

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
"БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

# МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

КУРС ЛЕКЦИЙ

Барановичи 2006

УДК 621.9(075.8)

ББК 34.63-5я23

С322

*Печатается по решению учебно-методического совета УО "Барановичский государственный университет", протокол № 1 от 28.09.2005 г.*

Рецензенты:

*С.И. Русан, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин БарГУ, кандидат технических наук, доцент;*

*О.Г. Нагорный, заместитель главного технолога РУП "Барановичский автоагрегатный завод"*

**Сергель Н.Н.**

**С322 Металлорежущие станки:** Курс лекций: учеб. пособие / Н.Н. Сергель. – Барановичи: БарГУ, 2006. – 360 с. – экз. – ISBN 985-498-027-8

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

В курсе лекций освещены вопросы и темы, предусмотренные программой курсов, изучающих устройство, конструкцию и применение металлорежущих станков.

Книга предназначена для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений, а также может быть полезна конструкторам, технологам и эксплуатационникам оборудования машиностроительных предприятий.

**УДК 621.9(075.8)**

**ISBN 985-498-027-8**

© Составление. Н.Н. Сергель, 2006

© Оформление. УО "БарГУ", 2006

## ВВЕДЕНИЕ

*Краткий исторический обзор создания и развития отечественного станкостроения.* Первое устройство для точения (рис. 1) приводилось в движение сразу рукой, а потом ногой человека и привязывалось бечевой к двум соседним деревьям. Между двумя привязанными к древесным стволам отточенными колами крепилось обрабатываемое изделие.

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

Производство огнестрельного оружия, в особенности в части обработки стволов, способствовало всестороннему развитию металлообработки. Отлитые пушки вначале "оттирались", т.е. очищались от литейных прибылей, заусениц и пр., затем "головка", или верхняя часть отливки, отпиливалась круглой стальной пилой, насаженной на вал,

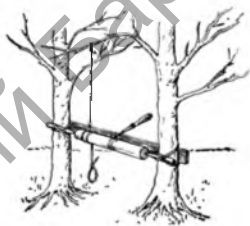


Рисунок 1 – Токарное устройство с ножным приводом

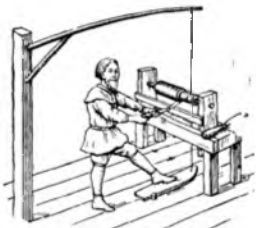


Рисунок 2 – Токарный станок, приводимый в движение ногой (1400)

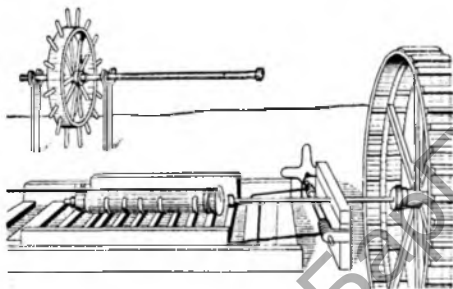


Рисунок 5 – Горизонтальная пушечно-сверлильная машина

Станкостроение называют колыбелью техники.

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

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

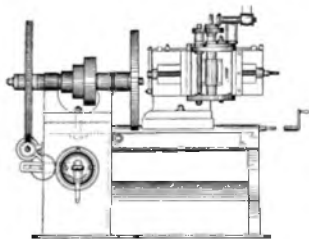


Рисунок 6 – Зуборезный станок

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.

Республика сохраняла на 1997 год в рамках СНГ монополию на производство продольно- и поперечно-строгальных, протяжных, балансировочных, бесцентрово-шлифовальных, шарообразывающих, фрезерно-отрезных, абразивно-отрезных, заточных станков, автоматизированных комплексов по резке заготовок. До 1985 года Беларусь производила около 99% протяжных станков в СССР. На конец 1990-х годов в СНГ примерно 60% станков производила Россия, более 20% – Украина, примерно 15% – Беларусь.

Сейчас занято в машиностроении более 30% всего промышленного персонала и до 10% всех работающих в РБ.

Удельный вес расходов на науку 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 доллар 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 насчитывалось 32 станкостроительных предприятия. Работали еще специальные конструкторские бюро, а также научно-исследовательские и проектно-технологические организации.

Номенклатура производства станкостроительных предприятий включает примерно 350 типоразмеров металлорежущих станков, 60 – типоразмеров деревообрабатывающих, 45 – кузнечно-прессовых. От аналогичного производства СНГ это составляет 36%. В 2002 году выпуск металлорежущих станков 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). Выпускает 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,

Значительный рост точного машиностроения поставил перед станкостроителями серьезные задачи в области создания высокоточных станков. Требования к прецизионным станкам с каждым годом растут. Поэтому в этих станках стали применять новые элементы: 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.

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.

Существенный вклад в автоматизацию вносит опережающее развитие выпуска станков с ЧПУ. На базе многооперационных станков, оснащаемых промышленными роботами, системами измерения, складирования, решаются вопросы комплексной автоматизации изготовления деталей в мелкосерийном производстве на базе гибких производственных систем.

*Типоразмер станка.* Тип – это классификационное подразделение, объединяющее станки, сходные по назначению, принципу действия, методу выполнения технологической операции, конструктивной схеме и т.д.

Ряд типоразмеров (размерный ряд) – ряд основных параметров станков одного типа, дополненный конкретными размерами и другими их характеристиками.

Типоразмер – один из представителей (членов) размерного ряда определенного типа станков с конкретными параметрами и размерами.

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 степени универсальности, степени точности, степени автоматизации, виду заготовок, по 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 классифицируют по разным параметрам. По степени *специализации* (универсальности) станки делятся на:

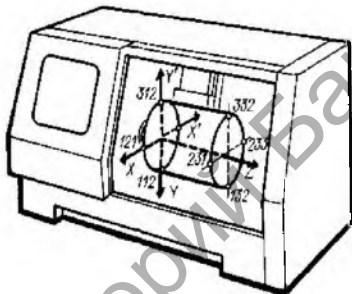
- универсальные, выполняющие разнообразные операции по обработке деталей широкой номенклатуры, в единичном и серийном производстве;
- специализированные, предназначенные для обработки деталей, сходных по конфигурации, но отличающихся размерами (для серийного и массового производства);
- специальные –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

Это не значит, что станок, предназначенный для серийного производства, плох в массовом. Просто ему нужна некоторая доработка, чтобы он дал максимальную экономическую выгоду в массовом производстве. А без модернизации он тоже будет работать, но менее производительно, чем надо.

По степени *точности* станки делятся на пять классов: нормальной точности (Н), повышенной (П), высокой (В), особо высокой точности (А) и 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:

зоной, внутри которой инструмент и обрабатываемая деталь могут взаимодействовать в любой точке. В наибольшей степени это относится к станкам с ЧПУ. В станках, предназначенных для обработки тел вращения (рис. 7, а), рабочее пространство – цилиндрическое, определяемое радиусом (высотой центров) и длиной, а в станках для обработки призматических деталей (рис. 7, б) рабочее пространство – прямоугольное (реже цилиндрическое), определяемое длинами координатных перемещений.

а)



б)

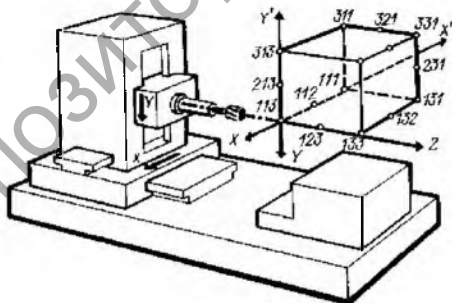


Рисунок 7 – Рабочее пространство (рабочая зона) станков

**Скоростная характеристика станка.** Скорости рабочих движений (скорости резания и подачи) узлов станка, несущих инструмент или обрабатываемую

в пределах выбранного диапазона регулирования

$$R_n = n_{\max} / n_{\min}, \quad (2)$$

то есть требуется бесступенчатое регулирование частоты его вращения. Но существующие способы бесступенчатого регулирования отличаются повышенной стоимостью, а при использовании механических вариаторов – 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 или 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.** При ступенчатом регулировании промежуточные значения частот вращения выбирают по закону геометрической прогрессии, который осуществляется последовательным включением групп зубчатых передач. Целесообразность применения геометрического ряда чисел оборотов шпинделя станка была впервые обоснована в 1876 году русским академиком А.В. Гадолиным. При ступенчатом регулировании шпиндель вращается с частотами, образующими геометрический ряд, имеющий следующий вид:

$$n_1 = n_{\min}; \quad n_2 = n_1\varphi; \quad n_3 = n_2\varphi = n_1\varphi^2 \dots n_z = n_1\varphi^{z-1}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  – стандартный знаменатель ряда частот, значения которого определяются нормалью станкостроения Н-Ш-I,  $\varphi$  1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78 и 2.

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

**Эффективность станков** – комплексный показатель, наиболее полно отражающий главное назначение станочного оборудования: повышать производительность труда и снижать затраты при обработке, шт/руб:

$$A = N/c, \quad (4)$$

где  $N$  – годовой выпуск деталей, шт;

$c$  – сумма годовых затрат на производство, руб.

При эксплуатации станков надо стремиться к максимальной эффективности. Если задана годовая программа выпуска, то надо, очевидно, стремиться

разовании (там, где обрабатывали одним резцом, можно поставить два или больше). Резкое повышение скорости резания возможно при переходе на новые инструментальные материалы. Рост производительности достигается с применением СОЖ. Увеличение суммарной длины режущих кромок усложняет и удорожает инструмент и возможно в серийно-массовом производстве. Одновременное выполнение нескольких операций возможно на многопозиционных станках и автоматических линиях, используемых в серийно-массовом производстве. Это является большим резервом повышения производительности. Сокращение времени на вспомогательные движения обеспечивается совершенствованием привода и системы управления.

Производительность оборудования – это обобщающий показатель, зависящий от:

- надежности;
- безотказности;
- долговечности;
- ремонтпригодности;
- гибкости;
- точности;
- виброустойчивости;
- теплостойкости оборудования.

Каждый из названных показателей, в свою очередь, является функцией многих переменных, в разной степени влияющих на производительность оборудования и указывающих направления действия для повышения производительности.

**Гибкость** – способность станочного оборудования к быстрому переналадыванию для изготовления других деталей. Наибольшая гибкость у универсального оборудования. Целесообразная гибкость оборудования связана с номенклатурой обрабатываемых деталей. Повышает гибкость оборудования высокая переналадываемость, определяемая 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  $\chi$  – величину, обратную количеству деталей в минимальной партии, обработка которой экономически целесообразна.

При  $\chi = 1$  производство полностью гибкое; при  $1 > \chi > 0,25$  – высокогибкое;  $0,25 > \chi > 0,1$  – гибкое; при  $0,1 > \chi > 0,025$  – малогибкое; при  $0,025 > \chi$  – негибкое.

В зависимости от гибкости оборудования меняется и область его применения. Гибкое оборудование универсального типа применяется в единичном и мелкосерийном производстве. 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 отражена на диаграмме рис. 9.

**Точность** станка в основном определяется точностью обрабатываемых на нем деталей. Поэтому обычным способом проверки точности металлорежущего оборудования является контроль обработанной на данном станке детали на соответствие требованиям чертежа. По характеру и источникам возникновения все ошибки станка, влияющие на погрешности обработанной детали, условно делят на две группы, которые через качество влияют на производительность. Точность бывает:

а) геометрической, зависящей от ошибок в соединениях, влияющих на расположение узлов станка;

б) кинематической, зависящей от точности нескольких простых движений для получения сложного движения.

Наиболее распространенными путями повышения точности станка через его параметры являются:

- совершенствование метода формообразования;
- использование более коротких кинематических цепей;
- применение компоновок, обеспечивающих более высокую точность;
- повышение геометрической точности деталей и узлов станка;
- использование коррекционных механизмов;
- применение адаптивных систем управления точностью.

Кроме этого, повышать точность обработки можно множеством других способов.

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. Источники погрешностей делятся на дефекты формообразования (интерполяции, настройка, схема обработки), технологические дефекты (закрепление, базирование), геометрические дефекты (изготовление станка, тепловые деформации станка, упругие деформации станка), дефекты позиционирования (привод станка, измерительная система, повышенное трение), кинематические дефекты (изготовление станка, установки детали) и динамические дефекты (вынужденные колебания, параметрические колебания, автоколебания).

**Жесткость станков** характеризует свойство технологического оборудования противостоять появлению упругих перемещений узлов или отдельных деталей под действием постоянных или медленно изменяющихся во времени силовых воздействий. Жесткость – это отношение силы к упругой деформации в направлении действия силы

$$J = F / L. \quad (7)$$

Величину, обратную жесткости, называют податливостью

$$c = 1 / J = L / F. \quad (8)$$

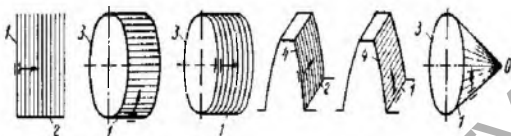
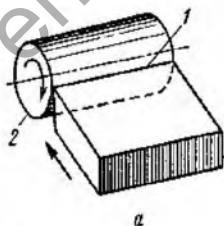


Рисунок 10 – Схемы образования поверхностей деталей

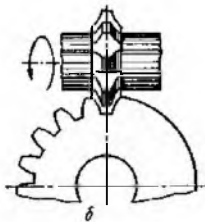
Производящие линии на станках образуются материальными точками и линиями режущей кромки инструмента за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента.

Существуют четыре **метода образования производящих линий**: копирования, обката, следа и касания (рис. 11). Чтобы при обработке получить деталь необходимой формы и размера, рабочему органу станка иногда сообщается очень сложный комплекс согласованных между собой движений. Метод *копирования* (рис. 11, а, б) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде копии формы режущей кромки инструмента или его профиля, т.е. форма образуемой 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.

К сложным движениям образования производящих линий относится метод *обката*. Еще его называют методом огибания. 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. 11, в). В этом случае для получения производящей линии нужно одно, но всегда сложное формообразующее движение обката.



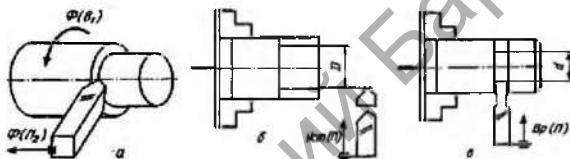
а



б

ную поверхность требуемого размера (исходная позиция). Примером установочного движения является поперечное движение Уст(II) резца для установки его в положение, позволяющее получить цилиндр требуемого размера D (рис. 12, 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 Вр. Например, поперечное перемещение резца для образования канавки требуемого размера d (рис. 12, в) будет движением Вр (II). Нередко движение врезания осуществляется одновременно с движением формообразования и иногда по своей структуре совпадает с одним из них.



а – формообразования, б – установочное; в – врезания; г – деления

Рисунок 12 – Примеры исполнительных движений.

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  $180^\circ$  для нарезания второй винтовой канавки. Поворот заготовки на  $180^\circ$  и будет делительным движением. Движением деления будет также движение Д (В) поворота дисковой фрезы на **угол  $\alpha$  при затыловании** ее зубьев (рис. 12, 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  $\Phi(V_1, V_2)$  при нарезании цилиндрических колес червячной фрезой.

К вспомогательным движениям относятся такие движения, которые обеспечивают 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

Изменение величины передаточного отношения цепи  $i$  позволяет изменить соотношение скоростей ее конечных звеньев, что, например, требуется при настройке функциональных цепей, или же изменять величину скорости одного конечного звена (например, исполнительного органа) 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. 13) 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  $i$  конкретного органа кинематической настройки для настройки цепи на выполнение определенной технологической операции определяют по формуле настройки этого органа, а затем полученное значение передаточного отношения  $i$  с помощью органа настройки реализуют в цепи.

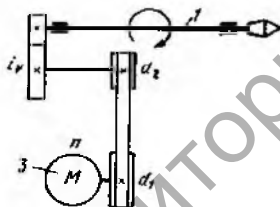


Рисунок 13 – Кинематические связи при простых исполнительных движениях

Формулу настройки конкретного органа настройки называют *уравнением кинематического баланса цепи*. Уравнение составляют по кинематической схеме с учетом предварительно составленной записи необходимого условия кинематического согласования или 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  $n_{\text{дв}} = 1460 \text{ мин}^{-1}$ , а частота вращения шпинделя должна составить  $n_{\text{шп}} = 500 \text{ мин}^{-1}$ . Значит, уравнение кинематического баланса должно при решении дать величину передаточного отношения  $i = n_{\text{шп}} / n_{\text{дв}} = 500 / 1460 = 0,342$ .

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 (рис. 13), то можно найти связь между начальным и конечным звеньями:

где  $s$  – линейное перемещение конечного звена, мм/об.

Из уравнений (17)-(19) определяют передаточное отношение органа настройки. Например, из уравнения (12) находят

$$i_n = n_{\text{инт}}/C_{\text{инт}} \quad (20)$$

Это выражение является формулой настройки сменных колес гитары скоростей цепи. При подстановке в формулы (11) – (14), (17) – (19) данных можно получить расчетные перемещения начальных и конечных звеньев кинематической цепи.

Анализ структурных схем металлорежущих станков позволяет сделать следующие выводы:

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

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

**Кинематическая схема станка** представляет собой условное изображение отдельных его элементов (звеньев) и механизмов, участвующих в передаче движений от двигателя или другого источника движения к исполнительным органам.

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.

*Внутренней кинематической связью* является такая кинематическая связь исполнительных звеньев между собой, которая определяет только характер исполнительного движения. Связь между источником движения и подвижным исполнительным звеном, определяющая скоростные характеристики последнего, является *внешней кинематической связью*. В общем случае связи в станке состоят из разнообразных видов передач, в том числе механических: зацеплением и трением – расположенных в определенной последовательности.

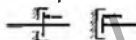
При малых расстояниях между осями валов передачи осуществляются непосредственным контактом. Для этого используют различные зубчатые передачи. Для передачи вращения между параллельными валами используют цилиндрические зубчатые передачи, между пересекающимися валами движение передают с помощью конических зубчатых передач, а между скрещивающимися – червячных, винтовых. Существуют и другие виды передач.

Тормоза:

а) ленточный



б) дисковые



Передачи ременные:

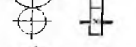
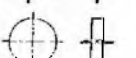
а) плоским ремнем



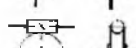
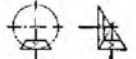
б) клиновидным ремнем



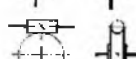
Передача зубчатая цилиндрическая



Передача зубчатая коническая

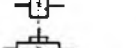


Передача червячная с цилиндрическим червяком

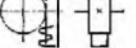
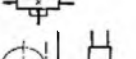


Передачи зубчатые:

а) винтовая



б) реечная



тельный 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. Так, уравнение кинематического баланса привода плавного движения станка имеет вид:

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{эл}} i_{\text{пост}} i_{\text{к.с.}} \eta, \quad (21)$$

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

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

$i_{\text{к.с.}}$  – передаточное отношение коробки скоростей;

$\eta$  – коэффициент проскальзывания 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 ( $\text{мин}^{-1}$ ):

$$i = n_2/n_1 \quad (22)$$

Отсюда следует, что для ременной и зубчатой передачи соответственно

$$i = d_1/d_2 = z_1/z_2, \quad (23)$$

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

$$i = k/z, \quad (24)$$

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:

$$i_{\text{общ}} = i_1 i_2 i_3 \dots i_n. \quad (25)$$

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

$$n_{\text{кон}} = n_{\text{нач}} i_{\text{общ}} \quad (26)$$

матическая 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 коробкой скоростей (рис. 13). 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 их общее число и характер групп формообразования, все структуры металлорежущих станков можно разделить на три класса:

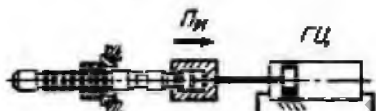
- к классу простых структур (П) относятся станки с кинематической структурой, содержащей только простые группы формообразования, т.е. имеющие лишь один исполнительный орган, например, группы  $\Phi(B)$ ,  $\Phi(\Pi)$ .
- к классу сложных структур (С) относятся станки с кинематической структурой, содержащей только сложные группы формообразований, т.е. группы, имеющие по два и более исполнительных органов, например, создающие движения  $O(B_1V_1)$ ,  $\Phi(B_1V_2\Pi_1)$  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 К24 означает, что станок имеет кинематическую структуру комбинированного класса (буква К), 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). Примеры некоторых типовых структур станков, шифр которых в табл. 1

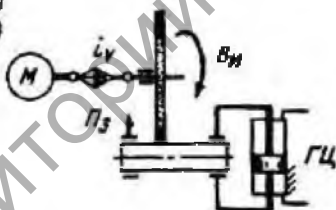
*Протяжной станок*

$\varphi_V(\Pi_M)$



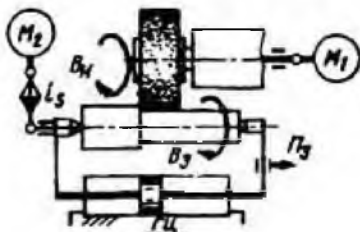
*Абразивно-отрезной станок*

$\varphi_V(B_M)$   
 $\varphi_S(\Pi_3)$



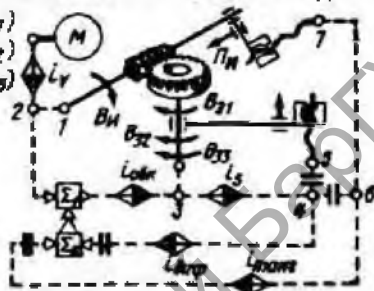
*Крутишлифовальный станок*

$\varphi_V(B_M)$   
 $\varphi_{S1}(B_3)$   
 $\varphi_{S2}(\Pi_3)$



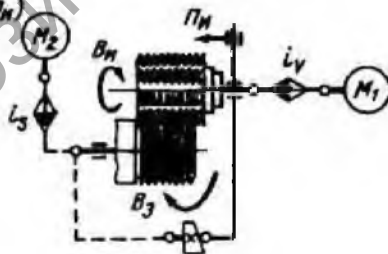
Универсальный зуборезерный станок для нарезания червячных и цилиндрических конус, включая способ выжимальной подачи фрезы

$\Phi_Y (B_H B_{31})$   
 $\Phi_{31} (\Pi_3 B_{32})$   
 $\Phi_{32} (\Pi_H B_{33})$



Резьборезерный станок для нарезания коротких резьб резьбовыми червячными фрезами

$\Phi_Y (B_H)$   
 $\Phi_3 (B_3 \Pi_H)$



примера на рис. 15 показана схема сверлильно-фрезерно-расточного станка и эпюры изгибающих  $M_x$  и крутящих  $M_y$  моментов, действующих в станине.

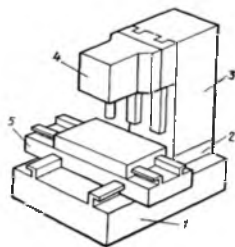


Рисунок 14 – Основные узлы станка

Из всех названных 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, а также удобства их монтажа и разборки. Технологичность конструкции должна обеспечить

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 – сечение в форме полого прямоугольника или кольцевого профиля (рис. 16, а, б, в). Такие профили наиболее характерны для вертикальных станин.

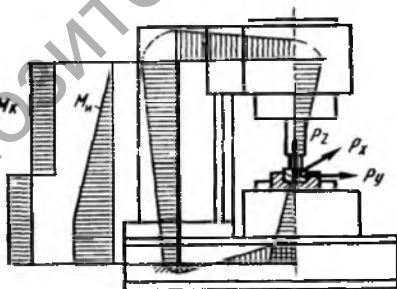


Рисунок 15 – Моменты, действующие в станках

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

установлены следующие типы направляющих скольжения: треугольные симметричные (рис. 17, а), треугольные несимметричные (рис. 17, б), прямоугольные (рис 17, в) и остроугольные (рис. 17, г). Регулировка зазоров в направляющих скольжения может производиться регулировочными клиньями А, прокладками Б, передвижными планками В (рис 18). Равномерность смазки направляющих достигается за счет выполнения на их рабочей поверхности специальных смазочных канавок. Направляющие скольжения, несмотря на преимущество простоты обычных конструкций (традиционное исполнение), имеют ряд существенных недостатков: невысокую износостойкость, низкую точность установочных перемещений, большие силы трения. Поэтому в станках с ЧПУ все чаще применяют направляющие с пластмассовыми накладками на подвижных узлах или с накладками из алюминиевого сплава ЦАМ, что снижает трение и повышает износостойкость. В зоне контакта трущихся поверхностей улучшается температурный режим, у таких направляющих высокая жесткость и хорошая демпфирующая способность.

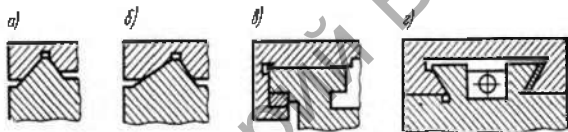


Рисунок 17 – Типы направляющих скольжения

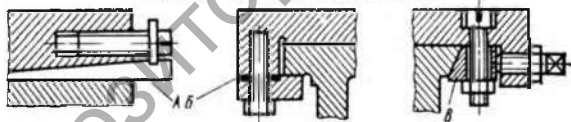


Рисунок 18 – Регулировка зазоров в направляющих скольжения

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.

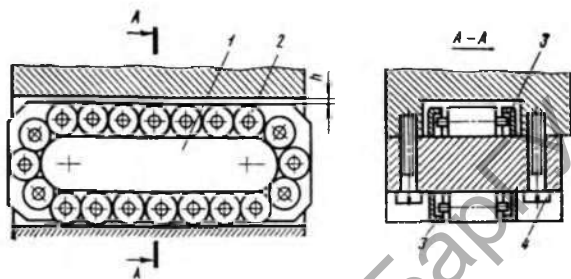


Рисунок 21 – Направляющие качения со свободным перекатыванием циркулирующих роликов

ным регулированием – замкнутые (рис. 20, в). Тела качения (цилиндрические ролики или шарики) изготавливают с допуском порядка 1 мкм.

Направляющие с роликовыми опорами, так же как и направляющие скольжения, могут быть замкнутыми и незамкнутыми. При исполнении замкнутой конструкции (рис. 22) для уменьшения деформаций и обеспечения равномерности распределения действующих нагрузок, каждая роликовая опора 1–6 должна взаимодействовать с противостоящей опорой. Для повышения статической и динамической жесткости и точности перемещений в опорах создается предварительный натяг с помощью клиньев 7–9 или мерных прокладок (рис. 22).

**Шпиндельные узлы.** Конструкция шпиндельного узла зависит от типа и размера станка, класса его точности, предельных параметров процесса обработки (максимальной частоты вращения, мощности привода). Факторы, определяющие конструкцию, перечислены ниже.

*Конфигурацию 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 конца шпинделя производится с учетом силовых и скоростных характеристик станка.

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

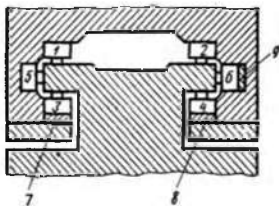


Рисунок 22 – Схема создания предварительного натяга в направляющих качения

ческие, динамические и температурные смещения конца шпинделя, ресурс работы.

Точность оценивается радиальным ( $e_r$ ), осевым ( $e_o$ ) или торцовым ( $e_t$ ) биением (рис. 23) шпинделя, которые для станков средних размеров составляют 5–8 мкм. Подшипники выбирают примерно в три раза точнее, чем допустимое биение шпинделя. Наиболее точные станки имеют биение 0,01–0,02 мкм.

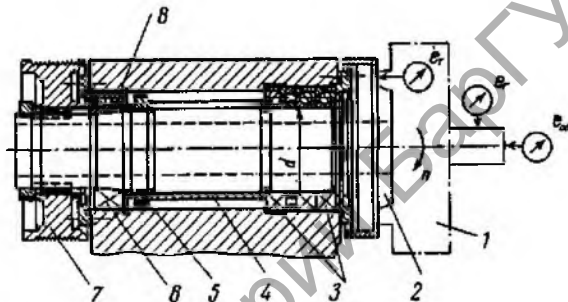


Рисунок 23 – Типовая конструкция шпиндельного узла токарного станка

Быстроходность шпинделей оценивается по произведению  $\pi d$  мм/мин, где  $d$  – диаметр под шейку переднего подшипника, мм, а  $n$  – частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>. 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 достигается за счет применения керамических подшипников (до двух раз), автоматическим регулированием натяга в подшипниках, использованием совершенной системы смазывания.

Статическая жесткость определяется по радиальному  $\delta$  и осевому смещениям конца шпинделя под действием силы  $F$ . При этом суммарная деформация  $\delta$  складывается из собственной деформации  $\delta_1$  шпинделя и деформации  $\delta_2$  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

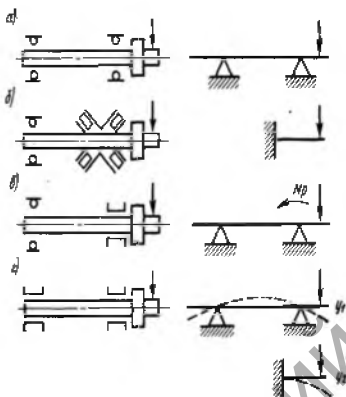


Рисунок 24 – Варианты опор шпинделя станка

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. В тех случаях, когда режим работы постоянный и требуется высокая виброустойчивость, применяют подшипники скольжения.

На точность вращения шпинделей и их жесткость в опорах большое влияние оказывает точность шейки шпинделя. Из-за овальности шейки при вращении шпинделя в подшипниках скольжения происходит искажение формы обрабатываемой детали. При работе шпинделя в подшипниках качения малая скорость внутреннего кольца подшипника приводит к тому, что погрешность формы шейки шпинделя почти полностью переходит на дорожки качения. Поэтому допуски на форму 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 обеспечения высокой точности вращения шпинделей применяют подшипники повышенных классов точности.

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 основном, 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.

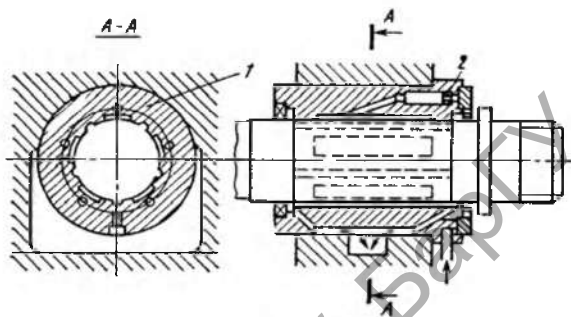


Рисунок 26 – Гидростатический подшипник

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

**Множительные механизмы привода главного движения.** Привод металлорежущего станка предназначен для передачи движения конечным кинематическим звеньям. Большинство современных высокопроизводительных станков имеют несколько самостоятельных приводов: привод главного движения, привод подачи, привод вспомогательных и установочных перемещений.

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 2 скорости, но может быть до четырех: 3000-1500-1000-750) или комбинацией всех этих механизмов.

*Ременные передачи* и их основной вид – ступенчато-шкивный привод – остаются в малоомощных станках некоторых типов и в станках, предназначенных для приборостроения. Ступенчато-шкивный привод встречается двухступенчатый, трех- и даже пятиступенчатый с перебором или без него. Схема четырехступенчатого шкивного привода с перебором показана на рис. 27. Вращение передается от вала 1 контрпривода, который делает  $n_0 = 300$  мин<sup>-1</sup>. На этом валу жестко закреплен ступенчатый шкив. Через плоский ремень вращение передается тоже четырехступенчатому шкиву, свободно вращающемуся на шпинделе 5.

Ступенчатый шкив 6 жестко связан с зубчатым колесом  $z_1 = 38$ , передающим вращение колесу  $z_2 = 94$ . На одной втулке с колесом  $z_2$  сидит колесо  $z_3 = 22$ , находящееся в зацеплении с колесом  $z_4 = 66$ . Колесо  $z_4$  закреплено жестко на шпинделе. Втулка, на которой закреплены колеса  $z_2$  и  $z_3$ , свободно вращается

Для использования одного ремня на всех ступенях необходимо соблюдать условие:

$$d_1 + D_1 = d_2 + D_2 = d_3 + D_3 = d_4 + D_4,$$

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

Коробки скоростей применяются как самостоятельные узлы в станках с разделенным приводом и как составная часть шпиндельной бабки или механизма подачи (встроенные коробки). Последние имеют большее применение в станках вследствие их компактности, меньшей стоимости и удобства передачи вращения рабочим органам станка.

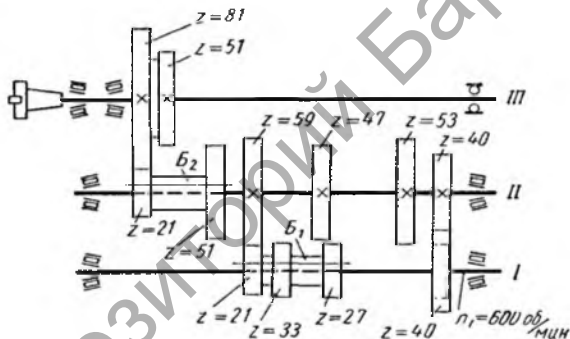


Рисунок 28 – Коробка скоростей с передвижными блоками колес

Коробки скоростей с *передвижными блоками колес*. Применение нескольких блоков зубчатых колес дает возможность увеличить число скоростей шпинделя (рис. 28). Получение различных чисел оборотов достигается зацеплением пар зубчатых колес – перемещением 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 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. Последовательность участвующих зубчатых колес в зацеплении для различных чисел оборотов и определение их указаны в уравнениях кинематических цепей при числе оборотов вала I  $n_0 = 600 \text{ мин}^{-1}$ :

- коробки подач с передвижными колесами и блоками;
- коробки подач со встроенными ступенчатыми конусами колес и вытяжной шпонкой;
- коробки подач с нортоновскими конусами (с накидной шестерней);
- коробки подач с гитарами сменных колес;
- коробки подач с механизмом типа меандр.

Для осуществления прямолинейного движения после коробки подач устанавливают следующие механизмы:

- ходовой винт-гайка, зубчатое колесо-рейка, червяк-рейка, кулачок, шатунный и рычажный механизмы;
- гидравлические и пневматические двигатели типа поршень-цилиндр;
- электромагнитные устройства в виде линейно развернутых электродвигателей, бесконтактных электромагнитных передач, соленоидов.

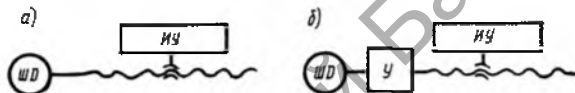


Рисунок 29 – Схема включения шагового двигателя в кинематическую цепь

Для осуществления вращательного движения используют зубчатые, червячные, ременные, цепные, фрикционные и другие передачи.

Приводы подач должны обеспечивать регулирование частоты вращения во всем диапазоне ее изменения и минимальное время переходных процессов при пуске и торможениях. К этим приводам предъявляют жесткие требования к динамическим характеристикам при изменении нагрузки, особенно в случае малых скоростей.

Наиболее широкое применение в станках нашли электрические, гидравлические и электрогидравлические приводы. Интенсивное развитие электрических приводов привело к созданию регулируемых приводов постоянного тока, переменного тока и силовых шаговых приводов. В высокоскоростных приводах шлифовальных и заточных станков применяют асинхронные электродвигатели с регулированием скорости, обеспечивающим частоту вращения шпинделя от  $150 \text{ с}^{-1}$  для заточных станков и до  $3000 \text{ с}^{-1}$  – для внутришлифовальных.

В приводах подач станков с ЧПУ в основном используют регулируемые приводы на высокомоментных двигателях или асинхронных с частотным регулированием, все реже применяют шаговые электродвигатели. Для перемещения исполнительного органа станка по каждой из координат обычно предусматривают самостоятельный привод подач.

Применение в приводах подач шаговых электродвигателей объясняется простотой конструкции и надежностью в работе. Шаговые электродвигатели (ПД) бывают как силовые (рис. 29, а), с вращательным моментом более 100 Нм, так и маломощные, с вращательным моментом менее 1 Нм (рис. 29, б),

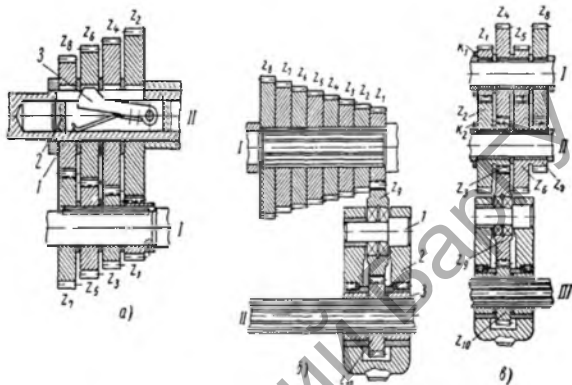


Рисунок 30 – Механизмы коробок подач

**Бесступенчатое регулирование скорости: электрическое, гидравлическое, с помощью механических вариаторов.** Основные достоинства приводов с бесступенчатым регулированием – это повышение производительности обработки за счет точной настройки режимов 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. Появляется возможность плавного изменения скорости во время работы. При этом просто автоматизировать переключение скоростей. Для бесступенчатого регулирования скорости иногда применяют фрикционные вариаторы, но чаще – регулируемые двигатели. Наличие проскальзывания в вариаторе приводит к изменению передаточного отношения и к износу механических элементов вариатора. Для большинства вариаторов диапазон бесступенчатого регулирования очень мал:  $R_{\zeta} = 4 \dots 6$ . С увеличением передаваемой мощности падает надежность вариаторов.

**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 (400–1 000).

Нашли применение электродвигатели постоянного тока с тиристорной системой управления. Так делают на станках с ЧПУ, многооперационных станках. В этих электродвигателях диапазон регулирования скоростей  $R_{\zeta} = 2,5 \dots 10$ ,

низм представлен на рисунке 32. Он состоит из цилиндрических колес. На валах I и III жестко установлены зубчатые колеса  $z_1$  и  $z_4$ . 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:

$$i_{I,III} = z_1 z_3 / z_2 z_4; \quad i_{II,III} = 1 - z_1 z_3 / z_2 z_4.$$

Для решения аналогичных задач распространен и конический дифференциал. В токарных многошпиндельных горизонтальных автоматах и полуавтоматах применен реечный дифференциальный механизм.

**Тяговые устройства металлорежущих станков.** В металлорежущих станках наиболее распространенными исполнительными механизмами подачи прямолинейного перемещения являются передачи винт-гайка, во многих станках эту роль выполняют передачи червяк-рейка.

#### 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 хорошую равномерность движения, высокий КПД (0,9...0,95), удобны в эксплуатации и не требуют циркулярной системы смазки. Типовая передача винт-гайка качения (рис. 33) 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 ходового винта и гайки, перемещаясь в направлении канала направляющих 4, которые соединяют начало и конец витков резьбы гайки.

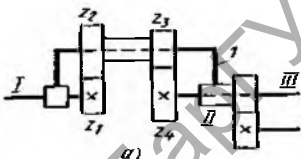


Рисунок 32 – Схема зубчатого дифференциального механизма

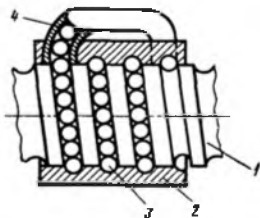


Рисунок 33 – Винтовая пара качения

1 и 4 посажены в корпусе 2 на общую шпонку 3 и имеют возможность осевого перемещения. Натяг и стопорение осуществляются гайками 5 и 6.

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

На рис. 35 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 и на рис. 19.

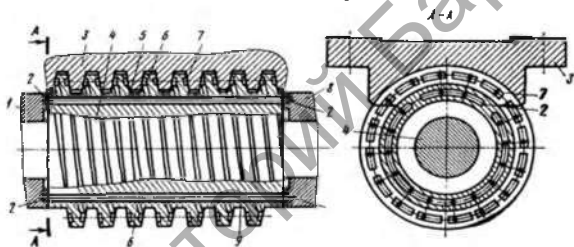


Рисунок 35 – Схема гидростатической червячно-реечной передачи

*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 эта передача значительно уступает по точности и плавности движения передаче винт-гайка.

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. Преимущества ее – в зацеплении одновременно находится несколько пар зубьев, 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.

Скорость перемещения ведомого элемента, например, стола регулируется с помощью ступенчатых коробок скоростей или частотой вращения

На рис. 38, а 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. Пользуясь обозначениями на рисунке, можно написать:

$$R = 0,5La/l, \quad (31)$$

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

$a$  – расстояние между центром вращения кулисного колеса и центром качания кулисы, мм;  $a = (0,45 \dots 0,55)L$ .

Скорость движения ползуна не является постоянной, поэтому можно говорить о средних или мгновенных значениях его скорости. Из схемы скоростей кулисного механизма, представленной на рис. 38, б, запишем:

$$v = v_0 \cos \alpha \cos \beta / AO \quad (32)$$

где  $v_0$  – окружная скорость вращения пальца 2 (точка А), м/с.

В крайнем положении  $\alpha = 90^\circ$  и, следовательно,  $v=0$ ; в среднем положении, во время рабочего хода  $\alpha = \beta = 0$ ;  $AO \rightarrow A2O = a+R$ , тогда

$$v = v_0 l / (a + R).$$

При обратном ходе ( $\alpha = \beta = 0$ ;  $AO \rightarrow A3O = a - R$ )

$$v = v_0 l / (a - R).$$

**Кулачковые механизмы** сходны с зубчатыми, 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), но все же основная схема кулачкового механизма – это вращающееся звено, кулачок и второе звено, приводимое в движение кулачком, которое или движется поступательно по прямой линии между двумя крайними точками (рис. 39, а), или закреплено в одной точке и качается около нее, описывая дугу (рис. 39, б).



Рисунок 37 – Кривошипно-шатунный механизм

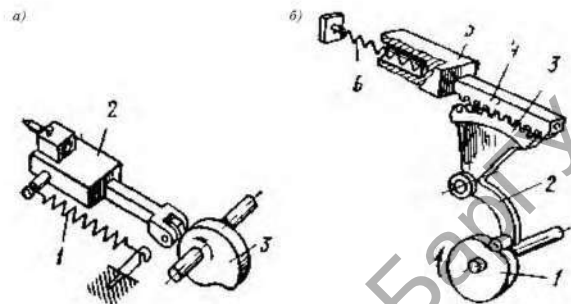


Рисунок 39 – Кулачковые механизмы

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 ведомого звена механизма (толкателя или коромысла).

**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 весьма существенное различие в силе трения при трогании и последующем движении с нарастанием скорости. Существует критическая скорость, характерная для данной упругой системы привода, ниже которой имеет место скачкообразное движение. При малых скоростях заданного 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, либо повышением жесткости привода. Исследования показали, что выбор зазоров повышает точность малых периодических перемещений шлифовальной бабки до пяти раз. В условиях смешанного трения характеристика силы трения улучшается при использовании специальных антискачковых смазок с введением в минеральные масла незначительного количества консистентных добавок. Значительного уменьшения различия в силах статического и кинетического трения можно достигнуть применением осциллирования.

