

Л. В. ПЕРЕГУДОВ, А. Н. ХАШИМОВ,
И. К. ШАЛАГУРОВ, С. Л. ПЕРЕГУДОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по направлениям бакалавриата "Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и "Технологические машины и оборудование"

ТАШКЕНТ
"ЎЗБЕКИСТОН"
2001

В предлагаемом учебнике приводятся технико-экономические показатели станочного оборудования; рассматриваются кинематика, устройство и технические характеристики станков, в том числе станков с программным управлением; описываются гибкие производственные модули и системы, роботизированные комплексы, автоматизированные механообрабатывающие и сборочные линии; даются основы программирования на станках с числовым программным управлением.

Учебник может быть использован студентами профессиональных колледжей машиностроительного профиля при изучении автоматизированного технологического оборудования, а также инженерно-техническими работниками машиностроительных заводов.

Под редакцией доктора технических наук,
профессора Л. В. ПЕРЕГУДОВА

Р е ц е н з е н т : доктор технических наук,
профессор Д. Е. АЛИКУЛОВ

А 24 Технологическое оборудование автоматизированного производства. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям “Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроительных производств” и “Технологические машины и оборудование” / Л.В. Перегудов, А.Н. Хашимов, И.К. Шалагуров, С.Л. Перегудов — Т.: “Ўзбекистон”, 2001 — 496 стр.

ISBN 5-640-01793-7

ББК 34.63-5

ISBN 5-640-01793-7

П $\frac{2401000000 - 36}{M 351 (04) 99}$ 2001

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация современного машиностроительного производства, повышение его эффективности и обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции возможны при существенном росте производительности и точности технологического оборудования, а также широкой его автоматизации.

Современному машиностроению присущи постоянное усложнение конструкции и увеличение номенклатуры выпускаемых изделий, частая смена объектов производства, сокращение сроков освоения новой продукции.

Эффективным средством реализации вышеперечисленного является широкое применение гибких производственных систем, которые управляются от ЭВМ и работают по принципу гибко перестраиваемой технологии.

В промышленно развитых странах данная техническая политика находится в центре внимания государственных деятелей, руководителей промышленности и научно-технической общест-венности.

Основой гибких производственных систем является перена-лаживаемое технологическое и вспомогательное оборудование с ЧПУ. Последнее обеспечивает полный автоматический цикл внут-ри системы и связь с входными и выходными потоками осталь-ного производства (транспортные средства для перемещения материальных потоков, складские устройства и т. д.).

В гибких производственных системах широко применяются промышленные роботы, которые могут использоваться как в качестве основного технологического оборудования, так и в качестве вспомогательного грузозачно-разгрузочного и транспортно-го оборудования.

Автоматизация технологических процессов в крупносерийном и массовом производстве базируется на применении традицион-ных автоматических линий из специальных и агрегатных стан-ков, роторных автоматических линий. На данном оборудовании достигаются существенный рост производительности, снижение себестоимости изготовления деталей, уменьшение трудоемкости и численности производственного персонала, повышение каче-ства продукции и ритмичности ее выпуска.

В предлагаемом учебнике рассматривается технологическое оборудование указанных автоматизированных производств: станки с ЧПУ, гибкие производственные модули и системы, роботизированные комплексы, автоматизированные механообрабатывающие и сборочные линии.

Даются также основы программирования на станках с ЧПУ.

Учебник разработан в соответствии с типовой программой по дисциплине “Технологическое оборудование автоматизированного производства”.

При разработке учебника введение и главы 1, 2, 3 (§ 1—3), 4, 6, 8, 10—12 написаны Л. В. Перегудовым; главы 3 (§ 3.4—3.7) и 7 — А. Н. Хашимовым; глава 5 — И. К. Шалагуровым; глава 9 — С. Л. Перегудовым.

Глава 1

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При выборе рационального станочного оборудования для решения конкретной производственной задачи и сравнительной оценки его технического уровня используется ряд технико-экономических показателей. К ним относятся: производительность, точность, надежность, гибкость и показатели экономической эффективности станочного оборудования.

Технико-экономические показатели могут быть абсолютными и относительными. Последние, являясь, как правило, безразмерными, используются для сравнения проектируемого варианта станочного оборудования с базовым или различных его вариантов между собой.

Различают три вида технико-экономических показателей [5]: требуемые, ожидаемые и реальные.

Требуемые технико-экономические показатели задаются в техническом задании на разработку станочного оборудования на основе исходных требований заказчика, анализа передовых достижений и технического уровня отечественной и зарубежной станочной техники, изучения патентной документации и результатов экспериментально-исследовательских работ.

Ожидаемые технико-экономические показатели рассчитываются при проектировании станочного оборудования. Их достоверность зависит от достоверности исходной информации на том или ином этапе проектирования: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация. Естественно, что наибольшая достоверность рассчитываемых технико-экономических показателей получается на этапе рабочей конструкторской документации.

Реальные технико-экономические показатели характеризуют изготовленное станочное оборудование, действующее в реальных условиях эксплуатации. Достоверность их значений зависит от выбранного периода исследований, достаточности объема информации.

§ 1.1. Производительность

Производительность станочного оборудования — это количество годной продукции, выдаваемой в единицу времени [5]. Производительность автоматической линии, представляющей собой комплекс станочного оборудования, определяется, как правило, по последней операции.

Различают производительность цикловую или теоретическую, техническую и фактическую.

Цикловая производительность — это количество продукции, выдаваемой станочным оборудованием в единицу времени без учета различных простоев

$$Q_{\text{ц}} = \frac{P}{T_{\text{ц}}} = \frac{P}{t_0 + \sum t_{\text{в}}}, \quad (1.01)$$

где $T_{\text{ц}} = t_0 + \sum t_{\text{в}}$ — время цикла; t_0 — основное (технологическое) время или время рабочих ходов, т. е. непосредственно технологического воздействия на изделия (съем стружки, нанесение покрытий, сборка, контроль и т. д.); $\sum t_{\text{в}}$ — вспомогательное время, затрачиваемое на подготовку технологического воздействия (загрузка и съем изделий, зажим и разжим, транспортирование изделий между позициями, быстрый подвод и отвод исполнительных органов и т. д.); P — число изделий, изготавливаемых за время цикла.

Техническая производительность — это среднее количество годной продукции, выдаваемой станочным оборудованием в единицу времени при условии обеспечения его всем необходимым, с учетом времени работы и собственных простоев.

В условиях массового производства

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{ц}} \cdot K_{\text{т.и.}} \cdot \eta = \frac{P \cdot \eta}{T_{\text{ц}} + \sum t_{\text{с}}}, \quad (1.02)$$

где $K_{\text{т.и.}}$ — коэффициент технического использования, равный

$$K_{\text{т.и.}} = \frac{1}{1 + \sum t_{\text{с}} T_{\text{ц}}};$$

$\sum t_{\text{с}}$ — время собственных простоев по техническим причинам (время смены и регулировки инструмента, ремонта и наладки механизмов и устройств, обнаружения и устранения отказов, профилактических осмотров оборудования, уборки и очистки); η — коэффициент выхода годных изделий.

В условиях серийного производства

$$Q_1 = \frac{P \cdot \eta}{T_u + \Sigma t_c + \Sigma t_{\text{ПЕР}}}, \quad (1.03)$$

где $\Sigma t_{\text{ПЕР}}$ — время простоев для переналадки станочного оборудования на другое изделие, включая замену инструментов и оснастки, программноносителей.

Фактическая производительность — это среднее количество годной продукции, выдаваемое станочным оборудованием в данных конкретных условиях производства, с учетом всех видов простоя, включая организационно-технические простои (отсутствие заготовок, инструмента, электроэнергии, несвоевременный приход и уход обслуживающего персонала и т. д.).

$$Q = \frac{P \cdot \eta}{T_u + \Sigma t_c + \Sigma t_{\text{ПЕР}} + \Sigma t_{\text{ОРГ}}}, \quad (1.04)$$

где $\Sigma t_{\text{ОРГ}}$ — время организационно-технических простоев.

Подробная методика определения фактической производительности автоматических линий (комплекса станочного оборудования) рассматривается в работе [5].

На рис. 1.1. приведен баланс производительности станочного оборудования. Здесь K и $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \Delta Q_3$ — соответственно технологическая производительность и потери производительности за счет вспомогательного времени, времени собственных простоев и переналадки, времени организационно-технических простоев. Указанные показатели определяются по следующим формулам:

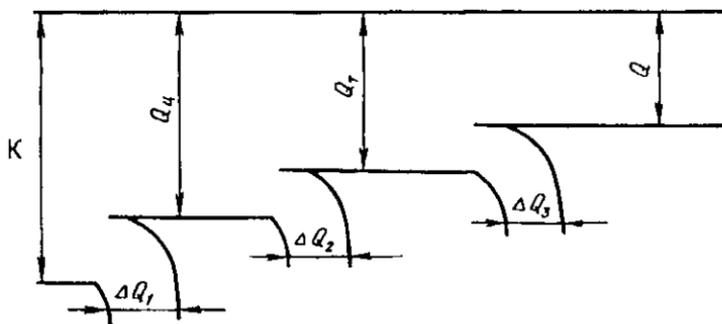


Рис. 1.1. Баланс производительности станочного оборудования

$$K = \frac{P}{t_0}; \quad (1.05)$$

$$\Delta Q_1 = K - Q_{II} = K \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\sum t_B}{t_0}} \right); \quad (1.06)$$

$$\Delta Q_2 = Q_{II} - Q_T = Q_{II} \left(1 - \frac{\eta}{1 + \frac{\sum t_C + \sum t_{ПЕР}}{t_0 + \sum t_B}} \right); \quad (1.07)$$

$$\Delta Q_3 = Q_T - Q = Q_T \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\sum t_{OPF}}{t_0 + \sum t_B + \sum t_C + \sum t_{ПЕР}}} \right). \quad (1.08)$$

Анализ баланса производительности и формул (1.02), (1.03), (1.04) показывает, что существуют следующие реальные резервы повышения фактической производительности станочного оборудования:

1. Уменьшение вспомогательного времени за счет повышения быстродействия различных механизмов и устройств, а также путем его совмещения с основным временем.

2. Сокращение числа и времени собственных простоев по техническим причинам путем повышения надежности станочного оборудования и применения систем диагностики его отказов.

3. Сокращение времени на переналадку станочного оборудования путем использования в нем систем числового программного управления, применения транспортных промышленных роботов, магазинов инструментов и заготовок.

4. Увеличение коэффициента выхода годных изделий за счет повышения технологической надежности станочного оборудования, например, путем применения устройств активного контроля, уменьшения влияния совокупности случайных факторов на параметр качества.

5. Сокращение времени организационно-технических простоев.

Необходимо отметить, что первые четыре пути повышения фактической производительности определяют главные направления совершенствования станочного оборудования.

§ 1.2. Надежность

Надежность — это свойство любых объектов выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки [5,25]. Для станочного оборудования заданной функцией является выпуск годной продукции, отвечающей техническим условиям, в течение всего срока эксплуатации.

По замыслу конструктора станочное оборудование должно работать непрерывно (при условии отсутствия организационно-технических простоев) и выдавать только годную продукцию. Однако в его работе периодически возникают отказы, нарушающие работоспособность оборудования в целом и отдельных его элементов. В состоянии отказа станочное оборудование или не выдает продукцию, или выдает бракованную продукцию, т. е. не соответствующую заданным техническим условиям.

Отказы станочного оборудования, при которых продукция не выдается, называются функциональными отказами. Если же выдается бракованная продукция, то отказы называются параметрическими. Общность этих разновидностей отказов заключается в том, что в обоих случаях их возникновение одинаково приводит к простоям станочного оборудования и вмешательству человека для их устранения, например, путем ремонта или размерной подналадки механизмов и инструмента.

По характеру изменения параметров элемента или системы, приведших к отказу, различают внезапные и постепенные отказы. На рис. 1.2 показаны внезапный и постепенный параметрические отказы при обработке валиков на токарном станке. Внезапный параметрический отказ (выход диаметра d за пределы поля допуска) при обработке i -го валика явился следствием вык-

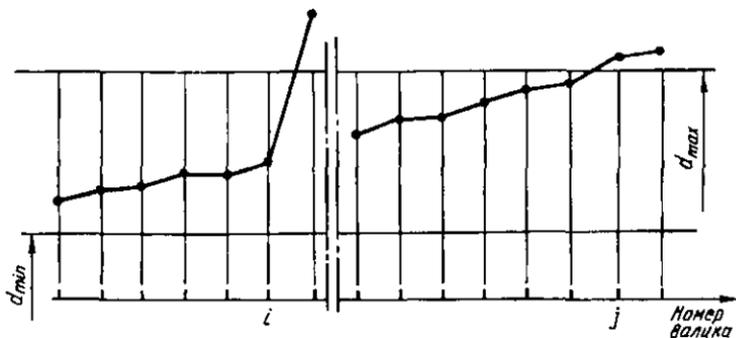


Рис. 1.2. Точечная диаграмма значений диаметра шейки валика

рашивания вершины резца под воздействием твердого вкрапления в i -ой заготовке. В данном случае мгновенно изменилось расстояние от оси центров станка до вершины резца (после ее выкрашивания).

Что касается постепенного параметрического отказа, возникшего при обработке j -го валика, то он явился следствием износа резца по заданной грани. Подобные отказы возникают при монотонных необратимых процессах, таких как износ, старение материала, разрегулирование механизма.

Отказы могут быть устойчивыми (окончательными) и перемежающимися (то возникают, то исчезают). После устойчивого отказа элемента, устройства или механизма оборудования их необходимо заменять или ремонтировать. Такие отказы относятся к функциональным отказам. Что касается перемежающихся отказов, то они относятся к параметрическим отказам и возникают при неблагоприятном сочетании факторов, влияющих на параметры выпускаемого изделия.

Совокупность факторов, являющихся причиной возникновения параметрических отказов, подразделяется на три категории.

1. **Постоянные во времени или систематические факторы.** Их действия остаются стабильными при каждом цикле срабатывания технологического оборудования. К ним, например, относятся: отклонение от параллельности направления перемещения суппорта и оси вращения детали, отклонение от совпадения оси вращения шпинделя с осью кондукторной втулки. Действие таких факторов в ряде случаев можно уменьшить путем регулировки, наладки.

Систематические факторы формируются как при изготовлении деталей технологического оборудования, так и, в большинстве случаев, при его сборке и наладке. Они служат характеристикой качества технологического процесса изготовления деталей, сборки и наладки технологического оборудования.

2. **Циклически действующие или случайные факторы.** Они характерны тем, что при каждой их реализации числовые значения есть случайные величины. Эти факторы являются следствием нестабильности внешних условий, технологических и конструктивных параметров, например: колебания припуска и физико-химических свойств материала заготовок, температуры и влажности окружающей среды, жесткости системы "станок—приспособление—инструмент—деталь", коэффициента трения, времени срабатывания механизмов.

Совместное действие случайных факторов можно уменьшить или исключить, если между ними создать определенную корреляционную зависимость [80].

3. **Монотонно действующие или переменные во времени факторы.** Их характерной

особенностью является то, что они монотонно изменяются от реализации к реализации. К ним относятся: износ направляющих станин, износ инструмента, температурные деформации технологического оборудования. По интенсивности изменения они подразделяются на факторы малой, средней и высокой интенсивности. Действие указанных факторов может быть компенсировано специальными устройствами. Кроме того, может быть уменьшена интенсивность изменения факторов, связанных с износом трущихся поверхностей, например, путем замены направляющих скольжения направляющими качения.

Совокупность факторов, являющихся причинами отказов, приведена на рис. 1.3.

Для оценки надежности станочного оборудования используются следующие показатели [5].

Параметр потока отказов ω — средняя частота отказов

$$\omega = \frac{K}{T}, \quad (1.09)$$

где T — время работы (наработка) станочного оборудования; K — число отказов за время работы (наработки).

Вероятность безотказной работы $P(t)$ — вероятность того, что в пределах заданной наработки, т. е. в заданном интервале времени $t = T$ не возникнет отказ.

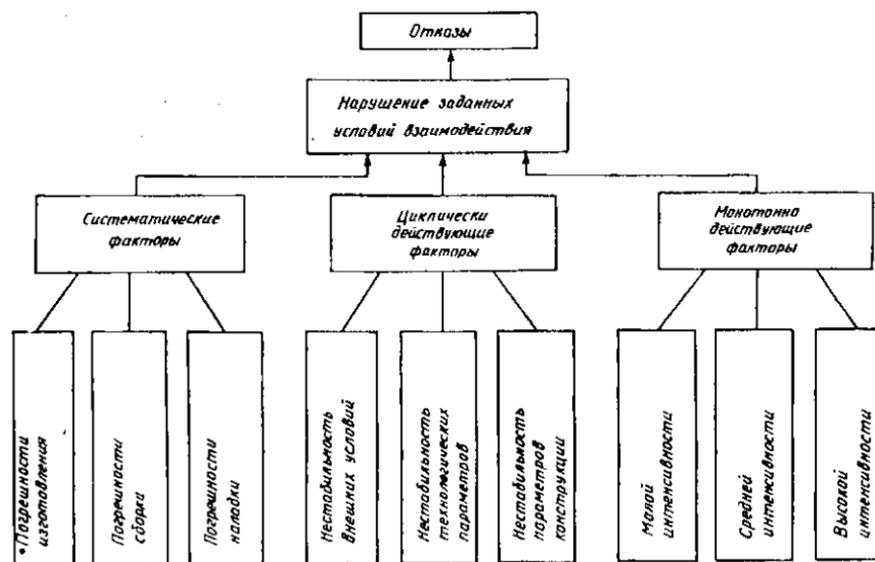


Рис. 1.3. Факторы возникновения отказов станочного оборудования

$$0 \leq P(t) \leq 1.$$

$P(0) = 1,0$ означает, что объект должен включаться всегда в исправном состоянии, а $P(\infty) = 0$, что не существует объектов, которые работали бы без единого отказа.

Вероятность безотказной работы станочного оборудования, как сложной системы, состоящей из n элементов, соединенных последовательно, при условии их независимости по критерию надежности определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{с.о.}}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (1.10)$$

где $P_i(t)$ — вероятность безотказной работы i -го элемента.

Средняя наработка на отказ t_n — отношение наработки станочного оборудования к числу отказов в течение этой наработки:

$$t_n = \frac{T}{K} = \frac{1}{\omega}. \quad (1.11)$$

Срок службы N — календарная продолжительность эксплуатации станочного оборудования до наступления предельного состояния.

Средний технический ресурс R — средняя суммарная наработка станочного оборудования от начала эксплуатации до предельного состояния. Учитывается только чистое время функционирования оборудования.

Среднее время восстановления τ_v — математическое ожидание длительности восстановления работоспособности станочного оборудования после возникшего отказа.

Интенсивность восстановления — величина, обратная среднему времени восстановления работоспособности.

Коэффициент готовности K_r — математическое ожидание того, что станочное оборудование окажется работоспособным в любой момент, когда требуется его применение.

Коэффициент технического использования $K_{т.и.}$ — математическое ожидание пребывания станочного оборудования в работоспособном состоянии с учетом длительности функционирования и простоев, обусловленных обнаружением и устранением отказов, техническим обслуживанием, ремонтами. Зависимости между показателями надежности и примеры их расчета приводятся в работе [5]. Что касается физики и модели отказов, то они подробно рассматриваются в работе [97].

§ 1.3. Точность

Любая продукция, выпускаемая на станочном оборудовании, характеризуется показателями качества, т. е. совокупностью свойств, определяющих ее способность удовлетворять своему назначению. Показатели качества определяются количественными характеристиками, например, шероховатость поверхностей — средним арифметическим отклонением профиля R_a в мкм, совпадение осей отверстий — отклонением от соосности Δ_c в мкм. При этом различают единичные показатели качества продукции, характеризующие одно из ее свойств, и комплексные, характеризующие несколько свойств.

С позиции качества по любым показателям продукция делится на два вида: годную и бракованную. Годная продукция в зависимости от конкретных значений показателей качества дифференцируется по сортам (категориям качества). Что касается брака, то он может быть исправимым и неисправимым. Например, валик, с диаметром d большим d_{\max} (рис. 1.4) является исправимым браком, а с диаметром d меньшим d_{\min} — неисправимым браком.

В машиностроении расчет и анализ качества связаны с сопоставлением отклонений (погрешностей) параметров качества с допусками на эти параметры. Точность обработки изделий в основном предопределяется точностью станочного оборудования, которая зависит от геометрической и кинематической точности, жесткости и виброустойчивости, теплостойкости, точности позиционирования.

Геометрическая точность станочного оборудования определяется совокупностью отклонений взаимного расположения его основных узлов и зависит от точности изготовления базовых деталей, а также точности их монтажа (сборки) и наладки узлов. Отклонения взаимного расположения основных узлов проверяются и сравниваются с допустимыми при монтаже нового станочного оборудования и периодически при его эксплуатации.

Кинематическая точность является показателем качества кинематических цепей, согласующих параметры движений исполнительных органов. Особое значение кинематическая точность имеет для зубообрабатывающих, резцообрабатывающих и других станков для сложной контурной обработки при наличии механических связей. Погрешности в ки-

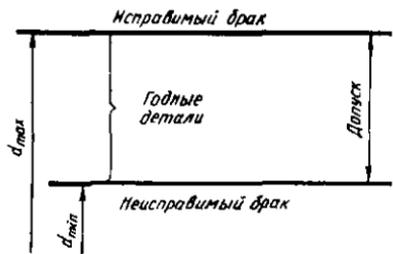


Рис. 1.4. Разновидности брака

нематических цепях, вследствие неточности изготовления и монтажа кинематических пар, приводят к нарушению согласованных параметров движения исполнительных органов и, тем самым, к искажению формы обрабатываемой поверхности.

Жесткость станочного оборудования характеризует его свойство противостоять появлению упругих перемещений под действием постоянных или переменных во времени усилий, возникающих в процессе обработки. Величина жесткости определяется по следующей формуле:

$$j = \frac{P}{\delta}, \quad (1.12)$$

где P — усилие, действующее в направлении упругой деформации δ . Величина, обратная жесткости, называется податливостью

$$C = \frac{1}{j} = \frac{\delta}{P}. \quad (1.13)$$

Для сложного станочного оборудования податливость равна сумме податливости его узлов

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (1.14)$$

Суммарная жесткость системы “станочное оборудование—приспособление—инструмент—деталь” должна быть такой, чтобы упругие перемещения между инструментом и заготовкой в направлении получаемого размера находились в заданных пределах, определяемых исходя из требуемой точности обработки. В случае невыполнения данного условия необходимо определить элементы системы с пониженной жесткостью и принять меры для ее увеличения.

Виброустойчивость станочного оборудования является динамическим качеством и характеризует его способность противодействовать возникновению колебаний под действием различных возмущений. Вибрации в процессе обработки снижают точность и производительность станочного оборудования. В этом отношении особенно опасны колебания инструмента относительно заготовки.

В зависимости от характера источника возмущения различают вынужденные, параметрические и самовозбуждающиеся колебания (автоколебания). Возможны также низкочастотные фрикционные колебания при перемещении узлов станка, которые являются результатом неравенства коэффициента трения покоя и движения [39, 98].

Вынужденные колебания в упругой системе станочного оборудования возникают под действием внешних периодически изменяющихся возмущений, например, центробежной силы, возникающей из-за неуравновешенности вращающихся звеньев привода, переменной силы резания при фрезеровании. При вынужденных колебаниях особенно опасно явление резонанса, когда частота собственных колебаний упругой системы станочного оборудования равна частоте изменения внешних возмущений.

Параметрические колебания являются результатом периодического изменения параметра упругой системы, а именно, ее жесткости. Так, переменная жесткость характерна для опор качения [98] и для вращающихся валов со шпоночными канавками. Параметрические колебания сходны с вынужденными колебаниями.

Самовозбуждающиеся колебания (автоколебания) связаны с характером протекания процесса резания. Они поддерживаются переменной составляющей сил резания, которые сами возникают из-за установившегося колебательного процесса и исчезают вместе с процессом резания [68]. Автоколебания развиваются на частоте, близкой к одной из собственных частот упругой системы станочного оборудования. Физика возникновения автоколебаний подробно рассматривается в работах [57, 68].

Для повышения виброустойчивости станочного оборудования необходимо устранять источники периодических возмущений, исключать явление резонанса, повышать демпфирование в колебательной системе, правильно подбирать параметры упругой системы в целях обеспечения ее устойчивости, применять системы автоматического управления уровнем колебаний.

Теплостойкость станочного оборудования является качественным параметром, характеризующим его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций под действием внешних и внутренних источников тепла. Основными источниками тепла являются электро- и гидродвигатели, процесс резания, трение в подвижных соединениях, окружающая среда.

Существенное влияние на точность обработки оказывают температурные деформации базовых деталей, например, станин, корпусов шпиндельных бабок и т. д. Температурный изгиб станины токарного станка из-за неравномерного ее нагрева по высоте [98] приводит к нарушению точности взаимного расположения шпиндельной и задней бабок.

Основными направлениями уменьшения температурных деформаций являются:

уменьшение теплообразования в двигателях, опорах и передачах путем применения жидкостной смазки (дополнительно выполняет роль охлаждающей жидкости);

обеспечение тепловой изоляции источников тепла от базовых деталей станочного оборудования (например, исключение попадания стружки и смазочно-охлаждающей жидкости на станину), а также вынесение их за пределы базовых деталей, а в прецизионном станке и за его пределы (например, размещение гидростанции вне станка);

применение автоматических систем компенсации температурных деформаций;

создание термостойких цехов, в которых исключается влияние окружающей среды на температурные деформации.

Т о ч н о с т ь п о з и ц и о н и р о в а н и я является качественным параметром, который непосредственно влияет на точность обработки поверхностей и точность их взаимного расположения. Этот параметр является важнейшей характеристикой качества всего станочного оборудования с числовым программным управлением.

Точность позиционирования зависит от большого числа систематических и случайных погрешностей.

В агрегатных расточных станках на точность обработки отверстий и точность их взаимного расположения существенно влияет их кинематико-технологическая структура [79].

§ 1.4. Гибкость

Концепция маркетинга гласит [53], что залогом достижения целей организации являются:

определение нужд и потребностей целевых рынков;

обеспечение желаемой удовлетворенности более эффективными и более продуктивными, чем у конкурентов, способами. А так как любой способ, связанный с производством товаров, реализуется на той или иной технологической системе, то в этой связи необходимо сказать еще об одном ее технико-экономическом показателе — **гибкости**. Без гибкости технологической системы, в том числе и станочной, невозможно удовлетворить индивидуальные или групповые потребности при указанных условиях, т. е. более эффективно и более продуктивно.

Гибкость технологической системы — это способность изменять в заданных пределах цели и задачи обработки путем изменения структуры, организации и программы действий системы [78]. Что касается станочного оборудования, то гибкость — это способность к быстрому перенастраиванию на изготовление другой детали.

Для отдельного оборудования или его системы гибкость, как свойство, можно классифицировать следующим образом [23].

1. Производственная гибкость, характеризующая способность обрабатывать в данный период времени любую деталь из совокупности, закрепленной за оборудованием при его проектировании. В данном случае каждый тип детали фиксируется датчиком, который выдает в систему управления команды на последовательное формирование рабочих циклов оборудования и транспортной системы, ввод в работу необходимых инструментов, регулирование зажимных механизмов, захватов промышленных роботов и других элементов системы.

2. Гибкость номенклатуры, характеризующая возможность переналадки (без существенных переделок) оборудования в процессе эксплуатации на обработку новой или модернизированной детали, не предусмотренной на стадии проектирования. Одним из путей обеспечения данной гибкости является обеспечение резервных сторон и позиций обработки (12, 119) при проектировании оборудования.

3. Гибкость технологического маршрута, характеризующая способность изменения хода выполнения различных технологических операций. Эта гибкость определяется гибкостью транспортной системы, позволяющей реализовать различные маршруты обработки детали. Такая транспортная система базируется на применении промышленных роботов. В автоматических линиях с подобной гибкостью могут использоваться резервные станки и станки-дублиеры, которые позволяют осуществлять обработку деталей при отказе одного из станков.

4. Операционная гибкость, характеризующая возможность изменения режимов и операционных циклов, что обеспечивает работу отдельных единиц станочного оборудования гибкой автоматизированной линии при переменной длительности цикла обработки различных деталей, а также при отказе некоторых станков. Такая гибкость достигается благодаря межоперационному накоплению деталей в транспортной системе и ее накопителях.

5. Гибкость выпуска, характеризующая возможность изменения производственной программы в рамках заданной номенклатуры деталей, изготавливаемых на гибких автоматизированных линиях.

По перечисленным свойствам гибкости технологическое оборудование имеет два уровня гибкости: средний и высокий. Средний уровень гибкости имеет оборудование с 1-м, 3-м и 4-м свойствами гибкости, а высокий уровень гибкости — оборудование со 2-м и 5-м свойствами гибкости. Идеальный случай, когда оборудование обладает всеми свойствами гибкости. Однако этот случай не всегда экономически оправдан.

По степени автоматизации переналадки различают гибкое технологическое оборудование с автоматической и ручной перена-

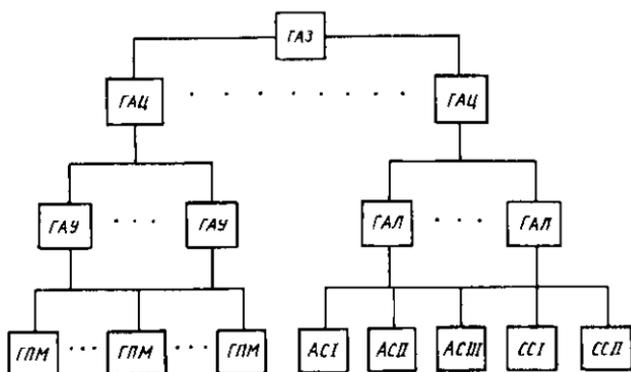


Рис. 1.5. Организационная структура ГПС: АСИ — агрегатные станки на базе унифицированных узлов единой гаммы с управлением от программируемых командоаппаратов; АСИ — агрегатные станки на базе специальных узлов с ЧПУ; АСИ — агрегатные станки с револьверными головками и сменными шпиндельными коробками; ССИ — специальные станки с управлением от программируемых командоаппаратов; ССИ — специальные станки с ЧПУ

ладкой. В первом случае предусматривают соответствующие механизмы и системы управления. Потери времени и средств на переналадку технологического оборудования при переходе от одной партии деталей к другой партии характеризуются переналаживаемостью, которая является определенным показателем гибкости оборудования.

Совокупность гибкого технологического оборудования образует гибкую производственную систему (ГПС), которая по организационной структуре имеет следующие уровни [23] (рис. 1.5): гибкий производственный модуль (ГПМ); гибкая автоматизированная линия (ГАЛ); гибкий автоматизированный участок (ГАУ); гибкий автоматизированный цех (ГАЦ); гибкий автоматизированный завод (ГАЗ).

Необходимо отметить, что целесообразный уровень гибкости станочного оборудования зависит от номенклатуры обрабатываемых деталей (рис. 1.6). В массовом производстве ($N = 1...4$) в основном применяются АЛ и ГАЛ с ручной переналадкой, в крупносерийном производстве ($N = 4...10$) — ГАЛ с автоматической переналадкой и ГАУ, в среднесерийном производстве ($N = 10...30$) — в основном ГАУ, в мелкосерийном производстве ($N = 30...200$) — ГАУ и ГПМ, в единичном производстве ($N > 200$) — ГПМ и отдельные станки с ЧПУ.

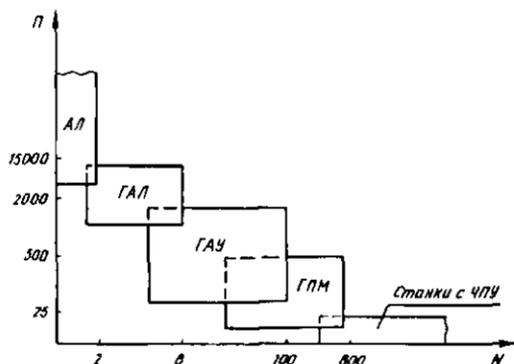


Рис. 1.6. Примерные области рационального использования станочного оборудования различного уровня гибкости: АЛ — автоматические линии (непереналаживаемые); ГАЛ — гибкие автоматизированные линии; ГАУ — гибкие автоматизированные участки; ГПМ — гибкий производственный (станочный) модуль; N — количество партий (номенклатура) деталей; P — количество деталей в партии

§ 1.5. Эффективность

Одной из важнейших технико-экономических задач при организации производства той или иной продукции является выбор рационального варианта технологического оборудования из определенной совокупности возможных вариантов. Для этого необходим экономический анализ эффективности возможных вариантов.

В станкостроении для оценки сравнительной эффективности возможных вариантов станочного оборудования применяется показатель приведенных затрат [11, 35, 123, 125 и др.]:

$$P_i = S_i + E_n \cdot K_{y,i} \quad (1.15)$$

где P_i — приведенные затраты на единицу продукции для i -го варианта, сум.; S_i — текущие затраты (себестоимость) на единицу продукции*, сум.; $K_{y,i}$ — удельные капитальные вложения (стоимость станочного оборудования, приходящаяся на единицу продукции), сум.; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,15$).

В развернутом виде формула приведенных затрат дается в работе [125]:

$$P_i = t_{штi} \left(S_p + S_o + \frac{S_{ин}}{b \cdot T} \right)_i + \frac{t_{п.з} \cdot S_n + C_n}{N} + t_{штi} \cdot A_n \frac{K_i}{\Phi_{штi}} + E_n \cdot K_i \frac{t_{штi}}{\Phi_{штi}}, \quad (1.16)$$

* Текущие затраты без учета стоимости материала заготовки.

где $t_{штi}$ — штучное время для i -го варианта станочного оборудования, мин; S_p — стоимость ремонта (включая капитальный), осмотра и технического обслуживания, отнесенная к минуте работы станка, сум/мин; S_o — суммарная стоимость минуты работы станочника и наладчика, учитывающая число обслуживаемых станков, сум/мин; $S_{ин}$ — затраты на эксплуатацию инструмента за период его стойкости T , сум.; b — отношение штучного времени к основному (технологическому) времени; $t_{на}$ — время наладки, отнесенное к годовой программе выпуска, мин; S_n — стоимость минуты работы наладчика, сум/мин; C_N — стоимость дополнительной оснастки, отнесенная к году эксплуатации станка, сум.; A_n — годовая норма амортизационных отчислений; K_1 — стоимость станка, сум.; $\Phi_{штi}$ — фонд штучного времени работы станка, мин; E_n — нормативный коэффициент эффективности.

Для агрегатных станков (станки из унифицированных узлов), относящихся к группе специальных, присущи некоторые особенности [11] при определении приведенных затрат. Во-первых, целесообразно определять приведенные затраты на годовую программу выпуска деталей, так как агрегатные станки, являясь специальными, не могут догружаться другими деталями для их полного использования. Во-вторых, в приведенных затратах, можно пренебречь составляющими, связанными с подготовительно-заключительным временем и дополнительной оснасткой. В-третьих, необходимо учитывать дополнительные затраты, связанные с монтажом и обеспечением геометрической точности станка, а также с последующим ее восстановлением в процессе эксплуатации.

С учетом этих особенностей формулу приведенных годовых затрат для агрегатных станков можно записать в следующем виде:

$$P_{Ni} = Z_i K_i (A_n + E_n) + N \cdot t_{штi} (S_p + S_o + \frac{S_{ин}}{b \cdot T})_i + Z_i \left(\frac{S_{мтi}}{T_k} + S_{тi} \cdot a_i \right), \quad (1.17)$$

где Z_i — число станков по i -му варианту

$$Z_i = \frac{t_{штi} \cdot N}{60 \cdot \Phi \cdot \eta_{т.я.i} \cdot \eta_{штi}}; \quad (1.18)$$

Φ — годовой фонд времени при двухсменной работе, мин;
 $\eta_{т.я.i}$ — коэффициент технического использования станка;
 $\eta_{штi}$ — коэффициент использования станка по штучному времени;

$S_{\text{мт}}$ — стоимость монтажа и обеспечения геометрической точности агрегатного станка, сум.; $T_{\text{к}}$ — продолжительность эксплуатации станка до капитального ремонта или до снятия с производства обрабатываемой детали, годы; $S_{\text{н}}$ — стоимость повторного восстановления геометрической точности станка, сум.; a_i — число повторных восстановлений геометрической точности, происходящих на год эксплуатации станка.

Из сравниваемых вариантов станочного оборудования рациональным считается тот, у которого приведенные затраты минимальны, т. е. критерием эффективности является минимум приведенных затрат

$$P_{\text{рац}} = \min \text{ или } P_{\text{нрац}} = \min.$$

Годовой экономический эффект от применения рационального варианта станочного оборудования определяется как разность приведенных годовых затрат по базовому и рациональному вариантам

$$\mathcal{E} = P_{\text{нб}} - P_{\text{нрац}}$$

или

$$\mathcal{E} = (S_{\text{н}} + E_{\text{н}} \cdot K)_{\text{б}} - (S_{\text{н}} + E_{\text{н}} \cdot K)_{\text{рац}}. \quad (1.19)$$

При создании нового станочного оборудования для определения экономического эффекта от его внедрения в качестве базового варианта можно взять соответствующее оборудование, используемое у заказчика. В данном случае сравнение приведенных затрат даст представление лишь о величине экономического эффекта, который получится у заказчика. Вопрос же о степени технической прогрессивности создаваемого оборудования при этом решается не всегда, так как существующий вариант оборудования у заказчика может находиться на недостаточно высоком техническом уровне. Поэтому в качестве базового варианта выбирается имеющееся аналогичного назначения станочное оборудование, которое по важнейшим показателям (производительности, точности, надежности, степени механизации и автоматизации) является лучшим из существующего в промышленности в данный момент.

Необходимо отметить, что при сравнении базового и рационального вариантов станочного оборудования, наряду с приведенными затратами и экономической эффективностью, определяется срок окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$t = (K_{\text{рац}} - K_{\text{б}}) / (S_{\text{нб}} - S_{\text{нрац}}). \quad (1.20)$$

Причем должно выполняться условие $t \leq [t]$, где $[t]$ — допустимое значение срока окупаемости дополнительных капитальных вложений. Для станочного и другого технологического оборудования

$$[t] = \frac{1}{A_n} = \frac{1}{0,15} = 6,6 \text{ года.}$$

Глава 2

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

§ 2.1. Образование поверхностей деталей

Поверхность любой сложной детали представляет собой определенную совокупность простых поверхностей: плоских, линейчатых, цилиндрических, конических, сферических, торовых, винтовых и др., полученных тем или иным способом — литьем, штамповкой, резанием и т. д. Поверхности, полученные на металлорежущих станках, отличаются от идеальных формой, размерами и шероховатостью. Отличается от идеального и реальное взаимное расположение поверхностей.

Любую идеальную простую поверхность можно представить как множество последовательных положений производящей линии, называемой образующей 1 (рис. 2.1), движущейся по другой производящей линии, называемой направляющей 2 (или 2^I , 2^{II}). При этом в ряде случаев можно менять функции образующей и направляющей линии, что делает соответствующие поверхности обратимыми.

Для получения плоской поверхности образующая в виде прямой линии 1 (рис. 2.1а, б) перемещается по прямой направляющей 2. Круговая цилиндрическая поверхность получается путем перемещения образующей прямой линии 1 (рис. 2.1в) по направляющей 2 в виде окружности или путем перемещения образующей 1 в виде окружности (рис. 2.1г) по прямой направляющей 2. Для получения конической усеченной поверхности прямая образующая 1 (рис. 2.1д) перемещается по двум направляющим 2^I и 2^{II} в виде окружностей с радиусами R^I и R^{II} . Данная поверхность может быть получена путем перемещения образующей 1 в виде окружности с переменным радиусом R (рис. 2.1е) по прямой направляющей 2. Все эти поверхности являются обратимыми.

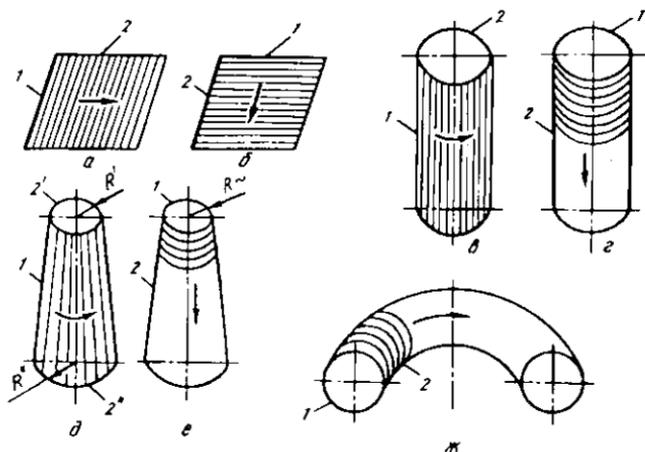


Рис. 2.1. Образование поверхностей: 1 — образующая; 2 ($2'$, $2''$) — направляющая

Примером необратимой поверхности является торовая поверхность, которая получается путем перемещения образующей 1 в виде окружности (рис. 2.1ж) по направляющей 2 также в виде окружности.

§ 2.2. Методы образования производящих линий

На металлорежущих станках производящие линии (образующую и направляющую) получают путем сообщения инструменту и заготовке согласованных между собой относительных движений. Эти движения называют формообразующими (рабочими) и обозначают буквой Φ . В зависимости от формы производящей линии и метода ее образования движения формообразования могут быть простыми и сложными.

К простым движениям формообразования относятся вращательное $\Phi(B)$ и прямолинейное $\Phi(\Pi)$ движения.

Существует четыре метода [9] образования производящих линий: копирования, огибания (обката), следа и касания.

Метод копирования заключается в том, что форма производящей линии (как правило, образующей) совпадает с формой режущей кромки инструмента (рис. 2.2а). Этот метод реализуется при использовании фасонного инструмента. В данном случае для получения образующей не требуется никакого движения формообразования, так как она заложена непосредственно в инструменте.

Метод огибания (обката) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде огибающей ряда после-

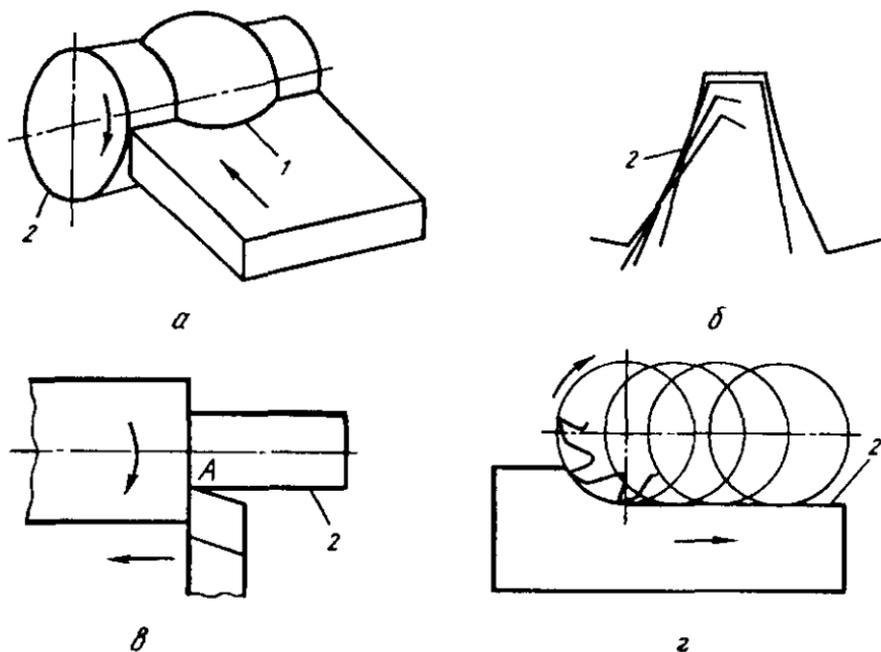


Рис. 2.2. Методы образования производящих линий: 1 — образующая; 2 — направляющая

довательных положений режущей кромки инструмента в результате его движений относительно заготовки (рис. 2.2б). При зубодолблении огибающая является направляющей, а при зубофрезеровании — образующей.

Метод следа заключается в том, что форма производящей линии получается как след движения режущей точки (вершины) инструмента относительно заготовки (рис. 2.2в). Так, при точении след точки *A* образует направляющую 2.

Метод касания основан на том, что форма производящей линии получается в виде касательной к траектории режущих точек вращающегося инструмента при движении его оси вращения относительно заготовки (рис. 2.2г). Этот метод характерен при образовании производящих линий (направляющих) с применением фрез и шлифовальных кругов.

2.3. Классификация движений в станках

В металлорежущих станках звенья, несущие заготовку и инструмент, называются рабочими или исполнительными. Их движения в процессе обработки также называются рабочими или

исполнительными. По функциональному признаку они подразделяются на движения: формообразования, установочные и деления.

Формообразующими называют согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, а следовательно, поверхность заданной формы.

Установочными называют движения заготовки или инструмента, необходимые для их перемещения в положение, обеспечивающее снятие требуемого припуска и получение заданного размера. Примером установочного движения является поперечное движение фасонного резца для получения цилиндрической и сферической поверхностей заданных диаметров (рис. 2.2а). В том случае, когда при установочном движении происходит резание материала, оно называется движением врезания.

Делительными называют движения, которые обеспечивают заданное расположение на заготовке одинаковых обрабатываемых поверхностей. Они могут быть прерывными и непрерывными. Такие движения имеют место при обработке зубчатых колес. Непрерывные делительные движения по своей структуре совпадают с одним из формообразующих движений.

Рабочие (или исполнительные) движения заготовки и инструмента в процессе резания принято подразделять на главное движение и движение подачи (ГОСТ 25762-83). Главным движением называют прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, которое обеспечивает отделение стружки от заготовки с заданной скоростью резания. Движением подачи называют прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, которое обеспечивает сьем стружки со всей обрабатываемой поверхности. Например, на токарных станках главным движением является вращение заготовки (рис. 2.2б), а движением подачи — прямолинейное движение резца. Во фрезерных станках, наоборот, главным движением является вращение инструмента (фрезы), а движением подачи — прямолинейное движение заготовки (рис. 2.2г).

Кроме рабочих (исполнительных) движений для обработки деталей на металлорежущих станках требуются вспомогательные движения и движения управления. К первым относятся движения, связанные с установкой заготовки и съемом детали, зажимом заготовки и разжимом детали, подводом и отводом инструмента, установкой и снятием инструмента, контролем размеров. Движения управления связаны с органами управления, регулирования и координации рабочих движений исполнительных органов станка. Примером этих движений являются включение и

отключение приводов станка, выбор и включение требуемых частот вращения шпинделя и подачи, реверсирование вращения шпинделя.

§ 2.4. Кинематическая группа

Рабочие (исполнительные) движения в станках осуществляются посредством кинематических групп, включающих источник движения, исполнительный орган (или органы), кинематическую связь и орган настройки, обеспечивающий требуемые параметры движения. Название кинематической группы совпадает с названием соответствующего рабочего движения.

