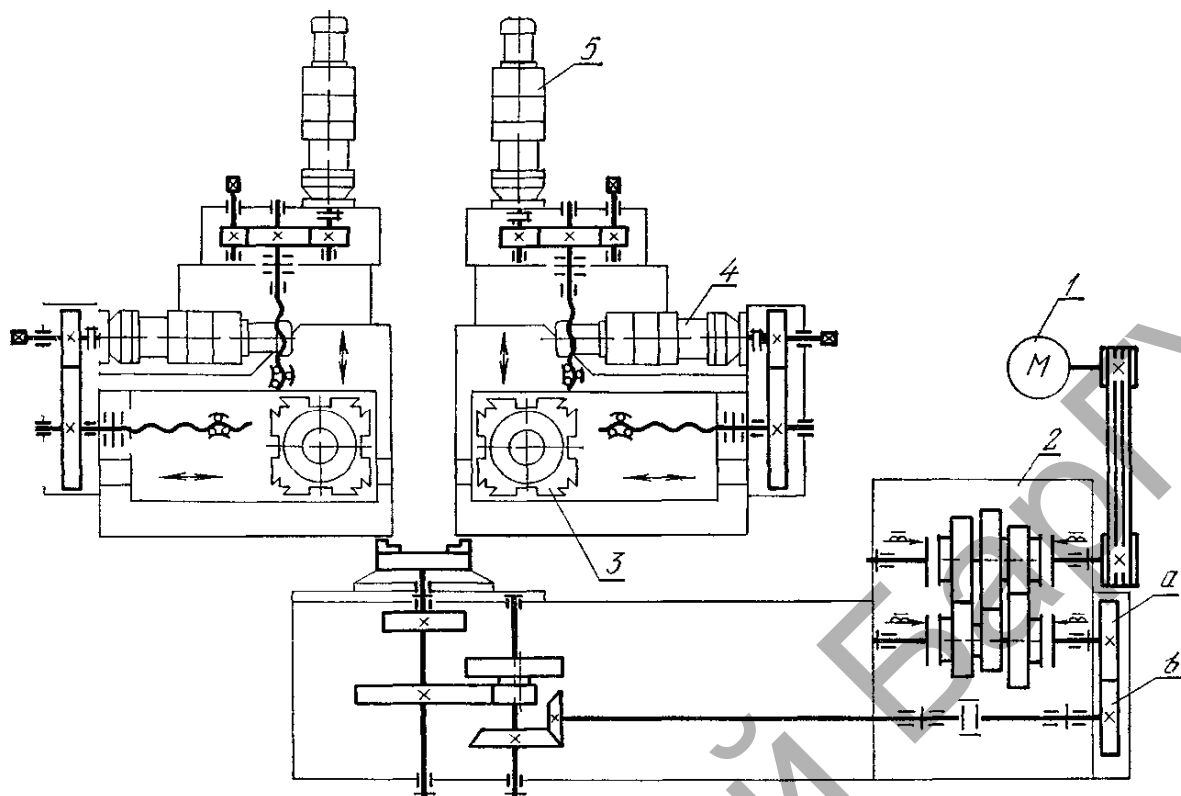


Рисунок 3.54 — Кинематическая схема токарного полуавтомата с ЧПУ модели 1734Ф3

Станок 1734Ф3 оснащен разомкнутой системой числового программного управления типа Н55-1, имеющей линейно-круговой интерполятор. Программноносителем является восьмидорожечная перфолента, программа задается в коде ISO-7bit.

Шпиндель станка получает вращение от двухскоростного электродвигателя 1 через клиноременную передачу и четырехскоростную коробку скоростей 2 с электромагнитными муфтами и сменными зубчатыми колесами а и б. В любом из четырех диапазонов можно получать по шесть автоматически переключаемых ступеней частоты вращения шпинделя. На каждом из двух суппортов находится четырехпозиционная револьверная головка 3. Правый получает вертикальную подачу от электрогидравлического шагового привода 5, в состав которого входят электрический шаговый двигатель ШД5-Д1 и гидроусилитель крутящего момента с аксиально-поршневым гидродвигателем. Движение на суппорт передается через беззазорную зубчатую передачу и шариковую винтовую пару. Горизонтальное перемещение он получает от электрогидравлического шагового привода 4 через редуктор. Такую же конструкцию имеет левый суппорт. Величина перемещения суппортов на один импульс в вертикальном направлении равна 0,01 мм, в горизонтальном — 0,005 мм.

3.4 Сверлильные и расточные станки

Назначение, технологические возможности и классификация станков.

Первые сверлильные станки для сверления отверстий в каменных топорах появились давно и имели, по всей видимости, лучковый привод. К XV веку сверлильный станок стал коловоротом, в котором использовался кривошип.

Сверлильные станки *по типу* делятся на: 1) вертикально-сверлильные (настольные и наклонные); 2) радиально-сверлильные; 3) горизонтально-сверлильные; 4) специализированные и центральные; 5) полуавтоматы одношпиндельные и многошпиндельные.

На станках выполняют операции: сверление (рис. 3.55, а), рассверливание (рис. 3.55, б), зенкерование (рис. 3.55, в и г), развертывание (рис. 3.55, д), нарезание внутренней резьбы (рис. 3.55, е), подрезка платиков и бобышек у отверстий (рис. 3.55, ж, и, к), зенкование (рис. 3.55, л).

При использовании специального инструмента возможно увеличить диапазон операций, например, производить раскатывание отверстий роликовыми и шариковыми раскатками, получать отверстия большого диаметра кольцевыми сверлами, протачивать канавки и т. п. (до 50 операций, включая токарную обработку и фрезерование плоскостей).

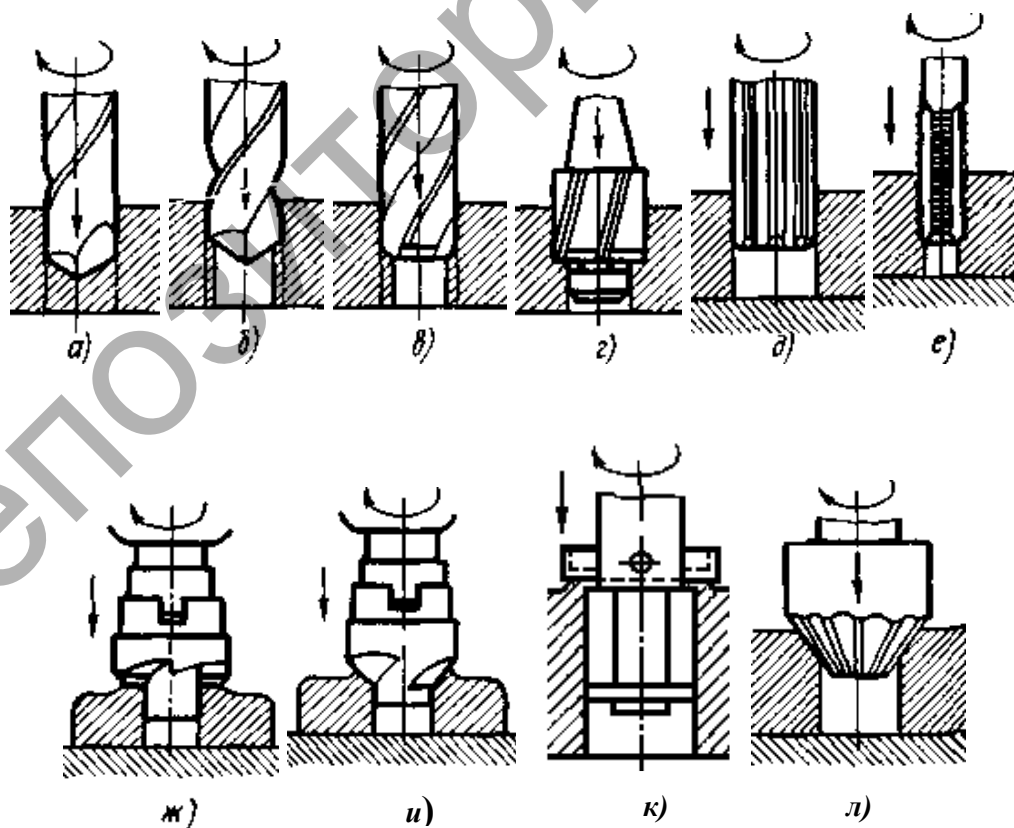


Рисунок 3.55 — Операции, выполняемые на сверлильных станках

Основными формообразующими движениями при сверлильных операциях являются главное движение (вращательное) v и движение подачи s шпинделя станка. Кинематические цепи, осуществляющие эти движения, имеют самостоятельные органы настройки, посредством которых устанавливается необходимая частота вращения инструмента и его подача.

Сверлильные станки с фланцевой пинолью являются базовой моделью для специальных станков с многошпиндельными и револьверными головками для одно- и многопозиционной обработки и многошпиндельных станков с раздвижными шпинделями (колокольного типа). Отдельную группу образуют координатно-сверлильные станки повышенной точности, предназначенные для обработки деталей с точностью координат до $\pm 0,1$ мм. Эти станки имеют различную степень автоматизации, вплоть до оснащения их позиционными системами ЧПУ, и универсальную оснастку в виде крестовых и плавающих столов.

Вертикально-сверлильные станки по своим конструктивно-технологическим возможностям делятся на две группы:

- *настольные сверлильные станки* (меньшая группа), которые предназначены для сверления отверстий в стали ($\sigma_{\text{в}} = 500 \dots 600$ МПа) диаметром максимум до 3, 6, 12 и 16 мм в деталях малых и средних размеров в единичном и мелкосерийном производствах. Эти станки, даже без модернизации, используют в крупносерийном и массовом производстве (конечно, это снижает экономические показатели производства);

- *вертикально-сверлильные и радиально-сверлильные* сверлят отверстия диаметром до 18, 25, 35, 50, 75 и 100 мм в тех же условиях, но если это полуавтоматы или многошпиндельные станки, то применяются они в крупносерийном и массовом производствах.

Тип стола станка определяет метод установки заготовки: вручную по разметке и кондуктору — в станках с подъемными и плавающими столами; вручную по шаблону — в станках оснащенных специальными плавающими столами; вручную, механически и автоматически по отсчетным устройствам — в станках с крестовыми и поворотными столами.

Существуют *три группы компоновок* вертикально-сверлильных станков (рис. 3.56): 1) типа кронштейн; 2) агрегат (или подвижный моноблок); 3) пресе (неподвижный моноблок). Станки с компоновкой *типа кронштейн* (рис. 3.56, а) имеют привод главного движения 2 (коробку скоростей) в виде самостоятельной сборочной единицы, расположенной в верхней части колонны 3. Шпиндель, коробка подач и механизм перемещения шпинделя расположены в корпусе 1, образуя узел, традиционно называемый «кронштейн». Эта компоновка долгое время считалась классической для средних и крупных вертикально-сверлильных станков, но примерно 30 лет назад их сменили станки агрегатной компоновки.

плите 1 (рис. 3.57) смонтирована колонна 2 коробчатой формы (фундаментная плита является резервуаром для смазывающе-охлаждающей жидкости). На передней стороне колонны имеются вертикальные направляющие для перемещения сверлильной головки 4 и стола 7. Внутри колонны размещается противовес для уравнивания шпинделя. В сверлильной головке размещены механизмы главного движения и подачи шпинделя 6. Шпиндель можно перемещать вручную с помощью штурвала 5 с рабочей и ускоренной, а также механической рабочей подачей. Для извлечения инструмента из конуса шпинделя применяется специальный механизм, установленный на шпиндель. Стол 7 имеет три Т-образных паза для крепления зажимного приспособления или детали. Стол перемещают по направляющим колонны при настройке станка вручную с помощью винтового механизма вращением рукоятки 8. Эмульсию из бака подают в зону обработки электронасосом 3.

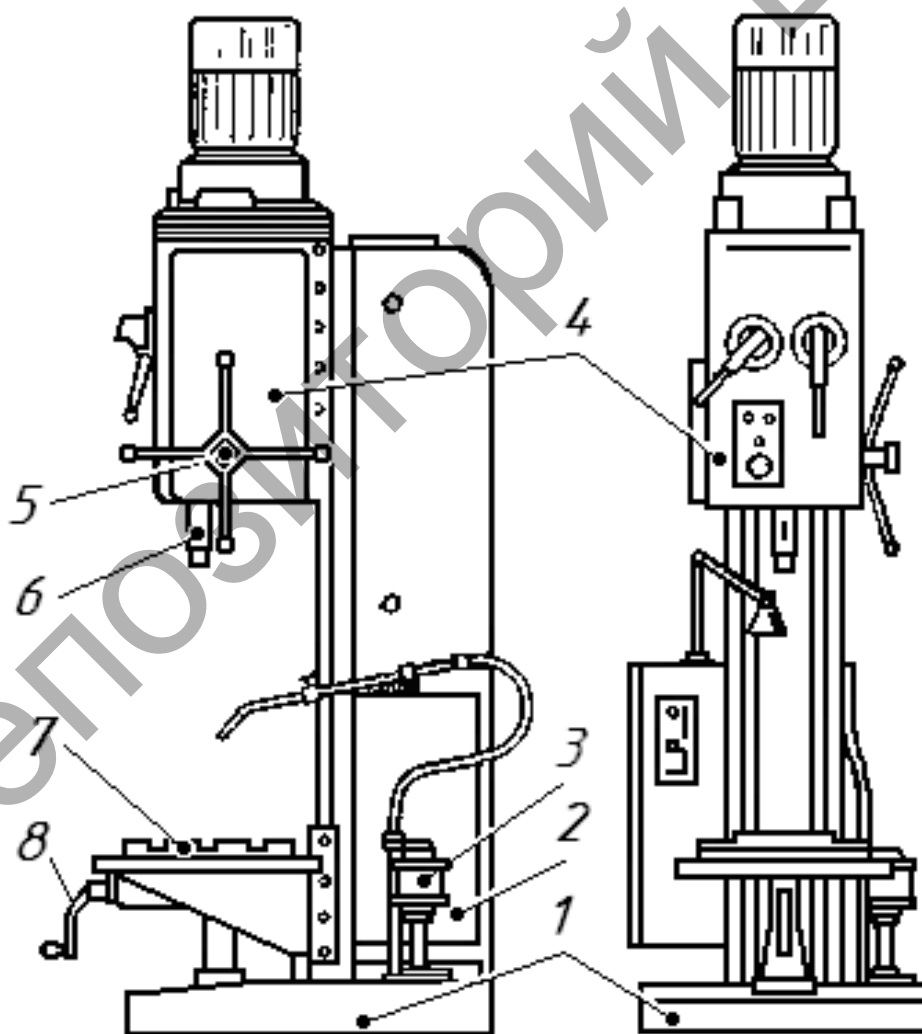


Рисунок 3.57 — Станок вертикально-сверлильный модели 2Н118

Сверху на сверлильной головке установлен фланцевый трехфазный асинхронный электродвигатель. Электрооборудование станка расположено в электрошкафу. Основное место использования станка — единичное и мелкосерийное производство. Но, применив многошпиндельную головку, быстросменный сверлильный патрон и автоматическое отключение подачи при достижении сверлом нужной глубины и установив на него автоматическое загрузочное приспособление, можно использовать станок в крупносерийном и массовом производствах.