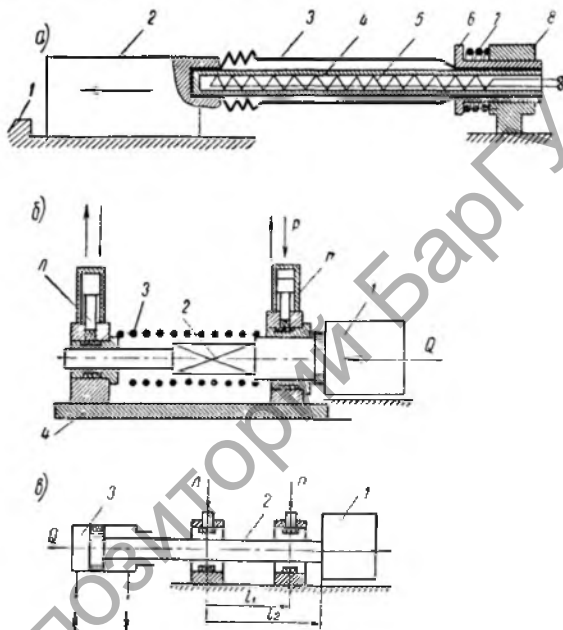


Рисунок 40 – Механизмы для малых перемещений

а – термодинамический; б – магнитоstrictionный; в – упругосиловой

## 1.5 ПРИВОДЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

**Привод главного движения.** Основные требования следующие:

а) изменение частот вращения на исполнительном звене – шпинделе – в расчетном диапазоне регулирования частот вращения. В современных станках, особенно широкоуниверсальных, при значительных диапазонах требуемых

- 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.

**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. В настоящее время в металлорежущих станках применяется в основном индивидуальный электрический привод.

В зависимости от расположения электродвигателя относительно станка приводы бывают с приставным, фланцевым и встроенным электродвигателем. Широкое распространение получили асинхронные электродвигатели. Из них в приводе главного движения используются в основном двухскоростные с номинальными частотами вращения 500/1000, 750/1500 и 1500/3000 мин<sup>-1</sup>. Большое распространение получают электродвигатели постоянного тока с различными системами регулирования. Так, тиристорные приводы постоянного тока надежны в работе, компактны и недороги. В приводах подач и вспомогательных движений станков с ЧПУ, а также в следящем приводе еще используются шаговые электродвигатели в сочетании с гидроусилителями моментов. Все шире используют высокомоментные силовые шаговые двигатели на 16 кГц и следящерегулируемые тиристорные и транзисторные электроприводы постоянного тока, соединяемые в приводе подачи с шариковыми винтовыми парами непосредственно или через зубчатый ремень и заменяющие тем самым точные зубчатые передачи.

Применение нескольких электродвигателей позволяет упростить кинематическую схему металлорежущего станка, упрощает механическую часть привода и открывает возможность простыми средствами автоматизировать работу оборудования или упростить управление. Приводы бывают со ступенчатым и бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и подачи. Приводы со ступенчатым регулированием выполняются в виде шестеренных коробок передач, они просты по конструкции и надежны в эксплуатации, однако не всегда позволяют получить оптимальные режимы резания.

Для бесступенчатого регулирования движений применяют электрическое и гидравлическое регулирование, а также регулирование механическими вариаторами. Бесступенчатые приводы удобны в эксплуатации, однако механические пока сложны, маломощны 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 подач и вспомогательных перемещений многих станков. Гидроприводы вращения также обеспечивают бесступенчатое регулирование и имеют малые габариты.

В приводах металлорежущих станков применяются ременные, цепные, зубчатые, реечные, винтовые, червячные и другие передачи.

перемещался мимо колеса  $z_6$ , не задев за него колесом  $z_7$ . Это возможно, если  $z_2 - z_3 > 5$ . Если эта разность меньше 5, то используют конструкцию, показанную на рис. 42, г. Все сказанное относится к соседним зубчатым колесам четырехвенцового блока (рис. 42, д).

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, у которых зубчатые колеса находятся в постоянном зацеплении (рис. 43, а). Колеса  $z_2$  и  $z_4$  на вал II насажены свободно и включаются в работу муфтой. Если муфта 1 фрикционного типа, то частоту вращения можно изменять на ходу.

Передачи могут быть косозубыми. На рис. 43, б показан элементарный механизм с двумя электромагнитными муфтами. Эти муфты получили широкое распространение, позволяя простыми средствами автоматизировать привод.

На рис. 44 показан множительный механизм с перебором. Вращение колеса  $z_7$ , осуществляемое колесом  $z_6$ , 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 торцовых кулачков полумуфт. Вал II, колеса  $z_2$  и  $z_4$  называют переборными.

**Диапазон регулирования.** Изменение скорости может быть ступенчатым или бесступенчатым. С учетом необходимости получения оптимальных по режимам резания скоростей для различных диаметров обработки привод должен обеспечивать любую частоту вращения шпинделя

$$n = 1000v / \pi D \quad (35)$$

в пределах диапазона регулирования привода станка, являющегося отношением максимального числа оборотов шпинделя к

$$R_n = n_{\max} / n_{\min}, \quad (36)$$

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

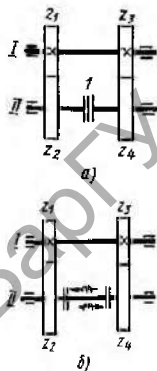


Рисунок 43 – Множительные механизмы с муфтами

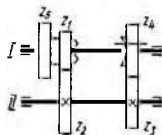


Рисунок 44 – Множительный механизм с перебором

**Построение графика частот вращения.** Для наглядного представления на рис. 47 показан график чисел оборотов представленной на рис. 46 коробки скоростей. Он показывает числа оборотов каждого вала коробки скоростей и как осуществляется передача движения от одного вала к другому.

График чисел оборотов состоит из ряда горизонтальных линий, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга; число этих линий соответствует числу валов коробки скоростей. Первая линия – это вал электродвигателя. На каждой горизонтальной линии наносятся точки по числу скоростей, 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  $i = 1$ . При наклонном положении вправо от ведущего к ведомому  $i > 1$  и при наклонном влево  $i < 1$ .

Значения чисел оборотов отмечаются на логарифмической шкале. Поэтому отрезок шкалы, соответствующий изменению скоростей от  $1 \text{ мин}^{-1}$  до  $10 \text{ мин}^{-1}$ , равен отрезку от 10 до 100, от 100 до 1000 и т.д. Ввиду того, что числа оборотов расположены по геометрическому ряду со знаменателем  $\varphi$ , расстояния между точками будут одинаковыми. Вал II имеет четыре скорости вращения. Поэтому на горизонтальной линии вала II изображены четыре точки. Передача движения от вала I к валу II может

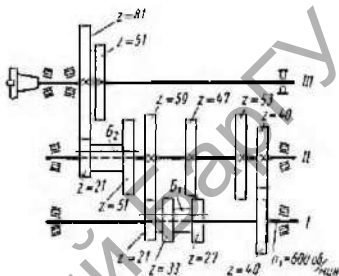


Рисунок 46 – Коробка скоростей с передвижными блоками колес

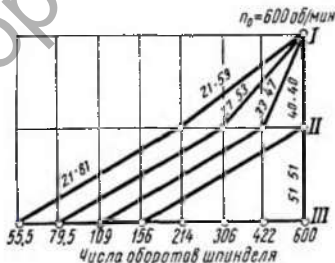


Рисунок 47 – График чисел оборотов

зок и жесткостью механической характеристики. Они не требуют применения специальных преобразователей, усилителей, имеют небольшие габариты и массу. Частота вращения двигателя составляет:

$$n_d = 60f(1 - S)/p \text{ мин}^{-1}, \quad (37)$$

где  $f$  – частота переменного тока сети, Гц (в трехфазной сети  $f = 50$  Гц);

$S$  – скольжение ротора;

$p$  – число пар полюсов в обмотке статора. Наиболее распространенной является частота вращения  $n_d = 1440 - 1460 \text{ мин}^{-1}$  (разбежка вызвана конструктивными особенностями того или иного электродвигателя).

Однако в случае применения асинхронного трехфазного электродвигателя привод обычно содержит сложную многоступенчатую коробку скоростей, затруднена также автоматизация переключения скоростей.

Иногда применяются многоскоростные асинхронные электродвигатели, в которых частота вращения изменяется за счет переключения числа пар полюсов  $p$ . Чаще всего применяются двухскоростные двигатели, при этом упрощается коробка скоростей за счет исключения соответствующего двойного блока и вала, на котором он установлен; скорость вращения шпинделя можно автоматически изменять в два раза, так как двигатели имеют синхронные частоты вращения  $n_d = 1500/3000$ ,  $n_d = 750/1500$  или  $n_d = 500/1000 \text{ мин}^{-1}$ . Очень редко применяют трех- и четырехскоростные электродвигатели. Стоимость, габариты и масса многоскоростных электродвигателей существенно выше, чем односкоростных.

В приводах главного движения станков с бесступенчатым регулированием, особенно с ЧПУ, применяют регулируемые электродвигатели постоянного тока с двухзонным регулированием.

Регулирование частоты вращения двигателя от минимальной  $n_{d \text{ мин}}$  до номинальной  $n_{d \text{ ном}}$  происходит за счет изменения подводимого к якору напряжения  $U_d$  при постоянном моменте  $M_d$ . Мощность двигателя  $P_d$  увеличивается пропорционально частоте его вращения, достигая номинального значения при  $n_{d \text{ ном}}$ . Дальнейшее регулирование до  $n_{d \text{ макс}}$  происходит за счет уменьшения магнитного потока возбуждения при постоянной номинальной мощности, момент  $M_d$  при этом уменьшается. Таким образом, двигатель имеет зону регулирования с постоянной мощностью при диапазоне  $(R_v)p = (n_d)_{\text{макс}}/n_{d \text{ ном}}$ . Величина этого диапазона обычно не превышает 2,5–6.

В другой зоне работы диапазон регулирования с постоянным моментом  $R_{\text{мом}} = n/n_{d \text{ ном}}$  может быть достаточно большим. Как правило, диапазон  $R_{\text{мом}}$  существенно меньше требуемого на шпинделе диапазона регулирования  $R_{\text{в}}$  (рис. 48). Поэтому для его расширения последовательно регулируемому двигателю включают коробку скоростей с диапазоном регулирования  $R_{\text{к}}$  и числом ступеней скорости  $z_{\text{к}}$ , равным 2,3 или 4 (рис. 48, а). Условный график частот вращения такого привода с  $z_{\text{к}} = 3$  изображен на рис. 48, б. При этом регулируемый двигатель и коробка скоростей представлены как последовательно соединенные групповые передачи с соответствующими диапазонами

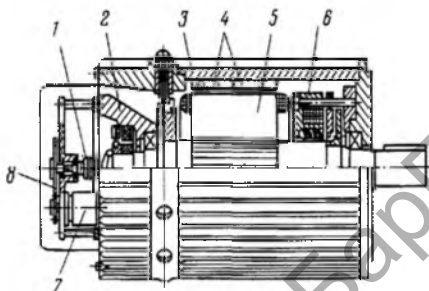


Рисунок 49 – Компонка высокомоментного электродвигателя

Такие якоря обладают малой массой, что уменьшает постоянную времени нагрева (несколько минут) и исключает длительную работу машины с моментом нагрузки, превышающим номинальный. Малоинерционные электродвигатели соединяются с ходовым винтом механизмов подачи станков через промежуточную механическую передачу.

Наиболее распространены электродвигатели с дисковым якорем, имеющим печатную или штампованную обмотку. Схема электродвигателя с дисковым якорем представлена на рис. 50. На валу 1 закреплен диск 2 из немагнитного

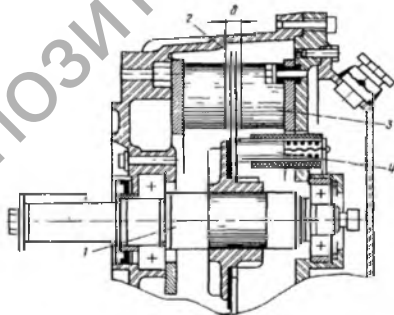


Рисунок 50 – Малоинерционный электродвигатель постоянного тока с дисковым якорем

ропором 2. В торцевой части станины установлен датчик температуры 3. В задней части корпуса расположена измерительная система 4, служащая для измерения скорости и углового положения вала. Электродвигатель имеет закрытое исполнение без внутреннего вентилятора. В случае необходимости наружный обдув осуществляется вентилятором.

**Электроμηχανический привод подач.** Если наряду со сравнительно медленными рабочими движениями узел станка должен перемещаться быстро при установочных перемещениях, то решение этой технической задачи может быть осуществлено несколькими путями.

Общий двигатель для рабочих и ускоренных перемещений редко обладает необходимым для этой цели широким диапазоном регулирования. При использовании шагового двигателя как для точных рабочих перемещений, так и для ускоренных необходимо обеспечить его исключительно высокое быстродействие: около 40000 мин<sup>-1</sup>.

Наиболее часто применяемые электроμηχανические приводы подач показаны на рисунке 52.

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 вращения 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. 52, а) относятся тяжелые условия работы элементов привода и тяговых устройств в широком диапазоне скоростей и рабочих нагрузок.

**Типовые структуры привода подач.** По структуре коробки подач разделяют на 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

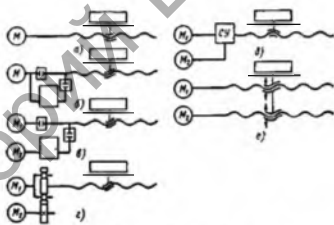


Рисунок 52 – Схемы устройств быстрых перемещений

а – от общего двигателя, б – разветвления кинематической цепи, в – двумя двигателями г – дополнительным двигателем через муфту обгона, д – суммирующим устройством, е – двумя тяговыми устройствами

и простота всего коррекционного устройства, однако чувствительность (наименьшее обрабатываемое перемещение) при этом обычно не очень высока.

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

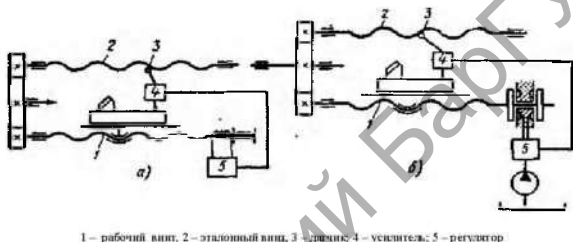


Рисунок 54 – Автоматическая компенсация погрешностей в кинематических цепях резьбонарезных станков с приводом микроперемещений от магнитоисторика (а) или от регулируемого гидростатического подпятника (б)

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. Отработка дополнительных перемещений осуществляется через суммирующие устройства или при использовании специальных приводов микроперемещений. На рис. 54 приведены схемы автоматической компенсации погрешностей в кинематических цепях резьбонарезных станков. Измерение погрешностей по эталонному ходовому винту служит для усиления и подачи соответствующего сигнала на исполнительный привод микроперемещений в виде магнитоисторика (рис. 54, а) или гидростатического подпятника с управляемой величиной толщины слоя смазки (рис. 54, б).

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

$$\Delta t = \pm Q t / E F, \quad (38)$$

где  $E$  – модуль упругости материала винта;

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

## ГЛАВА 2 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ

### 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 показатели станка: производительность, удобство и простоту обслуживания, надежность. 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 – 45 Н, высота расположения 800–1000 мм, ширина – 900 мм, дублирование при неудобном расположении);
- быстрота управления;
- мнемоничность управления (как сейчас говорят, интуитивно понятные действия, когда направление движения руки станочника при перемещении рукояток должно соответствовать движениям управляемого узла);
- точность СУ

СУ 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.

лизации командных воздействий. Эти устройства предназначены для переработки управляющей информации и выполнения отдельных функций автоматического управления на основе использования электронных приборов;

в) У – усилитель. В случае необходимости он усиливает полученный электрический потенциал до уровня, обеспечивающего надежное управляющее воздействие;

г) ИО – исполнительный орган. Реализует командные импульсы путем подключения рабочего органа станка к источнику движения или выполнения других функций автоматического управления. Элемент ИО обобщает различные сервомеханизмы, которыми обычно в станках являются контакторы, электромагниты, электромагнитные муфты, шаговые двигатели, золотники и т.д.;

д) РО – рабочий орган. Фактически реализует командные воздействия, являясь целевым управляемым органом станка;

е) ДП – датчик перемещений. Его назначение – регистрировать фактическое перемещение рабочего органа станка. Наличие ДП определяет замкнутую систему программного управления, в отличие от более простой, открытой системы программного управления, у которой отсутствует этот элемент. Он представляет собой различные системы путевого контроля, применяемые в замкнутых системах ЧПУ в качестве устройств обратной связи. В эти системы входят датчики, измеряющие величины фактического перемещения рабочего органа или положения управляемого объекта, и приборы формирования необходимого выходного сигнала.

В общем виде надо различать программное управление как:

ПУ – программное управление станком по детерминированной программе. Это может быть копир, кулачок, упоры;

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

ЧПУ – числовое программное управление – управление обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде.

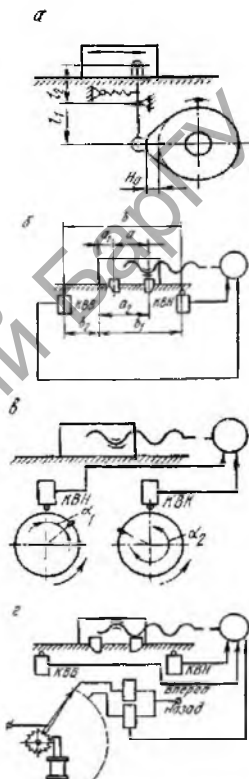
**Программоносители** придуманы давно и используются повсеместно. Это такие устройства, как конечные выключатели, положение которых определяет момент срабатывания исполнительного механизма (включение освещения в бытовом холодильнике). Это копиры, устанавливаемые на станках: Нартов А.К. в начале XVIII века применял их. Это кулачки, приводившие в движение сложные механизмы игральных автоматов в средние века и сейчас стоящие в двигателе автомобиля многие десятилетия, обеспечивая цикл газораспределения. Это командоаппараты, распределительные валы. В качестве программоносителей служат перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, дискеты, а также штырьковые барабаны или панели, магазины переключателей и др.

**Развитие систем программного управления.** Длительное время автоматизация охватывала в основном крупносерийное и массовое производство, где создано и внедрено множество станков-автоматов, отдельных автоматических линий и их комплексов. Для серийного и тем более мелкосерийного

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 кулачок развернуть на прямой линии, то получится копир, применяемый в токарных копировальных полуавтоматах. Путьевые системы управления обеспечивают работу силовых столов агрегатных станков. Временная система управления представляет собой упоры путьевой системы управления, но установленные не на прямой планке, а на диске. Такой вариант управления характерен, например, для токарных автоматов как одношпиндельных, так и многшпиндельных, имеющих на распределителе барабан командоаппарата с упорами. Цикловые системы, удобные в серийном производстве, применяются на фрезерных консольных станках, токарно-револьверных, гидроконтрольных токарных и т.д., а также на промышленных роботах (например, мод. СМ40Ц4301, "Универсал-15М" и др.).

**Деление систем управления по числу потоков информации** производится на разомкнутые, замкнутые и самонастраивающиеся (адаптивные).

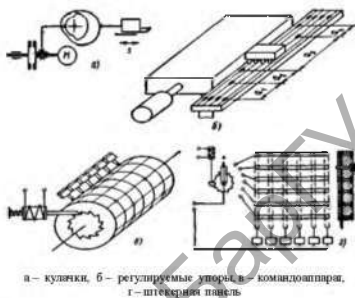
**Разомкнутые системы** – это все аналоговые и часть с ЧПУ (называемые еще импульсно-шаговыми). Характеризуются одним потоком информации, направляемым от программы управления к рабочему органу станка. Перемещения рабочего органа при этом не контролируются и не сопоставляются с перемещениями, заданными управляющей программой. Эти системы являются более простыми, но из-за отсутствия контроля действительного положения рабочего органа (РО)



а – кулачковая, б – путьевая, в – временная, г – цикловая

Рисунок 56 – Нечисловые системы 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 используются в специализированных и специальных 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. Аналогичное качество можно отметить и у временной СУ.



а – кулачки, б – регулируемые упоры, в – командоаппарат, г – штеckerная панель

Рисунок 58 – Программоносители в системах управления

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. Аналогичное качество 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.

Цикловые системы программного управления (SC) обрабатывают в цифровом виде только информацию о последовательности движений исполнительных органов и режимах работы оборудования. Величины перемещений рабочих органов станка или промышленного робота задаются в этом случае в аналоговой системе с путевыми переключателями. Системы циклового программного управления отличаются от ЦПУ сравнительной простотой построения и невысокой стоимостью. Соответственно технологические и функциональные возможности систем ЦПУ ограничены (рис. 59).

*Область применения станков с ЦПУ* – это серийное и крупносерийное производство при значительной длительности обработки партий деталей, так как переналадка оборудования с ЦПУ требует больших затрат времени.

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 отработки заданной программы последовательно считываются строки. В некоторых конструкциях панелей предусмотрено использование специальных штекеров со встроеными диодами.

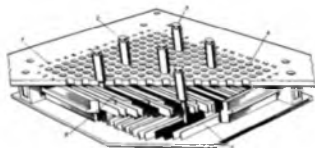


Рисунок 60 – Штекерная двухслойная панель

Если штекерная панель выполнена в форме барабана, то информация считывается при повороте барабана путем воздействия набора штекеров на головки микровыключателей в определенной комбинации.

В панелях с переключателями (рис. 61) информация вводится установкой переключателей в нужную позицию. Подобная схема задания программ очень проста и удобна. Она широко используется в станках с ЧПУ для ввода различных команд.



Рисунок 61 – Дискový декадный переключатель

Для введения цифровой информации (например, коррекций) используют пульты, состоящие из набора небольших панелей с дисковыми декадными переключателями (рис. 62).

Электронно-лучевые трубки являются наиболее скоростными программносителями. Запись и считывание информации в ячейках трубки осуществляются электронным лучом со скоростью до 200–103 имп/с.

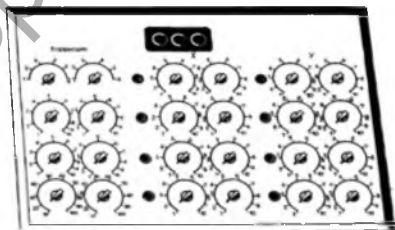


Рисунок 62 – Панель с секторными переключателями

**Принципиальная схема системы циклового программного управления.** Цикловая система управления состоит из следующих устройств (рис. 63): задания и ввода программы, управления, исполнительного устройства, контроля окончания отработки этапа программы.

Принцип работы ЦСПУ заключается в следующем. Устройство задания и ввода программы (программатор) снабжает систему программного

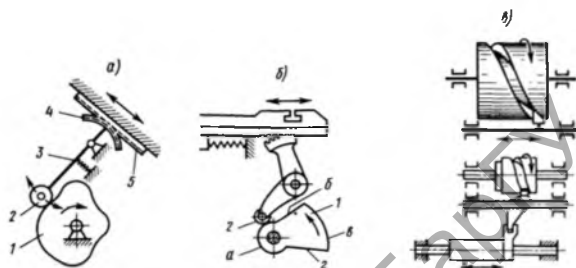


Рисунок 64 – Схема работы плоских и цилиндрических кулачков

**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). 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! Это специфическое свойство кулачковой передачи обеспечило очень широкое использование ее в автоматизированных станках. Другое достоинство кулачковой передачи – плавность движения ведомого элемента при условии правильного профилирования контура кулачка. Кулачковые системы являются простейшими по схеме автоматики контурными системами (со сложным движением) незамкнутого типа (без информации о фактическом положении исполнительных устройств). Размеры кулачков ограничиваются габаритами станка, и величина хода рабочего органа не превышает 120–200 мм для плоских кулачков и до 300 мм – для барабанного типа. Как на дисковом, так и на цилиндрическом кулачках имеются участки, которые обеспечивают быстрый подвод инструмента, рабочую подачу, остановку суппорта для зачистки обработанной поверхности, быстрый отвод и выстой инструмента в исходном положении. Движение от кулачка к исполнительному органу передается системой рычагов, изменением длины плеч которых можно изменить длину и скорость хода исполнительного органа.

**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

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 резьбы суппорт должен несколько отставать от инструмента, а при свинчивании – опережать его. Плашкодержатель 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.** Автоматическое управление полным циклом обработки детали с помощью распределительного (кулачкового) вала на автоматах и полуавтоматах обычно реализуется за один оборот вала. По характеру работы распредвала эти станки можно разделить на три группы.

*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 они 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 распредвалу повышенной скорости при холостых ходах командоаппарат, установленный на распредвале, включает дополнительный электродвигатель, который по короткой кинематической цепи вращает распредвал 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: программно-ситель (копир), считывающее устройство (шуп), перемещающийся относительно копира, передаточно-преобразующее устройство и исполнительные

Различают *два способа записи управляющей информации* на перфоленте: 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 с переменной длиной кадра как более удобная и краткая. Эта запись возможна при использовании алфавитно-цифровых кодов.

Буквенно-цифровой код БЦК-5 (нормаль станкостроения еще времен СССР: Э68-1) предназначен для записи информации на пятидорожечной перфоленте. Для кодирования использован двоично-десятичный код 8421, в котором выражены десятичные цифры 0, 1, 2, 9 и буквы E, D, T, K, П, Ш, С, В, Я, H.

В современных УЧПУ код БЦК-5 применяют лишь для управления простым оборудованием, в частности газорезательными машинами, так как код малоемкий для информации.

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.

**Обобщенная структурная схема УЧПУ** приведена на рис. 66. Управляющая программа считывается в устройстве ввода 1, т.е. преобразуется в электрические сигналы, которые направляются в устройство обработки программы 2, которое, 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 замкнутого типа, т.е. когда обратная связь идет по одной координате. В случае выполнения УЧПУ разомкнутого типа датчик 5 и устройство обратной связи 6 отсутствуют, что, конечно, снижает точность обработки, но удешевляет СУ и станок.

**Система числового программного управления (СЧПУ)** – это совокупность специализированных устройств, методов и средств, необходимая для осуществления числового программного управления станками, т.е. управление

Весьма важным параметром системы ЧПУ является ее чувствительность, т.е. наименьшее корректируемое смещение рабочего органа станка.

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

NC(ЧПУ) – числовое программное управление (Numerical control) – управление обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде;

HNC – разновидность устройства ЧПУ (Hand NC) с ручным заданием программы с пульта устройства (на клавишах, переключателях и т.п.);

SNC – разновидность, устройства ЧПУ (Speicher NC, Memory NC), имеющая память для хранения всей управляющей программы;

CNC – автономное управление станком с ЧПУ (Computer numerical control), содержащее ЭВМ или процессор;

DNC – управление группой станков от общей ЭВМ (Direct numerical control), осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления станков (у станков могут быть установлены устройства типов NC, SNC, CNC).

**Характеристика систем различных классов, их возможности.** Станки, оснащенные УЧПУ классов NC и SNC, в настоящее время еще достаточно распространены. УЧПУ этих классов – наиболее простые системы 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.

Переход вычислительной техники к большим интегральным схемам (БИС), микропроцессорным БИС и построенным на их основе микроЭВМ позволил создать УЧПУ, совмещающие функции управления станком и решения отдельных задач подготовки управляющей программы. Наличие ЭВМ обеспечивает большие возможности 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

## 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 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. Эти станки получили распространение в результате широкого развития систем программного управления и электронных цифровых вычислительных машин (ЭВМ). 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 программноносителя и инструментальной оснастки, предварительно налаживаемой вне станка. Продолжительность технологической подготовки производства при переходе с одного объекта на другой также 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 установил 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 предстоит:

- 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;

- 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, мод. 6P13Ф3 – вертикально-фрезерный консольный станок с третьим типоразмером стола с контурной системой ЧПУ. 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, мод. 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, мод. 2P135Ф2 и 6P13PФ3.

Специальные и специализированные станки (а сейчас частично и универсальные) обозначают буквенными индексами заводов-изготовителей с указанием порядкового номера модели. Например, обозначение мод. ОФ-46 расширяется так: станок Одесского завода фрезерных станков им. С.М. Кирова, мод. СМ213 – станок Минского завода автоматических линий и т.д. Многооперационные специализированные станки (типа "обрабатывающий центр") ранее индексировались согласно рекомендациям ЭНИМС: например, у мод. СМ630Ф4-5 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 станки с ЧПУ изготавливают с большой точностью и жесткостью. Последнее требование обеспечивается также укорочением кинематических цепей, для чего все рабочие органы имеют автономные быстродействующие приводы. 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 раздел 2.3.8 "Зубообрабатывающие станки").

В станках с ЧПУ узлы привода главного движения при ступенчатом регулировании частоты вращения, помимо традиционного исполнения, имеют автоматические коробки скоростей (АКС), многоскоростные электродвигатели. Бесступенчатое регулирование осуществляется традиционными способами. Двухступенчатые и трехступенчатые коробки скоростей в многооперационных станках сочетают с механическими вариаторами, а переключение

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 начало 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 используют 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 вращения инструмента вокруг осей X, Y, Z (рис. 67).

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 рис. 68 обозначены оси координат в различных станках.

**Конструкция привода главного движения.** Автоматизированный электропривод (АЭП) является одним из основных конструктивных элементов

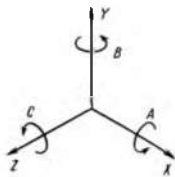


Рисунок 67 – Обозначение движений инструмента и расположение осей координат в станках с ЧПУ

Автоматизация переключения частот вращения в передачах осуществляется с помощью электромагнитных фрикционных муфт. Этот принцип использован в автоматических коробках скоростей типа АКС. Унифицированные коробки типа АКС позволяют реализовать все операции управления главным приводом: пуск, торможение, реверсирование, регулирование частоты вращения. Они обеспечивают высокую скорость переходных процессов, защиту от перегрузок, удобство в работе и т.д. Ряд коробок типа АКС состоит из семи габаритов с мощностью электродвигателя 1,5...55 кВт. Каждый габарит имеет несколько кинематических модификаций (число ступеней частот вращения 4, 6, 9, 12, 18; диапазон изменения частоты вращения 2...63).

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. 69). Сигнал задания для электропривода поступает от системы управления и согласно этому заданию на выходе электропривода формируется необходимый закон движения 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, которая заключается в преобразовании электрической энергии, потребляемой из сети, в механическую энергию исполнительного механизма станка;

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

в) управления, которая заключается в формировании выходных параметров электропривода в соответствии с поступающими на его вход заданиями и сигналами с датчиков ОС.

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

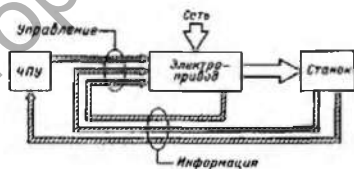


Рисунок 69 – Обобщенная схема работы электропривода металлорежущего станка с ЧПУ

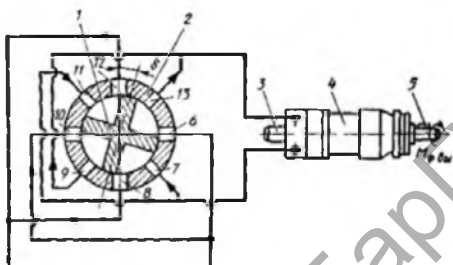


Рисунок 71 – Схема соединения шагового двигателя с гидросистемой

импульсов; нужен плавный разгон и торможение; возможны ошибки в обработке программы в случае пропуска импульсов.

В контурных СЧПУ, как правило, применяют *следящий электропривод* (рис. 72). 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 перемещения исполнительного органа. Заданный сигнал  $\varphi_3$  поступает на элемент сравнения, который сравнивает  $\varphi_3$  с сигналом  $\varphi$ , характеризующим фактическое положение исполнительного органа. На основе сравнения сигналов  $\varphi_3$  и  $\varphi$  вырабатывается сигнал рассогласования  $\varphi$ , поступающий в контур формирователя ошибки перемещения. Регулируемый привод обрабатывает сигнал рассогласования в сторону его уменьшения. Сигнал рассогласования поступает в предварительный усилитель системы импульсно-фазового управления.

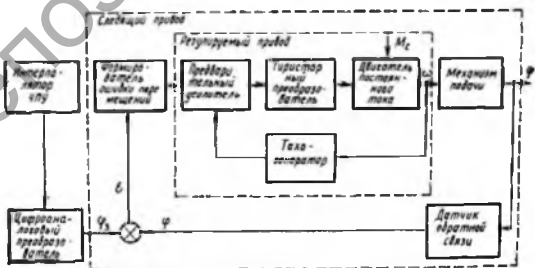


Рисунок 72 – Схема контурной СЧПУ со следящим электроприводом

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 находят применение *гидропривод*. Гидроприводы имеют довольно 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 (ДОС)** являются важным элементом металлорежущих станков с ЧПУ и систем ЧПУ с дополнительными источниками информации. ДОС по положению осуществляют контроль положения исполнительного органа в конкретной позиции. Датчики обратной связи по перемещению выделяют информацию о пройденном пути исполнительным органом. Вторые датчики могут выделить информацию о конкретном положении исполнительного органа, если задаться началом отсчета.

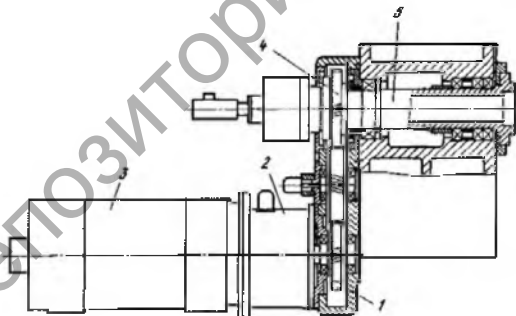


Рисунок 73 – Общий вид привода с унифицированной коробкой скоростей

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

тельной степени зависит точность выполнения заданной программы управления обработкой деталей. При этом важно не только обеспечить безотказное функционирование станка с ЧПУ с точки зрения выхода из строя его отдельных механизмов и блоков, но и обеспечить в течение установленного периода эксплуатации выполнение обусловленных его назначением технологических операций с показателями качества и производительностью, установленными нормативно-технической документацией, т.е. обеспечить заданную технологическую надежность.

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

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

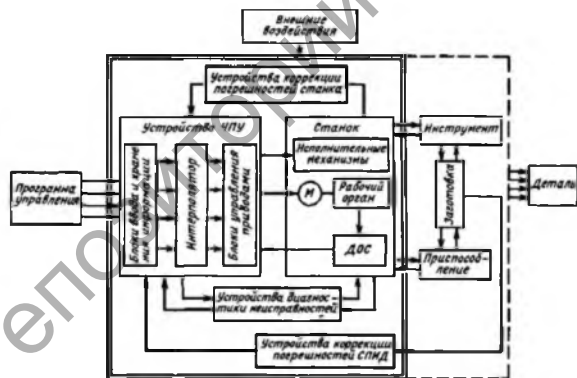


Рисунок 74 – Структурная схема технологической системы при применении станка с ЧПУ

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.

Применение систем ЧПУ, построенных на базе мини-ЭВМ или микропроцессоров, позволяет путем использования постоянно действующих программ коррекции, заложенных в память устройства ЧПУ, проводить компенсацию накопленной погрешности шага ходового винта, зазоров в приводе подачи, тепловых деформаций. Причем такие возможности позволяют не только повысить начальную точность станка с ЧПУ, но и путем периодического измерения меняющихся погрешностей станка и их коррекции в памяти устройства ЧПУ поддерживать точность станка в заданном пределе в процессе эксплуатации.

При другом методе компенсация погрешностей станка с ЧПУ осуществляется на основе информации, поступающей непрерывно или прерывисто от систем обратной связи с датчиками, измеряющими начальные погрешности станка (например, геометрических параметров); погрешности, возникающие в процессе эксплуатации (например, вибрации, тепловые деформации, износ инструмента и др.); погрешности, вызываемые внешними воздействиями (температура, вибрации, припуск на заготовке, твердость обрабатываемого материала и др.); погрешности непосредственно обрабатываемых деталей (размеров, формы, шероховатости и др.).

Применение обратных связей усложняет станок 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, которые позволяют компенсировать погрешности обработки, обусловленные такими случайными факторами, как колебания припуска на заготовке и твердости обрабатываемого материала, а также затупление режущего инструмента.

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

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

привод. Самое первое изображение токарного станка с патроном, к которому деталь крепили болтами или зажимами, относится к 1568 году. История возникновения устройства, которое высвободило руки рабочего от необходимости удерживать резец, начинается 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. Этот станок 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 было создание Генри Модсли современного вида металлорежущего станка. Он объединил в конструкцию станка три новшества, известных и до него: цельнометаллическая конструкция, изготовил точные плоские направляющие и разработал технологию изготовления точного ходового винта, что сделало станок высокоточным и универсальным устройством.

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

**Классификация станков токарной группы.** Токарные станки классифицируются по видам работ, размерам, точности, количеству применяемых инструментов, чередованию работы инструментов, количеству шпинделей, степени механизации и по применению гидро- и электроустройств, по расположению оси шпинделя:

*а) по признакам работы станки токарной группы делят на девять типов:*

- 1) автоматы и полуавтоматы одношпиндельные;
- 2) автоматы и полуавтоматы многошпиндельные;
- 3) револьверные;
- 4) сверльно-отрезные;
- 5) карусельные;
- 6) токарные и лобовые;
- 7) многорезцовые;
- 8) специализированные;
- 9) разные токарные;

*б) по размерам:*

- настольные;
- средние;
- тяжелые или уникальные;

*в) по точности*

- нормальной (обозначается буквой "Н");
- повышенной – П;
- высокой – В;
- особо высокой – А;
- особо точные – С;

(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. 75) обрабатываемой заготовки, устанавливаемой над станиной, и наибольшее расстояние между центрами передней и задней бабки, 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 6300 мм*. Станки с одним и тем же диаметром обработки могут иметь различные межцентровые расстояния, которые в тяжелых станках доходят до нескольких десятков метров (125–24000 мм).

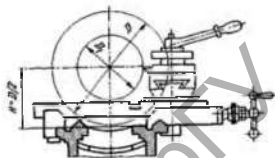


Рисунок 75 – Габариты обрабатываемых на станке заготовок

При правильной эксплуатации на станках среднего размера нормальной точности могут быть получены поверхности по 8...7 качеству точности с шероховатостью  $R_a$  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, определяемой десятками долями мкм и шероховатостью  $R_z$  до тысячных долей мкм.

**Токарно-винторезные станки на примере станка мод. 16К20.** На станине 1 (рис. 76) слева размещена передняя бабка 3 и коробка подач 2, на направляющих станины 9 – каретка 6 с фартуком 7 и поперечным суппортом 4 с резцедержателем, справа – задняя бабка 5. В передней бабке размещена коробка скоростей со шпинделем, а на ее панели – органы управления. Продольная и поперечная подача каретки и суппорта осуществляется от механизмов, расположенных в фартуке и получающих движение от ходового вала 10 при точении или ходового винта 8 при нарезании резьбы. В нижней части станина снабжена корытом для сбора стружки и охлаждающей жидкости.

**Техническая характеристика.** Наибольший диаметр заготовки над станиной 400 мм и над суппортом 200 мм; наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя, 50 мм; число частот вращения шпинделя 22; пределы частот вращения шпинделя 12,5–1600 мин<sup>-1</sup>; пределы продольных подач: 0,05–2,8 мм/об; поперечных 0,025–1,4 мм/об; шаг нарезаемой резьбы: метрической 0,5–112 мм, дюймовой 56–0,5 нитки на 1"; модульной 0,5–112 мм, питчевой 56–95 питчей. Станок 16К20 изготавливают с расстояниями между центрами 710, 1000, 1400, 2000 мм; на нем можно обрабатывать детали из незакаленной и закаленной стали, а также из труднообрабатываемых материалов; размеры 3770х430х944 мм. На базе основной модели 16К20 с максималь-

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 салазки суппорта.

Перемещение пиноли задней бабки осуществляется маховичком 13, ее зажим – рукояткой 12, а закрепление бабки на направляющих станины – рукояткой 10. Электрооборудование станка размещается в электрошкафу 5. Для обеспечения безопасности работы на станке установлены экран 6, щиток 7 и кожух 32, закрывающий ременную передачу, связывающую коробку скоростей с электродвигателем.

**Компоновка** станка состоит из одного стационарного элемента (станины, передней бабки и коробки подач) и ряда подвижных элементов, выполняющих одно определенное координатное движение, перемещаясь по направляющим (суппорт, фартук, задняя бабка).

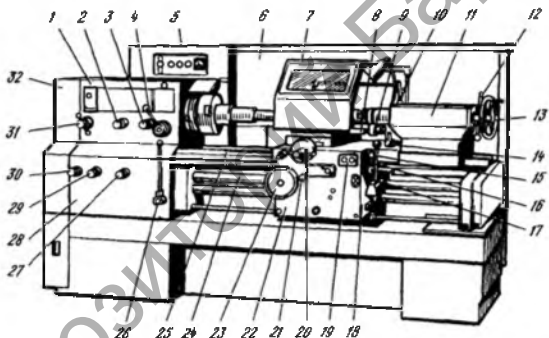


Рисунок 77 – Общий вид станка мод. 16K20

**Конструкция суппорта, задней бабки.** Суппорт (рис. 78) состоит из каретки 12, перемещающейся в продольном направлении по треугольной 17 и плоской 11 направляющим станины, поперечных салазок 10, поворотной части 9, резцовых салазок, 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 в направляющих 26 регулируется клином 27.

Ручное перемещение салазок 10 производится рукояткой 1, при этом предусмотрено отключение ее вращения при включении механической подачи.

*Резцовые салазки* 8 перемещаются по направляющим 7 типа ласточкин хвост 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; надежное его закрепление обеспечивается с помощью конусного сопряжения рукояткой 4. Фиксация в основных четырех положениях осуществляется подпружиненным шариком 22, попадающим 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. 79) закрепляется на 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 осуществляется подвод воздуха к направляющим через сверления 11, 18, 19.

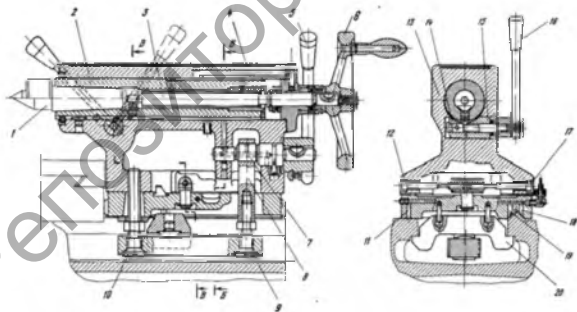


Рисунок 79 – Задняя бабка станка модели 16K20

**Структурная схема станка** включает три звена настройки: коробку скоростей  $i_{\text{в}}$ , гитару  $i_{\text{г}}$  и коробку подач  $i_{\text{п}}$ . Наличие небольшого количества звеньев обусловлено функциональным назначением станка и, как следствие, простыми формообразующими движениями (рис. 80).