К рабочим органам станка относят органы, на которые устанавливаются заготовки или инструмент, например, стол, шпиндель, суппорт, ползун и т. д. Эти органы в большинстве случаев совершают вращательное или прямолинейное движение.

В кинематических группах различают два вида кинематической связи — внутреннюю и внешнюю. Внутренняя связь обеспечивает траекторию исполнительного движения и может состоять из одной кинематической пары — простая группа (рис. 2.3а, б) или нескольких пар и кинематических цепей — сложная группа (рис. 2.3в). В сложных кинематических группах число кинематических цепей, из которых состоит внутренняя кинематическая связь, на единицу меньше числа элементарных движений, образующих группой исполнительное движение.

Внешняя кинематическая связь соединяет исполнительный орган с источником движения (например, электрическим двигателем) и обеспечивает количественные характеристики движения: скорость, направление, путь и исходную точку. Эта связь служит для передачи энергии от источника движения во внутреннюю связь группы.

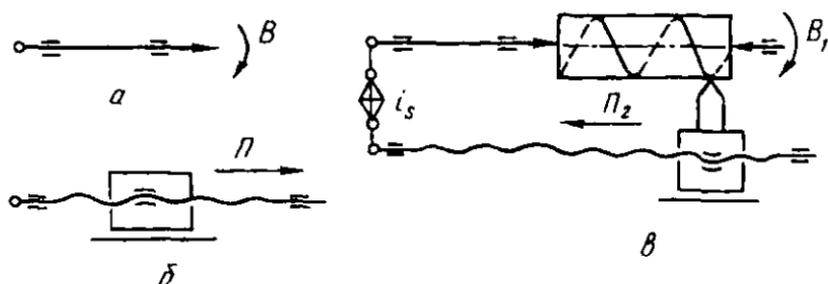


Рис. 2.3. Кинематические пары: а — вращательная; б — поступательная; в — сочетание двух кинематических пар — вращательной и поступательной

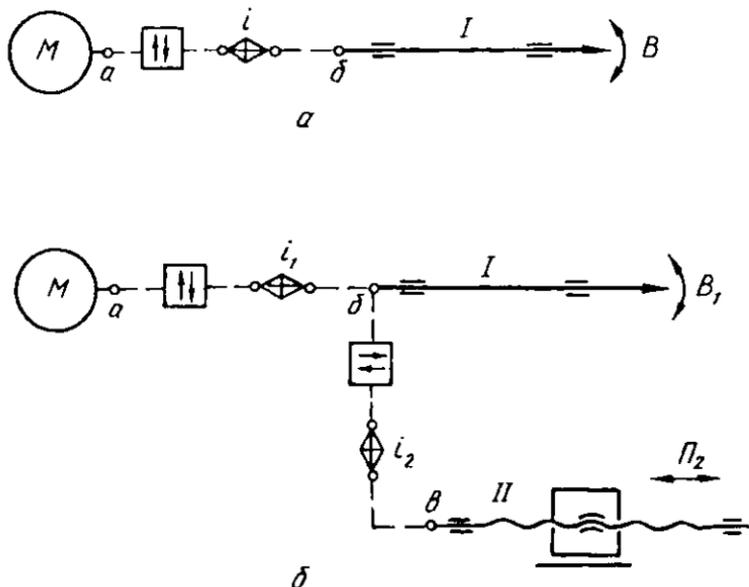


Рис. 2.4. Структурные схемы кинематических групп: а — простой; б — сложной с двумя исполнительными органами

На рис. 2.4 представлены структурные схемы различных кинематических групп. В простой кинематической группе (рис. 2.4а), обеспечивающей формообразующее движение $\Phi(B)$, внешней кинематической связью является цепь $a-b$, передающая энергию от источника движения M к исполнительному органу группы I. Здесь орган настройки скорости движения обозначается знаком \diamond с буквой i , а орган настройки направления движения — знаком \square . Органами настройки могут быть сменные зубчатые колеса или шкивы, коробки скоростей и подачи с подвижными блоками шестерен или электромагнитными муфтами, регулируемые электродвигатели.

В сложной кинематической группе с двумя исполнительными органами (рис. 2.4б), обеспечивающей сложное формообразующее движение $\Phi(B_1, \Pi_2)$, внешней кинематической связью является цепь $a-b$; а внутренней — цепь $b-v$ между исполнительными органами I и II. Здесь орган настройки i_1 регулирует скорость движения, а орган настройки i_2 — траекторию движения.

В рассмотренных структурных схемах кинематических групп связи осуществляются механическими средствами, с помощью различных передач (зубчатых, ременных, цепных). В современных станках, особенно в станках с программным управлением для реализации связей используются и другие средства: электрические, электронные, гидравлические, пневматические и т. д.

2.5. Кинематическая структура станков

Совокупность кинематических групп, соединенных различными способами, образует кинематическую структуру станка. В целом кинематическая структура станка характеризуется числом и составом кинематических групп формообразования и межгрупповыми связями между ними, а также числом и составом остальных кинематических групп иного назначения и их межгрупповыми связями [9].

Все многообразие кинематических структур металлорежущих станков можно разделить на три класса.

1. Класс элементарных структур \mathcal{E} , состоящий только из простых кинематических групп, обеспечивающих простые формообразующие движения $\Phi(B)$ и $\Phi(\Pi)$.

2. Класс сложных структур \mathcal{C} , состоящих только из сложных кинематических групп, каждая из которых создает движение формообразования, состоящее из двух и большего числа простых движений, например, $\Phi(B_1 B_2)$, $\Phi(B_1 \Pi_1)$, $\Phi(B_1 \Pi_2 \Pi_3)$ и т. д. Внутренняя связь таких групп состоит из одной и более кинематических цепей.

3. Класс комбинированных структур \mathcal{K} , состоящих как из простых, так и сложных кинематических групп.

В каждом классе имеется определенное число типовых кинематических станков, которые обозначаются буквой (класс структуры) и двумя цифрами: первая цифра — число формообразую-

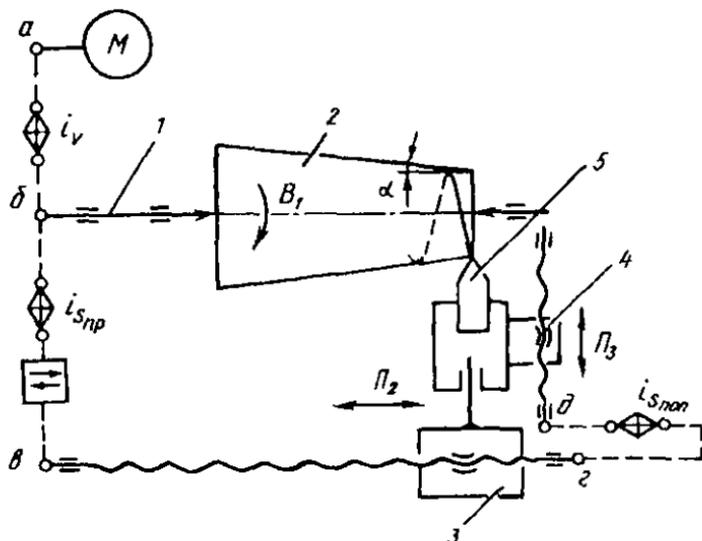


Рис. 2.5. Кинематическая структура токарного станка: 1 — шпиндель; 2 — заготовка; 3 — продольный суппорт; 4 — поперечные салазки; 5 — инструмент

щих групп; вторая цифра — общее число простых вращательных и прямолинейных движений, составляющих все формообразующие движения станка. Например, $K23$ — комбинированная кинематическая структура с двумя группами формообразования и тремя простыми движениями.

Кинематическая структура станка составляется на основе схемы формообразования (или схемы обработки), которая зависит от формы обрабатываемой поверхности и режущего инструмента. Порядок составления структуры следующий:

устанавливают число исполнительных органов;

определяют внутреннюю кинематическую связь групп;

устанавливают число и расположение органов настройки параметров движения.

На рис. 2.5 показана кинематическая структура токарного станка для обработки конической винтовой поверхности.

Здесь сложное формообразующее движение $\Phi(V_1 P_2 P_3)$ состоит из трех простых движений. Станок имеет три исполнительных органа: шпиндель 1 , на котором устанавливается заготовка 2 , продольный суппорт 3 и поперечные салазки 4 с режущим инструментом 5 .

В рассматриваемой кинематической структуре внутренняя кинематическая связь состоит из двух внутренних кинематических цепей (на единицу меньше числа элементарных движений). Для получения продольной подачи служит цепь $b-v$, связывающая вращательное движение V_1 шпинделя 1 с прямолинейным движением P_2 продольного суппорта 3 . Эта цепь устанавливается органом настройки $i_{\text{спр}}$. Требуемая конусность обеспечивается кинематической цепью $z-d$, связывающей прямолинейное движение P_2 продольного суппорта 3 с прямолинейным движением P_3 поперечных салазок 4 . Настройка данной кинематической цепи осуществляется органом настройки $i_{\text{мон}}$. Обе кинематические цепи составляют одну кинематическую группу. Для передачи энергии от источника движения к шпинделю 1 служит кинематическая цепь $a-b$ внешней кинематической связи. Скорость главного движения настраивается органом настройки i_v .

§ 2.6. Основы кинематической настройки станков

Кинематическая настройка станка заключается в кинематической настройке его цепей, обеспечивающей требуемые скорости движения исполнительных органов станка, а также условия согласования их перемещений или скоростей. Цель данной настройки — образование поверхности детали с заданными формой, размерами, точностью и шероховатостью. Кинематическая

настройка сводится в основном к определению параметров органов настройки и является составной частью наладки станка.

В большинстве металлорежущих станков с механическими связями органами (звеньями) настройки являются гитары сменных зубчатых колес, сменные шкивы ременных передач, вариаторы, коробки скоростей и подач. Для них определяемым параметром является общее передаточное отношение i .

Настройка кинематических цепей осуществляется в следующей последовательности.

1. Для выбранной кинематической цепи определяют условия согласования перемещений или скоростей ее конечных звеньев, т. е. определяют, так называемые, их расчетные перемещения. Например, в кинематической цепи главного движения токарного станка (рис. 2.5) конечными звеньями являются электродвигатель M и шпиндель I . Для них имеем следующие расчетные перемещения:

$$n_{эл} \longleftrightarrow n_{шп},$$

где $n_{эл}$ — частота вращения ротора электродвигателя;

$n_{шп}$ — требуемая частота вращения шпинделя, определяемая по формуле:

$$n_{шп} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}$$

V — скорость резания, м/мин, или м/с; d — диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

В кинематической цепи продольной подачи конечными звеньями являются шпиндель I и продольный суппорт $З$. Для них имеем следующие расчетные перемещения:

$$1. \text{ об. шпинделя} \longleftrightarrow S_{пр},$$

где $S_{пр}$ — перемещение продольного суппорта, равное величине шага резьбы.

2. С учетом расчетных перемещений составляют уравнение кинематического баланса цепи согласования. В нем неизвестным является передаточное отношение i органа настройки. В рассматриваемом примере данное уравнение для кинематической цепи главного движения имеет следующий вид:

$$n_{эл} \cdot i_{n1} \cdot i_v \cdot i_{n2} = n_{шп},$$

где i_{n1} и i_{n2} — общее передаточное отношение механических передач (зубчатых, ременных, цепных), расположенных в кинематической цепи до и после органа настройки.

3. Решают уравнение кинематического баланса цепи согласования и определяют формулу настройки. Для привода главного движения токарного станка она имеет следующий вид:

$$i_v = \frac{n_{\text{шп}}}{n_{\text{эл}} \cdot i_{n1} \cdot i_{n2}}$$

Глава 3

КИНЕМАТИКА ЗУБО- И РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

§ 3.1. Зубодолбежные станки

Схема обработки (формообразования) и кинематическая структура зубодолбежного станка. В основе формообразования зубьев колес лежат два метода изготовления:

метод копирования профиля режущего инструмента (рис. 3.1);

метод обката (огибания), основанный на механическом воспроизводстве зубчатого зацепления (рис. 3.2б).

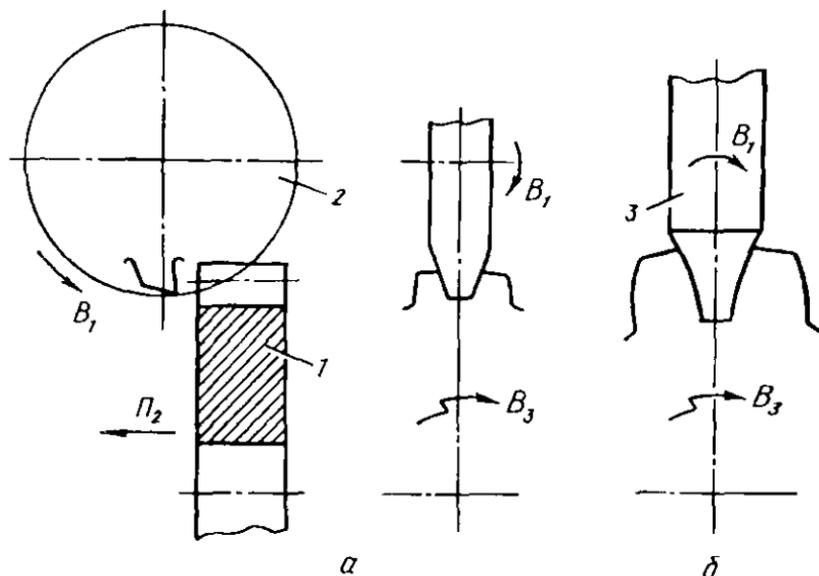


Рис. 3.1. Схема образования профиля зуба методом копирования:
1 — зубчатое колесо; 2 — модульная дисковая фреза;
3 — модульная пальцевая фреза

Из них наибольшее распространение на практике получил второй метод, так как он отличается от первого высокой производительностью и точностью обработки, а также универсальностью инструмента, а именно, одним инструментом можно обработать колеса данного модуля с любым числом зубьев.

В зубодолбежных станках, работающих методом обката, в качестве инструмента используется долбяк 1 (рис. 3.2), представляющий собой цилиндрическое колесо, зубья которого (прямые и винтовые) выполнены с соответствующими углами резания: передним γ и задним α . Изготавливается долбяк из инструментальных материалов. На этих станках обрабатываются цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями внешнего и внутреннего зацепления, а также шевронные колеса.

Рассмотрим схему формообразования зубьев колес на зубодолбежном станке (рис. 3.2). Долбяк 1 совершает простое возвратно-поступательное прямолинейное движение $\Phi_v(\Pi_1)$, которое является главным движением, так как оно обеспечивает отделение стружки от заготовки 2. В результате данного движения получается образующая 1 (рис. 3.3) в виде прямой линии. При обработке колес с винтовыми зубьями долбяк 1 совершает воз-

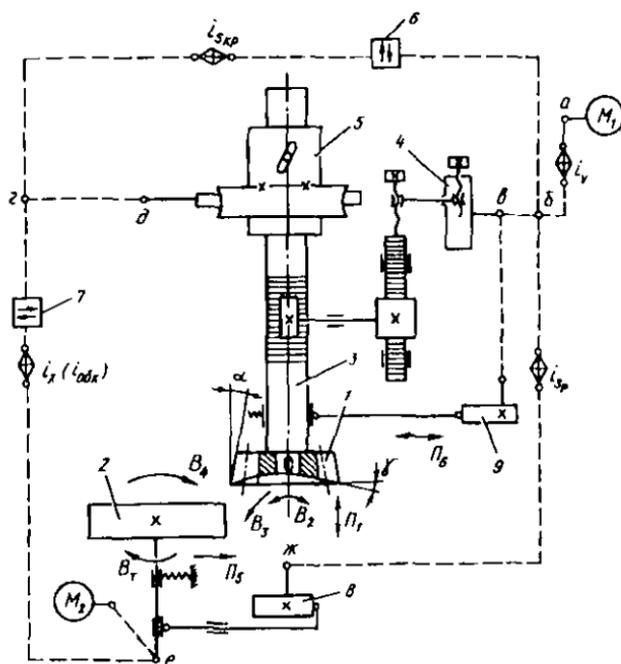


Рис. 3.2. Кинематическая структура зубодолбежного станка: 1 — долбяк; 2 — заготовка; 3 — ползун; 4 — кривошипный механизм; 5 — копир; 6 — механизмы реверса; 8, 9 — кулачки

вратно-поступательное винтовое движение $\Phi_v(P_1, B_2)$, результатом которого является образующая в виде винтовой линии.

Долбяк 1 и заготовка 2 (рис. 3.2) совершают сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_3, B_4)$. Это — движение обката долбяка и заготовки зубчатого колеса, в результате которого получается направляющая 2 (рис. 3.3) в виде эвольвенты. Составляющие данного формообразующего движения B_3 и B_4 являются движениями круговой подачи.

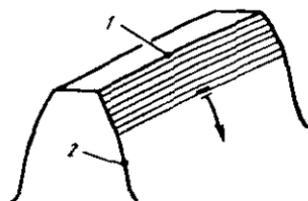


Рис. 3.3. Схема образования эвольвентной поверхности зуба на зубодолбежном станке

В зубодолбежных станках должен осуществляться делительный процесс, необходимый для равномерного размещения нарезаемых зубьев на заготовке. Этот процесс совмещается с процессом формообразования и не требует дополнительных движений заготовки и инструмента.

В процессе формообразования зубьев долбяк или заготовка совершает движение врезания $B_p(P_3)$, которое относится к установочным движениям, обеспечивающим снятие требуемого припуска и получение заданного размера. На рис. 3.2 такое движение совершает заготовка.

Кроме рассмотренных выше движений в зубодолбежных станках имеются следующие вспомогательные движения:

1. Отвод $B_c(P_2)$ заготовки или долбяка при обратном ходе долбяка в целях устранения трения его задних поверхностей об обрабатываемую поверхность заготовки. В результате уменьшается износ долбяка.

2. Ускоренное вращение $B_c(B_7)$ заготовки при проверке ее радиального биения.

Для осуществления различных видов движения, представленных на схеме обработки (формообразования), предусматриваются соответствующие кинематические группы, совокупность которых образует кинематическую структуру зубодолбежного станка. Возвратно-поступательное прямолинейное движение долбяка $\Phi_v(P_1)$ осуществляется простой кинематической группой главного движения, в которой внутренняя связь обеспечивается связью поступательной пары ползун 3 (прямолинейные направляющие стойки станка), а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-v$ между источником движения M_1 и ползуном, включая орган настройки i_v и кривошипный механизм 4. В случае обработки колес с винтовыми зубьями (формообразующее движение долбяка $\Phi_v(P_1, B_2)$) внутренняя связь в кинематической группе главного движения обеспечивается связью винтовой пары ползун (винтовые направляющие сменного копира 5).

Сложное формообразующее движение $\Phi_3(B_3B_4)$ осуществляется сложной кинематической группой круговой подачи, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $d-e$ с органом настройки i_x (или $i_{обк}$), а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-z$ с органом настройки $i_{скр}$. Во внешней и внутренней связи имеются органы настройки направления движения (механизмы реверса) 6 и 7. Механизм реверса 6 используется для изменения направления вращения долбяка после обработки определенного числа зубчатых колес, в целях обеспечения равномерного износа его режущих кромок, а механизм реверса 7 — для изменения направления вращения заготовки относительно долбяка при обработке колес внутреннего зацепления.

Движение врезания $B_p(\Pi_3)$ заготовки (в ряде станков долбяка) осуществляется кинематической группой радиальной подачи, в которой внутренняя связь обеспечивается связью поступательной пары каретки стола (прямолинейные направляющие станины), а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-ж$ между источником движения M_1 и кулачком 8, включая орган настройки $i_{пр}$.

Что касается вспомогательных движений в зубодолбежном станке, то они осуществляются следующим образом:

отвод $B_c(\Pi_8)$ долбяка при его обратном ходе — посредством кулачка 9, соединенного кинематической цепью с кривошипным механизмом 4;

ускоренное вращение $B_c(B_7)$ заготовки при проверке ее радиального биения — посредством источника движения M_2 .

Кинематическая настройка зубодолбежного станка заключается в определении параметров органов настройки следующих кинематических цепей: главного движения, обката, круговой и радиальной подачи. Исходными данными для настройки являются материал нарезаемого колеса и долбяка, шероховатость зубьев, число Z_n зубьев долбяка и Z_3 нарезаемого колеса, модуль m и углов β наклона зубьев.

Рассмотрим настройку зубодолбежного полуавтомата мод. 5В12, кинематическая схема которого представлена на рис. 3.4.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи являются вал электродвигателя M_1 и ползун 1 (рис. 3.4), на котором устанавливается долбяк. Необходимо согласовать скорости их движения. В результате имеем следующие расчетные перемещения:

$$n_{эл} \text{ вала электродвигателя} \longleftrightarrow n_{дв.х.} \text{ ползуна,}$$

где $n_{дв.х.}$ — требуемая частота двойных ходов, дв.х./мин;

$$n_{дв.х.} = \frac{500 \cdot V_{ср}}{L}$$

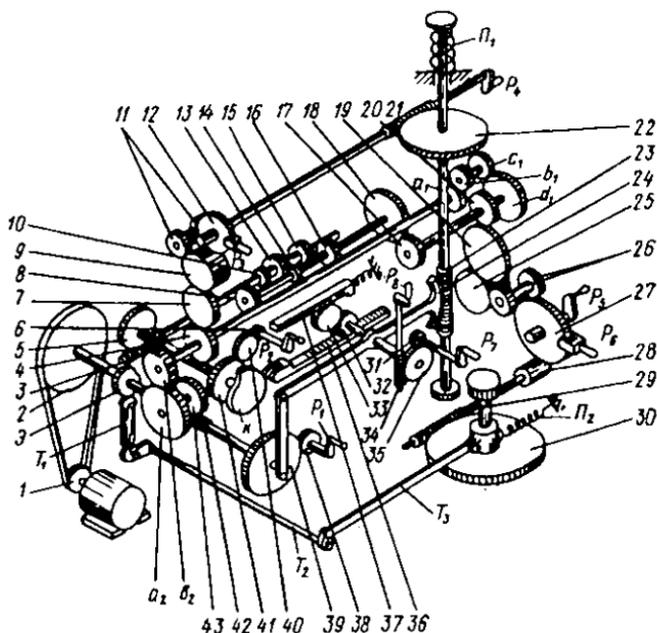


Рис. 3.4. Кинематическая схема зубодолбежного полуавтомата мод. 5B12

$V_{\text{ср}}$ — средняя скорость резания, м/мин (выбирается в зависимости от материала нарезаемого колеса и долбяка, вида обработки — черновая или чистовая и др. параметров); L — рабочий ход долбяка (рис. 3.5), мм:

$$L = B + \Delta_1 + \Delta_2,$$

B — ширина венца нарезаемого колеса, мм; Δ_1 — величина врезания, мм; Δ_2 — величина перебега, мм.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$950 \cdot i_v \cdot \eta_{\text{пр}} = n_{\text{дв.х.}}$$

Решая данное уравнение, получим формулу настройки, по которой определяется значение параметра органа настройки i_v :

$$i_v = \frac{d_1}{d_2} = \frac{n_{\text{дв.х.}}}{950 \cdot \eta_{\text{пр}}},$$

где d_1 и d_2 — диаметры ведущего и ведомого шкивов клиноременной передачи; $\eta_{\text{пр}}$ — коэффициент проскальзывания.

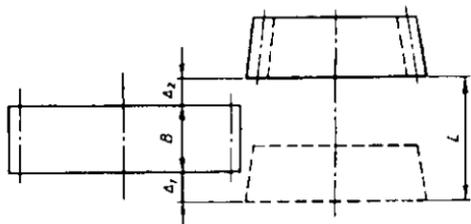


Рис. 3.5. Схема определения рабочего хода долбяка

В зубодолбежном полуавтомате, мод. 5В12 требуемое значение параметра органа настройки устанавливается при помощи четырехступенчатой клиноременной передачи.

Кинематическая цепь обката. Конечными звеньями цепи обката (и деления) являются долбяк

и заготовка нарезаемого колеса. Эта цепь согласует их скорости вращения или углы поворота. Для указанных звеньев имеем следующие расчетные перемещения:

n_d — долбяка \longleftrightarrow n_3 заготовки

или 1 об. долбяка \longleftrightarrow $\frac{Z_d}{Z_3}$ об. заготовки,

где $n_3 = n_d \cdot \frac{Z_d}{Z_3}$; n_d и n_3 — частоты вращения долбяка и заготовки, об/мин.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1 \text{ об. долб.} \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{64}{35} \cdot \frac{35}{64} \cdot \frac{64}{72} \cdot \frac{72}{64} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{52}{74} \cdot \frac{74}{44} \cdot \frac{44}{35} \cdot \frac{35}{80} \cdot \frac{80}{39} \cdot \frac{1}{120} = \frac{Z_d}{Z_3}$$

Решая данное уравнение, получим формулу настройки, по которой определяется значение параметра органа настройки i_x (или $i_{\text{обк}}$):

$$i_{\text{обк}} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{Z_d}{Z_3}$$

Требуемое значение указанного параметра обеспечивается путем подбора чисел зубьев сменных колес $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1}$ органа настройки, которые прилагаются к станку. При этом фактическое значение параметра должно совпадать с расчетным с точностью до шестого знака после запятой. Если данное условие не выполняется, то погрешность шага зубьев нарезаемого колеса выходит за допустимые пределы.

Кинематическая цепь круговой подачи. Эта цепь связывает вращение кривошипа, сообщающего возвратно-поступательное движение долбяку, и вращение долбяка. За один обо-

рот кривошипа долбляк совершает один двойной ход и одновременно поворачивается на величину круговой подачи $S_{кр}$, измеряемой по диаметру делительной окружности. В этом случае имеем следующие расчетные перемещения:

$$l_{дв.х} \text{ долбляка} \longleftrightarrow S_{кр} \text{ долбляка, мм/дв.х.}$$

Круговая подача выбирается в зависимости от вида обработки (черновая или чистовая), а следовательно, и от шероховатости зубьев нарезаемого колеса.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$l_{дв.х} \cdot \frac{4}{50} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{64}{72} \cdot \frac{72}{64} \cdot \frac{64}{35} \cdot \frac{35}{64} \cdot \frac{1}{90} \cdot \pi \cdot m \cdot Z_d = S_{кр}.$$

Решая данное уравнение, получим формулу настройки, по которой определяется значение параметра органа настройки $i_{скр}$:

$$i_{скр} = \frac{a_2}{b_2} = \frac{1125}{\pi \cdot m \cdot Z_d} \cdot S_{кр}.$$

Требуемое значение указанного параметра обеспечивается путем подбора чисел зубьев сменных колес $\frac{a_2}{b_2}$ органа настройки.

Кинематическая цепь радиальной подачи. Эта цепь связывает вращение кривошипа, сообщающего возвратно-поступательное движение долбляку, и вращение кулачка, посредством которого осуществляется радиальная подача долбляка. Для этой цепи имеем следующие расчетные перемещения:

$$l_{дв.х} \text{ долбляка} \longleftrightarrow S_p \text{ долбляка, мм/дв.х.}$$

Радиальная подача выбирается в зависимости от обрабатываемого материала и модуля нарезаемых зубьев. Кулачок в зависимости от числа проходов при зубодолблении может быть одно-, двух- и трехпроходным.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$l_{дв.х} \cdot \frac{4}{50} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{40}{80} \cdot i_{сп} \cdot \frac{1}{64} \cdot T = S_p.$$

Орган настройки $i_{сп}$ представляет собой ступенчатую зубчатую передачу с тройным блоком шестерен. При использовании од-

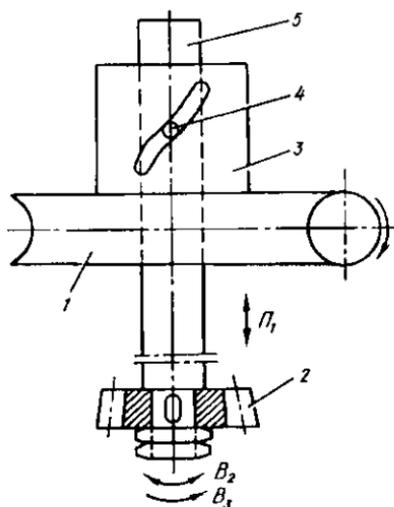


Рис. 3.6. Схема копирной системы:
 1 — червячное колесо; 2 — долбяк;
 3 — копирная втулка (копир);
 4 — палец; 5 — шток

пазу копирной втулки 3 находится палец 4, закрепленный на штоке 5. При совершении штоком 5 вместе с долбяком 2 возвратно-поступательного движения Π_1 посредством винтового пазу копирной втулки 3 штоку, а следовательно, и долбяку сообщается дополнительный поворот B_2 .

С изменением угла наклона винтовых зубьев колеса заменяются долбяк и копирная втулка.

непроходного кулачка включается зубчатая пара $\frac{48}{28}$, двухпроходного кулачка — зубчатая пара $\frac{35}{41}$ и трехпроходного кулачка — зубчатая пара $\frac{28}{48}$.

В зубодолбежных станках отсутствует кинематическая цепь для сообщения долбяку дополнительного поворота B_2 при обработке цилиндрических колес с винтовыми зубьями. Это движение сообщается долбяку посредством копирной системы, схема которой приведена на рис. 3.6. На червячном колесе 1, сообщаемом долбяку 2 движение B_2 круговой подачи, закреплена копирная втулка 3, в которой выполнен винтовой паз с углом наклона, равным углу наклона винтовых зубьев обрабатываемого колеса. В

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр нарезаемого колеса наружного зацепления, мм	208
Наименьший диаметр нарезаемого колеса наружного зацепления, мм	12
Наибольший наружный диаметр нарезаемого колеса с внутренними зубьями, мм	220
Наибольший модуль зубьев нарезаемого колеса, мм	4
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм:	
с наружными зубьями	50
с внутренними зубьями	30
Наибольший ход шпинделя с долбяком, мм	55
Число частот двойных ходов долбяка	4
Наибольшая частота двойных ходов долбяка, дв.х./мин	600

Наименьшая частота двойных ходов долбяка, дв.х./мин	200
Пределы круговых подач на двойной ход долбяка, мм/дв.х.	0,1—0,46
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	1,7

Схема обработки (формообразования) зубьев шевронных колес на зубодолбежном станке. Шевронное колесо по форме зубьев представляет собой два цилиндрических колеса с винтовыми взаимно ориентированными зубьями с углами наклона β и $180^\circ - \beta$. Такая форма предполагает использование двух долбяков для нарезания зубьев. Долбяки 1 и 2 (рис. 3.7) с взаимно ориентированными винтовыми зубьями совершают формообразующее возвратно-поступательное винтовое движение $\Phi_1(P_1, B_2)$. Вместе с заготовкой 3 они совершают сложное формообразующее движение $\Phi_2(B_3, B_4)$ — движение обката. В процессе формообразования движение врезания $V_p(P_3)$ сообщается заготовке. Что касается вспомогательных движений, то отвод $V_c(P_6)$ совершают долбяки, а ускоренное вращение $V_c(B_7)$ — заготовка.

Удаление стружки на стыке зубьев шевронного колеса (при отсутствии канавки) осуществляется путем ее переталкивания долбяками за плоскость станка на величину Δ .

Направления совершенствования зубодолбежных станков. Станки с ЧПУ. Одними из доминирующих требований, которые определяют направления совершенствования зубодолбежных станков и зубодолбления, являются повышение цикловой производительности Q_u и связанной с ней нормы выработки Q , а также параметров точности. Цикловая производительность и норма выработки определяется по следующим формулам:

$$Q_u = \frac{1}{t_o + \sum t_s};$$

$$Q = \frac{Q_u}{1 + Q_u(t_{to} + t_{oo} + t_\phi + \frac{T_{np}}{n})}, \quad (3.01)$$

$$\text{где } t_o = \frac{1}{n_{ав.х.}} \left(\frac{h}{S_p} + \frac{\pi \cdot m \cdot Z_3}{S_{кр}} \right);$$

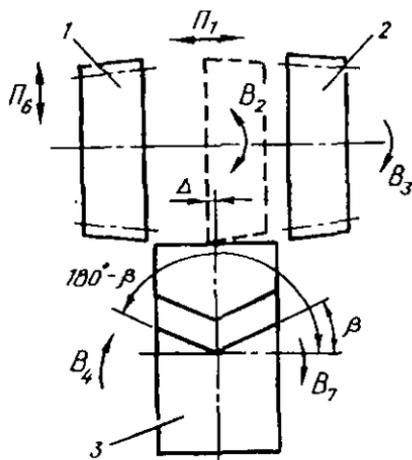


Рис. 3.7. Схема обработки зубьев шевронного колеса: 1, 2 — долбяки; 3 — заготовка

t_0 — основное (технологическое) время, затрачиваемое на процесс нарезания зубьев, мин; h — высота зуба, мм; S_p и S_{kp} — соответственно радиальная и круговая подачи, мм/дв.х.; Σt_n — вспомогательное время, затрачиваемое на установку и зажим заготовки, разжим и съем зубчатого колеса, управление станком, мин; $t_{то}$ — время технического обслуживания станка, затрачиваемое на смену изношенного инструмента, смазывание станка, удаление стружки, мин; t_{∞} — время организационного обслуживания рабочего места в начале и после окончания работы, мин; t_{ϕ} — время на физические потребности, мин; $T_{пз}$ — подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на изучение чертежа детали, наладку станка, включая настройку кинематических цепей, получение и сдачу приспособлений и инструмента, мин; n — число деталей в партии.

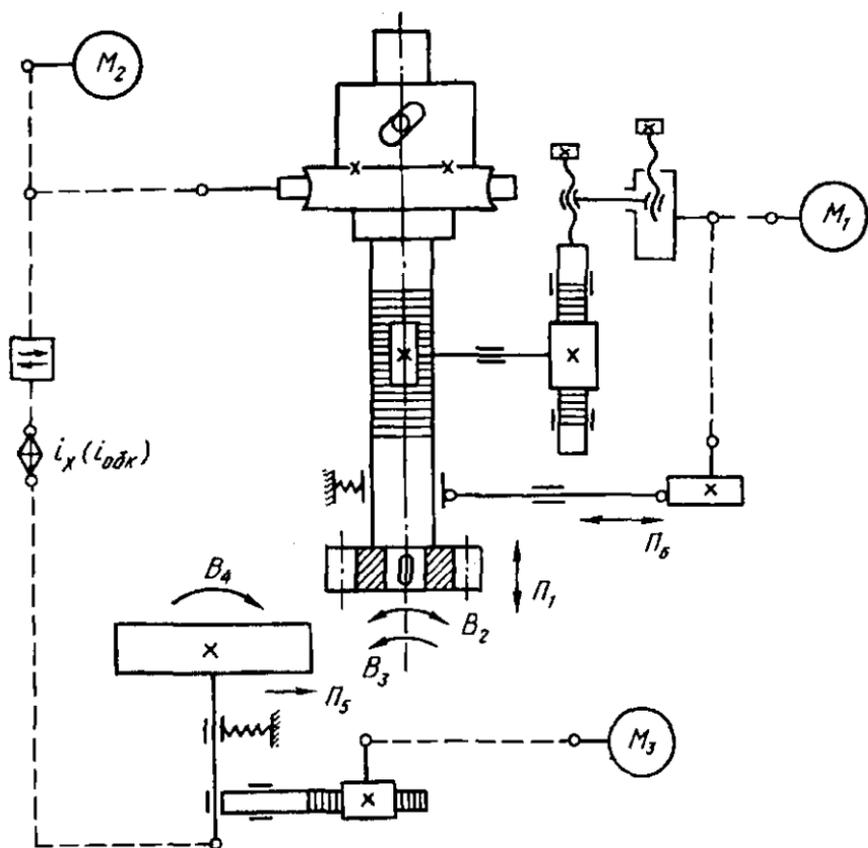


Рис. 3.8. Кинематическая структура зубодолбежного полуавтомата с ЧПУ мод. LS422 фирмы LORENZ

Одним из путей повышения нормы выработки, особенно при малом числе деталей в партии (индивидуальное и мелкосерийное производство), является уменьшение подготовительно-заключительного времени за счет сокращения времени настройки кинематических цепей зубодолбежного станка. Это достигается благодаря применению в них, так называемых, электронных передач с раздельными приводами, т. е. путем оснащения станка числовым программным управлением (ЧПУ). Это — главное направление совершенствования зубодолбежных станков.

На рис. 3.8 представлена кинематическая структура зубодолбежного полуавтомата с ЧПУ мод. LS422 фирмы LORENZ. Здесь, в отличие от станка мод. 5B12, в кинематических цепях главного движения, круговой и радиальной подачи используются раздельные двигатели постоянного тока с программируемой частотой вращения. В результате этого отпадает необходимость в механических органах настройки i_v , $i_{кр}$, $i_{сп}$ и, тем самым существенно сокращается время настройки указанных цепей. Что касается кинематической структуры цепи обката, то она такая же, как и в станке мод. 5B12.

Более совершенный зубодолбежный станок с ЧПУ разработала фирма LIEBHERR (мод. WSC251), в котором используется электронное согласование частот вращения долбяка и заготовки (цепь обката). В результате отпадает необходимость в органе настройки $i_{обк}$.

Следует отметить, что применение в зубодолбежных станках электронных передач не только существенно сокращает время настройки кинематических цепей, а, следовательно, и подготовительно-заключительное время, но и повышает параметры точности за счет сокращения до минимума в цепи обката механических передач. Существенно упрощается изготовление станка.

Настройка зубодолбежного станка с ЧПУ заключается в программировании частот вращения приводов электронных передач. Они определяются из условия их согласования со скоростями перемещения соответствующих исполнительных органов. В данном случае имеем следующие расчетные перемещения:

для кинематической цепи главного движения:

$$n_{эл} \text{ главного движения} \longleftrightarrow n_{дв.х.} = \frac{500 \cdot V_{ср}}{L};$$

для кинематической цепи круговой подачи долбяка:

$$n_{эл} \text{ круговой подачи} \longleftrightarrow n_{д} = \frac{S_{кр}}{\pi \cdot m \cdot Z_{д}} \cdot n_{дв.х.};$$

для кинематической цепи вращения заготовки при обработке прямозубых колес:

$$n_{\text{эл}} \text{ вращения заготовки} \longleftrightarrow n_3 = n \cdot \frac{Z_d}{Z_3};$$

для кинематической цепи радиальной подачи:

$$n_{\text{эл}} \text{ радиальной подачи} \longleftrightarrow V_c = S_p \cdot n_{\text{дв.л.}},$$

где V_c — скорость перемещения салазок, мм/мин.

Необходимо отметить, что частоты вращения долбяка и заготовки, найденные из условия обката, согласуются системой электронной связи. Блок-схема подобной системы электронной связи рассматривается ниже на примере зубофрезерного станка с ЧПУ (см. рис. 3.15).

Второе направление совершенствования зубодолбежных станков связано с их оснащением различными автоматическими устройствами, позволяющими существенно сократить время технического обслуживания станка. Примером таких устройств являются манипуляторы для автоматической смены изношенного инструмента, механизмы удаления стружки и смазки трущихся поверхностей станка во время его работы.

§ 3.2. Зубофрезерные станки

Схема обработки (формообразования) и кинематическая структура зубофрезерного станка. В зубофрезерных станках, работающих методом обката, в качестве инструмента используется червячная фреза, представляющая собой червяк, по винтовой поверхности которого располагаются режущие зубья. Изготавливаются червячные фрезы из инструментальных материалов или их режущие зубья оснащаются пластинками из твердых сплавов. На этих станках обрабатываются цилиндрические колеса с прямыми и винтовыми зубьями внешнего зацепления, а также червячные колеса.

Рассмотрим схему формообразования зубьев колес на зубофрезерном станке (рис. 3.9). Червячная фреза 1 и заготовка 2 совершают сложное формообразующее движение $\Phi_1(B_1B_2)$ — движение обката, в результате которого получается образующая 1 в виде эвольвенты (рис. 3.10). Составляющая B_1 данного движения является главным движением, так как оно обеспечивает отделение стружки от заготовки.

Для образования формы прямого зуба по длине заготовки червячной фрезе сообщается простое формообразующее движение $\Phi_2(P_3)$, обеспечивающее направляющую 2 в виде прямой линии (рис. 3.10). В случае образования формы винтового зуба червячной фрезе и заготовке сообщается сложное формообразующее движение $\Phi_3(P_1B_4)$.

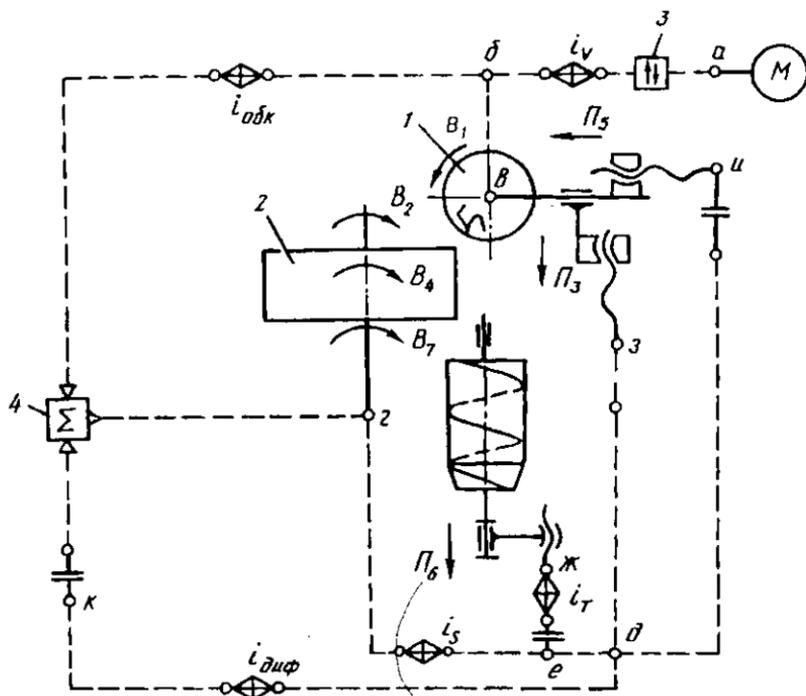


Рис. 3.9. Кинематическая структура зубофрезерного станка: 1 — червячная фреза; 2 — заготовка; 3 — механизм реверса; 4 — суммирующий механизм

В зубофрезерных станках должен осуществляться делительный процесс, необходимый для равномерного размещения нарезаемых зубьев на заготовке. Этот процесс в рассматриваемом станке совмещается с процессом формообразования и не требует дополнительных движений заготовки и инструмента.

Формообразование зубьев червячных колес осуществляется методами радиального и тангенциального (осевого) врезания (рис. 3.11). Для реализации первого метода червячной фрезе сообщается движение радиального врезания $V_p(\Pi_3)$. При втором методе тангенциальное врезание осуществляется за счет конусной части червячной фрезы путем сообщения ей и заготовке сложного формообразующего движения $\Phi_5(\Pi_6 B_7)$. Здесь дополнительное вращение B_7 заготовки является результа-

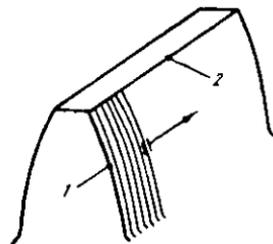


Рис. 3.10. Схема образования эвольвентной поверхности зуба на зубофрезерном станке

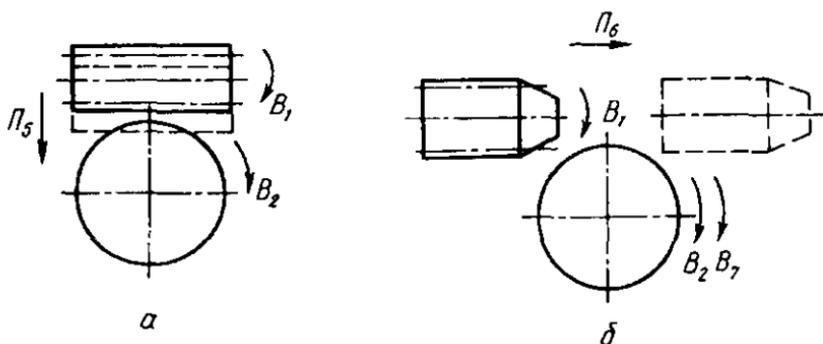


Рис. 3.11. Схема обработки зубьев червячных колес: а — методом радиального врезания; б — методом тангенциального врезания

том тангенциального (осевого) движения Π_6 червячной фрезы. В данном случае происходит еще раз формирование боковых поверхностей нарезаемых зубьев, что позволяет получить более точное червячное колесо.

Для осуществления движений, представленных на схеме обработки (формообразования), предусматриваются соответствующие кинематические группы, образующие кинематическую структуру зубофрезерного станка. Формообразующее движение $\Phi_5(B_1B_2)$ осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью обката $\nu-b-g$ с органом настройки $i_{\text{обк}}$, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-v$ с органом настройки i_v . Во внешней связи имеется механизм реверса 3 (рис. 3.9), позволяющий использовать червячные фрезы правого и левого вращения.

В сложной кинематической группе формообразования $\Phi_5(\Pi_3B_4)$ внутренняя кинематическая цепь $z-d-k-g$ с органом настройки $i_{\text{диф}}$ и суммирующим механизмом 4 (дифференциал) обеспечивает условие согласования относительного движения Π_3 червячной фрезы вдоль оси заготовки с ее дополнительным вращением B_4 . Что касается скорости движения Π_3 , то она обеспечивается внешней кинематической цепью $a-b-g-e-d-z$ с органом настройки i_g , расположенным между шпинделем заготовки и ходовым винтом суппорта червячной фрезы (кинематическая цепь $g-e-d-z$). Такое расположение органа настройки i_g позволяет определять его параметры исходя из условия согласования перемещения заготовки и суппорта червячной фрезы, которые являются конечными звеньями кинематической цепи $g-e-d-z$.

В сложной кинематической группе формообразования $\Phi_5(\Pi_6B_7)$ внутренняя кинематическая цепь $ж-e-d-k-g$ с органом настройки $i_{\text{диф}}$ и суммирующим механизмом 4 обеспечивает усло-

вие согласования тангенциального движения P_6 червячной фрезы и дополнительного вращения B_7 заготовки. Скорость движения P_6 обеспечивается внешней кинематической цепью $a-b-g-e-ж$ с тем же органом настройки i_s , что и для движения P_3 .

При обработке червячных колес методом радиального врезания движение $B_p(P_3)$ осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью соответствующей поступательной пары, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-g-e-d-u$ с органом настройки i_s . Таким образом, орган настройки i_s используется в трех кинематических цепях: вертикальной, тангенциальной и радиальной подачи.

Кинематическая настройка зубофрезерного станка. Исходными данными для настройки кинематических цепей зубофрезерного станка являются материал нарезаемого колеса и червячной фрезы, шероховатость зубьев, диаметр d_ϕ фрезы, число K заходов фрезы и Z_3 зубьев нарезаемого колеса, модуль m и угол β наклона зубьев.