Техническая характеристика вертикально-сверлильного станка 2Н118:

- наибольший диаметр сверления 18 мм;
- конус Морзе шпинделя № 2;
- наибольшее осевое перемещение шпинделя 150 мм;
- вылет шпинделя 200 мм;
- наибольшее перемещение шпиндельной головки 300 мм;
- наибольшее вертикальное перемещение стола 350 мм;
- мощность электродвигателя 1,7 кВт; 1 420 мин⁻¹.

Предназначен станок для обработки малых и средних по размерам заготовок.

Структурная кинематическая схема станка включает две настраиваемые цепи: привод главного движения u_v и привод подач u_s , получающий движение от шпинделя. Работа ведется от одного двигателя М. Общий вид структурной схемы приведен на рисунке 3.58.

Кинематическая схема станка приведена на рисунке 3.59. Главное движение (вращение шпинделя) осуществляется от вертикально расположенного

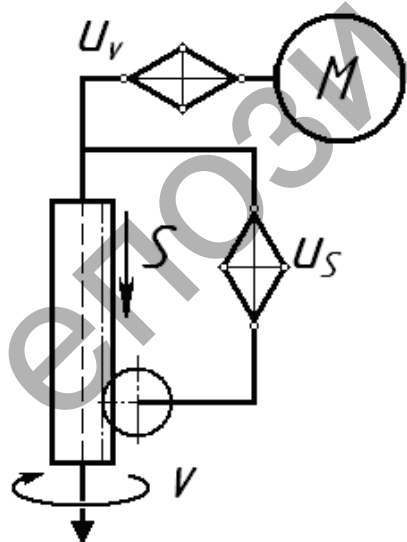


Рисунок 3.58 — Структурная кинематическая схема вертикально-сверлильного станка

электродвигателя ($N = 1,7$ кВт; $n = 1\ 420$ мин⁻¹). Коробка скоростей с помощью двух тройных блоков зубчатых колес сообщает шпинделю девять различных значений скорости вращения шпинделя. Через зубчатую передачу 1-38 движение передается на вал I. Зубчатые пары 3-37, 4-36 и 5-35 передают движение на вал VIII, с которого на вал, изготовленный в виде полый гильзы с внутренним шлицевым отверстием. Вдоль отверстия перемещается шпиндель VII. Движение передается колесами 35-34, 34-32 и 30-31.

Движение подачи передается на гильзу шпинделя через зубчатые колеса 29-6, тройной блок 28-7 или 27-10, или 26-12. Далее движение снимается двойным

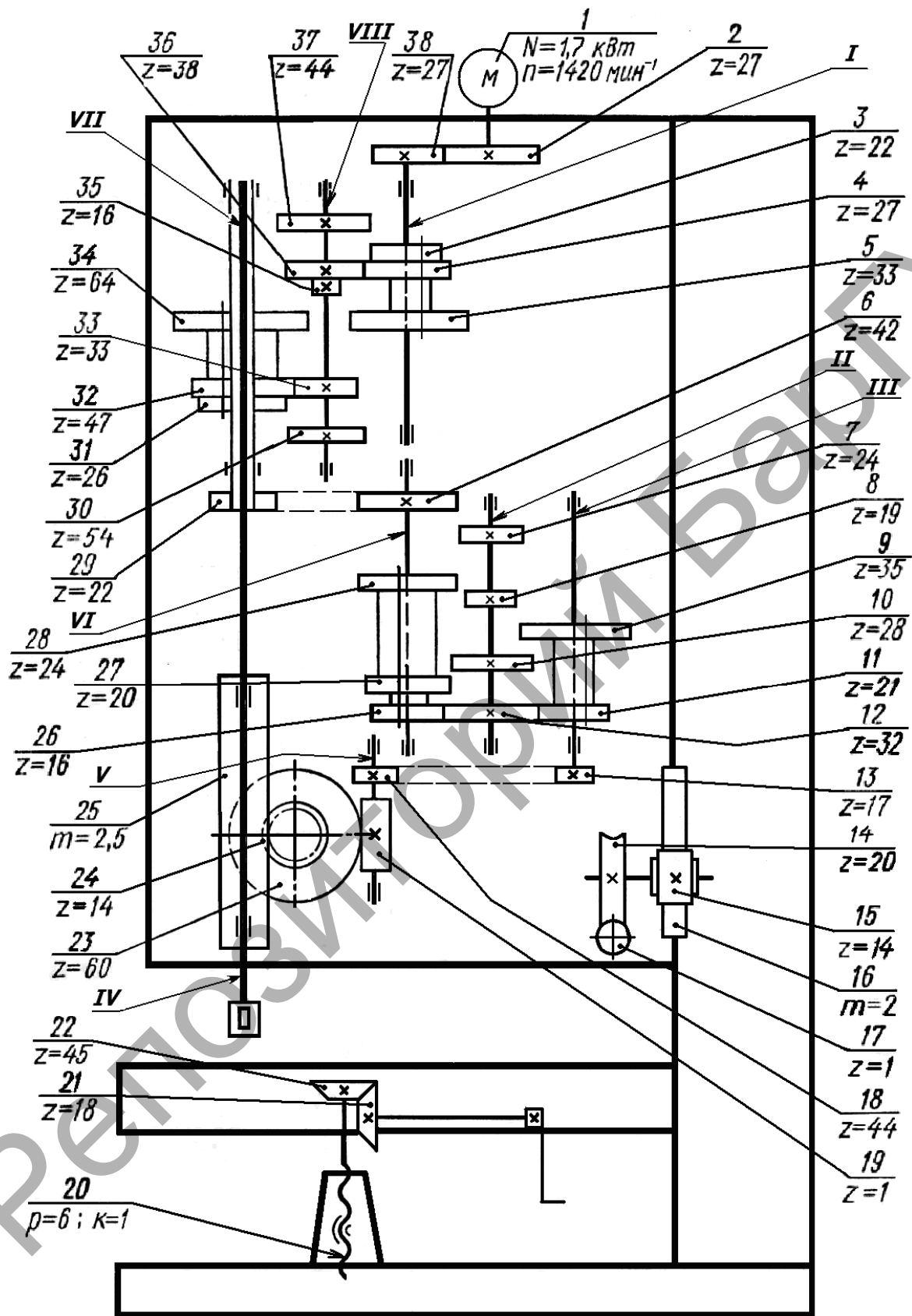


Рисунок 3.59 — Кинематическая схема станка модели 2Н118

блоком через пары 12-11 или 8-9 и через передачу 13-18, муфту, червячную пару 19-23 на реечное колесо 24, а потом на рейку, нарезанную на пиноли шпинделя ($m = 2,5$ мм). Коробка подач обеспечивает получение шести различных подач.

Вспомогательные движения, обеспечивающие перемещение вдоль колонны сверлильной головки с расположенными внутри ее коробками скоростей, подачи шпинделя и механизма подач, осуществляются вращением соответствующей рукоятки через червячную 17-14 и реечную 15-16 пары. Вертикальное перемещение стола производится также вручную поворотом рукоятки через коническую 21-22 и винтовую 20 пары.

Переключение скоростей и подач однорукоятное. Органы управления расположены на передней панели сверлильной головки.

Конструкция шпиндельного узла вертикально-сверлильного станка (рис. 3.60). Опоры шпинделя 4 смонтированы в гильзе 5. В радиальном направлении шпиндель удерживается шарикоподшипниками 2 и 7. Основную осевую нагрузку воспринимает упорный подшипник 6, а вес шпинделя — подшипник 3. Предварительный натяг в подшипниках 3 и 6 регулируют гайкой 1. Шлицевой хвостовик шпинделя получает вращение от коробки скоростей. Рейка, нарезанная на гильзе 5, сообщает шпинделю движение подачи. Рычаг 8 служит для выталкивания хвостовика инструмента из шпинделя и действует при подъеме шпинделя штурвалом резко до конца вверх, когда втулка 9 упирается в корпус сверлильной головки.

Основные схемы обработки предусматривают установку непосредственно в коническое отверстие шпинделя или в различного вида патроны осевого инструмента или приспособлений для закрепления инструментов. Заготовка закрепляется непосредственно на столе станка, в тисках, трехкулачковом самоцентрирующем патроне или специальном приспособлении-кондукторе. *Общий порядок обработки* следующий:

- а) зацентровка отверстия (при работе без кондуктора);

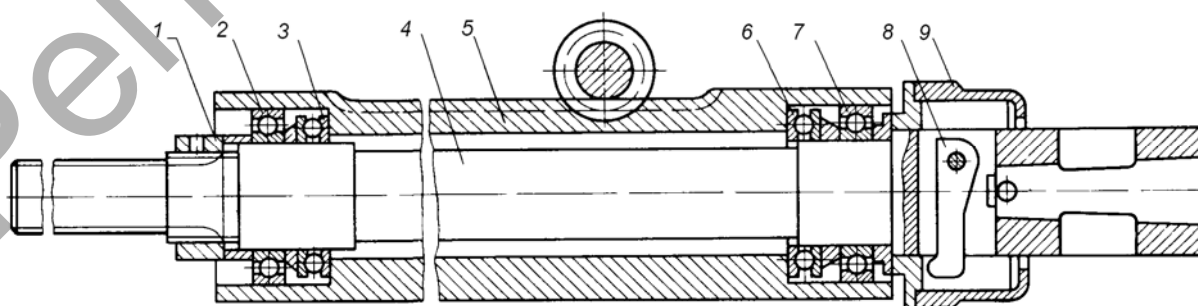
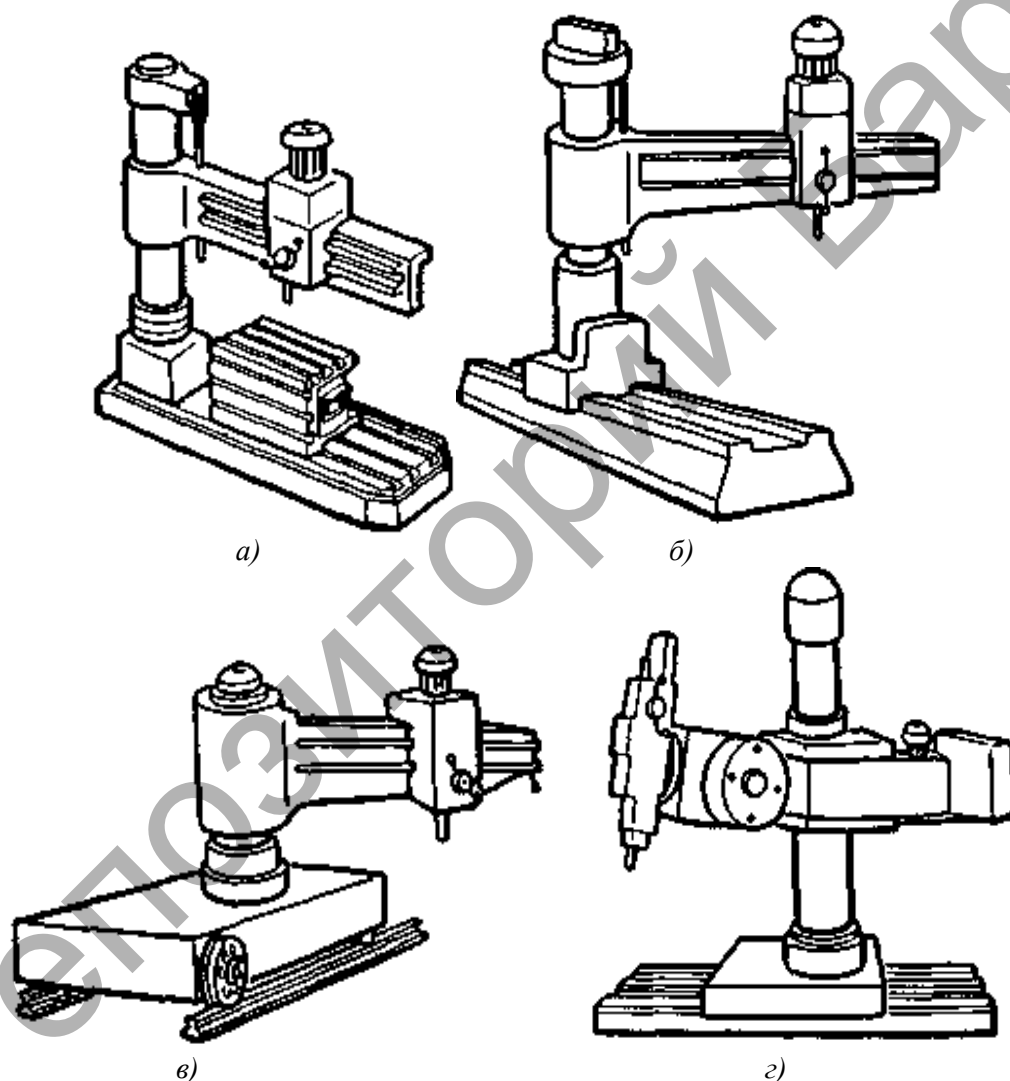


Рисунок 3.60 — Шпиндель станка модели 2Н118
(условно расположен горизонтально)

- б) сверление отверстия;
- в) рассверливание или зенкерование отверстия;
- г) развертывание отверстия;
- д) цекование площадки под головку болта или зенкование фаски;
- е) нарезание резьбы.

Возможно исключение некоторых переходов, например: а, в — е, если это не предусмотрено чертежом.