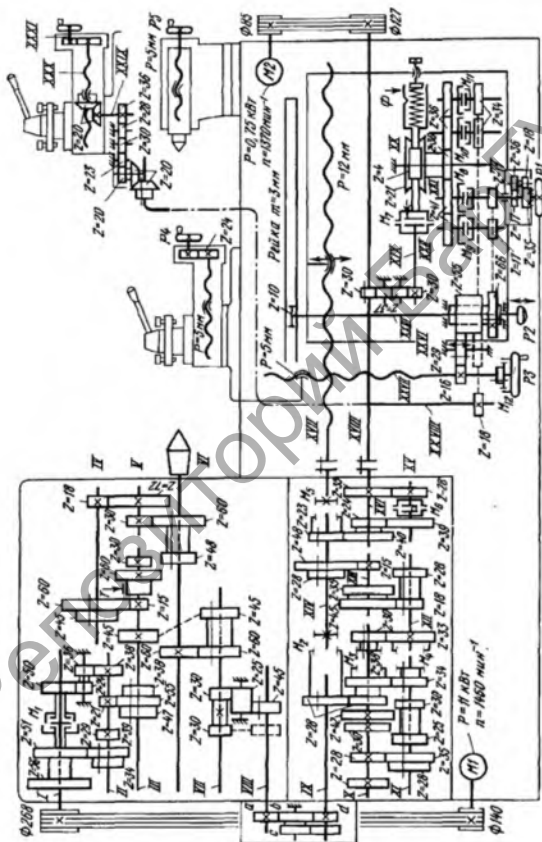


Рисунок 81 – Кинематическая схема станка мод. 16К20

Включение муфт  $M_8$ ,  $M_9$ ,  $M_{10}$  и  $M_{11}$  на станке производится одной рукояткой, причем направление включения совпадает с направлением перемещения реза.

По особому заказу станок оснащается суппортом с механическим приводом резовых 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 установлена в среднее (нейтральное) положение. Рукоятка р2 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  $M_7$  (вал XIX). Быстрые перемещения суппорта осуществляются от электродвигателя  $M_2$ , при этом сопряжение цепей ускоренных перемещений и рабочей подачи обеспечивается с помощью муфты обгона  $M_1$ .

#### 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 производстве. Эти станки обеспечивают выполнение следующих основных видов работ: обработка 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 резьбы резцами, метчиками и плашками. На этих станках можно производить накатывание рифленых поверхностей, выплачивание и раскатку поверхностей. Применение различных приспособлений еще больше расширяет круг работ, выполняемых на токарно-винторезных станках.

**Компоновка лобовых токарных станков.** Для обработки коротких заготовок большого диаметра и небольшой длины в единичном производстве применяются токарно-лобовые станки. При сравнительно небольшой длине они имеют планшайбу большого диаметра. Задней бабки станки не имеют. На рис. 82 показаны лобовые станки с суппортом, установленным на одной стороне со шпиндельной бабкой (рис. 82, а), и станки с обособленным суппортом (рис. 82, б). Последние станки предназначены для обработки особо крупных деталей, превышающих диаметр планшайбы. Для этого в фундаменте под

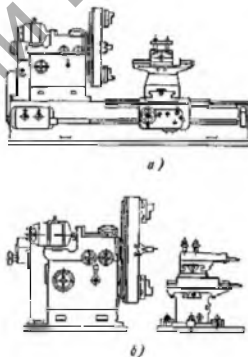


Рисунок 82 – Токарно-лобовые станки

В зависимости от размеров и назначения станки выпускаются одностоечными или двухстоечными. Станки с диаметром обработки до 2 м выполняют, как правило, одностоечными (рис. 83, а–в). Ряд иностранных фирм выпускают станки до 3500 мм одностоечными. В зависимости от высоты заготовки  $H$  станки имеют неподвижную (рис. 83, а) или подвижную (рис. 83, б) поперечину 1 (перемещается 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 (рис. 83, б). Выпускаются также станки без поперечины (рис. 83, в). Здесь салазки 1 суппорта 2 перемещаются по вертикальным направляющим стойки 3.

Специальные ТКС, изготовленные на базе универсальных, имеют увеличенную или уменьшенную высоту обработки, число и конструкцию горизонтальных и вертикальных суппортов, зажимных устройств, наличие дополнительных приводных головок (фрезерных, шлифовальных, сверлильно-расточных), приспособлений и устройств для отчета 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.

Отдельную группу составляют получающие все большее распространение перестраиваемые станки и станки свободной компоновки, позволяющие создавать из стандартных элементов – модулей – различные компоновки как одностоечных, так и двухстоечных станков, наиболее приспособленных к особенностям конфигурации и размерам обрабатываемых деталей. На рис. 84, а–е приведены варианты станков перестраиваемой компоновки серии ОК фирмы SCHIESS-FROEPE.

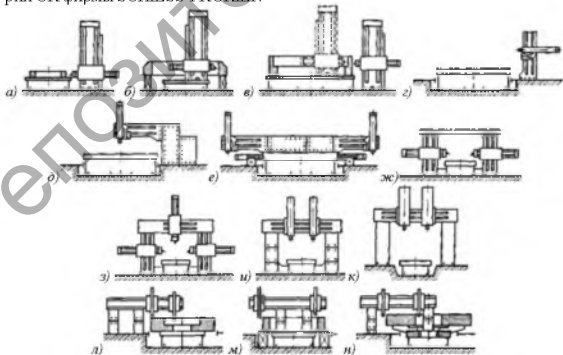


Рисунок 84 – Токарно-карусельные станки перестраиваемой компоновки

*Планишайба* 5 представляет собой полый диск с рядом внутренних радиальных ребер. На верхней плоскости планишайбы 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 планишайбе сделана центрирующая расточка, предохраняемая от забоин специальной заглушкой. Станок в основном исполнении поставляется с планишайбой с четырьмя кулачками для крепления обрабатываемых деталей. Каждый кулачок может перемещаться независимо от других. Чтобы предотвратить сбрасывание незакрепленных кулачков с планишайбы во время ее вращения, в подошву корпуса кулачка запрессован штырь, головка которого входит в отверстие в планишайбе.

Столы у станков с диаметром обработки 2500 мм и более взамен подшипниковых опор планишайбы все чаще имеют круговые гидростатические направляющие, что позволяет уменьшить радиальное и торцевое биение планишайбы до 5–10 мкм, повысить осевую и угловую жесткость, а также виброустойчивость станка. Чтобы обработать торцовые и боковые поверхности карманов и цилиндрические отверстия, оси которых не совпадают с осью вращения заготовки, столы ТКС оснащают устройствами углового позиционирования планишайбы и фиксации ее в заданном положении. Точность углового позиционирования планишайбы при повороте на любой угол составляет от плюс-минус 5° до плюс-минус 10°. У современных ТКС 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.

**Расположение и установка инструмента на двухстоечном токарно-карусельном станке.** Тяжелые и уникальные станки с диаметром обработки от 4 до 20 м выполняют одностоечными (рис. 83) и двухстоечными. Уникальные станки двухстоечной компоновки могут иметь перемещающийся портал, что позволяет увеличить диаметр  $D$  заготовки. Одностоечные станки 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 2500 мм) можно обрабатывать цилиндрические, торцовые, конические и фасонные поверхности; сверлить и растачивать центральные отверстия и канавки, нарезать наружные и внутренние

Несмотря на большие размеры, станки обеспечивают высокую точность. Например, радиальное и торцевое биение планшайб крупных размеров (диаметром 10...12,5 м) 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; погрешность позиционирования планшайбы при повороте на лобой угол –  $\pm 5''$ .

**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.

Токарно-револьверные станки (TRC) классифицируются по роду обрабатываемых заготовок:

- 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. Патронные станки обрабатывают заготовки диаметром от 160 до 630 мм. Большую часть станков 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, резьбонарезных 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 TRC 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

инструмента. По конструкции револьверной головки станки делятся на станки с вертикальной и горизонтальной осями вращения револьверных головок (рис. 87). 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. Все режущие инструменты устанавливают 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, переключающего частоты вращения шпинделя и величины подач.

**Работы, выполняемые на ТРС.** Токарно-револьверные станки используются преимущественно в серийном и массовом производствах, когда технологический процесс обработки изделий требует применения многих инструментов: резцов, сверл, разверток, метчиков, плашек и др.

На станках кроме obtачивания и растачивания резцами удобно выполнять последовательные операции сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы с помощью инструментов, устанавливаемых в револьверной головке. На рисунке 88 приведены типовые детали из шпунтовых заготовок, обрабатываемые на токарно-револьверных станках. Подобные детали изготавливают и из прутка.

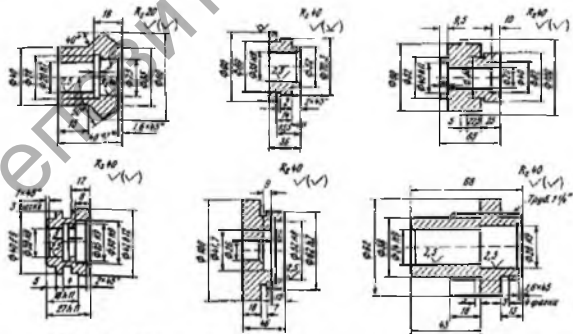


Рисунок 88 – Типовые детали, получаемые на токарно-револьверных станках

– 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.

**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. Одношпиндельные автоматы продольного точения мод. 1Б10П, 1Б10В, 1Б10А предназначены для изготовления методом продольного точения деталей диаметром до 6 мм и длиной до 60 мм из холоднотянутого калиброванного прутка. На автоматах мод. 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  $Ra = 0,8-0,4$  мкм.

Все суппорты автомата, которых может быть четыре или пять, расположены веерообразно вокруг обрабатываемого прутка. Они имеют только поперечное перемещение (рис. 89). При одновременном согласованном перемещении шпиндельной бабки с прутком и поперечных суппортов на этих автоматах можно без применения фасонных резцов обрабатывать конические и фасонные поверхности.

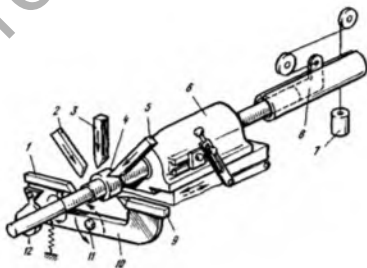


Рисунок 89 – Схема работы автомата продольного точения

Вертикальные суппорты 2, 3 и 5, расположенные на специальной стойке, имеют прямолинейное перемещение и управляются от индивидуальных кулачков распределительного вала. Два горизонтальных суппорта 1 и 9 расположены

Достоинством автомата является и то, что на нем возможна обработка конусных и сферических поверхностей за счет согласованных и автоматических 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 инструмент, начинает вращаться с меньшей скоростью, чем главный шпиндель (отставание 40–50%), и происходит свинчивание инструмента с изделия.

На сверлильный и реверсивный 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 крупного, квадратного и шестигранного сечений, а при применении магазинной загрузки – из стучных заготовок. В промышленности применяются фасонно-отрезные автоматы с наибольшим диаметром прутка 16, 25 и 40 мм. На фасонно-отрезных автоматах малого типоразмера (мод. 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 с резцовой головкой.

Конструктивно фасонно-отрезные автоматы незначительно отличаются друг от друга (рис. 91). Шпиндельная бабка 5 и поперечные суппорта 4 смонтированы на станине 2, установленной на массивном основании 1, в котором расположены электродвигатель 6, редуктор, электрощит, баки охлаждения и смазки. Все подвижные узлы автоматов закрыты съемными или откидными кожухами 3. На автоматах мод. 11Ф25 и 11Ф40 передний поперечный суппорт выполнен крестовым, что позволяет производить продольную обточку заготовок.

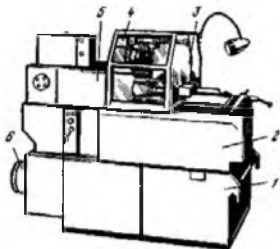


Рисунок 91 – Общий вид фасонно-отрезного автомата

Кроме того, они имеют продольный суппорт, на котором устанавливаются головка для крепления центрового инструмента или резцы для продольной обточки, обработки торцов и фасок.

**Схема обработки заготовки** на таком автомате показана на рис. 90, 92 и 93. После отрезки готовой детали резцы вращающейся головки отходят в ис-



Рисунок 94 – Типовые детали, обрабатываемые на фасонно-отрезном автомате

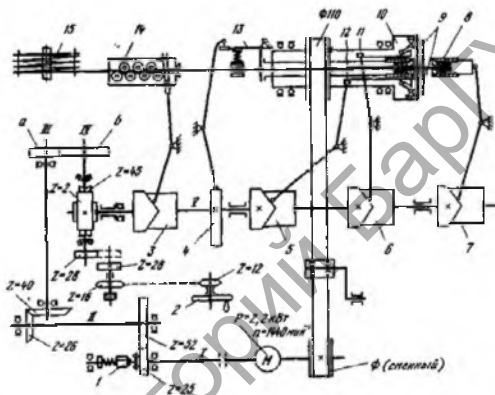


Рисунок 95 – Кинематическая схема фасонно-отрезного автомата мод. 1106

и правки материала из бунта 15, кулачок 4 механизма 13 заднего и среднего зажима материала, кулачки 5 и 6 механизмов 12 и 11 подачи поперечных суппортов 9 на резцовой головке 10 и кулачок 7 механизма 8 переднего зажима обрабатываемой заготовки.

Включение и выключение вращения распределительного вала V осуществляется зубчатой муфтой 1. При наладке автомата вращение распределительного вала вручную производится рукояткой 2 через цепную передачу 12/16 и зубчатую передачу 28/28. Диаметр сменного шкива  $\Phi$ , которым настраивают частоту вращения резцовой головки в соответствии с требуемой скоростью резания, определяют из уравнения кинематического баланса цепи главного привода, которым настраивают частоту вращения резцовой головки в соответствии с требуемой скоростью резания, определяют из уравнения кинематического баланса цепи главного привода:

$$n_{\text{эл}} = \Phi/110 = n_{\text{пр}}, \quad (49)$$

$$\text{при } n_{\text{эл}} = 1440 \text{ мин}^{-1}, \Phi \approx 0,08 n_{\text{пр}}.$$

головкой 2 и двух горизонтальных (переднего и заднего) поперечных суппортов. На рисунке поперечные суппорты закрыты ограждением 5.

Кинематическая схема токарно-револьверного автомата мод. 1Е140 показана на рисунке 97. Главное движение шпиндель V получает от электродвигателя М1 через коробку скоростей и клиноременную передачу 212/170. Коробка обеспечивает автоматическое переключение трех скоростей через шестерни 58/37, 42/53, 27/68 с вала I на вал II через электромагнитные муфты МЭ<sub>1</sub> и МЭ<sub>2</sub> при работе обгонной муфты М<sub>0</sub> и реверс выходного вала IV через шестерни 47/47 и 24/40·40/60 посредством электромагнитных муфт МЭ<sub>3</sub>–МЭ<sub>6</sub>. Сменные шестерни а<sub>1</sub>, b<sub>1</sub> служат для расширения диапазона регулирования.

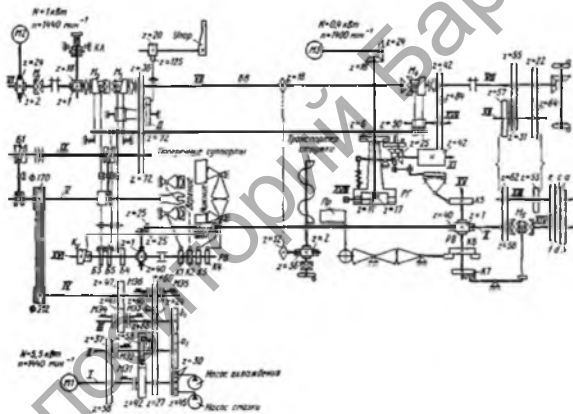
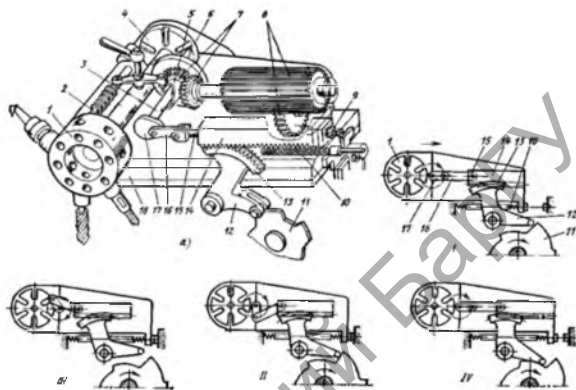


Рисунок 97 – Кинематическая схема токарно-револьверного автомата мод. 1Е140П

Рабочие и холостые хода осуществляет электродвигатель М2, передающий движение вспомогательному (ВВ) и распределительному (РВ) валам. Вспомогательный вал VII получает вращение от электродвигателя М2 через червячную передачу 2/24 при включенной муфте М<sub>1</sub>. Ее включение и выключение производят вручную. Частота вращения ВВ составляет  $1440 \cdot 2/24 = 120 \text{ мин}^{-1}$ . На ВВ установлены однооборотная муфта М<sub>2</sub> и самовыключающиеся после двух оборотов зубчатые муфты М<sub>3</sub> и М<sub>4</sub>. Муфта М<sub>2</sub> включает периодически командоаппарат (КА), получающий вращение от ВВ через червячную передачу 1/18. При включении муфты М<sub>3</sub> вращение через зубчатые колеса 36/72·72/72



а – общий вид, б – схема работы, I – начало отвода, II – окончание отвода, III – поворот малярного креста головки; IV – рабочий ход

Рисунок 98 – Продольный суппорт с револьверной головкой

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 М, на вспомогательном распредвале. Вращение ВВ через зубчатую 8 и коническую 7 передачи передается кривошипному валу 3. Суппорт под действием пружины быстро смещается назад относительно неподвижной рейки 14, замкнутой через секторный рычаг 12 на кулачок 11 (рис. 98, 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 малярного креста 4 и поворачивает его револьверную головку на  $1/6$  оборота. В этом положении секторный рычаг 12 отрывается от кулачка 11 (рис. 98, III). При дальнейшем вращении валика 3 кривошипно-шатунный механизм распрямляется и секторный рычаг 12 спускается на следующий участок кулака, устанавливая суппорт в новое положение относительно торца шпинделя (рис. 98, IV).

**Механизм подачи и зажима прутка.** Исполнительные части механизмов подачи и зажима прутка расположены в шпинделе 12 станка (рис. 99). Шпиндель базируется на двухрядном роликовом подшипнике 11 спереди и на двух радиально-упорных подшипниках 2 сзади. На шпиндель насажен приводной шкив 1. Зажимная цапга 13 с обратным конусом передает прутку крутящий

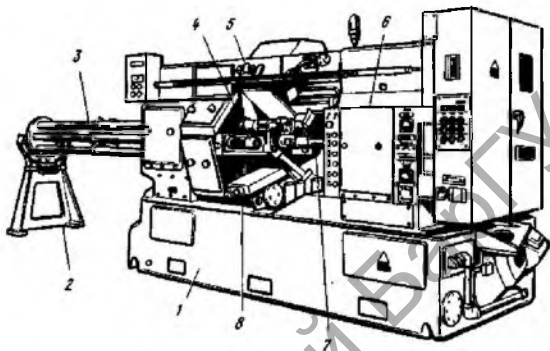


Рисунок 100 – Общий вид шестিশпindelного токарного автомата

возможность выйти из него в выточку муфты. При этом рычаги 8 поворачиваются вокруг своих осей 9, короткие плечи рычагов отходят влево, вследствие чего пружина 10 сдвигает влево втулку 14. Лепестки цанги 13 освобождаются и разводятся силами упругости. Для последующего зажима цанги 13 муфта 6 возвращается влево, своим внутренним конусом утапливая ролики 7 рычагов 8 в стакан 5.

Подающая цанга 15 вернута в подающую трубу 19 и под действием сил упругости всегда сжимает пруток. Левый конец трубы через подшипник 21 связан с салазками 20. Салазки могут передвигаться по направляющим 28 кронштейна 27 вдоль прутка барабаном 26 через рычажно-кулисный механизм 25. Винтом 22 сдвигают гайку 23 с сухарем 24 вдоль паза верхнего плеча рычага, меняя длину этого плеча и тем самым ход салазок.

При перемещении салазок с трубой 19 влево подающая цанга, сжимая пруток, скользит по нему, так как он удерживается зажимной цангой 13. После раскрытия цанги 13 подающая цанга 15 перемещается вправо вместе с прутком, пока он не остановится упором револьверной головки или качающимся упором. Далее, до окончания перемещения цанга снова проскальзывает по прутку.

**Многошпindelные автоматы** по своему внешнему виду похожи на тот станок, который был изобретен в Соединенных Штатах в годы Гражданской войны (1861–1865). Многошпindelный станок появился в 1895 году.

**Назначение.** Многошпindelные токарные полуавтоматы и автоматы (рис. 100) широко применяют в серийном и массовом производстве. Их подразделяют: по виду заготовки – на прутковые и патронные; по принципу работы – на станки параллельного и последовательного действия; по расположению

низмы и каждую из этих позиций можно рассматривать как станок, связанный с другими такими же станками общим приводом, управлением и единством базовых деталей. Вертикальные многшпиндельные токарные полуавтоматы по принципу своей работы могут быть параллельного и последовательного действия.

**Принципиальная схема полуавтомата последовательного действия.** Принципиальная схема шестিশпиндельного полуавтомата последовательного действия (рис. 102) включает основание 1, на котором установлена неподвижная шестигранная колонна 3, вокруг которой периодически поворачивается стол 1 с шестью шпинделями. Пять суппортов 1 обслуживают одновременно пять шпинделей. Заготовка устанавливается в загрузочной позиции, не имеющей суппорта. После поворота стола на  $60^\circ$  шпиндель начинает вращаться, и деталь обрабатывается в позиции 1. По окончании первой операции стол снова поворачивается, перемещая заготовку в следующую позицию и т.д. Таким образом, в каждой позиции осуществляется определенная операция, и по окончании обработки в загрузочную позицию приходит готовая деталь.

Привод станка состоит из электродвигателя и редуктора. В целом, станок комплектуется из трех блоков: верхнего, среднего и нижнего. В верхнем блоке расположены электродвигатель с редуктором и пять коробок скоростей и подач, командоаппараты и др. 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 синхронизаторов рабочих позиций. На нижнем чашеобразном блоке-основании установлены синхронизаторы, тормоз, редуктор, механизм поворота стола и фиксатор, насос СОЖ, электрошкаф, резервуар для масла и другие механизмы.

Обработка заготовок на вертикальных полуавтоматах последовательного действия (рис. 102) производится несколькими группами инструментов, закрепленными на суппортах 2, которые размещены на гранях неподвижной колонны 3. 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 оснований 5 и колонны 3 осуществляет смену позиций.

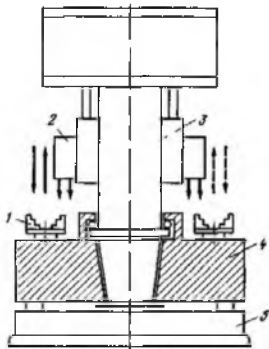


Рисунок 102 – Схема работы вертикального многшпиндельного полуавтомата последовательного действия

– диапазон регулирования вращения шпинделя	12,5–980 мин <sup>-1</sup>
– наибольшее перемещение суппорта	200–450 мм
– диапазон регулирования подач	0,028–5 мм
– мощность главного привода	20–110 кВт
– масса станка	15000–35500 кг

На рис. 104 приведена компоновка восьмишпиндельного полуавтомата последовательного действия мод. 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 подачи 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.

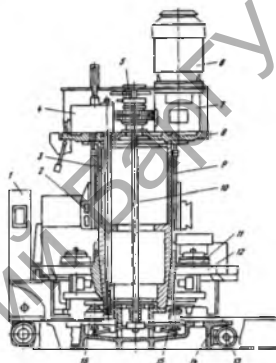


Рисунок 104 – Компоновка вертикального восьмишпиндельного полуавтомата мод. 1К282

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.

**Технологические возможности полуавтоматов мод. 1К285.** Токарные многошпиндельные полуавтоматы обладают широкими технологическими возможностями при изготовлении разнообразных деталей и обеспечивают высокую степень концентрации обработки. Применение таких станков способствует повышению производительности труда, сокращению станкочемкости, уменьшению производственных площадей, упрощению транспортных связей. Вертикальные 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 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 параллельно-последовательную обработку. Она может быть несколько вариантов: наиболее часто станок используется как два параллельно работающих станка, поворачивая в каждом цикле стол на две позиции

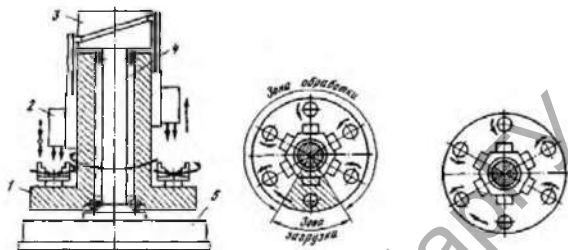


Рисунок 105 – Схема работы вертикального многшпindleльного полуавтомата параллельного действия (а), с непрерывным вращением карусели (б) и с периодическим поворотом карусели (в)

позиции (рис. 105, в). В позиции загрузки (зоне) шпиндель не вращается, а суппорт отходит в верхнее положение. Для облегчения условий работы в этой зоне предусматривается специальное подъемное устройство.

Технологические возможности полуавтоматов этого типа ограничены и поэтому на них обрабатываются более простые заготовки.

При повороте гильзы суппорты перемещаются по ее вертикальным направляющим от неподвижного барабана (верхний блок), с которым они связаны тягами. У полуавтомата каждый шпиндель имеет свой суппорт, с которого ведется обработка детали во время вращения карусели.

На рис. 106 показана схема обработки заготовки на шестишпindleльном полуавтомате параллельного действия, у которого на пяти позициях производятся одни и те же операции группой инструментов из 15 резцов, установленных на резцовых головках.

За один полный оборот карусели на каждом шпindleле, проходящем загрузочную зону, заканчивается обработка детали. В этой зоне сначала автоматически выключается вращение шпindleля и освобождается от зажима деталь, а соответствующий суппорт быстро отходит вверх, снимается готовая деталь и устанавливается новая заготовка. Затем она автоматически зажимается, шпindleлю сообщается вращение, а суппорт быстро подводится к заготовке.

**Многорезцовые токарные полуавтоматы.** Одношпindleльные токарные полуавтоматы предназначены для обработки в массовом и крупносерийном производстве многоступенчатых валов, ступенчатых втулок, блоков зубчатых колес и других подобных деталей из шпунтовых заготовок из различных сталей,

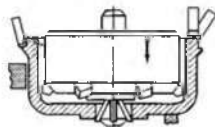


Рисунок 106 – Схема обработки тормозного барабана на вертикальном полуавтомате параллельного действия

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  $s_{\text{нон}}$  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. По компоновке многорезцовые полуавтоматы аналогичны универсальным токарным станкам.

**Компоновка полуавтомата мод. 1Н713** с органами управления показана на рис. 109. 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 шиток 6 с кнопками управления станком.

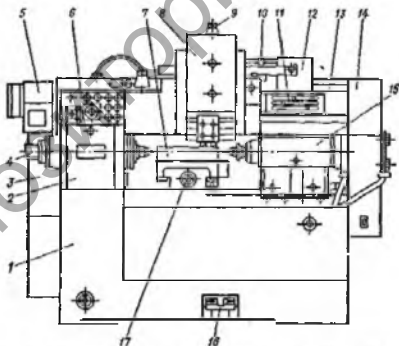


Рисунок 109 – Многорезцовый полуавтомат мод. 1Н713

Справа от продольного суппорта смонтированы передвижной кронштейн копирной линейки 12, командоаппарат 11 для управления циклом работы продольного суппорта и передвигной упор 10 для установки в рабочее положение

поджимается гидроцилиндром 10. Привод поперечной подачи суппорта следящий. Он управляет копиром 8 через шуп 7 копировальной головки 6. Профиль наконечника шупа точно соответствует профилю реза 5, а размеры рабочего профиля копира точно воспроизводят чертежные размеры контура обрабатываемой детали.

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 токарно-копировального полуавтомата мод. ЕМ473-1-02А.**

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. 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 ход каретки 825 мм, 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, поперечного суппортов и задней бабки, гидрооборудование, электрооборудование, педаль и привод патрона, охлаждение, транспортер стружки, ограждение.

Устроен и работает станок следующим образом. Вращение шпинделя – от электродвигателя через кинематическую цепь шпиндельной бабки (рис. 111). Рабочие и ускоренные подачи копировального суппорта – от гидропривода. Также от гидропривода 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 через клиноременную передачу, электромагнитные муфты, зубчатые колеса передается на шпиндель. Электромагнитные муфты обеспечивают две автоматические скорости. Торможение шпинделя – тормозной муфтой. Настройка необходимой частоты вращения шпинделя производится переключением электромагнитных муфт ЭМ1 и ЭМ2, включением с помощью рукоятки в работу зубчатых колес 8 или 24 и установкой

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 шупа крепится к гидроцилиндру ползуна копировального суппорта с задней стороны. При движении наконечника шупа по копиру, движения рычага, к которому прикреплен шуп, 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, 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 бесступенчатая и выполняется дросселями с регуляторами, как и ползуна поперечного суппорта. Ограничение величины рабочего хода каретки копировального суппорта на каждом проходе, автоматическое переключение скоростей и подач, включение в работу поперечного суппорта производятся с помощью командоаппарата.

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 рис. 112 показана принципиальная схема гидравлического привода суппорта токарно-копировальных полуавтоматов. Копировальный суппорт 1, имеющий поперечное перемещение, жестко связан с корпусом 2 следящего золотника и со штоком поршня неподвижного гидроцилиндра 3 поперечной подачи. Продольная

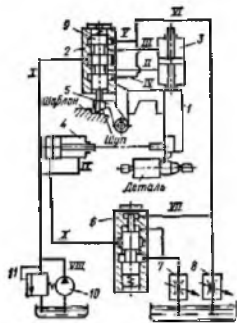
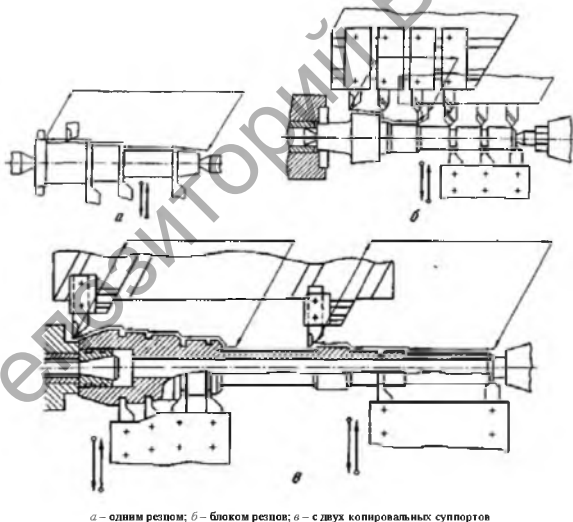


Рисунок 112 – Схема следящего гидроконтрольного привода

**Многорезцово-копировальные полуавтоматы** (рис. 113) 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 114 приведены типовые схемы обработки на многорезцово-копировальном полуавтомате. Обработка основного профиля заготовки с копировального суппорта одним резцом (рис. 114, а) может производиться от двух копиров (двухпроходный цикл), автоматически сменяемых в рабочем цикле.



а – одним резцом; б – блоком резцов; в – с двух копировальных суппортов

Рисунок 114 – Схема обработки заготовок на многорезцово-копировальных полуавтоматах

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...5000 мм, прутковые станки имеют диаметр обработки 10...125 мм. Станки средних размеров обычно изготавливают по классу точности П, малых – иногда В.

**Конструктивные особенности и технологические возможности токарных станков с ЧПУ.** В соответствии с наметившейся тенденцией по созданию блочно-модульных конструкций в токарных станках в приводах главного движения широко применяются унифицированные коробки скоростей (редукторы), кинематические и силовые характеристики которых соответствуют применяемым регулируемым электродвигателям.

На шпинделе выполняются посадочные поверхности для крепления зажимного патрона и его привода, а также для приводного элемента датчика резбонарезания, который служит для контроля углового положения шпинделя при нарезании резьбы и позволяет с помощью ЧПУ согласовывать вращение заготовки и перемещение резбонарезного резца. В обыкновенных токарно-винторезных станках эту роль выполняют коробка подачи, берущая движение от шпинделя, и ходовой винт. Точность нарезания резьбы у станков с ЧПУ определяется разрешающей способностью датчика (обычно 1000 импульсов на один оборот шпинделя), структурой привода подачи и системой ЧПУ.

Наиболее важной характеристикой токарных станков является схема размещения на станке инструментальных блоков. Эти схемы могут быть самыми различными, но в станках с ЧПУ должна быть обеспечена автоматическая смена инструментов. В традиционной схеме инструмент крепят в резцедержателе суппорта. Большую емкость обеспечивает схема с револьверной головкой на суппорте; эта головка может быть размещена за осью центров станка или выше нее при соосном или перпендикулярном размещении инструмента в головке. Для прутковых и патронных токарных станков применяют схемы, при которых инструмент располагается на оси шпинделя, при этом ось револьверной головки может быть перпендикулярной к основанию станка или к фронтальной его плоскости. Достаточно распространенными являются конструкции токарных станков с двумя револьверными головками, с револьверной головкой и суппортом, с двумя суппортами. В крупносерийном производстве применяют двух- и трехшпиндельные токарные станки с револьверными головками. В ряде конструкций токарных станков с ЧПУ встречаются и нетрадиционные схемы размещения револьверных головок.

Поскольку изначально эффект внедрения станков с ЧПУ не был известен, нового оборудования не делали, как и многие другие станки с ЧПУ, токарный

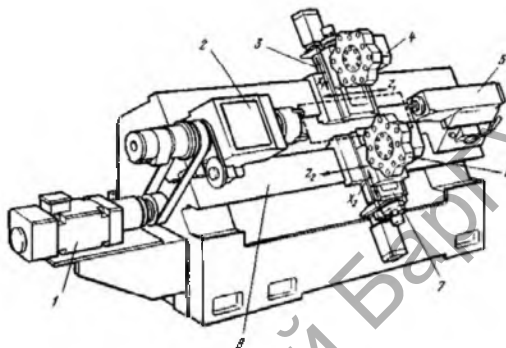


Рисунок 115 – Наклонная компоновка токарного станка с ЧПУ

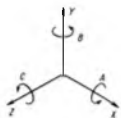


Рисунок 116 – Расположение осей координат и обозначение движений инструмента в станках с ЧПУ

В **системе координат** токарных станков с ЧПУ определяются начальные и текущие положения рабочих органов станка, их предельные перемещения. Выбор системы координат станка должен соответствовать рекомендациям ИСО (R84). Стандартная система координат представляет собой правую прямоугольную декартову систему координат XYZ (рис. 116).

За исходную ось Z принята ось рабочего шпинделя, ось X горизонтальна (рис. 117). За положительное направление перемещения рабочего органа считают то, при котором инструмент и заготовка удаляются друг от друга.

При обработке детали на станке с ЧПУ можно выделить три координатные системы. Первая – система координат станка XМZ, имеющая начало отсчета в точке М – 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.

И третья система – система координат инструмента, в которой определено положение центра Р инструмента относительно базовой точки F (К, Т) элемента станка, несущего инструмент. Система координат инструмента предназначена для задания положения его настроечной точки относительно державки или центра поворота инструментальной головки. Эти оси  $X_n$ ,  $Z_n$

чение частоты вращения в диапазоне, равном 16 (отношение максимальной частоты вращения к минимальной). Коробка связана с двигателем и со шпиндельной бабкой клиноременными передачами  $\varnothing 130/\varnothing 178$  и  $\varnothing 204/\varnothing 274$ .

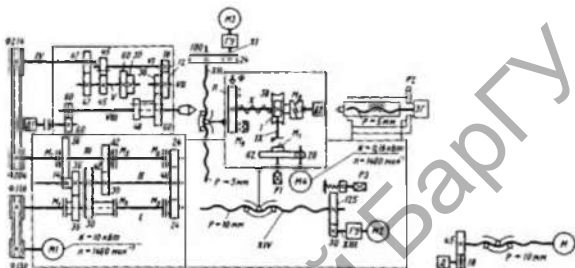


Рисунок 118 – Кинематическая схема токарного станка 16К20Ф3 с ЧПУ

После постоянной передачи 47/47 между валами IV и V следует цепь перебора с большой редукцией, соединяющая валы V, VI, VII, VIII. При отключении перебора колесо 45 передвигается по валу VI вправо, а блок 48-60 – по шпинделю влево до включения передач 60/48 или 30/60 между валами V и VIII. Цепь плавного движения становится короче.

Максимальная частота вращения шпинделя:

$$n_{\max} = 1460 \cdot 130/178 \cdot 36/36 \cdot 48/24 \cdot 204/274 \cdot 47/47 \cdot 60/48 = 2000 \text{ мин}^{-1}.$$

Вручную переключениями в шпиндельной бабке устанавливают один из трех диапазонов частот вращения шпинделя. В каждом диапазоне может быть получено с помощью АКС девять ступеней частот вращения. При одновременном включении муфт  $M_1$  и  $M_6$  шпиндель тормозится.

*Продольная и поперечная подачи* осуществляются ходовыми винтами XIV и XII. Если источником движения служит обычный (не силовой) шаговый электродвигатель (M2 и M3), то необходим гидросилитель ГУ и редуктор (30/125 и 24/100). Угол поворота шагового двигателя за каждый импульс из системы управления составляет  $1,5^\circ$ . Этому будет соответствовать минимальное продольное перемещение каретки суппорта:

$$s_{\text{прод min}} = 1,5/360 \cdot 30/125 \cdot 10 = 0,1 \text{ мм}.$$

При максимальной частоте импульсов 8000 Гц, т.е. 8000 имп/с, скорость продольного движения  $0,01 \cdot 8000 = 80 \text{ мм/с} = 4800 \text{ мм/мин}$ . Поперечное движение вдвое медленнее, так как шаг ходового винта  $P = 5 \text{ мм}$ .

### 3.4 СВЕРЛИЛЬНЫЕ И РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

#### Назначение, технологические возможности и классификация станков.

Первые сверлильные станки 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: вертикально-сверлильные (настольные и на колонных), полуавтоматы одношпиндельные и многшпиндельные, радиально-сверлильные, горизонтально-сверлильные, специализированные и центральные.

Выполняемые на станках операции: сверление (рис. 119, а), рассверливание (рис. 119, б), зенкерование (рис. 119, в и г), развертывание (рис. 119, д), нарезание внутренней резьбы (рис. 119, е), подрезка платиков и бобышек у отверстий (рис. 119, ж, з, и), зенкование (рис. 119, к).

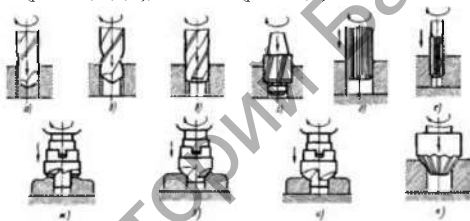


Рисунок 119 – Операции, выполняемые на сверлильных станках

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).

**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 по своим конструктивно-технологическим возможностям делятся на две неравные группы:

- настольные сверлильные станки, которые предназначены для сверления отверстий в стали ( $\sigma_{\text{в}} = 500 - 600 \text{ МПа}$ ) диаметром максимум до 3, 6, 12 и 16 мм в деталях малых и средних размеров в единичном и мелкосерийном производствах;
- вертикально- и радиально-сверлильные сверлят отверстия диаметром до 18, 25, 35, 50 и 75 мм в тех же условиях, но если это полуавтоматы или

на основе базового станка гаммы модификаций из унифицированных узлов, упрощение монтажа и смазки узлов станка, удобное расположение органов управления. За счет уменьшения длины ведущей шлицевой части шпинделя повышена крутильная жесткость.

Большинство современных вертикально-сверлильных станков имеют агрегатную компоновку.

В станках с компоновкой типа *пресс* (рис. 120, в) коробки скоростей и подач, шпиндель и другие устройства расположены в верхней части колонны, а вертикальное установочное перемещение имеет только стол 6. За счет этого станки обладают повышенной жесткостью, но менее технологичны.

**Компоновочная схема станка мод. 2Н118.** Данный станок принадлежит к станкам с агрегатной схемой компоновок, пришедшей на смену схеме "кронштейн" (модель 2А118). На фундаментной плите 1 (рис. 121) смонтирована колонна 2 коробчатой формы (основание 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 веса шпинделя. В сверлильной головке размещены механизмы главного движения и подачи шпинделя 6. Шпиндель можно перемещать с рабочей и ускоренной подачей механически или вручную с помощью штурвала 5. 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.

Предназначен станок для обработки малых и средних по размерам заготовок.

Сверху на сверлильной головке установлен фланцевый трехфазный асинхронный электродвигатель. Электрооборудование станка расположено в электрошкафу. Основное место использования станка – единичное и мелкосерийное производство. Применяв многшпиндельную головку, быстросменный сверлильный патрон и автоматическое отключение подачи при достижении сверлом нужной глубины, можно использовать станок в крупносерийном и массовом производствах.

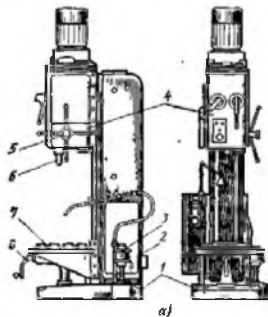


Рисунок 121 – Станок вертикально-сверлильный 2Н118

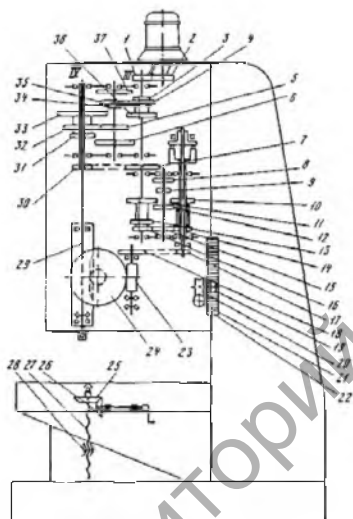


Рисунок 123 – Кинематическая схема станка 2Н118

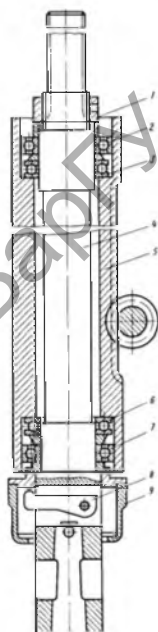


Рисунок 124 – Шпindel станка 2Н118

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;
- б) сверление отверстия;
- в) рассверливание или зенкерование отверстия;
- г) развертывание отверстия;
- д) цекование (при необходимости) площадки под головку болта;
- е) зенкование фаски;
- ж) нарезание резьбы.

В некоторых случаях возможно исключение некоторых переходов, например: а), в), г), д), е).

**Назначение станка.** 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.

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.

Принципиальное отличие радиально-сверлильных станков от вертикально-сверлильных состоит 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 сектора образована радиусом наибольшего, а другая – наименьшего вылета шпинделя сверлильной головки при круговом вращении траверсы относительно колонны станка. Это выгодно тем, что при обработке тяжелых деталей на их установку, выверку и закрепление требуется больше времени, чем на подвод сверла. Вылет консоли у радиально-сверлильных станков до 2500 мм.

**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 перемещение 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. Вспомогательными движениями являются: 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) или кроме основания имеется еще консольно закрепленный на колонне стол, который имеет аналогичное вращение.

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 полой колонной производится вручную.

Радиально-сверлильный станок имеет высокую жесткость и надежные зажимы узлов.

лении отверстия диаметром 40–60 мм охлаждающая жидкость в количестве 200–400 л/мин подводится под давлением 2–4 МПа.