Рассмотрим настройку зубофрезерного полуавтомата мод. 5К324А, кинематическая схема которого представлена на рис. 3.12.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи являются вал электродвигателя M_1 и шпиндель I , на котором устанавливается червячная фреза 2. Необходимо согласовать скорости их вращения. В результате имеем следующие расчетные перемещения:

$n_{\text{в}}$ вала электродвигателя $\longleftrightarrow n_\phi$ червячной фрезы, об/мин,

где
$$n_\phi = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_\phi},$$

d_ϕ — наружный диаметр червячной фрезы, мм; V — скорость резания, м/мин (выбирается в зависимости от материала нарезаемого колеса и червячной фрезы, вида обработки — черновое или чистовое зубофрезерование — и др. параметров).

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1440 \cdot \frac{140}{320} \cdot i_v \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64} = n_\phi.$$

Откуда $i_v = 0,0063 \cdot n_\phi$.

В рассматриваемом зубофрезерном полуавтомате органом настройки в цепи главного движения является автоматическая коробка скоростей с электромагнитными муфтами, обеспечивающая

девять частот вращения червячной фрезы (50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 310 об/мин).

Кинематическая цепь обката. Конечными звеньями цепи обката (и деления) являются червячная фреза 2 и заготовка 3 нарезаемого колеса. Эта цепь согласует их скорости вращения или углы поворота. Для нее имеем следующие расчетные перемещения:

n_{ϕ} червячной фрезы \longleftrightarrow n_3 заготовки, об/мин
или 1 об. червячной фрезы \longleftrightarrow K/z_3 об. заготовки,

где
$$n_3 = n_{\phi} \frac{K}{z_3};$$

K — число заходов червячной фрезы.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$I_{\text{об.}} \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{K}{z_3}.$$

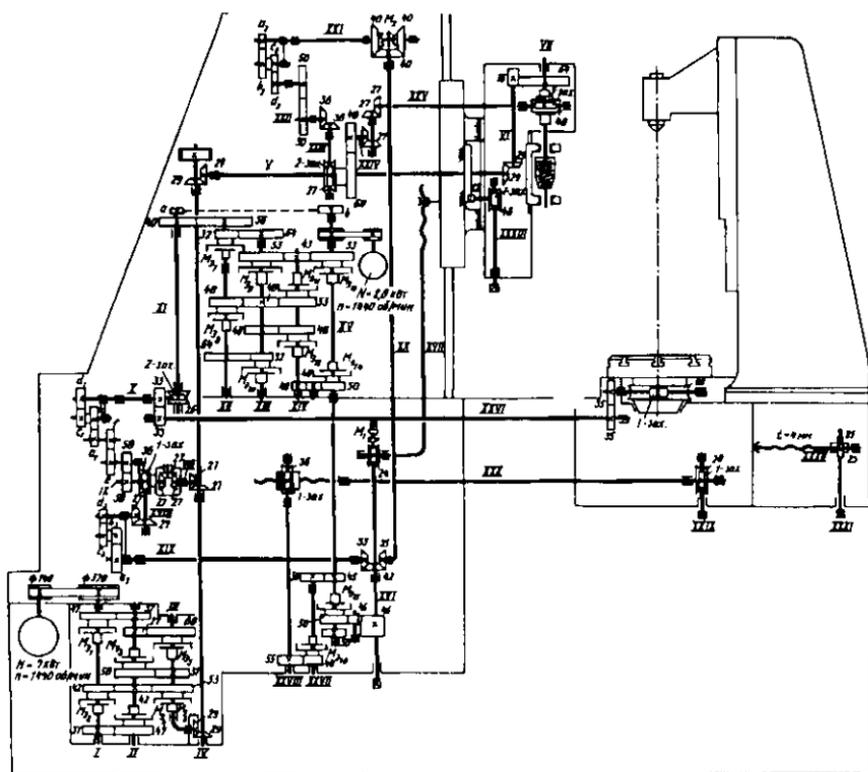


Рис. 3.12. Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата мод. 5K324А

Решая данное уравнение относительно параметров органа настройки, получим

$$i_{\text{ОБК}} = \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = 24 \frac{K}{z_3}$$

Сменные колеса e и f служат для расширения диапазона регулирования передаточного отношения органа настройки. При $z_3 \leq 161 \frac{e}{f} = \frac{54}{54}$, а при $z_3 > 161 \frac{e}{f} = \frac{36}{72}$. Необходимо отметить, что

для кинематической цепи обката фактическое значение передаточного отношения органа настройки должно совпадать с расчетным с точностью до шестого знака после запятой. Если данное условие не выполняется, то погрешность шага зубьев нарезаемого колеса выходит за допустимые пределы.

Кинематическая цепь вертикальной подачи. Данная цепь связывает вращение заготовки 3 и вертикальное перемещение фрезы 2. За один оборот заготовки фреза перемещается на величину вертикальной подачи S_v , которая выбирается в зависимости от требуемой шероховатости зубьев нарезаемого колеса. В этом случае имеем следующие расчетные перемещения:

1 об. заготовки $\longleftrightarrow S_v$ червячной фрезы, мм/об. заг.

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1_{\text{об.}} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_s \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = S_v$$

Откуда $i_s = 0,5 \cdot S_v$.

В рассматриваемой кинематической цепи органом настройки является автоматическая коробка подач с электромагнитными муфтами, обеспечивающая девять различных подач в пределах 0,8...4 мм/об.

Кинематическая цепь угла наклона винтовых зубьев. Эта цепь согласовывает параметры вертикального движения червячной фрезы 2 и дополнительного вращательного движения заготовки 3. При перемещении червячной фрезы на шаг T винтовой линии зубьев заготовка должна повернуться на один оборот по часовой или против часовой стрелки в зависимости от направления винтовой линии зубьев. В результате имеем следующие расчетные перемещения:

± 1 об. заготовки $\longleftrightarrow T$ перемещения червячной фрезы, мм,

где $T = \frac{\pi \cdot m \cdot z_3}{\sin \beta}$; m — модуль нормальный, мм; β — угол наклона винтовой линии зубьев.

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1_{\text{об.}} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{d_1}{c_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{36}{1} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{d_3}{c_3} \cdot \frac{b_3}{a_3} \cdot \frac{35}{42} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = T.$$

Откуда $i_y = \frac{a_3 \cdot c_3}{b_3 \cdot d_3} = 7,957747 \cdot \frac{\sin \beta}{K \cdot m}.$

Для кинематической цепи угла наклона винтовых зубьев фактическое значение передаточного отношения органа настройки должно совпадать с расчетным с точностью до шестого знака после запятой.

Цепь радиальной подачи. Данная цепь связывает вращение заготовки 3 и радиальное перемещение червячной фрезы 2. За один оборот заготовки фреза перемещается на величину радиальной подачи S_p , которая выбирается в зависимости от требуемой шероховатости зубьев нарезаемого червячного колеса. В этом случае имеем следующие расчетные перемещения:

1 об. заготовки $\longleftrightarrow S_p$ червячной фрезы, мм/об. заг.

С учетом этих расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1_{\text{об.}} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_s \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{40}{55} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10 = S_p.$$

Откуда $i_s = 1,285 \cdot S_p.$

Как отмечалось выше, в цепи радиальной подачи используется тот же орган настройки, что и в цепи вертикальной подачи (автоматическая коробка подач).

Кинематическая цепь тангенциальной (осевой) подачи. Эта цепь связывает вращение заготовки 3 и тангенциальное (осевое) перемещение червячной фрезы 2 при обработке червячных колес методом тангенциального врезания. Для нее расчетные перемещения будут:

1 об. заготовки $\longleftrightarrow S_r$ червячной фрезы, мм/об. заг.

С учетом этих расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1_{\text{об.}} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_s \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \times \\ \times \frac{50}{50} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{2}{27} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12 = S_r.$$

$$\text{При } \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 1 \quad i_t = 1,514 \cdot S_T.$$

В результате тангенциального перемещения червячной фрезы заготовка получает дополнительный поворот (фреза подобно рейке поворачивает заготовку червячного колеса). Поэтому настраивается цепь дифференциала с учетом следующих расчетных перемещений:

$$t_o \text{ перемещения червячной фрезы} \longleftrightarrow \frac{1}{Z_3},$$

где $t_o = \frac{\pi \cdot m}{\cos \gamma}$; γ — угол подъема винтовой линии червячной фрезы.

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$\frac{\pi \cdot m}{\cos \gamma} \cdot \frac{1}{12} \cdot \frac{48}{5} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{48}{60} \cdot \frac{27}{2} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{d_2}{c_2} \cdot \frac{b_2}{a_2} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{35}{42} \cdot \frac{42}{35} \times \\ \times \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{36} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{1}{Z_3}.$$

$$\text{Откуда } \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = 2,65258 \cdot \frac{\cos \gamma}{K \cdot m}.$$

Кинематическая цепь диагонального фрезерования. Эта цепь согласовывает параметры вертикального и тангенциального (осевого) перемещения червячной фрезы при обработке цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями. При таком сложном перемещении червячной фрезы (диагональное фрезерование) в процессе обработки участвуют все ее зубья, расположенные на рабочей длине l_p (рис. 3.13).

Это способствует выравниванию износа зубьев фрезы и, тем самым, увеличивает ее размерную стойкость по сравнению со стойкостью, которую она имеет при зубофрезеровании только с вертикальной подачей.

Для диагонального зубофрезерования имеем следующие расчетные перемещения:

$$S_o \text{ червячной фрезы} \longleftrightarrow \\ S_T \text{ червячной фрезы, мм/об. заг.}$$

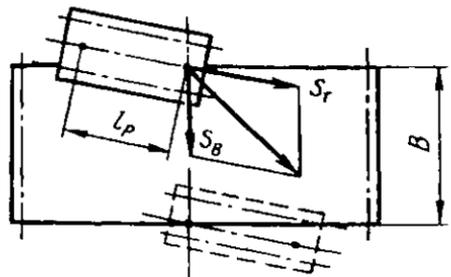


Рис. 3.13. Схема диагонального зубофрезерования

С учетом этих расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$\frac{S_B}{10} \cdot \frac{24}{1} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{2}{27} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12 = S_T.$$

Откуда $\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 3 \frac{S_T}{S_B}$.

Принимая значение $S_T = S_B \frac{l_p}{B}$, получим

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 3 \frac{l_p}{B}.$$

При диагональном зубофрезеровании настраивается также цепь дифференциала, так как в результате тангенциального перемещения червячной фрезы заготовка получает дополнительный поворот. В этом случае с учетом того, что $\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 3 \frac{l_p}{B}$ формула настройки будет иметь следующий вид:

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = 0,88419 \frac{b \cdot \cos \gamma}{K \cdot m \cdot l_p}.$$

В случае диагонального фрезерования цилиндрических колес с винтовыми зубьями для кинематической цепи обката (с учетом дополнительного поворота заготовки) применяется бездифференциальная настройка, так как цепь дифференциала используется для обеспечения дополнительного поворота заготовки в результате тангенциального перемещения червячной фрезы.

Расчетные перемещения для цепи обката при бездифференциальной настройке

$$1 \text{ об. червячной фрезы} \longleftrightarrow \frac{K}{Z_3} \cdot \frac{T}{T \pm S_B} \text{ об. заготовки.}$$

В этом случае формула настройки цепи обката имеет следующий вид:

$$i_{\text{обк}} = \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = 24 \frac{K}{Z_3} \cdot \frac{T}{T \pm S_B}.$$

Знак “плюс” берется при разноименных направлениях зубьев колеса и витков червячной фрезы, а знак “минус” — при одноименных.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм	500
Наибольший модуль зубьев нарезаемого колеса, мм	8
Наибольшая длина зуба нарезаемого колеса, мм	300
Наибольший угол наклона зубьев, град	± 60
Наибольший диаметр червячной фрезы, мм	180
Наибольшее осевое перемещение фрезы, мм	80
Число частот вращения шпинделя, об/мин	9
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	310
Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин	50
Наибольшая вертикальная подача, мм/об	5,0
Наименьшая вертикальная подача, мм/об	0,8
Наибольшая радиальная подача, мм/об	0,84
Наименьшая радиальная подача, мм/об	0,14
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	7,5

Зубофрезерные станки с ЧПУ. Применение электронных передач с индивидуальными приводами в зубофрезерных станках также, как и в зубодолбежных, позволяет существенно сократить время их настройки, повысить точность обработки и снизить трудоемкость изготовления.

На рис. 3.14 представлена кинематическая структура зубофрезерного полуавтомата МА70Ф4 с ЧПУ [102]. В нем предусмотрены электронные передачи для вращения фрезы 1 и ее вертикального, радиального и тангенциального перемещения, а также для дополнительного поворота заготовки 2 при обработке цилиндрических колес с винтовыми зубьями и червячных колес методом тангенциального резания. В тоже время сохранена жесткая меха-

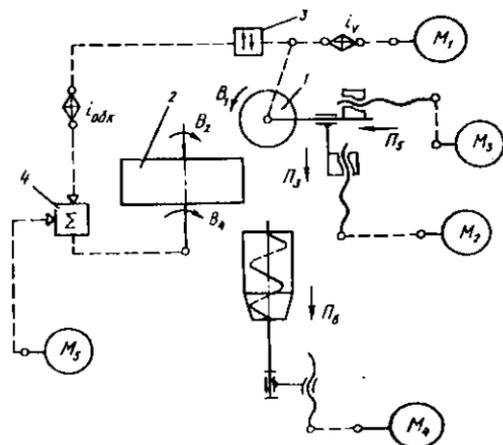


Рис. 3.14. Кинематическая структура зубофрезерного полуавтомата мод. МА70Ф4 с ЧПУ: 1 — червячная фреза; 2 — заготовка; 3 — механизм реверса; 4 — дифференциал (суммирующий механизм)

ническая связь между фрезой и заготовкой через реверс 3, орган настройки $i_{обк}$ (гитара сменных колес) и дифференциал 4. Для обеспечения работы привода главного движения в оптимальных режимах в его кинематической цепи предусмотрен орган настройки i_v — автоматически переключаемая коробка скоростей.

Производительность зубофрезерования на станке мод. МА70Ф4 в условиях мелкосерийного производства в 3—4 раза выше, чем производительность универсального зубофрезерного станка. Точность обработки на этом станке соответствует степени 6—7 по ГОСТу 1643—81.

Структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ и разомкнутой кинематической связью [102] между фрезой 1 и заготовкой 2 приведена на рис. 3.15. В данном станке их согласованные движения, определяемые условием обката, обеспечиваются системой электронной связи, в которой предусмотрена коррекция по рассогласованию между угловым положением фрезы и заготовки. Узел коррекции состоит из прецизионных измерительных преобразователей ИП1 шпинделя фрезы и ИП2 стола заготовки, интерфейса И, микропроцессора МП устройства ЧПУ (УЧПУ), фазового дискриминатора ФД, импульсно-аналогового преобразователя ИАП и суммирующего усилителя УС.

Сигнал от ИП1 через интерфейс И подается на вход МП, настроенного на расчетное соотношение угловых скоростей фрезы и заготовки. В результате преобразования входного сигнала частота сигнала на выходе МП равна частоте сигнала ИП2. Оба сигнала (от ИП2 и от МП) сравниваются в ФД, причем их фазовый

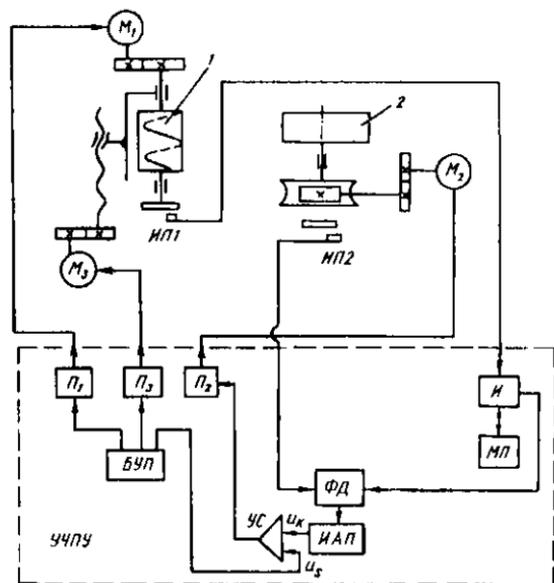


Рис. 3.15. Структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ и разомкнутой кинематической связью: 1 — фреза, 2 — заготовка

сдвиг соответствует рассогласованию углового положения шпинделя фрезы и стола заготовки.

Выходное напряжение ИАП (корректирующее напряжение U_k), пропорциональное среднему значению сигнала на его выходе, подается на вход УС и складывается с пугевым сигналом U_1 привода стола, поступающим от блока управления приводами (БУП). При отсутствии сигнала U_k на вход УС подается сигнал U_1 , управляющий преобразователем Π_2 двигателя M_2 стола.

Преобразователи Π_1 и Π_3 служат для управления двигателями M_1 и M_3 соответственно фрезы и фрезерной каретки (преобразователи и двигатели для радиального и тангенциального перемещений фрезы на рис. 3.15 не показаны).

В зубофрезерных станках с ЧПУ можно выделить следующие основные циклы обработки:

- двухпроходный цикл обработки одновенцовых прямозубых и косозубых (винтовых колес);
- обработка червячных колес (методом тангенциального врезания);
- обработка колес с бочкообразным зубом;
- обработка зубчатых блоков.

Каждый из указанных циклов предусматривает автоматический выход фрезы в нулевую точку перед началом обработки.

На рис. 3.16 представлена кинематическая структура зубофрезерного полуавтомата с ЧПУ мод. SE160 CNC6 фирмы SIMA. В нем имеются электронные передачи для вращения фрезы и заготовки, а также для вертикального, радиального и тангенциального перемещения фрезы. Кроме того, имеется электронная передача (на рис. 3.16 не показана) для установки наклона фрезы относительно заготовки.

Настройка данного зубофрезерного станка с ЧПУ заключается в программировании частот вращения приводов электронных пе-

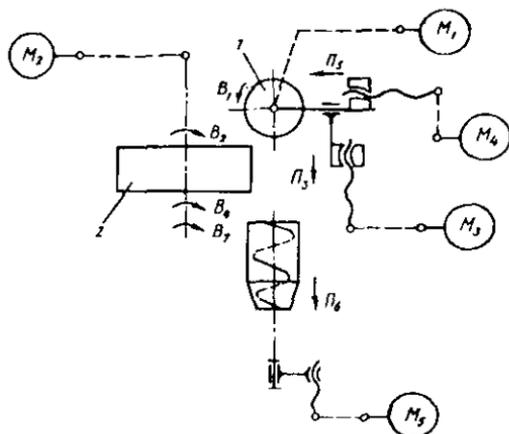


Рис. 3.16. Кинематическая структура зубофрезерного станка с ЧПУ мод. SE160 CNC6 фирмы SIMA: 1 — фреза; 2 — заготовка

редач. Они определяются из условия их согласования со скоростями перемещения соответствующих исполнительных органов. В этом случае имеем следующие расчетные перемещения:

для кинематической цепи главного движения:

$$n_{эл1} \text{ главного движения} \longleftrightarrow n_{\phi} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\phi}};$$

для кинематической цепи вращения заготовки:

а) при обработке колес с прямым зубом

$$n_{эл2} \text{ вращения заготовки} \longleftrightarrow n_3 = n_{\phi} \frac{K}{Z_3};$$

б) при обработке колес с винтовым зубом

$$n_{эл2} \text{ вращения заготовки} \longleftrightarrow n_3 = n_{\phi} \frac{T}{T \pm S_b} \cdot \frac{K}{Z_3};$$

в) при обработке червячных колес методом тангенциальной подачи

$$n_{эл2} \text{ вращения заготовки} \longleftrightarrow n_3 = n_{\phi} \frac{\pi \cdot m \cdot Z_3}{\pi \cdot m \cdot Z_3 + S_o} \cdot \frac{K}{Z_3};$$

для кинематической цепи вертикальной подачи:

$$n_{эл3} \text{ вертикальной подачи фрезы} \longleftrightarrow n_{\phi} \frac{K \cdot S_b}{Z_3 \cdot t_{хв}};$$

для кинематической цепи радиальной подачи фрезы

$$n_{эл4} \text{ радиальной подачи фрезы} \longleftrightarrow n_{\phi} \frac{K \cdot S_p}{Z_3 \cdot t_{хв}};$$

для кинематической цепи тангенциальной подачи:

$$n_{эл5} \text{ тангенциальной подачи фрезы} \longleftrightarrow n_{\phi} \frac{K \cdot S_o}{Z_3 \cdot t_{хв}}.$$

В рассматриваемом станке разомкнута кинематическая связь между фрезой и заготовкой. Поэтому их согласованные движения, определяемые условием обката, обеспечиваются системой электронной связи.

Зубообрабатывающие гибкие производственные модули. Одним из путей повышения технико-экономических показателей зубообрабатывающих станков в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве является повышение уровня их автоматизации. В зубообрабатывающих станках с ЧПУ уровень автоматизации повышают путем оснащения их магазинами инструментов (например, червячных фрез) и заготовок в сочетании с быстродействующими автоматическими загрузочными устройствами, применения управляющих ЭВМ более высокого уровня и контрольно-измерительных устройств. В данном случае получается гибкий производственный модуль (ГПМ).

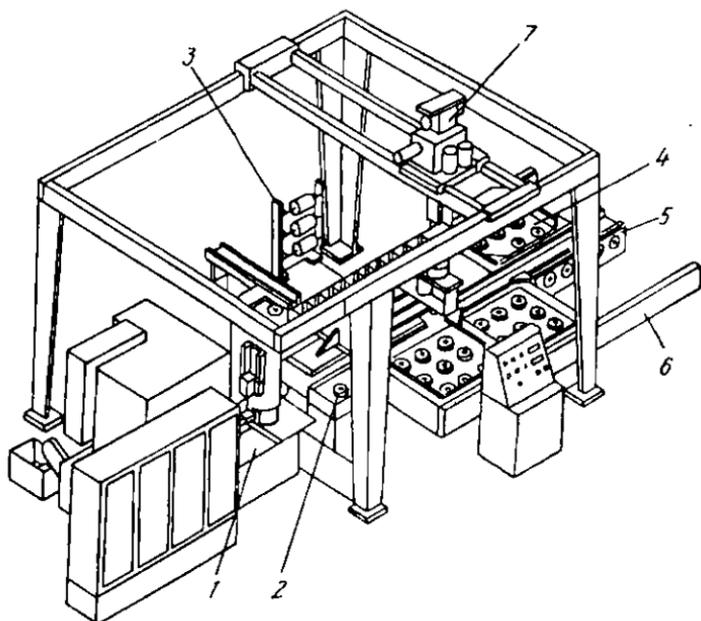


Рис. 3.17. Схема зубообрабатывающего ГПМ фирмы GLEASON (США):
 1 — зубофрезерный станок с ЧПУ мод. 782G-Tech-CNC; 2 — контрольно-измерительная станция; 3 — магазин оправок с червячными фрезами;
 4 — стол для заготовок; 5 — конвейер для подачи заготовок; 6 — конвейер для бракованных деталей; 7 — порталный промышленный робот

На рис. 3.17 приведена схема зубообрабатывающего ГПМ фирмы GLEASON (США) [8], предназначенного для фрезерования прямозубых и косозубых колес диаметром до 250 мм. ГПМ состоит из зубофрезерного станка 1 с ЧПУ мод. 782G-Tech-CNC, контрольно-измерительной станции 2, магазина 3 оправок с червячными фрезами, стола 4 для заготовок (выполняет роль магазина заготовок), конвейера 5 для подачи заготовок на стол 4 и конвейера 6 для бракованных деталей. Данный ГПМ обслуживается порталным промышленным роботом 7, который выполняет погрузочно-разгрузочные и транспортные операции, а также осуществляет смену заготовок и оправок с червячными фрезами. Модуль оснащен УЧПУ типа CNC.

В ЭНИМСе создан зубофрезерный ГПМ мод. MA84Ф4 с автоматизированной сменой инструмента, оснастки, заготовок и изменением режима [9]. Расчеты показали, что при трехсменной работе годовой объем выпуска продукции составит 70000...80000 зубчатых колес и его производительность в 5—8 раз превысит производительность универсального зубофрезерного станка.

§ 3.3. Зуборезные станки для нарезания конических колес

Схема обработки (формообразования) и кинематическая структура зуборезного станка. Обработка зубьев конических колес на зуборезных станках, работающих методом обката, основана на воспроизведении зацепления плоского колеса* (конической рейки), которое является производящим колесом, с заготовкой. При обработке прямозубых конических колес в качестве инструмента используются два резца 1 , образующие впадину плоского колеса 2 (рис. 3.18а). Резцы 1 , совершая возвратно-поступательное движение (главное движение), в процессе зацепления плоского колеса 2 с заготовкой 3 обрабатывают ее зуб. В ряде зуборезных станков в качестве инструмента используются дисковые фрезы 1 (рис. 3.18б), образующие зуб плоского колеса. Дисковые фрезы, совершая главное движение, в процессе обката плоского колеса и заготовки обрабатывают ее впадину. Так как нарезание впадины осуществляется без подачи фрез вдоль зуба, то ее дно получается вогнутым с радиусом R_Φ .

При обработке конических колес с круговыми зубьями в качестве инструмента используется зуборезная головка 1 (рис. 3.18в), резцы 2 которой образуют зуб плоского колеса 3 . Зуборезная (резцовая) головка, совершая главное движение, в процессе обката плоского колеса и заготовки обрабатывает ее впадину.

Рассмотрим схему формообразования круговых зубьев конических колес на зуборезном станке (рис. 3.19). Резцовая головка 1 совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$, в результате которого получается образующая 1 (рис. 3.20) в виде окружности с радиусом равным радиусу резцовой головки. Сложное формообразующее движение $\Phi_s(B_2, B_3)$ — движение обката — совершают заготовки 2 и люлька 3 (производящее колесо с резцовой головкой). В результате этого движения получают направляющие 2^I и 2^{II} в виде эвольвент. Перед началом процесса обработки следующей впадины заготовка 2 совершает делительное движение $D(B_4)$, а люлька 3 при отведенной заготовке 2 — вспомогательное движение $B_c(B_5)$, обеспечивающее ее возврат в исходное положение. В дальнейшем цикл обработки впадины конического колеса повторяется.

Для осуществления движений, представленных на схеме обработки, предусматриваются соответствующие кинематические группы. Простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя

* Угол при вершине делительного конуса $2\varphi_0 = 180^\circ$.

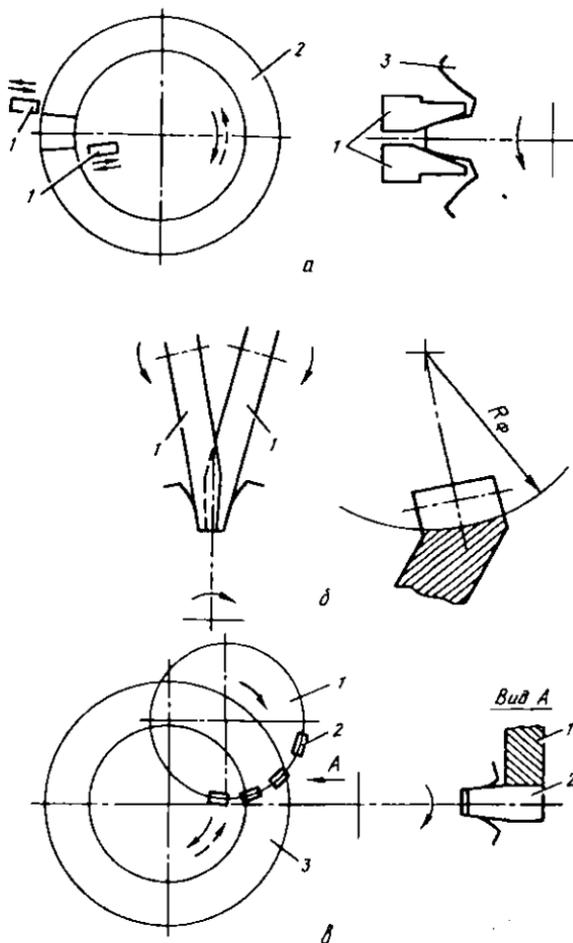


Рис. 3.18. Схемы нарезания конических колес:
a — и *б* — с прямыми зубьями; *в* — с круговыми зубьями

связь обеспечивается связью вращательной пары шпindelь резцовой головки — люлька, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-v-z-d$ с органом настройки i_z . В сложной кинематической группе формообразования $\Phi_3(B_2B_3)$ внутренняя кинематическая цепь $u-z-k-l$ с органом настройки $i_{обк}$ обеспечивает условие обката заготовки и производящего колеса (люльки с резцовой головкой). Ее внешняя кинематическая цепь $a-b-e-z$ с органом настройки i_z обеспечивает передачу движения от двигателя M на внутреннюю кинематическую цепь: к люльке через механизм реверса 4 и к заготовке. При вспомогательном ходе люльки (возврат в исходное положение) движение к ней переда-

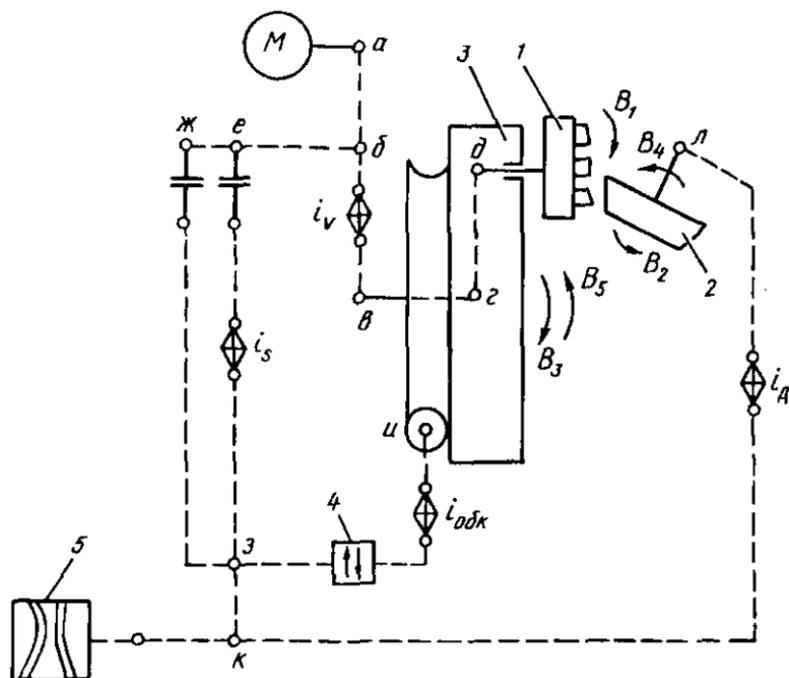


Рис. 3.19. Кинематическая структура зуборезного станка: 1 — резцовая головка; 2 — заготовка; 3 — люлька; 4 — механизм реверса; 5 — барабан управления

ется минуя орган настройки i_d через кинематическую цепь $a-b-e-ж-з$.

Делительное движение $D(B_4)$ осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпindelь заготовки — делительная бабка, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-e-ж-з-к-л$ с органом настройки i_d . Это движение периодически включается и отключается с помощью барабана управления (распределительного вала) 5, за один оборот которого осуществляется цикл делительного поворота.



Рис. 3.20. Схема образования боковой поверхности кругового зуба конических колес: 1 — образующая; 2 и 2' — направляющие

Кинематическая настройка зуборезного станка. Исходными данными для настройки кинематических цепей зуборезного станка являются материал нарезаемого колеса и резцов резцовой головки, шероховатость зубьев, параметры нарезаемого и плоского производящего колеса.

Рассмотрим настройку зуборезного станка — полуавтомата мод. 5П23БП (рис. 3.21).

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями этой цепи являются вал электродвигателя M_1 и резцы 2, образующие впадину плоского колеса 3 (люльки). Необходимо согласовать скорости их движения. В результате получим следующие расчетные перемещения:

$n_{эл}$ вала электродвигателя $\longleftrightarrow n_{дв.х.}$ резцов, дв.х./мин,

где
$$n_{дв.х.} = \frac{500 \cdot V_{ср}}{L + \Delta_1 + \Delta_2};$$

L — длина зуба, мм; Δ_1 и Δ_2 — величины врезания и перебега, мм.

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$970 \cdot \frac{35}{65} \cdot \frac{65}{30} \cdot \frac{23}{52} \cdot \frac{52}{63} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{37}{44} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{44}{62} = n_{дв.х.}$$

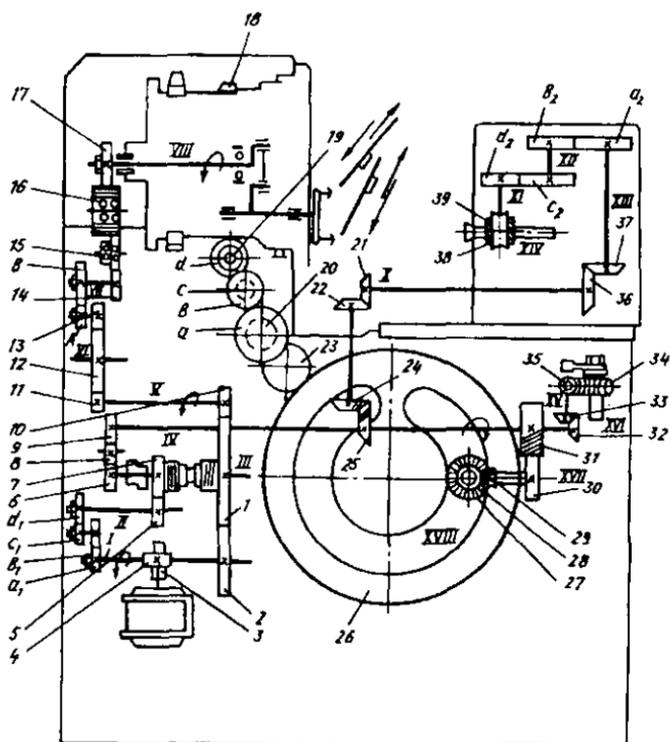


Рис. 3.21. Кинематическая схема зуборезного станка-полуавтомата мод. 5П23ПБ

$$\text{Откуда } i_v = \frac{A}{B} = \frac{n_{\text{дв.х.}}}{246,6}.$$

Кинематическая цепь подачи. В зуборезных станках для конических колес пользуются цикловой подачей, которая определяется как время обработки одного зуба в секундах. Нарезание одного зуба происходит за один оборот барабана управления \mathcal{A} , т. е. за время цикла.

$$t_{\text{ц}} = t_0 + t_{\text{в}},$$

где t_0 — основное (технологическое) время, затрачиваемое непосредственно на процесс обработки зуба (выбирается по режиму резания);

$t_{\text{в}}$ — вспомогательное время, затрачиваемое на подвод заготовки к люльке и отвод от люльки, возврат люльки в исходное положение. В современных станках, в том числе и в станке мод. 5П23ПБ, барабан управления вращается с двумя скоростями: рабочей за время t_0 и быстротой за время $t_{\text{в}}$, что позволяет сократить время цикла. В этом случае расчетные перемещения имеют вид:

$$\frac{\delta_p^\circ}{360^\circ} \text{ об. барабана управления} \longleftrightarrow \frac{n_{\text{эл}}}{60} \cdot t_0 \text{ об. эл. двигателя,}$$

где δ_p° — угол поворота барабана управления, соответствующий времени t_0 .

С учетом указанных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$\frac{970}{60} \cdot t_0 \cdot \frac{21}{25} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{35}{65} \cdot \frac{31}{71} \cdot \frac{71}{61} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{1}{40} = \frac{\delta_p^\circ}{360^\circ}.$$

$$\text{Откуда } \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{\delta_p^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{10,76}{t_0}.$$

На барабане управления имеются переставные кулачки, действующие на золотник гидросистемы, переключающей фрикционную муфту 5 с рабочего хода на быстрый. Установлен также кулачок, управляющий через золотник работой счетчика циклов.

Кинематическая цепь обката. Ее конечными звеньями являются люлька, представляющая собой производящее плоское колесо 3, и заготовка 6 конического колеса. Эта цепь согласовывает их скорости вращения или углы поворота. Для нее имеем следующие расчетные перемещения:

$$\frac{1}{Z_{\text{пл}}} \text{ об. люльки} \longleftrightarrow \frac{1}{Z_3} \text{ об. заготовки,}$$

где $Z_{\text{пл}}$ — условное число зубьев производящего плоского колеса.

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$\frac{1}{Z_{\text{пл}}} \cdot \frac{72}{2} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{34}{110} \cdot \frac{110}{315} \cdot \frac{210}{34} \cdot \frac{32}{16} \cdot \frac{60}{24} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{1}{120} = \frac{1}{Z_3}.$$

$$\text{Откуда } i_{\text{обк}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot Z_3.$$

$$\text{Подставив значение } \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \text{ (см. ниже), получим } \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = 3 \frac{Z'}{Z_{\text{пл}}}.$$

Кинематическая цепь деления. Конечными звеньями данной цепи являются барабан управления 4 и заготовка 6, которая за его один оборот поворачивается на угол $\frac{Z'}{Z_3}$, т. е. 1 об. барабана управления $\longleftrightarrow \frac{Z'}{Z_3}$ об заготовки, где Z' — число зубьев, на которое поворачивается заготовка за время цикла.

С учетом указанных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{40}{1} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{1}{120} = \frac{Z'}{Z_3}.$$

$$\text{Откуда } \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 3 \frac{Z'}{Z_3}.$$

От величины Z' зависит угол качания люльки. При небольшом Z' угол качания недостаточен, что приводит к неполной обработке зуба. При большом Z' имеет место чрезмерный перебег люльки, что приводит к снижению производительности станка. Поэтому при настройке цепи деления выбирается рациональное значение Z' , исключая указанные недостатки. Причем Z' не должно быть кратным Z_3 . В противном случае нельзя обработать все зубья конического колеса.

§ 3.4. Зубошлифовальные станки

Схемы шлифования зубчатых колес. Для получения более правильной формы зубьев, т. е. повышения точности обработки и снижения шероховатости их поверхностей, термообработанные колеса шлифуют. При шлифовании цилиндрических колес на станках, работающих методом обката, воспроизво-

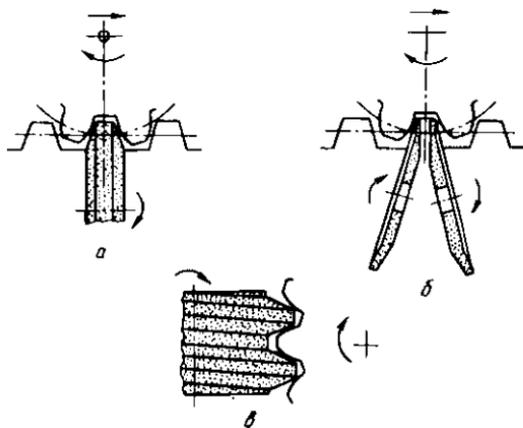


Рис. 3.22. Схемы шлифования цилиндрических колес: *а* — дисковым кругом; *б* — тарельчатыми кругами; *в* — червячным кругом

дится реечное или червячное зацепление. В первом случае в качестве инструмента используются абразивный дисковый круг (рис. 3.22*а*) или два тарельчатых круга (рис. 3.22*б*), образующие в сечении профиль зуба производящей рейки. Во втором случае инструментом является абразивный круг (рис. 3.22*в*).

Конические колеса с прямым зубом шлифуют абразивными тарельчатыми кругами, образующими в сечении профиль впадины производящего плоского колеса. Круговые зубья шлифуют абразивными чашечными кругами, сечение которых соответствует профилю зуба производящего плоского колеса.

Схема обработки и кинематическая структура зубошлифовального станка с обкатным дисковым кругом. Рассмотрим схему обработки колес на зубошлифовальном станке (рис. 3.23). Дисковый круг *1* совершает формообразующее движение $\Phi_1(V_1)$ — главное движение. Одновременно с ползуном *2* он совершает возвратно-поступательное движение $\Phi_{s1}(P_2)$ — движение продольной подачи. С помощью этих движений методом касания получается образующая в виде прямой.

Сложное формообразующее движение $\Phi_{s2}(V_3P_4)$ — движение обката — совершает заготовка *3* вокруг своей оси и вместе со столом *4*. В результате этого движения получается направляющая в виде эвольвенты. Перед началом процесса шлифования следующей впадины заготовка *3* совершает делительное движение $D(V_5)$, а стол *4* при отведенном дисковом круге *1* — вспомогательное движение $V_c(P_6)$, обеспечивающее его возврат в исходное положение. В дальнейшем цикл шлифования впадины цилиндрического колеса повторяется.

Для осуществления вышеуказанных движений предусматриваются следующие кинематические группы, образующие кинематическую структуру станка. Простое формообразующее дви-

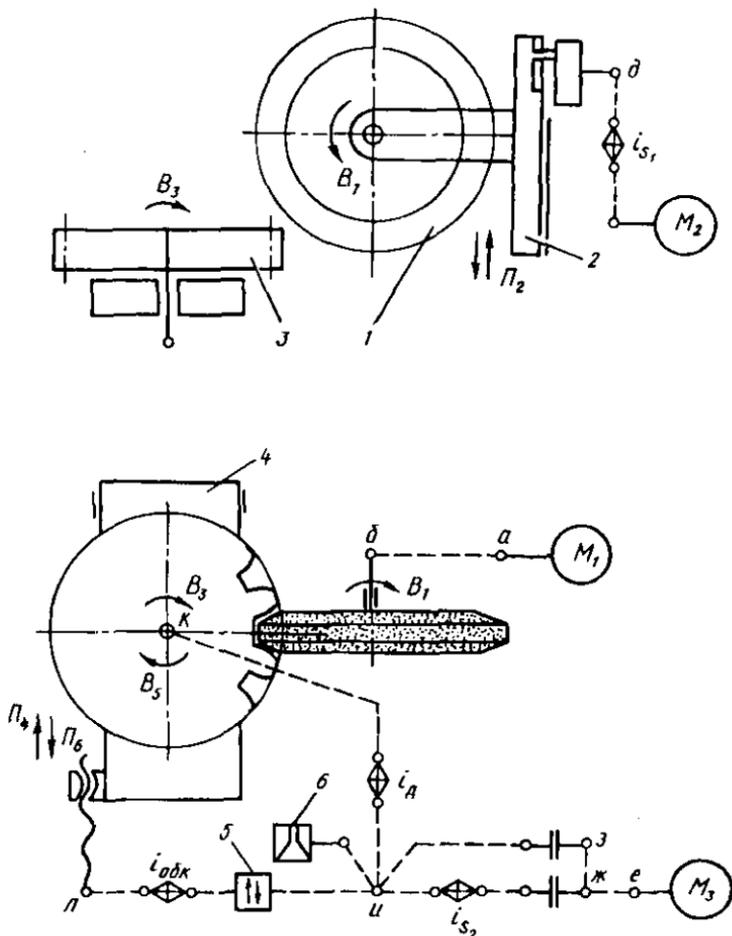


Рис. 3.23. Кинематическая структура зубошлифовального станка с обкатным дисковым кругом: 1 — дисковый круг; 2 — ползун; 3 — заготовка; 4 — стол; 5 — механизм реверса; 6 — барабан управления

жение $\Phi_1(B_1)$ осуществляется простой группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпиндель дискового круга — бабка, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$. Дисковый круг вращается с постоянной частотой вращения. Простой группой осуществляется так же движение продольной подачи $\Phi_{s1}(\Pi_2)$ круга. В ней внутренняя связь обеспечивается связью поступательной пары ползун, а внешняя связь — кинематической цепью $z-d$ с органом настройки i_{s1} .

В сложной кинематической группе формообразования $\Phi_{s2}(B_3\Pi_4)$ внутренняя кинематическая цепь $k-u-l$ с органом настройки

$i_{\text{обк}}$ обеспечивает условие обката зубчатого колеса (заготовки 3) по производящей рейке (дисковый круг 1). Ее внешняя кинематическая цепь с органом настройки $i_{1,2}$ обеспечивает передачу движения от двигателя M_3 на внутреннюю цепь: к столу 4 через механизм реверса 5 и к заготовке 3. При вспомогательном движении $V_c(\Pi_6)$ стола (возврат в исходное положение) движение к нему передается минуя орган настройки $i_{1,2}$ через кинематическую цепь $e-3-u-l$.

Делительное движение $D(B_5)$ осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпиндель заготовки — делительная бабка, а внешняя связь — кинематической цепью $e-ж-3-u-k$ с органом настройки i_n . Это движение периодически включается и отключается с помощью барабана управления 6, за один оборот которого осуществляется цикл делительного поворота.

Схема обработки и кинематическая структура зубошлифовального станка с червячным кругом. В представленной на рис. 3.24 схеме обработки червячный круг 1 и заготовка 2 совершают сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1 B_2)$ — движение обката, в результате которого обеспечивается образующая в виде эвольвенты. Составляющая B_1 данного движения является главным движением.

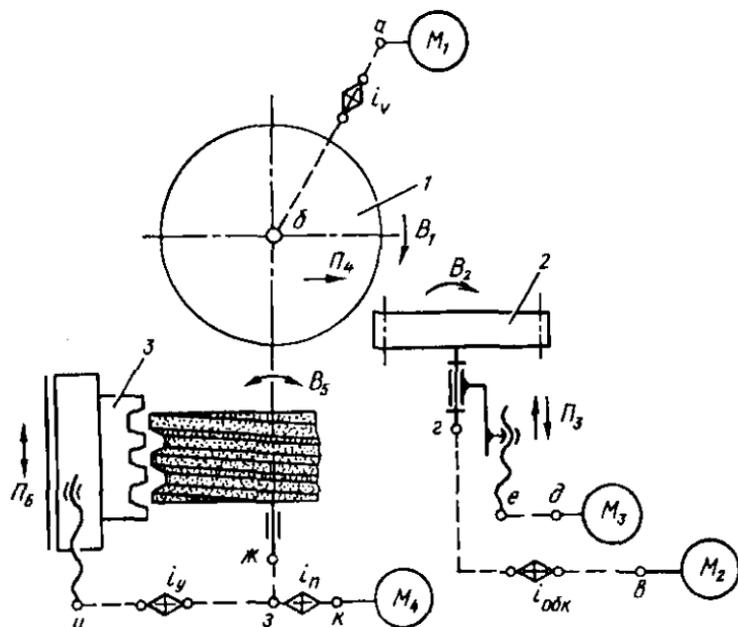


Рис. 3.24. Кинематическая структура зубошлифовального станка с червячным кругом: 1 — червячный круг; 2 — заготовка; 3 — накатник

Для шлифования зуба по длине заготовке 2 сообщается простое формообразующее движение $\Phi_s(P_1)$ — движение продольной подачи, обеспечивающее направляющую в виде прямой линии.