Радиально-сверлильные станки (рис. 3.61). Принципиальное отличие радиально-сверлильных станков от вертикально-сверлильных состоит



а — стационарный общего назначения; *б* — с колонной, перемещающейся по направляющим станины; *в* — передвижной по рельсам; *г* — переносной

Рисунок 3.61 — Некоторые компоновки радиально-сверлильных станков общего назначения

в том, что при работе на них не приходится перемещать обрабатываемую деталь относительно шпинделя. В радиально-сверлильных станках, наоборот, шпиндель легко можно перемещать как в радиальном направлении, так и по окружности различных радиусов. Это дает возможность сверлить отверстия в любой точке участка детали, ограниченного концентрическим сектором, одна граница которого образована радиусом наибольшего, а другая — наименьшего вылета шпинделя сверлильной головки при круговом вращении траверсы относительно колонны станка. Это вызвано тем, что при обработке тяжелых деталей на их установку, выверку и закрепление требуется больше времени, чем на подвод сверла. Наибольшее перемещение сверлильной головки по консоли составляет 2 650 мм (для станка модели 2М58-1)

Компоновочная схема станка. Радиально-сверлильный станок (рис. 3.62) объединяет фундаментную плиту 1, имеющую прямоугольную форму и одновременно являющуюся столом для установки крупногабаритных деталей;

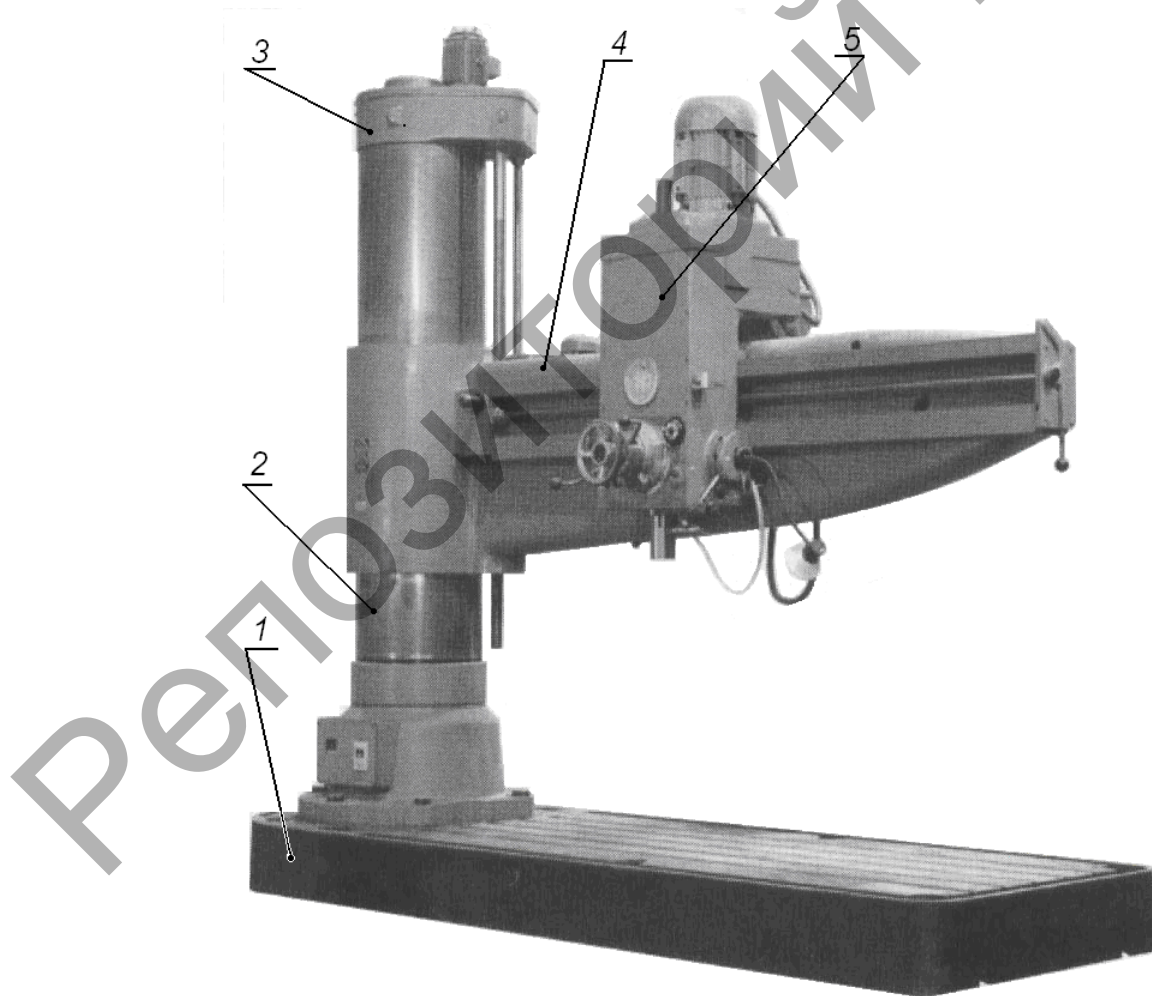


Рисунок 3.62 — Радиально-сверлильный станок общего назначения

на левом краю плиты установлена неподвижная колонна, вокруг которой вращается наружная подвижная колонна 2, на верхнем торце которой закреплен механизм 3 перемещения вверх-вниз и зажима траверсы 4, удерживающейся своим левым концом консольно на подвижной колонне и поворачивающейся вместе с ней вокруг внутренней неподвижной колонны; сверлильная головка 5, перемещающаяся вправо-влево по расположенным на лицевой стороне траверсы направляющим и управляемая как и весь станок с расположенного на ней пульта. На станке можно использовать приставной стол. Электрооборудование собрано в шкафу, закрепленном на основании колонны.

Сверлильная (шпиндельная) головка выполнена в виде отдельного агрегата, в котором смонтированы следующие элементы: коробки скоростей и подач, механизм подач, шпиндель с противовесом или пружиной, механизм управления коробкой скоростей и подач и др. Ее вручную перемещают по направляющим траверсы.

Назначение станка — обработка крупных деталей, которые из-за их большой массы и габаритов трудно или невозможно положить на стол вертикально-сверлильного станка и там передвигать, совмещая места будущих отверстий с осью шпинделя. Радиально-сверлильные станки находят применение в индивидуальном и серийном производствах, когда в деталях сверлятся несколько отверстий при больших межцентровых расстояниях между ними.

На радиально-сверлильных станках выполняют те же технологические *операции*, что и на вертикально-сверлильных, а именно, сверление отверстий в сплошном материале, рассверливание и зенкерование предварительно просверленных отверстий, зенкование торцовых поверхностей, развертывание отверстий, нарезание внутренней резьбы метчиками в основном в средних и крупных корпусных деталях. Можно сверлить отверстия в стали 45 условным диаметром до 100 мм (модель 2М58-1).

С помощью специальных инструментов и приспособлений на радиально-сверлильных станках можно растачивать отверстия, вырезать отверстия большого диаметра и диски из листового материала, притирать точные отверстия цилиндров, клапанов и т. д. Как видно из перечня технологических операций, радиально-сверлильные станки являются универсальными.

Движения в станке. *Главным движением* в радиально-сверлильном станке является вращение шпинделя, а *движением подачи* — осевое перемещение шпинделя вместе с гильзой. К *вспомогательным движениям* относятся перемещения траверсы: поворот вместе с поворотной наружной колонной и последующее закрепление на неподвижной внутренней колонне, вертикальное перемещение по наружной колонне и закрепление траверсы на наружной высоте; перемещение и закрепление шпиндельной головки на траверсе; переключение скоростей и подач шпинделя и т. д. В некоторых моделях радиально-сверлильных станков есть возможность поворота траверсы вокруг ее горизонтальной оси (для сверления наклонных отверстий). Существуют конструкции

станков, у которых кроме основания есть консольно закрепленный на колонне стол, который поворачивается вокруг горизонтальной оси.

Ручное горизонтальное перемещение шпиндельной головки по траверсе происходит с помощью маховичка и реечной передачи. Механическое вертикальное перемещение траверсы по поворотной колонне осуществляется отдельным электродвигателем. Закрепление траверсы после окончания перемещения, а также освобождение траверсы перед началом перемещения производится с помощью гидромеханизмов, управляемых кнопками. Нажим одной кнопки вызывает закрепление колонны и головки, нажим другой — их освобождение. Сила закрепления регулируется продолжительностью нажима кнопки. Поворот траверсы вместе с полкой колонной производится вручную.

Радиально-сверлильный станок имеет высокую жесткость и надежные зажимы узлов.

Многошпиндельные сверлильные станки применяют главным образом в серийном производстве для обработки изделий, в которых требуется одновременно просверлить, развернуть, нарезать резьбу в большом количестве отверстий на разных плоскостях изделия.

Использование для этих целей одношпиндельных сверлильных станков было бы неэкономично, так как потребовалось бы значительно больше станков и рабочих, а также удлинился бы цикл обработки деталей.

Многошпиндельные сверлильные станки делят в основном на три группы:

а) станки с постоянными шпинделями (рис. 3.63), имеющими одну общую станину, на которой установлен ряд стоек. На каждой стойке

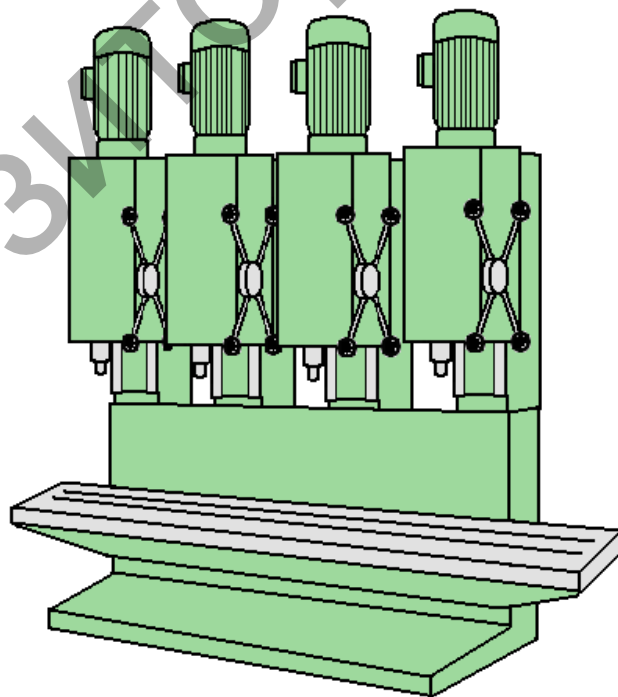
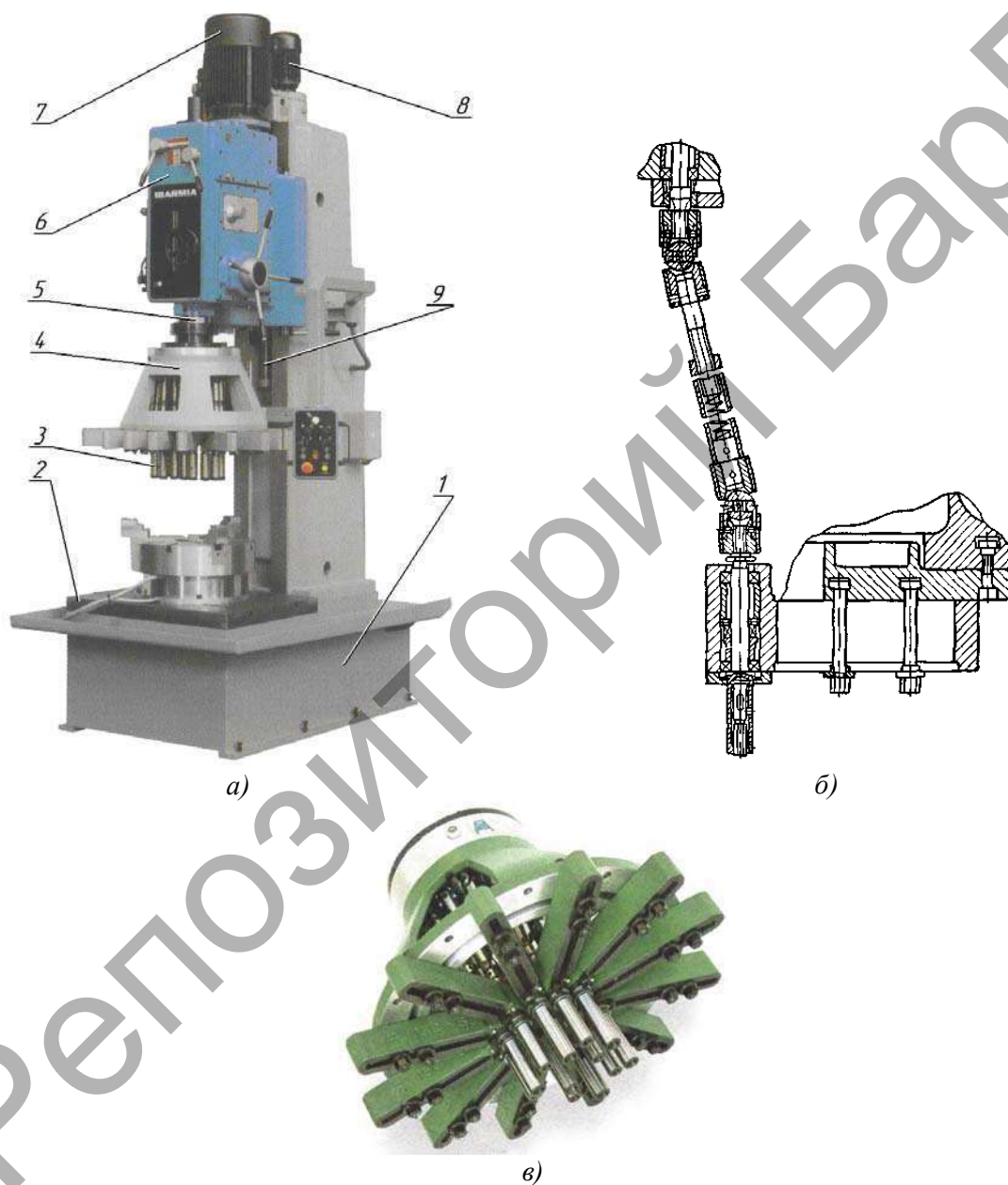


Рисунок 3.63 — Многошпиндельный сверлильный станок с постоянными шпинделями

находится шпиндель с отдельным электроприводом. На станке можно выполнять одновременно или последовательно несколько операций без смены инструмента, постепенно перемещая деталь вдоль стола станка;

б) станки с головками колокольного типа, имеющие соединенные шпиндели (рис. 3.64, б). Такие станки позволяют устанавливать шпиндели в требуемое положение независимо один от другого, в соответствии с расположением обрабатываемых отверстий;



a — общий вид станка; *б* — схема смещаемого шпинделя; *в* — 12-ти шпиндельная сверлильная головка с раздвижными шпинделями

Рисунок 3.64 — Сверлильный станок с многошпиндельной головкой

в) агрегатные многошпиндельные станки для массового производства.

Сверлильный станок испанской фирмы IBARMIA (рис. 3.64, а) имеет один общий привод для всех шпинелей. На станине 1 смонтированы все основные узлы. От электродвигателя 7 через коробку скоростей 6 получает вращение главный шпиндель 5, который в свою очередь через группу зубчатых передач приводит в движение рабочие шпиндели 3, расположенные в многошпиндельной сверлильной головке 4. Последняя механическим приводом подачи от двигателя 8 с помощью винтовой передачи 9 перемещается по направляющим станины вниз и вверх. Приспособление с заготовкой устанавливается на столе.