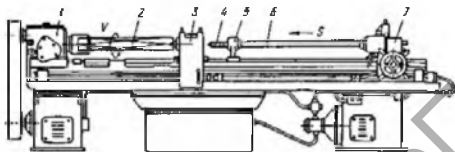


Рисунок 128 – Горизонтально-сверлильный станок для глубокого сверления вращающихся деталей

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. Для выполнения зенкерования деталей типа цилиндров можно использовать токарный станок, у которого на поперечные салазки суппорта устанавливается зажимное приспособление, а в шпиндель – обратный зенкер, для которого подача должна быть направлена не как обычно от шпинделя к детали, а наоборот – от детали к шпинделю.

**Расточные станки** предназначены для обработки корпусных деталей в условиях единичного, серийного и массового производств. Это широкоуниверсальные станки, позволяющие в ряде случаев производить полную обработку детали без перестановки ее на другие станки, что особенно важно для тяжелого машиностроения. На этих станках 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.

Современный горизонтальный расточной станок основан на конструкции, изобретенной Вилькинсоном в Англии в 1775 году. "Вилькинсон, – писал в 1776 году Уатт в письме Смитону, – настолько усовершенствовал способ расточки цилиндров, что я обещаю тебе соблести в цилиндре длиной 72 дюйма (1828,8 мм) точность до толщины тонкой шестипенсовой монетки в самом худшем случае". К 1830 году этот станок приобрел вполне нынешний вид.

Расточные станки делятся на универсальные и специальные. Универсальные, которые могут быть горизонтальными и вертикальными, в свою очередь делятся на:

- а) горизонтально-расточные станки для обычных работ;
- б) координатно-расточные станки для фиксации особо точных межцентровых расстояний в пределах 1–5мкм;
- в) алмазно-расточные (отделочно-расточные) станки для растачивания точных отверстий с отклонением от цилиндрической формы в пределах 3–5мкм.

**Назначение и классификация.** Диаметр выдвинутого шпинделя, определяющий основной размер станка, лежит в пределах:  $D = 80 \dots 320$  мм. Точность

(рис. 129, а) или столом 2 (рис. 129, б и в). Компоновки позволяют обрабатывать заготовки при постоянном вылете шпинделя. Станок с крестообразным столом (рис. 129, в) характеризуется повышенной деформацией салазок 2 при перемещении стола 3 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 по рис. 129, а и б, в которых исполнительные движения распределены между столом 2 и стойкой 3.

На рис. 129, г показана компоновка, в которой предусмотрено дополнительное осевое перемещение (W) инструмента вместе со стойкой 2 на салазках 3. 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 4, так и на поворотном столе 5.

На рис. 129, д приведена компоновка с использованием выдвигного на ход до 2000 мм ползуна 2, в котором дополнительно может перемещаться шпиндель 1 на такую же величину. Станки позволяют обрабатывать детали при вылете до 4000 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 порталной стойки (с диаметром шпинделя до 160 мм). Съемные столы-спутники размером до 3000х4000 мм наиболее часто применяются в компоновках рис. 129, а и б. Число спутников обычно не превышает двух.

**Движения в горизонтально-расточном станке.** Привод главного движения (вращения шпинделя VI) осуществляется от асинхронного электродвигателя M1 (рис. 130). Коробка скоростей обеспечивает 21 частоту вращения выдвигного шпинделя и 12 частот вращения планшайбы. Перемещение задней стойки (работа с борштангой) осуществляется двигателем M4, а перемещение пульта управления – двигателем M6. Нарезание резьб можно производить, связав вращение выдвигного шпинделя с его осевым перемещением. Для этого служит гитара  $a/b \cdot c/d$  (устанавливается на торце хвостовой части), передаточное отношение которой выбирается в зависимости от требуемого шага резьбы.

Планшайба, установленная на полом шпинделе, имеет ползушку с закрепленным на ней резцом. Ползушка от специального планетарного привода перемещается вместе с резцом в радиальном направлении по планшайбе и может при этом растачивать канавки, подрезать торцы вокруг отверстий в корпусах для качественной установки крышек.

**Работы, выполняемые на станке.** Рекомендуется данный горизонтально-расточной станок для работ, допускающих проход шпинделя через растачиваемое отверстие, и для работ, выполняемых с помощью радиального суппорта (планшайбы). На этом станке можно растачивать отверстия большого диаметра, точить канавки, нарезать резьбу. Широкий диапазон скоростей (у шпинделя от 12,5 до 2000 мин<sup>-1</sup>, у планшайбы от 8 до 200 мин<sup>-1</sup>) позволяет обрабатывать черные и цветные металлы.

Привод подач рабочих, медленных и установочных перемещений подвижных органов станка от двигателя постоянного тока с диапазоном регулирования  $R = 1600$ .

Станок снабжен навесными оптическими устройствами для отсчета координат бабки, стола в поперечном направлении, люнета задней стойки и углов поворота стола через  $90^\circ$ . Целые миллиметры отсчитываются указателем с риской по линейке. Десятые и сотые доли миллиметра отсчитываются по круговой шкале микроскопа.

**Координатно-расточные станки** используются в основном при обработке деталей, к поверхностям которых предъявляются высокие требования по точности. Они предназначены для обработки отверстий в кондукторах, приспособлениях и деталях, для которых требуется высокая точность взаимного расположения отверстий. Их устанавливают в термоконстантных помещениях. Станок используется в единичном и мелкосерийном производствах.

**Назначение.** 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 секунд), 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.

Среднее значение погрешностей на станках составляет:

- отклонение от круглости обрабатываемого отверстия  $2 \dots 3$  мкм;
- непостоянство диаметра в продольном сечении (надлине 50 мм)  $2 \dots 5$  мкм;
- погрешность межосевых расстояний отверстий  $4 \dots 5$  мкм;
- точность линейных координатных перемещений  $2 \dots 3$  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 облегчения работы.

**Компоновка координатно-расточных станков.** Станки подразделяются на двухстоечные с вертикальной осью шпинделя (рис. 131, а) и одностоечные с вертикальной (рис. 131, б) и горизонтальной (рис. 131, в) осью шпинделя (в отечественном станкостроении горизонтальные компоновки не используются). Шпинделю сообщается вращательное движение и подача. В двухстоечных станках стол имеет только продольный ход, а поперечная подача осуществляется перемещением шпиндельной бабки. Двухстоечные станки могут изготавливаться с одной или двумя шпиндельными бабками. Преимущество

передающий вращение через клиноременную передачу на шпиндель; механизм автоматической подачи шпинделя; устройство отсчета перемещения гильзы шпинделя; механизмы зажима шпиндельной головки на стойке станка после ее перемещения по V-образным направляющим.

В станке есть автоматическая и ручная подача шпинделя. Для уравновешивания шпинделя и возврата его в верхнее положение в барабане установлена 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 подачу, устанавливается в опорах скольжения.

Стол станка 4 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 и 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 поверхностей, 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, крупносерийного производства в автомобильной и авиационной промышленности (расточка вкладышей, втулок, гнезд под подшипники и некоторых деталей гидроаппаратуры), а иногда и мелкосерийного производства (рис. 133).

У этих станков главное движение – вращение шпинделя, движение подачи – осевое перемещение шпинделя (у вертикальных) и перемещение стола

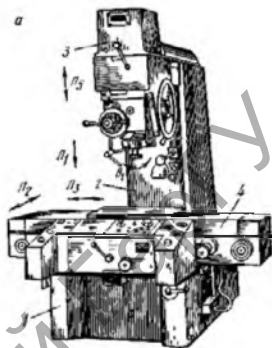


Рисунок 132 – Основные узлы координатно-расточного одностоечного станка:

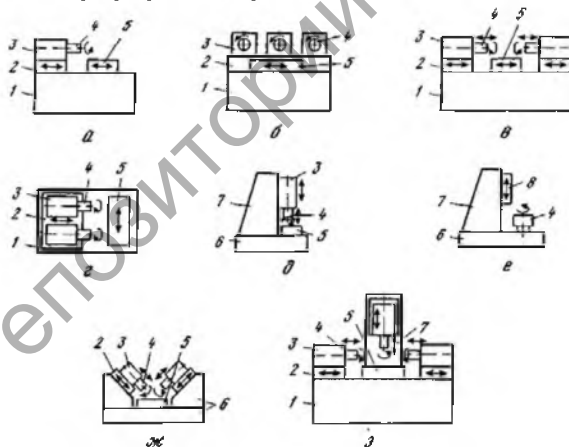
1 – станина, 2 – стойка, 3 – шпиндельная бабка, 4 – стол

К алмазно-расточным станкам предъявляют высокие требования, главными из которых являются: высокая частота вращения шпинделя – до  $6000 \dots 12000 \text{ мин}^{-1}$ ; устойчивые малые подачи – менее  $0,04 \text{ мм/об}$ ; бесступенчатое регулирование подачи, достаточно высокая скорость ускоренных ходов  $4 \dots 7 \text{ м/мин}$ , повышенные требования к отсутствию вибраций.

**Компоновки алмазно-расточных станков.** По расположению оси шпинделя 4 в пространстве рассматриваемые станки подразделяются (рис. 134) на горизонтальные (а, б, в, г), вертикальные (д, е), наклонные (ж) и комбинированные (з); по числу шпинделей – на одношпиндельные и многшпиндельные, по расположению шпинделей относительно детали – односторонние и двусторонние. Достоинство вертикальных расточных станков в том, что изгиб шпинделя не влияет на точность обработки.

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,



1 – станина, 2 – мостик, 3 – шпиндельная головка, 4 – шпиндель, 5 – стол, 6 – основание, 7 – колонна, 8 – суппорт

Рисунок 134 – Компоновки алмазно-расточных станков

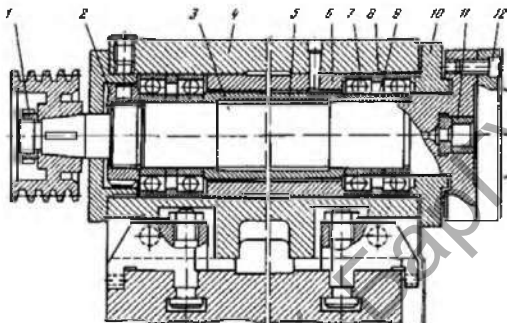


Рисунок 136 – Расточная головка горизонтального алмазно-расточного станка предназначен для двухстороннего окончательного растачивания соосных отверстий, а также для подрезки торцов в корпусных деталях.

Главное движение задается одним из регулируемых электродвигателей постоянного тока М1 через ременные передачи 90/250. Движение подачи обеспечивают регулируемым электродвигателем постоянного тока М3 через ременную передачу 63/200, зубчатую передачу 28/40, червячную пару 2/28 и через пару червяк-косозубая рейка, которая прикреплена к столу.

Применение в станке данного типа, но другой модификации (мод. 2712С) гидростатических опор шпинделя позволяет снизить отклонение от круглости растачиваемого отверстия до 0,0006...0,001 мм.

На рис. 136 показана конструкция шпиндельной головки, применяемой в станке. Изготовленный из стали 40Х, термообработанный и шлифованный шпиндель 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.

**Схема обработки.** Подробнее работу рассмотрим на примере алмазно-расточного горизонтального полуавтомата с подвижным столом модели ОС-4750, применяемого в массовом производстве в автомобилестроительной промышленности. По принципу действия он идентичен станку мод. 2712А, но класс

Имеется несколько модификаций вертикально-сверлильных станков с ЧПУ, близких по своим характеристикам. Так, у станка мод. 2Н118Ф2 (рис. 137) преклоenchение подачи и ступеней частоты вращения шпинделя производится вручную. Станок мод. 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 винтами качения. Станок мод. 2Р118Ф2 (рис. 138) работает в автоматическом режиме, оснащен крестовым столом, шестипозиционной револьверной головкой, которые расширяют технологические возможности станка и позволяют успешно эксплуатировать в единичном, мелкосерийном и серийном производствах деталей.

**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.

**Устройство и кинематическая схема вертикально-сверлильного станка мод. 2Р135Ф2.** Шестипозиционная револьверная головка, в пяти позициях которой устанавливают инструмент для обработки отверстий (сверла, развертки и др.), а в одной – фрезы (рис. 139), переключается по управляющей программе.

Позиционное устройство ЧПУ станка мод. 2Р135Ф2-1 обеспечивает одновременное или раздельное перемещение стола по координатам X и Y, перемещение суппорта с револьверной головкой по координате Z дает возможность управлять поворотом револьверной головки, по программе выбирает величину рабочей подачи и частоту вращения шпинделя. Устройство

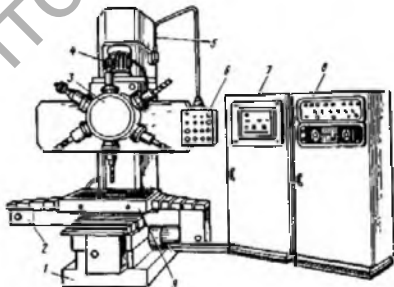


Рисунок 139 – Вертикально-сверлильный станок мод. 2Р135Ф2-1

имеет цифровую индикацию корректора длины инструмента. Система прямоугольная, замкнутая. В качестве датчиков обратной связи (измерительных преобразователей) используются вращающиеся трансформаторы БС-155А.

делей револьверной головки); привода подач крестового стола; привода салазок; привода суппорта с револьверной головкой; поворота револьверной головки; привода выпрессовки инструмента из шпинделей.

Цепь главного движения: двухскоростной асинхронный электродвигатель М1 ( $N = 4/4,5$  кВт;  $n = 1470/990$  мин<sup>-1</sup>) – зубчатая передача 29/41 – вал I – вал II (через передачи 24/48 и 36/36 при включенных муфтах  $M_1$  и  $M_2$  или через передачу 14/56 при включенной муфте  $M_3$ ) – вал III (через передачи 14/56 и 48/24 при включенных муфтах  $M_4$  и  $M_5$ ) – вал V через коническую зубчатую передачу 21/21 – на один из шпинделей револьверной головки через передачи 35/42; 31/49; 49/47; 47/35.

Цепь привода подач крестового стола имеет два редуктора, один из которых осуществляет движение стола по салазкам (ось X), а второй – движение салазок по станине (ось Y).

Кинематическая цепь привода салазок обеспечивает их быстрое, среднее и медленное перемещения. Быстрое перемещение (со скоростью 7000 мм/мин): электродвигатель М4 ( $N = 0,6$  кВт;  $n = 1380$  мин<sup>-1</sup>) – передачи 16/40; 34/22; 22/52; 52/34 – шариковый винт-гайка.

Перемещение со средней скоростью (200 мм/мин): электродвигатель М4 – передачи 16/64; 25/55; 25/55; 38/42; 22/52; 52/34 – шариковый винт-гайка. Медленное перемещение (со скоростью 50 мм/мин): электродвигатель М4 – передачи 16/64; 25/55; 25/55; 16/64; 22/52; 52/34 – шариковый винт-гайка. На шариковом ходовом винте смонтирован датчик обратной связи.

Перемещение стола по салазкам происходит от электродвигателя М5 ( $N = 0,6$  кВт;  $n = 1380$  мин<sup>-1</sup>), кинематическая цепь привода этого перемещения аналогична кинематической цепи привода перемещения салазок.

Цепь привода суппорта с револьверной головкой: электродвигатель М2 постоянного тока ( $N = 1,3$  кВт;  $n = 50 \dots 2600$  мин<sup>-1</sup>) – передача 13/86 (или передача 37/37 – червячная передача 4/25 – ходовой винт, оснащенный тормозной муфтой (предотвращающей произвольное опускание суппорта при отключении электродвигателя), и датчиком обратной связи ДЗ).

Цепь привода поворота револьверной головки: электродвигатель М3 ( $N = 0,7/0,9$  кВт;  $n = 1400 \dots 2700$  мин<sup>-1</sup>) передача 23/57 – червячная передача 1/28 – передача 16/58 – корпус револьверной головки.

Выпрессовка инструментов из шпинделей электродвигатель М3 – передача 18/52 (при включенной муфте) – червячная передача 1/28 – передача 21/21 – эксцентрик, смонтированный в пазу оси поворота револьверной головки и выпрессовывающий инструмент.

**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:

1) большинство переходов осуществляют за один проход (многопроходные технологические переходы характерны для обработки глубоких отверстий с периодическими выводами сверла и обработки отверстий в разных стенках);

Последовательность переходов при обработке отверстий выбирают с учетом ряда факторов: конфигурации отверстий; допустимых отклонений формы и относительного положения осей отверстий; числа групп 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 УЧПУ и достаточно указать в кадре УП требуемую функцию и числовое значение формальных параметров, нужных для выполнения конкретной операции. Для большинства постоянных циклов этих параметров два: R и Z. Первый определяет координату начала рабочей подачи, а второй – ее конец.

**Особенности конструкций расточных станков с ЧПУ.** 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.

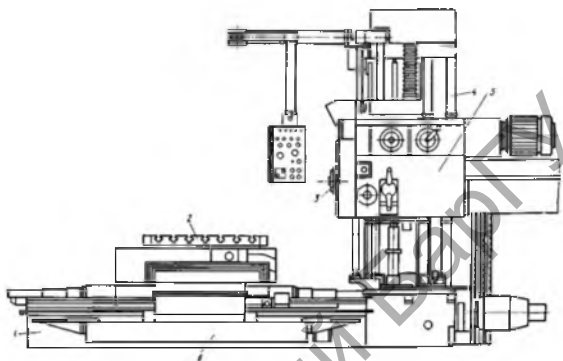


Рисунок 142 – Горизонтально-расточный станок мод. 2А622Ф4

### 3.6 СТАНКИ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ГРУППЫ

**Общие сведения о шлифовальных станках.** Шлифовальные станки – оборудование, использующее в качестве режущего инструмента абразивный или алмазный круг. Применение этих станков определяется высокими требованиями к качеству поверхности, точности размеров, форме и положению обрабатываемых поверхностей и возможностью обработки труднообрабатываемых материалов. На шлифовальные станки, как правило, поступают заготовки, предварительно обработанные на других станках с оставлением небольшого припуска под шлифование, величина которого зависит от требований к шероховатости и точности обработки.

Вид и конструкция шлифовального станка определяется схемой шлифования, учитывающей форму обрабатываемой поверхности и ее расположение относительно рабочей поверхности шлифовального круга (станки для шлифования периферией или торцом круга) при обработке. Также учитывается направление движения подачи (продольно-шлифовальные и врезные шлифовальные станки), положение главного шпинделя (станки с горизонтальным или вертикальным шпинделями) и способ установки заготовки (центровые, патронные и бесцентровые станки).

Кроме этого шлифовальные станки можно классифицировать *по уровню специализации* на:

1) простые – для шлифования цилиндрических деталей и конических с малой конусностью;

2) универсальные – для шлифования цилиндрических, конических с большой конусностью и других поверхностей тел вращения в центрах и в патроне, а также для внутреннего шлифования и обработки торцов. Универсальность достигается установкой поворотной шлифовальной и передней бабок, приспособления для внутреннего шлифования и подшлифовки торцев;

3) специализированные – для шлифования разнообразных изделий: хонинговальные, полировальные, притирочные, суперфинишные, профилишлифовальные, зубошлифовальные, резьбошлифовальные.

**Станки для круглого наружного шлифования** предназначены для обдирочного и чистового шлифования гладких и прерывистых цилиндрических и торцевых поверхностей тел вращения. В станках используются шлифовальные и алмазные круги.

По способу базирования обрабатываемой детали данные станки делятся на следующие группы: центровые (деталь базируется в центрах – рис. 143, а, б), патронные (деталь базируется в патроне) и бесцентровые (деталь базируется по одной или нескольким обрабатываемым поверхностям). При бесцентровом шлифовании применяются схемы базирования на ведущем круге с опорным ножом (рис. 143, в) и на неподвижных опорах (башмаках) с ведущей торцовой опорой (рис. 143, г).

**Схема работы станка с продольной подачей.** При круглом наружном шлифовании заготовку устанавливают в центрах или закрепляют в патроне. Различают шлифование с продольной подачей и врезное. Если подача продольная, то обязательны следующие движения (рис. 143, а, в, г): вращение шлифовального круга – главное движение резания  $D_1$ . Вращение заготовки вокруг своей оси – движение круговой подачи  $D_2$ . Прямолинейное возвратно-поступательное движение  $D_3$  (заготовки или шлифовального круга). Движение поперечной подачи  $D_4$  (шлифовального круга на заготовку или заготовки на шлифовальный круг) – поперечная подача или подача на глубину резания.

При шлифовании с продольной подачей поперечная подача осуществляется периодически в конце каждого двойного или одинарного хода стола.

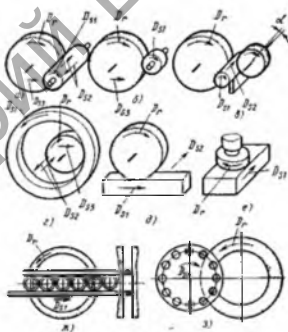


Рисунок 143 – Основные виды шлифования

правки шлифовального круга, не показанное на рисунке. В некоторых станках шлифовальная бабка может разворачиваться относительно вертикальной оси.

На столе размещаются передняя бабка детали 1 и задняя бабка 5. В некоторых моделях станка передняя бабка может поворачиваться на столе относительно вертикальной оси, чем достигается обработка коротких конусов на деталях, закрепленных в патроне. Переставная задняя бабка имеет неподвижный центр, который поджимается к детали силой пружины. На лицевой стороне станины расположена панель управления работой станка.

Станок предназначен для шлифования наружных цилиндрических и торцовых поверхностей, а также пологих конусов на деталях типа валов и может работать с прибором активного контроля. На станке можно вести как продольное, так и врезное шлифование.

Техническая характеристика:

- наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм.....200;
- наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм.....700;
- наибольший диаметр шлифовального круга, мм.....600.

**Шлифовальная бабка круглошлифовального станка мод. 3М151П**, являющегося типовым в данной группе станков, представляет собой корпус жесткой конструкции, в котором смонтирован шпиндель шлифовального круга. Корпус шлифовальной бабки перемещается, обеспечивая подачу шлифовального круга по комбинированному направляющим (плоская и призматическая), выполненным в подобных станках чаще в виде направляющих качения или гидростатических, чем скольжения. Ручная подача шлифовальной бабки производится маховиком 4 (рис. 144 справа сверху), быстрый подвод-отвод – гидроцилиндром. У станка мод. 3М151П шлифовальная бабка (рис. 145) перемещается по роликовому направляющим 1. Опоры шпинделя 2 – гидродинамические. Вкладыши 3, поворачиваясь на сферических концах винтов 4, образуют масляный клин, обладающий высокой жесткостью. Винты 4 стопорятся гайками 5. Осевой опорой шпинделя служит подпятник скольжения, образованный комплектом сферических шайб 6, охватывающих бурт шпинделя. Зазор в подпятнике регулируют гайкой 7. Уплотнение представляет собой неподвижное кольцо 8, охватывающее шпиндель и прижатое пружинами 9 к фланцу (например, 10). Вращение кругу сообщается с помощью клиноременной передачи от асинхронного электродвигателя.

Круг оборудован устройством балансировки. Кроме того, на шлифовальной бабке установлено устройство для правки шлифовального круга.

**Схема гидравлического привода стола.** Круглошлифовальные станки с базированием детали в патроне или в центрах имеют столы различной конструкции. У круглошлифовального центрового станка на продольных направляющих станины установлен нижний стол 1 (рис. 146), который несет на себе поворотный верхний стол 3. При шлифовании конусов верхний стол может быть повернут на требуемый угол с помощью винта 2 вокруг шарикоподшипника 13. Верхний стол закрепляется в нужном положении прижимами 9 и 16. Левый прижим снабжен шкалой и индикаторным устройством 8 для отсчета угла поворота верхнего стола и конусности детали. Ручное перемещение ниж-

него стола по направляющим станины производится вращением маховика специального механизма, шестерня которого находится в зацеплении с рейкой 6, закрепленной на нижнем столе.

Для гидравлического перемещения стола предусмотрен цилиндр 12, крышки 11 и 14 которого закреплены на станине станка. Концы 10 и 15 двухстороннего штока поршня этого цилиндра связаны с нижним столом кронштейнами 7 и 17. В Т-образном пазу нижнего стола, обращенном к рабочему, закреплены упоры, положение которых определяет длину хода стола при автоматическом реверсе. На передней стенке станины закреплен откидывающийся индикаторный упор 5, на который действует закрепленный в Т-образном пазу упор 4, что позволяет отсчитывать тонкие продольные перемещения нижнего стола.

Приведенная на рис. 146 конструкция стола применяется в основном на станках универсального назначения для шлифования напроход и осевого фиксирования при врезном шлифовании.

**Кинематическая схема станка мод 3М15П.** Привод шлифовального круга состоит из асинхронного электродвигателя М1 (рис. 147) и клиноременной передачи  $\varnothing 165/\varnothing 157,5$ . Привод движения крутовой подачи изделия состоит из двигателя М2 постоянного тока и двух клиноременных передач:  $\varnothing 79/\varnothing 100$  и  $\varnothing 50/\varnothing 166$ . Ремни второй передачи натягивают путем удаления оси вала II от оси III за счет эксцентричного расположения первой оси во втулке с червячным венцом 38. Особенность круглошлифовальных станков – неподвижность шпинделя передней бабки с передним центром. Вращение заготовки передается через планшайбу и поводок ПВ. Это повышает точность обработки (исключается биение шпинделя).

Привод продольной подачи может быть гидравлическим – от цилиндра Ц1 и ручным – от маховика Р<sub>1</sub>. Гидропривод и ручной привод заблокированы, т.е. не могут действовать одновременно: при включении гидропривода давление в цилиндре Ц2 выключает муфту М<sub>3</sub> и разрывает связь реечного колеса 12 с механизмом ручного привода. Осевым перемещением на себя маховика Р<sub>1</sub> вместе с валом IV рабочий может изменить скорость ручного перемещения (за один оборот маховика) более чем в 6 раз (включается передача 16/85).

Реверс стола производится переключением золотника от упоров стола или через специальную рукоятку с пальцем реверса.

Привод поперечного перемещения имеет четыре источника движения. Гидродвигатель ГД2 является источником быстрого установочного перемещения. От него через зубчатую передачу 35/35 крутящий момент передается блоку цилиндрического и конического колес на валу VII (муфта М<sub>2</sub> выключена) и далее на вертикальный вал VIII, через червячную передачу 2/40 гайке шариковой винтовой пары с шагом Р = 10 мм. Ходовой винт не может вращаться. С помощью гидроцилиндра Ц4 он удерживается в осевом направлении. Ходовая гайка вращается и вместе со шлифовальной бабкой перемещается поступательно. Цилиндр Ц4 служит для быстрого отвода и подвода бабки. Ручное перемещение от маховика Р<sub>2</sub> передается на блок колес 35–39 через муфту М<sub>2</sub> и далее по цепи. Гидродвигатель ГД1 связан с маховиком (а через него с ходовой гайкой) муфтой М<sub>1</sub>, червячной передачей 1/50 и фрикцион-



тающий в автоматическом режиме бесцентровошлифовальный станок выглядит весьма изящно.

**Компоновка бесцентровошлифовального станка мод. 3М184.** Наиболее существенным компоновочным отличием станков с бесцентровым базированием детали является способ установки опорного ножа – на станине или на салазках ведущей бабки. В последнем случае нож может перемещаться относительно оси ведущего крута и вместе с ним, а бабка шлифовального круга выполняется неподвижной относительно станины. Станки с неподвижным ножом обеспечивают сохранение постоянства оси детали независимо от износа кругов, что облегчает настройку станков в автоматические линии. В этом случае не надо подналадки транспортных устройств по мере износа кругов, но конструкция станков усложняется, так как вводятся механизмы, обеспечивающие перемещение обеих бабок, понижается жесткость шлифовальной бабки и всей системы.

Компоновка представлена на рисунке 149. На станине 1 неподвижно установлена бабка 2, несущая шпиндель со шлифовальным кругом 11. Справа в продольных направляющих станины размещена плита 8, на которой установлена бабка 6 с поворотной головкой 9 и ведущим кругом 10. На станине закреплена направляющая призма (нож) 4, являющаяся опорой для детали. Установка бабки 6 ведущего круга на размер обрабатываемой детали и компенсация износа круга производятся перемещением бабки по направляющим станины вместе с плитой 8 с помощью маховичка 7 и винтовой передачи. Механизмы привода смонтированы внутри станины. Вращение кругам сообщают электродвигатели, расположенные снизу на станине. Для периодической правки шлифуемого и ведущего кругов алмазными карандашами служат специальные устройства 3 и 5.

**Схема круглого внутреннего шлифования с продольной подачей.** Крупное внутреннее шлифование с продольной подачей показано на рис. 143, г и на рис. 150, а, в, г, д, е, ж.

Для этого способа шлифования нужны те же движения, что и при круглом наружном шлифовании с продольной подачей: вращение шлифовального круга  $D_1$ , продольная подача  $D_{z2}$  заготовки или круга, поперечная подача  $D_{z3}$  шлифовального круга. Возможны также внутреннее врезное и внутреннее бесцентровое шлифование. Основная техническая трудность внутреннего шлифования – малый диаметр обрабатываемого отверстия и, как результат, малый диаметр шлифовального круга и низкие скорости резания.

**Станки для круглого внутреннего шлифования** предназначены для шлифования отверстий методами продольной и поперечной подачи. Наибольшее распространение получили патронные станки, у которых главным движением является вращение шлифовального круга, а заготовка закрепляется в трехкулачковом самоцентрирующем патроне (рис. 150, а – г). Круговая подача обеспечивается вращением заготовки, а продольная и поперечная подачи – перемещением шлифовального шпинделя или бабки изделия.

**Схема планетарного шлифования,** применяемого для обработки заготовок, которым невозможно сообщить движение круговой подачи  $D_{\omega 1}$ , реализована

приспособления, закрепляемого на шпинделе бабки изделия.

**Бесцентровое внутреннее шлифование.** На станках для внутреннего бесцентрового шлифования (рис. 152) деталь 3, находясь в контакте с ведущим кругом 5, обрабатывается шлифующим кругом 4. Такие станки пригодны только для обработки деталей, у которых уже точно обработана наружная поверхность.

Наибольшее применение бесцентровошлифовальные станки для внутреннего шлифования находят в подшипниковой промышленности для обработки колец подшипников.

**Компоновка станка мод. 3К227В** гаммы 3К Саратовского станкостроительного завода имеет традиционную схему. На рисунке 153 представлен общий вид станка мод. 3К227В. На верхней плоскости станины 8 установлен мост 1 с бабкой изделия 2. На ее корпусе установлено торцешлифовальное устройство 3. Стол 7 с шлифовальной бабкой 4 перемещается возвратно-поступательно от гидроцилиндра по направляющим качения вдоль станины. Слева от станка расположен бак 9 для СОЖ с электронасосом и магнитным сепаратором, сзади – насосная станция, электрошкаф 6 с аппаратурой и пульт управления 5.

**Кинематическая схема** станка модели 3К227В (см. рис. 154) обеспечивает следующие параметры работы станка:

- диаметр шлифуемого отверстия 20–100 мм;
- наибольшая длина шлифования – 125 мм;
- скорость шлифования 20–35 м/с;
- частота вращения шлифовального круга 9 000–24 000 мин<sup>-1</sup>;
- мощность привода шлифовального круга 4,0 кВт;
- частота вращения изделия 140–1000 мин<sup>-1</sup>.

Привод шлифовального круга – через плоскоремennую передачу (плоскоремennая передача может обеспечить скорость до 100 м/с) от асинхронного электродвигателя М3. Для привода шлифовального круга 3 торцешлифовальное устройство использован асинхронный электродвигатель М2. Хобот с торцешлифовальным шпинделем поворачивается гидроцилиндром 1. Продоль-

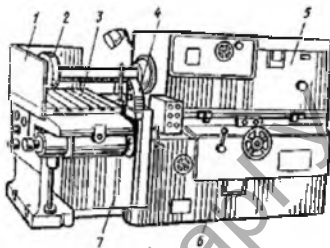


Рисунок 151 – Общий вид планетарного внутришлифовального станка мод. MB6020

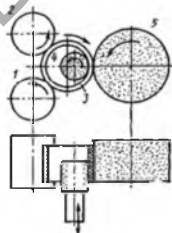


Рисунок 152 – Схема внутреннего бесцентрового шлифования

расположенному на станине. При повороте рукоятки эксцентрика 7 включается продольная подача стола и шлифовального круга. Поперечная подача бабки шлифовального круга может выполняться вручную и автоматически. Ручное перемещение бабки – с помощью маховичка 13. Ручную рабочую поперечную подачу можно сообщать дозированно с помощью собачки и храповика. Автоматическая поперечная подача бабки шлифовального круга на двойной ход стола включается краном гидросистемы.

Шлифовальный круг 27 правят алмазом, установленным в правильном устройстве 6. Шлифовальный круг 3 торцешлифовального устройства правят вручную при качательном движении державки с алмазом.

**Плоскошлифовальные станки** предназначены для чистовой обработки плоских и фасонных поверхностей на деталях разных размеров. По принципу работы плоскошлифовальные станки делятся на две основные группы: для шлифования периферией круга и для шлифования торцом круга. Периферией круга работают станки с прямолинейным возвратно-поступательным движением стола, с вращающимся столом.

Торцом круга работают станки с прямолинейным возвратно-поступательным движением стола одноколонные, двухколонные, с горизонтальным шпинделем, с вращающимся столом и с двумя кругами и вращающимся столом.

В массовом и крупносерийном производствах применяют автоматизированные станки, на которых обрабатываются детали без непосредственного участия рабочего

Для шлифования крупногабаритных деталей применяют станки портального типа, у которых шлифовальная бабка перемещается по поперечине портала.

Для шлифования длинных деталей целесообразно применять станок с прямолинейным движением стола, а для деталей кольцевой формы (колец, втулок, дисков, эксцентриков и т.п.), у которых обрабатываются торцы, а также при шлифовании небольших деталей прямолинейного профиля (плиток, планок и др.) – станок с круглым столом. Такой станок имеет меньшие размеры, его шпиндель загружается равномернее и нет реверсирования стола, что сокращает время обработки детали.

**Схема плоского шлифования периферией и торцом круга.** Виды плоского шлифования периферией круга представлены на рисунке 155, а шлифование торцом круга – на рисунке 156. Для плоского шлифования необходимы следующие движения (рис. 142): вращение шлифовального круга – главное движение резания  $D_r$ ; поступательное перемещение заготовки – движение подачи  $D_{z1}$ ; движение поперечной подачи  $D_{z2}$  (заготовки или шлифовального круга в направлении, перпендикулярном движению  $D_{z1}$ ); движение подачи на глубину шлифования (шлифовального круга на



а – врезанием, б – глубинным методом, в – с малой подфчей на глубину и большой поперечной подфчей, t – подача на глубину, s – продольная подача

Рисунок 155 – Способы шлифования периферией круга

Для съема большого припуска и обеспечения высокой точности обработки применяют станки с несколькими шлифовальными головками, расположенными на одной окружности концентричной оси вращения стола (рис. 156, б). При этом припуск снимается последовательно всеми кругами, под которыми проходит деталь, первый круг снимает наибольшую часть припуска ( $t_1$ ), каждый последующий снимает все меньше и меньше, последний круг служит для доводки.

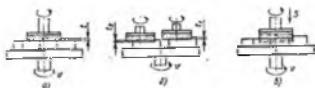


Рисунок 156 – Способы шлифования торцом круга

При многопроходном шлифовании (рис. 156, в) деталь, установленная на столе, перемещается в относительно большой скоростью  $v$  (до 40–50 м/мин), несколько раз проходит под шлифовальным кругом, постепенно подаваемым на глубину до тех пор, пока не будет снят весь припуск.

Двухстороннее шлифование (рис. 143, ж) является разновидностью торцового шлифования, при этом производительность повышается благодаря одновременному шлифованию двух торцов и не требуется предварительная обработка базовой поверхности детали.

При шлифовании торцом круга образуется большая дуга контакта и снимается значительная стружка, поэтому такой способ шлифования очень производительен. Однако при работе торцом круга из-за большого нагрева и деформаций возможны прижоги и трещины на поверхности обрабатываемой детали; кроме того, этот способ не обеспечивает высокой точности. Станки, работающие торцом круга, рекомендуется применять для обдирочного и черного шлифования.

**Компоновки плоскошлифовальных станков** очень разнообразны, как разнообразны и способы плоского шлифования и обрабатываемые детали. Плоскошлифовальные станки с горизонтальным шпинделем, работающим периферией круга, прямоугольным столом и крестовым суппортом применяются в инструментальном производстве.

Плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом общего назначения выпускают с горизонтальными и вертикальными шпинделями. По сравнению со станками с крестовым суппортом станки этой группы имеют повышенную жесткость, оснащены шлифовальными кругами больших размеров и электродвигателями большей мощности. На станках (рис. 157) на тумбе, расположенной в центре и отлитой за одно целое со станиной 1, крепится колонна 3, представляющая собой жесткую литую раму с проемом в средней части. По обе стороны проема расположены вертикальные направляющие 4, по которым перемещается каретка 2, имеющая горизонтальные направляющие для поперечного (ручного или гидравлического) перемещения шлифовальной бабки. Размещение каретки и шлифовальной бабки между направляющими повышает жесткость станка.

Плоскошлифовальные станки с круглым столом и горизонтальным шпинделем неавтоматизированные и полуавтоматы. Выпускают станки с наклонным

кости (СОЖ). По составу и свойствам СОЖ, используемые при шлифовании, делят на эмульсии и масла. Эмульсией называют жидкость, в которой во взвешенном состоянии находятся микроскопические частицы другой жидкости. Основной эмульсией для шлифования является вода с добавлением небольшого количества специальных присадок, обеспечивающих смазочный эффект.

Чем больше площадь поверхности контакта шлифовального круга с заготовкой и тверже материал обрабатываемой заготовки, тем большее количество СОЖ необходимо подавать в зону шлифования.

Эффективность воздействия СОЖ на процесс шлифования зависит не только от ее состава, но и от способа подвода. Схемы основных способов подачи СОЖ приведены на рисунке 159 (а–г).

Подачу СОЖ свободнопadaющей струей (поливом) применяют наиболее широко (рис. 159, а). СОЖ подают в зону шлифования центробежным насосом через сопло, имеющее щелевое или круглое отверстие. Угол наклона сопла влияет на результаты



1 – шлифовальный круг, 2 – кожух, 3 – заготовка, 4 – сопло, 5 – насадка

Рисунок 159 – Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании

шлифования. При угле наклона  $75^\circ$  к горизонтальной плоскости повышается сьем металла и снижается износ круга. Из-за пористости круга, шероховатости его поверхности и большой скорости кругом нагнетается поток воздуха, который затрудняет попадание СОЖ в зону шлифования. Для улучшения подвода СОЖ подают до контакта круга с заготовкой, что способствует попаданию жидкости в зону шлифования. Количество подводимой жидкости колеблется в пределах 8–10 л на 10 мм высоты круга в 1 мин.

Подача СОЖ струей под высоким давлением (рис. 159, б) позволяет удалить с поверхности круга свободные металлические частички, очистить поры и абразивные зерна круга от отходов шлифования. СОЖ подают под высоким давлением как в зону шлифования, так и вне ее.

Подача СОЖ в распыленном газами состоянии (охлаждение масляным туманом) под высоким давлением производится через сопло в зону резания в виде воздушно-жидкостной смеси (рис. 159, в). Струя смеси обладает большой кинетической энергией и поэтому способна разрушить воздушно-паровую оболочку быстро вращающегося круга. Поскольку подача СОЖ в виде воздушно-жидкостной смеси сопровождается обдувом круга сжатым воздухом, это способствует удалению стружки и продуктов износа инструмента из зоны резания.

Подача СОЖ через поры шлифовального круга (рис. 159, г) обладает тем преимуществом, что температура заготовки уменьшается не только в результате лучшего подвода жидкости, но и вследствие ее смазывающего свойства и меньшего трения круга о поверхность заготовки. Один из недостатков этого

подачи, осцилляции шлифовального круга. Применяют устройства с ЧПУ для правки круга, особенно со сложным профилем. Для управления процессами используются устройства ЧПУ типа CNC с дисплеями. Работа программируется и контролируется системой с обратной связью. Программа может корректироваться во время работы станка. Существуют контурно-шлифовальные станки с ЧПУ для обработки отверстий сложной формы с прямолинейной образующей. Станок имеет вертикальную компоновку с крестовым столом.

**Система координат.** Для шлифовальных станков характерно наличие одной одновременно управляемой оси координат. Общее же число управляемых координат, например, в плоскошлифовальных станках с горизонтальным шпинделем и обработкой периферией круга следующее:

- одна (вертикальная подача шлифовального круга, если механизм правки расположен на столе или колонне станка);
- две (вертикальная и поперечная подача шлифовального круга, если механизм правки расположен на столе или колонне станка);
- три (вертикальная и поперечная подача шлифовального круга и вертикальная подача правки, если механизм правки расположен на шлифовальной бабке).

Дополнительно осуществляется управление от УЧПУ следующими параметрами: частотой вращения шлифовального круга (для стабилизации скорости резания при износе круга); частотой вращения круглого стола, на котором закреплена деталь (для стабилизации скорости точки контакта круга с деталью и подачи на оборот круга), подачей стола (в станках для глубинного шлифования). В плоскошлифовальных станках с вертикальным шпинделем и обработкой торцом круга всегда применяется одна управляемая координата (вертикальная подача правки при контроле положения круга относительно правящего инструмента).

Чтобы удовлетворить требования по числу управляемых координат, УЧПУ шлифовальными станками изготавливают по модульному принципу, допускающему наращивание числа управляемых координат.

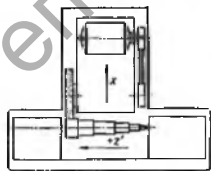


Рисунок 160 – Система координат круглошлифовального станка с ЧПУ

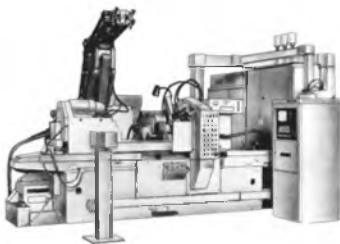


Рисунок 161 – Круглошлифовальный полуавтомат мод. 3K152BФ20

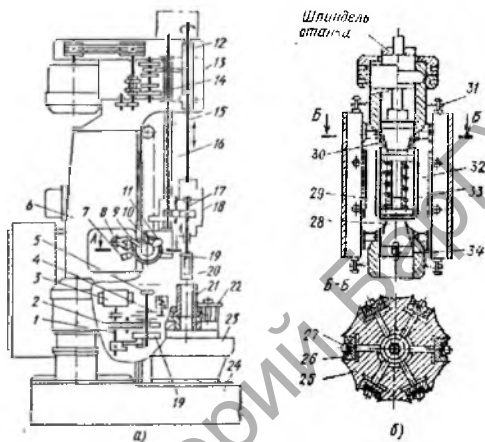


Рисунок 162 – Схема хонинговального станка и хонинговальной головки

мы рычагов 8 воздействуют на золотник гидропанели 3, благодаря чему происходит реверсирование движения шпиндельной бабки. Реверсирование осуществляется гидроцилиндром 12. Изменение положения и величины хода бабки производится перемещением кулачков 9 и 10 на лимбе 19. Предусмотренный на лимбе кулачок 11 при воздействии на конечный выключатель 7 останавливает шпиндельную бабку в верхнем положении. На стенке имеется возможность получения коротких ходов шпиндельной бабки при включении муфты 4. В этом случае реверсирование движения шпиндельной бабки получается независимо от кулачков 9 и 10 посредством зубчатой передачи 2 и валика 1, соединенного с гидропанелью 3.