В зубошлифовальных станках должен осуществляться делительный процесс, необходимый для равномерного размещения шлифуемых зубьев на заготовке. Этот процесс в рассматриваемом станке совмещается с процессом формообразования и не требует дополнительных движений заготовки.

Кроме движений формообразования в станке имеются еще два движения:

движение радиального врезания $B_p(P_4)$ червячного круга;

сложное движение формообразования $\Phi_k(B_5P_6)$ профиля червячного круга при помощи накатника 3 (или алмаза).

Для осуществления движений, представленных на рис. 3.24, предусматриваются соответствующие кинематические группы. Две простые кинематические группы используются для получения сложного формообразующего движения $\Phi_v(B_1B_2)$. В первой кинематической группе внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпиндель червячного круга — бабка, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v . Во второй кинематической группе внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпиндель заготовки — бабка, а внешняя связь — кинематической цепью $v-z$ с органом настройки $i_{обк}$. Между указанными кинематическими группами существует электрическая связь типа “электрический вал” — роторы синхронных двигателей M_1 и M_2 вращаются с одинаковой частотой вращения.

Простой кинематической группой осуществляется движение продольной подачи $\Phi_s(P_3)$. В ней внутренняя связь обеспечивается связью поступательной пары суппорт заготовки, а внешняя связь — кинематической цепью $d-e$. Органом настройки в этой группе является регулируемый гидродвигатель M_3 .

Сложное формообразующее движение $\Phi_k(B_5P_6)$ профиля червячного круга осуществляется сложной кинематической группой. Ее внутренняя кинематическая цепь $ж-з-и$ с органом настройки i_y обеспечивает условие зацепления червяка с рейкой, какой является накатник. Внешняя кинематическая цепь $к-з$ с органом настройки i_n обеспечивает передачу движения от двигателя M_4 на внутреннюю цепь: к червячному кругу и накатнику.

Движение радиального врезания $B_p(P_4)$ осуществляется на каждый ход суппорта заготовки автоматически от гидропривода.

Кинематическая настройка зубошлифовального станка. Исходными данными для настройки кинематических цепей зубошлифовального станка с червячным кругом явля-

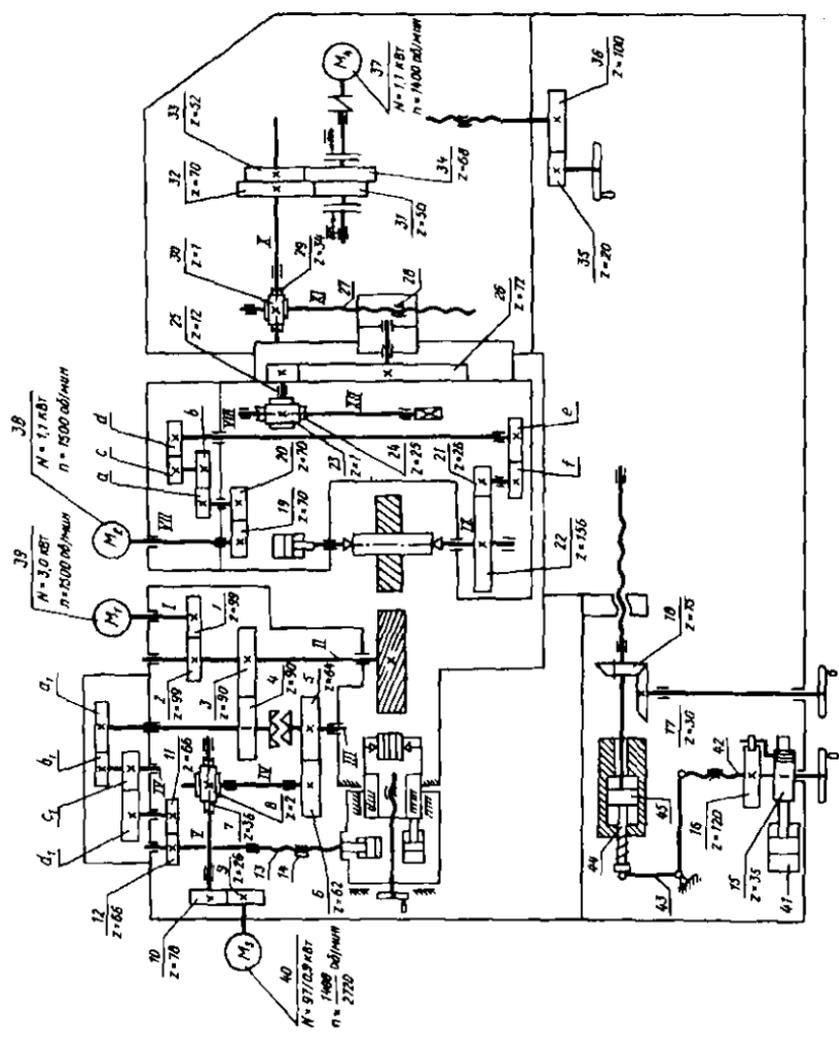


Рис. 3.25. Кинематическая схема зубошлифовального полуавтомата мод. 5В832

ются число K заходов червяка и z_3 зубьев шлифуемого колеса, модуль m и угол β наклона зубьев.

Рассмотрим настройку зубошлифовального полуавтомата мод. 5В832 (рис. 3.25).

Кинематическая цепь главного движения не имеет органа настройки i_v . Шлифовальные круги одно- и двухзаходные диаметром 300...400 мм вращаются с постоянной частотой вращения, равной 1500 об/мин.

Кинематическая цепь обката. Конечными звеньями цепи являются шлифовальный круг и шлифуемое зубчатое колесо. Эта цепь согласует их скорости вращения или углы поворота. Для указанных звеньев имеем следующие расчетные перемещения:

n_x шлифовального круга $\longleftrightarrow n_3$ зубчатого колеса
или 1 об. шлифовального круга $\longleftrightarrow \frac{K}{Z_3}$ зубчатого колеса,
где $n_3 = n_x \frac{K}{Z_3}$.

Характерной особенностью цепи обката является наличие в ней электрической синхронной связи, осуществляемой двумя синхронными электродвигателями. Электродвигатель $M_1 (N = 3,0 \text{ кВт}, n_{\text{эл}} = 1500 \text{ об/мин})$ приводит во вращение шлифовальный круг, а электродвигатель $M_2 (N = 1,1 \text{ кВт}, n_{\text{эл}} = 1500 \text{ об/мин})$ — шлифуемое зубчатое колесо. Применение электрической синхронной связи позволяет сократить число зубчатых передач в цепи обката и, тем самым, уменьшить погрешности обработки.

С учетом установленных расчетных перемещений и наличия в цепи обката электрической синхронной связи получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1 \text{ об.} \cdot \frac{99}{99} \cdot \frac{70}{70} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{25}{156} = \frac{K}{Z_3}.$$

Решая данное уравнение, получим формулу настройки

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} = 6 \frac{K}{Z_3},$$

где $\frac{e}{f} = \frac{87}{29}$ при $Z_3 = 21 \dots 200$.

Кинематическая цепь продольной подачи. Эта цепь обеспечивает возвратно-поступательное движение суппорта шлифуемого колеса. Привод бесступенчатый с муфтой скольжения $M\Phi_1$ с регулированием через тахогенератор. Для увеличения диапазона регулирования продольной подачи применяется двухступенчатый зубчатый перебор, переключаемый электромагнитными муфтами $M\Phi_2$ и $M\Phi_3$. Реверс движения суппорта осуще-

ствляется самым приводом при подаче команды от регулируемых упоров.

Для данной кинематической цепи имеем следующие расчетные перемещения:

$n_{\text{мфл}}$ муфты скольжения $\longleftrightarrow S_{\text{сп}}$ суппорта, где $S_{\text{сп}}$ — скорость движения суппорта, мм/мин.

С учетом указанных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$n_{\text{мфл}} \cdot \left| \frac{50}{70} \cdot \frac{68}{52} \right| \cdot \frac{1}{34} \cdot 6 = S_{\text{сп}}.$$

$$\text{Откуда } n_{\text{мфл}} = \left| \frac{52}{70} \cdot \frac{68}{50} \right| \cdot \frac{17}{3} \cdot S_{\text{сп}}.$$

Кинематическая цепь радиальной подачи. Данная цепь обеспечивает радиальную подачу бабки шлифовального круга на заготовку за каждый ее ход и отвод бабки после окончания шлифования. Она состоит из храпового механизма и гидравлической следящей системы (рис. 3.25), обеспечивающей перемещение шлифовальной бабки на величину радиальной подачи.

Кинематическая цепь правки круга. Конечными звеньями этой цепи являются шлифовальный круг и накатник для его правки. Для них имеем следующие расчетные перемещения:

$$1 \text{ об. шлифовального круга} \longleftrightarrow \frac{\pi \cdot m_n}{\cos \beta} \text{ накатника,}$$

где β — угол подъема винтовой линии червяка шлифовального круга; m_n — нормальный модуль.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{90}{90} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{66}{66} \cdot 2\pi = \frac{\pi \cdot m_n}{\cos \beta}.$$

Решая данное уравнение, получим формулу настройки

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{m_n}{2 \cos \beta}.$$

В процессе правки шлифовальный круг получает вращение от двухскоростного электродвигателя через следующие передачи

$$\frac{26}{78} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{62}{64} \cdot \frac{90}{90}$$

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	200
Наименьший диаметр обрабатываемого колеса, мм	20
Наибольший модуль обрабатываемого колеса, мм	3
Наименьший модуль обрабатываемого колеса, мм	0,3
Наибольшая длина зуба обрабатываемого колеса, мм	100
Наибольший угол наклона зубьев колеса, град	± 45
Наибольшее число зубьев обрабатываемого колеса	200
Наибольшие размеры шлифовального круга (диаметр \times ширина), мм \times мм	400 \times 63
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	1500
Наибольшая вертикальная подача заготовки, мм/мин	165
Наименьшая вертикальная подача заготовки, мм/мин	3,78
Наибольшая радиальная подача за один ход, мм/мин	0,08
Наименьшая радиальная подача за один ход, мм/мин	0,02
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	3

§ 3.5. Зубошевинговальные станки

Схема шевингования зубчатых колес. Для повышения точности профиля и снижения шероховатости зубьев незакаленных колес применяют процесс шевингования. В качестве инструмента используется шевер, представляющий собой зубчатое колесо, на зубьях которого прорезаны поперечные канавки для образования режущих кромок (рис. 3.26). Шевер 2 с обрабатываемым колесом 1 образуют пространственную зубчатую передачу со скрещивающимися осями (рис. 3.27). При их вращении происходит боковое скольжение зубьев по длине, в результате чего режущие кромки шевера срезают (соскабливают) тонкую

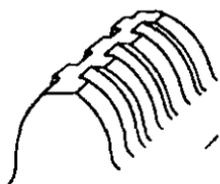


Рис. 3.26. Зуб шевера

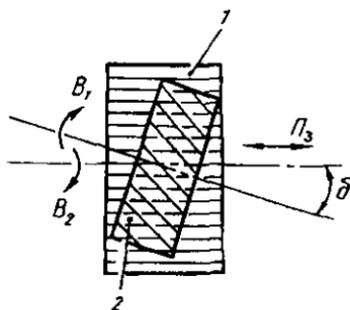


Рис. 3.27. Схема шевингования:
1 — обрабатываемое колесо;
2 — шевер

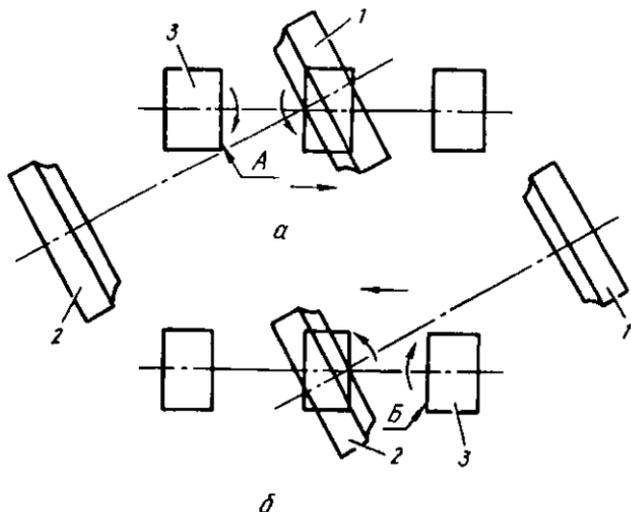


Рис. 3.28. Схема обработки кромочными шеверами: *a* — обработка стороны *A*; *б* — обработка стороны *Б*; 1, 2 — шеверы; 3 — обрабатываемое колесо

стружку с зубьев обрабатываемого колеса. Для обработки профиля зубьев по всей их длине колесу или шеверу сообщается возвратно-поступательное движение вдоль оси колеса.

Недостатком процесса шевингования является отсутствие кинематической связи между шевером и обрабатываемым колесом, что не позволяет существенно исправить накопленную погрешность окружного шага.

Данный недостаток устраняется при обработке зубьев кромочными шеверами 1 и 2 (рис. 3.28), имеющими жесткую кинематическую связь с обрабатываемым колесом 3.

Процесс обработки зубьев колеса 3 кромочными шеверами 1 и 2 осуществляется следующим образом. Обрабатываемое колесо 3 из крайнего левого положения быстро подводится к шеверу 1 (рис. 3.28*a*) и включается медленная рабочая подача. После обработки стороны *A* колесо перемещается в крайнее правое положение. Для обработки стороны *Б* вращение колеса 3 и шевера 2 реверсируется. Колесо из крайнего правого положения быстро подводится к шеверу 2 (рис. 3.28*б*) и включается медленная рабочая подача. После обработки стороны *Б* колесо перемещается в крайнее левое положение.

Схема обработки и кинематическая структура зубошевинговального станка. В зубошевинговальном станке шевер 1 (рис. 3.29) и зубчатое колесо 2 совершают сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1 B_2)$. Однако в отличие от других зубообрабатывающих станков, работающих мето-

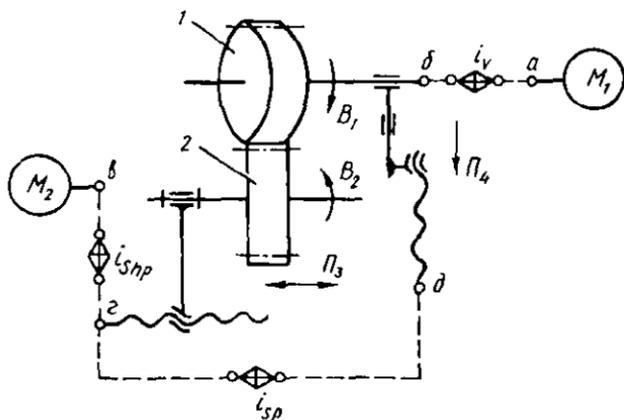


Рис. 3.29. Кинематическая структура зубошвинговального станка:
1 — шевер; 2 — обрабатываемое колесо

дом обката, между шевером и обрабатываемым колесом отсутствует жесткая кинематическая связь. Здесь составляющая B_1 является главным движением, так как от частоты вращения шевера зависит скорость бокового скольжения его зубьев относительно зубьев обрабатываемого колеса, т. е. скорость резания.

Для распространения процесса обработки по длине зуба колесу 2 сообщается простое формообразующее возвратно-поступательное движение $\Phi_3(P_3)$ — движение продольной подачи. Величина хода колеса подбирается так, чтобы оно не выходило из зацепления с шевером.

В процессе обработки в конце каждого продольного хода колеса шеверу сообщается движение радиального врезания $B_p(P_4)$.

Для осуществления вышеприведенных движений в станке предусматриваются следующие кинематические группы. Главное движение B_1 осуществляется кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпindelь шевера-бабка, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v . Как отмечалось выше в станке нет жесткой кинематической связи, обеспечивающей согласованное движение шевера и колеса. Вращение последнего осуществляется за счет зацепления с шевером.

Простой группой осуществляется формообразующее движение $\Phi_3(P_3)$. В ней внутренняя связь обеспечивается связью поступательной пары продольный стол, а внешняя связь — кинематической цепью $v-z$ с органом настройки $i_{сnp}$. Реверсирование движения подачи производится электродвигателем. Также простой группой осуществляется движение врезания. Здесь внутренняя связь обеспечивается связью поступательной пары попе-

речного стола шпиндельной бабки, а внешняя связь — кинематической цепью $v-z-d$ с органом настройки i_{sp} .

Кинематическая настройка зубошевинговального станка. Исходными данными для настройки кинематических цепей зубошевинговального станка являются материал колеса и шевера, модуль m ; число зубьев z_w и z_3 шевера и колеса, угол δ скрещивания осей, углы φ_1 и φ_2 наклона зубьев шевера и колеса, шероховатость поверхностей.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями цепи являются шевер I и электродвигатель M_1 (рис. 3.30). Для нее расчетные перемещения равны:

$$n_{эл1} \text{ вала электродвигателя } \longleftrightarrow n_w,$$

где $n_w = \frac{1000 \cdot V_{ск} \cdot \cos \varphi_2}{\pi \cdot m \cdot z_w \cdot \sin \delta}$; $V_{ск}$ — скорость резания (скольжения), м/мин.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1440 \frac{140}{200} \cdot \frac{5}{22} \cdot \frac{46}{50} \cdot i_v = n_w.$$

Откуда получим формулу настройки:

$$i_v = \frac{A}{B} = 1,5 \frac{V_{ск} \cdot \cos \varphi_2}{m \cdot z_w \cdot \sin \delta}.$$

Кинематическая цепь продольной подачи. Эта цепь обеспечивает возвратно-поступательное движение стола обрабатываемого колеса. Для нее имеем следующие расчетные перемещения:

$$n_{эл2} \text{ вала электродвигателя } \longleftrightarrow \bar{S}_{пр},$$

где $\bar{S}_{пр}$ — минутная подача, мм/мин;

$$\bar{S}_{пр} = S_{пр} \cdot n_3 = S_{пр} \cdot n_w \cdot \frac{z_w}{z_3};$$

$S_{пр}$ — продольная подача на один оборот колеса, мм/об (выбирается в зависимости от угла σ скрещивания осей и числа зубьев z_3 колеса).

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$950 \frac{1}{50} \cdot i_{сп} \cdot \frac{25}{25} \cdot 6 = S_{пр} \cdot n_w \cdot \frac{z_w}{z_3}.$$

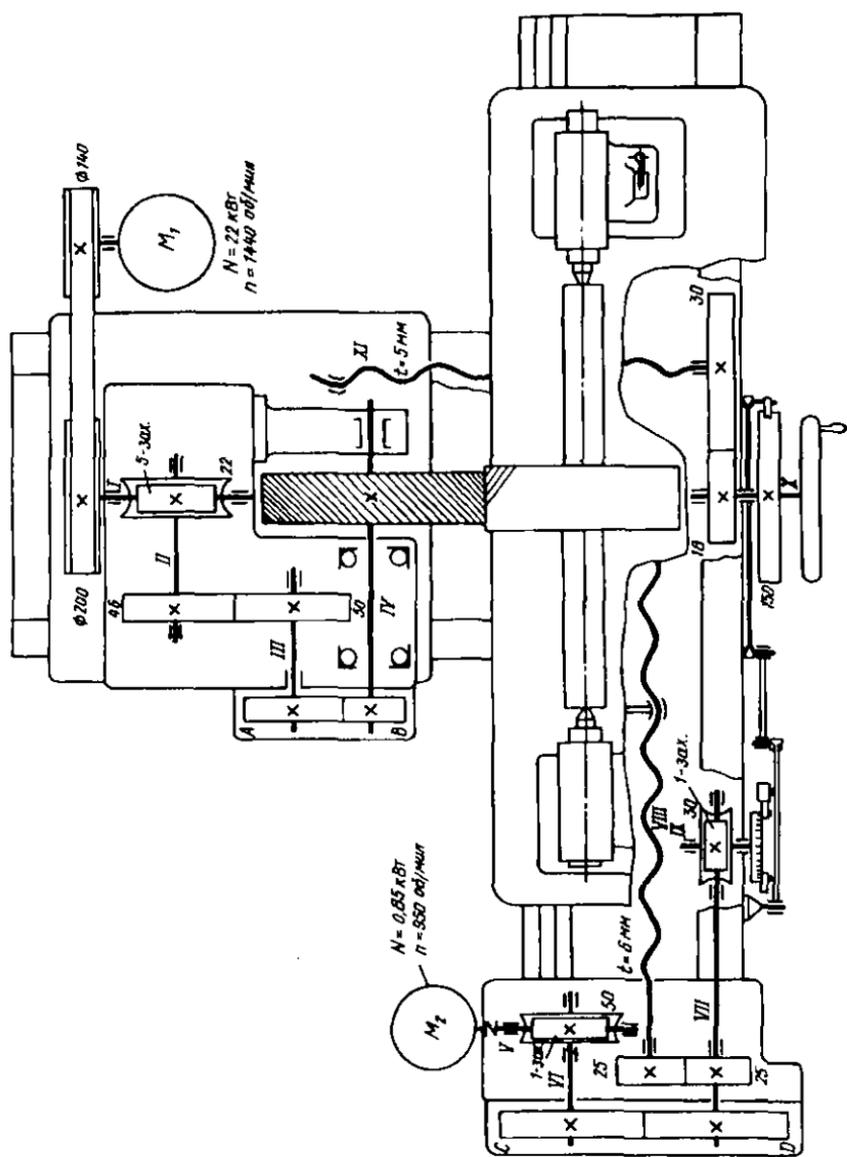


Рис. 3.30. Кинематическая схема зубошлифовального станка мод. 5715

Откуда получим формулу настройки:

$$i_{\text{стр}} = \frac{C}{D} = \frac{1}{114} \cdot S_{\text{пр}} \cdot n_{\text{ш}} \cdot \frac{Z_{\text{ш}}}{Z_3}.$$

Кинематическая цепь радиальной подачи. Данная цепь обеспечивает радиальную подачу бабки шевера на ход продольного стола. В этом случае расчетные перемещения равны:

1 ход продольного стола $\longleftrightarrow S_p$.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$\frac{K_{\text{х.к.}}}{150} \cdot \frac{18}{30} \cdot 6 = S_p.$$

Откуда $K_{\text{х.к.}} = 41,75 \cdot S_p$,

где $K_{\text{х.к.}}$ — число зубьев храпового колеса, захватываемое собачкой за один ход стола; S_p — радиальная подача, мм/ход.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший модуль, мм	8
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	450
Наименьший диаметр обрабатываемого колеса, мм	150
Наибольшая ширина обрабатываемого колеса, мм	120
Диаметр шевера, мм	250
Число частот вращения шпинделя	5
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	294
Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин	118
Число величин продольных подач стола	8
Наибольшее число двойных ходов стола в минуту	250
Наименьшее число двойных ходов стола в минуту	50
Число величин радиальных подач	4
Наибольшая величина радиальной подачи, мм/ход	0,08
Наименьшая величина радиальной подачи, мм/ход	0,02
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	2,2

§ 3.6. Токарно-затыловочные станки

Схема обработки и кинематическая структура токарно-затыловочного станка. Токарно-затыловочные станки предназначены для обработки задних поверхностей для зубьев цилиндрических, червячных, дисковых и пазовых фрез,

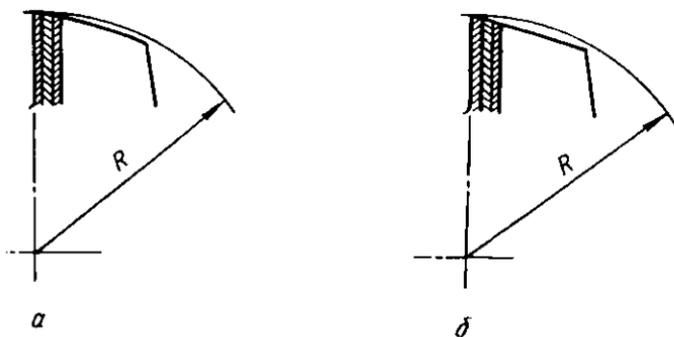


Рис. 3.31. Разновидности зубьев: *a* — затылованный; *б* — острозаточенный

а также метчиков, с прямыми и винтовыми канавками. Затылование осуществляется в результате сложения двух равномерных движений: вращательного — детали и поступательно-режущего инструмента в направлении к детали. В каждом сечении затылованная поверхность зуба ограничивается соответствующей Архимедовой спиралью. Существенным преимуществом затылованного зуба (рис. 3.31*a*) по сравнению с острозаточенным (рис. 3.31*б*) является незначительное изменение его профиля (в пределах допустимых значений) в результате последующих переточек по передней поверхности.

В качестве инструмента при затыловании незакаленных зубьев используются фасонные резцы, а закаленных зубьев — фасонные абразивные круги.

Рассмотрим схему формообразования задней поверхности зубьев червячной фрезы. Червячная фреза 1 (заготовка) и фасонный резец 2 (рис. 3.32) совершают сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1P_2)$ — движение затылования. Составляющая B_1 данного движения является главным движением, а составляющая P_2 — движением радиальной подачи и, вследствие периодичности, одновременно делительным движением, обеспечивающим снятие затылка с каждого зуба червячной фрезы.

Указанные исполнительные звенья совершают еще одно сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1P_3)$ — винтовое движение. Его составляющая P_3 является движением подачи фасонного резца на шаг винтовой поверхности червяка.

При затыловании червячных фрез с винтовыми стружечными канавками или цилиндрических фрез с винтовыми зубьями фасонный резец совершает также сложное формообразующее движение $\Phi_s(P_3P_4)$. В случае перемещения фасонного резца на шаг винтовой стружечной канавки или шаг винтовых зубьев цилиндрической фрезы он должен сделать дополнительно $\pm z$ двойных оборотов, где z — число стружечных канавок или зубьев.

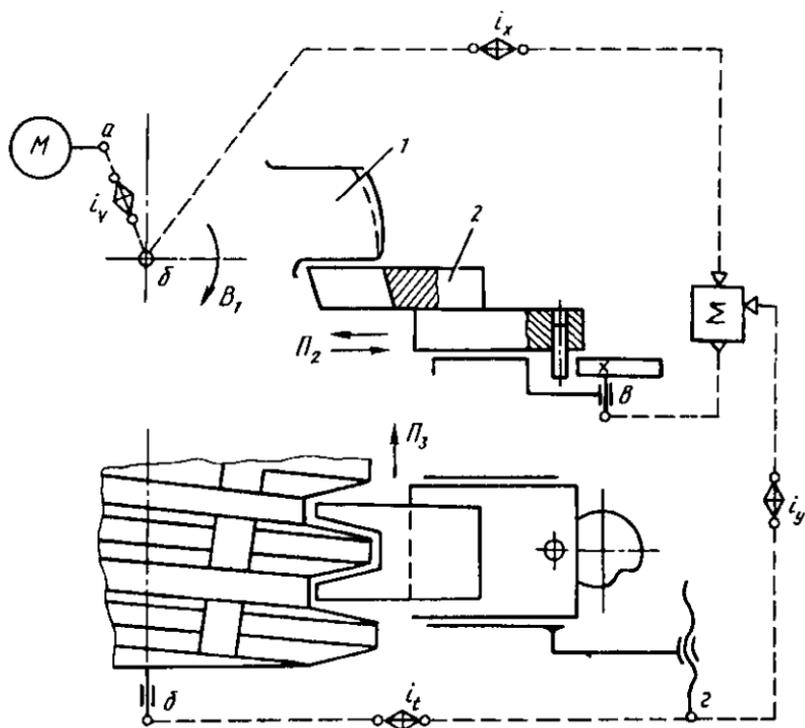


Рис. 3.32. Кинематическая структура токарно-затыловочного станка:
1 — червячная фреза (заготовка); 2 — фасонный резец

Для осуществления указанных движений предусматриваются соответствующие кинематические группы, образующие кинематическую структуру токарно-затыловочного станка. Формообразующее движение $\Phi_v(B_1 P_2)$ осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $b-v$ с органом настройки i_x (рис. 3.32), а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v .

В сложной кинематической группе формообразования $\Phi_v(B_1 P_3)$ внутренняя кинематическая цепь $b-z$ с органом настройки i_z обеспечивает условие согласования вращения B_1 червячной фрезы с поступательным движением P_3 фасонного резца на шаг червяка. Что касается внешней кинематической цепи, то она совпадает с аналогичной цепью вышерассмотренной кинематической группы формообразования $\Phi_v(B_1 P_2)$.

Формообразующее движение $\Phi_v(P_3 P_4)$ осуществляется также сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $z-v$ с органом настройки

i_v , а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-z$ с ранее настроенными органами i_v и i_r .

Кинематическая настройка токарно-затыловочного станка. Исходными данными для настройки кинематических цепей токарно-затыловочного станка являются материал затылуемой фрезы (или метчика) и фасонного резца, число зубьев z_3 , шаг t червяка (или резьбы метчика) и угол β наклона стружечной канавки фрезы, диаметр фрезы d_ϕ (или метчика).

Рассмотрим настройку токарно-затыловочного полуавтомата мод. 1Б811, кинематическая схема которого представлена на рис. 3.33.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи являются вал электродвигателя M и шпиндель, на котором устанавливается затылуемая фреза (или метчик). Необходимо обеспечить частоту вращения шпинделя, определяемую по формуле:

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_\phi}$$

В рассматриваемой цепи органом настройки является ступенчатая коробка, обеспечивающая 12 частот вращения шпинделя в пределах $n_{\text{шп}} = 2,8 \dots 63$ об/мин.

Уравнение кинематического баланса имеет вид:

$$700 \cdot \frac{25}{56} \cdot \frac{\frac{22}{46}}{\frac{28}{40}} \cdot \frac{\frac{24}{68}}{\frac{46}{34}} \cdot \frac{45}{54} \cdot \frac{\frac{20}{80}}{\frac{50}{50}} \cdot \frac{24}{96} = n_{\text{шп}}$$

Обратное вращение шпинделя осуществляется реверсированием электродвигателя M при частоте вращения $n_{\text{эл}} = 1400$ об/мин. В результате частоты обратного вращения в 2 раза выше, чем при прямом вращении.

Кинематическая цепь затылования. Данная цепь связывает вращение затылуемой фрезы (или метчика) и возвратно-поступательное движение фасонного резца. При ее повороте на один оборот фасонный резец должен совершить z_3 двойных ходов, где z_3 — число зубьев затылуемой заготовки, т. е. имеем следующие расчетные перемещения: 1 об. заготовки $\longleftrightarrow z_3$ двойных ходов фасонного резца.

С учетом этих расчетных перемещений уравнение кинематического баланса имеет вид:

$$i_{\infty} \cdot \frac{96}{24} \cdot \left| \frac{80}{20} \right| \cdot \frac{44}{36} \cdot \frac{45}{47} \cdot \frac{47}{33} \cdot i_a \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{27}{27} \cdot K_k = z_3,$$

где $i_a = \frac{1}{2}$ — передаточное отношение дифференциала, K_k — число заходов кулачка, сообщающего возвратно-поступательное движение фасонному резцу. Необходимо отметить, что зубчатая передача $\frac{80}{20}$ включается при затыловании заготовок с $z_3 = 1 \dots 10$, а зубчатая передача $\frac{50}{50}$ — при затыловании заготовок с $z_3 = 4 \dots 40$.

Решая уравнение кинематического баланса, получим формулу настройки:

$$\text{при } z_3 = 1 \dots 10 \quad \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{3}{40} \cdot \frac{z_3}{K_k};$$

$$\text{при } z_3 = 4 \dots 40 \quad \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{3}{10} \cdot \frac{z_3}{K_k}.$$

Кинематическая цепь подачи на шаг винтовой линии. Эта цепь связывает вращение затылуемой фрезы (или метчика) и продольное движение фасонного резца. При ее повороте на один оборот фасонный резец должен переместиться на шаг t червячной фрезы (или резьбы метчика). В результате имеем следующие расчетные перемещения:

1 об. заготовки $\longleftrightarrow t$ винтовой линии, мм.

С учетом данных расчетных перемещений уравнение кинематического баланса имеет вид:

без звена увеличения шага

$$i_{\infty} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot 12 = t;$$

со звеном увеличения шага

$$i_{\infty} \cdot \frac{96}{24} \cdot \left| \frac{80}{20} \right| \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot 12 = t.$$

Решая указанные уравнения кинематического баланса, получим следующие формулы настройки:

$$\text{без звена увеличения шага} \quad \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{t}{12};$$

со звеном увеличения шага:

$$\text{при } \frac{50}{50} \quad \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{t}{48};$$

$$\text{при } \frac{80}{20} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{t}{192}.$$

Необходимо отметить, что звено увеличения шага используется при затыловании многозаходных червячных фрез, у которых винтовая линия червяка имеет большой шаг t .

Для затылования правых и левых червячных фрез (или метчиков) в винторезной цепи подачи имеется реверс с передвижным зубчатым колесом $z = 36$.

Кинематическая цепь подачи. Данная цепь, как и вышерассмотренная, связывает вращение заготовки и продольное движение резца, но при затыловании цилиндрических фрез с прямыми или винтовыми зубьями. Здесь не требуется точного перемещения на шаг. Поэтому для продольного перемещения резца используется не пара винт-гайка, а реечная передача ($z = 12$, $m = 3$). В этой кинематической цепи органом настройки является ступенчатая коробка подач, обеспечивающая шесть продольных подач в пределах $S_{\text{пр}} = 0,1 \dots 1,0$ мм/об.

Уравнение кинематического баланса имеет вид:

$$1_{\text{ос}} \cdot \frac{26}{34} \cdot \frac{45}{58} \cdot \left| \begin{array}{c} \frac{27}{54} \\ \frac{36}{36} \\ \frac{45}{45} \\ \frac{36}{36} \end{array} \right. \begin{array}{l} \nearrow = S_{\text{пр}} \\ \searrow \cdot \frac{27}{54} \cdot \frac{27}{54} = S_{\text{пр}} \end{array}$$

Кинематическая цепь дифференциала. Она используется при затыловании фрез с винтовыми стружечными канавками и обеспечивает дополнительное вращение кулачка, сообщающего резцу возвратно-поступательное движение при его продольном перемещении. Это вращение при помощи дифференциала прибавляется или отнимается от вращения кулачка, получаемого им посредством кинематической цепи затылования. Знак “плюс” или “минус” зависит от направления подъема винтовой линии стружечной канавки.

Для рассматриваемой цепи имеем следующие расчетные перемещения:

T — стружечной канавки $\longleftrightarrow \pm z_3$ двойных ходов резца, где T — шаг винтовой линии стружечной канавки.

С учетом этих расчетных перемещений уравнения кинематического баланса имеют вид:

при затыловании червячных фрез

$$\frac{T}{12} \cdot \frac{48}{36} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{3}{19} \cdot i_d^1 \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{27}{27} \cdot K_K = \pm z_3;$$

при затыловании цилиндрических фрез

$$\frac{T}{\pi \cdot 3 \cdot 12} \cdot \frac{55}{20} \cdot \frac{30}{1} \cdot \frac{25}{28} \cdot \frac{20}{60} \cdot \frac{26}{76} \cdot \frac{48}{36} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{3}{19} \cdot i_{II}^1 \times \\ \times \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{27}{27} = \pm z_3.$$

Из указанных уравнений кинематического баланса получим следующие формулы настройки:

при затыловании червячных фрез

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 114 \cdot \frac{z_3}{T} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c};$$

при затыловании цилиндрических фрез

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 114,2 \cdot \frac{z_3}{T} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c}.$$

§ 3.7. Резьбофрезерные станки

Схема обработки (формообразования) и кинематическая структура резьбофрезерного станка. Процесс резьбофрезерования является наиболее производительным процессом обработки резанием винтовых поверхностей. Его суть заключается в том, что дисковой фрезе 1 (рис.3.34а), имеющей профиль нарезаемой резьбы, сообщают вращательное движение с заданной скоростью резания (главное движение). Одновременно с этим фрезе или заготовке 2 сообщают движение продольной подачи и заготовке — движение круговой подачи. В начале процесса резания фрезе или заготовке сообщают так-

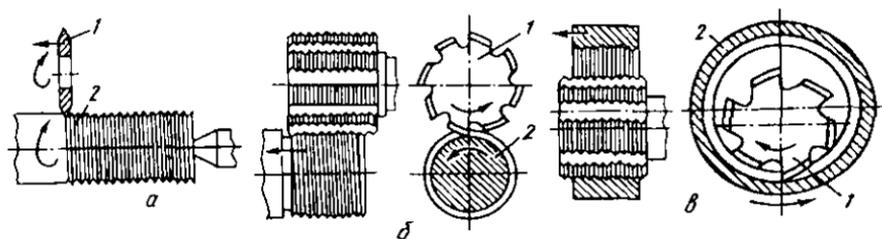


Рис. 3.34. Схема резьбофрезерования: а — дисковыми фрезами; б, в — гребенчатыми фрезами; 1 — фреза; 2 — заготовка

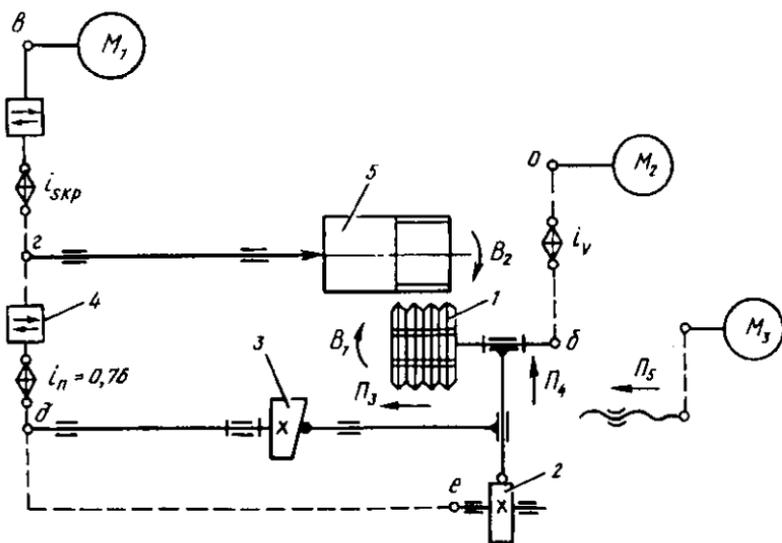


Рис. 3.35. Кинематическая структура резбофрезерного полуавтомата мод. 5Б63: 1 — фреза; 2, 3 — кулачки; 4 — механизм реверса; 5 — заготовка

же движение поперечной подачи, необходимое для врезания инструмента на полную глубину резьбы.

Резбофрезерование может производиться гребенчатыми фрезами, которые представляют собой как бы набор дисковых фрез (рис. 3.34б, в). В этом случае гребенчатая фреза перемещается в продольном направлении на величину шага резьбы. Таким способом обрабатывают короткие однозаходные наружные и внутренние резьбы.

Резбофрезерные полуавтоматы с гребенчатыми фрезами применяются в условиях крупносерийного и массового производства.

Рассмотрим схему формообразования винтовой поверхности и кинематическую структуру резбофрезерного полуавтомата мод. 5Б63 (рис. 3.35). Фреза 1 совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение. Два сложных формообразующих движения совершают заготовка 5 и фреза 1: $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ и $\Phi_s(B_2\Pi_4)$. Первое движение обеспечивает шаг резьбы, а второе врезание фрезы на определенном угле поворота заготовки. Составляющие данных сложных движений B_2 , Π_3 и Π_4 являются соответственно движениями круговой, продольной и поперечной подачи. Каретка фрезы совершает также вспомогательное движение $B_c(\Pi_3)$ — быстрый подвод фрезы к заготовке в продольном направлении.

Для осуществления указанных движений предусматриваются соответствующие кинематические группы, образующие ки-

нематическую структуру станка. Главное движение $\Phi_1(B_1)$ осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпинделя фрезы, а внешняя — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_n (рис. 3.35).

Сложное формообразующее движение $\Phi_2(B_2P_3)$ осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $z-d$, включающей механизм реверса 4, зубчатые передачи с постоянным передаточным отношением $i_n = 0,76$ и орган настройки в виде сменного кулачка 3, а внешняя связь — кинематической цепью $v-z$ с органом настройки $i_{кр}$ (сменные колеса a, b, c, d). Реверс шпинделя изделия осуществляется путем реверсирования электродвигателя M_1 . В другой сложной группе (формообразующее движение $\Phi_3(B_3P_4)$) внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $z-d-e$ с кулачком 2, а внешняя связь — той же кинематической цепью, что и в первой сложной группе.

Кинематическая настройка резбифрезерного станка мод. 5Б63 заключается в определении чисел зубьев сменных колес в кинематических цепях главного движения (a', b', c', d') и круговой подачи изделия (a, b, c, d), а также в установке кулачка 3 (цепь продольной подачи), обеспечивающего требуемый шаг резьбы. Исходными данными для настройки являются материал заготовки и фрезы, шаг t_p , глубина H , диаметр d_p и длина l_p резьбы, диаметр d_f фрезы.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями этой цепи являются вал электродвигателя M_2 и гребенчатая фреза, устанавливаемая на шпинделе XII (рис. 3.36). Для нее имеем следующие расчетные перемещения:

$n_{эл2}$ вала электродвигателя $\longleftrightarrow n_\phi$ фрезы, об/мин,
 где $n_\phi = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_\phi}$,

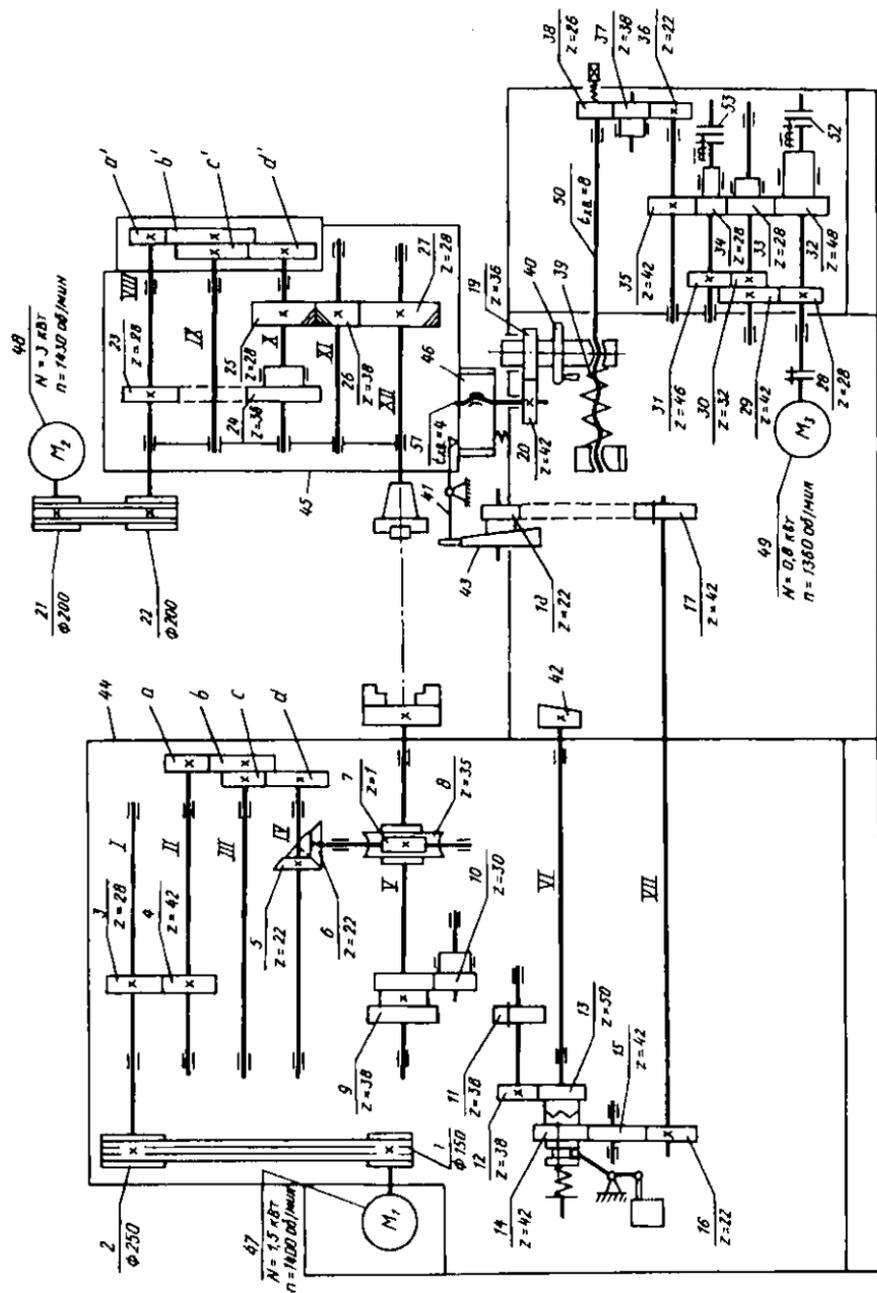
d_ϕ — наружный диаметр гребенчатой фрезы, мм.

С учетом данных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1430 \cdot \frac{200}{200} \cdot \frac{a^1}{b^1} \cdot \frac{c^1}{d^1} \cdot \frac{28}{38} \cdot \frac{38}{28} = n_\phi.$$

Откуда следует $\frac{a^1}{b^1} \cdot \frac{c^1}{d^1} = \frac{n_\phi}{1430}$.

Кинематическая цепь круговой подачи. Здесь конечными звеньями цепи являются вал электродвигателя M_1 и заготовка, устанавливаемая на шпинделе V. Для этой цепи расчетные перемещения равны:



$n_{эл}$ вала электродвигателя $\longleftrightarrow n_3$ об/мин,

$$\text{где } n_3 = \frac{S_z \cdot Z_\phi \cdot n_\phi}{\pi \cdot d_p},$$

S_z — подача на один зуб, мм/зуб; Z_ϕ — число зубьев гребенчатой фрезы; d_p — диаметр резьбы, мм.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1400 \cdot \frac{150}{250} \cdot \frac{48}{42} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{1}{35} = \frac{S_z \cdot Z_\phi \cdot n_\phi}{\pi \cdot d_p}.$$

$$\text{Откуда следует } \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{S_z \cdot Z_\phi \cdot n_\phi}{16 \cdot \pi \cdot d_p}.$$

Сменные колеса a, b, c, d обеспечивают 16 частот вращения заготовки в пределах 0,5...16 об/мин.

Кинематическая цепь шага резьбы. Как отмечалось выше органом настройки в данной цепи является сменный кулачок 42, у которого подъем винтовой линии равен шагу t_p нарезаемой резьбы. За цикл обработки, включающий подвод и врезание фрезы на глубину резьбы, фрезерование на полную глубину и перемещение на шаг резьбы, зачистку и вывод фрезы из резьбы, кулачок 42 поворачивается на один оборот, а заготовка — на 1,31 оборота. Из них ровно один оборот приходится на фрезерование с перемещением фрезы на шаг резьбы.