Шпиндели в сверлильной головке при наладке могут быть установлены в зависимости от расположения отверстий у обрабатываемого изделия симметрично и несимметрично на поверхности шириной до 600 мм.

Станки для глубокого сверления имеют компоновочные схемы, зависящие от характера выполняемой обработки, предъявляемых к ней требований, длины и диаметральных габаритов детали, а также от ряда других факторов. Эти станки предназначены для сверления глубоких отверстий в сплошном материале и растачивания глубоких или сквозных отверстий в валах, распределительных валиках, колоннах гидропрессов и в других подобных деталях, когда глубина сверления или растачивания в 10 и более раз превосходит их диаметр. В связи с тем, что условия обработки глубоких отверстий очень разнообразны, на производстве встречается большое число типов станков для глубокого сверления.

Станки могут быть одно- и двусторонними, т. е. предназначенными для обработки отверстий с одной или двух сторон одновременно.

На рисунке 3.65 показан станок для глубокого сверления, когда обрабатываемая деталь вращается со скоростью резания v (м / мин), а режущий инструмент перемещается со скоростью подачи s (мм / мин). Заготовка 2 получает вращение от шпиндельной бабки 1 и поддерживается люнетом 3. Режущий инструмент 4 с полкой штангой 6 движется с опорой 5 от задней бабки 7. Охлаждающая жидкость (СОЖ), подаваемая через штангу 6 под давлением 2...4 МПа к инструменту 4, одновременно выносит стружку по каналу между штангой и отверстием. При сверлении отверстия диаметром 40...60 мм прокачивается в минуту до 200...1 000 л СОЖ.

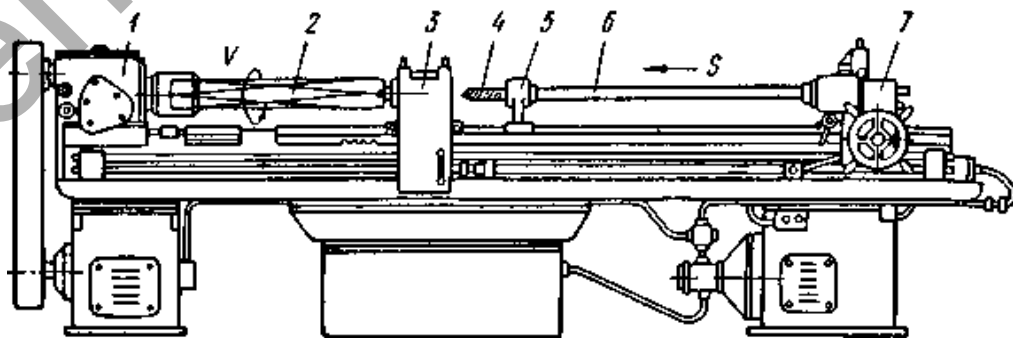


Рисунок 3.65 — Горизонтально-сверлильный станок для глубокого сверления вращающихся деталей

В станке для глубокого сверления, на котором обрабатывают большие тяжелые заготовки, уже не деталь, а режущий инструмент получает вращательное и поступательное движение. Большая масса заготовки вынуждает усложнять оборудование.

Расточные станки предназначены для обработки корпусных деталей в условиях единичного, серийного и массового производств. Это широкоуниверсальные станки позволяют в ряде случаев производить полную обработку детали без перестановки ее на другие станки, что особенно важно для тяжелого машиностроения. На них растачивают, сверлят, фрезеруют, зенкеруют, нарезают резьбы и т. п. Характерной особенностью расточных станков является наличие горизонтального (или вертикального) шпинделя, который совершает главное движение и движение осевой подачи.

Впервые применен горизонтально-расточной станок англичанином Джоном Смитом в 1769 году для расточки цилиндров паровой машины.

За больше чем двести лет развития современного расточного станка его конструкция претерпела существенные изменения. К 1830 году он приобрел вполне современный вид.

Расточные станки делятся на специальные и универсальные (могут быть горизонтальными и вертикальными). *Универсальные* станки в свою очередь делятся на:

- а) горизонтально-расточные для обычных работ;
- б) координатно-расточные для фиксации особо точных межцентровых расстояний в пределах 1—5 мкм;
- в) алмазно-расточные (отделочно-расточные) для растачивания точных отверстий с отклонением от цилиндрической формы в пределах 3—5 мкм.

Назначение и классификация. Диаметр выдвижного шпинделя горизонтально-расточных станков, определяющий основной размер станка, лежит в пределах $D = 80...320$ мм. Точность формы расточенных отверстий зависит от их размеров и колеблется в пределах 2...15 мкм. Отклонение от круглости отверстий, полученных фрезерованием с использованием системы ЧПУ, составляет около 30 мкм.

При использовании дополнительных сменных узлов (фрезерных головок, планшайб и др.) можно проводить фрезерование взаимно перпендикулярных плоскостей, растачивать канавки при радиальном перемещении ползушки планшайбы, устанавливаемой на шпинделе, обрабатывать наружные цилиндрические поверхности и т. п.

Современные станки имеют индивидуальные приводы подач от высокомоментных двигателей для каждой оси. Величина рабочих подач достигает 12 000 мм/мин, а ускоренных — 30 000 мм/мин. Применяют контурное ЧПУ с числом управляемых осей от 3 до 8. Точность линейного позиционирования узлов составляет около 15...30 мкм на длине 1 м. Зона нечувствительности — около 5 мкм, а повторяемость — около

10 мкм. Дальнейшее повышение точности часто ограничивается температурными явлениями. Точность позиционирования поворотного стола около 5".

Компоновка универсальных горизонтально-расточных станков. Основное различие станков заключается в способе перемещения инструмента вдоль оси Z . На рисунке 3.66, *a*, *д* показаны схемы станков, у которых перемещение инструмента вдоль оси происходит за счет перемещения главного шпинделя *1*. Дополнительное осевое перемещение (W) осуществляется стойкой *4* (рис. 3.66, *a*, *г*) или столом *2* (рис. 3.66, *б* и *в*). Такие компоновки позволяют обрабатывать заготовки при постоянном вылете шпинделя. Станок с крестообразным столом (рис. 3.66, *в*) характеризуется повышенной деформацией салазок *3* при перемещении стола *2* в крайнее положение (по оси X). Имеются известные трудности при настройке станка в гибкие производственные системы, поскольку стол имеет два движения, что усложняет управление механизмом смены спутников. Этим недостатком лишены компоновки на рисунке 3.66, *a* и *б*, в которых исполнительные движения распределены между столом *2* и стойкой *4*.

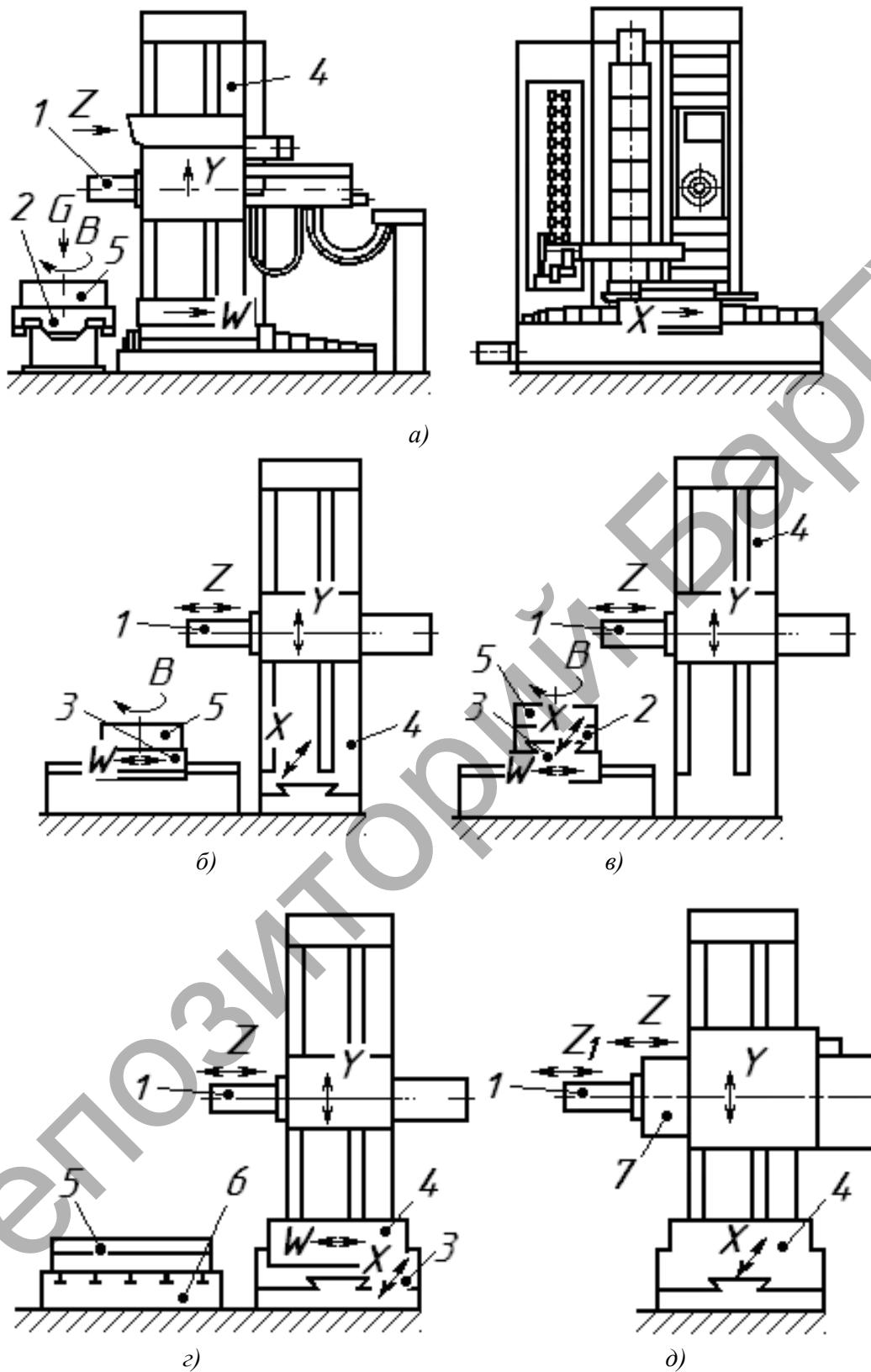
На рисунке 3.66, *г* показана компоновка, в которой предусмотрено дополнительное осевое перемещение инструмента вместе со стойкой *2* на салазках *3*. Она применяется при диаметре шпинделя *1* до 320 мм. Недостаток — небольшой ход стойки вдоль оси шпинделя (600...800 мм). Кроме того, крестовый ход стойки усложняет конструкцию станка. Обрабатываемая заготовка может устанавливаться как на неподвижной плите *6*, так и на поворотном столе *5*.

На рисунке 3.66, *д* приведена компоновка с использованием выдвижного на ход до 2 000 мм ползуна *7*, в котором дополнительно может перемещаться шпиндель *1* на такую же величину. Станки позволяют обрабатывать детали при вылете шпинделя до 4 000 мм. Такая компоновка обеспечивает обработку во всем рабочем пространстве особо крупных заготовок.

Станки различаются также по расположению шпиндельной бабки: сбоку стойки (все крупные станки) или по центру портальной стойки (с диаметром шпинделя до 160 мм). Съёмные столы-спутники размером до 3 000 × 4 000 мм наиболее часто применяют в компоновках на рисунке 3.66, *a* и *б*. Число спутников обычно не превышает двух.

Движения в горизонтально-расточном станке. Главный привод. Шпиндель и планшайба приводятся во вращение двухскоростным асинхронным двигателем. Изменение скорости вращения осуществляется переключением обмоток двигателя и блоков зубчатых колес (рис. 3.67). Направление вращения определяется реверсированием двигателя. Для защиты от динамического воздействия в механизме главного привода между двигателем и приводом установлена упругая муфта.

Передача вращения на шпиндель осуществляется двумя парами зубчатых колес или с малыми скоростями и большими моментами, или с большими



1 — шпиндель; 2 — стол; 3 — салазки; 4 — стойка; 5 — поворотный стол; 6 — плита; 7 — ползун

Рисунок 3.66 — Компоновки горизонтально-расточных станков

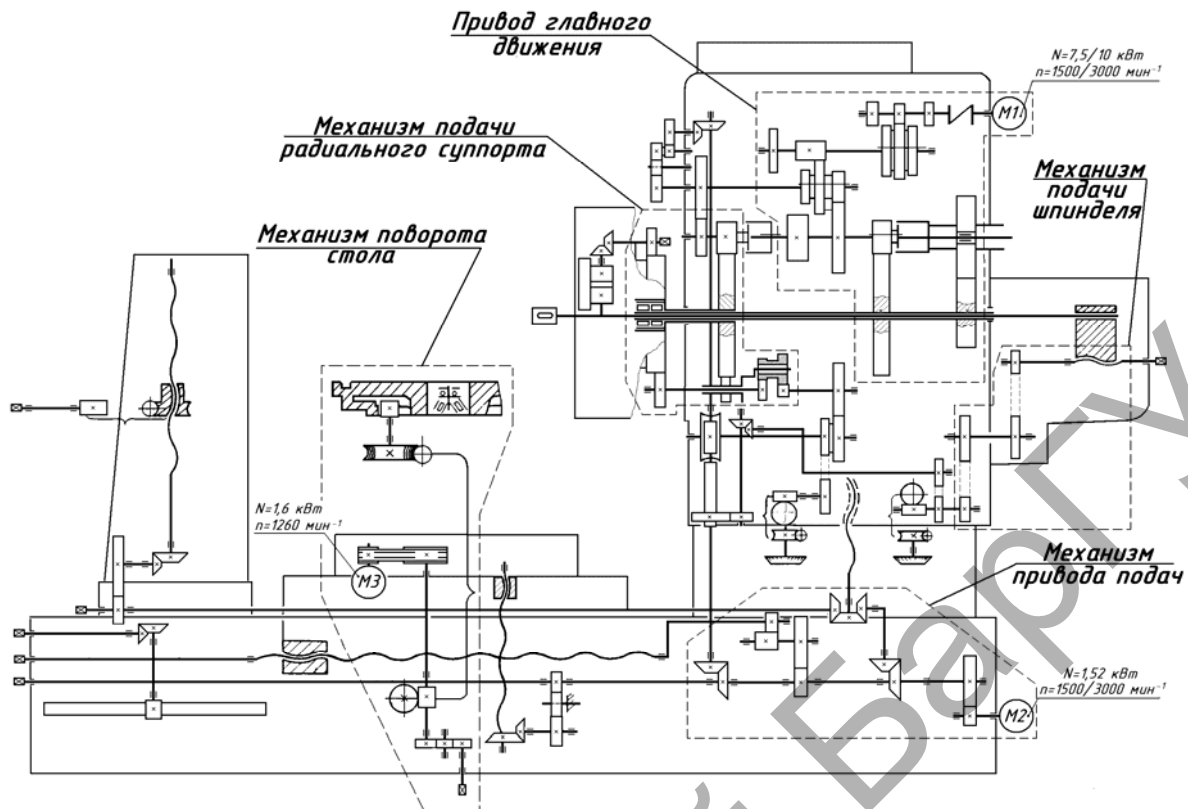


Рисунок 3.67 — Кинематическая схема станка модели 2620В

скоростями и малыми моментами. Для обеспечения плавности и бесшумности передачи одно колесо изготовлено из текстолита. Имеется дополнительная передача на шпиндель планшайбы. При включенной планшайбе вращается и расточный шпиндель, причем его скорость в 1,58 раза больше скорости планшайбы.