**Схема хонинговальной головки.** Принцип работы хонинговальной головки ясен из ее конструкции (рис. 162,б). В пазах корпуса 25 хонинговальной головки установлены колодки 26 с закрепленными абразивными брусками 27. В центральном отверстии корпуса находятся верхний и нижний конусы 30 и 28, соединенные стержнем 29. Конус 30 неподвижно посажен на стержень, а конус 28 находится на резьбовой части стержня. Наличие на конусе 28 шпильки 34, находящейся в пазу корпуса 25, предотвращает поворот конуса 28. При вращении стержня 29 конусы сближаются и посредством планок 32 раздвигают колодки с брусками 27. При обратном вращении стержня конусы расходятся, и колодки с брусками под воздействием пружин 31 сходятся к центру.

Бесцентровые станки предназначены для суперфиниширования деталей тел вращения диаметром от 3 до 125 мм. Обрабатываются цилиндрические, конические и бочкообразные поверхности. Различают станки для обработки напроход и врезанием. Кинематические и гидравлические схемы этих станков идентичны, узлы унифицированы. Схемы суперфиниширования на бесцентровом станке приведены на рис. 164, г

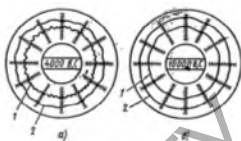


Рисунок 165 – Волнистость (1) и огранка (2) поверхности до (а) и после (б) суперфиниширования

Наложение при суперфинишировании ультразвуковых колебаний на абразивный брусок стабилизирует процесс, способствует очищению бруска от частиц металла.

Назначение, технологические возможности суперфиниширования – это отделочная обработка поверхностей деталей мелкозернистыми абразивными брусками, совершающими колебательные движения с амплитудой 2–5 мм с частотой от 500 до 2000 двойных ходов в минуту. Суперфиниширование существенно повышает эксплуатационные свойства деталей благодаря обеспечению малой шероховатости поверхности ( $Rz = 0,6-0,05$  мкм), удалению ее волнистости, значительно уменьшению огранки до 0,3–0,5 мкм (рис. 165). При суперфинишировании формируется однородный поверхностный слой без структурных изменений.

К преимуществам суперфиниширования относятся простота применяемого оборудования, высокая производительность, возможность работы по автоматическому циклу с механической загрузкой деталей и активным контролем их размеров, улучшение поверхностного слоя детали в отношении наследственных дефектов.

**Компоновка притирочного станка, работающего металлическими дисками** напоминает компоновку вертикально-сверлильного станка, но с высоким расположением стола с расположенным на нем притиром с деталями. Верхний притир подается с помощью маховика и прижимается к деталям с помощью сферической опоры, что позволяет ему самоустанавливаться относительно деталей без перекоса. Основное движение резания сообщается деталям с помощью планетарного механизма, смонтированного в столе. Это позволяет обеспечить хаотичность рисок, наносимых абразивом на обрабатываемой поверхности и равномерность ее обработки.

**Кинематическая схема притирочного станка мод. ЗБ814.** Диаметр притира 450 мм; наибольшие размеры деталей: круглых 115 мм, квадратных 80 мм, цилиндрических 50 мм; частота вращения: нижнего притира 41,5; 81 мин<sup>-1</sup>, привода сепаратора 9, 19, 17, 28, 37, 54 мин<sup>-1</sup>; сила прижима верхнего притира 0–1600 Н; точность обработки поверхностей 0,0005–0,001 мм; шероховатость доведенной поверхности 0,02–0,08 мкм; мощность плавного электродвигателя 1,1 кВт; масса станка 1100 кг

крути, пропитанные жидким стеклом и посыпанные абразивным порошком или смазанные пастой ГОИ, покрытые той же пастой ГОИ кожаные ленты или крути, наклеенные на металлическую основу, абразивная лента или листы шлифовальной бумаги.

**Назначение.** Полирование обеспечивает снижение шероховатости поверхностей на одну ступень по сравнению с тонким шлифованием. Средние значения шероховатости, получаемые при шлифовании  $Ra = 0,4 - 0,2$ , могут быть снижены до уровня  $Ra = 0,16 - 0,02$  мм, а в отдельных случаях  $Ra = 0,1 - 0,05$  мкм. Надо помнить, что полирование не исправляет овальность.

**Компоновочная схема универсального полировального станка.** На рисунке 167, а показан полировальный станок, станина 11 которого установлена на тумбе 13. В верхней части станины размещены полировальные бабки, а в нижней – фланцевые электродвигатели 14. В станине смонтированы вариаторы и пульт управления 5. В шпинделе 4 закреплен полировальный круг 3, который огражден кожухом 1 с подручником 2. На шпинделе 7 установлен контактный ролик 8 для абразивной ленты.

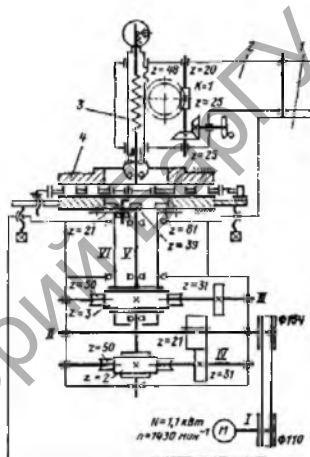


Рисунок 166 – Вертикально-доводочный станок 3Б814

Лента ограждена кожухом 9 с подручником 12. Вращение шпинделям 4 и 7 передается от двухскоростных электродвигателей 14 через клиноременные вариаторы, которые плавно изменяют частоту их вращения от 1000 до 4000 мин<sup>-1</sup>. Натяжение абразивной ленты регулируется механизмом 10. Механизм для измерения частоты вращения шпинделя состоит из тахометра 6 и двух валиков с резиновыми дисками, закрепленными на внутренних концах шпинделей.

**Основные схемы обработки шлифовальной лентой.** В зависимости от требований к шероховатости и форме получаемых поверхностей полирование лентами производят по нескольким принципиальным схемам:

а) обработка свободной лентой (рис. 168, а), когда деталь 1 прижимается к абразивной ленте 2, расположенной между ведущим диском 3 и натяжным роликом 4. Опорный элемент отсутствует. Применяется для полирования криволинейных поверхностей деталей и в том числе отверстий;

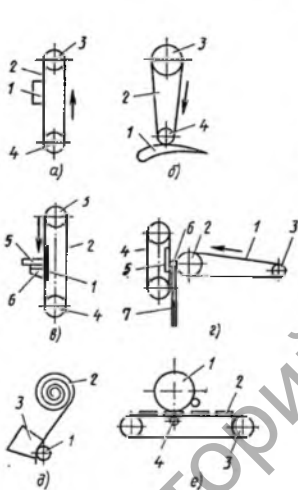


Рисунок 168 – Основные схемы обработки шлифовальной лентой

шлифование абразивными лентами на тканевой основе. На рис. 169 представлены схемы ленточного шлифования. На станке с возвратно-поступательным движением стола (рис. 169, а) на плите 1 закреплен обрабатываемый лист 4. Стол имеет гибкую конструкцию и в месте соприкосновения листа с абразивной лентой 3 поддерживается роликом 5. Бесконечная лента натягивается роликом 2 и снимает слой материала с обрабатываемого листа.

На ленточно-шлифовальном станке (рис. 169, б) обработка заготовок производится широкой абразивной лентой. Заготовки 1 устанавливаются на транспортере 4, который перемещает их под лентой 2, которая роликом 3 прижимается к заготовке.

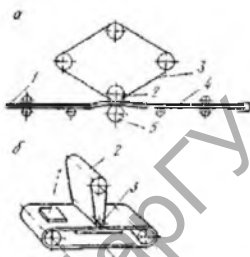


Рисунок 169 – Ленточное шлифование

В крупносерийном и массовом производстве полирование с помощью абразивных лент позволило механизировать и даже автоматизировать ряд операций. Специальные автоматы и полуавтоматы с абразивной лентой применяют для полирования турбинных лопаток, колец подшипников, кулачков и других деталей.

Широкое применение при чистовой обработке листового материала и футляров приборов имеет

**Профилирование зубьев зубчатых колес.** Применение зубчатых колес для передачи вращательного движения имеет самое широкое применение. Разные условия применения вызвали появление разных видов зубчатых зацеплений: цевочное, с крупным зубом (Новикова), но наибольшее распространение получило эвольвентное (рис. 170), у которого боковая поверхность зуба имеет профиль эвольвенты.

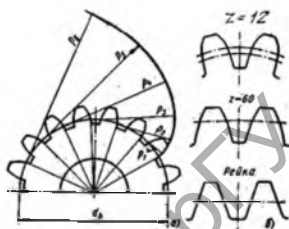


Рисунок 170 – Профили зубьев в зависимости от их числа

**Зуборезные инструменты.** Основной метод образования профиля зубчатых колес – нарезание с помощью лезвийного инструмента. Некоторые зубчатые колеса можно получать отливкой или штамповкой, а профиль зубчатых колес малого модуля – накатыванием. Известен и такой метод обработки крупномодульных зубчатых колес, как прецизионная газопламенная резка. Образование профиля зуба резанием производят или методом копирования, или обкатки.



Рисунок 171 – Пальцевая модульная фреза



Рисунок 172 – Дисковая модульная фреза

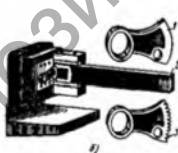


Рисунок 173 – Некоторые схемы протягивания зубчатых колес

При получении зубьев по методу копирования используется инструмент, имеющий форму впадин зубчатого колеса: зубострогальный резец, дисковая или концевая модульные фрезы (рис. 171, 172), протяжка (рис. 173), шлифовальный круг, прессформа; по методу обкатывания зубья можно получить с помощью долбяка, червячной модульной фрезы, шлифовального круга, строгальных и обкаточных резцов (рис. 174), накатных роликов.

**Технологические методы нарезания зубчатых колес.** Метод нарезания зубчатых колес *копированием* реализуется следующим образом. Инструментом при обработке зубьев по этому способу являются дисковые и концевые модульные фрезы и фасонные резцы, режущие кромки которых имеют очертания контура впадины нарезаемого зуба. Работа выполняется на универсальных консольно-фрезерных станках и при единичном производстве характеризуется низкой производительностью и низкой точностью обработки.

станки имеют две разновидности. У одних радиальное врезание долбяка на глубину, равную высоте зуба, в начале обработки производится перемещением суппорта, во втором – стола с заготовкой. Режущим инструментом может быть зуборезный долбяк или зуборезная рейка. По сравнению с зубофрезерными станками долбежные менее производительны, но только на них можно обрабатывать блоки колес, колеса с внутренним зацеплением и с буртиком (рис. 177). На этих станках можно обрабатывать зубчатые колеса диаметром до 2280 мм, длиной зуба до 170 мм с модулем от 0,1 до 12 мм. Современные зубодолбежные станки имеют жесткую конструкцию, гидростатические подшипники и направляющие, работают с частотой 2500 ходов в минуту, удобны в работе и для автоматизации, электронное устройство позволяет точно останавливать станок в конце цикла и исключать уменьшение толщины последнего зуба.

**Формообразование на зубодолбежном станке** эвольвентного профиля

зубьев обрабатываемых колес достигается методом обкатки двух цилиндрических колес. Профиль одного зубчатого колеса образуют кромки зубьев режущего инструмента – долбяка. Второе обрабатываемое колесо создается зубьями, нарезаемыми на заготовке. Долбяк целесообразно считать ведущим колесом. Исходя из этого, его окружную скорость (круговую подачу) выбирают, руководствуясь только режимами резания. Вращение заготовки называется делительным движением. Для правильной обкатки колес скорость делительного движения заготовки должна строго совпадать с выбранной скоростью круговой подачи долбяка. Еще, как сказано ранее, необходимо движение врезания долбяка на высоту зуба колеса, а при нарезании косозубых и шевронных колес необходим и поворот долбяка и заготовки на угол наклона зуба будущего зубчатого колеса.

**Основные узлы зубодолбежных станков.** Зубодолбежный полуавтомат 5122 по своей компоновке является типовым представителем среди аналогичных станков. Предназначен для нарезания долбяками цилиндрических зубчатых колес внешнего и внутреннего зацепления, в том числе валов-шестерен, зубчатых реек, зубчатых секторов и кулаков. Ось нарезаемого изделия располагается на полуавтомате вертикально. Установка межосевого расстояния, а также врезание на глубину зуба производится перемещением стола с изделием.

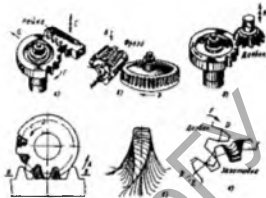


Рисунок 176 – Схемы зубонарезания колес методом огнания

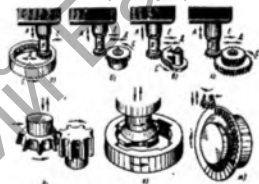


Рисунок 177 – Зубонарезание колес на зубодолбежном станке

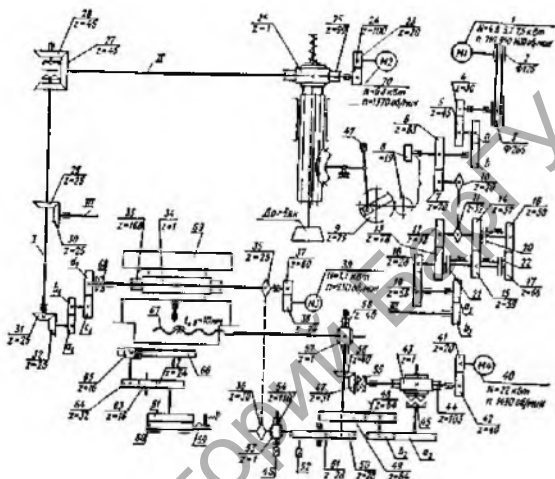


Рисунок 179 – Кинематическая схема станка мод. 5B150

Станок может работать как по однопроходному, так и по двухпроходному циклу. При надлежащем уходе и регулировке станок обеспечивает нарезание зубчатых колес не ниже 7-й степени точности.

Механизмы полуавтомата осуществляют следующие формообразующие движения: главное движение – возвратно-поступательное перемещение долбяка в вертикальной плоскости; движение обката (делительное движение) – вращение долбяка и стола с заготовкой; движение врезания радиальной подачи стола; вспомогательные движения – быстрое вращение заготовки, работа счетного механизма, управляющего автоматическим циклом обработки, механизм отвода долбяка при обратном ходе.

Главное движение осуществляется от трехскоростного электродвигателя 1 через клиноремennую передачу 2 – 3, зубчатую пару 4 – 5, сменные колеса гитары скоростей а – б и колеса 8 – 9. Колесо 9 является одновременно кривошипом, преобразующим вращательное движение в поступательное движение ползуна шпоселя, на котором крепится долбяк. Для отвода долбяка при холостом ходе в нижней части суппорта есть устройство с эксцентриковым валом.

Цель обката связывает вращение заготовки и инструмента. Эта связь осуществляется от стола 69 через червячную пару 33 – 34, гитару обката  $d_1 - c_1$ ,

Третьим – настройка круговой подачи, исчисляемой с миллиметров на окружность по диаметру начальной окружности долбяка за один двойной ход. Кинематическая цепь связывает вращение кривошипа с вращением долбяка.

В-четвертых, определяются сменные зубчатые колеса гитары деления, связывающие вращение долбяка и заготовки. Для продления срока службы долбяка после 130–180 минут работы производится реверсирование движения обката инструмента и заготовки, что позволяет включить в работу неизношенные режущие кромки инструмента – это пятая настраиваемая кинематическая цепь.

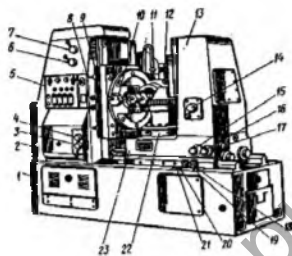
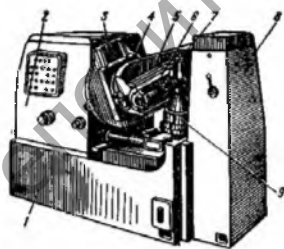


Рисунок 180 – Зубофрезерный станок мод. 5K32



1 – станина; 2 – стойка; 3 – поворотные направляющие; 4 – салазки суппорта; 5 – суппорт; 6 – оправка с червячной фрезой; 7 – верхний упор; 8 – задняя поддержка; 9 – оправка для заготовки

Рисунок 181 – Зубофрезерный станок RA-2QO

На зубодолбежном станке мод. 5B150 можно обрабатывать и косозубые колеса, для чего устанавливают копиры с винтовой направляющей, угол наклона которой равен углу наклона зубчатого колеса. В этом случае и долбяк должен быть косозубым.

**Силы при обработке деталей на зубодолбежном станке.** Нагрузка на инструмент во время нарезания долбяком одной межзубной впадины зубчатого колеса меняется от максимальной в начале до минимальной в глубине впадины. Скорость возвратно-поступательного движения долбяка изменяется по синусоиде, вызывая вибрации оборудования, что, как и переменные силы при обработке деталей, не способствует повышению производительности и улучшению условий работы станка.

**Зубофрезерные станки** наиболее распространены среди зубообрабатывающих станков, т.к. обладают широкой универсальностью при высокой точности обработки (рис. 180 и 181). Режущим инструментом являются дисковые модульные фрезы или червячные модульные фрезы, имеющие обычно форму архимедовых червяков. Придавая червячной фрезе соответствующий профиль, кроме зубьев цилиндрических и червячных колес, можно обрабатывать зубья звездочек цепных передач, храповые колеса, шлицевые валы и зубчатые

**Основные узлы зубофрезерных станков**, как и кинематическую схему, рассмотрим на примере зубофрезерного станка модели 5М324А, предназначенного для нарезания зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес и червячных колес в условиях серийного и крупносерийного производства.

Станок 5М324А (рис. 183) состоит из станины 1, на которой жестко закреплена стойка 8 и перемещается стол 17, с контрподдержкой 15. По направляющим стойки в вертикальном направлении перемещается каретка 11 с суппортом 13, несущим инструмент.

В станине 1 размещены коробка 2 со сменными зубчатыми колесами гитары главного движения. Главный электродвигатель, приводящий во вращение стол с нарезаемым зубчатым колесом 23, и инструментальный шпиндель с червячной фрезой 24 находятся с задней стороны станины. В станине размещен транспортер стружки, приводимый во вращение от отдельного электродвигателя. Резервуар для СОЖ находится в станине, откуда она насосом подается в зону обработки, а ее количество регулируется краном 12.

Стойка 8 служит для размещения коробки 3 с механизмами перемещения каретки 11, которую можно перемещать вручную за квадрат 5 или автоматически, поворачивая рукоятку 4 в положение включения автоматической подачи. Под крышкой 6 находятся сменные зубчатые колеса гитары деления и сменные зубчатые колеса гитары дифференциала. На передней стенке стойки укреплен пульт управления 7.

Каретка 11 снабжена передвигаемыми упорами 9 и 10, которые регулируют величину хода каретки. Упоры воздействуют на расположенные в стойке конечные выключатели, отключающие электродвигатель вертикального перемещения каретки.

В корпусе стола 17 находится шпиндель, на котором устанавливают нарезаемое зубчатое колесо 23. Сверху корпуса стола 17 жестко закреплена

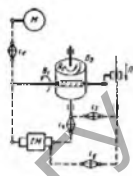
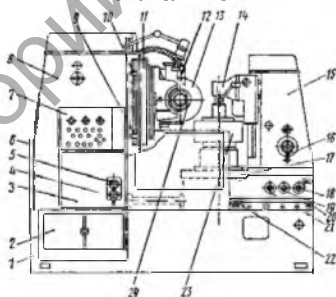


Рисунок 182 – Структурная кинематическая схема зубофрезерного станка



1 – станина, 2 – коробка скоростей, 3 – распределительная коробка, 4 – валик ручного перемещения каретки, 5 – рукоятка автоматического перемещения каретки, 6 – коробка деления, 7 – пульт управления, 8 – стойка, 9, 10 – упоры регулирования хода каретки, 11 – каретка, 12 – кран охлаждения, 13 – суппорт, 14 – крошштейн, 15 – контрподдержка, 16 – кран перемещения крошштейна, 17 – стол, 18 – рукоятка установки упоров, 19 – винт перемещения стола, 20, 22 – упоры подвода стола, 21 – рукоятка смазки стола, 23 – заготовка, 24 – червячная фреза

Рисунок 183 – Зубофрезерный станок 5М324А

*Цепь вертикальной подачи* – это червячная пара 63 – 62, колеса 61 – 60, 16 – 15, червячная передача 17 – 50, колеса 58 – 57, сменные колеса гитары подач  $a_3 - b_3$ , колеса 56 – 55, 33 – 28, червячная передача 25 – 18, винт вертикальной подачи с шагом  $t_1 = 10$  мм.

*Ускоренная вертикальная подача* идет по цепи от электродвигателя 73, потом цепная передача 21 – 59, колеса 54 – 53, 30 – 28, червячная передача 25 – 18, винт вертикальной подачи с шагом 10 мм.

*Цепь радиальной подачи* для нарезания червячных колес идет от стола через червячную пару 63 – 62, колеса 61 – 60, 16 – 15, червячные пары 17 – 50, 58 – 57, сменные колеса  $a_3 - b_3$ , колеса 56 – 55, 33 – 34, 31 – 32, червячную пару 35 – 36 на винт радиальной подачи X с шагом  $t_1 = 10$  мм.

В станке есть *дополнительная цепь*, связывающая вращение стола и вращение фрезы. Началом этой цепи является стол. Затем идут колеса 63 – 62, 61 – 60, 16 – 15, червячная пара 17 – 50, колеса 58 – 57, коробка подач со сменными шестернями  $a_3 - b_3$ , колеса 54 – 53, 30 – 28, коническая пара 27 – 26, гитара дифференциала  $a_2 - b_2, c_2 - d_2$ , колеса 19 – 20, червячная пара 11 – 12, дифференциальный механизм далее через колеса 7 – 6, 22 – 23, 42 – 43, 44 – 45 на шпиндель. Эта цепь включается при нарезании цилиндрических косозубых колес.

**Методика кинематической настройки станка.** Наладка зубофрезерного станка любого типа включает в себя ряд операций, которые рекомендуется выполнять в определенном порядке. Например, устанавливать суппорт на угол нужно сразу после установки фрезы, а фрезу следует ставить раньше заготовки.

На примере зубофрезерного станка 5М324А подробно рассмотрим, как нужно настраивать станок на нарезание стального прямозубого колеса модулем 6 мм, с числом зубьев 30, червячной фрезой диаметром 125 мм, методом попутного фрезерования, в полуавтоматическом режиме работы станка. Необходимо получить зубчатое колесо 7-й степени точности (по ГОСТ 1643-81).

Обычно при наладке зубофрезерного станка выдерживается следующая очередность выполнения работ:

- проверка исправности станка и готовности его к работе;
- настройка гитар главного движения, подач, деления и дифференциала;
- установка инструмента;
- установка угла наклона суппорта;
- установка заготовки;
- установка упоров глубины и длины фрезерования;
- установка переключателей на панели управления.

Настройка кинематических цепей станка производится в следующем порядке.

*Установка скорости резания.* Скорость резания выбирают, исходя из конкретных условий зубофрезерования, и указывают в технологической карте. По требуемой скорости резания наладчик подбирает сменные зубчатые колеса гитары главного движения. Коробка гитары главного движения на станке располагается с передней стороны станины. Сменные зубчатые колеса обеспечивают настройку девяти значений частоты вращения фрезы (50, 63, 80, 105, 125, 160, 200, 240, 315 мин<sup>-1</sup>), что в зависимости от ее диаметра соответствует скоростям резания 16 .. 190 м/мин.

*Установка переключателей на пульте управления станка завершает процесс наладки.*

**Силы резания при обработке деталей на зубофрезерном станке** (окружная сила) зависят от свойств обрабатываемого материала, она пропорциональна модулю, глубине резания, подаче на зуб, ширине фрезерования и числу зубьев фрезы, а уменьшается с ростом частоты вращения фрезы и ее диаметра. Для определения силы резания есть эмпирические формулы и таблицы.

**Зубошлифовальные станки** используются для получения более правильной формы зуба и снижения шероховатости его поверхности у закаленных цилиндрических и конических колес. Зубошлифование производят копированием и обкаткой и это позволяет получить, в отличие от фрезерных станков, дающих максимум 6-ю степень точности колеса по ГОСТ 1643-81, 3-ю, а при благоприятных условиях и 2-ю степень точности. Различные требования, предъявляемые к зубчатым колесам, определили использование в качестве инструмента шлифовальных кругов разных форм (червячные, конические, профильные, тарелчатые, дисковые), что в свою очередь привело к конструктивному разнообразию зубошлифовальных станков, хотя, в целом, у них много общего с зубофрезерными.

**Способы шлифования цилиндрических зубчатых колес** заключаются в следующем. Зубошлифовальные станки, работающие червячным шлифовальным кругом 1 (рис. 185), имеют самую высокую производительность среди зубошлифовальных станков благодаря непрерывности процесса обработки и большой площади соприкосновения режущей поверхности круга с зубьями шлифуемого колеса. При этом способе обработки заготовка совершает непрерывное вращательное движение обката и медленное движение продольной подачи, а шлифовальный круг – вращательное движение резания и перидическое движение радиальной подачи в направлении к заготовке.

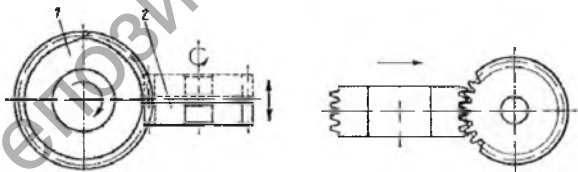


Рисунок 185 — Схема шлифования зубчатых колес червячным шлифовальным кругом

*Станки для шлифования зубчатых колес плоским кругом*, которому придана форма зуба рейки (рис. 186), получили широкое распространение в единичном и мелкосерийном производстве благодаря большой их универсальности, способности обрабатывать зубчатые колеса больших диаметров (до 5000 мм), а также простоте обслуживания. При этом способе используются как минимум две схемы шлифования, для которых общим является то, что

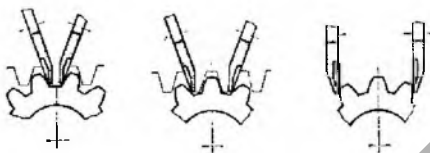


Рисунок 188 — Схема шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами и схемы их установки

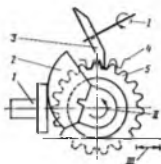


Рисунок 189 – Схема шлифования зубчатых колес плоским кругом



Рисунок 190 – Схема шлифования зубчатых колес профильным кругом (методом копирования)

с высокой степенью точности, но ограниченной шириной венца, зависящей от диаметра шлифовального круга. На станках этого типа обрабатывают зубья долбяков, шеверов и эталонных измерительных колес с модулем до 16 мм с шириной венца до 55 мм.

*Станки, работающие профильным шлифовальным кругом (рис. 190), чаще всего используются для шлифования зубьев колес внутреннего зацепления, а также крупногабаритных колес внешнего зацепления больших модулей. Эти станки работают по методу копирования, при котором профиль шлифовального круга является повторением профиля впадины зуба шлифуемого зубчатого колеса. Инструмент совершает вращательное движение резания и возвратно-поступательное движение подачи вдоль шлифуемого зуба. После обработки одного зуба производится поворот изделия для обработки следующего зуба, и так цикл повторяется, пока не будут прошлифованы все зубья.*

**Кинематическая схема зубошлифовального станка мод. 5В832** представлена на рисунке 191. Этот станок предназначен для шлифования зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес.

Шлифование производится абразивным червяком методом обката. Окончательное профилирование винтовой нитки на абразивном червяке выполняется на станке стальным многониточным накатником или алмазными резцами. В станке есть следующие формообразующие кинематические цепи: вращения абразивного червяка, вращения шлифуемого колеса, вертикального возвратно-поступательного движения суппорта изделия, перемещения

Цепь вертикальной подачи сообщает возвратно-поступательное движение суппорту изделия через бесступенчатый привод с муфтой скольжения с регулированием через тахогенератор. Исполнительным звеном перемещения каретки с суппортом является пара винт-гайка 27 – 28. Для увеличения диапазона регулирования подачи между приводом 37 червячной передачи 30 – 29 и винтом и гайкой имеется двухступенчатый перебор 31 – 32, 33 – 34, переключаемый электромагнитными муфтами.

Цепь радиальной подачи осуществляет подачу бабки шлифовального круга на изделие за каждый ход последнего и отвод бабки после окончания шлифования. Цепь состоит из храпового механизма 16 и гидравлической следящей системы. Качательное движение собачки храпового механизма сообщается гидроцилиндром 41 через реечную передачу 15. Вращение храпового колеса преобразуется в поступательное движение винта 42, который нажимает на рычаг 43, перемещающий следящий золотник 44, от чего поршень 45 перемещает шлифовальную бабку на величину радиальной подачи. Установка величины радиальной подачи производится по специальному лимбу.

**Станки для обработки конических зубчатых колес с прямым и круговым зубом** позволяют обрабатывать зубчатые колеса для передачи движения между пересекающимися и скрещивающимися осями. Форма зубьев конического колеса по длине может быть прямолинейной или криволинейной, наклоненной к образующей начального конуса под углом. Из криволинейных зубьев, которые бывают просто криволинейные, с нулевым наклоном и гипоидные, чаще всего применяют круговой, как более простой для обработки.

Прямозубые конические колеса нарезают двумя методами: копированием и обкаткой. Метод копирования в основном применяют для черновой прорезки впадин между зубьями прямозубых колес на зубофрезерных станках, работающих специальными дисковыми фрезами. Обработка прямозубых конических колес по методу обкатки имеет несколько разновидностей, но все они основаны на обкатывании пары зубчатого колеса – шестерня. Для нарезания криволинейных зубьев применяют несколько методов. Основным является метод нарезания круговых конических зубьев торцевой резцовый головкой.

**Формообразование на станках для обработки конических зубчатых колес.** Принцип зубонарезания на зубофрезерных

полуавтоматах дисковыми фрезами (рис. 192) заключается в том, что во время прорезки впадины конического зубчатого колеса 1 оно находится в неподвижном состоянии, а фреза 2 совершает вращение вокруг своей оси со скоростью  $v_{рез}$  резания и движение продольной подачи  $s_{пр}$  вдоль линии дна

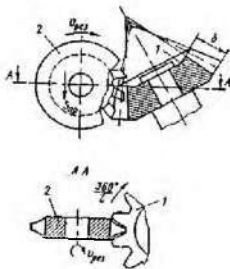


Рисунок 192 – Схема нарезания конических колес

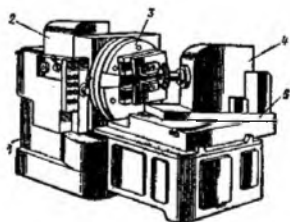


Рисунок 195 – Зубострогальный станок  
мод. 5А250

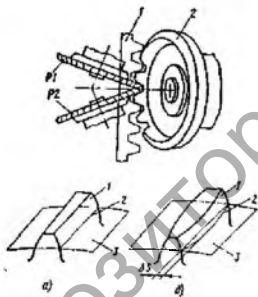


Рисунок 196 – Схема работы станков для  
нарезания конических зубчатых колес дис-  
ковыми фрезами по методу обката и зуб без  
модификации (а) и с бочкообразной моди-  
фикацией (б)

станки для обработки конических колес с прямыми и тангенциальными зубьями применяются в мелкосерийном и серийном производствах и имеют хорошие технологические возможности и большую универсальность. Все эти станки делятся на следующие группы:

Станки для нарезания дисковыми фрезами по методу обката конических зубчатых колес с прямыми зубьями делают колеса, которые правильно зацепляются и работают в паре с колесами, обработанными на зубострогальных станках, работающих по методу обката (рис. 196).

Широкое применение этих станков в промышленности обусловлено высокой производительностью, превышающей производительность зубострогальных станков примерно в 3–5 раз, поэтому они предназначены для работы в условиях массового и крупносерийного производства. Повышение производительности на этих станках достигнуто применением многолезвийного инструмента, позволяющего работать с оптимальными скоростями резания и большими подачами. На них можно нарезать колеса с прямой линией зубьев и с продольной бочкообразной модификацией.

Станки для нарезания конических зубчатых колес с круговой линией зубьев находят все большее

применение в связи с тем, что у изготовленных с их помощью колес по сравнению с прямозубыми прочность зуба увеличена и они могут использоваться для работы в весьма тяжелых условиях. Круговая линия увеличивает коэффициент продольного перекрытия зуба, что повышает плавность работы передачи и быстроходность. Станки для нарезания конических зубчатых колес с круговой линией зубьев делятся на работающие по методу:

- врезания инструмента в заготовку (без обката);
- кругового протягивания (без обката – полуобкатных);
- обката.

электродвигателя 1 (см. рис. 200) через клиноремennую передачу 2 – 3, колеса 4 – 5 – 6 – 7 и далее через сменные колеса а – б зубчатому колесу 8, сидящему на центральном валу люльки. Далее движение передается через колесо 9 кривошипным дискам 12, от которых при помощи шатуна получают качательное движение резцовые суппорты 4 (рис. 201).

*Движение подачи* осуществляется от электродвигателя 27 постоянного тока через клиноремennую передачу 28 – 29, зубчатые колеса 30 – 31, 32 – 33, 38 – 39 – 40 и червячную пару 41 – 42 передается распределительному валу I, который делает один оборот за время нарезания одного зуба. На распределе сидят четыре кулачка. Один из них предназначен для нарезания при комбинированном резании (КЗ), два других служат для переключения золотников цилиндров (К1 и К2), отвода резцов и счетчика циклов, а четвертый (К4) действует на путевой выключатель, дающий команду на рабочую и ускоренную частоту вращения двигателя 27.

*Вращение заготовки* от вала III через зубчатые конические передачи 36 – 37, 21 – 22, 23 – 24 движение передается на гитару деления и через сменные колеса  $a_1 - b_1, c_1 - d_1$  и делительную червячную передачу 25 – 26 шпинделю бабки изделия. Шпиндель вращается непрерывно в одну сторону, а люлька, несущая инструмент, совершает возвратно-вращательное движение (качание) на угол, нужный для обработки впадины зуба.

*Привод качания люльки.* С вала V вращение передается через колеса 19, 18 и 16 на колесо 17 реверсивного механизма. Это колесо 17 попеременно зацепляется с наружным и внутренним венцами реверсивного колеса 13, заставляя его вращаться то в одну, то в другую сторону. При этом через ведомое зубчатое колесо 43, колеса гитары обкатки  $a_2 - b_2, c_2 - d_2$  и червячную передачу 11 – 10 осуществляется качание люльки.

Станок можно наладить для работы в полуавтоматическом цикле.

**Методика кинематической настройки станка 5Т23В** включает настройку цепи главного движения – числа двойных ходов, осуществляемая с помощью сменных зубчатых колес а – б, с помощью которых можно получить семь чисел двойных ходов в минуту. Потом задействуют цепь деления, гитару обката, связывающую вращение люльки и заготовки, а потом – цепь подачи (с помощью потенциометра регулируют в пределах от 300 до 3000 обороты электродвигателя, а, тем самым, время полного оборота распредела), угол качания люльки.

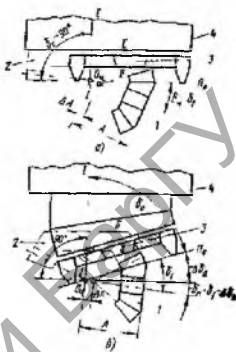


Рисунок 199 – Обработка конических зубчатых колес с круговой линией зуба по схеме плосковершинного (а) и конусного (б) производящего колеса

**Обкатывание, притирка, зубошевингование, зубошлифование.** Современное машиностроение предъявляет все более высокие требования к зубчатым передачам по прочности, надежности и долговечности. Это приводит к необходимости применения к боковым поверхностям зубьев нарезанных зубчатых колес отделочных (финишных) технологических операций, устраняющим погрешности, которые возникают при зубонарезании и последующей термообработке. К зубоотделочным операциям относят обкатку, шевингование, притирку, зубохонингование и зубошлифование. Первые два технологических процесса применяют для закаленных зубчатых колес, а последние два – для закаленных.

**Обкатка** – это уплотнение и упрочнение боковых поверхностей зубьев незакаленных колес путем пластической деформации поверхностных слоев зубьев. Для этого колесо обкатывается под нагрузкой с одним или несколькими закаленными эталонными колесами.

**Притирка** – это отделочная операция, при которой с обрабатываемой поверхности детали производится абразивными зёрнами, свободно распределенными в пасте или суспензии. Паста или суспензия наносится на поверхность инструмента-притира. Выполняется эта операция при малых скоростях и переменном направлении рабочего движения притира. Это наиболее трудоемкая отделочная операция позволяет получать поверхности с шероховатостью  $Ra = 0,04 - 0,02$  мкм и  $Rz = 0,1 - 0,025$  мкм с отклонениями от требуемой геометрической формы до  $0,1 - 0,3$  мкм. Физико-механические свойства поверхностей после притирки всегда лучше, чем после тонкого шлифования.

**Зубошевингование** применяют для улучшения качества обработанной поверхности нарезанных зубьев специальным инструментом (шевером) путем снятия припуска толщиной  $0,1 - 0,25$  мм. Кроме того, устраняются отклонения от точного профиля (полученного, например, зубофрезерованием), связанные с ограниченным числом огибающих резцов. Кроме этого, удается произвести определенную коррекцию профиля зуба колеса, а также снизить погрешность шага, волнистость поверхности зуба, уменьшить колебание межосевого расстояния, улучшить пятно контакта, снизить параметр шероховатости и шум. Шевингованием можно достичь 6–7-й степени точности (в отдельных случаях 5-й степени) и шероховатость поверхности  $Ra = 0,16 - 0,32$  мкм.

**Зубохонингование** – высокопроизводительный процесс для обработки зубчатых колес после зубошевингования и термообработки. При этом устраняют дефекты поверхности закаленных зубьев (съем припуска до 10 мкм). Обработку производят зубчатым хонем, представляющим собой зубчатое колесо

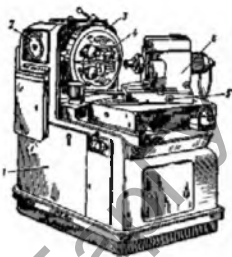


Рисунок 201 – Зубострогальный полуавтомат мод. 5Т23В для обработки прямозубых конических колес

Движение зацепления в направлении высоты зуба (d рис. 203, а) накладывается вследствие пересечения осей на движение скольжения (с) в осевом направлении, что приводит к результирующему движению (е), принимаемому за скорость резания при шевинговании и обеспечивающему сьем стружки. Проскальзывание является результатом зацепления шевера 1 и заготовки 2 как винтовой зубчатой передачи. Для шевингования прямозубых колес используют косозубый шевер и, наоборот, для косозубых колес – прямозубый. При таком зацеплении оси заготовки и шевера скрещиваются под углом  $\phi$  (рис. 203, б), который влияет на скорость проскальзывания и составляет  $10-15^\circ$ . Результирующее движение скольжения дает в итоге следы резания от каждой режущей кромки зуба шевера (толщина среза составляет  $5-15$  мкм).

Усилие прижима между боковыми поверхностями зубьев заготовки и шевера, необходимое для срезания стружки, создается или их радиальным сближением (шевингование "враспор"), или за счет крутящего тормозного момента, прикладываемого к шевру или заготовке. Кинематической связи между шевром и заготовкой нет и при обработке небольших деталей во вращение приводится шевер, а при обработке крупных – заготовка.

Поскольку в винтовых зубчатых передачах (какой является зацепление шевера с колесом) теоретически происходит точечный контакт (переходящий в результате действия усилия прижима в зону касания), для обработки заготовки по всей ширине необходима подача. С помощью дискового шевера выполняют четыре основных метода шевингования: с продольной, диагональной, поперечной или тангенциальной подачей. В зависимости от схемы шевингования производится подача шевера (или заготовки) вдоль оси или под углом к оси заготовки либо в плоскости, параллельной оси шевера, в направлении, перпендикулярном оси заготовки или шевера. После каждого продольного или двойного хода стола производится периодическое включение радиального движения подачи шевера и заготовки до получения нужной толщины зуба. Затем выполняются рабочие ходы без радиального движения подачи (выхаживание).

**Станки для зубозакругления.** В коробках передач различных машин широко применяют скользящие блоки колес, переключаемые для изменения частоты вращения выходящего из коробки вала или шпинделя. Кроме скользящих

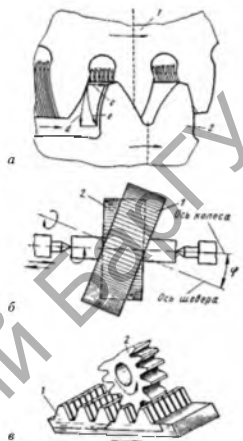


Рисунок 203 – Шевингование зубчатых колес

На станине станка 1 установлена стойка 2, на вертикальной ее плоскости установлена инструментальная бабка, которая состоит из салазок 3, поворотной плиты 4 и головки 5. Стойку можно перемещать по поперечным направляющим 6 станка. Станина станка имеет горизонтальные направляющие, на которых установлена шпиндельная бабка обрабатываемой детали 7. В шпиндель бабки устанавливают оправку для закрепления на ней обрабатываемого зубчатого колеса.

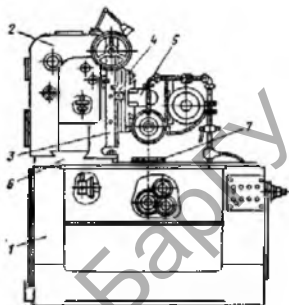


Рисунок 206 – Зубозакругляющий станок мод 5H582

**Особенности конструкций зубо-**  
**обрабатывающих станков с ЧПУ.**

Числовое программное управление зубообрабатывающими станками стало развиваться позже, чем другими станками. Это обусловлено сложностью согласования движений механизмов станка при электронных связях между ними, необходимостью управления пятью и более координатами. Только создание микропроцессорных систем ЧПУ позволило снять ограничение по числу управляемых координат, повысить точность станков. В них, как правило, предусматривается осевая передвижка фрезы, установка с пульта управления или от управляющей программы длины перемещения фрезерных салазок, межосевого расстояния между фрезой и заготовкой, угла наклона суппорта, числа нарезаемых зубьев и режимов резания. Предусматривается также возможность обработки зубьев с различной модификацией (например, бочкообразной, конусообразной и т.п.), а на некоторых станках автоматическая смена заготовки и инструмента.

Упрощенная структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ без механических связей между координатами приведена на рис. 207. Согласование вращений фрезы и стола обеспечивается системой ЧПУ.