Глава 4

ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

На токарных станках обрабатываются наружные, торцевые и внутренние поверхности различной формы тел вращения: цилиндрические, конические, фасонные и резьбовые. Производятся также отрезка детали, если заготовка в виде прутка. Производящие линии поверхностей получают методами следа и копирования (рис. 4.1). Так, на рис. 4.1а, б, в, г направляющие ab получают методом следа. Что касается образующих, то на рис. 4.1а, г они представляют собой окружность с постоянным радиусом, а на рис. 4.1б, в — окружности с переменным радиусом. На рис. 4.1д образующая abc получается методом копирования, а направляющая представляет собой окружности.

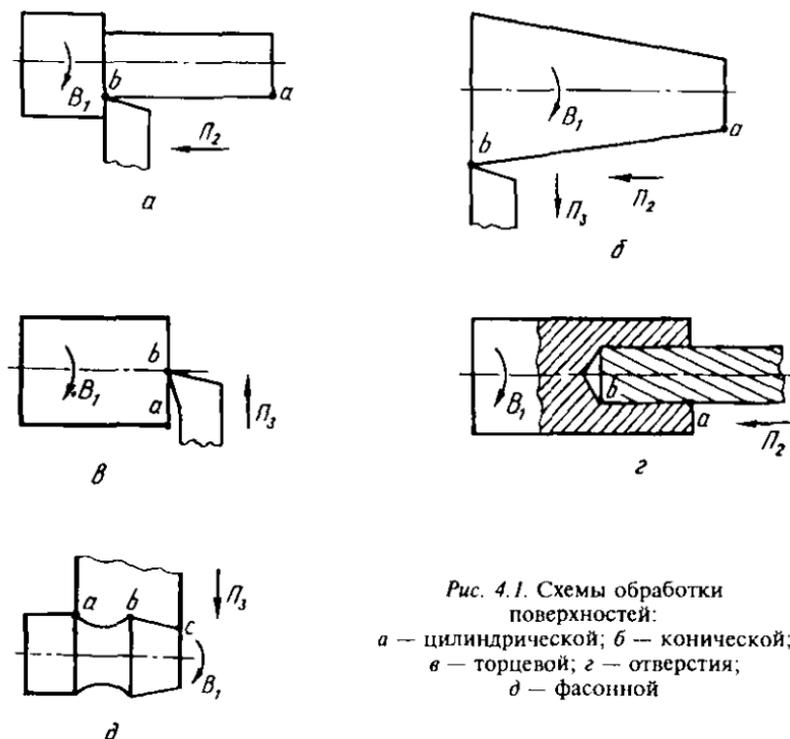


Рис. 4.1. Схемы обработки поверхностей:
 а — цилиндрической; б — конической;
 в — торцевой; г — отверстия;
 д — фасонной

В качестве инструмента на токарных станках для обработки наружных, торцевых и внутренних поверхностей тел вращения используются резцы различных типов: проходные, фасонные, резьбовые, торцевые и отрезные. Для обработки внутренних поверхностей используются также сверла, зенкеры, развертки и метчики.

Согласно классификации, токарные станки относятся к 1-й группе. Их типоразмеры характеризуются различными параметрами в зависимости от типа станков (см. классификацию металлорежущих станков [5]). Например, для токарно-винторезных станков типоразмер определяется высотой центров станка, для токарно-револьверных автоматов — максимальным диаметром обрабатываемого прутка.

§ 4.1. Токарно-винторезные станки

Токарно-винторезные станки, относящиеся к 6-му типу, предназначены для выполнения наружного, торцевого и внутреннего точения, нарезания правой и левой метрической, дюймовой, модульной и питчевой резьб, одно- и многозаходных резьб с нор-

мальным и увеличенным шагом, торцевой резьбы. На этих станках в условиях индивидуального (единичного) и мелкосерийного производства обрабатываются очень мелкие, средние и крупные детали классов [36] круглые стержни (валы), полые цилиндры (втулки) и диски. Для охвата такого широкого диапазона габаритов деталей (от очень мелких до крупных) используется размерный ряд токарно-винторезных станков с высотой центров от 100 до 1000 мм [124]. Высота центров записывается в условном обозначении станка двумя первыми цифрами. Например, условное обозначение 1620 расшифровывается: токарно-винторезный станок (16) с высотой центров 200 мм (20).

Традиционная компоновка токарно-винторезных станков на примере станка мод. 16К20 показана на рис. 4.2. Жесткая коробчатой формы станина 1 с калеными шлифованными направляющими и корыто 2 располагаются на монолитном основании 3. Данное основание играет роль стружкосборника и резервуара для смазочно-охлаждающей жидкости. Слева на станке размещается передняя бабка 4, в которой располагается коробка скоростей со шпинделем 5, на переднем конце которого закрепляется центр или патрон для установки и закрепления обрабатываемой заготовки. Справа установлена задняя бабка 6 с поддерживающим центром, который образует вторую опору при обработке заготовок класса круглые стержни (валы). В зависимости от длины обрабатываемой заготовки задняя бабка перемещается по направляющим станины и закрепляется на ней на соответствующем расстоянии от передней бабки. Задняя бабка может быть использована также для обработки центральных от-

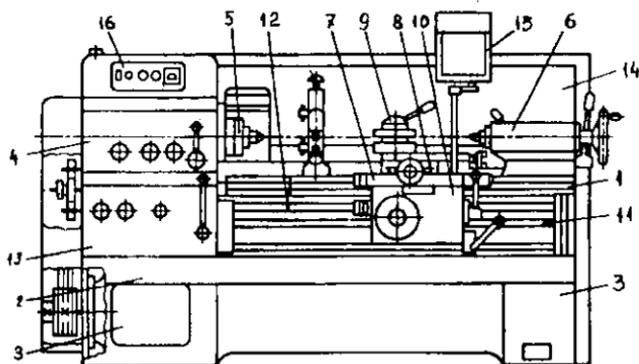


Рис. 4.2. Токарно-винторезный станок мод. 16К20: 1 — станина; 2 — корыто; 3 — основание; 4 — передняя бабка; 5 — шпиндель; 6 — задняя бабка; 7 — продольный суппорт; 8 — поперечные салазки; 9 — резцодержатель; 10 — фартук; 11 — ходовой вал; 12 — ходовой винт; 13 — коробка подач; 14 — экран; 15 — защитный шиток; 16 — электрощкаф

верстей в детали. С этой целью вместо поддерживающего центра в ней устанавливают сверла, зенкеры.

По направляющим станины перемещается продольный суппорт 7, на котором располагаются поперечные салазки 8 с резцедержателем 9. Продольная подача суппорта и поперечная подача салазок осуществляется с помощью механизмов, расположенных в фартуке 10 и получающих вращение от ходового вала 11 или ходового винта 12. Первый используется при точении, второй — при нарезании резьбы, в целях повышения точности ее шага. Величину подачи суппорта и салазок устанавливают посредством коробки подач 13, закрепленной на станине под передней бабкой.

Для безопасной работы на станке (источником опасности являются стружка и смазочно-охлаждающая жидкость) сзади предусмотрен экран 14, а спереди защитный щиток 15. Основное электрооборудование расположено в электрошкафу 16.

Подробное описание основных механических узлов токарно-винторезного станка 16К20 рассматривается в работах [67, 69].

Рассмотрим схему обработки и кинематическую структуру токарно-винторезного станка (рис. 4.3). В случае обработки цилиндрической и торцевой винтовых поверхностей заготовка 1 и резец 2 совершают сложные формообразующие движения $\Phi_v(B_1P_2)$ и $\Phi_v(B_1P_3)$. Составляющая B_1 этих сложных движений является главным движением, а составляющие P_2 и P_3 — соответственно движениями продольной и поперечной подач. Наряду с формообразующими движениями на станке имеются вспомогательные движения $B_c(P_4)$ и $B_c(P_5)$, обеспечивающие быстрое перемещение резца в продольном и поперечном направлениях.

Для осуществления движений, представленных на схеме обработки (формообразования), предусматриваются соответствующие кинематические группы, образующие кинематическую структуру токарно-винторезного станка. Формообразующее движение $\Phi_v(B_1P_2)$ осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается:

при обработке ходовых винтов и точных резьб кинематической цепи $b-v-g$ с органами настройки $i_{\text{уш}}$ (звено увеличения шага: используется при большом шаге резьб $t = 16-112$ мм) и i_7 (гитара сменных колес);

при обработке крепежных резьб кинематической цепью $b-v-g-d$ с органом настройки $i_{\text{кп}}$ (коробка подач). В указанных кинематических цепях имеется механизм реверса 3, обеспечивающий обработку правой и левой винтовых поверхностей. Что касается внешней связи рассматриваемой кинематической группы, то она обеспечивается кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v (коробка скоростей). В этой цепи также имеется механизм реверса 4, позволяющий вести

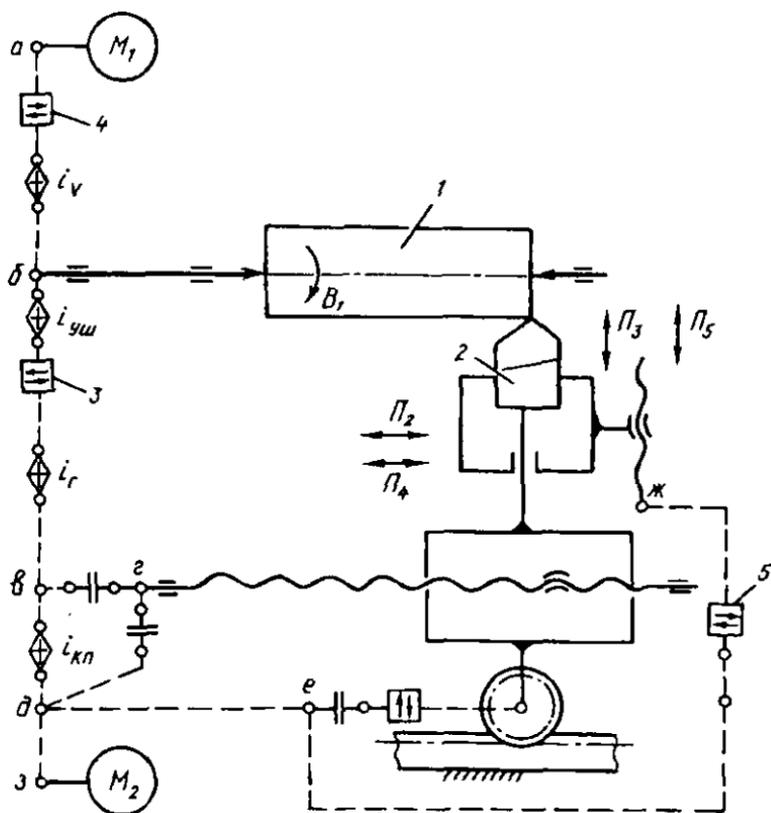


Рис. 4.3. Кинематическая структура токарно-винторезного станка:
1 — заготовка; 2 — резец; 3, 4, 5 — механизмы реверса

обработку заготовки при ее вращении против и по часовой стрелке.

В другой сложной кинематической группе формообразования $\Phi_v(B_1, \Pi_3)$ внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью б-в-г-д-е-ж с органами настройки $i_{уш}$ и i_r и механизмами реверса 3 и 5, а внешняя связь — вышерассмотренной кинематической цепью а-б с органом настройки i_v и механизмом реверса 4.

Вспомогательные движения резца в продольном $B_c(\Pi_4)$ и поперечном $B_c(\Pi_5)$ направлениях обеспечиваются источником движения M_2 соответственно через кинематические цепи з-д-е и з-д-е-ж.

Кинематическая настройка токарно-винторезного станка мод. 16К20. Исходными данными для настройки

кинематических цепей токарно-винторезного станка являются материал детали и инструмента, их геометрические параметры (диаметр, угол конуса, шаг резьбы и т. д.), точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи (рис. 4.4) являются вал электродвигателя M_1 ($N = 10$ кВт, $n_{эл} = 1460$ об/мин) и шпиндель, на котором устанавливается и закрепляется обрабатываемая заготовка. Необходимо обеспечить ее частоту вращения, определяемую по формуле:

$$n_i = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_i},$$

где d_i — диаметр i -й обрабатываемой поверхности, мм;
 V — скорость резания, м/мин.

В рассматриваемой цепи органом настройки является коробка скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. Для нее имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1420 \cdot \frac{140}{260} \cdot \begin{array}{|l} \frac{51}{39} \\ \frac{56}{34} \end{array} \cdot \begin{array}{|l} \frac{21}{29} \\ \frac{47}{38} \\ \frac{38}{38} \end{array} \cdot \begin{array}{|l} \frac{30}{60} \\ \frac{60}{60} \\ \frac{48}{48} \end{array} = n_{шп} \quad P_3 = 2$$

$$\begin{array}{|l} \frac{15}{60} \\ \frac{45}{45} \end{array} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} = n_{шп} \quad P_4 = 2$$

$P_1 = 2 \quad P_2 = 3 \quad P_4 = 2$

Как видно из данного уравнения, коробка скоростей обеспечивает 24 частоты вращения шпинделя и имеет следующую структурную формулу:

$$Z_n = P_1 \cdot P_2 (P_3 + P_4) = 2 \cdot 3 (2 + 2) = 24.$$

Однако различных частот вращения 22, так как две частоты вращения перекрываются. Настройка такой коробки скоростей заключается в выборе соответствующих передаточных отношений групп и перебора, которые обеспечивают фактическую частоту вращения шпинделя $n_{шп}$, отвечающую условию $n_{шп} \leq n_p$, т. е. выбирается ближайшее меньшее значение частоты вращения.

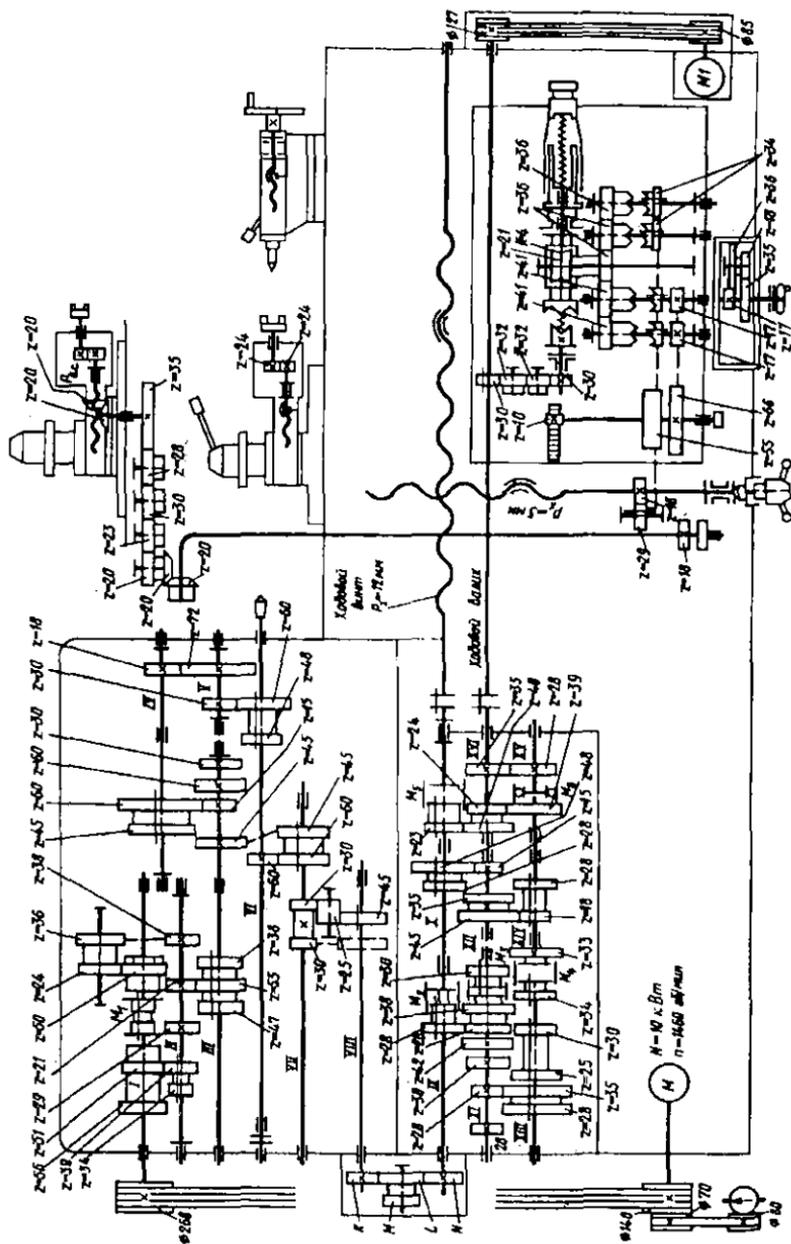


Рис. 4.4. Кинематическая схема токарно-винторезного станка мод. 16К20

Кинематические цепи подач. Конечными звеньями кинематических цепей продольной и поперечной подач являются шпиндель с заготовкой и резец. Рассмотрим настройку кинематической цепи продольных подач при обработке, например, ходового винта. В этом случае для нее имеем следующие расчетные перемещения:

1 об. заготовки $\longleftrightarrow t_n$ продольного суппорта, где t_n — шаг винтовой поверхности обрабатываемого ходового винта.

С учетом данных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$1 \text{ об.} \cdot i_n \cdot i_r = t_n$$

Решая это уравнение, получим формулу настройки:

$$i_r = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{t_n}{i_n}$$

Передачное отношение i_n имеет различные значения в зависимости от шага t_n :

при $t_n < 16$ мм $i_n = \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45}$ (см. кинематическую схему);

при $t_n = 16$ —112 мм передача движения от шпинделя осуществляется через звено увеличения шага и i_n имеет два значения:

$$i_n = \frac{60}{30} \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{30}{45} = \frac{16}{3} \text{ и}$$

$$i_n = \frac{60}{30} \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{60}{15} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{30}{45} = \frac{64}{3}$$

Что касается продольной или поперечной подач при точении, то ее фактическая величина S устанавливается при помощи ступенчатой коробки подач (орган настройки $i_{кп}$) по выбранной подаче S_i в зависимости от требуемой шероховатости i -й обрабатываемой поверхности, а также с учетом геометрических параметров резца и условий обработки. При этом соблюдается условие $S \approx S_i$, т. е. выбирается ближайшее меньшее или большее значение подачи.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:

над станиной 400

над суппортом 220

Диаметр отверстия шпинделя, мм 52

Расстояние между центрами, мм 710, 1000 и 1400

Число частот вращения шпинделя	22
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	1600
Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин	12,5
Число подач	24
Подача реза, мм/об:	
продольная	0,05—2,8
поперечная	0,025—1,4
Шаг нарезаемой резьбы:	
метрической, мм	0,5—112
дюймовой, число витков на дюйм	56—0,5
модульной, модуль	0,5—112
питчевой, питч	56—0,5
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:	
суппорта	3800
поперечных салазок	1900
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	10

§ 4.2. Обработка конических и фасонных поверхностей на токарно-винторезных станках

Существует три способа обработки конических поверхностей на токарно-винторезных станках [69].

Первый способ заключается в смещении задней бабки в поперечном направлении на величину h (рис. 4.5а). В результате этого ось заготовки образует угол α с продольным направлением перемещения реза. Согласно схеме имеем:

$$\begin{cases} h = L \cdot \sin \alpha \\ \operatorname{tg} \alpha = (D - d)/2l \end{cases} \quad (4.01)$$

Решая данную систему уравнений, получим:

$$\alpha = \arccos \frac{2h \cdot l}{L(D-d)} \quad (4.02)$$

Недостатками данного способа являются низкая точность угла конуса и неблагоприятные ее условия работы центра задней бабки вследствие его перекоса относительно центрального отверстия заготовки.

Второй способ заключается в использовании резцовых салазок, которые вместе с резцом поворачиваются на требуемый угол α (рис. 4.5б). Этот способ пригоден для обработки конических поверхностей только небольшой длины и не обеспечивает высокую точность угла конуса.

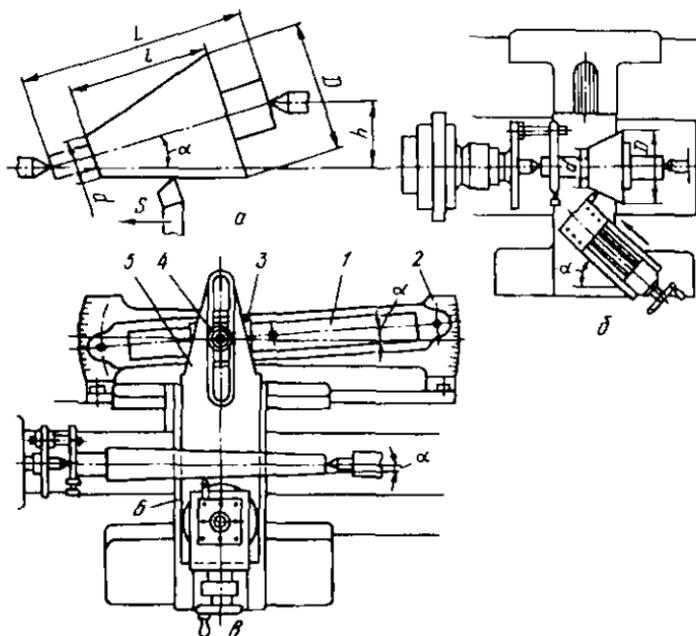


Рис. 4.5. Схема обработки конических поверхностей: а — смещение корпуса задней бабки в поперечном направлении; б — использование резцовых салазок; в — использование копировальной линейки; 1 — линейка; 2 — кронштейны; 3 — ползун; 4 — палец; 5 — кронштейн

Третий способ основан на использовании специального приспособления с копировальной линейкой 1, укрепленной на задней стороне станины на кронштейнах 2 (рис. 4.5в). Линейку можно с достаточно высокой точностью установить под небольшим углом α к направлению перемещения суппорта. По линейке скользит ползун 3, который посредством пальца 4 и кронштейна 5 соединен с поперечными салазками б суппорта. Винт поперечной подачи разъединен с гайкой. Данное приспособление при продольном перемещении суппорта обеспечивает одновременно поперечное перемещение салазок за счет установления копировальной линейки под углом α . В результате двух движений резца образуется соответствующая коническая поверхность. Этот способ обеспечивает высокую точность угла конуса при значительном диапазоне изменения длины конических поверхностей.

Третий способ используется также для обработки фасонных поверхностей, для чего вместо конусной линейки устанавливают фасонную. Короткие фасонные поверхности получают при обработке фасонными резцами.

§ 4.3. Токарные станки с ЧПУ

Токарно-винторезные станки относятся к универсальным станкам с ручным управлением, образующим первую группу машин по степени автоматизации [25]. Главной особенностью таких станков является то, что рабочие движения заготовки и инструмента (главное движение и движение подачи) выполняются станком, а вспомогательные движения и движения управления — человеком с помощью кнопок, рукояток, рычагов, штурвалов. И хотя универсальные станки постоянно совершенствуются (оснащаются средствами механизации и малой автоматизации), это не меняет их основной особенности — необходимости постоянного присутствия человека и его участие при выполнении процесса обработки деталей. Такая функция человека практически исключает возможность многостаночного обслуживания, которое является одним из эффективных способов повышения производительности труда. Кроме того, участие человека в процессе обработки вносит значительную долю субъективизма в характеристики самого процесса: его производительность и точность.

Преимуществом универсальных станков с ручным управлением являются высокая универсальность и мобильность. Под универсальностью понимается способность станочного оборудования к переналадке на широкий диапазон обрабатываемых деталей. Мобильность же определяется быстротой (временем) переналадки с выпуска одних деталей на другие.

Вышеуказанные особенности обусловили область применения универсальных станков с ручным управлением — это прежде всего индивидуальное, мелко- и среднесерийное производство, для которых основной недостаток станков — низкая производительность — не играет решающей роли. Что касается высокой универсальности и мобильности, то они в условиях этих производств являются важнейшими требованиями к станочному оборудованию.

В последние годы в связи с требованиями повышения производительности и точности, снижения трудоемкости основной тенденцией являются поиски методов и средств автоматизации, особенно, в мелко- и среднесерийном производстве, на долю которых приходится значительный объем выпускаемой продукции. Эта проблема в указанных условиях решается на основе станочного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), которое сочетает высокую точность и производительность, присущую специальному автоматизированному оборудованию, с гибкостью и мобильностью, свойственным универсальному оборудованию с ручным управлением.

На рис. 4.6 представлена кинематическая структура токарно-винторезного станка мод. НТ-250И с интерполятором и цифро-

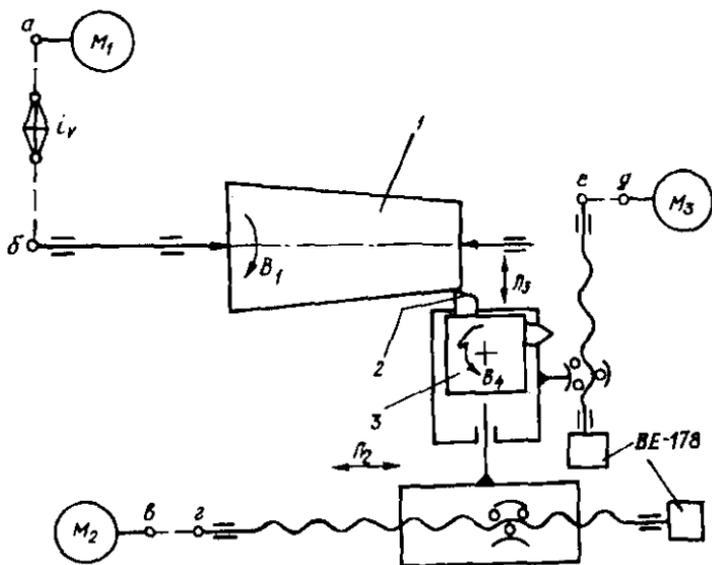


Рис. 4.6. Кинематическая структура токарно-винторезного станка мод. НТ-250И: 1 — заготовка; 2 — резец; 3 — резцедержка поворотная

вой индикацией (с цикловой системой программного управления), созданного на Навоийском машиностроительном заводе на базе станка мод. 16К20. Станок предназначен для обработки наружных и внутренних цилиндрических, конических, сферических и фасонных поверхностей, нарезания червяков и различных видов одно- и многозаходных резьб, в том числе с переменным шагом.

При обработке конических и сферических поверхностей заготовка 1 совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение, посредством которого обеспечиваются направляющие в виде окружностей. Резец 2, закрепленный на поворотной резцедержке 3, совершает сложное формообразующее движение $\Phi_s(P_2P_3)$, которое методом следа обеспечивает образующее соответствующей формы. Составляющие P_2 и P_3 этого сложного движения являются соответственно движениями продольной (координата Z) и поперечной подачи (координата X). В случае обработки резьб заготовка и резец совершают сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1P_2)$. Наряду с формообразующими движениями на станке имеется вспомогательное движение $B_c(B_4)$ — поворот резцедержки.

Кинематическая структура рассматриваемого станка имеет как механические, так и немеханические (электронные) связи (последние на рис. 4.6 не показаны). При обработке коничес-

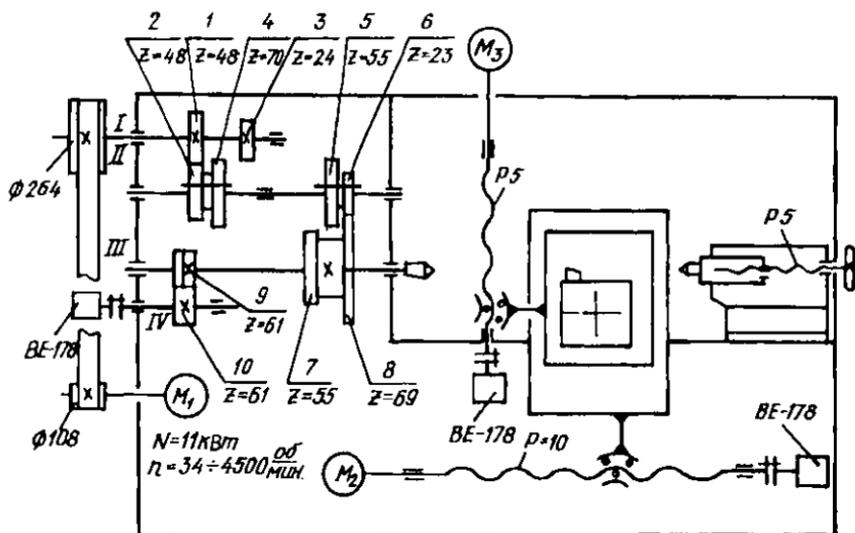


Рис. 4.7. Кинематическая схема токарно-винторезного станка мод. HT-250И

ких и сферических поверхностей формообразующее движение $\Phi_1(B_1)$ — осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпинделя, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i . Что касается формообразующего движения $\Phi_3(P_2P_3)$, то оно осуществляется сложной группой с комбинированными связями: механическими и электронными. В ней внутренняя связь состоит из кинематических цепей $v-g$ и $d-e$, асинхронных электродвигателей M_2 и M_3 с частотным регулированием, устройства управления ими, датчиков обратной связи BE-178, интерполятора и устройства ввода программы, входящими в систему “Размер 2М-51-21/11”. Интерполятор вырабатывает и выдает сигналы в устройство управления двигателями M_2 и M_3 , обеспечивающими траекторию движения инструмента относительно заготовки согласно заданной программе. Данная программа является органом настройки внутренней связи. Внешняя связь образуется кинематическими цепями $v-g$ и $d-e$, соединяющими исполнительные органы (суппорт и поперечные салазки) с источниками движения: электродвигателями M_2 и M_3 . Здесь для преобразования вращательного движения в поступательное используется передача винт-гайка качения. По сравнению с передачей винт-гайка скольжения она обеспечивает высокую точность позиционирования исполнительного органа вследствие отсутствия зазоров и хорошую равномерность движения

из-за постоянства коэффициента трения качения. Ее КПД равен 0,90—0,95.

При обработке резьб формообразующее движение $\Phi_1(B_1P_2)$ осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь (между шпинделем и продольным суппортом) обеспечивается электронной связью. Она включает элементы устройства “Размер 2М-51-21/11” и датчик ВЕ-178, соединенный со шпинделем безмуфтовой зубчатой передачей с передаточным отношением $i = 1$.

Рассмотрим настройку токарно-винторезного станка мод. НТ-250И с цикловой системой программного управления (рис. 4.7).

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи являются вал электродвигателя M_1 ($N = 11$ кВт, $n_{эл} = 34 \dots 4500$ об/мин) и шпиндель, на котором устанавливается и закрепляется заготовка. Необходимо обеспечить частоту ее вращения, определяемую по формуле:

$$n_i = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_i}$$

Орган настройки цепи главного движения (коробка скоростей) обеспечивает три диапазона ступенчатых частот вращения шпинделя, переключаемых вручную. В пределах каждого диапазона посредством асинхронного электродвигателя M_1 с частотным регулированием устанавливается 85 значений частоты вращения шпинделя. Для этого привода имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$(34 \dots 4500) \cdot \frac{130}{200} \cdot \frac{\left| \begin{array}{c} 48 \ 55 \\ 48 \ 55 \\ 24 \ 55 \\ 70 \ 55 \\ 24 \ 23 \\ 70 \ 69 \end{array} \right|}{1} = n_{шп}$$

$$P_1 = 85 \quad P_2 = 3.$$

Как видно из указанного уравнения, коробка скоростей и асинхронный электродвигатель с частотным регулированием обеспечивают 255 частот вращения шпинделя со знаменателем $\varphi = 1,06$. Настройка такого привода главного движения заключается в определении требуемого диапазона частот вращения и выборе соответствующей частоты вращения асинхронного электродвигателя. При этом фактическая частота вращения шпинделя $n_{шп}$ должна отвечать условию $n_{шп} \leq n_i$.

Кинематическая цепь подач. Конечными звеньями механической части цепей продольной и поперечной подач являются соответственно асинхронные электродвигатели M_2 и M_3 и поворотная резцедержка. Органом настройки является информация, заданная в программе. Скорость подачи в мм/об изменяется бесступенчато в пределах 0...300 мм/об.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:	
над станиной	500
над суппортом	210
Число инструментов	4
Число частот вращения шпинделя	255
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	2500
Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин	2,61
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы продольной и поперечной подач, мм/об	0...300
Наибольший шаг нарезаемой резьбы, мм	300
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:	
суппорта	6000
поперечных салазок	5000
Дискретность перемещения, мм:	
продольного	0,001
поперечного	0,001
Число координат	2
Система отсчета — абсолютная и в приращениях	
Тип системы управления приводами подач	“Размер 2М-51-21/11”
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	11

Токарно-винторезный станок с ЧПУ мод. 16К20ФЗС32. Данный станок является дальнейшим развитием предыдущего станка. В отличие от него он оснащен более совершенным устройством ЧПУ типа 2Р22 с вводом программы с клавиатуры, магнитной кассеты или с перфоленты при подключении внешнего фотосчитывающего устройства.

В приводе главного движения применяется частотно-регулируемый асинхронный электродвигатель с бесступенчатым изменением частоты вращения в диапазоне 280—4500 об/мин (в диапазоне 1500—4500 об/мин частота вращения изменяется при постоянной мощности), что позволило исключить АКС с электромагнитными муфтами (рис. 4.8). Этот привод также, как и в станке мод. 16К20ФЗС5, обеспечивает три диапазона частот вращения шпинделя, переключаемых вручную. Однако в преде-

лах каждого диапазона они изменяются бесступенчато (первый диапазон 20—325, второй — 63—900, третий — 160—2240 об/мин). Для данного привода имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$(280 \dots 4500) \cdot \frac{105}{264} \cdot \frac{48}{48} \begin{cases} \cdot \frac{60}{48} = n_{\text{шт}} = 160 \dots 2240 \text{ об/мин} \\ \cdot \frac{30}{60} = n_{\text{шт}} = 63 \dots 900 \text{ об/мин} \\ \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{24}{66} \cdot \frac{30}{60} = n_{\text{шт}} = 20 \dots 325 \text{ об/мин.} \end{cases}$$

В приводе подач вместо шаговых двигателей с гидроусилителями момента используются высокомоментные электродвигатели постоянного тока, а также датчики обратной связи (тип ВТМ-11). Такой привод позволяет повысить точность отсчета и равномерность перемещений суппорта и поперечных салазок, особенно при небольших сроках движения. Кроме того, он позволяет увеличить скорость быстрого перемещения (см. техническую характеристику).

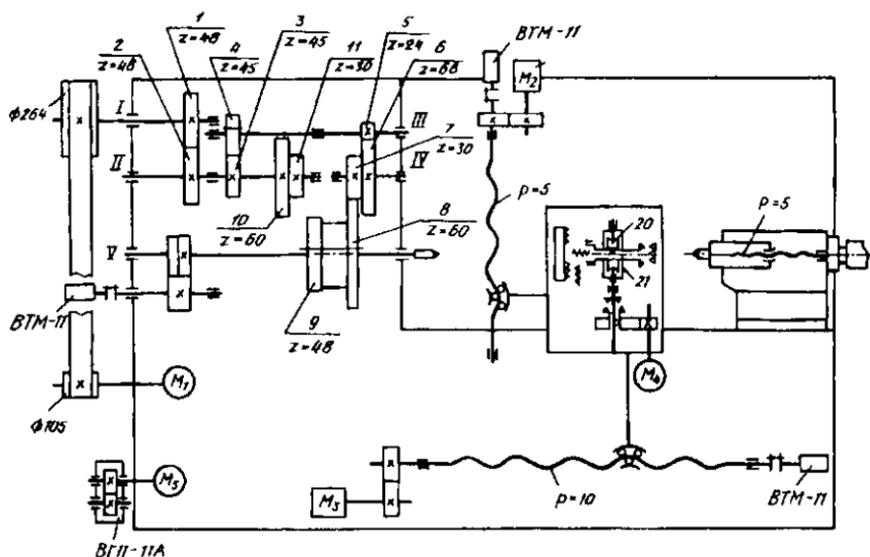


Рис. 4.8. Кинематическая схема токарно-винторезного станка с ЧПУ мод. 16К20Ф3С32

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:	
над станиной	400
над суппортом	220
Число инструментов	6
Регулирование частоты вращения*	Бесступенчатое
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин*	2240
Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин*	20
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи, мм/мин*:	
продольной	10—2000
поперечной	5—1000
Наибольший шаг нарезаемой резьбы, мм*	40
Скорость быстрого перемещения, мм/мин*:	
суппорта	7500
поперечных салазок	5000
Дискретность перемещения, мм:	
продольного	0,01
поперечного	0,005
Тип датчика обратной связи*	ВТМ-11
Число координат	3
Число одновременно управляемых координат	2
Система отсчета — абсолютная и в приращениях	
Тип УЧПУ*	2Р22
Мощность электродвигателя главного движения, кВт*	11

Рассмотренный станок предназначен для выполнения в основном центровых и несложных патронных работ. Для выполнения патронных работ предназначен станок мод. 16К20Ф3С32, на котором имеется десятипозиционная поворотная резцедержка.

Токарные станки с ЧПУ модульной конструкции [103]. Эти станки являются совместной разработкой Московского станкостроительного завода “Красный пролетарий” и Германской станкостроительной фирмы *EMAG*. При их создании использован принцип модульной конструкции, т. е. они komponуются из унифицированных узлов и деталей.

На рис. 4.9 показана компоновка одношпиндельного токарного автомата с ЧПУ мод. *USC 11* [103]. На основании 1 крепятся унифицированные шпиндельная бабка 2 и продольные направляющие 3 и 4 верхнего и нижнего суппортов 5 и 6 (коорди-

Знаком * отмечены характеристики, отличающиеся от характеристик станка мод. 16К20Ф3С5.

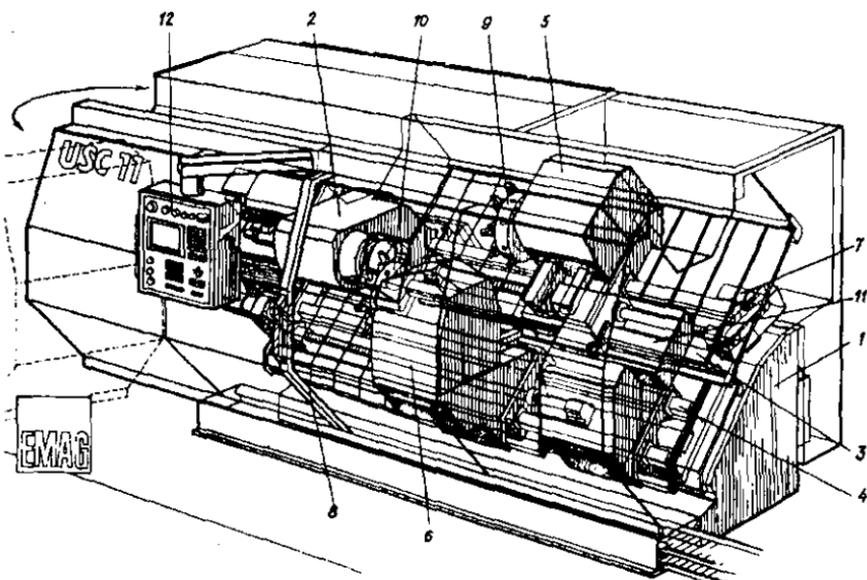


Рис. 4.9. Одношпиндельный токарный автомат с ЧПУ мод. USC 11:
 1 — основание; 2 — шпиндельная бабка; 3, 4 — продольные направляющие;
 5 — верхний суппорт; 6 — нижний суппорт; 7 — сервопривод;
 8 — телескопические ограждения; 9, 10 — револьверные головки;
 11 — задняя бабка; 12 — пульт управления

ната Z), которые перемещаются унифицированным сервоприводом 7. Продольные направляющие расположены на основании с наклоном 45° , что обеспечивает хороший сход стружки и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) с рабочей зоны. При этом направляющие предохраняются от попадания на них стружки и СОЖ системой телескопических ограждений 8. На суппортах расположены унифицированные двенадцатипозиционные револьверные головки 9 и 10, которые могут перемещаться в поперечном направлении до 250 мм (координата X). На продольных направляющих нижнего суппорта установлена унифицированная задняя бабка 11. Управление станком осуществляется с пульта 12.

Следует отметить, что основание станка изготовлено из минералита (минеральное литье) — бетона на основе эпоксидной смолы. Этот минерал имеет в 6—8 раз большую демпфирующую способность по сравнению с чугуном, что существенно повышает виброустойчивость станка. Он отличается также высокой теплостабильностью, а следовательно, и низкими температурными деформациями, влияющими на точность обработки.

Благодаря высокой жесткости продольных направляющих, большому диаметрам подшипников шпинделя и мощному приво-

ду главного движения станок обеспечивает условия для скоростной токарной обработки.

Рассмотренная компоновка станка обеспечивает хороший доступ в рабочую зону портального промышленного робота при загрузке заготовок и выгрузке обработанных деталей. Она позволяет также оснастить станок магазином инструментов для автоматической смены инструмента. Сам станок легко встраивается в гибкие производственные системы.

В станке мод. *USC 11* применяется устройство ЧПУ типа *CNC*, которое широко используется многими западными станкостроительными фирмами. Оно состоит из мини-ЭВМ, пульта управления, считывающего устройства, узла технологических команд, интерполятора, узла задания скорости, узла управления приводами подачи и других блоков, расширяющих возможности *CNC*.

В отличие от рассмотренных токарных станков с ЧПУ, в данном станке имеется полярная координата "С", обеспечивающая угловое позиционирование обрабатываемой детали с точностью 0,001 градуса. Поворот шпинделя с деталью осуществляется сервоприводом с подводимой червячной передачей. Эта координата необходима при нарезании многозаходных резьб, а также при выполнении фрезерных работ вращающимися фрезами револьверной головки. Их вращение осуществляется от сервопривода поворота револьверной головки через планетарную передачу.

Для точного определения координат режущих пластин и подналадки станка (в результате их износа) на нем предусмотрено устройство для контроля положения инструмента. Точность контроля такова, что выдерживаются допуски на обработку меньше 0,03 мм.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм	250
Число инструментов	24
Регулирование частоты вращения	Бесступенчатое
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	5000
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи, мм/мин:	
продольной 1—10000	
поперечной 1—10000	
Наибольший шаг нарезаемой резьбы, мм	50
Скорость быстрого перемещения револьверных головок в продольном и поперечном направлениях, мм/мин	15000
Длина хода револьверных головок, мм:	
в продольном направлении по оси	1100
в поперечном направлении по оси	250

Дискретность перемещения, мм	0,001
Тип привода подач	Сервопривод
Измерительная система:	
в продольном направлении	Линейный датчик
в поперечном направлении	Круговой датчик
Число координат	3
Число одновременно управляемых координат	2
Тип ЧПУ	
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	15

На базе рассмотренного токарного автомата с ЧПУ мод. *USC 11* по усмотрению заказчика могут компоноваться другие модификации станков, а именно:

- с верхним (или нижним) суппортом и задней бабкой;
- с верхним суппортом, задней бабкой и люнетом на нижних направляющих;
- с движущимися в противоположных направлениях верхним и нижним суппортами и с задней бабкой;
- с верхним и нижним суппортами (станок для выполнения патронных работ).

Многооперационный токарный станок мод. *LM70-AT[75]*. На этом станке в отличие от токарных станков с ЧПУ, кроме токарных работ, можно выполнять обработку отверстий, параллельных или перпендикулярных оси вращения шпинделя, нарезание резьб фрезой, фрезерование пазов, лысок.

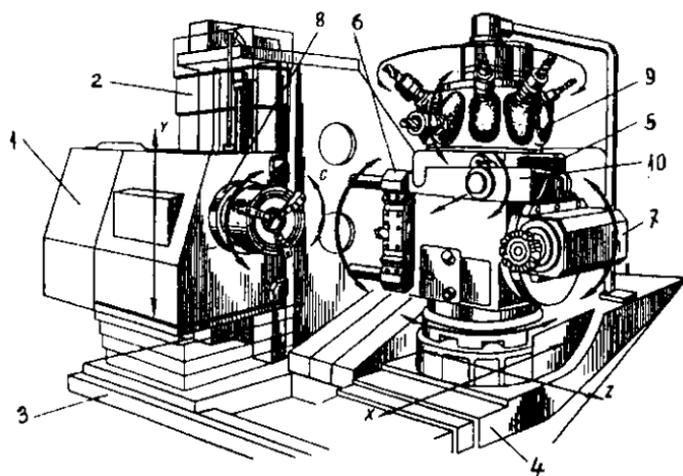


Рис. 4.10. Многооперационный токарный станок мод. *LM70-AT*:
1 — шпиндельная бабка; 2 — стойка; 3 — основание; 4 — крестовый стол;
5 — револьверный блок; 6 — револьверная головка; 7 — головка;
8 — шпиндель; 9 — магазин инструментов; 10 — манипулятор

Станок имеет следующую компоновку. Шпиндельная бабка 1 (рис. 4.10) может перемещаться по вертикальным направляющим стойки 2 (координата Y), установленной на основании 3. Это позволяет изменять положение заготовки относительно вращающегося инструмента, т. е. выполнять фрезерование. На крестовом столе 4 (координаты X, Z), установленном на основании, расположен револьверный блок 5, поворачивающийся вокруг вертикальной оси. На нем размещены револьверная головка 6 с восемью вращающимися инструментами для токарных работ и головка 7 с вращающимся шпинделем 8, используемая для сверлильных и фрезерных работ. В верхней части револьверного блока установлен магазин 9 с десятью инструментами. Эти инструменты с помощью манипулятора 10 переставляются из магазина в шпиндель 8 и обратно.

Многооперационный токарный станок "Икэгай Айрон Уоркс". Данный станок имеет аналогичные технологические возможности, что и станок мод. *LM70-AT*. Однако конструктивно он отличается тем, что шпиндель 4 (рис. 4.11) с заготовкой может перемещаться не по оси Y , а по оси Z , а ре-

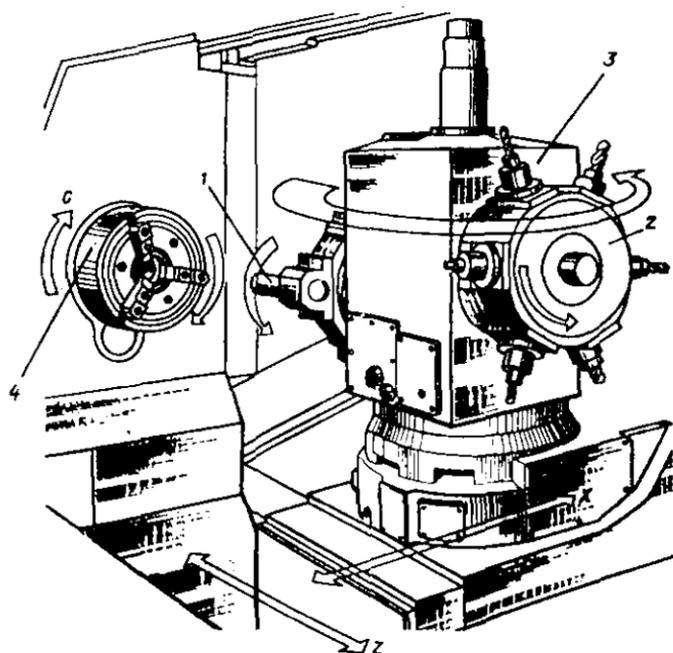


Рис. 4.11. Многооперационный токарный станок мод. "Икэгай Айрон Уоркс":

- 1 — револьверная головка с неподвижным инструментом; 2 — револьверная головка с вращающимся инструментом; 3 — револьверный блок; 4 — шпиндель

вольверный блок 3 — только по оси X вместо осей X и Z. Далее на револьверном блоке размещены две револьверные головки 1 и 2 соответственно с шестью неподвижными и шестью вращающимися инструментами.