Привод подач. Рабочие подачи, медленные и быстрые установочные перемещения подвижных органов станка осуществляются двигателем постоянного тока с диапазоном регулирования $R = 1\ 600$ без переключения зубчатых колес. Реверсирование движения осуществляется также двигателем, что позволяет изменять подачу во время резания.

Перемещения и повороты стола производятся от того же механизма привода подач, что и перемещение расточной головки и люнета задней бабки. Предусмотрена электрическая защита привода от перегрузки.

Отсчет координат бабки, стола и люнета задней стойки выполняется с помощью специальных оптических устройств. Угол поворота стола через 90° фиксируется оптическим прибором с точностью 0,02 мм на радиусе 500 мм.

В кинематической цепи суппорта планшайбы имеется планетарное устройство с сателлитами, обеспечивающее возможность перемещения суппорта во время вращения планшайбы. Осевое перемещение расточного шпинделя осуществляется червячной рейкой и червяком механизма подачи шпинделя, расположенными в хвостовой части шпиндельной бабки.

Управление станком осуществляется с главного и вспомогательного пультов, а перемещение его рабочих органов — вручную с помощью центрального штурвала.

Зажимы подвижных узлов — однорукояточные централизованные. Предусмотрена автоматическая выборка зазоров в направляющих стола и бабки при чистовой обработке. Антифрикционные накладки на направляющих повышают плавность перемещения, уменьшают износ направляющих и предохраняют их от задиров.

Работы, выполняемые на станке. Станки с неподвижной стойкой и встроенным поворотным столом, имеющим продольное и поперечное перемещение (к оси выдвижного шпинделя), выпускаются в двух исполнениях. Первому наиболее универсальному исполнению соответствуют рассматриваемые станки модели 2620В с выдвижным шпинделем $\varnothing 90$ мм и радиальным суппортом на встроеной планшайбе. Такие станки рекомендуются для работ, выполняемых преимущественно посредством радиального суппорта, и для работ, допускающих проход шпинделя $\varnothing 90$ мм через растачиваемое отверстие.

Второе исполнение станков (например, моделей 2622В и 2622П) с усиленным выдвижным шпинделем $\varnothing 110$ мм, без радиального суппорта — для случаев, когда надо иметь повышенную жесткость шпинделя, при преобладании работ, выполняемых без применения радиального суппорта, и работ, допускающих проход шпинделя через растачиваемое отверстие.

На станках можно сверлить, зенкеровать, растачивать и развертывать точные отверстия по точным координатам, фрезеровать. Можно подрезать торцы, растачивать отверстия больших диаметров, протачивать канавки и нарезать резьбу с подачей шпинделя, а также суппортом с подачей стола. Широкий диапазон изменения скорости шпинделя позволяет обрабатывать цветные металлы.

Шпиндели станков вращаются на прецизионных подшипниках качества. Для повышения жесткости, виброустойчивости и сохранения точности выдвижной расточный шпиндель перемещается в стальных закаленных втулках большой длины.

Координатно-расточные станки используются в основном при обработке деталей, к поверхностям которых предъявляются высокие требования по точности расположения.

На станках можно сверлить и растачивать отверстия (в том числе осуществлять тонкое растачивание), зенкеровать, производить чистовое фрезерование плоскостей и фрезеровать канавки, нарезать резьбу метчиком. Применяя поставляемые со станком поворотные столы и другие приспособления, можно обрабатывать отверстия в полярной системе координат (точность 5"), наклонные и взаимно перпендикулярные отверстия, подрезать торцовые поверхности. Эти станки широко используются при обработке пресс-форм и штампов, кондукторов и приспособлений.

Станки можно использовать и в качестве координатных измерительных машин для контроля линейных размеров по трем осям, угловых размеров, межцентровых расстояний. Можно осуществлять точную маркировку в виде кернения, а также производить деление и разметку на металлических поверхностях.

Такие станки устанавливают в термостатных помещениях. Станок используется в единичном и мелкосерийном производствах.

Среднее значение погрешностей на станках составляет:

- отклонение от круглости обрабатываемого отверстия 2...3 мкм;
- непостоянство диаметра в продольном сечении (на длине 50 мм) — 2...5 мкм;
- погрешность межосевых расстояний отверстий — 4...5 мкм;
- точность линейных координатных перемещений — 2...3 мкм;
- точность отсчета — 1 мкм;
- угловая погрешность — 1".

В связи со спецификой обработки, связанной с малыми припусками (десятые и сотые доли миллиметра), с необходимостью точной установки и малой подачи инструмента станки оснащаются различными приспособлениями для закрепления инструмента и детали, которые позволяют выполнять точные изменения положения режущего инструмента и обрабатываемой детали и облегчают работу.

Компоновка координатно-расточных станков. Станки подразделяются на двухстоечные с вертикальной осью шпинделя (рис. 3.68, *а*) и одностоечные с вертикальной (рис. 3.68, *б*) и горизонтальной (рис. 3.68, *в*) осью шпинделя (модель 2459). Шпинделю сообщается вращательное движение и подача. В *двухстоечных* станках стол имеет только продольный ход, а поперечная подача осуществляется перемещением шпиндельной

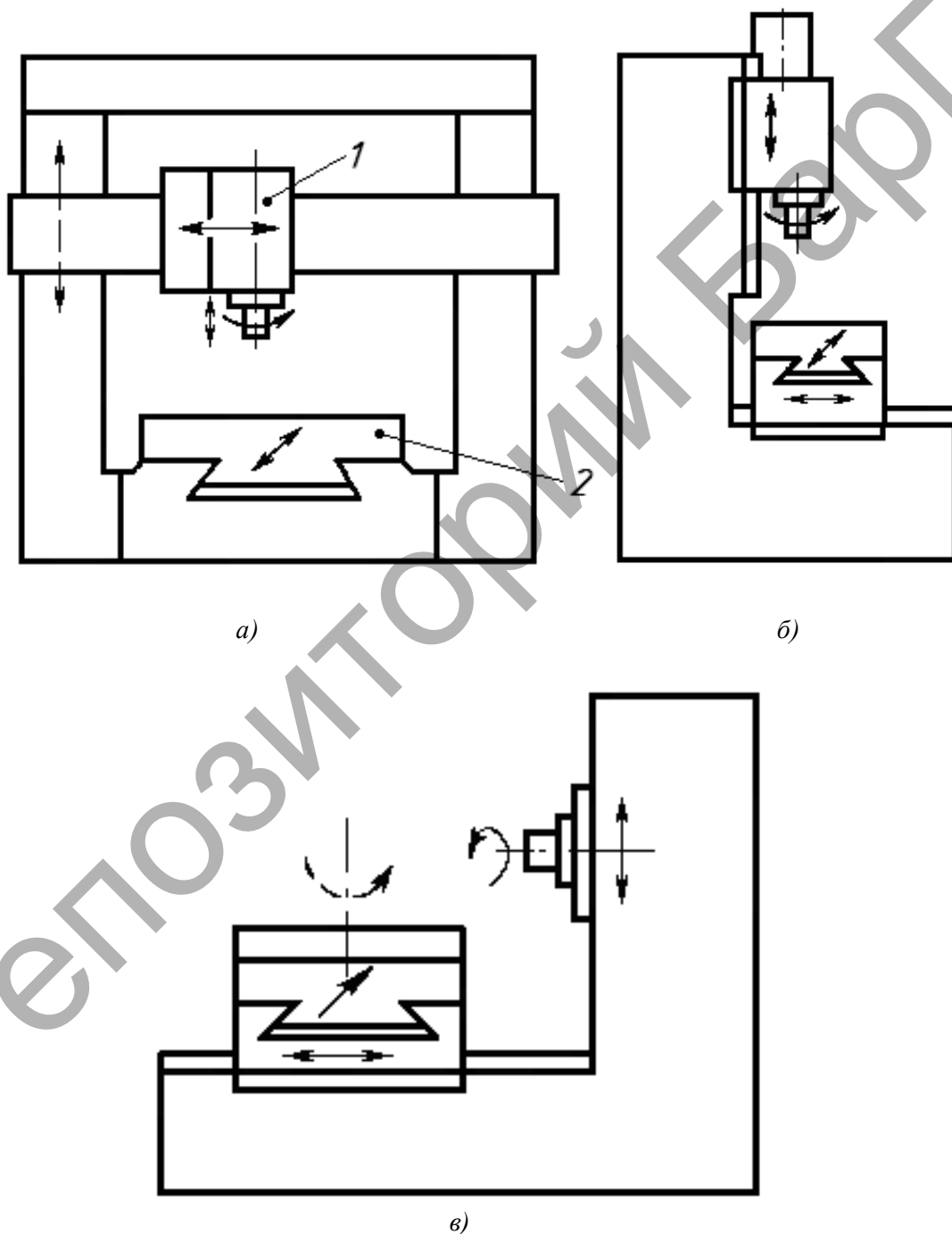


Рисунок 3.68 — Компоновки координатно-расточных станков

бабки. Двухстоечные станки могут изготавливаться с одной или двумя шпиндельными бабками. Преимущество двухстоечной компоновки в том, что благодаря симметричной конструкции тепловые деформации меньше сказываются на точности. Кроме того, погрешность положения по каждой оси (перемещение стола 2 или шпиндельной бабки 1) не зависит от погрешности перемещений по другим осям. *Одностоечная* компоновка с вертикальной осью обеспечивает хороший доступ к заготовке. В ней имеет место взаимное влияние перемещений столов на точность по каждой координате. Вследствие вылета шпиндельной головки температурные деформации выше в 2—3 раза, чем в двухстоечных станках. Компоновка с горизонтальной осью имеет более широкие технологические возможности и позволяет обрабатывать заготовки большой высоты, однако достижение высокой точности значительно сложнее.

Для точного отсчета перемещений подвижных узлов координатно-расточных станки имеют *специальные устройства*: точные ходовые винты с лимбами и нониусами, жесткие и регулируемые концевые меры вместе с индикаторными устройствами, прецизионные масштабные линейки вместе с оптическими устройствами и индуктивные винтовые проходные датчики. Для этого применяют механические, оптико-механические, оптические, оптико-электрические и электрические системы.

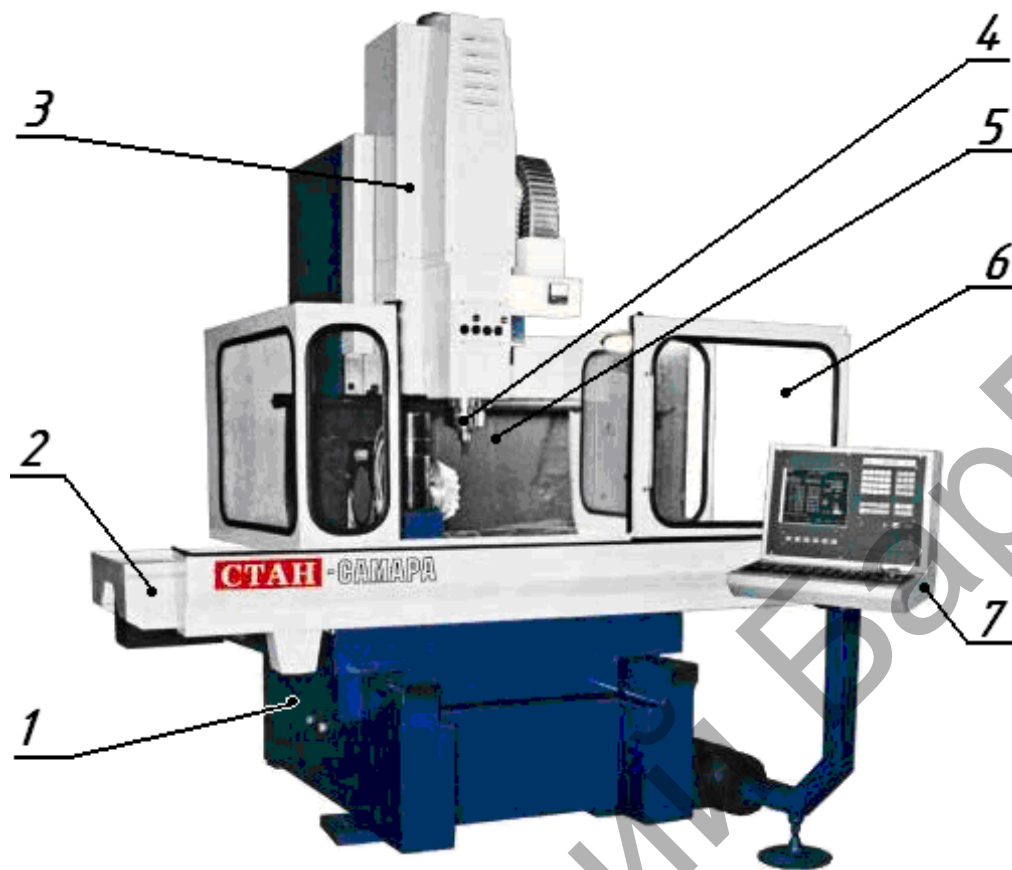
На столе есть устройства для автоматической фиксации стола и салазок во время работы. В конце установочного хода стола скорость перемещения автоматически уменьшается и стол может останавливаться за 0,8...1,2 мм до нужной точки и доводится вручную.

Станки выпускаются с разным *уровнем автоматизации*: от станков с ручным перемещением столов по координатным осям до станков с ЧПУ. Привод главного движения обычно выполняют регулируемым с минимальным количеством зубчатых колес. Величина подачи гильзы шпинделя лежит в пределах 0,01...0,2 мм / об (часто берет движение от главного привода). Подача столов происходит со скоростью от 0,5 до 6 м / мин.