Применяют два вида структур управления зубообрабатывающими станками с ЧПУ: управление с ведущей координатой (вращение фрезы) или без нее. В первом случае датчик 1 фрезы является задающим, а скорости всех остальных координат устанавливаются с учетом сигнала датчика фрезы. Такая схема облегчает задачу обеспечения точности слежения, так как скорость фрезы может изменяться. Во второй структуре связанные координаты одинаково управляются от устройства ЧПУ (УЧПУ) по заданной программе и нужно обеспечить высокую стабильность частот их вращения. Для согласования вращения фрезы и стола во втором случае информация об их фактическом положении, получаемая от датчиков 1 и 10, должна постоянно сравниваться.

Конструктивные особенности механической части зубообрабатывающих станков с ЧПУ можно свести к следующим:

определенное число импульсов на единицу перемещения суппорта и фрезы в соответствии с углом наклона зубьев, модулем и углом подъема винтовой линии фрезы. Умноженные и сформированные импульсы проходят через сумматор, где происходит их алгебраическое суммирование, и поступают в делитель частоты, играющий роль электронной гитары деления.

Выход электронной гитары соединен с вычитающим входом реверсивного счетчика, суммирующий вход которого подключен к датчику обратной связи по положению оси С. Разность чисел импульсов на суммирующем и вычитающем входах формирует выходной код реверсивного счетчика, который подается в цифро-аналоговый преобразователь, где преобразуется в напряжение, пропорциональное углу рассогласования следящей системы. Это напряжение является задающим для привода оси С. Для повышения точности слежения в схему включены преобразователь "частота-напряжение" и корректор рассогласования, представляющий собой фазовый детектор, в котором сравниваются фазы импульсов электронной гитары и датчика обратной связи оси С. При этом на выходе формируется напряжение, величина и полярность которого соответствуют величине и направлению сдвига фаз.

Включение одного или другого электронного дифференциала или их совместное включение определяются видом обрабатываемого колеса, его конфигурацией и методом обработки. При единичном делении датчик оси В блокируется, а в сумматор подается серия импульсов от отдельного генератора 12.

Принцип нарезания зубчатых колес с бочкообразной и конусной формой зуба заключается во взаимосвязанном перемещении инструмента по оси Z и заготовки по оси X, причем привод оси Z является ведущим, а привод оси X – следящим.

В процессе обработки колес с конусным зубом одновременно с перемещением каретки по координате Z с подачей  $S_z$  стол станка (координата X) перемещается с подачей  $S_x$  (задаются в миллиметрах на один оборот стола).

#### **Устройство и кинематическая схема станка мод. 53A50KФ4 (рис. 209).**

Кинематика выполнена с разомкнутой связью в цепи деления и безгитарной наладкой связей вращения заготовки и инструмента, перемещений инструмента и заготовки. Фрезерование зуба, выполняемое методом обката, производится с помощью электронной "гитары деления", а нарезание косозубых и червячных колес с помощью электронных дифференциалов.

Привод вращения фрезы, приводы подач по осям X, Y, Z осуществляются от электродвигателей постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения, позволяющих обеспечить широкий диапазон скоростей и подач, а также автоматическое управление на первом и втором проходах. Привод вращения стола также осуществляется от электродвигателя постоянного тока с высокой точностью отсчета углового поворота.

Главное движение – вращение шпинделя – производится электродвигателем  $M_1$  через клиноременную передачу  $\varnothing 148 / \varnothing 202$ , две конические 29/29 и цилиндрическую 20/80 передачи. Для поворота шпинделя на один оборот, нужно определенное число импульсов. Для придания валу соответствующей частоты вращения в минуту нужно и соответствующее число импульсов

### 3.9 СТАНКИ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Фрезерные станки появились не позднее 1818 года, когда они уже использовались на английских оружейных заводах. В том же году Бланшар изобрел свой станок для изготовления ружейных ложек, первый станок, позволявший делать по копиру изделия неправильной формы. К середине XIX века было создано большое количество металлообрабатывающего оборудования: токарных, токарно-винторезных, строгальных и зуборезных станков. В 1829 г английский изобретатель и промышленник Джеймс Несмит (1808–1890) улучшил конструкцию фрезерного станка, и он стал одним из главных по тому времени станков. Есть сведения, что фрезерный станок изобрел Эли Уитни (1765–1825).

На фрезерных станках можно обрабатывать наружные и внутренние поверхности различной конфигурации, плоские и фасонные поверхности, в особенности на рычагах, планках, корпусных и других деталях, не являющихся телами вращения, делать местные вырезы и срезы, прорезать прямые и винтовые канавки, нарезать наружные и внутренние резьбы и зубья колес, прорезать прямые и винтовые канавки.

На фрезерных станках обрабатывают с помощью фрез. Вращение фрезы является главным движением, относительное перемещение фрезы и заготовки (обычно прямолинейное) – движением подачи. Заготовку устанавливают на стол, почти всегда прямоугольный, в некоторых случаях – круглый.

**Фрезерные станки классифицируют** по назначению, компоновке (количество и расположение шпинделей, распределение движений).

*По назначению* фрезерные станки разделяются, как и все станки, на станки общего назначения, специализированные и специальные. Чаще встречается деление без специальных станков.

1. К станкам общего назначения относятся консольно-фрезерные и бесконсольно-фрезерные, продольно-фрезерные и карусельно-фрезерные станки. Консольно-фрезерные станки в свою очередь подразделяются на горизонтально-фрезерные (простые), горизонтально-фрезерные универсальные, вертикально-фрезерные, широкоуниверсальные фрезерные.

2. Специализированные фрезерные станки применяются при обработке однопильных деталей с переналадкой на рациональную обработку с одного типоразмера детали на другой. Они подразделяются на копировально-фрезерные, шпоночно-фрезерные, фрезерно-отрезные, барабанно-фрезерные, фрезерно-обточные, резьбофрезерные, зубофрезерные, фрезерные станки с программным управлением. В большинстве случаев сюда, а не к станкам общего назначения, относят карусельно-фрезерные станки.

3. Специальные фрезерные станки предназначены для выполнения определенных операций по обработке деталей в условиях крупносерийного и массового производства.

*По компоновке* различают следующие типы и их модификации: горизонтально-фрезерные консольные станки (с горизонтальным шпинделем и консолью), в том числе простые (рис. 210, а), универсальные – с поворотным столом (рис. 210, б), широкоуниверсальные – с дополнительными фрезерными

На фрезерных станках обрабатывают с помощью фрез плоские и фасонные поверхности, в особенности на рычагах, планках, корпусных и других деталях, не являющихся телами вращения, делают местные вырезы и срезы, прорезают прямые и винтовые канавки, а в отдельных случаях нарезают резьбы и зубья колес. Вращение фрезы является главным движением, относительно перемещение фрезы и заготовки (обычно прямолинейное) – движением подачи.

**Широкоуниверсальный горизонтальный консольно-фрезерный станок мод. 6Д82Ш.** Наибольшими возможностями в группе фрезерных станков обладают широкоуниверсальные станки, являющиеся наиболее сложными по сравнению с простыми и универсальными горизонтально-фрезерными станками. Эти станки предназначены для работы в условиях единичного производства. Помимо расположенных под любым углом плоскостей, пазов, винтовых канавок и т.п. на станках можно обрабатывать объемные фасонные поверхности, например, штампов. Возможна также обработка поверхностей, наклоненных под любым углом, а также выходящих за габариты стола.

Широкоуниверсальные консольно-фрезерные станки в отличие от универсальных имеют второй шпиндель, поворачивающийся вокруг горизонтальной и вертикальной осей, второй шпиндель может устанавливаться под любым углом, а стол может поворачиваться (наклоняться) вокруг своей продольной горизонтальной оси.

Класс точности станка мод. 6Д82Ш – П.

Техническая характеристика станка:

Размеры рабочей поверхности стола (длина x ширина), мм	1250x320
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :	
горизонтального шпинделя	31,5–1600
шпинделя поворотной головки	50–1600
Подача, мм/мин:	
продольная и поперечная	25–1250
вертикальная	8,3–416,6

**Основные узлы станка** (рис. 211). Станина 9 является основным несущим узлом, по вертикальным направляющим которого перемещается консоль 8, представляющая собой отливку коробчатой формы. Сверху на консоли есть направляющие для поперечного движения салазок 7. По направляющим на верхней стороне салазок продольно движется стол 6 с заготовкой. Прямолинейные движения заготовки в трех направлениях служат для подачи, углубления или первоначальной установки. В консоль встроена коробка подачи. Привод главного движения с коробкой скоростей 10 смонтирован в станине и заканчивается горизонтальным шпинделем, конец которого выступает над столом.

Наверху станины расположен выдвигной хобот 2, в который встроены привод шпинделя поворотной головки 3, в том числе дополнительная коробка скоростей. Со шпинделем поворотной головки может быть состыкована накладная головка 4. Первая из головок имеет две оси поворота: горизонтальную (ось хобота) и перпендикулярную к ней. Накладная головка 4 может поворачиваться вокруг третьей оси, перпендикулярной к первым двум.

для предотвращения их одновременного включения. При включении муфты  $M_8$  вал XX получает вращение от колеса 40 (рабочая полкача), через муфту  $M_9$  тот же вал получает вращение от колеса 33, связанного с колесом 50 вала XV через паразитное колесо 67 (ускоренное перемещение).

Муфта  $M_8$  может соединить вал XXII с колесом 33 на нем, тогда движение будет передано на ходовой винт XXVIII перемещения консоли (гайка неподвижна). При включении муфты  $M_9$  ходовой винт XXIV перемещает салазки (винт вращается, гайка перемещается). Для перемещения стола включают муфту  $M_{10}$ , и движение передается на ходовой винт XXVI (гайка неподвижна). При включении муфты  $M_{10}$  колесо 50 выходит из зацепления с колесом 25, что исключает вращение маховика P3 при работе от двигателя. Не показанные на

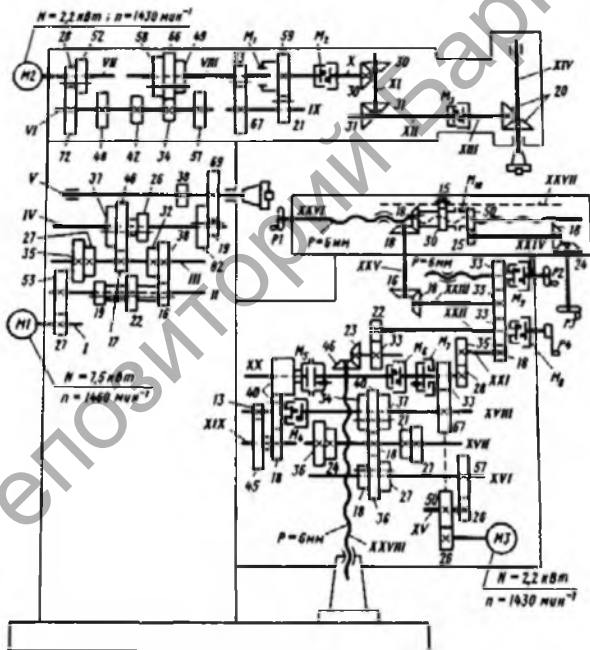


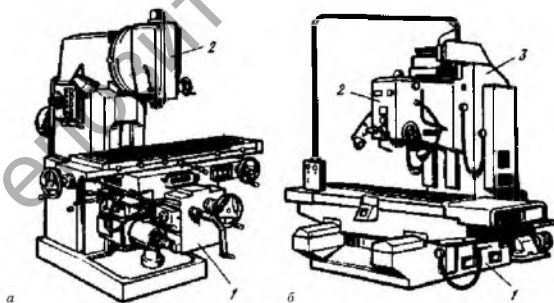
Рисунок 212 – Кинематическая схема станка 6P82III

дополнительную пару конических зубчатых колес, передающих вращение на шпиндель. Устройство консольного стола этого станка такое же, как у горизонтально-фрезерного, за исключением поворотной плиты, которой у вертикально-фрезерных станков нет.

**Компоновочная схема вертикального консольного и бесконсольного фрезерных станков.** Основным конструктивным отличием консольно-фрезерных станков (рис. 213) является наличие консоли 1, перемещающейся в вертикальном направлении по направляющим станины. На консоли выполнены горизонтальные направляющие, по которым движутся салазки, несущие стол, с закрепленной на нем заготовкой. Наличие консоли ухудшает технические параметры станка: снижается жесткость, невозможна обработка тяжелых заготовок, усложняется механизм привода подачи. Консольными бывают вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные, универсальные и широкоуниверсальные фрезерные станки. Вертикально-фрезерные станки от горизонтальных отличаются вертикальным расположением оси шпинделя и отсутствием хобота.

В современных фрезерных станках заложен ряд прогрессивных конструктивных решений: отдельные приводы главного движения и движения подачи, есть механизмы ускоренных перемещений стола во всех направлениях, однокрутяточное изменение скоростей, широкая унификация узлов.

Бесконсольные вертикально-фрезерные станки или вертикально-фрезерные с крестовым столом применяют для фрезерования крупных деталей с большими сечениями среза, имеют большую мощность, высокие частоты вращения шпинделя и величины подачи стола. Шпиндельная бабка 2 (рис. 213) с расположенной в ней коробкой скоростей перемещается в вертикальном



*а* – консольный, *б* – бесконсольный (с крестовым столом)

Рисунок 213 – Вертикально-фрезерные станки

до 5000 мм, а длина – от 1000 до 16000 мм, расстояние между стойками от 2 до 7,5 и проход под поперечной 0,8–7,5 м. Обрабатываемая деталь устанавливается на столе 2, который смонтирован на направляющих станины 1.

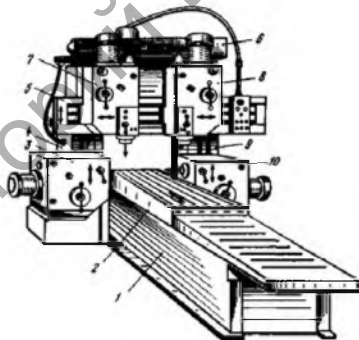
Наибольшее распространение получили продольные фрезерно-расточные станки, оснащаемые несколькими фрезерными бабками, позволяющими проводить обработку деталей с пяти сторон без переустановки.

**Компоновочная схема двухстоечного продольно-фрезерного станка.** На станине (рис. 214) 1 станка смонтированы две вертикальные стойки 4 и 9, скрепленные поперечной балкой. На вертикальных направляющих стоек расположены фрезерные головки 3 и 10 с горизонтальной осью шпинделя и траверсы (поперечина) 5. На направляющих траверсы установлены две фрезерные головки 7 и 8 с вертикальной осью шпинделя.

Продольно-фрезерные станки по компоновке отличаются прежде всего числом стоек и фрезерных головок. Большинство станков – с поперечиной на двух стойках, но головок может быть и три (по одной на стойках и поперечине) и даже одна (на поперечине).

Различают станки с неподвижным порталом и перемещающимся столом 2 (см. рис. 210, ж и рис. 214) и станки с перемещающимся порталом и неподвижной плитой 2, на которой закрепляется обрабатываемая заготовка (рис. 210, з). Станки с подвижным порталом имеют меньшую (примерно на 30%) длину и требуют точной (в пределах 15–20 мкм) синхронизации перемещения стоек портала. Такая компоновка выгодна при больших габаритах деталей, которые в процессе обработки остаются неподвижными. В станках с неподвижным порталом точность перемещения обеспечивается проще – за счет хорошего базирования стола, который может быть одинарным или двойным. В последнем случае на одном столе производится обработка детали, а на другом, находящемся вне рабочей зоны станка, смена заготовки.

Обычно фрезерные бабки выполняются ползунковыми, на которые устанавливаются дополнительные приспособления. Ход ползуна достигает 1500 мм,



1 – станина, 2 – стол, 3, 7, 8–10 – фрезерные бабки, 4, 9 – стойки, 5 – поперечина, 6 – бабка

Рисунок 214 – Продольно-фрезерный станок

ностей и отрезков прямых линий. Однако для некоторых криволинейных профилей в программе требуется задать слишком много точек, чтобы обеспечить достаточную точность. В этом случае лучше изготовить копир (образцовую деталь), а затем многократно воспроизводить (копировать) его форму на заготовках, используя специализированные копировально-фрезерные станки. Эти станки предназначены для изготовления кулачков, шаблонов, штампов, пресс-форм и других деталей, имеющих фасонную форму в плоскости или в пространстве.

В копировально-фрезерных станках используют системы управления прямого действия (редко) и следящие (широко распространены).

Копировальная система *прямого действия* (рис. 215, а) характеризуется жесткой связью, отсутствием усилительных устройств между шупом (копировальным пальцем) 1 и фрезерной головкой 2.

При продольном движении с подачей  $s_{\text{прод}}$  стола 4 профиль копира 7 действует как кулачок и на участках подъема кривой отжимается от шупа в поперечном направлении (подача  $s_{\text{поп}}$ ) вместе со столом и салазками 5; при этом преодолевается сила прижима, создаваемая грузом 6. На нисходящих участках кривой копир подтягивается грузом. Заготовка 3 перемещается относительно фрезы точно так же, как и копир относительно шупа. Эта система наиболее проста, но требует износостойких, дорогостоящих копиров. Погрешности копира без уменьшения сказываются на точности изготовления детали.

Копировальная система с *пантографом* (рис. 216), являющаяся разновидностью систем управления прямого действия, подобна известным чертежным устройствам. В пантографе станка можно изменять масштаб копирования путем настройки соотношения плеч в звеньях параллелограмма. Главный недостаток этих систем – недостаточная жесткость шарнирной системы. Станки с пантографом приспособлены для гравировальных работ.

На рис. 215, б представлена схема копировальной системы со следящим приводом, а на рисунке 217 представлен общий вид станка с таким устройством. На столе 1 (рис. 215, б) закреплены копир 2 и заготовка 9. Шпиндельная головка 7 с фрезой 8 могут перемещаться

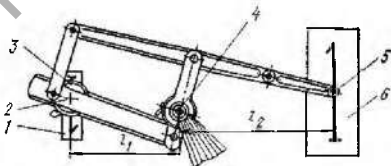


Рисунок 216 – Схема пантографа копировально-фрезерного станка

по поперечине 6 в поперечном (осевом) направлении от двигателя М (следящая подача  $s_{\text{след}}$ ). Со шпиндельной головкой жестко связан корпус датчика 4. Поперечина движется вертикально, перемещая шуп 3 датчика по профилю кулачка (задающая подача  $s_{\text{зад}}$ ).

В датчике есть чувствительный элемент с электрическими контактами (или в виде золотника). При среднем (нейтральном) положении чувствительного

масло теперь направляется в верхнюю полость цилиндра и перемещает поршень и шпиндельную бабку с фрезой вниз.

В рассмотренной схеме стол получает равномерную продольную подачу, а подача слежения в вертикальном направлении зависит от профиля копира. Поэтому результирующая подача инструмента относительно заготовки не будет постоянной, что является недостатком данной схемы копирования.

Этот недостаток устраняет электрическая следящая система (рис 218, б). В качестве чувствительного элемента применена индуктивная копировальная головка. При перемещении стола 1 с заготовкой 2 в продольном направлении копир 14 воздействует на шуп 13 и через него на якорь 9, поджатый пружиной 5. В результате изменяется зазор между якорем и сердечником 10, а значит, и сила тока во вторичных обмотках трансформатора 7. Эти сигналы в усилителе 8 выпрямляются, усиливаются и идут на управление электродвигателем М1. При перемещении шупа вверх передается соответствующий сигнал двигателю М1, который перемещает шпиндельную бабку 4 вместе с фрезой тоже вверх, устраняя возникшее рассогласование в положении шупа и фрезы 3. При действии на шуп радиальной силы, которая возникает при набегании шупа на подъем профиля копира, стержень 12 совершает поворот относительно шаровой опоры 11, поэтому шарик 5 вытесняется из конического гнезда и отклоняет якорь вверх, что снова приводит к изменению силы тока. Сигнал об этом поступает в электродвигатель М1, который смещает фрезу вверх, устраняя рассогласование между положением шупа и фрезы. При фрезеровании ошупывание копира производят способом горизонтальных или вертикальных строк (рис. 218, в).

При первом способе стол совершает автоматическое задающее горизонтальное перемещение, а фрезерная головка – непрерывное следящее продольное и периодическое

**Делительные приспособления, используемые на фрезерных станках,** в основном представлены делительными головками, которые применяют, как правило, на консольно-фрезерных станках для установки заготовки и

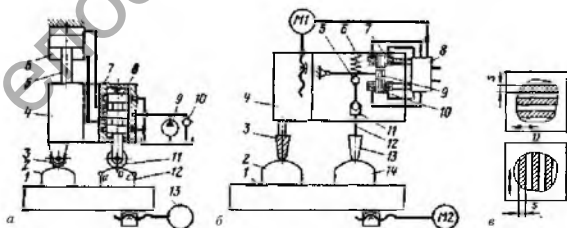


Рисунок 218 – Гидравлическая (а) и электрическая (б) схемы следящего привода. Виды проходов (строк) при фрезеровании (в)

*Дифференциальное деление* применяют в тех случаях, когда подобрать диск с необходимым количеством отверстий способом простого деления не удастся.

Фрезерование винтовых канавок, расположенных равномерно по окружности, осуществляется следующим образом (см. рис. 220). Заготовку 1, установленную в центрах делительной головки 2 и задней бабки 3, вместе со столом 9 поворачивают на угол  $\beta$ , равный углу наклона винтовой линии канавки. В результате этого средняя плоскость дисковой фрезы 8 совпадает с направлением канавки. Заготовке сообщают непрерывное вращение, а столу – продольную подачу.

Шпиндель делительной головки вращают от ходового винта продольной подачи стола по цепи сменных зубчатых колес, далее через пары зубчатых колес, расположенных в делительной головке, диск с рукояткой, и еще две передачи в головке. За один оборот шпинделя стол должен переместиться на величину шага винтовой линии канавки  $t$ , что обеспечивается подбором соответствующих сменных зубчатых колес.

*Безлиimbовые делительные головки* отличаются от лимбовых тем, что они не имеют делительных дисков. Рукоятка у них поворачивается на один полный оборот и фиксируется в постоянном положении на неподвижном диске. Величину поворота шпинделя устанавливают сменными колесами. Такая головка удобна в серийном производстве.

Для деления на равные и неравные части с повышенной точностью (0,25') применяют *оптические делительные головки* (рис. 221, а). В корпусе 1 (рис. 221, б) смонтирована

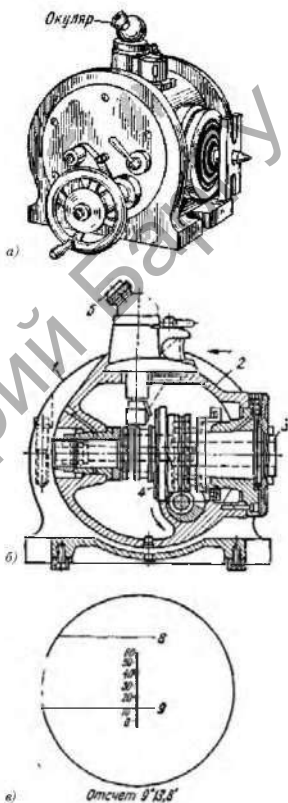


Рисунок 221 – Оптическая делительная головка

**Компоновочная схема карусельно-фрезерного станка.**

На рис. 223 показан карусельно-фрезерный двухшпиндельный станок. На станине 1 установлена стойка 2, в вертикальных направляющих которой смонтирована шпиндельная бабка 3. Бабка имеет два шпинделя 4 с приводом вращения от коробки скоростей 5, помещенной в верхней части стойки. На горизонтальных направляющих станины смонтирован стол 6, получающий во время работы медленное вращение в виде круговой подачи. Такая компоновка узлов станка позволяет вести фрезерование непрерывно. Обработанные детали, выйдя из зоны резания, могут быть заменены заготовками. Наличие двух шпинделей дает возможность совместить в одной операции черновое и чистовое фрезерование.

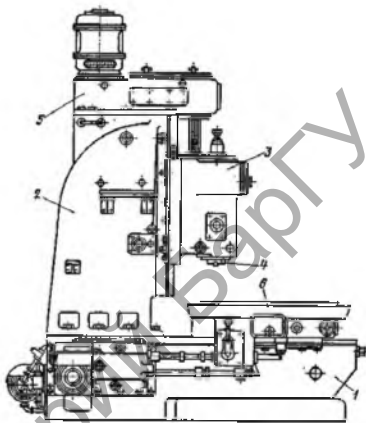


Рисунок 223 – Карусельно-фрезерный станок

Привод главного движения осуществляется от электродвигателя, расположенного в верхней части стойки. Шпиндели смонтированы в гильзах, которые с помощью реечных передач могут устанавливаться на необходимую высоту. Вращением рукоятки шпиндельную бабку вручную в наладочном режиме перемещают вертикально. Частота вращения чистового шпинделя примерно в 1,8 раза больше, чем черногового.

Привод круговой подачи стола состоит из отдельного электродвигателя и цепи зубчатых передач со сменными зубчатыми колесами для настройки. Ручной поворот стола при настройке станка производится вращением червяка вручную при выключенной подаче.

Существуют другие типы станков данной группы, у которых шпиндель смонтирован не в станине, а в специальной головке. Головка может поворачиваться в вертикальной плоскости. В этом случае ось шпинделя можно устанавливать под углом к плоскости рабочего стола. У некоторых станков головка вместе со шпинделем может перемещаться в вертикальной плоскости.

**Компоновочная схема барабанно-фрезерного станка.** На рис. 224 показана конструкция барабанно-фрезерного станка. Обработываемые заготовки крепят в приспособлениях, которые устанавливают на периферии

( $n_{\text{min}} = 63 - 200 \text{ мин}^{-1}$ ), стали ( $n_{\text{min}} = 125 - 630 \text{ мин}^{-1}$ ) и цветных металлов ( $n_{\text{min}} = 600 - 1600 \text{ мин}^{-1}$ ). Расстояние между шпинделями у разных станков этого вида колеблется от менее чем 200 мм до 3600 мм.

### 3.10 ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ С ЧПУ

**Назначение.** Фрезерные станки с ЧПУ предназначены для обработки плоских и пространственных деталей сложной формы из черных и цветных металлов. На них возможно выполнение операций объемного и контурного фрезерования и фрезерования с достаточной точностью разновысоких плоскостей.

Фрезерные станки с ЧПУ эффективнее традиционных с ручным управлением ввиду повышенной производительности (более чем в 3 раза) и возможности обработки без специальной дорогостоящей оснастки (шаблонов, фасонных фрез и т.п.). Фрезерные станки оснащают прямоугольными, контурными и универсальными УЧПУ. Прямоугольные УЧПУ применяют для обработки уступов, пазов и других плоскостей на разных уровнях. Контурное управление используют для обработки внутренних или наружных поверхностей сложной конфигурации, например, дисковых кулачков. Важной характеристикой является число управляемых координат (от двух до пяти, но чаще 3), в том числе одновременно управляемых (обычно 2–3). Помимо прямолинейных перемещений может программироваться поворот головки с заготовкой или наклон оси фрезерного шпинделя. Дискретность задания перемещения по осям координат 0,025–0,01 мм, но обычно 0,01 мм. Программу вводят с перфоленты или через пульт (оперативная система).

**Виды станков.** Наиболее распространены вертикальные компоновки фрезерных станков с ЧПУ, а среди них вертикальные с крестовым столом, широкоуниверсальные и продольно-фрезерные с подвижной (а иногда неподвижной) поперечиной. Системами ЧПУ оснащают и горизонтально-фрезерные станки. Некоторые фрезерные станки с ЧПУ оснащаются револьверными головками. На базе фрезерных станков выпускаются фрезерно-сверлильно-расточные станки, оснащенные магазинами инструментов. Размеры столов фрезерных станков с ЧПУ варьируются от 250x800 мм до 2500x5000 мм.

Конструкции фрезерных станков с ЧПУ аналогичны конструкциям традиционных фрезерных станков, но отличаются от последних тем, что все движения формообразования в станках с ЧПУ автоматизированы и выполняются по управляющей программе. Кроме того, как и у всех станков с ЧПУ установлены отдельные приводы на механизмах перемещения по каждому направлению.

**Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ.** Все фрезерные станки предназначены для обработки деталей из стали, чугуна, легированных сплавов, цветных металлов и пластмасс: фрезерования деталей штампов, прессформ, кулачков, крышек, корпусных деталей, планок, клиньев и др. со сложной геометрической формой в условиях мелкосерийного и серийного производства. Возможна эксплуатация станка в индивидуальном производстве при обработке сложных деталей. Фрезерные станки с ЧПУ делят на

Поперечное перемещение салазок со столом (по оси  $V$  в пределах  $\pm 200$  мм) осуществляется от аналогичного привода, установленного в консоли. Вертикальное перемещение консоли – от гидродвигателя, установленного на правой стенке консоли через пару конических зубчатых колес и винтовую пару. Когда ползун находится в крайнем верхнем положении, возможно движение по оси, равное плюс 150 мм. Режущий инструмент в шпинделе крепится механизмом зажима инструмента, смонтированным в верхней части ползуна.

*Структурная схема станка.* Как и все станки с ЧПУ, станок 6Р13Ф3 имеет отдельные приводы с укороченными кинематическими цепями для перемещения стола по всем координатам и для перемещения ползуна шпинделя. Привод главного движения остался от базовой модели (см. рис. 227).

*Компоновочная схема станка.* Станок мод. 6Р13Ф3-37 является консольным одноинструментным.

Фрезерные станки в основном оснащаются *прямоугольными* (система Ф2) и *контурными* УЧПУ (системы Ф3 и Ф4). При контурном управлении, которым оснащен данный станок, траектория перемещения стола может быть очень сложной и зависит от профиля обрабатываемого изделия. Число управляемых координат три. При контурном управлении движение формообразования производится не менее чем по двум координатным осям одновременно, что обеспечивает получение кривых профилей на деталях. Вся информация для управления задается на перфоленте.

Система координат станка в соответствии с рекомендациями ИСО является прямоугольной декартовой, при которой за положительное направление осей принято перемещение, при котором деталь и инструмент удаляются друг от друга. Стол станка имеет рабочее перемещение в горизонтальной плоскости (по координатам  $X$  и  $Y$ ) и (вместе с консолью) установочное перемещение в вертикальном направлении (по координате  $Z$ ); рабочее перемещение по координате  $Z$  имеет ползун со шпинделем (рис. 225).

Станина 8 станка мод. 6Р13Ф3-37 (рис. 226) является базой, на которой монтируются узлы и механизмы станка. Спереди станина имеет вертикальные направляющие, закрытые кожухом 9, по направляющим перемещается консоль 1. На горизонтальных направляющих, расположенных на верхней

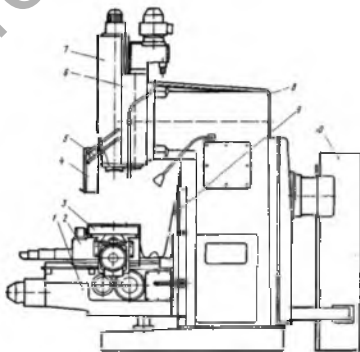


Рисунок 226 – Станок мод. 6Р13Ф3-37

приводится во вращение зубчатыми колесами 27 и 28. Служит для контроля действительного положения фрезерной бабки.

Привод продольной подачи стола по оси X: высокомоментный электродвигатель 3М – зубчатые колеса 29 и 30 – ходовой винт 31 – гайка 32, жестко закрепленная в столе Датчик 2Д контроля продольного перемещения стола приводится во вращение зубчатыми колесами 34 и 33.

Привод поперечной подачи (ось Y): высокомоментный электродвигатель 4М – зубчатые колеса 35, 36 и 37 – ходовой винт 38 – гайка 39, жестко закрепленная на салазках. Датчик 3Д обратной связи приводится во вращение зубчатыми колесами 40 и 41.

Привод вертикального (установочного) перемещения консоли – асинхронный электродвигатель 5М – червячная передача 42 и 43 – винт 44 – гайка 45, жестко связанная с основанием.

**Установка и крепление инструмента.** На рис. 228 показано электромеханическое устройство зажима инструмента в шпинделе станка. Аналогичные

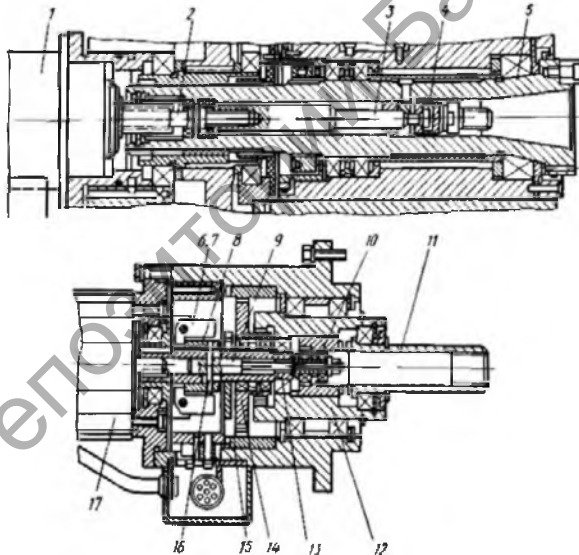


Рисунок 228 – Устройство электромеханического зажима инструмента станка мод. 6Р13Ф3-37

долбежные станки применяют для обработки резами линейчатых обычно плоских поверхностей: направляющих, пазов как горизонтальных, так и вертикальных, зубьев зубчатых колес в единичном и массовом производстве. Станки строгальной группы включают продольно-строгальные (первый и второй типы), поперечно-строгальные или шепинги (третий тип) и долбежные (четвертый тип).

По сравнению с фрезерными, станки строгальной группы имеют следующие достоинства:

- простора и дешевизна применяемого инструмента;
- производительность при обработке узких и длинных поверхностей;
- точность обработки при чистовом строгании;
- возможность обработки сложных профилей, требующих при фрезеровании дорогих в изготовлении и заточке наборов фрез.

Среди недостатков строгания – потери времени на холостой ход и ограниченность скорости резания из-за больших инерционных сил. Строгание и долбление применяют в единичном и массовом производствах, а протягивание – от мелкосерийного до массового (рентабельно протягивание от 200 круглых или 50 фасонных отверстий в год при максимальной производительности до 1000 деталей в смену).

**Поперечно-строгальные** станки применяют при обработке плоских и фасонных поверхностей заготовок относительно небольших габаритов, закрепленных на консольном столе, а резец крепят в резцедержателе ползуна. Эти станки всех размеров делают с механическим приводом главного движения от кулисы, а станки с ходом ползуна больше 700 мм с гидравлическим. Поперечно-строгальные станки с механическим приводом более просты по конструкции и надежны в разнообразных условиях работы. Станки имеют автоматические подачи стола – прерывистое прямолинейное перемещение по направляющим поперечины в поперечном направлении и поперечины со столом в вертикальном направлении, а главное движение – это возвратно-поступательное движение ползуна с резцом. Возможны и вертикальные прямолинейные прерывистые перемещения суппорта с резцом.

**Основные узлы движения.** Основные узлы поперечно-строгального станка (станок модели 7М36, рис. 245): 1 – станина, 2 – коробка подач, 3 – ползун с цилиндром, 4 – гидрпанель, 5 – суппорт, 6 – стол, 7 – механизм подачи суппорта, 8 – коробка с электрооборудованием.

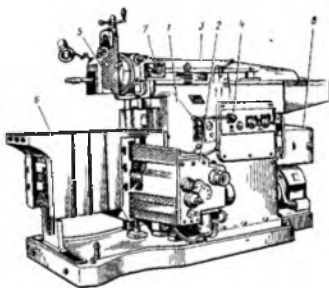


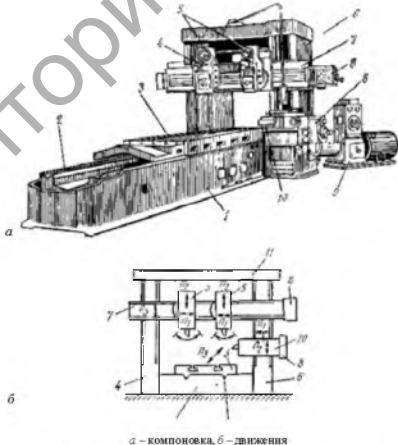
Рисунок 245 – Поперечно-строгальный станок 7М36

валыные головки, расширяющие возможности станка. Станок предназначен для обработки плоских поверхностей на заготовках, которые либо невозможно, либо неудобно обрабатывать на фрезерных станках (например, направляющие "ласточкин хвост" и др.), горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, а также поверхностей небольшой ширины у крупных деталей большой длины. На станке могут одновременно обрабатываться детали средних размеров, устанавливаемые рядами на столе.

Станки применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

**Основные узлы и движения.** Основными узлами продольно-строгального станка являются (на примере двухстоечного продольно-строгального станка модели 7212, рис. 246, а) 1 – станина, на которой с обеих сторон закреплены две вертикальные стойки 4 и 6, соединенные сверху порталом 11 и образующие замкнутую жесткую рамную систему. Стол 3 приводом 9 перемещается по направляющим 2 станины. На верхней плоскости стол имеет Т-образные пазы для закрепления детали. На вертикальных направляющих правой стойки 6 помещен боковой суппорт 10. На направляющих стоек 4 и 6 закрепляется траверса 7, которая несет два других суппорта 5.

*Главное движение* – возвратно-поступательное движение стола  $\Pi_3$  (рис. 246, б) от электродвигателя постоянного тока. Стружка снимается неподвижным резцом только при рабочем ходе стола (наезд детали на резец). *Подачи* – прерывистое перемещение суппортов в любом из четырех направлений (вправо, влево, вверх, вниз) от отдельных двигателей с помощью однотипных, но отдельных на каждом суппорте, механизмов подачи. Подача резца  $S(P_1)$  происходит каждый раз во время реверсирования стола с обратного хода на рабочий, т.е. перед началом рабочего хода стола. *Вспомогательные движения.* Вертикальные суппорты 5 – поворотные, позволяющие обрабатывать



а – компоновка, б – движения

Рисунок 246 – Продольно-строгальный станок мод. 7212

По назначению протяжные станки делят на станки для внутреннего и наружного протягивания, по направлению и виду главного движения – на горизонтальные, вертикальные, с круговым движением протяжки или заготовки, непрерывные с конвейерным движением заготовки или протяжки, по степени универсальности – общего назначения и специальные, по числу рабочих позиций и инструментов – на одношпиндельные, двухшпиндельные и многошпиндельные, с одной, двумя или несколькими каретками.

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей самой разнообразной формы (рис. 247). Наибольшее распространение получили горизонтально-протяжные станки для внутреннего протягивания, вертикально-протяжные для наружного и внутреннего протягивания и горизонтально-протяжные для непрерывного протягивания.

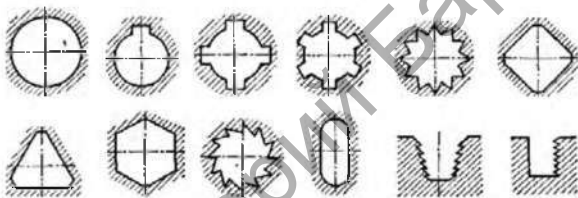


Рисунок 247 – Примеры протягиваемых профилей на станках для внутреннего протягивания

Основные параметры протяжных станков имеют следующие диапазоны: тяговое усилие 10–2000 кН; длина рабочего хода 630–6000 мм, наибольшая длина инструмента 400–11000 мм, скорость резания 1–50 м/мин и более; производительность 50–400 шт/час на станках возвратно-поступательного действия и до 3000 шт/час на станках непрерывного действия. Станки снабжены гидравлическим приводом, однако в станках непрерывного действия применяются электромеханический привод.

Разработка и производство протяжных станков развивается по двум основным направлениям: создание универсальных станков с широкими технологическими возможностями для мелкосерийного и индивидуального производства; создание специальных станков, автоматов и полуавтоматов с механизированными и автоматическими наладками для крупносерийного производства. Большинство протяжных станков имеют нормальную точность, что позволяет получать отверстия и размеры протянутых поверхностей по 7–9-му качеству.

Принцип работы горизонтально-протяжных станков в том, что инструмент (протяжка) узкой частью вставляют в предварительно обработанное отверстие заготовки и закрепляют замком головной части штока. Обрабатываемую заготовку упирают в приспособление или патрон, установленный на

Станки этой группы комплектуются рабочими патронами для протяжек с крупными хвостовиками и рабочим патроном для протяжек с плоскими хвостовиками.

Горизонтально протяжные станки для внутреннего протягивания в своем большинстве являются универсальными, они пригодны как для мелкосерийного, так и для среднесерийного производства, их конструкция приспособлена для быстрой переналадки на изготовление новых деталей. Станки этого типа с помощью несложных приспособлений можно использовать для наружного протягивания.

**Способы крепления инструмента и заготовки.** Одна из схем протягивания показана на рис. 249. Хвостовик протяжки 5 пропускают через отверстие обрабатываемой детали 7 и втулку 8 приспособления 6, установленного в опорной плите 9. Левый конец протяжки закрепляют в автоматическом патроне, состоящем из корпуса 4, специальной втулки 10 с внутренним диаметром, соответствующим протяжке, и двух сухарей 3. В показанном положении пружина 2, распирая деталь 1, связанную с штоком силового цилиндра, и корпус 4, сдвигает сухари 3, вследствие чего последние захватывают хвостовик протяжки. Когда протяжка перемещается влево, происходит обработка отверстия. Во время холостого хода протяжка возвращается в исходное положение. Корпус 4, подойдя к приспособлению 6, упирается в него и останавливается. Шток поршня 1 и муфта 1, продолжая движение и сжимая пружину 2, сдвигают втулку 10 вправо, сухари 3 попадают в выточку а, и движение прекращается. Теперь хвостовик протяжки можно свободно вытащить из отверстия втулки 10, вставить в следующую деталь и, установив снова, начинать обработку.

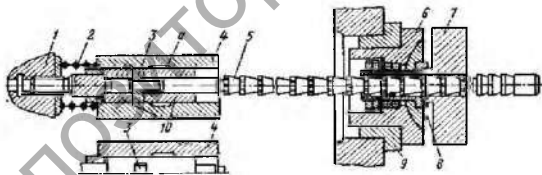


Рисунок 249 – Схема крепления инструмента и детали на протяжной операции

Горизонтальные протяжные станки для внутреннего протягивания очень легко поддаются автоматизации. Конструкции загрузочных приспособлений для них дешевы в производстве и надежно обеспечивают автоматическую работу станка в течение длительного времени. Использование протяжных станков в крупносерийном и массовом производстве без автоматических приспособлений говорит о низкой квалификации специалистов.

**Основные узлы и движения вертикально-протяжного станка.** Конструкция *вертикально-протяжного* станка для внутреннего протягивания аналогична конструкции горизонтально-протяжного, но установлен он для экономии площади цеха вертикально. Вертикальные протяжные станки для внут-

закрепляют на каретке 5, перемещающейся в вертикальных направляющих станины 6. При ходе протяжки вниз осуществляется рабочий ход, при ходе вверх – холостой ход. Станина – сварная, коробчатой формы, с внутренними ребрами жесткости. Каретка 5 представляет собой чугунную отливку с направляющими в форме ласточкина хвоста. Позади станины располагается гидропривод станка 7, система охлаждения – 4.