Станок оснащен системой ЧПУ типа "Fanuc-240C".

На рис. 4.12 показана кинематическая схема станка. Привод главного движения осуществляется от асинхронного электродвигателя M_1 — переменного тока через ступенчатую коробку скоростей, обеспечивающую 18 частот вращения в пределах 63—2000 об/мин, из которых 2 частоты вращения перекрываются. Переключение скоростей осуществляется автоматически с помощью гидравлических устройств и электромагнитных муфт от системы ЧПУ. Для данного привода главного движения имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1460 \cdot \frac{200}{215} \cdot \left| \begin{array}{c} \frac{57}{72} \\ \frac{65}{65} \\ \frac{72}{72} \\ \frac{57}{57} \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} \frac{35}{105} \\ \frac{81}{59} \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} \frac{34}{85} \\ \frac{60}{60} \\ \frac{59}{59} \end{array} \right| = n_{\text{шп}}$$

$$\frac{34}{85} \cdot \frac{59}{60} \cdot \frac{34}{85} = n_{\text{шп}}$$

$$P_1 = 3 \quad P_2 = 2 \quad P_3 = (2 + 1).$$

Как видно из уравнения, коробка скоростей имеет структурную формулу $Z_n = 3 \cdot 2 (1 + 2) = 18$.

Круговая подача шпинделя при фрезеровании резб и его индексированный поворот при обработке вращающимися инструментами осуществляются от регулируемого электродвигателя M_2 . Он обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты вращения в пределах 0,003—1,75 об/мин.

Главное движение инструментов на револьверной головке осуществляется от электродвигателя M_4 с сервогидроусилителем и регулируемым осевым плунжерным гидродвигателем, обеспечивающим их частоту вращения в пределах 125—1250 об/мин. Движение передается по следующей кинематической цепи

$$\frac{23}{20} \cdot \frac{28}{26} \cdot \frac{26}{40} \cdot \frac{20}{32}$$

Подача шпинделя и револьверного блока соответственно по координатам Z и X осуществляется от регулируемых высокомоментных электродвигателей M_3 и M_5 постоянного тока через од-

нотипные редукторы $\frac{42}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{36}{36}$ и шариковые пары винт-гайка.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм	450
Максимальное перемещение, мм:	
шпинделя по оси <i>Z</i>	450
револьверного блока по оси <i>X</i>	490
Число частот вращения шпинделя (различных)	16
Пределы частот вращения шпинделя, об/мин	63—2000
Пределы частот вращения шпинделя при круговой подаче (координата <i>C</i>), об/мин	0,003—1,75
Пределы частот вращения инструментов револьверной головки, об/мин	125—1250
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи, мм/мин:	
шпинделя по оси <i>Z</i>	1,12—640
револьверного блока по оси <i>X</i>	0,01—40,95
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:	
шпинделя по оси <i>Z</i>	4800
револьверного блока по оси <i>X</i>	3600
Скорость быстрого поворота шпинделя (координата <i>C</i>), об/мин	13,3
Число инструментов на каждой револьверной головке	6
Тип УЧПУ	<i>Fanuc-240C</i>
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	11
Мощность электродвигателя револьверного блока, кВт	2,2

§ 4.4. Токарные гибкие производственные модули

Токарные гибкие производственные модули (ГПМ) предназначены для обработки тел вращения в автоматическом цикле с ограниченным участием обслуживающего персонала, т. е. в условиях, так называемой, “безлюдной технологии”. Область рационального применения ГПМ — это мелкосерийное и серийное производство с неповторяющимися партиями деталей.

На рис. 4.13 показана планировка токарного ГПМ мод. 16К20ФЗРМ132. Его составными частями являются: токарно-винторезный станок 1 с ЧПУ мод. 16К20ФЗС32; промышленный робот 2 мод. М10П.62.01; тактовый стол 3 мод. УГО103.201 (или манипулятор цепной мод. МПБЕМ9.59.03); пульт 4 ЧПУ станка; пульт 5 ЧПУ промышленного робота; электрошкаф 6 тактового стола; ограждение 7 и калитка 8.

При подготовке ГПМ к работе заготовки устанавливаются на палетах или промежуточных спутниках тактового стола 3. В дальнейшем при работе ГПМ в цикле заготовки поочередно автоматически передаются промышленным роботом 2 с тактового сто-

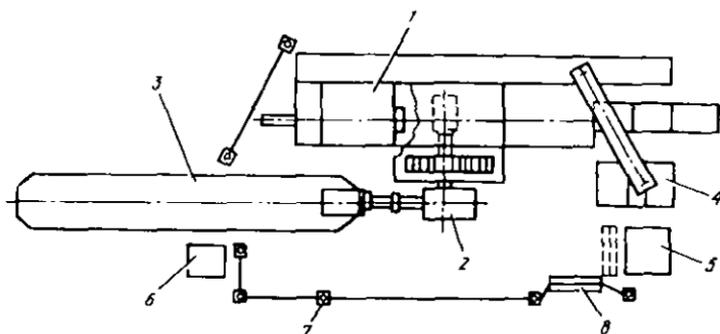


Рис. 4.13. Планировка ГПМ мод. 16К20ФЗРМ132: 1 — токарно-винторезный станок с ЧПУ мод. 16К20ФЗС32; 2 — промышленный робот мод. М10П.62.01; 3 — тактовый стол мод. УГО103.201 (или МПБЕМ9.59.03); 4 — пульт ЧПУ станка; 5 — пульт ЧПУ промышленного робота; 6 — электрошкаф тактового стола; 7 — ограждение; 8 — калитка

ла на станок 1. Обработанные детали тем же роботом передаются со станка на свободные палеты тактового стола или в тару.

Программа обработки конкретной детали вводится в УЧПУ станка с помощью клавиатуры или магнитной кассеты.

Программа перемещений руки промышленного робота для установки заготовки и снятия обработанной детали вводится в УЧПУ промышленного робота в режиме обучения и может сохраняться в его памяти. Во время обучения и наладки промышленного робота, в целях обеспечения безопасности обслуживающего персонала, скорость перемещения его исполнительных устройств не должна превышать 0,3 м/сек.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОКАРНОГО ГПМ

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:	
в центрах	220
в патроне	250
Наибольшая длина заготовки (по возможности робота), мм:	
при установке в центрах	500
при установке в патроне	160
Пределы размеров захватываемых деталей, мм:	
по наружному диаметру	20—250
по внутреннему диаметру	68—240
Номинальная грузоподъемность робота, кг:	
при установке одинарного захвата	20
при установке двойного захвата	2 × 10
Погрешность позиционирования заготовки, мм	± 0,5

Усилие захватывания, даН	81
Пределы скоростей линейного перемещения, мм/мин	0,48—30
Время захватывания и отпускания при полном ходе, не менее, сек	2
Максимальная грузоподъемность тележки тактового стола, кг	30
Размеры платформы тележки, мм	180 × 280
Число тележек тактового стола	18 (или 30)
Скорость перемещения тележек, м/мин	1,64
Рабочее давление воздуха в пневмосети, МПа	0,5—0,7
Суммарная потребляемая мощность, кВт	29

Общий вид аналогичного токарного ГПМ мод. 16К20Ф3РМ232, предназначенного для выполнения патронных работ, представлен на рис. 4.14.

Токарный ГПМ "EMAG". Этот модуль (рис. 4.15) создан на базе двухшпиндельного токарного станка 14 с ЧПУ мод. MSC12, который является совместной разработкой Московского станкостроительного завода "Красный пролетарий" и Германской станкостроительной фирмы "EMAG". Станок имеет две инструментальные восьмипозиционные револьверные головки 15, которые одновременно обрабатывают заготовку с двух сторон на соответствующих шпинделях. Можно обрабатывать также две различные заготовки.

Установку заготовки в патрон шпинделя, перестановку заготовки с одного патрона в другой и съем готовой детали осуществляет двухзахватный порталный манипулятор 1. Готовые детали он переносит в специальное лазерное устройство 2, служащее для их автоматизированного клеймения.

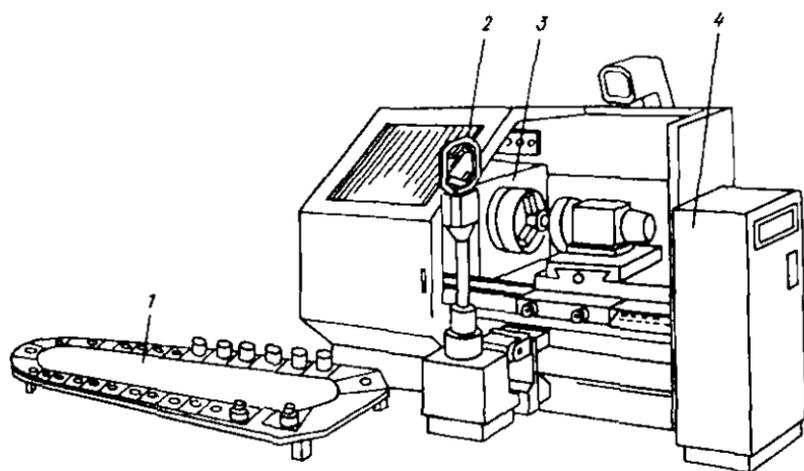


Рис. 4.14. Общий вид токарного ГПМ мод. 16К20Ф3РМ232: 1 — тактовый стол; 2 — промышленный робот; 3 — токарно-винторезный станок с ЧПУ мод. 16К20РФ3С32; 4 — пульт ЧПУ станка

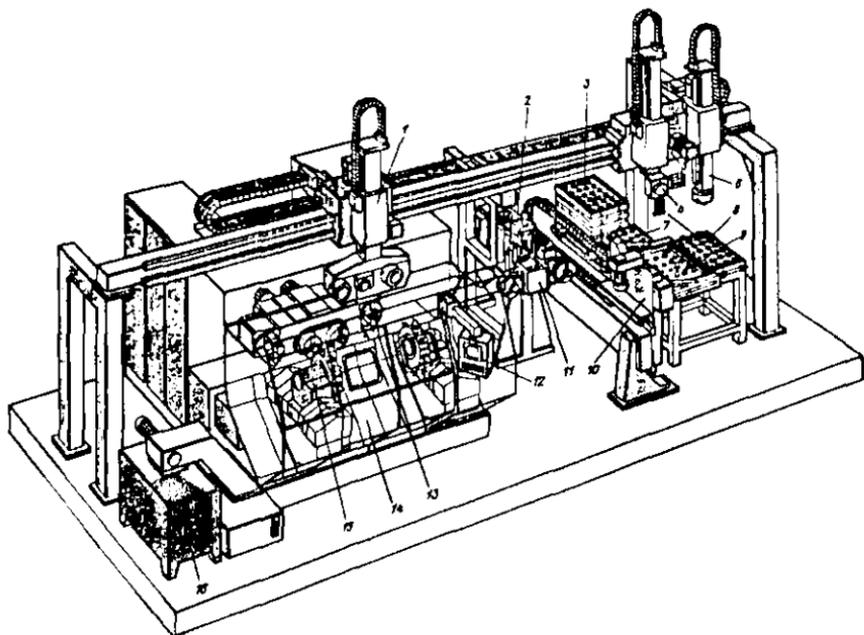


Рис. 4.15. Токарный ГПМ "EMAG" для обработки шестерен и деталей классов втулки и диски: 1 — порталный манипулятор; 2 — лазерное устройство; 3, 7, 8 и 9 — магазины (палеты) заготовок, готовых деталей и инструмента; 4 — манипулятор; 5 — тележка; 6 — манипулятор; 10 — штабелер; 11 — позиция накопления деталей; 12 — пульт управления; 13 — измерительное устройство; 14 — станок; 15 — револьверная головка; 16 — стружкоприемник

По порталу может перемещаться также тележка 5 с двумя манипуляторами 4 и 6. Манипулятор 4 имеет два схвата и служит для автоматической смены инструмента в револьверных головках, который он берет из гнезд магазина 9 (емкость магазина 32 инструмента). Другой манипулятор забирает клейменную деталь из позиции 11 и транспортирует ее в магазин (палету) 8 готовых деталей или забирает заготовки из него.

На станке предусмотрены два измерительных устройства 13, которые проверяют степень изнашивания инструментов на револьверных головках. Это осуществляется путем периодического подвода каждого инструмента к измерительному шупу, защищенному от стружки и СОЖ. В устройствах определяются установочные данные измеряемых инструментов, которые автоматически учитываются системой управления.

Модуль оснащен штабелером 10 с системой ЧПУ, который перемещает в требуемые положения магазины (палеты) с заготовками, готовыми деталями и инструментами.

Образующаяся в процессе обработки стружка при помощи транспортера подается в стружкоприемник 16.

В данном модуле применена система ЧПУ типа CNC. Управление модулем осуществляется с пульта 12.

§ 4.5. Тенденции развития токарных станков с ЧПУ и ГПМ

Анализ опыта создания токарного оборудования ведущими зарубежными фирмами и отечественными станкостроительными заводами показывает следующие тенденции его развития.

1. Дальнейшее увеличение точности обработки на токарных станках с ЧПУ и ГПМ. Практически все фирмы уже гарантируют точность диаметральных размеров в пределах $\pm 0,01$ мм, а отдельные фирмы в более жестких пределах — $\pm (0,003—0,005)$ мм. Это достигается следующим образом:

высококачественным выполнением направляющих скольжения станины и суппорта, а также использованием пары скольжения “сталь (или высококачественный чугун) — пластиковое покрытие (фторопласт, торсайт)”;

обеспечением высокой стабильности позиционирования суппорта путем применения привода с высокомоментными двигателями и линейных датчиков обратной связи;

применением в опорах шпиндельного узла ультрапрецизионных подшипников, обеспечивающих радиальное биение переднего конца шпинделя не более 1—2 мкм;

обеспечением высокой стабильности фиксации инструментальной револьверной головки путем использования высокоточных и качественных делительных устройств;

применением систем диагностики и контроля детали и инструмента в сочетании с системами автоматической коррекции положения и перемещения инструмента, а также режимов резания;

снижением дискретности перемещения до 0,001 мм и ниже.

2. Повышение производительности токарных станков с ЧПУ и ГПМ за счет:

более полного их использования по времени;

снижения времени на переналадку станков, разработку и ввод управляющих программ, что связано с применением более совершенных систем ЧПУ;

использования магазинов инструментов большой емкости, что позволяет, уменьшая стойкость инструмента, существенно повысить скорость резания;

применения многоинструментальных револьверных головок, обеспечивающих практически полную обработку деталей, что

сокращает вспомогательное время на переустановки и межоперационную транспортировку;

повышения надежности отдельных элементов и станочного оборудования в целом.

3. Применение компоновочных решений прогрессивного типа с наклонной или вертикальной станиной, расположенной за осью центров. Это позволяет оснащать станки любыми грузозачемными устройствами, обеспечить свободный доступ к инструменту и зажимному приспособлению, легкий сход стружки и ее удаление из рабочей зоны.

4. Использование приводов главного движения на базе электродвигателей постоянного или переменного тока с бесступенчатым регулированием в сочетании с автоматически переключаемыми переборными коробками скоростей, расширяющими диапазон автоматического бесступенчатого регулирования частот вращения шпинделя. Что касается приводов подач, то тенденция их развития связана с применением высокомоментных электрических двигателей и круговых или линейных датчиков (преимущественно фотоимпульсных) обратной связи. Такие привода при широком диапазоне рабочих подач обеспечивают высокую точность позиционирования и скорость быстрых перемещений более 15000 мм/мин.

5. Применение большого количества инструмента за счет использования систем со сменными магазинами, устройств для кассетной замены инструментов в магазине, дополнительных стеллажей с инструментами вне станка. Эта тенденция в сочетании с применением магазинов заготовок большой емкости обеспечивает длительную работу токарного оборудования в режиме “безлюдной” технологии.

6. Совершенствование систем ЧПУ с целью обеспечения возможности быстрого программирования в цехе, т. е. исключения промежуточного звена по разработке программ и сближения оператора с системой ЧПУ. В этом отношении необходимо отметить следующие перспективные направления совершенствования.

Во-первых, применение “метода меню” при составлении программ, суть которого заключается в том, чтобы дать оператору возможность перебора вариантов, имеющихся у него, используя для этого видеозэкран дисплея. Например, вначале выбирается желательный вариант, соответствующий номеру линии. После на экране появляется фигура, объясняющая желательный цикл и значения всех необходимых адресов.

Во-вторых, применение “метода графического отображения”, представляющего собой игру телевизионного характера на видеозэкране дисплея при моделировании процесса обработки детали. Это моделирование графического отображения предостав-

ляет оператору возможность проверить составленную программу обработки деталей и устранить геометрические и другие ошибки до того, как программа будет реализована на практике. В этом случае заготовка показывается на экране в виде яркой зоны. Процесс обточки моделируется с помощью заданных конфигураций инструментов, которые “режут” свет, двигаясь вдоль запрограммированного пути, оставляя на экране контур детали. В результате такого моделирования сокращается время программирования и исключаются дорогостоящие поломки, вследствие реализации неправильно составленной программы.

В-третьих, введение в систему управления типовых циклов, как-то: продольная и поперечная червячная обработка, нарезание резьбы, сверление глубоких отверстий, проточка канавок для выхода шлифовального круга. Это позволяет значительно снизить количество рассчитываемых координат и, тем самым, сократить время программирования.

В-четвертых, обеспечение высокоточной синхронизации скоростей различных исполнительных органов посредством электронной связи между ними, что необходимо при обработке конических, фасонных и винтовых поверхностей.

7. Использование в системах ЧПУ, так называемого, устройства параллельного программирования и редактирования. Оно дает возможность входа или перфорирования, или редактирования, или сброса программ, кроме той, которая выполняется на микропроцессоре.

8. Применение унифицированных узлов и деталей при создании токарных станков с ЧПУ и ГПМ, что позволяет сократить сроки их проектирования и изготовления.

§ 4.6. Токарно-револьверные станки

Токарно-револьверные станки предназначены для изготовления деталей сложной конфигурации из прутка или штучных заготовок в условиях серийного производства. Они отличаются от универсальных токарно-винторезных станков тем, что не имеют задней бабки и ходового винта, а имеют продольный суппорт с установленной на нем револьверной головкой, в гнездах которой закрепляется соответствующий инструмент (резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики и т. д.). Токарно-револьверные станки относятся к третьему типу и делятся на станки с горизонтальной и вертикальной осью вращения револьверной головки.

К преимуществам токарно-револьверных станков по сравнению с универсальными токарно-винторезными станками относятся:

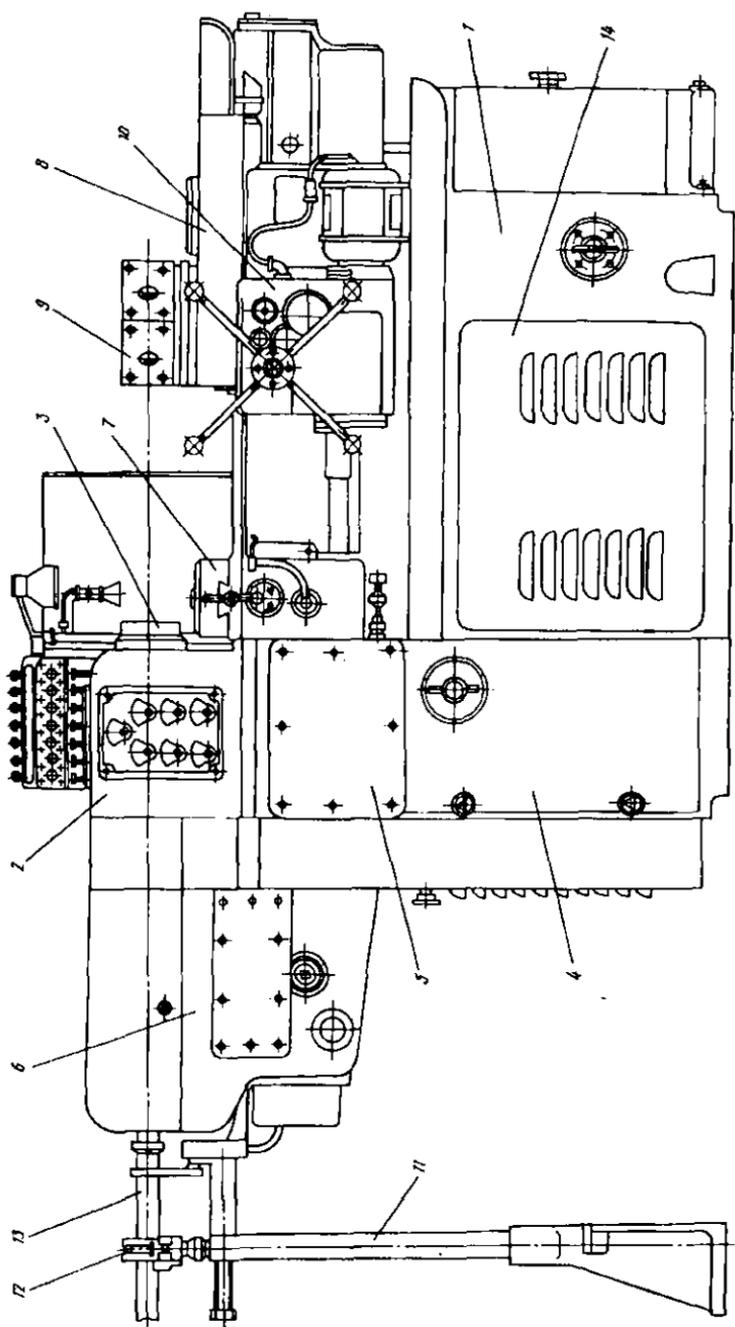


Рис. 4.16. Общий вид токарно-револьверного станка мод. IP326. 1 — станина; 2 — корпус передней бабки; 3 — шпиндельный узел; 4 — коробка скоростей; 5 — коробка подач; 6 — механизм подачи и зажима прутка; 7 — поперечный суппорт; 8 — продольный суппорт; 9 — револьверная головка; 10 — фартук; 11 — стойка; 12 — опора; 13 — направляющая труба; 14 — электрошкаф

возможность параллельной обработки поверхностей детали инструментами, установленными на револьверной головке и поперечном суппорте;

возможность применения комбинированных инструментов (многолезцовых державок, резцовых державок со сверлами и т. д.), обеспечивающих параллельную обработку поверхностей детали. Эти преимущества позволяют существенно сократить основное и вспомогательное время.

На рис. 4.16 показан общий вид токарно-револьверного станка мод. 1П326. К торцу станины 1 прикреплен корпус передней бабки 2, в котором располагаются шпиндельный узел 3, коробка скоростей 4, коробка подач 5 и механизм подачи и зажима прутка 6. По направляющим станины перемещаются поперечный суппорт 7 и продольный суппорт 8 с револьверной головкой 9, имеющей вертикальную ось вращения. В фартуке 10 продольного суппорта располагаются его механизм подачи и механизм поворота револьверной головки. Слева от станка находится стойка 11 с опорой 12 для направляющей трубы 13, через которую проходит пруток. Основное электрооборудование расположено в электрошкафу 14.

Рассмотрим схему обработки и кинематическую структуру токарно-револьверного станка мод. 1П326 (рис. 4.17). Заготовка 1, инструмент 2 поперечного суппорта 3 и инструмент 4 продольного суппорта 5 совершают простые формообразующие движения: соответственно главное движение $\Phi_v(B_1)$, движения поперечной $\Phi_s(P_3)$ и продольной $\Phi_s(P_2)$ подачи. Наряду с этим продольный суппорт совершает вспомогательное движение $B_c(P_4)$,

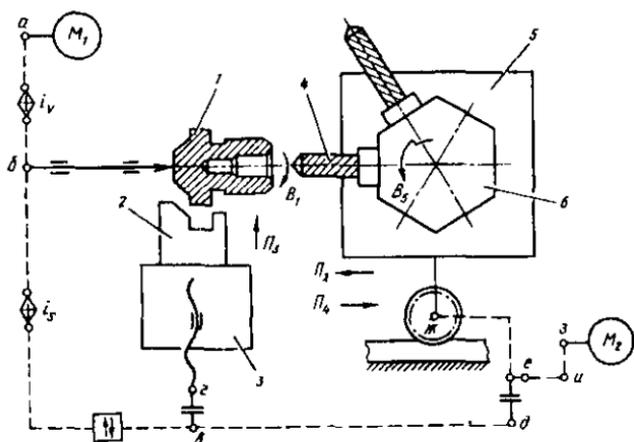


Рис. 4.17. Кинематическая структура токарно-револьверного станка мод. 1П326: 1 — заготовка; 2, 4 — инструмент; 3, 5 — поперечный и продольный суппорта; 6 — револьверная головка

т. е. быстрое перемещение. Вспомогательное движение $B_1(B_2)$ совершает и револьверная головка b , в результате которого происходит смена инструмента. Есть еще одно вспомогательное движение — это подача прутка — заготовки после отрезки детали.

Для осуществления указанных движений предусматриваются соответствующие кинематические группы, образующие кинематическую структуру станка. Формообразующие движения $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(P_2)$ и $\Phi_s(P_3)$ осуществляются простыми кинематическими группами, в которых внешняя связь обеспечивается следующими кинематическими цепями: $a-b$ с органом настройки i_v (коробка скоростей); $a-b-v-d-e-ж$ с органом настройки i_s (коробка подач) и $a-b-v-g$ с органом настройки i_s . Вспомогательное движение $B_1(P_4)$ осуществляется от источника движения M_2 кинематической цепью $z-u-e-ж$. Вспомогательное движение $B_1(B_2)$ осуществляется вручную.

При настройке кинематических цепей токарно-револьверных станков используются следующие исходные данные: материал детали и инструмента, их геометрические параметры, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Кинематическая цепь главного движения. В этой цепи конечными звеньями являются (рис. 4.18) вал электродвигателя M_1 ($N = 4,5$ кВт, $n_{эл} = 1440$ об/мин) и шпиндель с заготовкой. Необходимо обеспечить ее частоту вращения, определяемую по формуле:

$$n_i = \frac{1000 \cdot V_i}{\pi \cdot d_i},$$

где V_i — скорость резания при выполнении i -го технологического перехода*, м/мин.

В случае параллельной обработки поверхностей детали комбинированным инструментом или инструментами, установленными на револьверной головке и поперечном суппорте, частота вращения n_i определяется для лимитирующего инструмента.

В цепи главного движения органом настройки является коробка скоростей с автоматическим ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя, что достигается благодаря применению электромагнитных муфт. Включение соответствующих электромагнитных муфт в зависимости от выполняемого техно-

* Технологический переход — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, обрабатываемых обработкой.

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Технологический процесс — часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

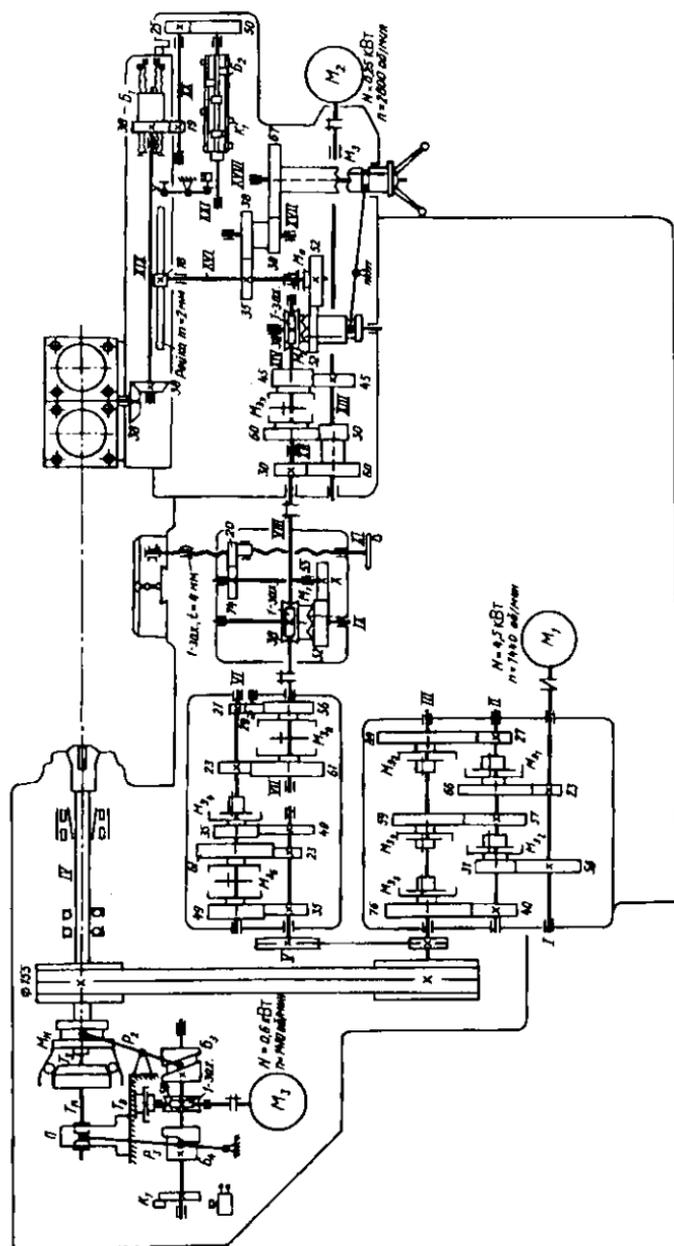


Рис. 4.18. Кинематическая схема токарно-револьверного станка мод. 1П1326

логического перехода (или переходов) осуществляется барабаном управления B_2 с кулачками K при повороте револьверной головки, с которой он связан кинематической цепью с передаточным отношением $i_n = 1$. Кулачки K воздействуют на микропереключатели в электрических цепях питания электромагнитных муфт.

Для цепи главного движения имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1440 \cdot \left| \begin{array}{c} 23 \\ 66 \\ 56 \\ 31 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 27 \\ 89 \\ 40 \\ 76 \\ 57 \\ 59 \end{array} \right| \cdot \frac{200}{155} = n_{\text{шп.}}$$

$$P_1 = 2 \quad P_2 = 3.$$

Как видно из данного уравнения, коробка скоростей обеспечивает 6 частот вращения. Ее структурная формула имеет вид $z_n = 2 \cdot 3 = 6$. Настройка такой коробки скоростей заключается в выборе соответствующих передаточных отношений групп, которые обеспечивают фактическую частоту вращения шпинделя $n_{\text{шп.}}$, отвечающую условию $n_{\text{шп.}} \leq n_r$.

Кинематическая цепь подач. Конечными звеньями кинематических цепей продольной и поперечной подач являются шпиндель с заготовкой и инструмент, установленный на револьверной головке и поперечном суппорте. В этих цепях общим органом настройки является коробка подач с автоматическим ступенчатым регулированием величины подачи, что достигается, как и в коробке скоростей, благодаря применению электромагнитных муфт. Их соответствующее включение осуществляется также барабаном управления B_2 с кулачками K .

Для рассматриваемых цепей подач имеем следующие уравнения кинематического баланса:

$$1_{\text{об.}} \cdot \frac{155}{200} \cdot \frac{28}{45} \cdot \left| \begin{array}{c} 23 \\ 61 \\ 35 \\ 49 \\ 49 \\ 35 \end{array} \right| \cdot \frac{23}{61} \begin{cases} \rightarrow \frac{1}{38} \cdot \frac{52}{52} \cdot \frac{74}{20} \cdot 4 = S_{\text{прод}} \\ \rightarrow \frac{30}{60} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{1}{38} \cdot \frac{52}{52} \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 18 = S_{\text{пр}} \end{cases}$$

$$P_1 = 3$$

При включении электромагнитной муфты $MЭ_8$ (рис. 4.18) вправо происходит реверс продольного и поперечного суппортов.

В токарно-револьверном станке мод. 1П326 величина рабочего перемещения продольного суппорта при выполнении того

или иного технологического перехода обеспечивается при помощи упоров, расположенных на барабане B_1 , который связан кинематической цепью с револьверной головкой. В конце технологического перехода соответствующий упор через рычаг воздействует на микропереключатель, в результате чего электромагнитная муфта $MЭ$ включается вправо и происходит быстрый отвод продольного суппорта при помощи электродвигателя M_2 . В дальнейшем при повороте револьверной головки на следующую позицию поворачиваются барабан упоров B_1 и барабан управления B_2 .

Механизм подачи и зажима прутка. Подача прутка осуществляется подающей цангой, установленной в ползушке $П$ (рис.4.18), а зажим — зажимной цангой $Ц$, установленной на переднем конце шпинделя. Ползушка и зажимная цанга перемещаются рычагами P_3 и P_4 , на которые воздействуют кулачки барабанов B_3 и B_4 . При выполнении цикла подачи и зажима прутка барабаны B_3 и B_4 поворачиваются на один оборот электродвигателем M_3 , после чего он отключается кулачком K_1 , воздействующим на микровыключатель.

§ 4.7. Токарно-револьверные станки с ЧПУ

Токарно-револьверные станки, хотя и более широко оснащены средствами механизации и малой автоматизации по сравнению с универсальными токарно-винторезными станками, они также требуют постоянного присутствия человека и его участия при выполнении процесса обработки деталей. Поэтому возникает необходимость в оснащении их системами ЧПУ.

На рис. 4.19 представлен общий вид токарно-револьверного станка с ЧПУ мод. 1325Ф30. Он предназначен для обработки деталей классов полые цилиндры (втулки) и диски из калиброванных прутков в автоматическом цикле и штучных заготовок в патроне — в полуавтоматическом. На нем производится обточка, расточка, подрезка, сверление, расточка канавок, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы метчиками, плашками и резцами. Соответствующий инструмент устанавливается в 16-ти позиционной револьверной головке, которая в продольном (координата Z) и поперечном (координата X) направлениях перемещается по программе.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:	
из прутка	25
в патроне	125

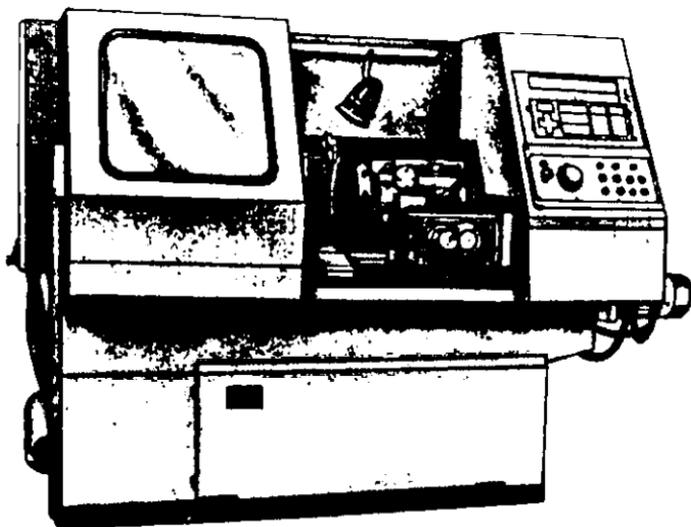


Рис. 4.19. Токарно-револьверный станок с ЧПУ мод. 1325Ф30

Наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм:	
в цанговом зажиме (из прутка)	80
в патроне	60
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин:	
при работе с цанговым зажимом	90—4000
при работе с патроном	90—2800
Пределы подачи револьверной головки, мм/мин:	
продольной	2—2500
поперечной	1—1250
Скорость быстрого перемещения револьверной головки, мм/мин:	
продольного	10000
поперечного	5000
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	5

Токарно-револьверный станок с ЧПУ мод. 1П326ДФ3 с двумя револьверными головками, установленными на крестовом столе (стол с программируемым продольным и поперечным перемещением), представлен на рис. 4.20. Он предназначен для выполнения тех же работ, что и предыдущий станок, но на заготовках большего размера. Причем инструмент нижней револьверной головки предназначен для обработки внутренних поверхностей, а верхней револьверной головки — наружных поверхностей.

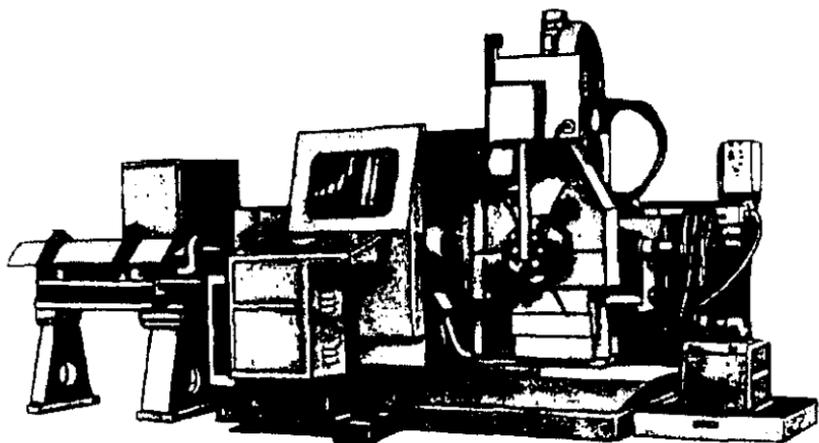


Рис. 4.20. Токарно-револьверный станок с ЧПУ мод. 1П326ДФЗ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

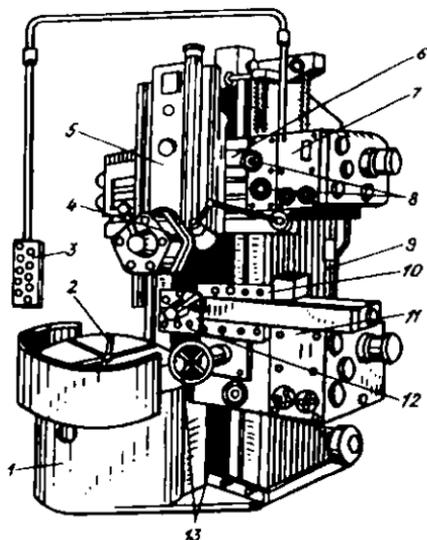
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:	
над станиной.....	500
над суппортом	250
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм	65
Наибольшая длина обрабатываемых изделий, мм	200
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	36—1800
Пределы подачи револьверных головок, мм/мин:	
продольной	2—2500
поперечной	1—1250
Скорость быстрого перемещения револьверных головок, мм/мин:	
продольного	10000
поперечного	5000
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	22

Следует отметить, что токарно-револьверные станки с ЧПУ по своему функциональному назначению и технологическим возможностям практически мало отличаются от токарно-винторезных станков с ЧПУ для патронных работ (см. например, мод. 16K20PFC32, мод. USC).

§ 4.8. Токарно-карусельные станки

На токарно-карусельных станках обрабатывают средние и крупные детали классов [9], полые цилиндры (втулки) и диски в основном в условиях индивидуального и мелкосерийного произ-

Рис. 4.21. Токарно-карусельный одностоечный станок мод. 1512:
 1 — станина; 2 — планшайба;
 3 — пульт; 4 — револьверная головка; 5 — вертикальный суппорт;
 6 — траверса; 7 — коробка подач вертикального суппорта; 8 — маховички для ручного перемещения вертикального суппорта; 9 — стойка; 10 — боковой суппорт;
 11 — коробка подач бокового суппорта; 12 — резцедержатель; 13 — маховички для ручного перемещения бокового суппорта



водства. Отличительной особенностью этих станков является горизонтальное расположение плоскости кругового стола (планшайбы), на котором закрепляется заготовка (в центре стола). Такое расположение стола значительно облегчает установку и выверку заготовки, а также позволяет разгрузить шпиндель от радиальных и изгибающих сил, что обеспечивает более высокую точность обработки и снижение нагрузки на переднюю опору шпинделя. Токарно-карусельные станки относятся к пятому типу и делятся на одно- и двухстоечные станки.

На рис. 4.21 показан токарно-карусельный одностоечный станок мод. 1512. Станина 1 жестко скреплена со стойкой 9, имеющей вертикальные направляющие, по которым могут перемещаться траверса 6 и боковой суппорт 10 с четырехместным резцедержателем 12. На круговых направляющих станины располагается планшайба 2. Коробка скоростей привода главного движения размещена внутри станины. По горизонтальным направляющим 6 траверсы может перемещаться вертикальный суппорт 5 с пятипозиционной револьверной головкой 4. Привод подач вертикального и бокового суппортов осуществляется от коробок подач 7 и 11. Для перемещения суппортов вручную используются маховички 8 и 13. Управление станком осуществляется от пульта 3.

Схема обработки и кинематическая структура рассматриваемого станка приведены на рис. 4.22. Заготовка 1, инструмент 2 бокового суппорта 3 и инструмент 4 вертикального суппорта 5 совершают простые формообразующие движения: соответственно главное движение $\Phi_v(B_1)$ и движение подач $\Phi_s(P_2)$, $\Phi_s(P_3)$ и $\Phi_s(P_4)$, $\Phi_s(P_5)$. Указанные суппорта с инструментами совершают также вспомогательные движения $V_c(P_6)$, $V_c(P_7)$ и $V_c(P_8)$, $V_c(P_9)$, т. е. быстрые переме-

щения. Кроме того, вертикальный суппорт с траверсой совершают установочное движение $B_c(\Pi_{10})$. Что касается пятипозиционной револьверной головки, то ей сообщается вспомогательное движение $B_c(B_{11})$, обеспечивающее смену инструмента. Резцедержатель бокового суппорта поворачивается вручную.

Вышеприведенные движения осуществляются при помощи соответствующих кинематических групп, образующих кинематическую структуру станка. Так, главное движение $\Phi_v(B_1)$ осуществляется простой кинематической группой, внешняя связь которой обеспечивается кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v (рис. 4.22). Движения горизонтальной $\Phi_h(\Pi_2)$ и вертикальной $\Phi_v(\Pi_3)$ подачи бокового суппорта осуществляются также простыми кинематическими группами. Их внешняя связь обеспечивается следующими кинематическими цепями с общим органом настройки $i_{свс}$: $a-b-v-z-d-e-ж$ и $a-b-v-z-z-u-k$.

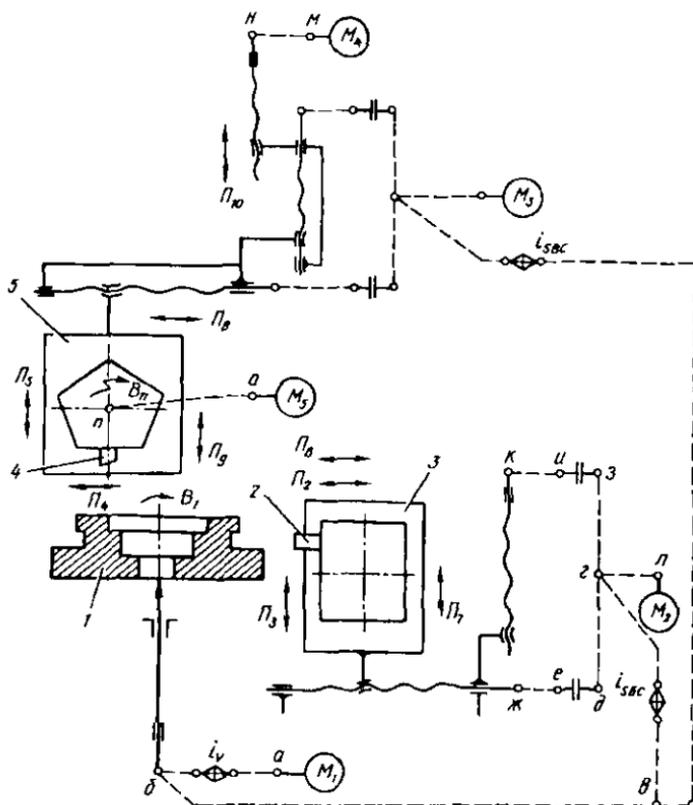


Рис. 4.22. Кинематическая структура токарно-карусельного одностоечного станка мод. 1512: 1 — заготовка; 2, 4 — инструменты; 3, 5 — боковой и вертикальный суппорта

Вспомогательные движения $B_c(\Pi_6)$ и $B_c(\Pi_7)$ этих суппортов осуществляются от источника движения M_2 и обеспечиваются кинематическими цепями $л-г-д-е-ж$ и $л-г-з-и-к$. Аналогичные кинематические группы предусмотрены и для вертикального суппорта. Кроме того, имеется кинематическая группа с источником движения M_4 , обеспечивающая установочное движение $B_c(\Pi_{10})$ траверсы. Поворот револьверной головки осуществляется кинематической группой с источником движения M_5 .

Исходными данными для настройки кинематических цепей главного движения и подач токарно-карусельных станков являются материал детали и инструмента, их геометрические параметры, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Органом настройки в цепи главного движения (рис. 4.23) является коробка скоростей ($z_n = 18$) со ступенчатым регулированием частот вращения планшайбы путем включения соответствующих электромагнитных муфт. Ее настройка заключается в выборе тех передаточных отношений групп, которые обеспечивают фактическую частоту вращения планшайбы $n_{пл}$, отвечающую условию

$$n_{пл} \leq n_p$$

где $n_i = \frac{1000 \cdot V_i}{\pi \cdot d_i}$.

В случае параллельной обработки поверхностей детали комбинированным инструментом или инструментами, установленными на вертикальном и боковом суппортах, частота вращения n_i определяется для лимитирующего инструмента.