Аналогично устроены координатно-шлифовальные станки.

Конструкции отдельных узлов. Шпиндельная бабка координатно-расточных станков 3 (рис. 3.69) определяет форму растачиваемого отверстия и должна обеспечивать высокую точность вращения при минимальном выделении тепла и отсутствии вибраций. В ней расположен главный привод, включающий двигатель постоянного тока, передающий вращение через клиноременную передачу на шпиндель; механизм автоматической подачи шпинделя; устройство отсчета перемещения гильзы шпинделя; механизмы зажима шпиндельной бабки на стойке станка после ее перемещения по V-образным направляющим.

В станке есть автоматическая и ручная подача шпинделя 4. Для уравнивания шпинделя и возврата его в верхнее положение установлена



1 — станина; 2 — стол; 3 — шпиндельная бабка; 4 — шпиндель;
5 — стойка; 6 — защитный экран; 7 — пульт управления

Рисунок 3.69 — Основные узлы координатно-расточного одностоечного станка с УЧПУ модели 2440CF4

спиральная пружина. Устройство отсчета перемещений выполнено в виде штока, соединенного с гильзой шпинделя, а также регулирующего штока с упором. Шпиндельная бабка прижимается к направляющим стойки с постоянным усилием с помощью четырех подпружиненных упоров.

Гильза шпинделя, осуществляющая его подачу, устанавливается в опорах скольжения.

Стол станка 2 обеспечивает точность координатных перемещений заготовки, поэтому используют сочетания плоской и V-образной направляющих качения или скольжения. Механизм зажима стола и салазок состоит из рукоятки, винтового и кулачкового механизмов. Для контроля величины перемещения стола используется оптическое устройство, состоящее из стеклянной отсчетной линейки, бесконтактного фотоэлектрического датчика (который служит для преобразования линейных перемещений в электрические сигналы) и блока отсчета.

Алмазно-расточные станки принадлежат к группе отделочных станков. Они предназначены для тонкого растачивания точных цилиндрических поверх-

ностей, а при наличии дополнительной оснастки — для обработки торцов, канавок, конических и фасонных поверхностей вращения. Под *тонким растачиванием* понимают окончательную отделочную обработку отверстий, выполняемую алмазным или твердосплавным режущим инструментом в деталях из черных и цветных металлов. Эти станки наиболее эффективны в условиях массового и крупносерийного производства в автомобильной и авиационной промышленности (расточка вкладышей, втулок, гнезд под подшипники и некоторых деталей гидроаппаратуры), а иногда и мелкосерийного производства (рис. 3.70).

У этих станков главное движение — вращение шпинделя, движение подачи — осевое перемещение шпинделя (у вертикальных) и перемещение стола с заготовкой (у горизонтальных) станков. Станки имеют повышенные частоту вращения шпинделя и жесткость, которая обеспечивает их виброустойчивость.

Обычно алмазные инструменты используются при обработке цветных сплавов ($v \leq 400 \dots 1\ 000$ м/мин), а твердосплавные — цветных ($v \leq 200 \dots 600$ м/мин) и черных ($v \leq 100 \dots 300$ м/мин) металлов.

Назначение станков. Алмазное растачивание в ряде случаев заменяет шлифование. Наряду с растачиванием одного отверстия может производиться одновременная обработка нескольких отверстий с параллельными осями и последовательная обработка соосных отверстий, что позволяет достичь высокой точности относительного расположения осей (до 0,005 мм). Алмазное растачивание во многих случаях при тех же параметрах поверхности лучше внутреннего шлифования, так как при растачивании обработанная поверхность не шаржируется абразивными зёрнами, которые приводят к повышенному износу сопрягаемой с отверстием детали.

Процесс тонкого растачивания при высоких скоростях резания характеризуется малой величиной подачи (0,01...0,1 мм / об) и небольшой глубиной резания (0,05...0,5 мм). На станках достигается высокая точность обработки отверстий — отклонение от круглости и цилиндрической формы в пределах 3...5 мкм, шероховатость поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,63$ мкм при тонком растачивании.

К алмазно-расточным станкам предъявляют высокие *требования*, главными из которых являются: высокая частота вращения шпинделя — (до 12 000 мин⁻¹); устойчивые малые подачи (менее 0,04 мм / об); бесступенчатое регулирование подачи; достаточно высокая скорость ускоренных ходов (4...7 м / мин); повышенные требования к отсутствию вибраций.

Компоновки алмазно-расточных станков. По расположению оси шпинделя 4 в пространстве рассматриваемые станки подразделяются (рис. 3.71) на горизонтальные (а, б, в, г), вертикальные (д, е), наклонные (ж) и комбинированные (и); по числу шпинделей — на одношпиндельные и многошпиндельные; по расположению шпинделей относительно детали — односторонние и двусторонние. Достоинство вертикальных расточных станков в том, что изгиб шпинделя не влияет на точность обработки.

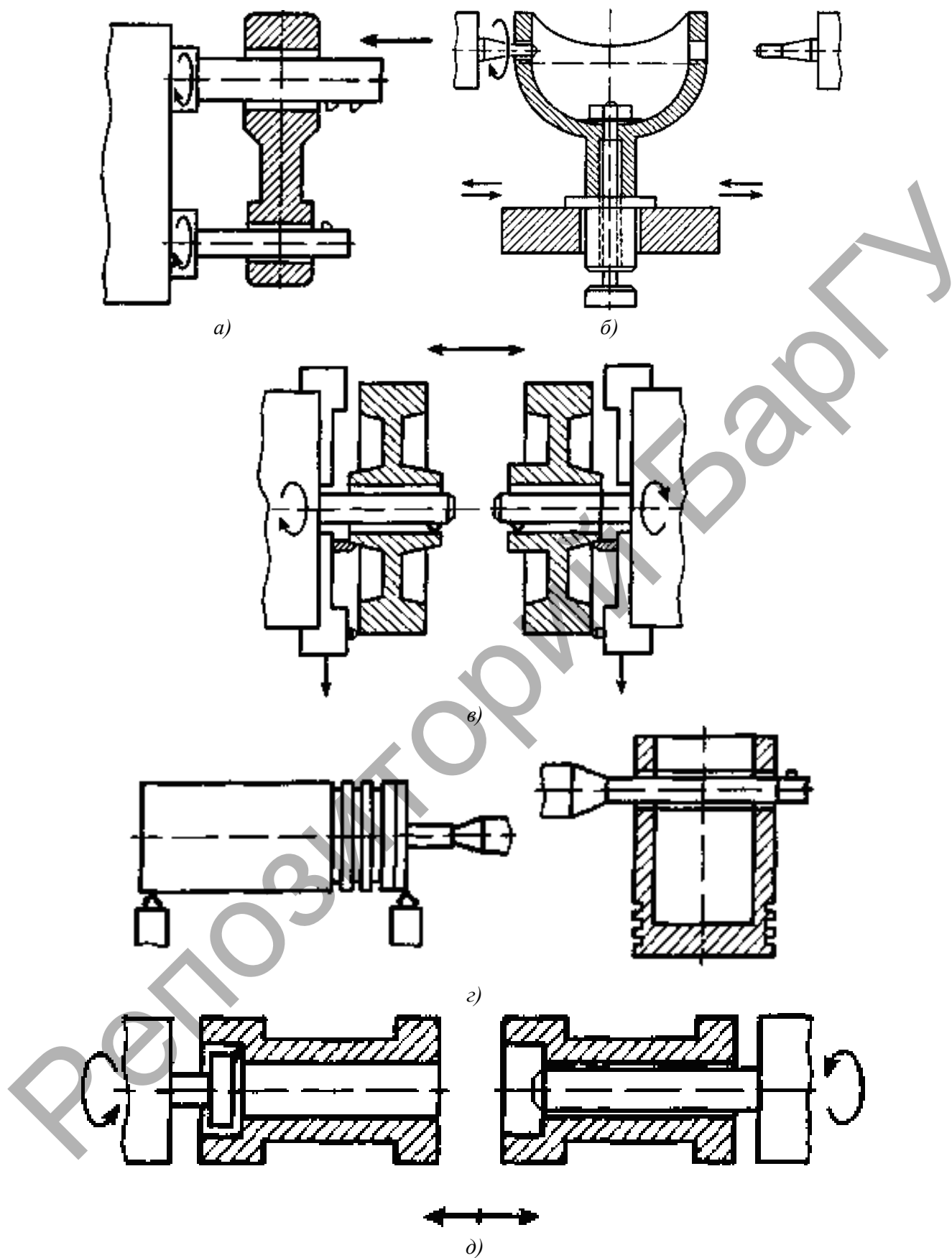
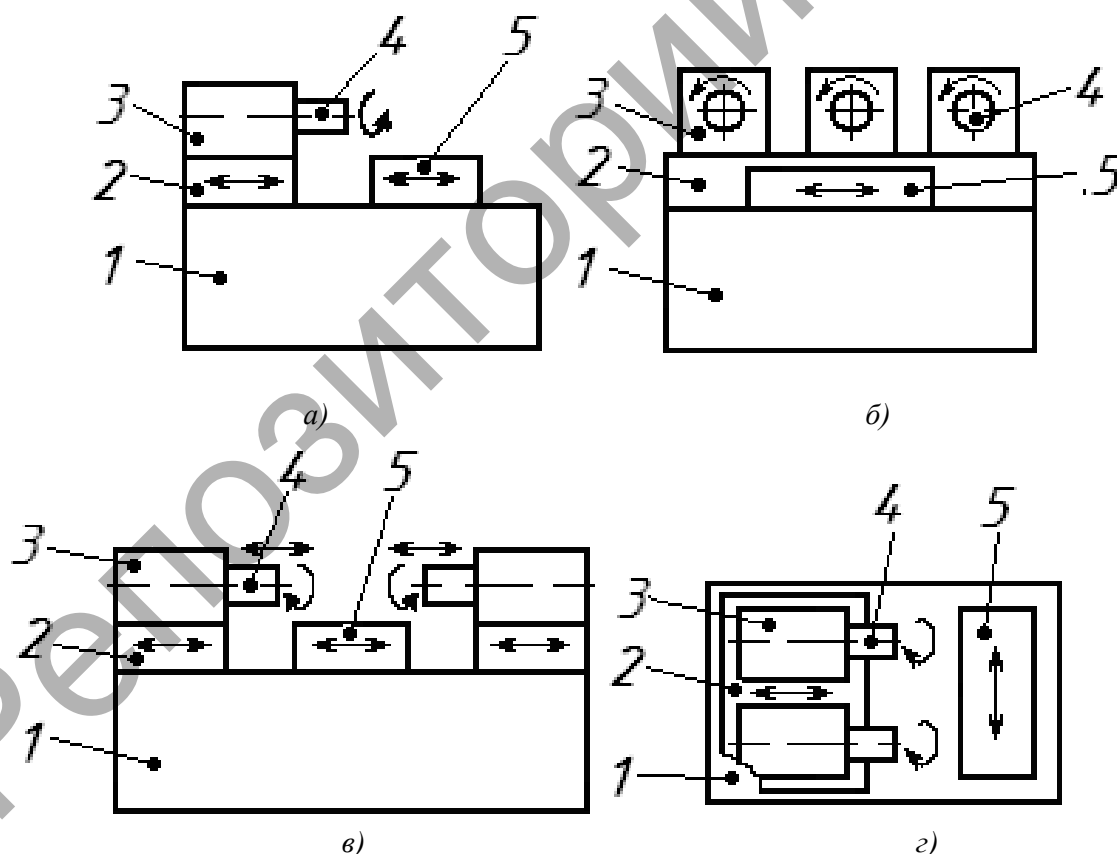


Рисунок 3.70 — Примеры заготовок, обрабатываемых на алмазно-расточных станках

Основное отличие станков заключается в расположении оси шпинделя в пространстве и относительном перемещении инструмента и заготовки вдоль оси Z .

По относительному перемещению шпинделя 4 и стола 5 станки бывают с подвижным столом 5, с подвижными шпиндельными головками 3, с подвижными шпинделями 4 (корпусы шпиндельных головок 3 в этом случае неподвижны), с различными комбинациями движений стола 5 и шпинделя 4. Наиболее распространенные — горизонтальные станки с подвижным столом, перемещающимся параллельно оси шпинделя (рис. 3.71, а, в). Стол 5 движется по направляющим вдоль станины 1, а шпиндельные головки 3 установлены на неподвижных мостиках 2. На мостике располагается одна (рис. 3.71, а) или несколько шпиндельных головок (рис. 3.71, б, г). Горизонтальные станки со столом, перемещающимся перпендикулярно оси шпинделя (рис. 3.71, б, г), имеют ограниченное применение — для тонкого подрезания (торцевания) плоскостей деталей одно- или многолезвийным инструментом.