Аналогично устроен и двоянный вертикально-протяжной станок. Просто он имеет два стола и две каретки. Работа кареток согласована: если с одной стороны совершается рабочий ход, то с другой – холостой ход. Рабочие каретки и столы приводятся в движение при помощи гидропривода. На станках этого типа используют столы отводные, опрокидывающиеся, поворотные. Наибольшее распространение в настоящее время имеют отводные столы. Это связано с рядом их достоинств:

- простота конструкции;
- удобство размещения установочно-зажимных приспособлений;
- возможность повышения производительности при установке нескольких приспособлений для одновременной обработки нескольких заготовок;
- удобство для автоматизации загрузки-выгрузки деталей.

Конструкции отводных столов имеют и недостатки:

- большое количество стыков, снижающее жесткость системы;
- нежесткая конструкция стола.

Выпускаются протяжные станки для наружного протягивания с наибольшей тяговой силой 25–390 кН при наибольшем ходе каретки 0,8–1,25 м, мощностью 7–40 кВт. На рис.



Рисунок 251 – Детали, обработанные наружным протягиванием

251 представлены некоторые детали, обработанные наружным протягиванием. Жирными линиями показаны протягиваемые поверхности.

**Способы крепления инструмента и заготовки** зависят от обрабатываемой поверхности. При обработке внутренних поверхностей крепление инструмента и заготовки на вертикальном протяжном станке аналогично креплению на горизонтальном осуществляется за счет сил резания, но с соответствующими поправками. Для наружного протягивания эти схемы несколько отличаются. Во-первых, деталь нельзя, как раньше, удерживать в приспособлении силами резания. Для закрепления детали проектируется специальное зажимное приспособление. Во-вторых, деталь из него должна выступать консольно. Протяжка или группа протяжек закрепляются болтами на каретке. Взаимное положение заготовки и инструмента настраивается перемещением стола.

Кроме циклически работающих протяжных станков для обработки сквозных наружных поверхностей в массовом и крупносерийном производстве все большее применение получают **непрерывно-протяжные станки**, у которых перемещается не инструмент, а заготовки, непрерывно устанавливаемые на цепной конвейер и проходящие под протяжкой (рис. 252). Есть протяжные станки, у которых протяжка имеет форму диска (как дисковая пила, но

### 3.12 СТАНКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

**Сущность и схемы методов обработки (электроэрозионной, электрохимической, плазменно-механической, ультразвуковой, лучевой плазменной).** К методам электрофизической и электрохимической обработки (ЭФЭХ) относят разные по схемному и аппаратурному оформлению и назначению методы обработки, основанные на использовании электрической энергии или специфических физических явлений, создаваемых этой энергией, для удаления материала и (или) формоизменения обрабатываемой заготовки.

Методы электрофизической и электрохимической обработки можно сгруппировать по характеру основных реализуемых электрофизических или электрохимических явлений с учетом некоторых принципиальных особенностей, отличающих их от традиционных технологических методов обработки материалов, использующих преимущественно механическое (силовое) воздействие на обрабатываемые материалы. Главные из этих особенностей:

- электрофизическая и электрохимическая обработка любых материалов независимо от их механических свойств (твердости, вязкости, хрупкости и др.) осуществляется без приложения значительных механических усилий. Во многих случаях обработка проводится без механического контакта обрабатывающего инструмента с поверхностью заготовки;

- при электрофизической и электрохимической обработке полностью отсутствует нужда в применении специальных обрабатывающих инструментов, более твердых и прочных, чем обрабатываемый материал. Исключена необходимость передачи значительных механических усилий через систему СПИД, что позволяет упростить кинематику и уменьшить массу оборудования, так как достаточно обеспечить требуемую жесткость и точность узлов станка. Во многих случаях обрабатывающий инструмент вообще отсутствует, и его функции выполняет соответствующим образом сформированный поток электронов, ионов, фотонов и т.д.;

- с помощью электрофизической и электрохимической обработки можно выполнить множество технологических операций, не выполнимых методами обработки резанием или давлением, что позволяет конструктору на качественно новой основе решать задачи создания новых конструкций машин, механизмов, приборов; повышать надежность и технические параметры выпускаемой продукции;

- при электрофизической и электрохимической обработке во многих случаях сокращаются расход дорогих инструментальных и абразивных материалов и потери обрабатываемого материала;

- удельная производительность и скорость электрофизической и электрохимической обработки обычно не зависят от твердости и хрупкости обрабатываемых материалов. Трудоемкость и длительность обработки твердых и хрупких материалов меньше, чем при обработке резанием;

- методы электрофизической и электрохимической обработки можно частично или полностью механизировать и автоматизировать с использованием более простых и современных средств, чем при обработке резанием.

(ультразвуковая, электрогидравлическая, магнитно-импульсная). В-третьих, обработка, основанная на использовании разных воздействий одновременно (электроэрозионная, электрохимическая, ультразвуковая, плазменная, магнитная, электролитический нагрев).

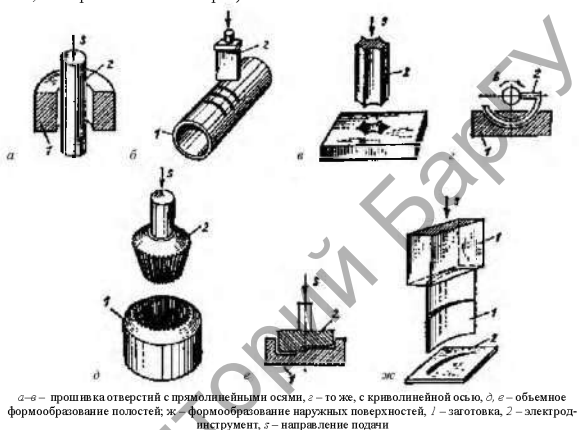
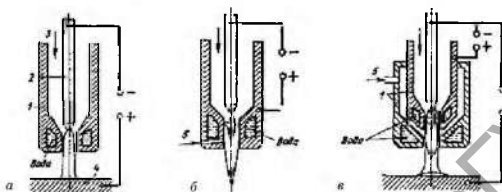


Рисунок 229 – Схемы электроэрозионного формообразования

Под общим названием **электроэрозионная** обработка объединена группа методов, характеризующаяся тем, что изменение формы, размеров, качества поверхности заготовки происходит под действием электрических разрядов в результате электрической эрозии-разрушения поверхности электродов при прохождении между ними электрических разрядов (рис. 229). В процессах электроэрозионной обработки материал заготовки в зоне обработки плавится или испаряется и удаляется в жидком или парообразном состоянии. Удаление обычно носит взрывной (импульсный) характер, протекая в короткий отрезок времени ( $10^{-5} - 10^{-7}$ с) на небольшом участке поверхности, в месте локализации канала разряда.

**Электроэрозионная** обработка бывает контактной (металл – металл) и бесконтактной (металл – плазма – металл). Контактный метод делится на контактный замыкания и контактный размыкания, а бесконтактный – на газоразрядный (электроискровая обработка, электроимпульсная обработка и в разрядах прочих видов: дуговой, тлеющем) и плазменный.

**Электрохимическая** обработка имеет две разновидности: отделочная обработка и размерная обработка.



*a* – с дугой прямого действия (с переносом дуги), *б* – с дугой косвенного действия (без переноса), *в* – комбинированного типа: 1 – сопло; 2 – вольфрамовый электрод; 3 – ввод плазмобразующего газа; 4 – изделие; 5 – канал для подачи присадочного порошка

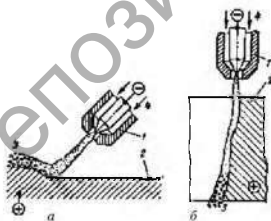
Рисунок 231 – Схемы плазматронов

со щеточным устройством; вводной шкаф; специальные центр и кулачок; устройство для связи вентиляционной системы с суппортом станка; модернизированную заднюю бабку; резец-вкладыш; спецоснастку. Процесс обработки заключается в том, что плазма, возникающая между электродом плазматрона и деталью, разогревая металл заготовки, снижает силы резания. Резец оснащается специальным резцовым вкладышем из сплава Т5К10 или ВК8 размером 40х64х80 мм со специальными отверстиями для подвода охлаждающей воды.

Еще один вид электрофизической и электрохимической обработки – **плазменная**, в которой для технологических целей используют определенным образом сформированную струю ионизированного газа (плазмы), нагревающую обрабатываемый материал до десятков тысяч градусов Кельвина. По характеру действия плазматроны делят на два основных типа – без переноса дуги и с переносом (рис. 231).

В плазматроне первого типа электрическая дуга горит между электродом из тугоплавкого материала (вольфрам, графит) и охлаждаемым водой соплом или каналом, а газ, проходящий через дугу, ионизируется и выходит из сопла в форме струи (факела) плазмы. В плазматроне второго типа дуга горит между электродом и обрабатываемым изделием, и струя плазмы совмещается со столбом электрической дуги. В зависимости от назначения и условий работы в качестве рабочих газов используются аргон, гелий, азот, их смеси и воздух.

С помощью плазмы производят резку металлов, напыление покрытий и восстановление изношенных деталей, сварку (рис. 232).



1 – плазматрон; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – удаляемый материал; 4 – направление подачи плазмобразующего газа

Рисунок 232 – Схемы процессов плазменной строжки (а) и резки (б)

С применением ультразвука выполняют мойку (рис. 234), обезжиривание, травление, очистку абразивных инструментов, гальваническое нанесение металлопокрытий, растворение, сушку, пеногашение, кристаллизацию из раствора, экстрагирование, фильтрование, очистку фильтров, пропитку волокнистых материалов жидкостью, пропитку пористых твердых тел, предотвращение образования накипи, ускорение схватывания бетона и строительных растворов, приготовление литейно-формовочных смесей.

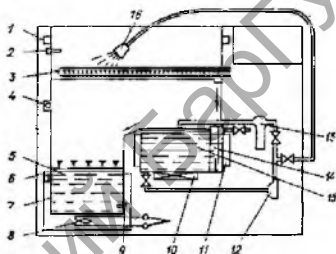
Сущность ультразвуковой мойки и очистки заключается в том, что под действием ультразвуковых колебаний достаточной интенсивности, вводимых в моющую жидкость, возникают физические явления, способствующие отрыву загрязняющих частиц от поверхности и их уносу моющей жидкостью. При обезжиривании, процесс тот же что и при ультразвуковой мойке, но вместо водных растворов используются органические растворители. Травление выполняют в кислотах.

В процессах гальванического нанесения покрытий, сушки, пеногашения и других благоприятное влияние ультразвука заключается в снижении сцепляемости частиц, уменьшении расстояния между ними и усилении взаимодействия.

**Светолучевая** (лазерная) обработка основана на использовании тепла, генерируемого специально сформированным световым лучом, который не расширяется в пространстве, и может переносить высококонцентрированную энергию и увеличивать ее плотность в месте фокусировки. При взаимодействии с веществом такой луч практически мгновенно расплавляет и испаряет материал в точке фокусировки луча (рис. 235).

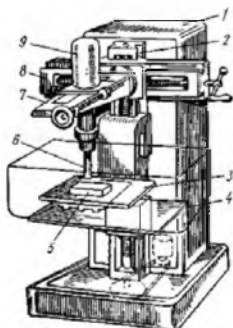
Основное назначение станков с лазерными установками – обработка микроотверстий и узких щелей в разных, в том числе и сверхтвердых (алмаз, рубин) материалах. Некоторые станки оснащаются системами ЧПУ, позволяющими вести обработку по программе.

Электрофизические и электрохимические методы обработки занимают одно из первых мест среди технологических процессов, обеспечивающих научно-технический прогресс.



1 – водяная рубашка; 2,6 – датчики контроля температуры; 3 – теплообменник; 4 – датчик концентрации смеси растворителей; 5 – секция с кипящим растворителем; 7 – водяная тепловая рубашка; 8 – электронагреватель; 9 – датчик контроля загрязнения растворителя; 10 – пьезокерамические излучатели; 11 – водоохлаждаемая рубашка; 12 – насос; 13 – фильтр; 14 – водоотделитель; 15 – ультразвуковая секция; 16 – разбрызгиватель

Рисунок 234 – Схема ультразвуковой установки для очистки УЗФ-3



1 – корпус; 2 – станция; 3 – рабочий стол;  
4 – ванна для рабочей жидкости;  
5 – деталь; 6 – электрод-инструмент;  
7 – поперечный суппорт; 8 – продольный суппорт; 9 – автоматический регулятор подачи

Рисунок 237 – Универсальный электронсиковой станок

8000 мм<sup>3</sup>/мин) и используются для обработки штампов, прессформ, разнообразных фасонных отверстий, волочильных калибрующих глазков (фильер). Этот метод в СССР разработан в 1951 г

Благодаря меньшей температуре дугового разряда (4000–5000°С) и использованию инструментов из углеграфита (с температурой плавления 3700°С), удалось уменьшить износ инструмента до 1%, а расход энергии – в 2 раза.

На заводах электронной, радиоэлектронной и вычислительной техники этот способ широко используется для точного изготовления как относительно больших деталей, например, пружин длиной до 300 мм и медных гребенок длиной до 45 мм, так и миниатюрных и сверхминиатюрных деталей с очень высокими требованиями по точности (0,5–2 мкм) и шероховатости ( $R_a = 0,1-0,025$  мкм,  $R_z = 0,1-0,05$  мкм) обработанной поверхности. Например, в элементах замедляющих систем электронных приборов прорезают перекрещивающиеся или зигзагообразные пазы, наибольшая и наименьшая ширина которых равна соответственно 100–65 и 30–7 мкм. При обработке больших заготовок обычно используют медную проволоку диаметром 50–100 мкм, а для изготовления прецизионных деталей – вольфрамовую диаметром менее 6 мкм.

*Вырезные станки* (рис. 239) широко применяются для обработки деталей в машиностроении, так как отвечают высоким требованиям по точности и степени автоматизации. На вырезных станках изготавливают детали вырубных

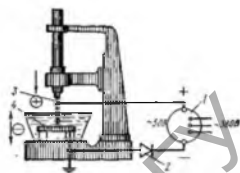


Рисунок 238 – Принципиальная схема станка для электроимпульсной обработки

следующих параметрах сетки: диаметр –  $4,0^{+0,005}$  мм, толщина – 0,2 мм, шаг перемычек –  $(0,250 \pm 0,005)$  мм, ширина перемычек –  $(0,30 \pm 0,002)$  мм, количество отверстий – 200.

Станки для *электроимпульсной* (импульсно-дуговой) обработки (рис. 238) имеют гораздо большую производительность (до

При *копировально-прошивочных* работах изменение формы и размеров заготовки происходит за счет электрической эрозии в результате отображения в заготовке формы фасонного электрода. Точки поверхности заготовки задаются в координатах XYZ, а обработка ведется, как правило, вдоль оси Z (см. рис. 244). Копировально-прошивочные станки с ЧПУ (рис. 239) имеют несколько видоизмененную схему формообразования: управление осуществляется обычно по всем 3-м координатам, дается через зубчатую передачу 9, обеспечивающую один оборот вала сельсина на 10 мм перемещения пиноли.

*Ультразвуковые* станки в отличие от электроэрозионных, обрабатывающих только токопроводящие материалы, могут быть использованы для обработки не проводящих ток хрупких и твердых материалов (кварц, стекло, алмазы, кремний, фарфор, рубин, спеченные твердые сплавы и др.). Настольный универсальный прошивочный ультразвуковой станок мод. 4770 (рис. 240, б) предназначен для обработки заготовок из твердых и хрупких материалов: стекла, полупроводниковых материалов, технических камней, керамики, твердых сплавов. Основные технические характеристики станка – диаметр обрабатываемого отверстия (сплошным инструментом)  $D = 0,5–10$  мм, максимальная глубина обработки (2–5)  $D$ , рабочая частота  $f = 18–19$  кГц, мощность генератора 0,25 кВт. На станке можно обрабатывать круглые и фасонные отверстия и полости, гравировать, разрезать и вырезать заготовки.

Координатный стол 7 перемещается в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Ходовые винты снабжены лимбами с ценой деления 0,02 мм. Ползуну 10 вручную сообщается перемещение по шариковым направляющим станины 6 через реечную передачу 15 или от электродвигателя 14 через редуктор 13. Электродвигатель работает на заторможенном режиме, развивая крутящий момент в соответствии с силой подачи инструмента. Ползун вместе с головкой 8 уравновешен грузом 18 через ленту 17, намотанную на барабан 16 валика ручной подачи. Плавность хода ползуна обеспечивается демпферным гидравлическим устройством 9 с поршнем 11. В головке 8 применен никелевый магнитоотрицательный вибратор.

Главное движение при ультразвуковой обработке (рис. 240, а) – продольные колебания инструмента 2 с ультразвуковой частотой. Идут иметь место следующие движения подачи: продольные, поперечные или круговые. Область применения размерной ультразвуковой обработки – изготовление твердосплавных матриц сложной формы, обработка фильер из технических алмазов, изготовление деталей сложной конфигурации из стекла, кварца, фарфора, феррита и другие.

Ультразвуковая обработка обеспечивает получение размеров с точностью по 7–9 квалитетам, шероховатости обработанных поверхностей с  $Ra = 0,80–0,20$  мкм, скорости обработки стекла и кварца 2–15 мм/мин, закаленной стали (при твердости HRC<sub>2</sub> 46,5–56) 0,05–0,1 мм/мин и твердых сплавов 0,3–0,5 мм/мин.

Основным узлом станка является акустическая головка 3, которая сообщает инструменту колебательное движение. В головке применен двухсторонней никелевый магнитоотрицательный вибратор (преобразователь).

воздействие на обрабатываемый материал и возникают минимальные деформации, что позволяет осуществлять обработку с высокой точностью, в том числе нежестких заготовок (рис. 242).

Получение готовых деталей с помощью лазерной резки осуществляется на лазерных технологических комплексах, позволяющих в зависимости от назначения и состава входящих в него устройств обрабатывать изделия сложной плоской и объемной формы. В общем случае комплекс для лазерной резки состоит из следующих частей: излучатель; координатное устройство (приводы относительных перемещений обрабатываемой заготовки и луча); система формирования и транспортировки излучения и газа; автоматизированная система управления комплексом и технологическим процессом.

*Лазерный станок* мод. 4P222Ф2 (рис. 243) оснащен системой ЧПУ для размерной обработки металлов и различных заготовок из труднообрабатываемых материалов – алмазных волок, инструмента из эльбора, керамики и др.

В станке использован твердотельный оптический квантовый генератор (лазер) с большой импульсной мощностью. Фокусирование излучения на деталь позволяет достигать плотности мощностью 1,07 ... 1,08 МВт/м<sup>2</sup>, при которой происходит испарение практически любых материалов.

**Особенности конструкций станков с ЧПУ** и их технологические возможности. *Электроэрозионные вырезные* станки могут оснащаться различными системами управления: аналоговыми (электро-контактной или фотокопировальной) или устройствами ЧПУ.

Особенности конструкции станков определяют их технологические преимущества: не требуется фасонный инструмент, нет необходимости делать поправки на износ электрода, возможно получение мелких деталей сложной формы, в том числе деталей с эквидистантным профилем (например, матриц и пуансонов) с использованием одной программы ЧПУ, возможность автоматизации, использование в качестве рабочей жидкости воды, эффективная обработка опытных образцов деталей и профильных калибров (рис. 244).

Автоматизированная система управления (АСУ) служит для контроля и управления параметрами лазера, для передачи команд на исполнительные механизмы системы формирования и транспортировки излучения и газа, для управления относительным движением обрабатываемой заготовки и резака.

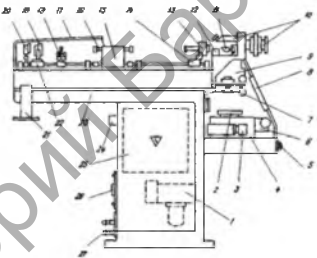


Рисунок 243 – Общий вид станка мод. 4P222Ф2

ме обработки резанием на некоторых станках производят штамповку, сварку, термообработку, сборку, клеймение, контроль. Особый интерес представляет применение АС в автоматических станочных линиях, что уменьшает время изготовления и постройки линий.

*Принцип агрегатирования* станков основан на том, что вместо разработки всех узлов при проектировании нового станка используют ранее разработанные узлы, компоную которые в соответствии с технологическим процессом обработки детали, получают новый станок. Конструкторскими бюро АС предварительно разрабатываются несколько однотипных узлов (агрегатов) разного размера и мощности, называемых нормализованными или унифицированными, позволяющих спроектировать станок, довольно хорошо соответствующий технологическому процессу обработки детали. Кроме того, стараются эти агрегаты делать самодельствующими, снабжая каждый своим двигателем.

Рассмотрим подробнее плюсы *агрегатирования* станков:

а) агрегатирование дает возможность создания оборудования по наиболее выгоднейшему технологическому процессу. Когда намечается применение АС, сначала разрабатывают наиболее выгоднейший процесс обработки детали, а потом по этому процессу в короткие сроки компоную станки из готовых узлов;

б) использование многоинструментной обработки резко повышает производительность работы;

в) появляется возможность выполнения самых разных операций на одном станке;

г) создается возможность многократной обратимости конструкций станков, т.е. многократного использования одних и тех же узлов для создания станков разных компоновок. Это обеспечивает быструю перестройку производства и способствует совершенствованию конструкций машин, детали которых обрабатываются на АС;

д) агрегатный принцип проектирования оборудования позволяет постоянно совершенствовать само оборудование, так как надо модернизировать не весь станок, а лишь тот узел, который устарел;

е) принцип агрегатирования создает благоприятные условия для узлового ремонта станков. Вышедший из строя узел можно быстро заменить новым со склада (если он там лежит, увеличивая стоимость основных средств);

ж) с использованием АС повышается надежность работы оборудования, так как станки создаются из проверенных нормализованных узлов;

з) возможность создания станков разного назначения из одинаковых агрегатов резко повышает серийность изготовления этих узлов, что их удешевляет.

Наряду с плюсами у АС есть и минусы, предопределившие их закат на небосклоне машиностроения, даже массового:

а) при малейшем изменении конструкции обрабатываемой детали их уже нельзя использовать. Для новой детали, даже мало отличающейся от прежней по обрабатываемым поверхностям, надо делать новый специальный станок;

б) специальные станки стоят довольно дорого и имеют узкую область применения – массовое производство.

боковые станины 1. Для присоединения и точного фиксирования боковых станин на боковых привалочных плоскостях средней станины имеются пазы для шпонок. У передней грани средней станины организуется загрузочная позиция, а одна из боковых (например, срезанная как фаска) используется для уборки стружки. На стойке 2 в вертикальном положении помещают силовой стол. В стойке имеется противовес, служащий для уравнивания подвижных узлов: стола, шпиндельной коробки с упорным угольником 4 и инструментальной наладкой, а также кондукторной плиты. На боковых станинах 1 устанавливаются силовые столы, силовые головки или вертикальные стойки.

*Станины* служат для компоновки однопозиционных или многопозиционных агрегатных станков с силовыми головками. Крутые и полукрутые станины позволяют компоновать многопозиционные агрегатные станки с поворотным делительным столом. Вместо поворотного делительного стола может быть установлено стационарное зажимное приспособление. Делаются двухсторонние и односторонние станины.

Кроме прямых стоек делают арочные, которые позволяют устанавливать силовые головки с выдвигной пинолью в вертикальном или наклонном положении на тех же позициях агрегатного станка, на которых устанавливаются и горизонтальные головки. Вариант установки на одной рабочей позиции вертикальной и горизонтальной головок позволяет одновременно обрабатывать детали в разных плоскостях, что повышает производительность.

*Упорные угольники* представляют собой кронштейн для установки многшпиндельных коробок. Угольник (рис. 255) имеет две взаимно перпендикулярные установочные плоскости А и Б, одна из которых служит для крепления шпиндельной коробки, а вторая сопрягается с зеркалом платформы силового стола.

*Многопозиционные столы*, как и базовые детали, относятся к унифицированным элементам АС и предназначены для закрепления на них приспособлений с заготовками. Столы совершают периодический круговой перенос обрабатываемых деталей из одной позиции в другую и точную фиксацию относительно режущих инструментов. Конструкции поворотных столов можно разделить в зависимости от плоскости поворота в пространстве: в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 266 и 267). Столы делаются в виде круглых или кольцевых поворотных, а также прямоугольных с прямолинейным перемещением в горизонтальной плоскости и барабанов для поворота в вертикальной плоскости. В последнем случае деталь можно обрабатывать сразу же с двух сторон.

Размерный ряд столов включает узлы с диаметрами планшайбы 500, 630 и 800 мм, построенные по одинаковой кинематической схеме. Планшайба может поворачиваться по часовой стрелке на 180, 120, 90, 72, 60, 45, 40, 36 и 30 градусов, но деление окружности может выполняться и на заданное количество неравных углов. Среди механизмов поворота стола часто используется мальтийский крест.

*Электромеханический поворотный делительный стол* состоит из собственно стола (планшайбы), основания и редуктора (рис. 256). Нижней плоскостью стол установлен на приваленную плоскость средней станины. От кнопки

движения отделен от механизма подачи и данное устройство выполнено в виде двух независимых узлов: *силового стола* и *силовой бабки*.

Независимый привод стола осуществляется с помощью электродвигателей, редуктора и пары винт-гайка. На силовом столе устанавливают силовые бабки, имеющие отдельный привод главного движения, индивидуальный рабочий шпиндель или приводной вал, вращающий шпиндель шпиндельной коробки. Движением стола управляют система упоров и конечные электрические переключатели.

*Силовые столы* предназначены для установки на них узлов главного движения (расточных, сверлильных, фрезерных бабок; упорных угольников со шпиндельными коробками) или зажимных приспособлений с обрабатываемыми заготовками и сообщения им прямолинейных рабочих движений подачи. Широко применяются силовые столы с винтовым приводом подачи. Наряду с винтовыми парами скольжения в силовых столах используются винтовые пары качения, отличающиеся высокой долговечностью и обеспечивающие за счет плавности перемещения стола высокую долговечность режущего инструмента. Многие агрегатные станки komponуются на базе гидравлических силовых столов. Силовые столы могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях. При вертикальном или наклонном варианте установки стола его движущаяся часть уравнивается грузом-противовесом, который размещается внутри стойки и подвешивается на двух втулочно-роликовых цепях или стальных канатах.

Стол используется в качестве механизмов подачи агрегатных станков для обработки средних и крупных деталей. Основной рабочий цикл силовых столов: ускоренный подвод – рабочая подача (одна или две) – выдержка на жестком упоре – быстрый отвод.

В зависимости от типоразмера наибольшая длина хода стола 250...1250 мм, а наибольшая сила подачи 6,3...100 кН. Привод с гидроцилиндром обеспечивает бесступенчатое регулирование подачи и достаточную точность переключения с быстрого хода на рабочую подачу (выбег до -0,5 мм).

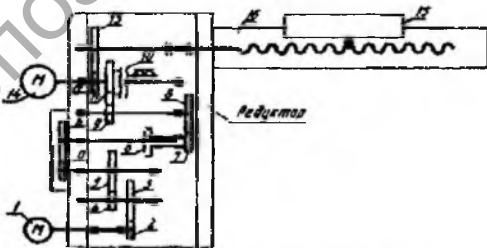


Рисунок 257 – Кинематическая схема силового стола

ванные силовые узлы АС, определяющие технологические возможности станков. Силовые головки совмещают функции привода шпиндельного узла и силового стола, т.е. предназначены для сообщения инструменту главного движения, рабочей подачи и установочных перемещений. В большинстве случаев осуществляются циклы движений, включающие быстрый подвод инструмента, одну или две рабочие подачи (в зависимости от технологического процесса), выдержку на жестком упоре (при необходимости), быстрый отвод и остановку в конце хода. Программа движений осуществляется автоматически. В единой гамме унифицированных узлов предусмотрены самодействующие гидравлические малогабаритные пинольные головки и самодействующие плоскокулачковые пинольные головки. Первые не могут выполнять свою функцию отдельно от станка, так как источник энергии для движения подачи насос находится вне головки. Пиноль силовой головки вместе с насаженной на нее шпиндельной коробкой выдвигается (движение подачи) с помощью гидроцилиндра или кулачка. Шпиндель головки, расположенный внутри пиноли, передает вращение от двигателя шпиндельной коробки.

Основными параметрами силовых головок являются мощность привода главного движения, наибольшая сила подачи, частота вращения приводного вала шпинделя головки, пределы подач, скорость быстрых перемещений, длина рабочего хода, точность переключения механизма подачи, габаритные размеры.

Существует несколько основных признаков классификации силовых головок:

- по типу подачи – электромеханические (кулачковые и винтовые), гидравлические и пневмогидравлические;
- по конструктивному признаку – с выдвигной пинолью (самодействующие) и с подвижным корпусом (несамодействующие).

На рисунке 259 показана схема малогабаритной силовой головки ГС (02–06) с плоскокулачковым приводом подачи и выдвигной пинолью. Предназначена для сверления, развертывания, торцевания и нарезания резьбы. При оснащении специальными приспособлениями можно выполнять фрезерование, обтачивание и растачивание кольцевых канавок в отверстиях. Ее конструкция предусматривает возможность оснащения многошпиндельной насадкой, механизмом обратного хода, механизмом двухсторонней обработки и другими устройствами.

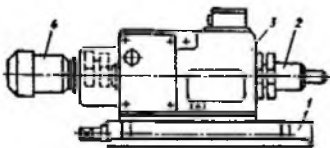


Рисунок 259 – Малогабаритная силовая головка

Корпус 3 головки смонтирован на салазках 1, закрепляемых на станине. При наладке станка корпус головки можно вручную (при помощи винта) перемещать вдоль салазок. Во время работы корпус головки неподвижен. Головка обеспечивает режущему инструменту вращательное и поступательное движение при резании деталей стержневыми инструментами и может применяться

Силовая головка модели ГС применяется, как правило, в компоновках малых агрегатных станков с автоматическим или полуавтоматическим циклом работы.

**Барабанно-кулачковые силовые** головки (рис. 261) с подвижной пинолью или с подвижным корпусом применяются для сверлильно-фрезерных и резбонарезных операций, мощность их 0,1–6 кВт.

**Силовые головки с гидроприводом** показаны на рис. 262. От двигателя 4, через пару зубчатых колес и ременную передачу вращение передается через втулку 1 на шпindel 2, который установлен внутри пиноли 3, являющейся поршнем гидропривода подачи. При перемещении поршня вправо шпindel скользит внутри втулки, с которой имеет подвижное шпоночное соединение. На боковых поверхностях силовой головки устанавливают упоры, воздействующие на электрическую и гидравлическую аппаратуру управления.

Гидравлические силовые головки применяют для выполнения как легких, так и тяжелых работ при обработке деталей средних и больших размеров. Имея при необходимости мощный привод главного движения (0,27–30 кВт) и преодолевая большие усилия подачи (0,4–100 кН), они позволяют осуществлять наибольшую концентрацию операций. Гидропривод обеспечивает бесступенчатое регулирование подачи в пределах 0,12–14 мм/с и скорость быстрых перемещений 50–125 мм/с. Малое время холостых ходов обусловлено достаточной точностью переключения с быстрых ходов на рабочие подачи и наоборот (выбег составляет 0,18–0,47 мм). Частота вращения инструмента до 9000 мин<sup>-1</sup>, а для сверления

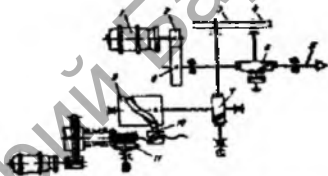


Рисунок 261 – Барабанно-кулачковая силовая головка

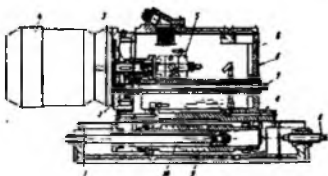


Рисунок 262 – Силовая головка с гидроприводом

отверстий диаметром менее 1 мм шпindel делает до 24000 мин<sup>-1</sup>. Большая жесткость, надежная защита от перегрузки и самосмазываемость деталей привода обеспечивают силовой головке высокие эксплуатационные качества. К числу недостатков гидравлических головок относят сложность эксплуатации и ремонта гидропанелей, нестабильность подачи при резко меняющихся силах резания и невозможность нарезать резьбу.

Быстрые перемещения в агрегатных станках с гидроприводом составляют по времени до 50%. Увеличение скорости быстрых ходов более 5 м/с

К преимуществам силовых головок с винтовым приводом следует отнести также более простую конструкцию и аппаратуру управления; с помощью данных головок можно нарезать резьбу. К недостаткам головок относятся сложность электрической схемы, ступенчатое изменение подачи, трудности при получении малых подач. Вследствие большой инерционности во время быстрых перемещений точность переключения движения стола на рабочую подачу низка (выбег до 2,5 мм), поэтому эти головки требуют большей величины хода на врезание (на 2–3 мм больше нормативного).

**Пневмогидравлические силовые головки** работают с применением сжатого воздуха в сочетании с гидравлическим регулированием величины подачи.

Самодействующие **многошпиндельные силовые** головки предназначены для сообщения режущим инструментам вращательного и поступательного движения. Корпус 3 (рис. 264) перемещается по направляющей плите 17 гидроцилиндром 18, гильза которого крепится к головке, а шток – к направляющей плите.

Масло в гидроцилиндр поступает через гидропанель 10 от сдвоенного пластинчатого насоса 6, вращение которому передается от электродвигателя 9 через зубчатый редуктор и упругую муфту 7. Насос расположен в полости 5 корпуса 3, которая заполняется маслом. Чтобы масло не вытекало, в корпусе имеется труба 4 с уплотнительными кольцами. Масло заливается через закрываемое пробкой 12 отверстие и сетчатый фильтр 11. Головка переключается на различные переходы цикла перемещением распределительного золотника гидропанели подач с помощью кулачков 16 либо посредством электромагнитов, включаемых конечными переключателями 14, на которые воздействуют кулачки 15 (электрические упоры управления). Количество и расположение упоров управления зависят от цикла работы головки. В бачке 13 находится масло для смазки направляющих.

Многошпиндельная коробка 1 крепится к фланцу корпуса головки. Шпиндели вращаются с помощью приводного вала 2 от электродвигателя 9 через пару зубчатых колес 8.

**Виды компоновок агрегатных станков и их зависимость от назначения станка.** *Компоновки агрегатных станков* условно делятся на четыре группы:

а) на станках нет устройства для периодического транспортирования обрабатываемых деталей, т.е. детали остаются неподвижными в течение всего цикла обработки. При одной установке можно обрабатывать на разных сторонах детали поверхности, точно связанные друг с другом, например, отверстия в корпусе редуктора или в чашке дифференциала, цапфы крестовины карданного вала. Благодаря тому, что приспособление неподвижно, можно достичь относительно высокой точности обработки;

б) АС имеют поворотный делительный стол. Обычно на нем помещается многопозиционное приспособление; последовательная обработка детали производится несколькими инструментами. Периодическое перемещение приспособлений вместе с обрабатываемыми деталями из одной позиции в другую производят при помощи многопозиционных столов: поворотных или с прямолинейным движением. При обработке заготовка, как правило, непод-

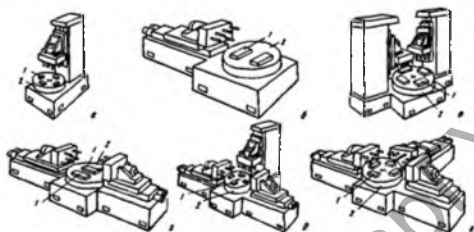


Рисунок 266 – Типовые компоновки агрегатных станков с поворотным делительным столом

(рис. 266) выполняются в вертикальном (рис. 266, а, в), горизонтальном (рис. 266, б, г, е) и вертикально-горизонтальном (рис. 266, д) исполнениях. Заготовка закрепляется в приспособлениях 1, устанавливаемых на делительном столе, и обрабатывается последовательно с одной, двух и трех сторон на нескольких позициях стола.

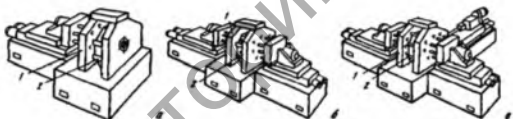


Рисунок 267 – Типовые компоновки агрегатных станков с поворотным делительным барабаном

Агрегатные станки с поворотным делительным барабаном 1 и приспособлением 2, совершающем круговое движение, показаны на рисунке 267. Заготовки обрабатываются с одной (рис. 267, а), двух (рис. 267, б) или трех (рис. 267, в) сторон.

Типовая компоновка АС с прямолинейным движением стола 3 с заготовками 2 относительно силовых головок 1 показана на рис. 268.

**Конструктивные особенности силовых узлов агрегатных станков.** Предварительная схема компоновки и использование тех или иных силовых узлов определяется видом выполняемой работы, числом переходов и операций и последовательностью обработки. Основным моментом при выборе схемы компоновки станка является положение обрабатываемой детали на станке, так как это влияет на конструкцию приспособления

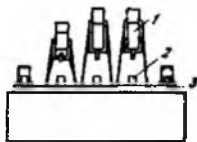


Рисунок 268 – Компоновка агрегатных станков с прямолинейным перемещением заготовок

устанавливаются на силовой узел станка (силовую головку, силовой стол), сообщаящий им рабочую подачу и установочные перемещения.

Для подрезания торцов бабки оснащаются механизмами поперечных подач и планшайбами. В комплекте с приводом главного движения и силовыми столами бабки могут устанавливаться на горизонтальное, вертикальное или наклонное основание для обработки поверхностей, расположенных под разными углами.

В компоновках агрегатных станков и автоматических линий применяется большое количество разнообразных шпиндельных узлов. Наибольшее распространение имеют многошпиндельные коробки для сверлильной и резьбонарезной обработки.

Сверлильные *шпиндельные коробки* (рис. 269) предназначены в большинстве случаев для обработки деталей по направляющим втулкам (кондуктору). Они выполняют всевозможные виды обработки отверстий (для нарезания резьбы имеются модификации коробок) и могут иметь до 80 шпинделей 1.

Невозможно целиком унифицировать шпиндельные коробки, так как бесчисленны варианты чисел, типов, расположения шпинделей, межцентровых расстояний. Поэтому унифицированы комплекты литья, шпиндели с опорами, промежуточные валы с опорами, зубчатые колеса, подшипники качения, распорные втулки и узлы смазки и все другие детали, в том числе корпуса, подготовленные под расточку. Оригинальными являются чертеж расположения отверстий на корпусе коробки и сборочный чертеж.

Конструкция шпиндельной коробки (рис. 270) позволяет получить на шпинделях широкий диапазон чисел оборотов, а гамма унифицированных шпинделей – крепить переходные инструментальные оправки следующих диаметров:

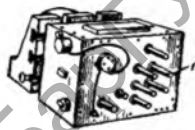
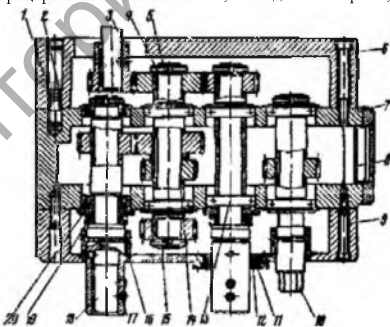


Рисунок 269 – Шпиндельная коробка



- 1 – штифт; 2 – втулка; 3 – приводное зубчатое колесо, 4 – шайба, 5 – гайка; 6 – плита задняя; 7 – корпус; 8 – лоток; 9 – передняя крышка; 10 – вал проворота шпинделей, 11 – фланец; 12 – манжета; 13 – радиальный шарикоподшипник; 14 – втулка распорная, 15 – промежуточный вал, 16 – стакан; 17 – стопорный винт; 18 – шпиндель, 19 – упорный шарикоподшипник, 20 – фланец упорный

Рисунок 270 – Типовая компоновка многошпиндельной коробки

*Резьбонарезные шпиндельные коробки*, осуществляющие только нарезание резьбы, имеют различное конструктивное исполнение в зависимости от силового органа.

*Сверлильные бабки* предназначены для сообщения режущему инструменту вращательного (главного) движения при сверлении, зенкерования, развертывании, цековании. Сверлильные бабки могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях (рис. 272).

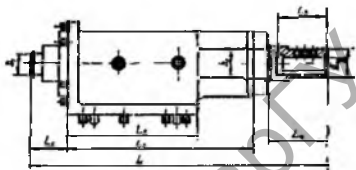


Рисунок 272 – Сверлильная бабка

Приводом сверлильной бабки может служить ременной редуктор или коробка скоростей с зубчатым редуктором. Ременной редуктор применяется при операциях чистовой обработки.

*Расточные бабки* служат для сообщения режущему инструменту вращательного (главного) движения при черновом и чистовом растачивании, обтачивании, зенкерования и подрезании торцов осевой подачей инструмента (рис. 273).

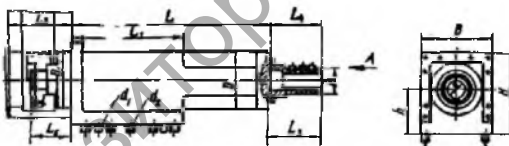


Рисунок 273 – Расточная бабка

Для получения движения подачи расточная бабка устанавливается на силовой стол. Если движение подачи сообщается обрабатываемой детали, расточная бабка может устанавливаться на неподвижную станину или стойку. Расточные бабки могут работать в горизонтальном, вертикальном или наклонном (при направлении движения рабочей подачи сверху вниз) положениях. В качестве привода расточной бабки применяется ременной редуктор или коробка скоростей с зубчатым редуктором.

*Резьбонарезные бабки* (рис. 274) применяются для сообщения главного движения резьбообразующему инструменту и позволяют методом самозатягивания нарезать наружную и внутреннюю резьбу резьбонарезными головками и накатывать наружную резьбу резьбонакатными головками. Резьбонарезные бабки выполнены на базе расточных бабок и представляют собой встроенный в корпус шпиндель, внутри которого установлен другой

## ГЛАВА 5 МНОГООПЕРАЦИОННЫЕ СТАНКИ

**Назначение многоцелевых станков.** После широкого распространения станков с ЧПУ для выполнения отдельных операций стало ясно, что нужны станки для комплексной обработки деталей. Однооперационные станки, автоматизируя одну операцию, не решали до конца поставленную перед ними задачу существенного снижения затрат на производство, т.к. незавершенное производство, оставшиеся большими складские и транспортные расходы в купе с дальнейшей обработкой на неавтоматизированных станках съедали полученную на станках с ЧПУ экономию.

Тогда, наряду со станками для отдельных операций, появились многооперационные станки с ЧПУ, способные выполнять разную работу: фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы. На многоцелевом станке, называемом еще "обрабатывающий центр", имеются развитая система ЧПУ, автоматический инструментальный магазин, что позволяет автоматизировать весь цикл обработки: формообразование, изменение режимов резания, смену режущих инструментов, повороты и смену обрабатываемых деталей, выполнение вспомогательных команд.

По назначению многооперационные станки делятся на две группы: для обработки корпусных и плоских деталей и для обработки деталей типа тел вращения. Для обработки деталей с разных сторон станки снабжают прецизионными поворотными столами, индексирующимися через угол  $90^\circ$  или способными поворачиваться на разные углы, заданные программным управлением. Для совмещения времени установки новых заготовок с основным временем работы станки оснащают дополнительными устройствами, в результате чего время смены заготовок снижается до нескольких секунд. Одной из особенностей этих станков является тенденция к максимальному выполнению обработки одним инструментом и полной обработки сложных деталей по программе с минимальным числом перестановок детали, а иногда и с одной установки. При этом имеется тенденция выполнять на одном станке как черновые, так и чистовые операции (переходы), обеспечивая в конструкции станка минимальный износ деталей и длительное сохранение точности.