В кинематических цепях горизонтальной и вертикальной подачи бокового или вертикального суппорта органом настройки является коробка подач ($z_p = 16$) со ступенчатым регулированием величины подачи суппортов также путем включения соответствующих электромагнитных муфт. При ее настройке выбираются те передаточные отношения групп, которые обеспечивают фактическую подачу S , отвечающую условию $S \approx S_f$. Если же обработка поверхностей детали выполняется параллельно комбинированным инструментом, то S_f определяется для лимитирующего инструмента.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Диаметр планшайбы, мм	1120
Размеры обрабатываемых заготовок, мм:	
диаметр	до 1250
высота	до 1000
Число частот вращения планшайбы	18

Пределы частоты вращения планшайбы, об/мин	5—250
Число подач суппортов	16
Пределы подачи суппортов, мм/об	0,07—12,5
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	30

Токарно-карусельные станки также, как и все универсальные станки токарной группы, требуют постоянного присутствия человека и его участия в процессе обработки деталей. Поэтому одним из основных направлений их совершенствования является применение систем ЧПУ. На рис. 4.24 показан токарно-карусельный одностоечный станок с ЧПУ мод. 1А516МФ3. Он предназначен для токарной обработки прямо- и криволинейных поверхностей, прорезки канавок, нарезания резьб, сверления, зенкерования и развертывания центральных отверстий. Эти виды обработок обеспечиваются одним вертикальным суппортом, который может перемещаться по программе в горизонтальном (координата X) и вертикальном (координата Z) направлениях. В магазине станка размещается 10 комплектов инструментов.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Диаметр планшайбы, мм	1700
Размеры обрабатываемых заготовок, мм:	
диаметр	до 1800
длина	до 1000
Регулирование частоты вращения	Бесступенчатое

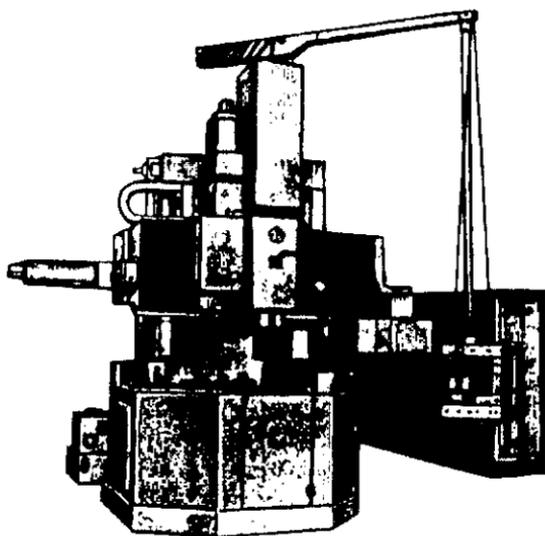


Рис. 4.24. Токарно-карусельный одностоечный станок мод. 1А516МФ3

Пределы частоты вращения планшайбы, об/мин	0,8—278
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи суппорта, мм/мин	0,05—500
Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин	5000
Дискретность перемещения, мм	0,01
Число координат	3
Число одновременно управляемых координат	2
Система отсчета	Абсолютная и в приращениях
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	55

§ 4.9. Особенности конструкции станков с ЧПУ токарной группы

При создании станочного оборудования с ЧПУ особое внимание уделяют достижению максимальной производительности, высокой точности и надежности. С решением этих задач связаны конструктивные особенности станков с ЧПУ.

Большинство конструктивных особенностей в токарных станках с ЧПУ связано с повышением фактической производительности (см. формулу 1.04) за счет снижения всех составляющих штучно-калькуляционного времени: основного, вспомогательного, подготовительно-заключительного и времени собственных простоев по техническим причинам, а также путем увеличения коэффициента выхода годных изделий.

Одним из путей повышения производительности современных токарных станков с ЧПУ, связанным с основным временем, является применение привода главного движения с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. Такой привод исключает потерю производительности, характерную для ступенчатых приводов вследствие того, что в них принятая (фактическая) частота вращения шпинделя, как правило, меньше расчетной.

Бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя достигается благодаря применению в приводе регулируемых электродвигателей постоянного или переменного тока в сочетании с автоматически переключаемыми ступенчатыми коробками скоростей: на две, три или четыре скорости. Использование последних диктуется необходимостью получения большого диапазона частоты вращения шпинделя.

На рис. 4.25 приведены кинематическая схема и характеристики привода с регулируемым электродвигателем постоянного тока в сочетании с четырехступенчатой коробкой скоростей. Этот привод обеспечивает три диапазона частот вращения шпинделя в пределах 0,3—1250 об/мин ($R_n = 198$). Чтобы сократить прова-

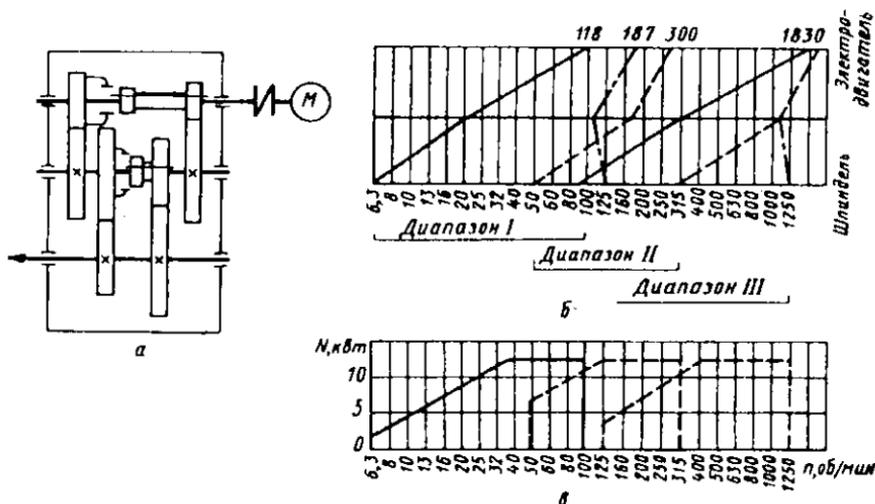


Рис. 4.25. Привод главного движения с бесступенчатым регулированием частот вращения шпинделя: а — кинематическая схема; б — график частот вращения; в — график мощности на шпинделе

лы мощности при регулировании скорости электродвигателя с постоянным моментом, передаточные отношения зубчатых передач подобраны так, что диапазоны частот вращения перекрывают друг друга. В результате в наиболее употребляемом пределе частот вращения шпинделя (32—1250 об/мин) мощность электродвигателя остается практически постоянной.

Переключение шестерен в ступенчатых коробках скоростей производится автоматически при помощи гидrocилиндров или электромагнитных муфт.

Вторая конструктивная особенность токарных станков с ЧПУ связана непосредственно с уменьшением основного времени путем увеличения скорости резания. Она заключается в оснащении станков магазинами инструментов в виде многоместных револьверных головок (или резцедержек) в сочетании с дополнительными магазинами большой емкости и устройствами автоматической замены износившегося инструмента. При таком инструментальном обеспечении появляется возможность увеличения скорости резания за счет снижения стойкости инструмента.

В качестве примера на рис. 4.26 показана унифицированная револьверная головка фирмы "Diplomatik" (Испания), имеющая четыре позиции с вращающимся инструментом (сверлами, зенкерами, развертками, фрезами) и восемь позиций — с резцами. Она является автономным узлом, в котором предусмотрены ме-

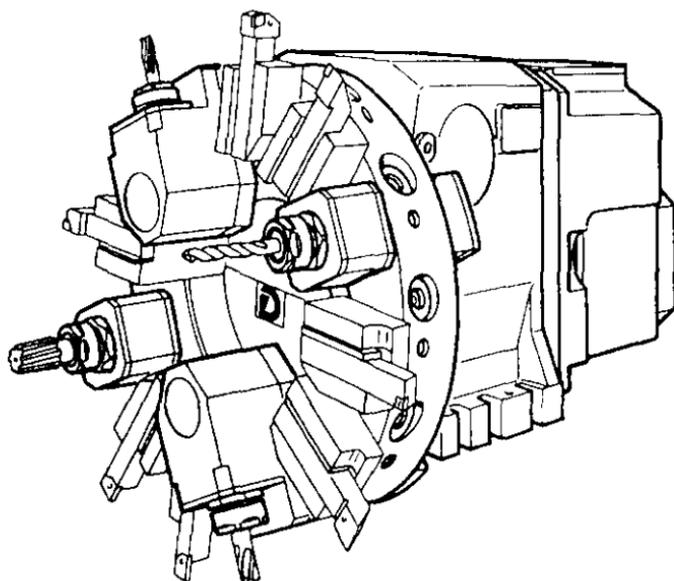


Рис. 4.26. Револьверная головка фирмы "Duplomatik" (Испания)

ханизмы поворота и фиксации головки, а также привод для вращения инструмента в рабочей позиции.

Из конструктивных особенностей, связанных с уменьшением вспомогательного времени, следует отметить особенности привода подач, который работает в сложных условиях. Он должен обеспечить не только минимальные скорости рабочего движения 1—5 мм/мин, но и такую скорость быстрых перемещений, которая позволила бы существенно сократить время холостых перемещений инструмента. Данная скорость должна

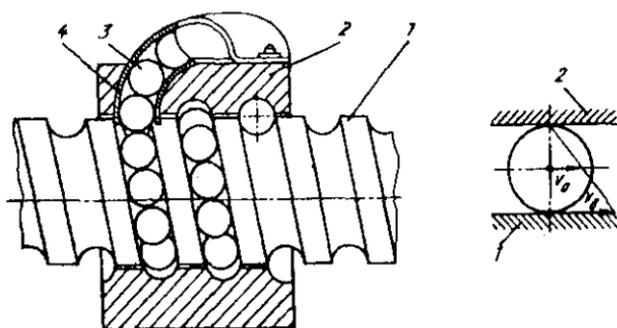


Рис. 4.27. Схема передачи винт-гайка качения: 1 — винт; 2 — гайка; 3 — шарики; 4 — канал возврата шариков; b — кинематическое соотношение скоростей; V_0 — скорость винта; V_0' — скорость центров шариков

достигать 15000 мм/мин и больших значений при участке разгона, не превышающем 10 мм. Этим условиям работы в наибольшей мере отвечает привод подачи с высокомоментным электродвигателем, соединенным непосредственно с передачей винт-гайка качения, преобразующей вращательное движение в поступательное прямолинейное перемещение.

Схема передачи винт-гайка качения показана на рис. 4.27. Она состоит из винта 1 и гайки 2, между которыми в винтовых канавках расположен комплект шариков 3. Циркуляция шариков обеспечивается благодаря каналу 4, соединяющему первый и последний витки гайки.

Передача винт-гайка качения имеет ряд преимуществ по сравнению с передачей винт-гайка скольжения, применяемой в универсальных токарных станках:

1) высокий КПД $\eta = 0,90 \dots 0,95$, вследствие низких потерь мощности на трение качения (вместо $\eta = 0,20 \dots 0,40$ для передачи винт-гайка скольжения);

2) возможность не только устранения зазора в передаче, но и создания натяга, в целях обеспечения высокой жесткости и точности перемещения;

3) устойчивость перемещения при малых скоростях благодаря высокой жесткости передачи и практически полной независимости силы трения от скорости;

4) высокая износостойкость, а следовательно, длительное сохранение точности;

5) небольшие температурные деформации, вследствие незначительного выделения тепла при трении качения.

Из недостатков передачи винт-гайка качения следует отметить отсутствие самоторможения, сложность изготовления, несколько пониженное демпфирование и необходимость надежной защиты от пыли и стружки.

На рис. 4.28 показан привод подач токарного станка с ЧПУ. Данный привод включает передачу винт-гайка качения 4 и 5, соединенную с высокомоментным электродвигателем 1 при помощи муфты (сильфона) 3, обладающей высокой жесткостью и обеспечивающей беззазорное соединение. Для защиты передачи от пыли и стружки используется гармошка 7. Натяг в передаче создается путем поворота двух половинок гайки относительно друг друга и их фиксации посредством зубьев, расположенных на их торцах.

Варианты конструкций передачи винт-гайка качения и методика ее расчета приводятся в работе [32].

С уменьшением вспомогательного времени связана и выше-рассмотренная конструктивная особенность — это оснащение станков с ЧПУ магазинами инструментов. Благодаря высокому быстродействию устройств существенно сокращается время на

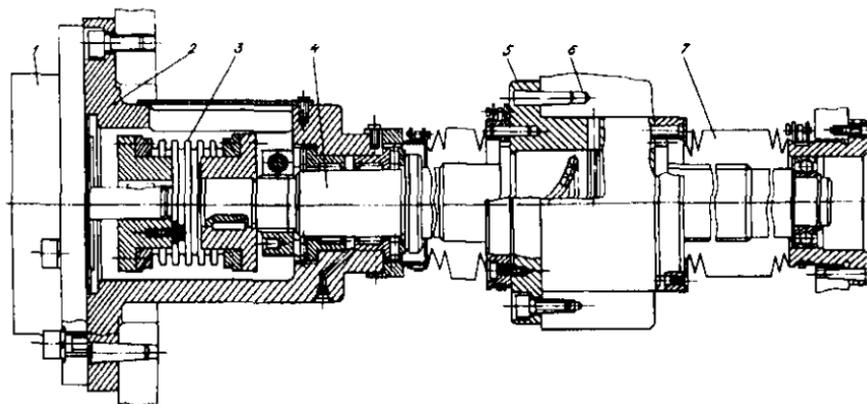


Рис. 4.28. Привод подачи токарного станка с ЧПУ: 1 — высокомоментный электродвигатель; 2 — кронштейн; 3 — соединительная муфта (сильфон); 4 — винт; 5 — гайка с шариками; 6 — суппорт; 7 — защитная гармошка

смену инструментов. Кроме того, при большой емкости магазинов появилась возможность практически полной обработки детали на одном станке, что позволяет исключить время на переустановку детали и сократить время межоперационной транспортировки.

Одним из эффективных направлений повышения производительности станков с ЧПУ является сокращение времени собственных простоев по техническим причинам. Это достигается путем оснащения станков с ЧПУ различными автоматизированными устройствами, обеспечивающими их техническое обслуживание: уборку стружки, смену отработавшего инструмента, смазку трущихся поверхностей.

Уборка стружки является важной и в то же время сложной задачей. Нужно не только убрать стружку, но и очистить ее от СОЖ и других отходов. В станках с ЧПУ для уборки стружки применяют различные конвейеры [66]: ленточные со стальной или прорезиненной лентой, скребковые, ершовые, вибрационные, шнековые (рис. 4.29).

Ленточные конвейеры (рис. 4.29а) обладают высокой производительностью и возможностью транспортировки стружки на большие расстояния. Они просты по конструкции, бесшумны и экономичны в работе. Недостатками этих конвейеров являются быстрый износ ленты и потеря части стружки, захватываемой холостой ветвью ленты.

Скребокковые конвейеры (рис. 4.29б, в) применяются в основном для транспортирования мелкой (чугунной, бронзовой и др.) стружки. Эти конвейеры бывают двух исполнений: в виде бесконечной ленты 1 со скребками (рис. 4.29б) или штанги 2 со

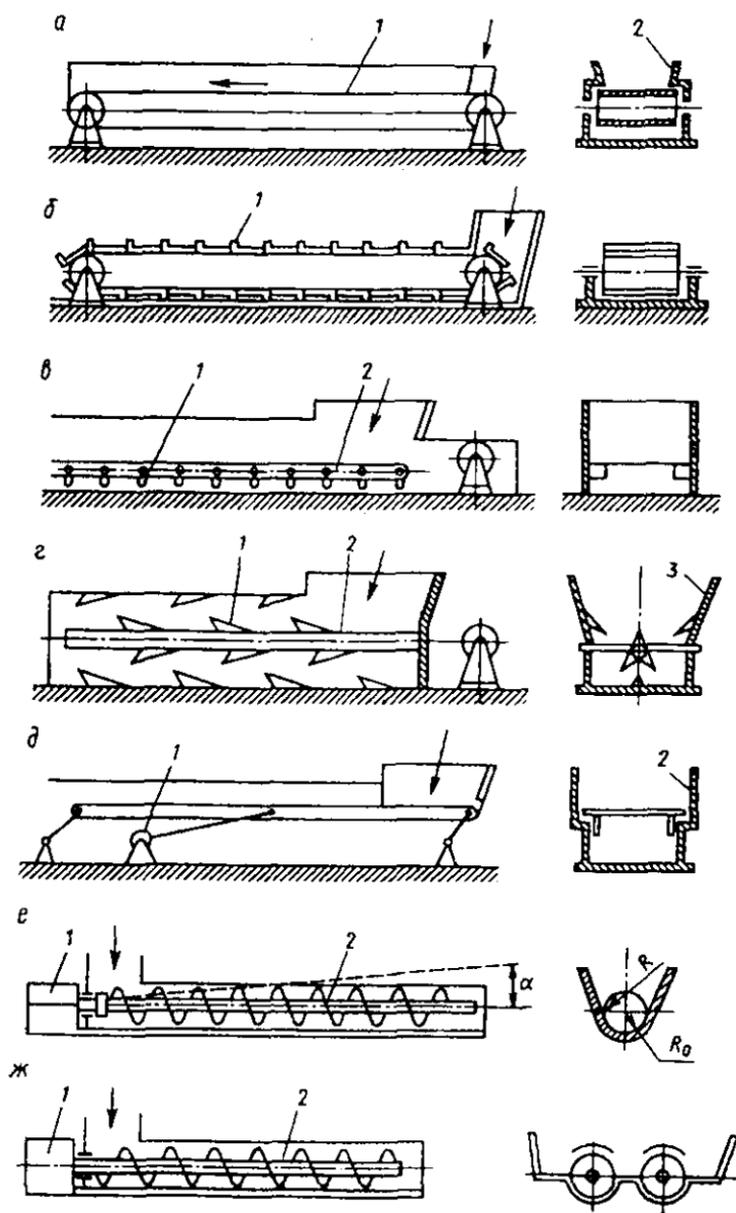


Рис. 4.29. Схемы конвейеров для уборки стружки на станках с ЧПУ:
 а — ленточный; б и в — скребковые; г — ершовый; д — вибрационный;
 е и ж — шнековые конвейеры

скребками 1, совершающими возвратно-поступательное перемещение (рис. 4.29а). Такие конвейеры могут транспортировать стружку под значительным углом наклона.

Ершовые конвейеры (рис. 4.29б) состоят из металлического желоба 3 с приваренными шипами и штанги 2 с ершами 1, которая совершает возвратно-поступательное движение. При ходе штанги вперед ерши проталкивают стружку, а при ее ходе назад они проскальзывают по стружке. Такие конвейеры наиболее целесообразно применять для транспортировки витой или сливной стружки.

В вибрационных конвейерах (рис. 4.29в) транспортировка витой или мелкой стружки осуществляется лотком 3, совершающим вибрационное движение при помощи вибропривода 1 механического или электромагнитного типа. В этих конвейерах угол подъема стружки небольшой.

Шнековые конвейеры (рис. 4.29г, ж) предназначены для транспортировки стружки любого вида при помощи шнека 2, расположенного в металлическом желобе 1. Они могут быть одно- (рис. 4.29г) и двухшнековыми (рис. 4.29ж).

Конструктивные особенности токарных станков с ЧПУ связаны и с повышением коэффициента η_r выхода годных деталей, влияющего на техническую и фактическую производительности (см. § 1.1). Эти особенности заключаются в оснащении станков измерительными устройствами контроля износа инструмента и размеров деталей, а также системами автоматической коррекции положения и перемещения инструмента (подробное описание перечисленных устройств приводится в § 10.5). Данные конструктивные особенности связаны также с обеспечением высокой точности обработки.

С повышением и длительным сохранением точности станков с ЧПУ связан еще ряд конструктивных особенностей:

- 1) применение в приводах подач высокомоментных двигателей в сочетании с передачами винт-гайка качения (о них говорилось выше в связи с сокращением вспомогательного времени);
- 2) использование линейных датчиков обратной связи;
- 3) применение в опорах шпиндельного узла прецизионных и ультрапрецизионных подшипников, обеспечивающих радиальное биение переднего конца шпинделя 4—5 мм и менее;
- 4) применение высококачественных направляющих скольжения в сочетании с их защитой от попадания стружки и СОЖ.

Надежная защита направляющих станков с ЧПУ осуществляется [38] при помощи телескопических щитков, гармоник, лент и т. п. На рис. 4.30 показаны телескопические щитки. Они состоят из двух крайних щитков 1, прикрепляемых к подвижному и неподвижному узлам, и нескольких промежуточных щитков, количество которых зависит от величины хода подвижного узла.

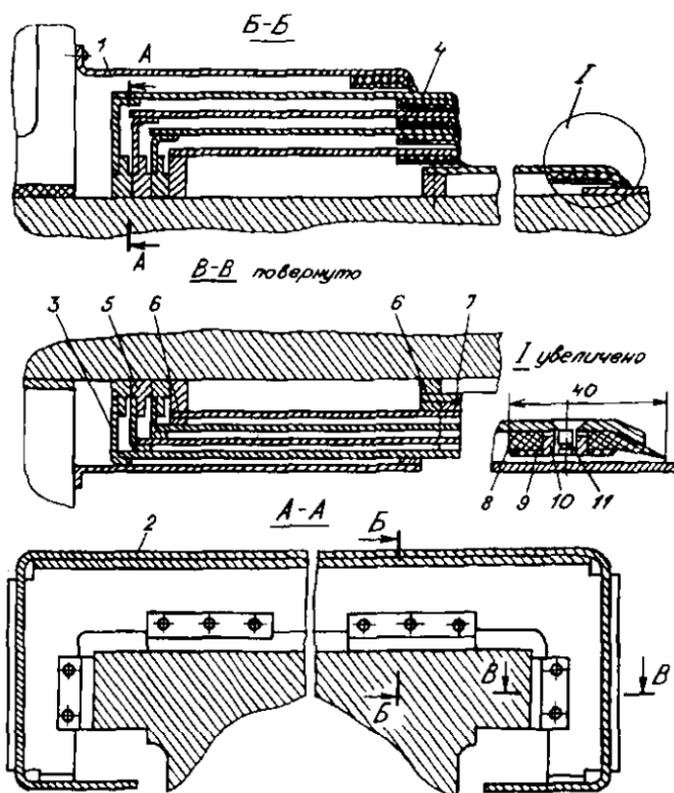


Рис. 4.30. Телескопические щитки: 1 — крайний щиток; 2 — основная часть щитка; 3 — ребро жесткости; 4 — уплотнение; 5 — опорный сухарь; 6 — упорная планка; 7 — компенсационная планка; 8 — уплотняющий элемент; 9 — прижимная планка; 10 — гайка; 11 — винт

В задней части промежуточные щитки центрируются при помощи бронзовых сухарей 5, опирающихся на направляющие или планку станины. В передней части щитки подгоняют друг к другу по боковым сторонам с помощью планок 7, соблюдая зазор не более 0,4...0,6 мм. Герметичность телескопических щитков обеспечивается уплотнениями, которые прикрепляются к передней кромке; лабиринтом, образуемым планками 6 и 7, а также за счет отгиба нижней части боковой стенки.

Телескопические щитки применяются в основном в средних и тяжелых станках.

Защитное устройство в виде гармоникообразного меха представлено на рис. 4.31. Оно применяется в станках, в которых на мех попадает небольшое количество СОЖ, а также отсутствует острая и горячая стружка. Это — шлифовальные, заточные, зу-

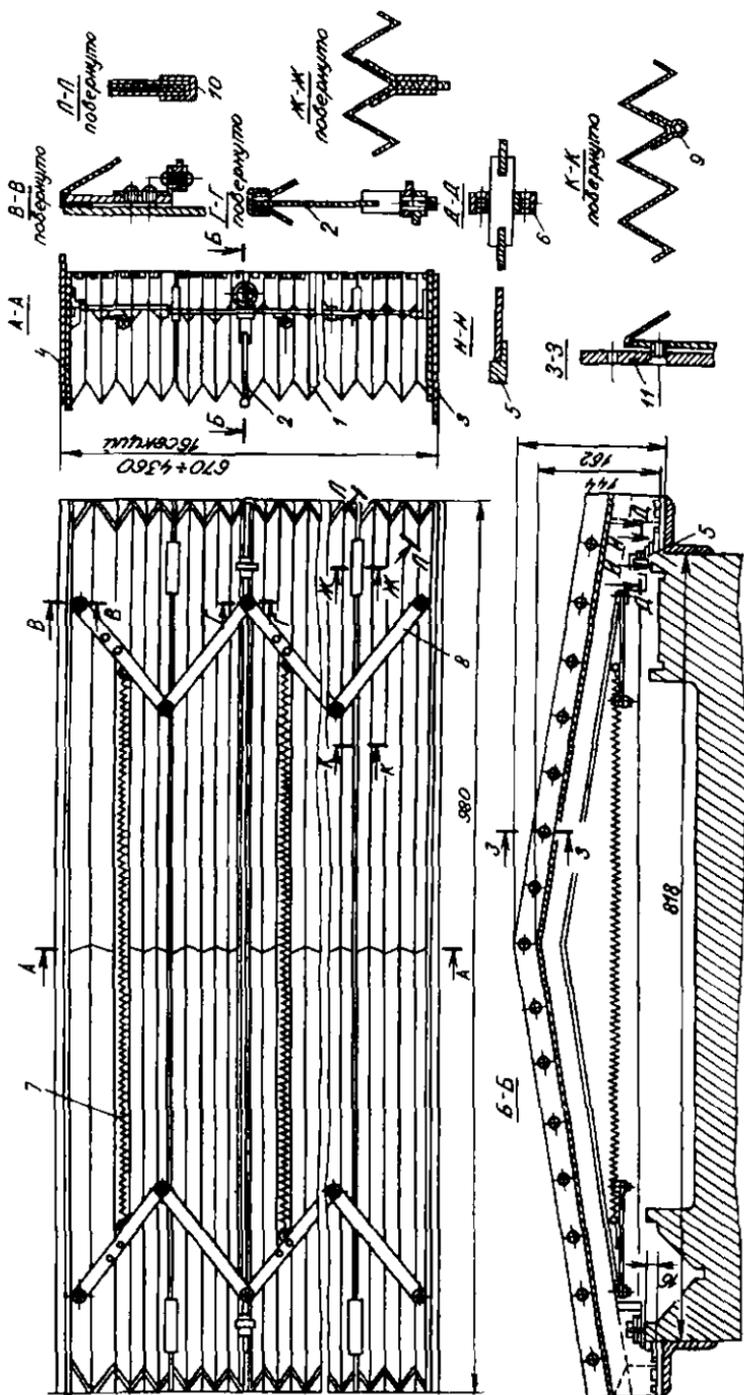


Рис. 4.31. Гармоникообразный мех для защиты направляющих: 1 — упругая часть; 2 — элемент жесткости; 3 и 4 — крепежные пластины; 5 — центрирующий сухой; 6 — опорный элемент (подшипник); 7 и 8 — пружинно-рычажный механизм; 9 — кардасный элемент; 10 — латунная планка; 11 — уплотнение

бообрабатывающие и др. станки. При помощи подобных устройств осуществляется защита передач винт-гайка качения.

Указанное устройство состоит из меха *1*, пластин *3* и *4*, посредством которых мех присоединяется к подвижному и неподвижному узлам, пружинно-рычажного механизма *7* и *8*, элементов *2* жесткости с опорными элементами *6* (подшипниками), исключая провисание меха, центрирующих сухарей *5* и каркасных элементов *9*, предохраняющих мех от выпучивания.

Одно из важнейших требований к гармоникообразным мехам — обеспечение долговечности. Это достигается изготовлением меха с наклонными поверхностями (см. сечение Б-Б рис. 4.31) для частичного удаления отходов, а также путем выбора соответствующего материала меха (тирилен, неопрен, найритовые латексы). Весьма долговечны меха из кожи (хромового дубления), но они отличаются высокой стоимостью и нетехнологичностью.

Схемы защитных устройств с лентой приведены на рис. 4.32. Для них возможны следующие исполнения:

1) лента *1* закрепляется у торцев станины (рис. 4.32а) и проходит внутри подвижного узла (например, стола или суппорта), где она натягивается при помощи подпружиненного ролика *2*;

2) лента *1* закрепляется у торцев подвижного узла (рис. 4.32б), огибает ролики *2*, расположенные на торцах станины, и натягивается пружинным устройством *4*;

3) две ленты *1* прикреплены к торцам подвижного узла (рис. 4.32в), огибают ролики *2*, расположенные на торцах станины, и натягиваются при помощи грузов *3*;

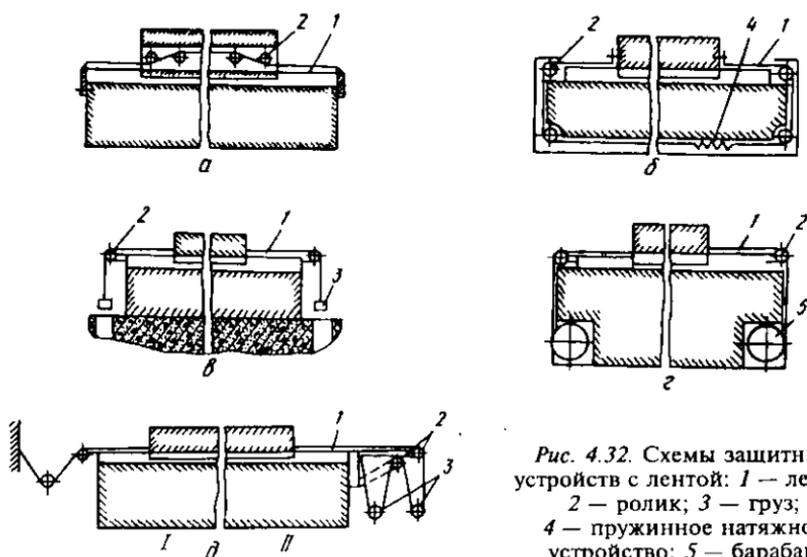


Рис. 4.32. Схемы защитных устройств с лентой: *1* — лента; *2* — ролик; *3* — груз; *4* — пружинное натяжное устройство; *5* — барабан

4) две ленты 1 прикреплены к торцам подвижного узла (рис. 4.32з), обгибают ролики 2, расположенные на торце станины, и натягиваются посредством барабанов 5, находящихся под станиной;

5) две ленты одним концом прикреплены к торцам подвижного узла (рис. 4.32д), а другим — к внешней дополнительной опоре (исполнение I) или к станине (исполнение II) и натягиваются при помощи грузов 3.

Защитная лента может изготавливаться из полихлорвинила, хлопчатобумажных тканей, облицованных резиной, нейлона, покрытого неопреном, стальной пружинной ленты и т. д. Высокой долговечностью, стойкостью против горячей стружки и СОЖ обладает стальная пружинная лента и лента, облицованная с двух сторон полиамидом С-6 [38].

Герметичность защитных устройств с лентой обеспечивается либо прижимом краев ленты к защищаемой поверхности в результате ее продольного натяжения, либо при помощи утолщения на торцах ленты, проходящих в специальных пазах.

Рассмотренные защитные устройства с лентой находят широкое применение в токарных станках с ЧПУ.

Следует отметить конструктивную особенность станины современных токарных станков с ЧПУ. Она заключается в наклонном расположении направляющих суппорта, что обеспечивает хороший сход стружки и СОЖ с рабочей зоны и защитных устройств направляющих, а также удобство обслуживания станка. Есть еще одна конструктивная особенность многооперационных токарных станков, связанная с расширением их технологических возможностей. Здесь имеется ввиду выполнение операций фрезерования поверхностей параллельных оси детали, а также сверления отверстий, ось которых не совпадает с осью детали. Для этой цели станки оснащают револьверными головками с вращающимися инструментами и полярной координатой "С", обеспечивающей угловое позиционирование обрабатываемой детали (см. токарные многопозиционные станки мод. *LM70-AT*, "Икэгай Айрон Уоркс" и *USC11*).

В последнее время при создании станков с ЧПУ все большее применение находит принцип модульной конструкции [1,4], т. е. принцип их агрегатирования из унифицированных узлов и деталей (см., например, токарные станки с ЧПУ мод. *USC11*, *MSC12* и др.). Данная конструктивная особенность позволяет:

- сократить сроки проектирования и изготовления станков с ЧПУ;
- уменьшить номенклатуру комплектующих узлов;

- снизить стоимость станков путем организации специализированного производства унифицированных узлов с применением типовых технологических процессов;

- упростить эксплуатацию и ремонт станков, повысить их надежность и долговечность.

ТОКАРНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

Проблема токарной обработки в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного современного производства решается на станках с ЧПУ токарной группы (см. §§ 4.3, 4.4, 4.5 и 4.7). Что касается крупносерийного и массового производства, то здесь широкое применение находят универсальные и специальные токарные автоматы и полуавтоматы с системами управления с распределительными валами [25, 42, 116, 121].

Схема простейшей системы управления с распределительным валом приведена на рис. 5.1. Здесь исполнительный орган 1 совершает автоматические рабочие и холостые движения при помощи вращающегося кулачка 3, который воздействует на него через шток 2. За один оборот кулачка исполнительный орган совершает все необходимые рабочие и холостые перемещения.

В токарных автоматах и полуавтоматах применяются сложные распределительные валы с дисковыми и барабанными кулачками. Переналадка таких систем управления заключается в смене кулачков, а также в выполнении соответствующих регулировок.

§ 5.1. Определения и классификация

Согласно определению профессора Г. А. Шаумяна [121] полуавтоматом называется технологическая машина, работающая с автоматическим циклом, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Оно заключается в основном в установке заготовки, съеме обработанной детали и пуске машины, т. е. часть вспомогательных операций рабочего цикла выполняется вручную.

Автоматом называется рабочая машина, или система машин, которая при осуществлении технологического процесса

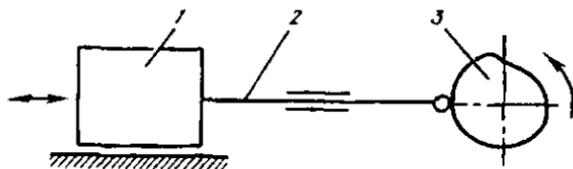


Рис. 5.1. Схема простейшей системы управления с распределительным валом:
1 — исполнительный орган; 2 — шток; 3 — кулачок

производит все рабочие и все холостые движения цикла обработки и нуждается лишь в контроле и наладке.

Рабочий цикл — это интервал времени между двумя одноименными технологическими операциями при бесперебойной работе станка [25]:

$$T_u = t_o + \Sigma t_v, \quad (5.1)$$

где t_o — время рабочих ходов или основное время; Σt_v — время холостых ходов или вспомогательное время.

Токарные автоматы и полуавтоматы классифицируются по следующим признакам: универсальности, расположению шпинделей, количеству шпинделей, виду обрабатываемой заготовки, способу обработки и способу управления рабочим циклом.

По универсальности токарные автоматы и полуавтоматы подразделяются на универсальные и специальные. Первые предназначены для обработки определенной группы деталей сложной формы путем соответствующей переналадки (смены кулачков, регулировок и т. п.), а вторые — для обработки только одного типа деталей. Для переналадки специальных автоматов и полуавтоматов требуется переделка или замена основных узлов.

По расположению шпинделей токарные автоматы и полуавтоматы могут быть горизонтальными или вертикальными.

По количеству шпинделей автоматы и полуавтоматы подразделяются на одно- и многошпиндельные (четырёх-, шести и восьмишпиндельные).

По виду обрабатываемой заготовки токарные автоматы и полуавтоматы могут быть прутковыми (заготовка из прутка) или патронными (штучная заготовка). Патронные станки оснащают бункерными или магазинными загрузочными устройствами, если штучная заготовка удобна для ориентации и автоматической загрузки.

По способу обработки автоматы и полуавтоматы подразделяются на фасонно-отрезные, продольного точения, токарно-револьверные, многолезцовые и копировальные.

По способу управления рабочим циклом согласно классификации профессора Г. А. Шаумяна [121] токарные автоматы и полуавтоматы делятся на три группы. Система управления автоматов первой группы имеет один распределительный вал, который в течение всего рабочего цикла вращается с постоянной малой скоростью, определяемой из условия выполнения рабочих ходов. Принципиальная схема таких автоматов показана на рис. 5.2а. В рабочем цикле этих автоматов доля вспомогательного времени значительна.

Цикловая производительность автоматов первой группы определяется по следующей формуле [121]:

$$Q_{\text{ш}} = K \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) = K \cdot \eta_1, \quad (5.2)$$

где $K = 1/t_0$ — технологическая производительность; β_1 — угол несовмещенных холостых ходов; η_1 — коэффициент производительности (постоянная величина).

В автоматах и полуавтоматах второй группы система управления имеет также один распределительный вал, но он в течение рабочего цикла вращается с двумя скоростями (рис. 5.2б): с малой скоростью — при выполнении рабочих ходов и с большой скоростью — при выполнении холостых ходов. Это позволяет существенно сократить долю вспомогательного времени в рабочем цикле. В данном случае цикловая производительность определяется по формуле:

$$Q_{\text{шт}} = K \cdot \frac{1}{1 + K \cdot \sum t_{\text{мл}}} = K \cdot \eta_{\text{II}}, \quad (5.3)$$

где $\sum t_{\text{мл}}$ — время холостых ходов; η_{II} — коэффициент производительности (переменная величина, зависящая от технологической производительности K).

Система управления автоматов третьей группы имеет два кулачковых вала (рис. 5.2в):

1) распределительный вал, предназначенный для выполнения рабочих и части холостых ходов (быстрый отвод и подвод суппортов), который в течение рабочего цикла вращается с постоянной малой скоростью, определяемой по рабочим ходам;

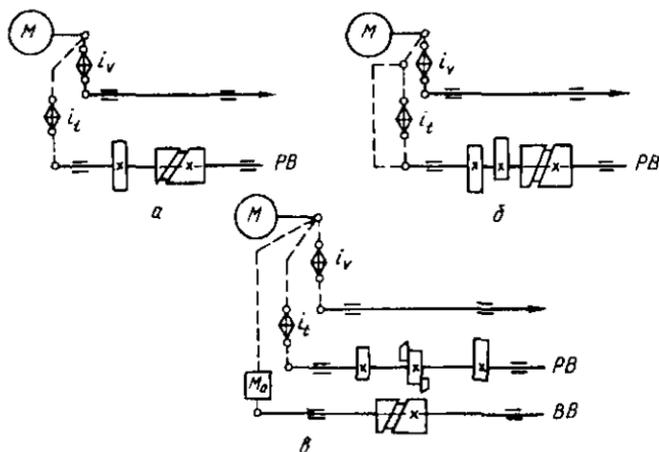


Рис. 5.2. Принципиальные схемы автоматов: а — первой группы; б — второй группы; в — третьей группы; PV — распределительный вал; BV — вспомогательный вал; M_n — n -оборотная муфта

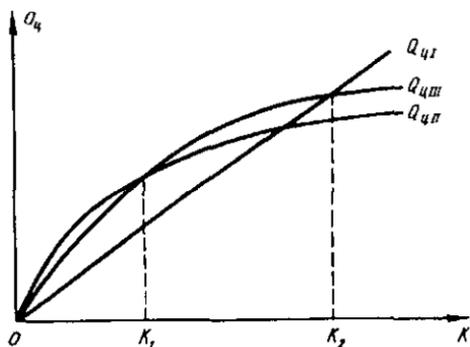


Рис. 5.3. Кривые цикловой производительности автоматов первой, второй и третьей групп

2) быстровращающийся вспомогательный вал, осуществляющий значительную часть холостых ходов, например, переключение револьверной головки, подачу и зажим материала.

Эта система управления также сокращает долю вспомогательного времени. Для автоматов третьей группы цикловая производительность равна

$$Q_{\text{цIII}} = K \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) \cdot \frac{1}{1 + K \cdot \sum t_{\text{III}}} = K \cdot \eta_I \eta_{\text{II}} \quad (5.4)$$

Кривые цикловой производительности рассмотренных групп автоматов в зависимости от технологической производительности K , а следовательно, и сложности деталей приведены на рис. 5.3. Они показывают области их эффективного применения. Так, при $0 < K < K_1$, что имеет место при больших значениях t_0 , т. е. при обработке сложных деталей, наибольшую цикловую производительность имеют автоматы второй группы. При обработке деталей средней сложности ($K_1 \leq K < K_2$) наибольшая цикловая производительность соответствует автоматам третьей группы, а при обработке простых деталей ($K \geq K_2$) — автоматам первой группы.

§ 5.2. Фасонно-отрезные автоматы

Фасонно-отрезные автоматы предназначены для фасонной обработки очень мелких простых деталей (рис. 5.4а), для которых рабочий цикл получается небольшим. Поэтому для обеспечения длительной работы автоматов от загрузки до загрузки в качестве заготовки используется калиброванная проволока, свернутая в бунт. Такой вид заготовки определенным образом сказывается на схеме обработки (рис. 5.4б) [42]. Здесь каждый из двух резцов, установленных в резцовой головке Z , совершает два простых формообразующих движения: $\Phi_p(B_1)$ — главное движение и $\Phi_s(P_2)$ — движение радиальной подачи.* Один из резцов осуще-

* Для некоторых элементарных поверхностей это движение будет движением врезания $B_p(P_2)$.

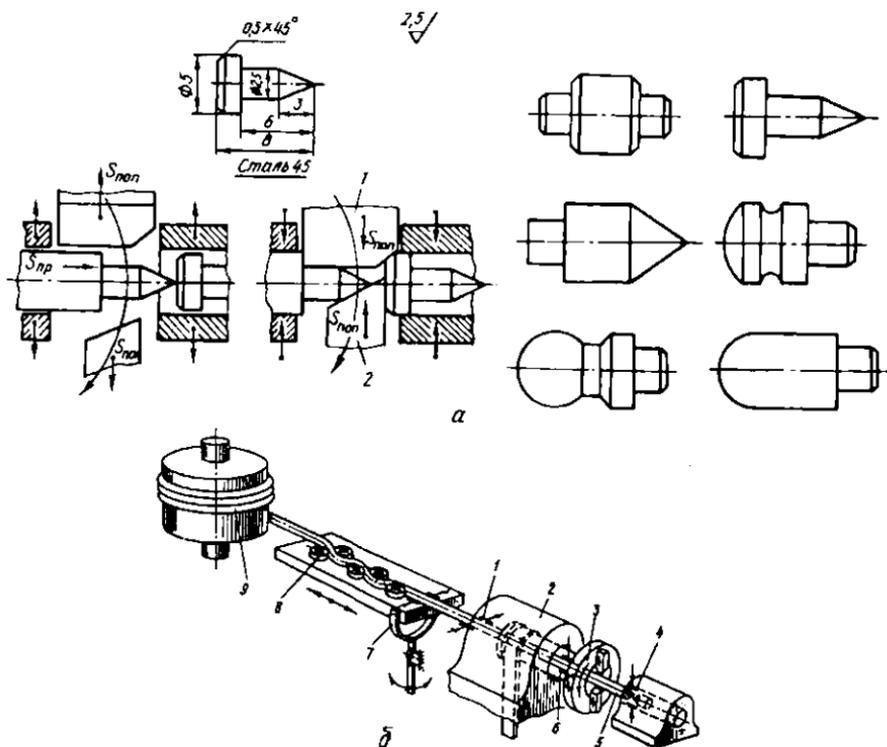


Рис. 5.4. Схема обработки на фасонно-отрезном автомате: *а* — типовые детали, обрабатываемые на автомате; *б* — схема обработки; 1 — задний зажим; 2 — шпиндельная бабка; 3 — резовая головка; 4 и 6 — передний и средний зажимы; 5 — проволока (заготовка); 7 — салазки; 8 — роликовый механизм правки; 9 — бунт проволоки

ствляет фасонную обработку, а второй — отрезку детали. Что касается заготовки 5 (проволока), то она в процессе обработки неподвижна и зажата передним 4 и средним 6 зажимами. После обработки проволока 5 совершает вспомогательное движение $V_c(P_3)$ — подача на требуемую длину. Это движение осуществляется при помощи салазок 7 с роликовым механизмом правки 8. При их обратном ходе проволока зажата задним зажимом 1.

Фасонно-отрезные автоматы относятся к первой группе, так как они предназначены для обработки простых деталей. На рис. 5.5 приведена кинематическая схема станка мод. 1106 [42]. В нем распределительный вал представляет совокупность дискового 4 и барабанных 3, 5, 6 и 7 кулачков, установленных на валу V. Кулачки 5 и 6 предназначены для осуществления автономной радиальной подачи поперечных суппортов, кулачок 3 — для подачи и правки

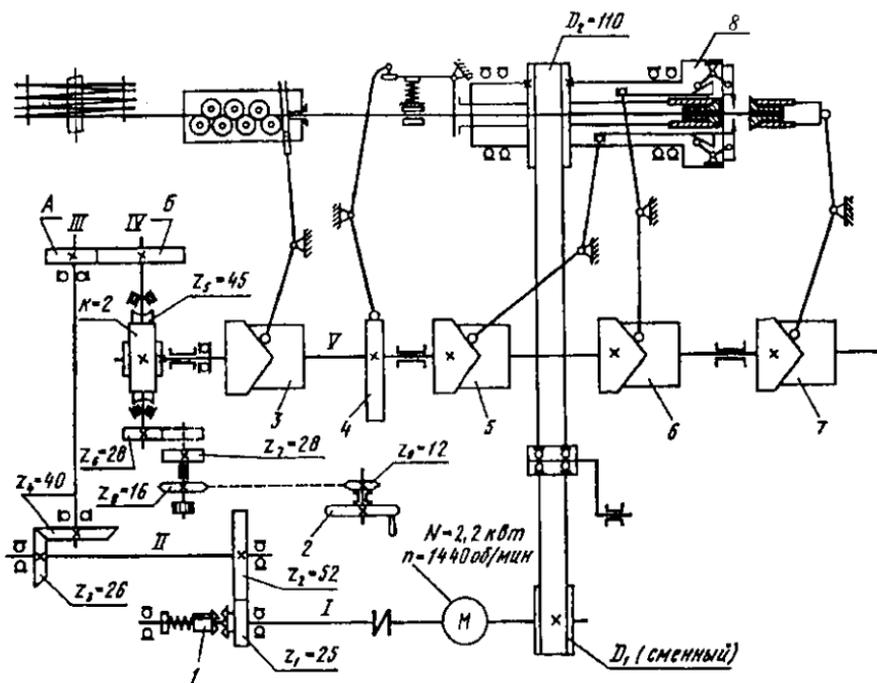


Рис. 5.5. Кинематическая схема фасонно-отрезного автомата мод. 1106:
 1 — кулачковая муфта; 2 — рукоятка; 3 — кулачок подачи и правки проволоки;
 4 и 7 — кулачки зажима и разжима проволоки; 5 и 6 — кулачки радиальной
 подачи поперечных суппортов; 8 — резцовая головка

проволоки, кулачки 4 и 7 — для зажима и разжима проволоки соответственно задним и передним механизмами зажима.

Движение на распределительный вал передается от электродвигателя M через зубчатые передачи $\frac{25}{52} \frac{26}{40}$, сменные колеса $\frac{A}{B}$ и червячную передачу $\frac{2}{45}$. Его скорость вращения настраивается сменными колесами $\frac{A}{B}$ в зависимости от продолжительности рабочего цикла

$$n_{\text{рв}} = \frac{60}{T_{\text{ц}}}, \quad (5.5)$$

где $T_{\text{ц}}$ — продолжительность рабочего цикла, с.

В данном случае уравнение кинематического баланса запишется в следующем виде:

$$1440 \cdot \frac{25}{52} \cdot \frac{26}{40} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{2}{45} = n_{\text{рв}} = \frac{60}{T_{\text{ц}}}.$$

$$\text{Откуда } \frac{A}{B} = \frac{3}{T_{\text{ц}}}.$$

При наладке станка распределительный вал вращается вручную при помощи рукоятки 2, цепной передачи $\frac{12}{16}$, зубчатой передачи $\frac{28}{28}$ и червячной передачи $\frac{2}{45}$. При этом муфта 1 выключена.