1 — станина; 2 — мостик; 3 — шпиндельная головка; 4 — шпиндель;
5 — стол; 6 — основание; 7 — колонна; 8 — суппорт

Рисунок 3.71 — Компоновки алмазно-расточных станков

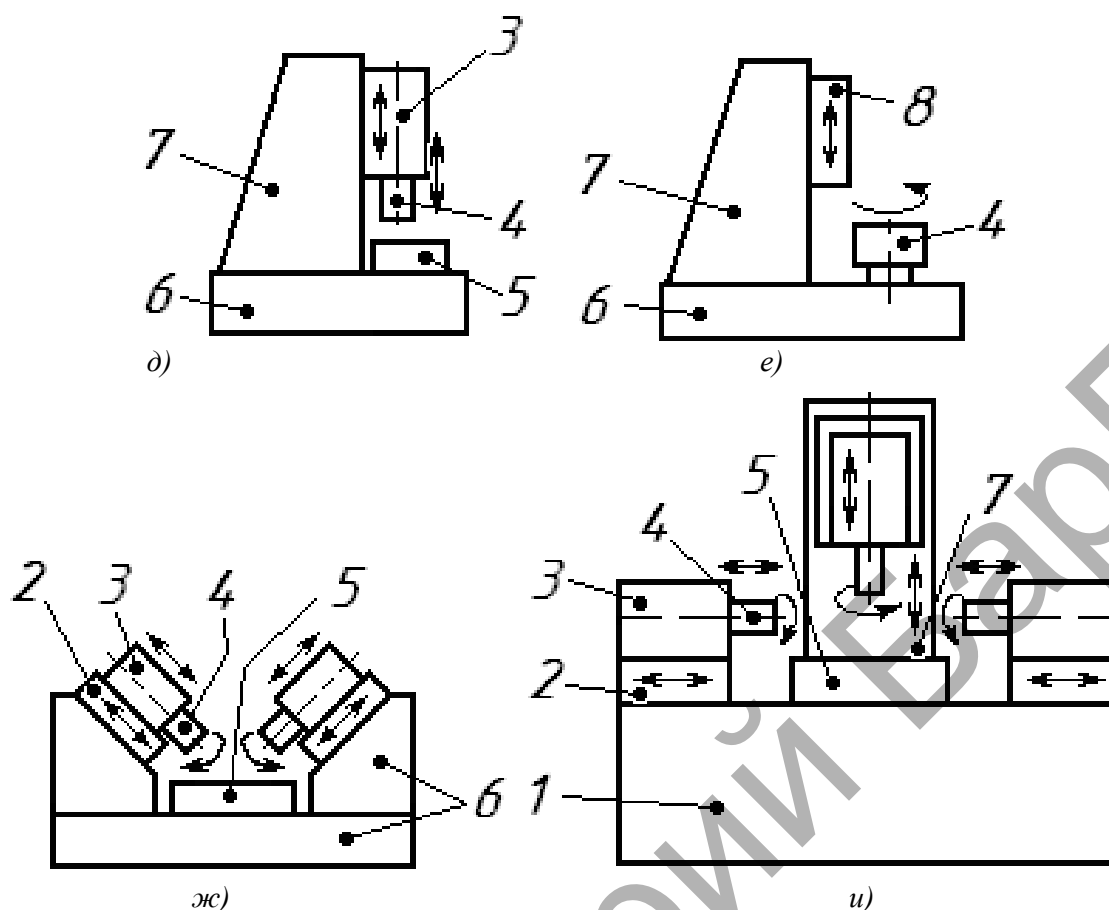


Рисунок 3.71 — Окончание

Вертикальные алмазно-расточные станки (рис. 3.71, *д*, *е*) целесообразно применять для обработки глубоких отверстий, при растачивании которых на горизонтальных станках прогиб расточных оправок от собственного веса в дополнение к отжиму инструмента может внести дополнительную погрешность и снизить точность обработки. На таких станках удобно обрабатывать отверстия, оси которых перпендикулярны базовой плоскости. Вертикальные станки позволяют экономить производственную площадь до 30%. Вместе с тем они уступают горизонтальным по точности, так как при перемещении расточной головки по направляющим стойки 7 (рис. 3.71, *д*) работают вспомогательные грани (планки) под воздействием веса головки 3.

Вертикальные станки выпускаются с подвижными шпиндельными головками, шпинделями (рис. 3.71, *д*) или с подвижными инструментальными суппортами (рис. 3.71, *е*). Наиболее распространены станки с подвижными шпиндельными головками при верхнем расположении шпинделей (рис. 3.71, *д*). Обычно станки изготавливаются одношпиндельными и снабжаются столом, имеющим установочные перемещения в го-

ризонгальной плоскости. Такие станки применяются в единичном и мелкосерийном производстве.

Станки, показанные на рисунке 3.71, *е*, применяются для чистовой обработки круглых деталей большого диаметра. Деталь закрепляется в патроне шпинделя, расположенного в нижней части станка. Инструментальные суппорты обеспечивают рабочую подачу резцов в вертикальном направлении.

Наклонные станки применяются для растачивания V-образных блоков цилиндров двигателей.

Комбинированные алмазно-расточные станки (рис. 3.71, *и*) предназначены для одновременного растачивания отверстий с параллельными и перпендикулярными осями. Станки таких компоновок предназначены для работы в крупносерийном и массовом производстве.

Основные узлы алмазно-расточных станков. Горизонтальные станки с подвижным столом — наиболее распространенная группа алмазно-расточных станков. Схема одного из них (модель 2712А) показана на рисунке 3.72. Этот станок предназначен для двухстороннего окончательного растачивания соосных отверстий, а также для подрезки торцов в корпусных деталях.

На основании 22 установлены два мостика 4 и 11 для обеспечения соосности шпинделей и отверстий деталей. На мостиках закреплены расточные головки 5 и 10, которые приводятся в движение от двигателей 1 и 14 через ременные передачи. Для снижения вибраций главные двигатели устанавливаются отдельно от станка на собственных фундаментах. Зажимное приспособление для детали (не показано на рисунке) крепится на столе 8.

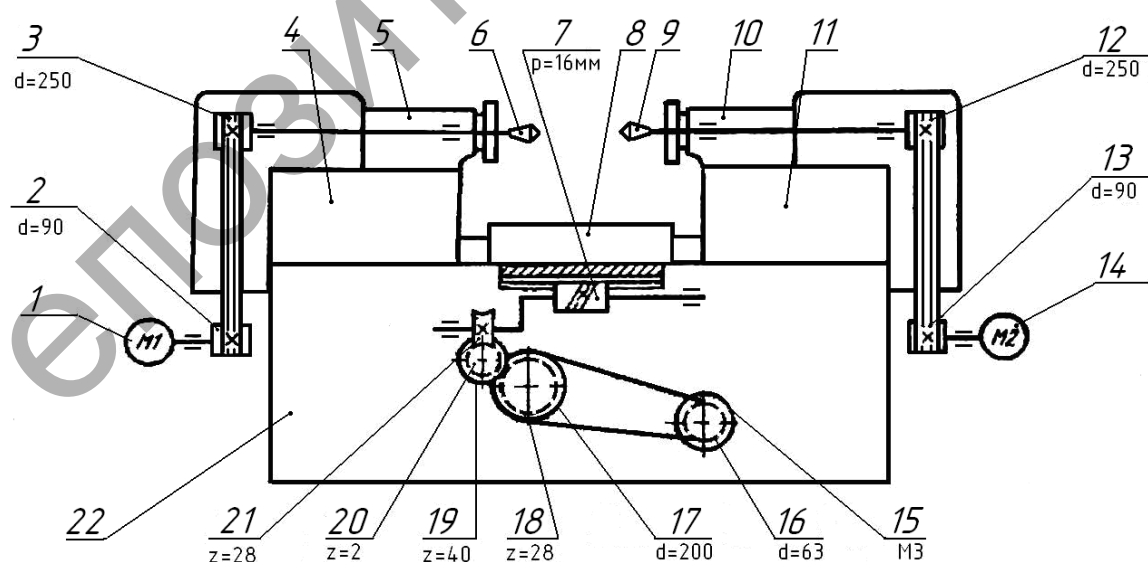


Рисунок 3.72 — Устройство горизонтального алмазно-расточного станка модели 2712А

На рисунке 3.73 показана конструкция расточной головки, применяемой в станке. Изготовленный из стали 40Х, термообработанный и шлифованный шпindelь 3 вращается на двух опорах смонтированных в чугунном корпусе 4.

Каждая опора состоит из двух радиально-упорных шарикоподшипников 7. За счет разной ширины втулок 8 и 9 в опоре создается предварительный натяг при стягивании внутренних колец опор на шпинделе с помощью гайки 2 и промежуточной втулки 5. Наружные кольца передней опоры зафиксированы между крышкой 10 и втулкой 6. Задняя опора выполнена плавающей для компенсации тепловых деформаций; так как наружные кольца не зафиксированы, то задняя опора воспринимает только радиальные нагрузки. Расточная оправка центрируется в закаленной втулке 11 и крепится винтами 12 к фланцу шпинделя.

Приводной шкив закреплен гайкой 1 на коническом хвостовике шпинделя. После выверки положения оси шпинделя в горизонтальной плоскости головка закрепляется на мостике четырьмя болтами.

Применение в станке данного типа, но другой модификации (модели 2712С), гидростатических опор шпинделя позволяет снизить отклонение от круглости растачиваемого отверстия до $0,0006 \dots 0,001$ мм.

Схема обработки. Главное движение задается поочередно одним из регулируемых электродвигателей постоянного тока 1 или 14 (рис. 3.72) через

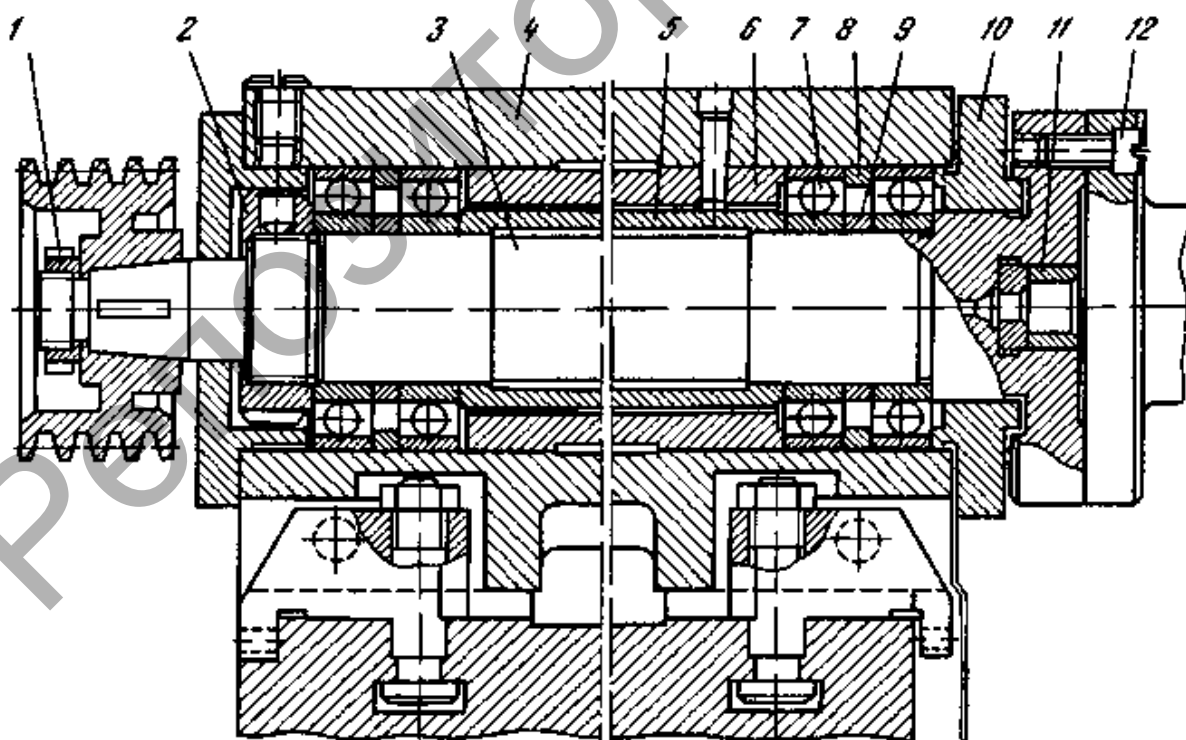


Рисунок 3.73— Расточная головка горизонтального алмазно-расточного станка

ременные передачи 2-3 и 12-13. Движение подачи обеспечивают регулируемым электродвигателем постоянного тока 15 через ременную передачу 16-17, зубчатую передачу 18-19, червячную пару 20-21 и через пару червяк 7 — косозубая рейка, которая прикреплена к столу.

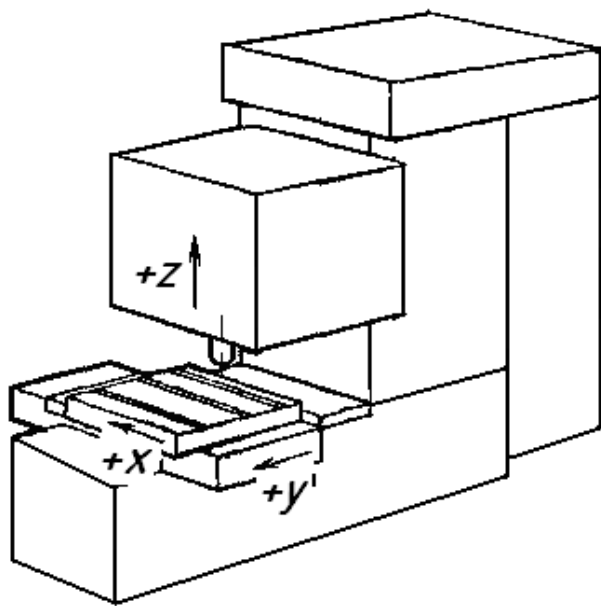
Каждая из расточных борштанг своим фланцем крепится к шпинделю соответствующей шпиндельной головки. В каждой борштанге установлен расточной резец. При необходимости на каждой борштанге можно установить несколько резцов, которые будут растачивать ступенчатое отверстие, подрезать торцы и снимать фаски. Нужный диаметр обработки устанавливается регулировкой положения резца по эталону с помощью специального приспособления. Приспособление для закрепления заготовок установлено на столе (разновидности суппорта), получающем перемещение со скоростью подачи. Работа станка ведется в полуавтоматическом режиме. После включения станка расточка заготовки производится поочередно борштангой 6, а потом 9. После окончания растачивания стол автоматически возвращается в исходное положение и вращение шпинделей останавливается. Заготовки открепляются и заменяются новыми.

3.5 Сверлильные и расточные станки с ЧПУ

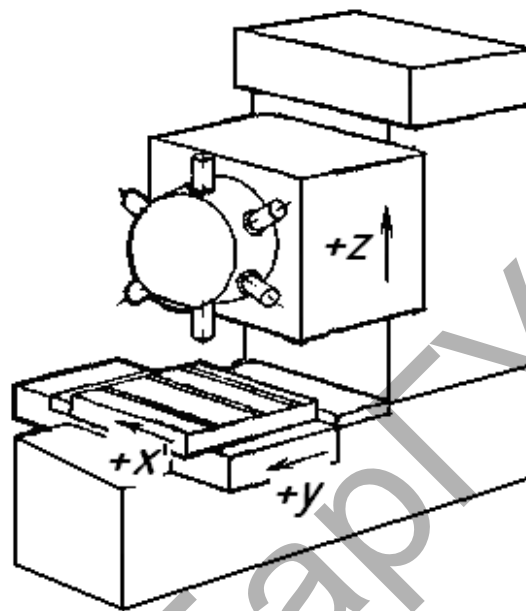
Вертикально-сверлильные станки с ЧПУ предназначены для сверления, рассверливания, зенкования, развертывания и нарезания резьб в деталях типа крышек, фланцев, панелей и т. п. также как и обыкновенные станки, но без предварительной разметки и без применения кондукторов. За счет этого и достигается экономия материальных средств.

Особенности конструкций сверлильных станков с ЧПУ. Цикл перемещения шпинделя у сверлильных станков с ЧПУ автоматизирован. Станки могут быть использованы в мелкосерийном и серийном производстве.