- 1) консольный горизонтально-фрезерный станок;
- 2) горизонтально-расточной станок:
  - по виду стола (с поворотным, крестовым, прямоугольным);
  - по виду обрабатываемых деталей (корпусные или тела вращения);
  - по конструкции инструментального магазина (револьверная головка или многоинструментное устройство);
  - по конструкции главного привода (с асинхронным электродвигателем, с двигателем постоянного тока, с гидродвигателем);
  - по характеру работы привода подачи (перемещение пинноли с инструментом или стола с деталью);
  - по конструктивному исполнению механизма автоматической смены инструмента (с заменой шпиндельного узла или поворотом револьверной головки, со сменой инструмента в шпинделе станка; комбинированные);
  - по методу крепления инструмента (с цилиндрическим или коническим хвостовиком);
  - по количеству шпинделей (одно и двухшпиндельные).

В целом выпускаемые многооперационные станки чаще всего по своей компоновке напоминают один из типов универсальных станков, на базе которых они создаются. В связи с этим по характеру преобладающих переходов в процессе обработки необходимо различать сверлильно-фрезерно-расточные, расточно-фрезерно-сверлильные, фрезерно-сверлильно-расточные (рис. 277) и токарные многооперационные станки.

**Устройства для автоматической смены инструментов** являются основной отличительной особенностью многооперационных станков. Инструментом у многоцелевого станка называют комплект из собственно режущего инструмента и инструментальной оправки, которая, как правило, центрируется в шпинделе станка по конической поверхности и редко – по цилиндрической. Обычно в качестве присоединительной поверхности оправки применяется несамотормозящий конус 7 : 24 (рис. 278). *Переходные оправки* разнообразных конструкций дают возможность использовать на станке инструменты разных типов и размеров. Все оправки данного станка должны иметь одинаковые элементы для базирования, зажима и восприятия крутящего момента. Крутящий момент от шпинделя на инструментальную оправку может передаваться торцевыми шпонками, но при этом надо ориентировать

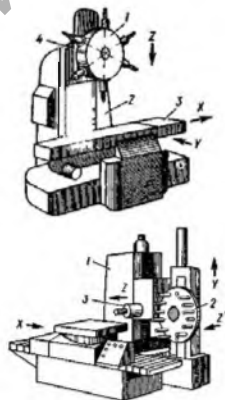


Рисунок 277 – Компоновка многооперационных станков на базе вертикально-фрезерного станка с револьверной головкой и горизонтально-расточного станка

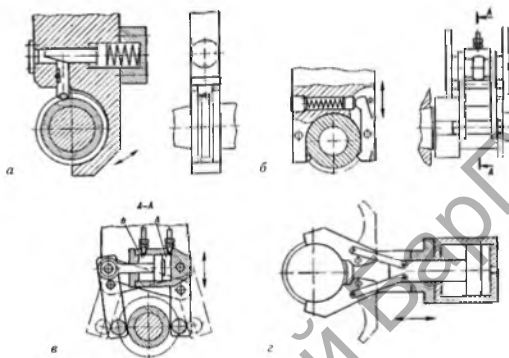


Рисунок 279 – Различные виды захватов

мом инструментов (рис. 280, ж), но движение захвата по дуге окружности не позволяет располагать инструменты близко друг от друга. Когда инструментальный магазин находится близко от шпинделя, целесообразно применять автооператоры с комбинированным движением захвата (рис. 280, е). Для извлечения из шпинделя отработавшего инструмента и загрузки нового в направлении оси шпинделя может перемещаться как инструмент (рис. 280, б), так и автооператор (рис. 280, а, е). В некоторых случаях (рис. 280, ж) в необходимом для смены инструмента положении поворачивается инструментальная оправка.

С целью ускорения смены инструментов в сочетании с инструментальным магазином применяется двухшпиндельная револьверная головка. Во время работы одного шпинделя в другом меняется режущий инструмент. По окончании технологической операции револьверная головка поворачивается на  $180^\circ$  и в течение 1–2 секунды в работу вступает новый инструмент (рис. 281). Инструменты точные и ответственные, тяжелые и крупногабаритные (все неудобные для размещения в магазине), а также многошпиндельные головки на некоторых станках меняют вручную по команде программы.

Многоцелевые станки, производящие последовательную обработку одним инструментом, недостаточно производительны. В связи с этим разрабатываются конструкции быстроперенастраиваемых станков с автоматической сменой многошпиндельных головок. Они эффективны в мелкосерийном и серийном производствах при изготовлении корпусных деталей. Небольшие многошпиндельные головки с 6–8 инструментами устанавливаются в обычном магазине.

инструмента в гнезде подается команда на перемещение манипулятора к магазину, автооператор поворачивается из своего исходного положения и одновременно захватывает обработавший и новый инструменты (рис. 282, а). Механизм зажима освобождает оправку шпинделя. Включается двигатель автооператора. Происходит зажим инструментов в захватах руки. Автооператор перемещается в осевом направлении, извлекая предыдущий инструмент из шпинделя, а последующий – из магазина (рис. 282, б), затем поворачивается на 180°, меняя местами обработавший и новый инструменты (рис. 282, в), и перемещается в осевом направлении, посылая новый инструмент в шпиндель, а использованный – в гнездо магазина, захваты руки разжимаются. Механизм зажима закрепляет новую оправку в шпинделе. Автооператор, поворачиваясь, приходит в исходное положение. Весь цикл смены инструмента занимает 5–6 с. Смена инструмента происходит при остановке шпинделя в определенном угловом положении для ориентирования торцовых шпонок, входящих в пазы фланца инструмента.

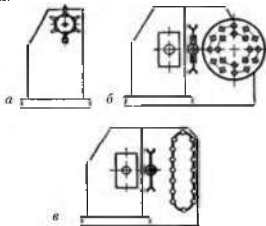


Рисунок 282 – Последовательность работы автооператора

**Инструментальные магазины** имеют конструкцию, зависящую от назначения самого станка. Инструментальные магазины могут быть установлены на шпиндельной бабке, на станине – колонне, на суппорте, вне станка на отдельной стойке и на столе станка (рис. 283). Каждый вариант имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Емкость *стационарного магазина*, установленного на столе станка при равной занимаемой площади, значительно больше поворотного магазина. Кроме того стационарный магазин не требует дополнительных транспортных устройств. Недостатком стационарного магазина, установленного на столе станка, является то, что движения при смене инструмента выполняются последовательно и поэтому требуется большая затрата вспомогательного времени.

Наиболее распространенный *круглый поворотный магазин* тоже имеет недостаток – плохое использование размеров, ввиду того что инструменты располагаются по периферии диска. За счет расположения инструментов на двух, а иногда и на трех параллельных дисках значительно увеличивается емкость магазина. При применении инструментальных магазинов обеспечивается большой запас инструментов (до 200).



а – револьверная головка, б – дисковый магазин, в – цепной магазин

Рисунок 283 – Основные виды накопителей режущего инструмента

румента в магазин. Существуют конструкции, когда из неподвижного магазина на 196 инструментов дополнительным автооператором 10–12 инструментов передаются на специальную тележку, которая перемещает их в место, доступное автооператору, обслуживающему шпиндель станка.

Конструктивная схема устройства передачи инструментов в значительной степени зависит от типа магазина, который, в свою очередь, определяется числом размещаемых инструментов. При относительно небольшой вместимости (не более 20–25 штук), когда применяют дисковые инструментальные магазины, размещаемые непосредственно на шпиндельной бабке станка, передача инструмента не требуется. Просто в нужный момент диск поворачивается в такое положение, в котором нужный инструмент окажется в зоне работы автооператора.

При большем числе инструментов (до 40–50 шт.) и использовании многосекционных барабанных или планетарных магазинов, установленных непосредственно на станке или на отдельной стойке, возможны два варианта: наличие транспортного автооператора или его отсутствие, – в зависимости от расстояния от шпинделя до ближайшей ячейки магазина. Для этого обычно используют однозахватный автооператор. При необходимости изменения ориентации инструментальной оправки перед установкой ее в шпиндель станка или магазин устройство смены оснащают специальным однозахватным автооператором-кантователем.

При дальнейшем увеличении вместимости (до 100–140 инструментов и более), когда применяют цепные магазины, устанавливаемые на колонне станка или на отдельном основании и изготавливаемые в виде автономных агрегатов, чаще используется транспортный и загрузочный автооператоры.

Для переноса инструмента из магазина в шпиндель наиболее распространены двухзахватные механизмы автооператоров, у которых к моменту окончания какой-либо операции непосредственно у шпинделя располагается захватное устройство для снятия заменяемого инструмента, а вновь устанавливаемый инструмент уже подготовлен и находится во втором схвате. Малое время смены инструмента достигается совмещением с основным временем работы станка всех дополнительных движений автооператора, непосредственно не связанных с перестановкой инструментов в шпинделе. Это возвращение обработавшего инструмента в магазин, поворот магазина для поиска нового инструмента, захват и перенос данного инструмента к шпинделю. При необходимости частой смены небольшого числа инструментов применяют многозахватные автооператоры.

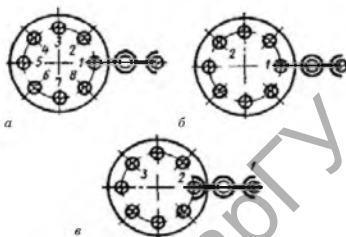
На рисунке 286 показана схема транспортного устройства фирмы Giddings-Lewis (США). Транспортная тележка забирает инструмент из магазина и переносит к двухзахватной руке, которая меняет инструмент, затем транспортная тележка переносит использованный инструмент и вставляет его в гнездо магазина.

Если, применяя инструментальный магазин инструменты располагают по порядку использования, при обмене инструментами между шпинделем и гнездом магазина порядковая нумерация не нарушается, однако инструменты

с соответствующим инструментом, либо кодовым барабаном с набором кулачков, который установлен в хвостовой части вала магазина и механически связан с его приводом. Этот метод сокращает время поиска инструмента, но увеличивает время на установку в магазин отработанного инструмента и усложняет управление поиском. При таком отделении кода инструмента возможна ошибка, когда в гнездо с кодом сверла будет установлен метчик.

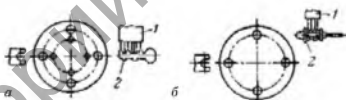
По третьей схеме инструментальные оправки кодируют кольцами, помещаемыми на цилиндрической части (рис. 288, б), или протачиваемыми на ней канавками. Каждый инструмент имеет свою комбинацию колец. Инструменты с закодированными оправками помещают в магазин в произвольной последовательности. Отработанный инструмент устанавливается в любое гнездо. Нужный по программе отыскивается во время работы станка поворотом магазина до момента его совмещения со считывающим устройством. В этот момент магазин останавливается и производится замена инструмента в шпинделе. Этот способ позволяет располагать инструмент произвольно, нет необходимости в поиске соответствующего места для предыдущего инструмента при возврате его в магазин, но усложняется конструкция самой инструментальной оправки, снижается жесткость и увеличивается масса инструментального магазина.

Перспективными являются способы кодирования и поиска инструментов с использованием фотоэлектрических, электромагнитных и других физических эффектов, позволяющие достичь наибольшей компактности конструкции устройства. Для кодирования инструмента в определенном месте нерабочего участка инструментальной оправки прикрепляют небольшую этикетку, например, с ферромагнитным слоем или штриховой шкалой, в котором записаны не только код инструмента, но и материал режущей части, настроечные размеры, рекомендуемая стойкость и т.д., как у фирмы Balluff из ФРГ.



а – с фиксированной программой, б – с фиксированными местами для каждого инструмента, в – с индивидуальным кодом у каждого инструмента 1–8 – позиции инструмента

Рисунок 287 – Схемы кодирования инструментов в магазине



1 – считывающее устройство; 2 – кодовые кольца и ключ

Рисунок 288 – Схема поиска из магазина кодированного инструмента (а) и схема выбора инструментов из магазина по системе кодового ключа (б)

располагать на ней 12 инструментальных шпинделей; несколько повышается жесткость и сокращается продолжительность вспомогательного времени перемещения головки к обрабатываемой заготовке.

Имеются конструктивные решения механизма смены инструментов без применения загрузочных и транспортных устройств, когда перемещают непосредственно магазин (рис. 290, а) или шпиндельную бабку (рис. 290, б).

**Устройства для передачи инструментов с помощью автооператоров при наличии промежуточной позиции и без нее** получили в настоящее время наибольшее распространение. При установке инструментального магазина на столе станка удается простейшим образом превратить станок с ЧПУ в многооперационный. Но из-за больших затрат времени на смену инструментов, увеличения объема программы и уменьшения полезной площади стола станка эти механизмы не получили широкого распространения.

При расположении инструментального магазина на шпиндельной головке удается упростить загрузку и транспортирование инструмента из магазина в шпиндель и производить смену инструментов в любом положении шпиндельной головки. Этот вариант дает большую жесткость шпинделя, хорошую точность, увеличенный рабочий ход, простоту и дешевизну, хотя ограничена емкость магазина (до 16 инструментов), рабочая зона загромождена соседними по магазину инструментами, при больших вылетах шпинделя снижается точность, а механизм смены инструментов нельзя сделать автономным, что его удорожает.

Замена инструмента в шпинделе при установке инструментального магазина на колонне станка (рис. 291, а) осуществляется перемещением



Рисунок 290 – Схема смены инструментов без применения загрузочных и транспортных устройств

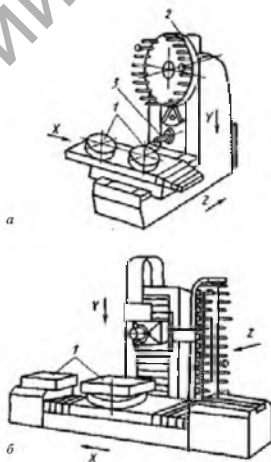


Рисунок 291 – Схемы вариантов замены инструмента

ческих приводов, а также автооператоры с общим приводом, обеспечивающим заданное сочетание и последовательность нескольких движений

**Устройства для закрепления инструментов в шпинделе станка** показаны на рисунках 292–294. Для зажима фрезерных и расточных оправок может применяться механизм, показанный на рис. 292. Оправка 1 вставляется в шпиндель 16, имеющий возможность перемещаться вместе с гильзой 15 в осевом направлении, затягивается навинченной на стержень 6 цапгой 4, которая действует на головку винта 14 усилием пакета тарельчатых пружин 5, опирающихся на гайку 7. От самопроизвольного раскрытия цапга предохраняется втулкой 2. Если оправка в шпинделе отсутствует, чашка 12 доводится пружинами до упора во фланец 8. Для освобождения инструмента служит гидроцилиндр, корпус 10 которого получает осевое перемещение вместе со шпинделем и предохраняется от вращения шпонкой 9, прикрепленной к корпусу шпиндельной бабки. Масло, поступающее в правый гидроцилиндр, проходит по его штоку в левый гидроцилиндр. Шток 11 с усилием, развиваемым обоими цилиндрами, через чашку 12 действует на пакет тарельчатых пружин. При этом цапга 4 перемещается влево и раскрывается конической втулкой 13,

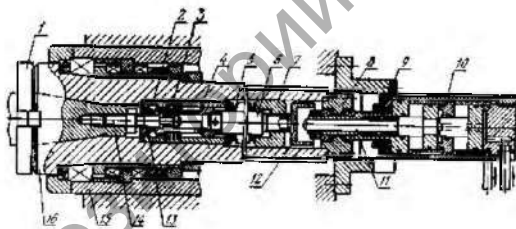


Рисунок 292 – Вариант зажима инструмента в шпинделе станка

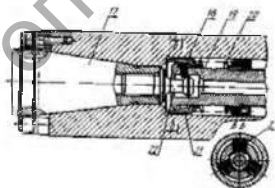


Рисунок 293 – Вариант зажима инструмента в шпинделе станка

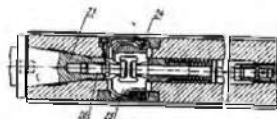


Рисунок 294 – Вариант зажима инструмента в шпинделе станка

еще называемом палетой. Зажим обрабатываемых деталей производится как вручную, так и автоматически. На станках типа "обрабатывающий центр" обычно применяются приспособления, собранные из универсальных элементов, а время, затрачиваемое на смену заготовок, сокращается путем совмещения смены заготовки с работой станка. Это достигается следующими способами.

1. На столе предусматривается загрузочная позиция. Например, во время обработки заготовки, установленной на одном поворотном столе, следующую заготовку закрепляют на другом (рис. 296, б), который в нужный момент сдвигается на рабочую позицию. Этот способ обработки называется маятниковым или челночным.

2. Применяется двухпозиционный поворотный стол или многопозиционный барабан с загрузочной позицией.

3. Во время обработки одной заготовки следующая закрепляется на плите-спутнике. По окончании цикла плита-спутник быстро зажимается в простейшем приспособлении на столе станка. Этот способ применяется при обработке небольших заготовок. Плиты с крупногабаритными заготовками перемещаются краном.

4. Быстрая смена плит-спутников (рис. 296, в) производится путем их сдвига с рабочего стола на вспомогательные II или IV. Там обработанную деталь снимают, закрепляют новую заготовку, а в это время на рабочей позиции производится обработка. Плиты-спутники перемещаются по рольгангам или на воздушной подушке вручную, а также с помощью гидравлических толкателей. Сменные плиты могут применяться при невысоких требованиях к точности обработки.



I-IV – последовательность перемещения, 1 – стол станка; 2 – обрабатываемая заготовка

Рисунок 296 – Схемы двухместных устройств автоматической смены заготовок на многооперационных станках

5. Зажим обрабатываемых деталей производится как вручную, так и автоматически. Централизованное складирование заготовок, их транспортировка и установка на спутниках обычно осуществляются вне станка. В последнее время находят применение устройства, встроенные в станок или связанные с ним и обеспечивающие смену обрабатываемых деталей. Так, на многооперационных станках для обработки корпусных деталей широко используются двух- и многоместные загрузочные столы, которые дают возможность во время обработки детали установить следующую в непосредственной близости от рабочей зоны. Компоновка и конструктивное решение двухместных загрузочных устройств (рис. 296) для автоматической смены заготовок могут варьироваться.

шпинделя (через  $1^\circ$ ) позволяют, кроме полной токарной обработки, производить разные сверлильные и фрезерные операции на торце и периферии детали.

Станок предназначен для токарной и доделочной сверлильно-фрезерной обработки деталей типа тел вращения из стали, чугуна и цветных сплавов из прутка диаметром до 50 мм в автоматическом цикле, а также штучных заготовок диаметром до 200 мм в полуавтоматическом цикле в условиях мелкосерийного и серийного производства. Станок имеет автоматический гидрофицированный механизм зажима заготовок (диаметром до 200 мм) в трехлапчатом патроне (рис. 299), привод вращения шпинделя от двигателя постоянного тока мощностью 22 кВт, приводы подачи от высокомоментных электродвигателей, возможность токарной обработки с большими усилиями резания и на высоких скоростях. Станок позволяет выполнить:

- полную токарную обработку, включая криволинейные поверхности;
- обработку внецентровых отверстий с нарезанием резьбы на торце и по периферии детали, фрезерование прямолинейных и криволинейных пазов, а также лысок и кулачков;
- обработку с помощью осевых и ортогональных сверлильно-фрезерных головок для вращающегося инструмента в любой из 12 позиций револьверной головки.

**Компоновка станка** отвечает требованиям повышенной жесткости. Станок смонтирован на трубчатой литой чугунной станине с наклонными закаленными прямоугольными направляющими. Крестовый суппорт имеет механизм уравнивания двухкоординатной револьверной головки. На всех направляющих наклеены накладки из наполненного фторопласта для уменьшения сил трения при перемещении и улучшения характеристик разгона-торможения. В совокупности с шариковыми винтовыми передачами они обеспечивают высокую точность перемещения рабочих органов в процессе длительной эксплуатации станка. Перемещение суппорта по оси X (перпендикулярно к оси вращения заготовки) осуществляется от высокомоментного электродвигателя М2 (см. рис. 300) через зубчатую ременную передачу (шкивы 9, 10) и шариковую винтовую передачу 7. Датчик ДЗ контролирует перемещение суппорта вдоль оси Z с точностью до 0,001 мм. Гидродвигатель М4 посредством зубчато-ременной передачи (шкивы 14, 16) автоматически открывает и закрывает ограждение станка 15.

На суппорте станка установлена 12-позиционная револьверная головка с возможностью установки в любую позицию осевого и радиального инструмента, шесть позиций головки имеют индивидуальный привод для вращающихся инструментов. Привод головки – гидромеханический с фиксацией на

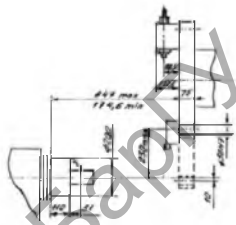


Рисунок 299 – Рабочее пространство станка 1П420ПФ40

**Особенности конструкции основных узлов станка мод. 1П420ПФ40**

– это, во-первых, наличие в нем измерительной системы. На рисунке 301 представлена схема автоматического измерения размеров поверхностей детали и автоматической коррекции положения режущего инструмента в координатной системе станка. В одной из позиций револьверной головки 3 устанавливают индикатор контакта 2. По заданной УЧПУ программе индикатор касается обрабатываемой детали 1 сверху, а затем снизу. Сигнал от него через датчик обратной связи 4 поступает в УЧПУ, фиксирующее размеры  $x_1$  и  $x_2$ ; разность  $x_2 - x_1$  равна измеренному диаметру. Сигнал касания передается также через приемное устройство и преобразователь в УЧПУ, где производится перерасчет координат. Выработанный сигнал через тиристорный преобразователь 6 поступает на электродвигатель 5 привода подачи  $M_2$ , который вращает винт шариковой винтовой передачи поперечного перемещения суппорта (ось X) и корректирует его положение. Точность изменений (0,004–0,005 мм) позволяет автоматически обеспечивать точность обработки (0,02–0,03 мм).

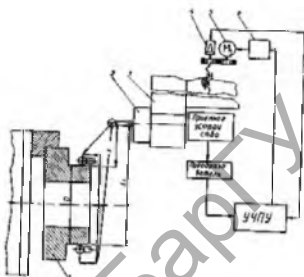


Рисунок 301 – Схема автоматического измерения диаметра обрабатываемой детали на станке 1П420ПФ40

Во-вторых, то, что рабочая зона станка полностью герметизирована, что позволяет интенсивно смывать с помощью СОЖ стружку на специальный транспортер станка. Подача СОЖ составляет до 100 л/мин.

**Кинематическая схема токарного многоцелевого станка** характерна для станков с ЧПУ тем, что с целью повышения точности все кинематические цепи сделаны максимально короткими. Вращение шпинделя станка (см. рис. 300) передается от регулируемого электродвигателя постоянного тока М1 (мощность 22 или 30 кВт) через поликлиновую ременную передачу: при частотах вращения 45–2500 мин<sup>-1</sup> – через шкивы 1 и 3; при 25 – 1 400 мин<sup>-1</sup> – через шкивы 2 и 4. В качестве передней опоры шпинделя используются высокоточные радиально-упорные шариковые подшипники, установленные по схеме "триплекс", задней опоры – двухрядный роликовый подшипник с внутренним коническим отверстием, воспринимающий нагрузки от шкивов 3, 4, 5 и гидроцилиндра привода зажимного патрона. Через шкивы 5, 6 и зубчатую ременную передачу вращение передается фотоимпульсному датчику Д1, который при резьбонарезании обеспечивает определенное соотношение между перемещением суппорта и частотой вращения шпинделя и точную фиксацию шпинделя в требуемом угловом положении. Повышенная мощность привода главного движения при наличии возможности программирования

и перезакрепление заготовок производится либо непосредственно в неподвижных приспособлениях, либо в приспособлениях-спутниках, которые вместе с заготовками базируются и зажимаются в стационарных приспособлениях станков автоматической линии. АЛ должна содержать не менее двух автоматических станков.

АЛ используются преимущественно в массовом производстве разных отраслей промышленности, а в машиностроении они выполняют широкую номенклатуру операций: сверлильно-расточные, резбонарезные, фрезерные, шлифовальные, токарные, зуборезные, кузнечно-прессовые, литейные, сварочные, термические, окрасочные, гальванические и др. Производительность на АЛ повышают путем дифференцирования (разделения) и концентрирования (объединения) операций, многопозиционной обработки, обработки заготовок одновременно с нескольких сторон, применения комбинированных инструментов и т. д. Они обеспечивают комплексную автоматизацию изготовления деталей, в 5–8 раз уменьшают число необходимых станков и рабочих, снижают себестоимость обработки в 3,5–4,5 раза, уменьшают объем незавершенного производства и связанные с ним издержки, повышают качество обработки.

Для управления циклом работы и наблюдения за эксплуатацией АЛ в настоящее время используются программируемые командоаппараты и ЭВМ.

Есть немало ярких примеров применения автоматических линий. Так, в 1949 году в Горьком был построен автоматический завод по производству поршней с 9 рабочими в смену и рассчитанный на выпуск 3500 поршней в сутки. В США подобный автоматический завод был создан фирмой Понтиак в конце 1954 года. В 1956 году на ГПЗ-1 в Москве вошел в строй цех по производству подшипников, оборудованный двумя АЛ, которые обеспечивали весь цикл обработки вплоть до упаковки готовых изделий.

**Классификация автоматических линий.** Автоматические линии различают по виду применяемых станков, виду связи между станками, планировке оборудования, особенностям транспортных устройств, систем контроля и управления, возможности переналадки, виду изготавливаемых деталей.

АЛ могут состоять из станков общего назначения (преимущественно для изготовления деталей типа тел вращения), специальных (или специализированных) станков, агрегатных станков (для изготовления корпусных деталей).

Связь между станками в АЛ может быть жесткой (синхронной) и гибкой (несинхронной). Жесткая связь характеризуется одновременностью (синхронностью) работы оборудования и передачи заготовок от станка к станку, т.е. детали между станками передаются так же синхронно, как шагают солдаты на параде. Для гибкой связи характерна некоторая независимость работы станков и возможность работы АЛ в случае прекращения работы отдельных станков.

При последовательной связи всех станков в АЛ ее называют однопоточной (неветвящейся), а если после обработки на одном высокопроизводительном станке приходится задействовать несколько тихоходных, выполняющих одинаковую работу, то многопоточной (ветвящейся).

Расположение оборудования может быть замкнутым (кольцевая планировка, расположение по прямоугольнику). При этом заготовки загружаются

В однопоточной (неветвящейся) АЛ каждая операция производится на одном станке – оборудовании расположено цепочкой. Многопоточная АЛ (ветвящаяся) содержит участки параллельно соединенных станков. Такая линия должна иметь конвейер-распределитель или делители потока. Параллельные потоки необходимы для использования на одной операции нескольких станков, если продолжительность этой операции в соответствующее число раз превосходит продолжительность самой кратковременной операции.

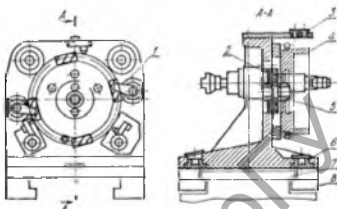


Рисунок 302 – Приспособление-спутник автоматической линии

**Автоматические линии из агрегатных станков** предназначены для обработки корпусных деталей или деталей сложной формы (например, рычагов).

Важной особенностью линий этого типа является значительный рост производительности по сравнению с линиями на базе типового оборудования. Агрегатные станки – станки специальные. Их создают в соответствии с требованием технологического процесса для обработки конкретной детали, это позволяет использовать широкие возможности дифференциации и концентрации операций, многопозиционную обработку, обработку детали одновременно с нескольких сторон и т.д. Линии собирают из выпускаемых серийно агрегатов и механизмов, что уменьшает затраты на автоматизацию, значительно сокращает время проектирования и производства оборудования.

Число станков в АЛ и ее компоновка зависят от степени сложности изготавливаемой детали, состава необходимых операций и переходов обработки, требуемой производительности. Детали простой формы обрабатывают на относительно коротких АЛ, которые могут состоять, как минимум, из двух многопозиционных станков. В АЛ для обработки блока цилиндров автомобильного двигателя в одном потоке до 40 станков. Наибольшее распространение получила обработка осевым инструментом (сверление, зенкерование, нарезание резьбы).

На рисунке 303 показан участок автоматической линии, оснащенной агрегатными станками для обработки отверстий в блоке автомобильного двигателя. В позиции 1 производится загрузка заготовок; на станке 2 растачиваются гнезда под впускные

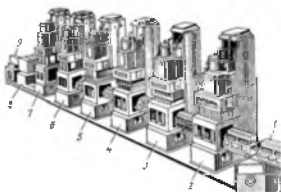


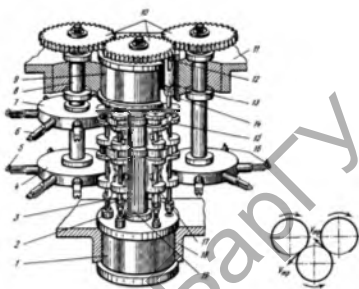
Рисунок 303 – Участок автоматической линии для обработки блока цилиндров

Обработка совмещена с поворотом рабочего ротора. Таким образом, главной особенностью роторных линий является совмещение во времени транспортирования заготовок и их обработки.

Заготовки, прошедшие обработку на предыдущих станках, клещевыми захватами 6 транспортного ротора 7 переносятся на рабочий. Инструментальные блоки 17, установленные в ползунах 2 и 13, при вращении ротора вокруг центральной оси 19 получают перемещения от кулачков 12 и 14. Заготовки на нем также вращаются вокруг оси. Главное движение могут совершать или заготовки, или инструмент, закрепленный в ползунах-суппортах 2 и 13, перемещающихся вверх-вниз вдоль колонн. Нужное вращательное движение инструменту, детали, рабочему и транспортному роторам сообщается от электродвигателя через систему зубчатых 10, червячных или других видов передач. Поступательное движение инструмент или деталь могут получать не только от соответствующих копиров (рис. 305), но и от гидросистемы.

**Типовые компоновки и технологические возможности роторных автоматических линий.** Траектория транспортного перемещения заготовки имеет замкнутую форму (обычно это окружность). На рис. 306 показана развертка барабана роторного автомата. На инструментальном барабана 2 установлены инструментальные шпиндели 1 (с шагом  $h$ ), соосно с которыми на транспортном барабана 3 расположены обрабатываемые заготовки 4. Скорость транспортного 3 и инструментального 2 барабанов одинакова. При вращении диска с транспортной скоростью  $V_T$  инструментальный шпиндель 1 обрабатывает заготовку 4 на пути транспортирования  $L_{\text{тп}}$ , который меньше длины развертки  $L_{\text{д}}$  инструментального барабана.

Все инструментальные шпиндели оснащены одинаковыми инструментами и выполняют только одну технологическую операцию. Каждый инструментальный шпиндель соответствует шпинделю изделия.



а – схема, б – проекция движения потока предмета обработки на горизонтальную плоскость 1 – блок нижней системы подвода сборочного ротора; 2 – ползуны нижней привода; 3 – нижний шток инструментального блока; 4 – нижний диск транспортного (загрузочного) ротора; 5 – собираемые элементы; 6 – клещевые захваты; 7 – верхний диск транспортного (загрузочного) ротора; 8 – вал транспортного ротора; 9 – блок верхней системы привода сборочного ротора; 10 – зубчатая передача транспортного вращения роторов; 11 – верхняя часть станины; 12 – торцовый кулачок верхней системы привода; 13 – ползун верхней системы привода; 14 – пазовый кулачок верхней системы привода; 15 – блокдержатель; 16 – собранные детали; 17 – инструментальный блок; 18 – нижняя часть станины; 19 – основной вал сборочного ротора

Рисунок 305 – Типовая единичная группа роторной линии

Наличие большого числа инструментов требует особого внимания к разработке конструкций для их крепления и замены. Непрерывное перемещение деталей и высокая производительность роторных машин вызывают необходимость в некоторых случаях создания устройств автоматической замены инструмента без останова роторов. Замена инструментальных блоков может происходить во время холостого хода рабочего ротора по команде специальных устройств, контролирующих состояние инструментов и качество обработки.

Контрольно-измерительные операции могут осуществляться, когда деталь находится в специальных или в транспортных роторах. Включение в автоматическую линию из роторных машин контрольных устройств позволяет без особого увеличения затрат и при сохранении заданной производительности проводить контроль всех обрабатываемых деталей, не увеличивая объем незавершенного производства, находящийся обычно в бункерах и накопителях.

Важным направлением в совершенствовании создания автоматических станочных систем на базе роторных машин является особо тщательная разработка технологического процесса для необходимого смягчения режимов обработки при требуемой производительности, что возможно осуществить за счет изменения числа рабочих позиций, скорости транспортировки, размеров ротора и т. д. Важной является также оценка целесообразности использования роторных машин вместо стационарных с учетом всех их особенностей.

**Технологическое оборудование и типовые компоновки гибких производственных систем (ГПС).** Элементы ГПС – это совокупность технологического оборудования, промышленных роботов и средств оснащения, автономно функционирующих и осуществляющих многократно циклы обработки (ГОСТ 26228-85). Как правило, оборудование имеет системы числового программного управления (ЧПУ) с использованием ЭВМ различного уровня. Особенность ГПС заключается в том, что ее оборудование в течение заданного периода времени должно работать в автоматическом режиме, то есть с ограниченным участием обслуживающего персонала (так называемый "безлюдный" режим). Переналадка оборудования на изготовление новой продукции осуществляется в автоматизированном (с ограниченным участием человека) режиме. Средствами оснащения ГПС могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства и другие устройства, обеспечивающие функционирование ГПС. В соответствии с названным стандартом высшей формой ГПС может быть технологический участок. Но в технической литературе существует мнение, что ГПС по организационным признакам делится на:

- гибкие автоматизированные линии (ГАЛ);
- гибкие автоматизированные участки (ГАУ);
- гибкие автоматизированные цеха (ГАЦ).

Каждое из этих производственных подразделений в той или иной степени включает в себя системы:

- систему автоматизированного проектирования (САПР). Система проектирования уточняет характеристики изделия по грубым моделям, делает анализ элементов изделия, разрабатывает программу ЧПУ для изготовления

транспортно-складской системой, с центральной управляющей ЭВМ, а также отдельными системами ЧПУ станков, роботов, самоходных тележек.

При использовании в составе гибкого производственного модуля промышленного робота (ПР) для обслуживания металлорежущих станков решаются следующие задачи:

- загрузка-выгрузка станков;
- межстаночное транспортирование полуфабрикатов;
- захват заготовок из накопителей и загрузка накопителей готовыми деталями.

В зависимости от числа станков, обслуживаемых одним ПР, различают одностаночные и многостаночные РТК.

Дополнительные задачи, которые могут быть возложены на ПР, связаны с дальнейшим повышением производительности обслуживаемого оборудования путем оснащения ПР системами активного контроля размеров обрабатываемых деталей и организации соответствующей автоматической коррекции управляющих программ металлорежущих станков.

Помимо указанного оборудования в состав любого РТК входят устройства управления как отдельным ПР, так и всем РТК. Число устройств управления, как правило, равно числу станков и других технологических машин (в том числе и ПР), входящих в состав РТК.

Вместе с тем для управления одностаночного РТК в ряде случаев используют общую систему управления, особенно тогда, когда управление станком и ПР осуществляется раздельно во времени.

Наиболее распространенным является тип напольного вспомогательного ПР с одной горизонтальной выдвигной рукой и с вертикальной колонной, вокруг оси которой осуществляется поворот руки (рис. 308).

Второй тип напольного вспомогательного или технологического робота выполняется с шарнирной складной рукой (оси шарниров горизонтальны).

К третьему типу относятся портальные ПР, имеющие одну или несколько качающихся рук, причем каждая из рук имеет три степени подвижности (рис. 309).

К четвертому типу относятся встроенные ПР, разнообразные по схемам и отличающиеся обычно малыми ходами руки и малой массой (поскольку в качестве основания манипулятора используются базовые детали рабочей машины – станина, стойка – рис. 310).

Применение систем обработки изображений широко распространено в системах технического зрения роботов и способствует расширению возможностей. Система технического зрения различает 64 уровня яркости и предназначена для управления роботом в режиме реального времени и контроля.

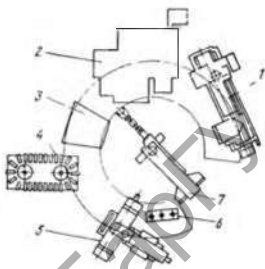


Рисунок 307 – Станочный модуль

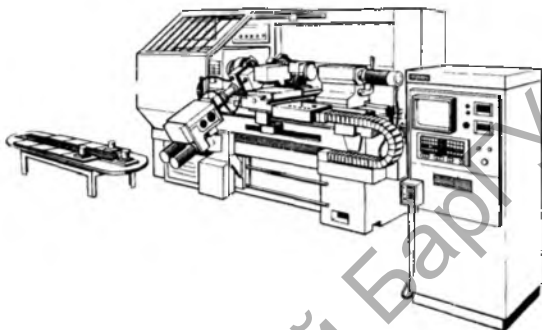


Рисунок 310 – РТК 16К20Ф3Р с приставляемым роботом М10П.62.01

проводительной документации, стружки. Грузопотоки осуществляются со свободным ритмом, т.е. по запросам (сигналам) от обслуживаемых адресов, и обеспечивают практически независимую и совмещенную по времени работу на всех рабочих местах участка.

На рисунке 311 можно проследить обозначенные жирными линиями со стрелками пути автоматизированной системы транспортирования деталей, заготовок и инструментов.

Перемещение заготовок и других компонентов материального потока в зависимости от схемы расположения оборудования в ГПС может быть организовано по жесткому маршруту, что характерно для гибких автоматических линий (схемы рис. 312, а, б, г) или по изменяемому (гибкому) маршруту (в гибких автоматизированных участках). При комбинированном потоке на отдельных участках ГПС маршрут может не изменяться, а на других может быть изменен.

**Транспорт для систем обеспечения инструментом.** Автоматический склад предназначен для хранения заготовок, инструмента и деталей. Загрузка и разгрузка ячеек склада осуществляется при помощи штабелера. Система управления обеспечивает работу склада от ЭВМ либо от пульта оператора.

Транспортный робот осуществляет связь между складом и станочными модулями. Тележка, снабженная автономной энергетической установкой, движется по светоотражающей полосе и имеет датчики обмена информацией с ЭВМ по электронно-оптическому каналу. ЭВМ предназначается для управления модулями ГПС и внутрицеховым планированием.

**Склады и локальные накопители.** Нормальное функционирование ГПС во многом определяется наличием необходимого количества заготовок, режущего и вспомогательного инструмента и технологической оснастки, транспортирование и складирование которых осуществляется автоматизированной

транспортно-складской системой (АТСС). К техническим средствам АТСС относятся: краны-штабелеры, стеллажи для хранения грузов, производственная тара, устройства, обеспечивающие перегрузку деталей, контейнеры, транспортные роботы (электророботкары), средства доставки СОЖ и удаленная стружка, промышленные роботы.

Транспортная система функционально связана с основным и вспомогательным оборудованием ГПС и обеспечивает перемещения заготовок, изделий, оснастки. Изделия могут перемещаться на спутниках (палетах, кассетах и др.) или без них (по лоткам, склизам и т.п.). В состав АТСС включаются различные конвейеры, рольганги, лотки, электророботкары и т.п.

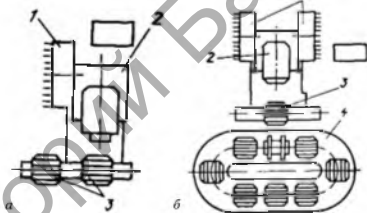
**Транспортирование отходов** в ГПС является сложной задачей, особенно при обработке пластичных материалов, образующих сливную стружку. Каждый отдельный случай требует особого подхода.

**Устройства загрузки заготовок и удаление готовых деталей.** Способы смены обрабатываемых деталей в гибких производственных модулях весьма разнообразны.

В простейшем случае заготовку устанавливают на стол вручную, в то время как на другом столе идет обработка другой детали (рис. 313, а). Совмещение времени установки со временем обработки дает выигрыш в производительности. Более совершенным является ГПП,

содержащий многооперационный станок (рис. 313, б), у которого для обработки подготовлено больше заготовок. Шаговый конвейер – накопитель палет (спутников) с 4, 6, 8 или с 12 заготовками позволяет длительное время вести обработку с ограниченным участием оператора. В ГПП со стационарным накопителем веерного типа заготовки со стендов на станок перегружаются с помощью поворотного стола (рис. 314). Загрузка заготовок в накопитель может осуществляться роботом или роботкаром. Отсутствие механизма конвейера упрощает конструкцию, увеличивая надежность. На гибких автоматизированных участках, включающих в свой состав несколько гибких модулей, один комплект палет используют для нескольких станков, что сокращает затраты времени на перезакрепление заготовки и повышает точность взаимного расположения поверхностей, обработанных на разных станках.

Возможна перегрузка заготовок с помощью поворотных устройств. На гибких автоматических линиях перемещение заготовок по линии осуществляется



а – с двумя маятниковыми рабочими столами, б – с автоматизированным загрузочным устройством; 1 – магазин с инструментами; 2 – станок с ЧПУ; 3 – стол станка; 4 – автоматизированное загрузочное устройство

Рисунок 313 – ГПП с одним станком с ЧПУ

принять равным 1, то для станков с ЧПУ, которые представляют собой более современные машины, он окажется равным 0,4–0,6. Сказывается сложность, многоэлементность конструкции. У робототехнических комплексов этот показатель снижается до 0,3–0,4, а у автоматических линий – до 0,25–0,3. Но для того чтобы ГПС успешно действовала, как показывают расчеты, показатель надежности должен быть в 8–10 раз больше, чем у универсальных станков. Большинство отказов происходит из-за несогласованности стыков "станок – электроника" и недостаточной надежности электронных блоков. Понятно, что решение этой проблемы можно ожидать, но не завтра и даже не через год. Это довольно отдаленная перспектива. Над ее приближением придется работать многим специалистам, но уже сейчас абсолютное большинство представляемого на машиностроительных выставках металлорежущего оборудования в той или иной степени является многооперационным, оснащенным промышленными роботами.

Есть масса фактов, показывающих перспективность ГПС. Внедрение ГАП значительно повышает производительность труда, позволяет уменьшить число работающих. В качестве примера можно привести результаты введения ГАП в автомобилестроении.

Фирма "ВОЛЬВО" (Швеция) в 1983 г. выпустила 105 тыс. автомобилей при общем числе занятых 5800 человек, т.е. в среднем 18 автомобилей в год на одного занятого. Та же фирма на новом заводе при использовании ГАП выпустила в 1990 г. 30 тыс. автомобилей при общем числе занятых 600 человек, т.е. 50 автомобилей в год на одного занятого. Производительность завода фирмы "Дженерал Моторс" по проекту "Сатурн" на основе технологии ГАП составляет 400...500 тыс. автомобилей в год при общем числе занятых 6 тыс. человек, что составляет более 80 автомобилей в год на одного занятого.

Репозиторий БарГУ

Репозиторий БарГУ