Имеется несколько модификаций вертикально-сверлильных станков с ЧПУ, близких по своим характеристикам. Так у станка модели 2Н118Ф2 (рис. 3.74, а) переключение подач и ступеней частоты вращения шпинделя производится вручную. Более совершенный станок модели 2Н135Ф2 работает в автоматическом режиме. Его можно эффективно использовать в мелкосерийном, серийном и в некоторых случаях в единичном производстве. Станок имеет крестовый стол с прецизионными винтовыми парами качения. Станок модели 2Р118Ф2 (рис. 3.74, б) работает в автоматическом режиме, оснащен крестовым столом, шестипозиционной револьверной головкой, что расширяет технологические возможности станка и позволяет успешно эксплуатировать его в единичном, мелкосерийном и серийном производствах деталей.



а)



б)

Рисунок 3.74 — Система координат вертикально-сверлильного станка с ЧПУ и вертикально-сверлильного станка с ЧПУ и револьверной головкой

Репозиторий БарГУ

Система координат. Вертикально-сверлильные станки с ЧПУ в отличие от аналогичных станков с ручным управлением оснащены крестовыми столами, автоматически перемещающими обрабатываемую деталь по координатным осям X и Y .

Радиально-сверлильные станки с ЧПУ имеют подвижную по оси X колонну, подвижную по оси Y траверсу со шпиндельной бабкой, в которой смонтирован сверлильный шпиндель, подвижный по оси Z . Помимо этого траверса имеет наладочные перемещения в вертикальном направлении.

Автоматизированные перемещения рабочих органов сверлильных станков по осям X и Y обеспечивают выполнение кроме операций, связанных с обработкой отверстий, выполнение фрезерных операций.

Сверлильные станки оснащают позиционными УЧПУ.

Постоянные циклы при обработке отверстий. При подготовке программ работы вертикально-сверлильных станков с ЧПУ используется общая методика программирования, предполагающая стандартные циклы обработки, характерные для сверлильных станков.

Типовые схемы технологических переходов обработки отверстий имеют ряд общих признаков:

а) большинство переходов осуществляют за один проход (многопроходные технологические переходы характерны для обработки глубоких отверстий с периодическими выводами сверла и обработки отверстий в разных стенках);

б) Траектория инструмента в пределах прохода состоит из участков рабочего и вспомогательного ходов. Рабочий ход, как правило, включает недоход, участок резания и перебег (при обработке глухих отверстий отсутствует);

в) недоход обычно принимают равным 1...3 мм для предварительно обработанных поверхностей и 5...10 мм для необработанных поверхностей;

г) перебег зависит от размера заборного конуса инструмента и принимается больше его длины на 1...3 мм;

д) на участке резания траектория инструмента может иметь промежуточные опорные точки, которые характеризуются изменением частоты вращения шпинделя и минутной подачи либо выполнением включения, выключения или реверса вращения шпинделя;

е) вспомогательный ход включает быстрый подвод инструмента к обрабатываемому отверстию и его возврат в исходную точку.

С учетом указанных признаков строятся типовые единичные циклы обработки отверстий.

Для упрощения программирования обработки деталей, имеющих несколько одинаковых элементов, используются постоянные циклы и подпрограммы.

В общем случае постоянный цикл обработки отверстий включает:

а) быстрое позиционирование стола (при необходимости — вращение), выбор частоты и направления вращения шпинделя, включение вращения шпинделя;

б) быстрое позиционирование инструмента по оси Z в точку, находящуюся на расстоянии 1...3 мм от поверхности заготовки;

в) рабочий ход вдоль оси Z с заданной подачей до требуемой глубины отверстия (в зависимости от типа постоянного цикла движение осуществляется непрерывно или прерывисто), в конце рабочего хода может быть задана остановка;

г) подготовку к возврату инструмента в исходное положение (в зависимости от типа цикла это остановка шпинделя, изменение направления его вращения, фиксация его углового положения);

д) возврат инструмента в исходное положение по оси Z на скорости быстрого хода или на рабочей подаче (с вращением или без вращением шпинделя).

Наиболее часто применяются следующие постоянные *циклы*:

- сверления;
- центрования или подрезки с выстоем в конце рабочего хода;
- глубокого сверления с выводом сверла в исходную позицию после каждого шага образования отверстия;
- нарезания резьбы метчиком;
- растачивания (развертывания) сквозных отверстий с отводом инструмента в исходное положение на рабочей подаче;
- растачивания сквозных отверстий с выстоем инструмента в конце рабочего хода и быстрым отводом в исходное положение;
- растачивания глухих отверстий с выстоем инструмента в конце рабочего хода и отводом в исходное положение на рабочей подаче.

На станках с микропроцессорными системами ЧПУ указанные постоянные циклы реализуются, как правило, в виде подпрограмм.

Последовательность переходов при обработке отверстий выбирают с учетом ряда *факторов*: конфигурации отверстий; допустимых отклонений формы и относительного положения осей отверстий; числа одинаковых отверстий; возможностей станка с ЧПУ. Последний фактор при этом характеризуется точностью и продолжительностью позиционирования стола, его поворота, смены инструмента, а также числом позиций револьверной головки или магазина инструментов.

Общую последовательность выполнения переходов для всей совокупности обрабатываемых отверстий в каждом конкретном случае выбирают исходя из допусков на межцентровые расстояния, а также из условия сведения до минимума времени на вспомогательные перемещения и смену инструментов. В связи с этим различают два основных *варианта обработки отверстий*.

По первому варианту (*параллельная обработка*) одним инструментом обрабатываются все одинаковые отверстия в стенке детали, затем производится смена инструмента и цикл повторяется. После этого деталь поворачивается для обработки отверстий с другой ее стороны.

По второму варианту (*последовательная обработка*) каждое отверстие обрабатывается полностью по всем переходам, после чего производится позиционирование стола для обработки следующего отверстия. Когда завершается обработка всех отверстий на одной стороне, деталь поворачивается для обработки отверстий с другой ее стороны.

От варианта обработки отверстий существенно зависит переменная доля времени обработки, которая складывается из продолжительности позиционирования инструментов над отверстиями и времени смены инструментов.

В связи с этим выбранный инструмент может быть размещен в гнездах шестипозиционной револьверной головки сверлильного станка в определенном порядке.

Как правило, в современных УЧПУ подпрограммы для реализации указанных функций постоянно находятся в памяти устройства, поэтому достаточно указать в кадре УП требуемую функцию и числовое значение формальных параметров, нужных для выполнения конкретной операции. Для большинства постоянных циклов этих параметров два: координата начала рабочей подачи R и конец рабочей подачи z .

Особенности конструкций расточных станков с ЧПУ. Расточные станки с ЧПУ, предназначенные для обработки отверстий (сверление, зенкерование, развертывание и др.), выполнения фрезерных операций, а также для растачивания высокоточных отверстий, подразделяются на горизонтально-расточные и координатно-расточные.

Горизонтально-расточные станки с ЧПУ, имеющие различные компоновочные решения (неподвижная передняя стойка и крестовый стол; неподвижная передняя стойка, крестовый и поворотный столы; поперечно-подвижная передняя стойка, выдвигная бабка и съемный поворотный стол; продольно-подвижная передняя стойка и поперечно-подвижный поворотный стол и т. д.), отличаются от традиционных расточных станков отсутствием люнетной стойки и более мощной станиной. Высокие жесткость и точность таких станков позволяют обрабатывать на них соосные отверстия в противоположных стенках корпусных деталей, что значительно сокращает время на смену инструмента. На станках выполняют черновое, получистовое, чистовое и тонкое (алмазное) растачивание.

Горизонтально-расточные станки с ЧПУ с вертикально-подвижной шпиндельной бабкой, неподвижной передней стойкой и встроенным поворотным столом, имеющим продольное и поперечное перемещения, предназначены для обработки корпусных деталей в условиях мелкосерийного и серийного производства.

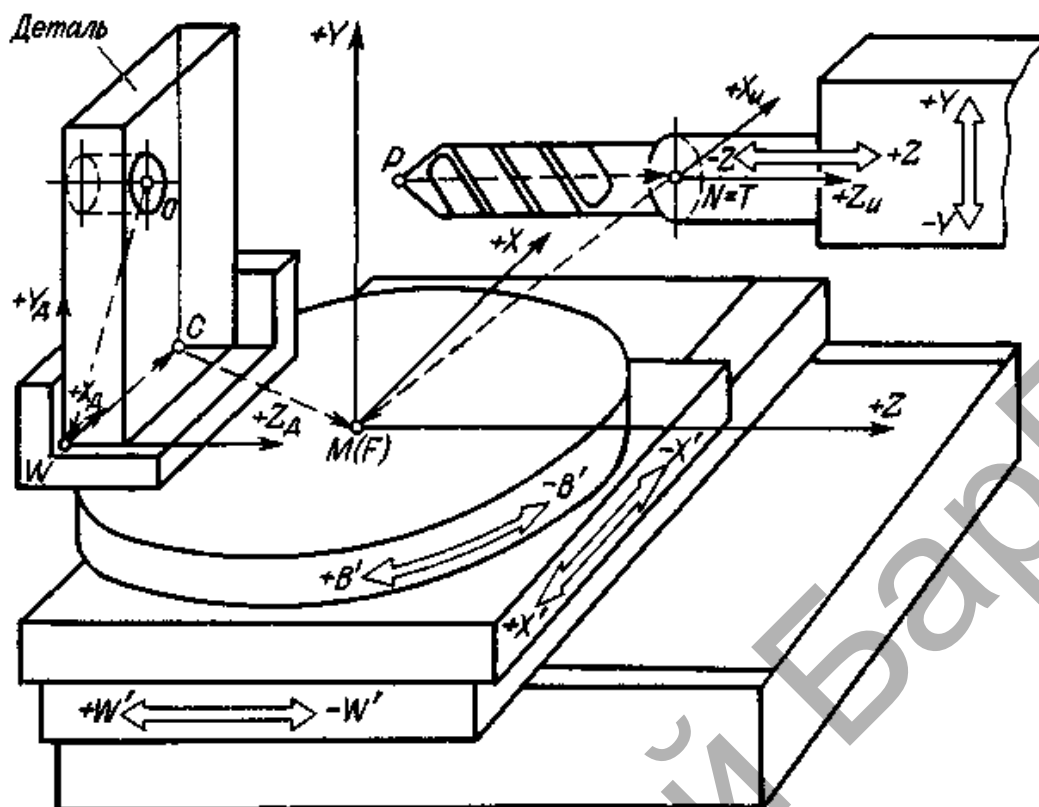


Рисунок 3.75 — Связь систем координат на расточном станке с ЧПУ

Система координат. Горизонтально-расточный станок модели 2А622Ф4 с ЧПУ «Размер 2М» обеспечивает последовательное перемещение (с дискретностью 0,01 мм) рабочих органов станка по пяти координатам (рис. 3.75): X (поперечное перемещение стола); Y (вертикальное перемещение шпиндельной бабки); Z (продольное перемещение стола); B (поворот стола на 90°) и W (перемещение выдвижного шпинделя).

Устройство горизонтально-расточного станка модели 2А622Ф4. Станок модели 2А622Ф4-1 с ЧПУ модели 2С42-65 по сравнению с базовым станком модели 2А622Ф4 (рис. 3.76) обеспечивает дискретность перемещений 0,001 мм (для шпинделя 0,01 мм), что значительно повышает точность обработки и позволяет производить контурную обработку с линейной и круговой интерполяцией.

На чугунной станине 1, имеющей коробчатую форму и внутренние ребра жесткости, смонтирована передняя стойка 4. По вертикальным направляющим стойки перемещается уравновешенная грузом шпиндельная бабка 5, в которой расположен механизм главного движения, механизм перемещения выдвижного шпинделя 3 и другие механизмы. По горизонтальным направляющим станины перемещается (в двух направлениях) поворотный стол 2. В нижней части станины расположен привод 6 подачи стола.

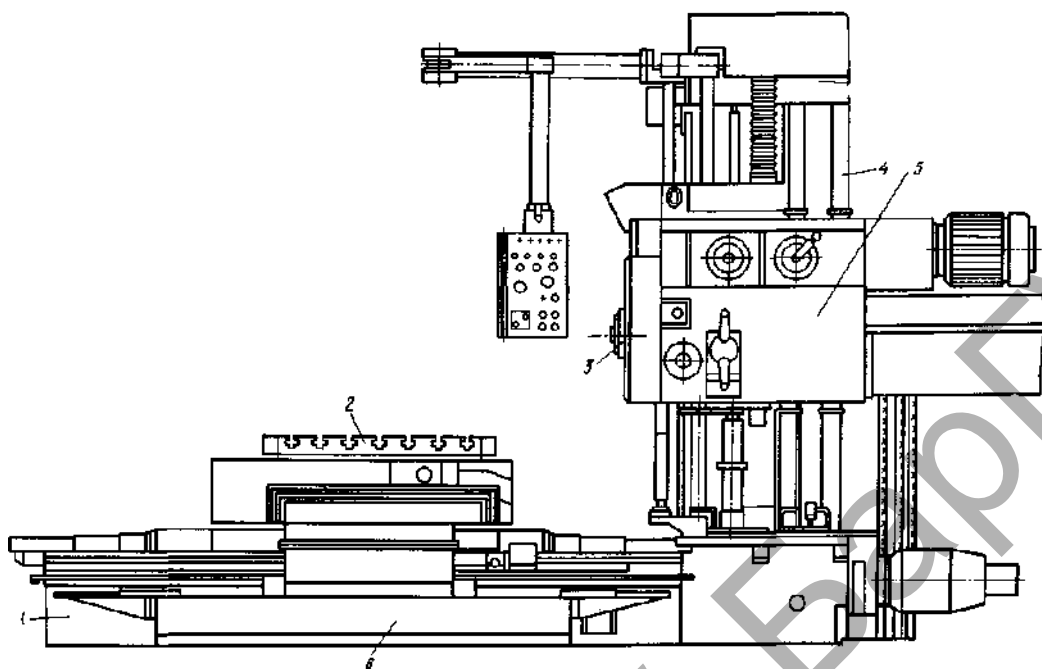


Рисунок 3.76 — Горизонтально-расточной станок модели 2А622Ф4

Учебное издание

Николай Николаевич Сергель

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

**Учебное пособие
для студентов инженерных специальностей
высших учебных заведений**

**В 2 частях
Часть 1**

Корректор: *М. Л. Потапчик*
Технический редактор *О. И. Ющук*
Компьютерная верстка *В. В. Кукреши*

Ответственный за выпуск *Е. Г. Хохол*

Подписано в печать 15.07.2009.
Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. 14,27.
Заказ 53. Тираж экз.

ЛИ 02330/0133468 от 09.02.2005

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Барановичский государственный университет»
225404 г. Барановичи, ул. Войкова, 21

Репозиторий Баргу

Репозиторий Баргу

Репозиторий Баргу