Главное движение — вращение резцовой головки 8 — осуществляется от того же электродвигателя M через плоскоременную передачу со шкивами D_1 и D_2 , из которых первый является сменным. Для этой кинематической цепи имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1440 \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \eta = n_{\text{вр}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi d}.$$

$$\text{Откуда } D_1 = D_2 \cdot \frac{V}{4,5 \cdot d}.$$

§ 5.3. Автоматы продольного точения

Автоматы продольного точения применяются для обработки очень мелких средней сложности и сложных деталей, для которых в качестве заготовки используются калиброванные прутки. По способу управления рабочим циклом автоматы с диаметром прутка до 6 мм относятся к первой группе, а свыше 6 мм — ко второй группе.

Отличительной особенностью этих автоматов является то, что в них пруток 13 (рис. 5.6) совершает два простых формообразующих движения: $\Phi_1(B_1)$ — главное движение и $\Phi_2(P_2)$ — движение продольной подачи. Оба движения обеспечиваются шпindelной бабкой 6. Что касается резцов 1, 2, 3, 5 и 9, расположенных веерообразно вокруг обрабатываемого прутка, то каждый из них совершает простое формообразующее движение $\Phi_3(P_3)$ — движение радиальной подачи.* При выполнении фасонной обработки шпindelная бабка 6 и резцы 1 и 9, расположенные на суппортах балансира 10, совершают сложное формообразующее движение $\Phi_4(P_2 P_3)$.

Подача прутка 13 относительно шпindelной бабки 6 осуществляется при ее обратном ходе, когда пруток разжат и упирает-

* Для некоторых элементарных поверхностей это движение будет движением врезания.

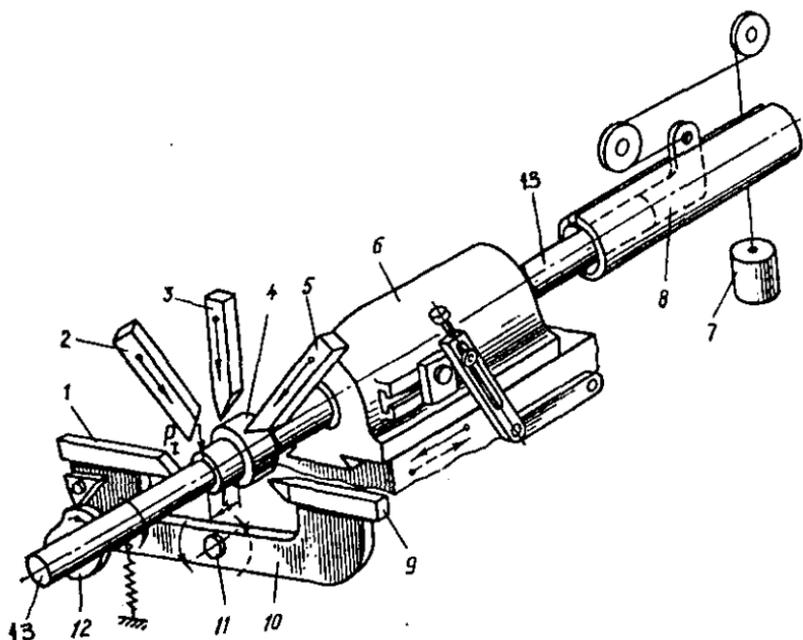


Рис. 5.6. Схема обработки на автомате продольного точения:
 1, 2, 3, 5 и 9 — резцы; 4 — подвижный люнет; 6 — шпиндельная бабка;
 7 — груз; 8 — шомпол; 10 — балансир; 11 — ось балансира; 12 — кулачок;
 13 — пруток

ся в отрезной резец. Чтобы под действием силы трения пруток не смещался вместе со шпиндельной бабкой назад, он прижимается к резцу при помощи шомпола 8 и груза 7.

Рабочая зона автомата продольного точения показана на рис. 5.7. Здесь на суппортной стойке могут перемещаться три попе-

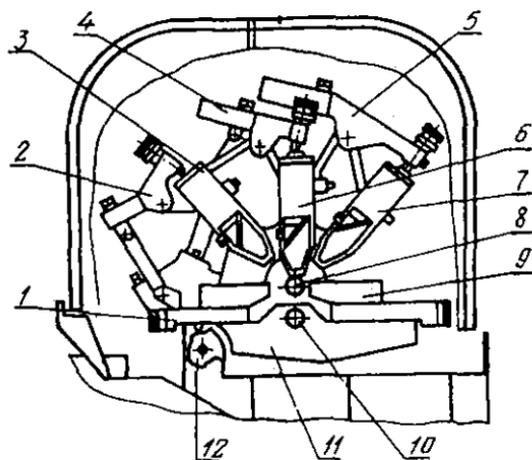


Рис. 5.7. Рабочая зона автомата продольного точения:
 1 и 9 — суппорта, расположенные на балансира; 2, 4 и 5 — рычаги с регулируемым передаточным отношением; 3, 6 и 7 — поперечные суппорта; 8 — отверстие для неподвижного люнета; 10 — ось балансира; 11 — балансир; 12 — распределительный вал

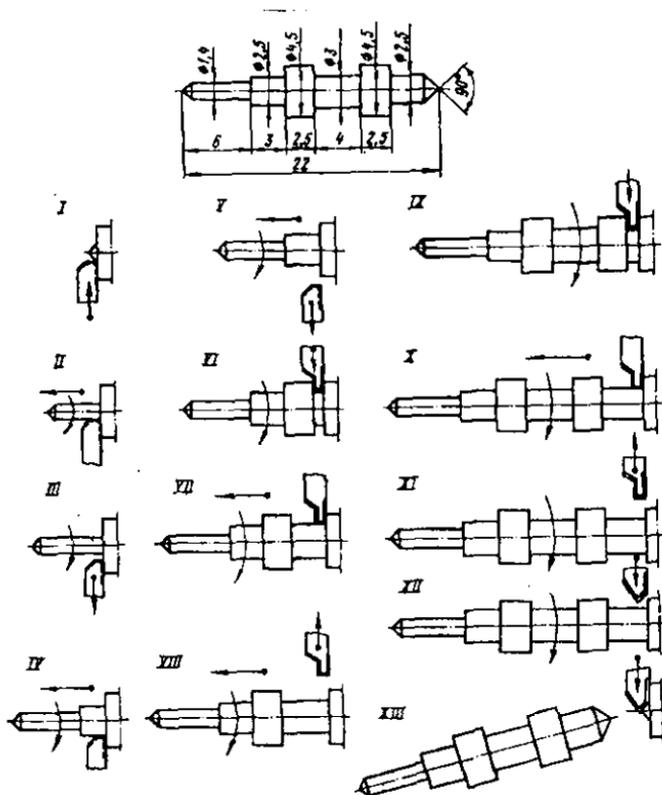


Рис. 5.8. Схема обработки типовой детали на автомате продольного точения: I—XIII — технологические переходы

речных суппорта 3, 6 и 7. Они получают движение через регулируемые рычаги 2, 4 и 5 от соответствующих кулачков, расположенных на распределительном валу 12. Балансир 11 с двумя суппортами 1 и 9 может качаться относительно оси 10.

В качестве примера на рис. 5.8 приведена схема обработки типовой детали [42] с указанием технологических переходов и соответствующих резцов. Здесь технологические переходы II, IV, V, VII, VIII и X выполняются при продольной подаче прутка.

На рис. 5.9 показана кинематическая схема автомата мод. 1П12, который относится ко второй группе. Его распределительный вал представляет совокупность дисковых 1—10 и барабанных 11—13 кулачков, установленных определенным образом на валу VIII. Кулачки 5—9 предназначены для осуществления радиальной подачи поперечных суппортов и суппортов, установленных на балансире; кулачки 10—13 — для управления дополнительными приспособлениями (резьбонарезное устройство, сверлильная баб-

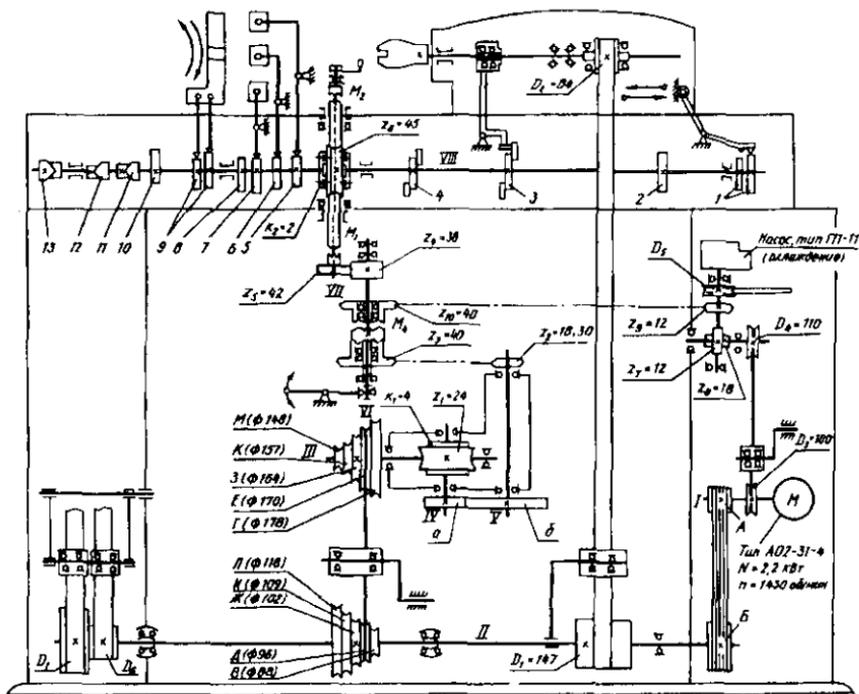


Рис. 5.9. Кинематическая схема автомата продольного точения мод. IP12: кулачки: 1 — продольной подачи шпиндельной бабки; 2 — отключения автомата при окончании прутка; 3 — зажима и разжима цапги; 4 — включения ускоренного вращения распределительного вала; 5, 6 и 7 — подачи поперечных суппортов; 8 — подвода лотка; 9 — подачи балансира; 10, 11, 12 и 13 — специальных приспособлений

ка и т. д.); кулачки 1 — для продольной подачи шпиндельной бабки; кулачок 3 — для зажима и разжима прутка; кулачок 4 — для включения цепи быстрого вращения распределителя VIII при выполнении холостых ходов и кулачок 2 — для отключения автомата при окончании прутка.

Сложное формообразующее движение $\Phi_3(P_2, P_3)$ осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается валом VIII, кулачками 1 и 9, а также рычажными механизмами, передающими движение от кулачков 1 и 9 соответственно на шпиндельную бабку и суппорта балансира. Что касается внешней связи группы, то она образуется кинематической цепью от источника движения до распределительного вала.

Медленное вращение распределительного вала осуществляется от электродвигателя M через ременную

передачу $\frac{A}{B}$ (сменные шкивы A и B используются для настройки частоты вращения шпинделя); пятиступенчатую клиноременную передачу $\frac{B}{F} \cdot \frac{D}{E} \cdot \frac{Ж}{З} \cdot \frac{И}{К}$ или $\frac{Л}{М}$; червячную передачу $\frac{4}{24}$; сменные колеса $\frac{a}{6}$; цепную передачу $\frac{18}{40}$ (или $\frac{30}{40}$); зубчатую передачу $\frac{38}{42}$ и червячную передачу $\frac{2}{45}$. Для этой цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1440 \cdot \frac{A}{B} \cdot i_{p.n.} \cdot \frac{4}{24} \cdot \frac{a}{6} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{38}{42} \cdot \frac{2}{45} = \frac{60 \cdot \alpha_p}{2 \cdot \pi \cdot t_0}$$

$$\text{Откуда } i_{p.n.} \cdot \frac{a}{6} = 7 \cdot \frac{B}{A} \cdot \frac{\alpha_p}{t_0},$$

где $i_{p.n.}$ — передаточное отношение пятиступенчатой клиноременной передачи; α_p — угол поворота распределительного вала при выполнении рабочих ходов, в радианах.

Быстрое вращение распределительного вала осуществляется от того же двигателя M через ременную передачу $\frac{100}{110}$; винтовую передачу $\frac{12}{18}$; цепную передачу $\frac{12}{40}$; зубчатую передачу $\frac{38}{42}$ и червячную передачу $\frac{2}{45}$. В этом случае распределительный вал вращается со скоростью 10 об/мин.

Вращение на шпиндель передается также от электродвигателя M через ременные передачи: со сменными шкивами A , B и шкивами D_1 , D_2 . В последней передаче шкив D_1 выполнен широким, чтобы обеспечивать передачу вращения на шпиндель при его продольном перемещении.

Подробное описание конструкции и работы узлов автоматов продольного точения приводится в работах [42, 121].

§ 5.4. Токарно-револьверные автоматы

Токарно-револьверные автоматы предназначены для обработки очень мелких и мелких деталей средней сложности (рис. 5.10) из калиброванных прутков (круглых и многогранных). Материал прутков — различные стали и цветные металлы. При оснащении токарно-револьверных автоматов бункерными или магазинными загрузочными устройствами на них можно обрабатывать штучные заготовки, полученные, например, литьем, штамповкой и другими методами.



Рис. 5.10. Типовые детали, обрабатываемые на токарно-револьверных станках

Данные автоматы по способу управления рабочим циклом относятся к третьей группе. Они имеют основной распределительный вал, вращающийся с малой скоростью, выбираемой из условия выполнения рабочих ходов, и быстровращающийся вспомогательный вал.

Характерной особенностью рассматриваемых автоматов является наличие револьверной головки (рис. 5.11) с инструментами $б$ (показаны условно), каждый из которых совершает два движения: простое формообразующее движение $\Phi_s(P_2)$ (продольная подача) и вспомогательное движение $B_c(B_4)$ — позиционный поворот, обеспечивающий смену инструмента. Резцы, установленные на поперечных суппортах $з$ (двух горизонтальных и одном вертикальном), также, как и в автоматах продольного точения, совершают простое формообразующее движение $\Phi_s(P_3)$ (радиальная подача).* Что касается прутка 7 , то он совершает только одно формообразующее движение $\Phi_s(B_1)$ — главное движение. После отрезки детали осуществляется подача прутка на необходимую длину.

Рабочая зона одного из токарно-револьверных автоматов показана на рис. 5.12. Этот станок имеет следующее инструментальное обеспечение:

револьверную головку 1 , в пяти позициях которой установлены соответствующие комплекты инструментов 2 , а в шестой по-

* Для некоторых элементарных поверхностей это движение будет движением врезания.

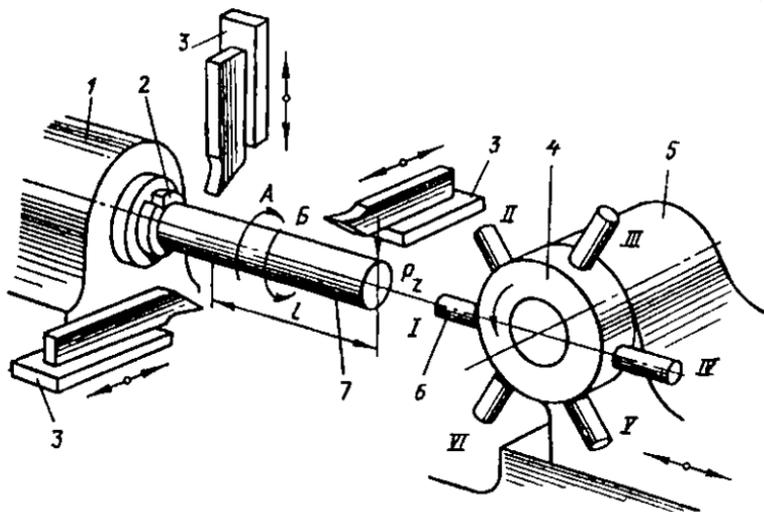


Рис. 5.11. Схема обработки на токарно-револьверном автомате: 1 — шпиндельная бабка; 2 — шпиндель; 3 — поперечные суппорта (два горизонтальных и один вертикальный); 4 — револьверная головка; 5 — револьверный суппорт; 6 — инструмент (изображен условно); 7 — пруток

зиции — регулируемый упор 3, ограничивающий перемещение прутка 5 при его подаче;

передний 4 и задний 8 горизонтальные поперечные суппорта с комплектами резцов и других инструментов (например, накатные ролики);

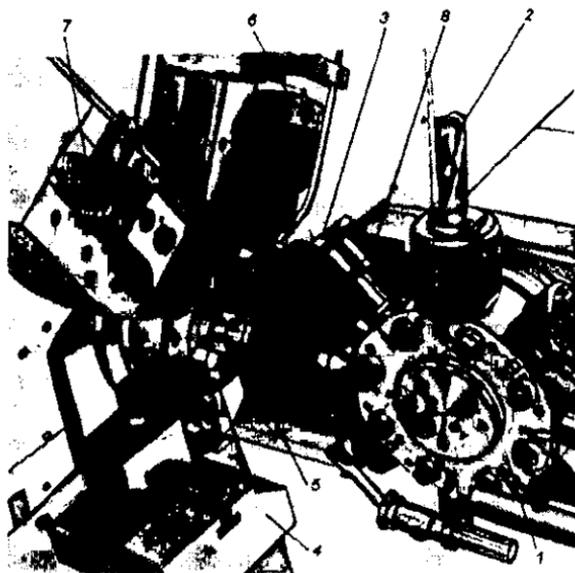


Рис. 5.12. Рабочая зона токарно-револьверного автомата: 1 — револьверная головка; 2 — комплекты инструментов; 3 — упор; 4 и 8 — передний и задний поперечные суппорта; 5 — пруток; 6 и 7 — вертикальные суппорта

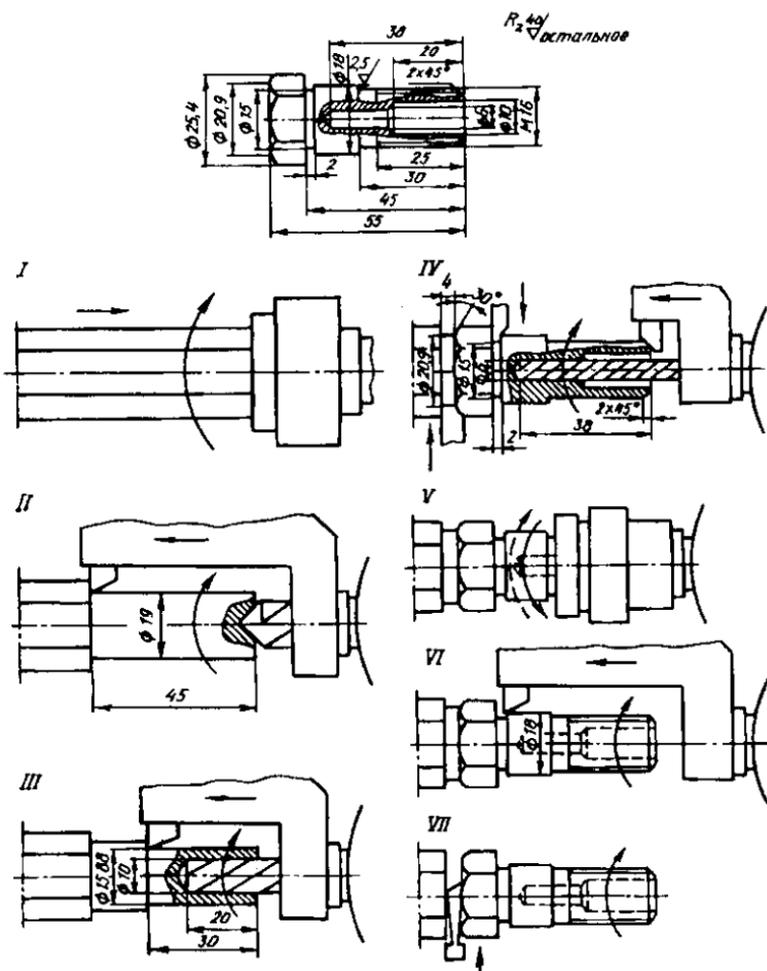


Рис. 5.13. Схема обработки типовой детали на токарно-револьверном автомате: I—VII — технологические переходы

два вертикальных суппорта 6 и 7 с резцами, предназначенными для обработки канавок, фасок и отрезки готовой детали.

Пример схемы обработки типовой детали [42] из колиброванного шестигранного прутка приведен на рис. 5.13. Здесь почти все технологические переходы (шесть из семи) выполняются инструментом, установленным на револьверной головке. Отрезка готовой детали (технологический переход VII) осуществляет резцом, установленным на вертикальном суппорте.

Токарно-револьверный автомат имеет следующую компоновку. На основании 2 (рис. 5.14) смонтирована станина 10, на ко-

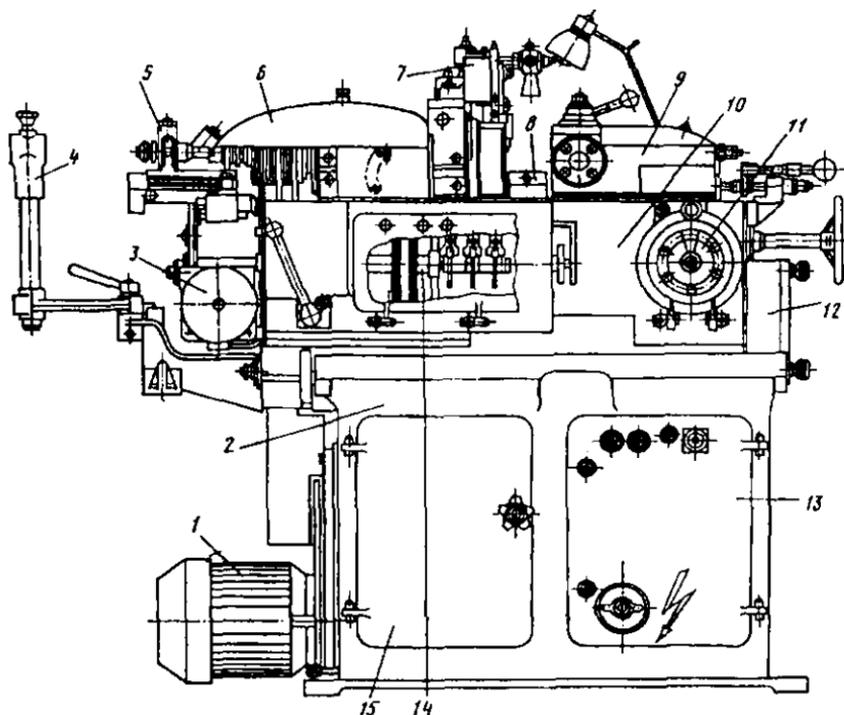


Рис. 5.14. Компонка токарно-револьверного автомата: 1 — электродвигатель коробки скоростей; 2 — основание; 3 — электродвигатель привода вспомогательного и распределительного валов; 4 — кронштейн; 5 — механизм подачи и зажима прутка; 6 — шпиндельная бабка; 7 — вертикальный суппорт; 8 — передний поперечный суппорт; 9 — револьверный суппорт; 10 — станина; 11 — поперечный распределительный вал; 12 — коробка передач; 13 — шкаф электрооборудования; 14 — продольный распределительный вал; 15 — дверца

торой установлены: шпиндельная бабка 6 с механизмом 5 подачи и зажима прутка; вертикальный (отрезной) суппорт 7; передний 8 и задний поперечные суппорта; револьверный суппорт 9 с револьверной головкой и коробка передач 12.

На передней стенке станины расположен продольный распределительный вал 14 с дисковыми кулачками для подачи всех поперечных суппортов и с кулачковыми барабанами для включения механизма поворота револьверной головки и механизма подачи и зажима прутка. В правом торце станины расположен поперечный распределительный вал 11 с дисковым кулачком для подачи револьверного суппорта и кулачком реверса шпинделя. Эти валы соединены между собой зубчатой передачей (см. рис. 5.15) с передаточным отношением равным единице. Вспомогательный вал находится на задней стенке станины и получает вращение от электродвигателя 3.

Внутри основания расположены шкаф 13 электрооборудования и коробка скоростей (закрыта дверцей 15) с электродвигателем 1. На левом торце основания прикреплен кронштейн 4, поддерживающий направляющую трубу прутка.

Рассмотрим кинематическую схему токарно-револьверного автомата мод. 1Б136*, представленную на рис. 5.15.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи являются вал электродвигателя M ($N = 4,5$ кВт, $n_{эл} = 1440$ об/мин) и шпиндель, который в течение рабочего цикла в зависимости от выполняемых технологических переходов должен иметь различные частоты вращения. Кроме того, при обработке резьбовых поверхностей шпиндель необходимо реверсировать.

Автоматическое переключение трех частот вращения шпинделя осуществляется при помощи электромагнитных муфт $\mathcal{E}M_1$ и $\mathcal{E}M_2$, а его реверсирование — при помощи сдвоенных электромагнитных муфт $\mathcal{E}M_3$ и $\mathcal{E}M_4$. Первая частота вращения получается при выключенных муфтах $\mathcal{E}M_1$ и $\mathcal{E}M_2$. В этом случае вращение с вала 1 на вал II передается зубчатой передачей $\frac{27}{68}$ и роликовой обгонной муфтой, расположенной между шестернями $z_8 = 68$ и $z_7 = 53$. Вторая частота вращения получается при выключенной муфте $\mathcal{E}M_2$ и включенной муфте $\mathcal{E}M_1$. При таком включении муфт вращение с вала 1 на вал II передается зубчатой передачей $\frac{42}{53}$. При этом в обгонной муфте происходит проскальзывание роликов, так как угловая скорость ведомого звена (шестерня $z_7 = 53$) больше угловой скорости ведущего звена (шестерня $z_8 = 68$). Третья частота вращения получается при включенной муфте $\mathcal{E}M_2$ и выключенной муфте $\mathcal{E}M_1$. В данном случае вращение с вала 1 на вал II передается зубчатой передачей $\frac{58}{37}$. В обгонной муфте также происходит проскальзывание роликов.

Программа включения электромагнитных муфт устанавливается вручную переключателями, расположенными на пульте управления автомата. Ее реализация осуществляется при помощи переключателя 15 (рис. 5.15) частоты вращения, который кинематически связан с револьверной головкой 21 зубчатыми передачами $\frac{76}{38} \cdot \frac{23}{46}$ и поводком 14 мальтийского креста. В результате переключатель 15 имеет столько же позиций, что и револьверная головка 21.

Для расширения диапазона используемых частот вращения шпинделя в коробке скоростей предусмотрены сменные колеса А и Б. Передаточное отношение этого органа настройки опреде-

* Последние две цифры в модели станка обозначают максимальный диаметр прутка.

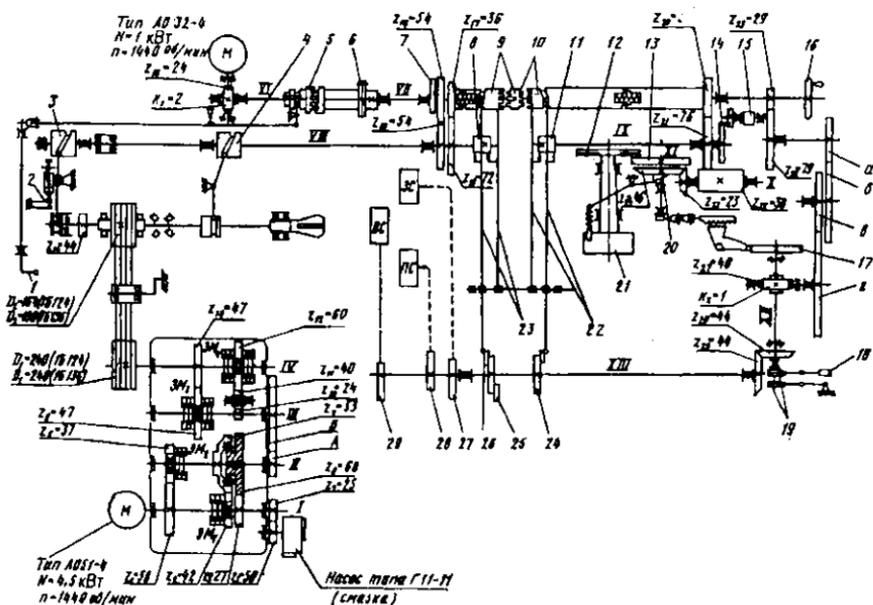


Рис. 5.15. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата мод. 1Б136: 1 — рукоятка; 2 — конечный выключатель; 5 — зубчатая муфта; 6 — предохранительная муфта; 9 и 10 — однооборотные зубчатые муфты; 12 — мальтийский крест; 13 — диск; 14 — поводок мальтийского креста; 15 — переключатель частоты вращения шпинделя; 16 — маховичок; 18 — конечный выключатель; 20 — копир; 21 — револьверная головка; 22 и 23 — рычаги управления; 24, 25 и 26 — кулачковые барабаны; кулачки; 3 — подачи прутка; 4 — зажима прутка; 7 — подачи качающегося упора; 8 и 11 — отключения однооборотных муфт; 17 — подачи револьверной головки; 19 — реверса шпинделя; 27, 28 и 29 — подачи заднего, переднего и вертикального суппортов

ляется из уравнения кинематического баланса в зависимости от максимальной расчетной частоты вращения $n_{p_{max}}$ шпинделя. Данное уравнение имеет следующий вид:

$$1440 \cdot \begin{vmatrix} 27 \\ 68 \\ 42 \\ 53 \\ 58 \\ 37 \end{vmatrix} \cdot \frac{A}{B} \begin{cases} \rightarrow \frac{47}{47} \cdot \frac{240}{180} = n_{шт} \text{ (левое вращение)} \\ \rightarrow \frac{24}{40} \cdot \frac{40}{60} \cdot \frac{240}{180} = n_{шт} \text{ (правос вращение).} \end{cases}$$

Решая указанное уравнение для токарных и других работ (левое вращение) при максимальном передаточном отношении трехступенчатой группы ($i_{max} = \frac{58}{37}$), получим

$$\frac{A}{B} = 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot n_{\text{шп}},$$

где $n_{\text{шп}} \leq n_{\text{рmax}}$.

Реверс шпинделя, как отмечалось выше, осуществляется электромагнитными муфтами $\mathcal{E}M_3$ и $\mathcal{E}M_4$. При включенной муфте $\mathcal{E}M_3$ шпиндель получает быстрое левое вращение, которое используется для токарных и других работ, а также для вывинчивания резьбонарезного инструмента при нарезании резьбы. Если же включена муфта $\mathcal{E}M_4$, то шпиндель получает медленное правое вращение, используемое для нарезания резьб. Автоматическое включение муфт производится кулачком 19, воздействующим на конечный выключатель 18.

Следует отметить, что в кинематической цепи главного движения в качестве автоматического органа настройки и механизма реверса может использоваться регулируемый электрический двигатель. В частности, регулируемый электродвигатель постоянного тока применяется в токарно-револьверном автомате мод. 1А136.

Кинематическая цепь привода распределительного и вспомогательного валов. Распределительный вал автомата состоит из двух частей: продольного вала XIII с дисковыми кулачками 27, 28, 29 и кулачковыми барабанами 24, 25, 26, а также поперечного вала XII с дисковыми кулачками 17, 19. Обе части соединены между собой зубчатой передачей $\frac{44}{44}$. Кулачки 27, 28 и 29 предназначены для подачи соответственно заднего, переднего и вертикального поперечных суппортов; кулачковые барабаны 24, 25 и 26 — для включения соответственно механизма поворота револьверной головки и механизма подачи и зажима прутка; кулачок 17 — для подачи револьверного суппорта; кулачки 19 — для включения реверса шпинделя.

Распределительный вал получает вращение от электродвигателя M_2 ($N = 1$ кВт, $n_{\text{эл}} = 1440$ об/мин) через червячную передачу $\frac{2}{24}$, зубчатую муфту 5, включаемую вручную рукояткой 1, предохранительную муфту 6, зубчатую передачу $\frac{29}{79}$, сменные колеса $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{z}$ и червячную передачу $\frac{1}{40}$. Для этой цели уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1440 \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{29}{79} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{z} \cdot \frac{1}{40} = \frac{60}{T_{\text{ш}}}$$

$$\text{Откуда } \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{z} = \frac{54,48}{T_{\text{ш}}}$$

Вспомогательный вал VII получает вращение также от электродвигателя M_2 через червячную передачу $\frac{2}{24}$, зубчатую муфту 5 и предохранительную муфту 6. Его частота вращения постоянная и равна 120 об/мин.

На вспомогательном валу установлены две n -оборотные муфты 9 и 10, которые включаются рычагами управления 23 и 22 по команде от кулачковых барабанов 26, 25 и 24. Включенные муфты 9 и 10 передают вращение соответственно на вал VIII с кулачками 3 и 4, осуществляющими подачу и зажим прутка, и на механизм поворота (мальтийский крест 13, 12) револьверной головки 21. Повернувшись на два оборота, муфты 9 и 10 отключаются автоматически. За это время вал VIII с кулачками 3 и 4 сделает один оборот, а револьверная головка повернется на $\frac{1}{6}$ оборота.

Подробное описание конструкции и работы узлов токарно-револьверных автоматов приводится в работах [42,121].

Токарно-револьверные автоматы с ЧПУ. Как отмечалось выше, переналадка токарных автоматов с распределительными валами заключается в замене комплекта кулачков в выполнении соответствующих регулировок, на что тратится значительное подготовительно-заключительное время. Кроме того, необходимы затраты времени и средств на проектирование и изготовление комплектов кулачков. Поэтому токарные автоматы с распределительными валами применяются, как правило, в крупносерийном и массовом производстве.

Чтобы расширить область эффективного применения токарно-револьверных автоматов, их оснащают системами ЧПУ. В таких станках преимущество классических одношпиндельных токарных автоматов — высокая производительность — сочетается с гибкостью универсальных токарных станков с ЧПУ.

Общий вид токарно-револьверного автомата с ЧПУ мод. 11Б40ПФ4 приведен на рис. 5.16. Этот станок предназначен для комплексной двусторонней обработки деталей повышенной сложности из прутков в автоматическом цикле, а штучных заготовок

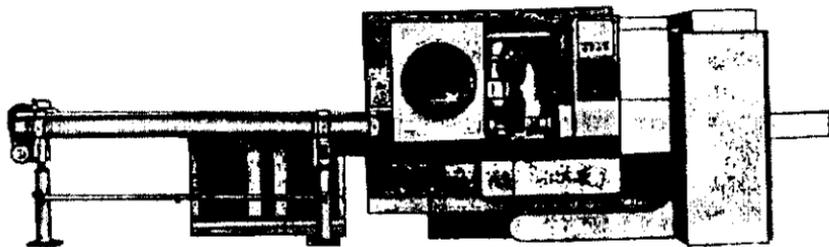


Рис. 5.16. Токарно-револьверный автомат с ЧПУ мод. 11Б40ПФ4

в патроне — в полуавтоматическом цикле. Кроме токарных и сверлильных работ на нем можно выполнять фрезерование, внецентровое сверление, резьбонарезание резцом и т. п.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемых деталей, мм:	
из прутка	40
из штучной заготовки	125
Наибольшая длина обрабатываемых деталей	100
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	40—4000
Скорость быстрых перемещений исполнительных органов, мм/мин	10000
Дискретность перемещения исполнительных органов, мм	0,001
Количество позиций револьверной головки	16
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	15

§ 5.5. Горизонтальные одношпиндельные токарные полуавтоматы

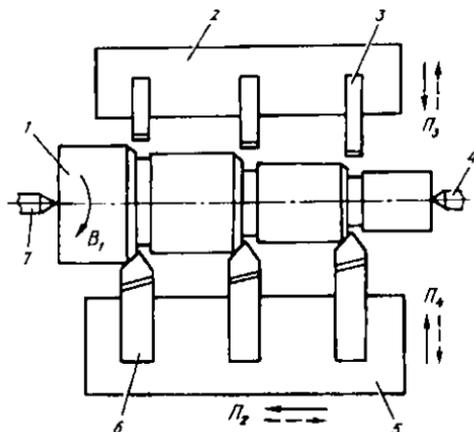
Горизонтальные одношпиндельные токарные полуавтоматы делятся на три группы: многорезцовые, копировальные и многорезцово-копировальные. На них обрабатывают многоступенчатые детали классов круглые стержни (валы), полые цилиндры (втулки) и диски из штучных заготовок, полученных литьем, штамповкой, ковкой и другими методами. Материал заготовки — различные стали, цветные металлы и сплавы.

Многорезцовые токарные полуавтоматы. По устройству и компоновке многорезцовые токарные полуавтоматы имеют большое сходство с универсальными токарными станками. Их отличие заключается в инструментальном обеспечении. Полуавтоматы имеют комплекты резцов $б$ (рис. 5.17) и резцов $з$, которые установлены соответственно на продольном 5 и поперечном 2 суппортах. Эти комплекты резцов совершают простые формообразующие $\Phi_s(P_2)$ (продольная подача) и $\Phi_s(P_3)$ (поперечная подача).* Кроме того, комплект резцов $б$ совершает движение врезания $B_p(P_4)$. Что касается заготовки 1 , то она, находясь в центре 7 передней бабки и центре 4 задней бабки, совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение.

Кинематическая схема многорезцового токарного полуавтомата мод.1А730 представлена на рис. 5.18. Вращение

* Для некоторых элементарных поверхностей это движение будет движением врезания.

Рис. 5.17. Схема обработки на многолезвном токарном полуавтомате: 1 — обрабатываемая деталь; 2 — поперечный суппорт; 3 — комплект канавочных резцов; 4 — центр задней бабки; 5 — продольный суппорт; 6 — комплект проходных резцов; 7 — центр передней бабки



на шпиндель передается от электродвигателя $M1$ ($N = 13$ кВт, $n_{эл} = 1460$ об/мин) через клиноременную передачу $\frac{125}{327}$, сменные колеса $\frac{A}{B}$ (орган настройки) и коническую зубчатую передачу $\frac{26}{78}$. Для этой цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1460 \cdot \frac{125}{327} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{26}{78} = n_{шп.}$$

$$\text{Откуда } \frac{A}{B} = 0,0054 \cdot n_{шп.}$$

Здесь $n_{шп.}$ определяется по лимитирующему технологическому переходу.

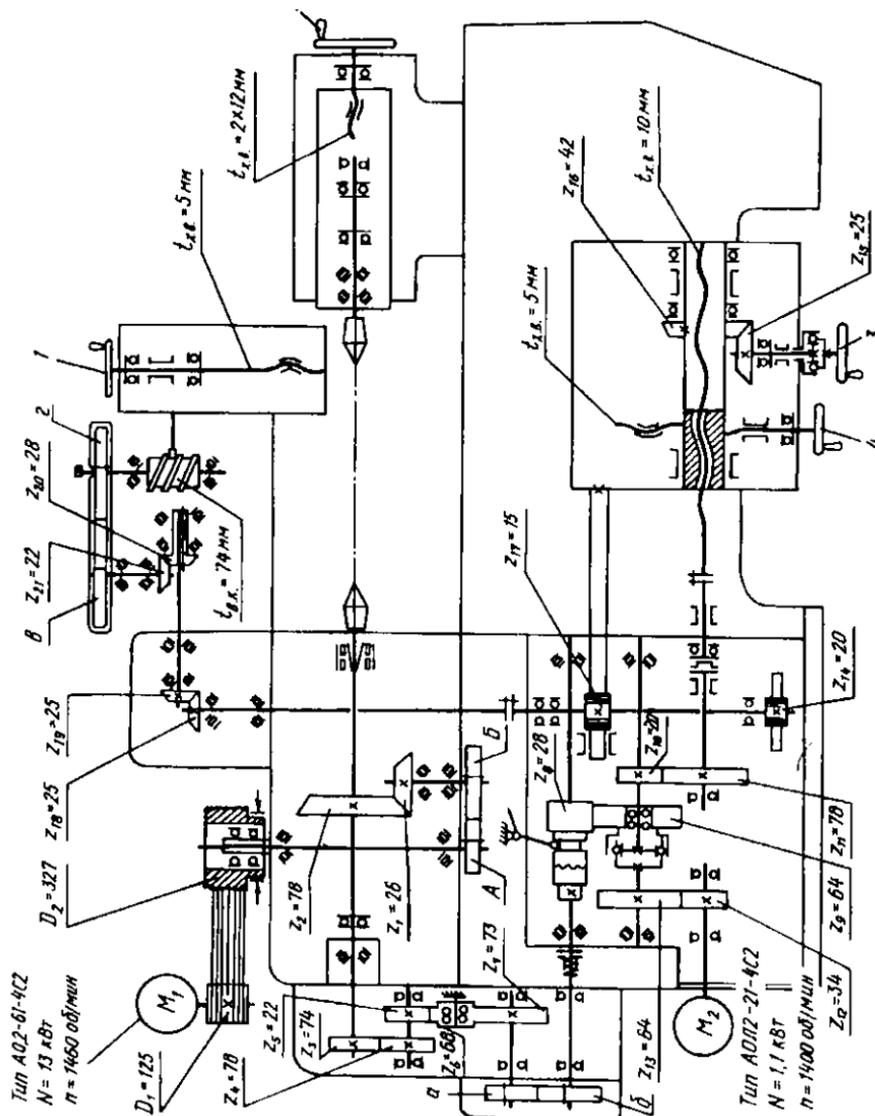
Подача продольного суппорта осуществляется от шпинделя через зубчатые передачи $\frac{74}{78} \cdot \frac{22}{68} \cdot \frac{68}{73}$, сменные колеса $\frac{a}{b}$ (орган настройки); зубчатую передачу $\frac{28}{64}$; обгонную муфту, смонтированную на колесе $z_3 = 64$, зубчатую передачу $\frac{20}{78}$ и передачу винт-гайка скольжения ($t_{х.в.} = 10$ мм). Для данной цепи имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1_{об} \cdot \frac{74}{78} \cdot \frac{22}{68} \cdot \frac{68}{73} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{28}{64} \cdot \frac{20}{78} \cdot 10 = S_{пр.}$$

$$\text{Откуда } \frac{a}{b} = 3,12 \cdot S_{пр.}$$

Продольный суппорт может перемещаться вручную при помощи маховика 3; обгонной муфты и зубчатой конической пере-

Рис. 5.18. Кинематическая схема многорезцового токарного полуавтомата мод. 1А730: маховики: 1 — установочного перемотки, 2 — перемотки поперечного суппорта; 3 — ручные перемотки; 4 — установочного суппорта; 4 — установочного перемотки продольного суппорта



дачи $\frac{25}{42}$, которая вращает гайку относительно неподвижного ходового винта. Для установочных перемещений платформы продольного суппорта относительно оси центров полуавтомата используется передача винт-гайка скольжения ($t_{х.в.} = 5$ мм), соединенная с маховиком 4.

Быстрое перемещение продольного суппорта осуществляется от электродвигателя $M2$ ($N = 1,1$ кВт, $n_{эл} = 1400$ об/мин) через зубчатую передачу $\frac{34}{64}$; обгонную муфту; зубчатую передачу $\frac{20}{78}$ и передачу винт-гайка скольжения. Этот привод обеспечивает скорость быстрых перемещений 1990 мм/мин.

Движение на поперечный суппорт передается от продольного суппорта через реечную передачу $m = 4$; $z_{17} = 15$; конические передачи $\frac{25}{25} \cdot \frac{28}{22}$; сменные колеса $\frac{\theta}{z}$ (орган настройки) и барабан с винтовой канавкой ($t_{в.к.} = 74$ мм).

Для этой цепи уравнение кинематического баланса запишется в следующем виде:

$$S_{пр} \cdot \frac{1}{x \cdot m \cdot z_{17}} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{28}{22} \cdot \frac{\theta}{z} \cdot 72 = S_{пол}.$$

$$\text{Откуда } \frac{\theta}{z} = 2,06 \cdot \frac{S_{пол}}{S_{пр}}.$$

При таком приводе поперечного суппорта его быстрое перемещение происходит одновременно с быстрым перемещением продольного суппорта.

Установочное перемещение платформы поперечного суппорта относительно оси центров станка осуществляется при помощи маховика 1 и передачи винт-гайка скольжения ($t_{х.в.} = 5$ мм). Весь поперечный суппорт может перемещаться вручную также вдоль оси центров при его установке относительно обрабатываемой детали.

Копировальные токарные полуавтоматы. Выше-рассмотренные многолезцовые токарные полуавтоматы наряду с таким большим достоинством, как высокая производительность, имеют ряд недостатков. Во-первых, вследствие одновременной работы нескольких резцов, в системе "станок-деталь-инструмент" возникают большие усилия, которые вызывают повышенные деформации, снижающие точность обработки. Во-вторых, требуется значительное время на наладку и подналадку комплектов инструмента.

Указанные недостатки устраняются в копируемых токарных полуавтоматах. Их характерной особенностью является наличие копируемого суппорта, который одним резцом выпол-

няет ступенчатую и фасонную обточку. Однако эти станки имеют меньшую производительность, чем многолезцовые.

На рис. 5.19 приведена схема обработки на копировальном токарном полуавтомате. Здесь обрабатываемая деталь 6 совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение.

Сложное формообразующее движение $\Phi_s(\Pi_2, \Pi_3)$ совершает резец 2, установленный на копировальном суппорте 1. Составляющие Π_2 и Π_3 данного движения являются соответственно движениями продольной и следящей подачи. Что касается комплекта резцов 4, установленных на поперечном суппорте 5, то они совершают простое формообразующее движение $\Phi_s(\Pi_4)$ (радиальная подача). Однако для некоторых элементарных поверхностей таких, как цилиндрическая поверхность канавки, короткая фасонная или коническая поверхность, это движение будет движением врезания $B_p(\Pi_4)$.

В токарных копировальных полуавтоматах из известных следящих приводов (электрического, гидравлического, пневматического) наиболее широкое применение нашел гидравлический следящий привод. Он обладает малой инерционностью подвижных частей и, как следствие, высоким быстродействием; обеспечивает плавный ход исполнительных органов; имеет небольшие габаритные размеры; отличается надежностью и долговечностью гидромеханических устройств.

На рис. 5.20 представлена кинематическая схема гидрокопировального полуавтомата мод. 1722. В нем вращение на шпиндель 1 передается от электродвигателя M ($N = 28$ кВт, $n_{эл} = 1450$ об/мин) через клиноременную передачу $\frac{140}{280}$, сменные колеса $\frac{A}{B}$ и две группы зубчатых передач с подвижными блока-

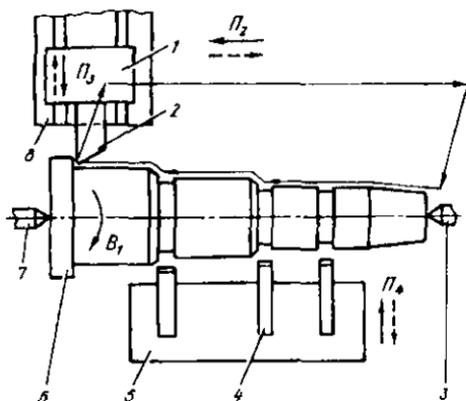
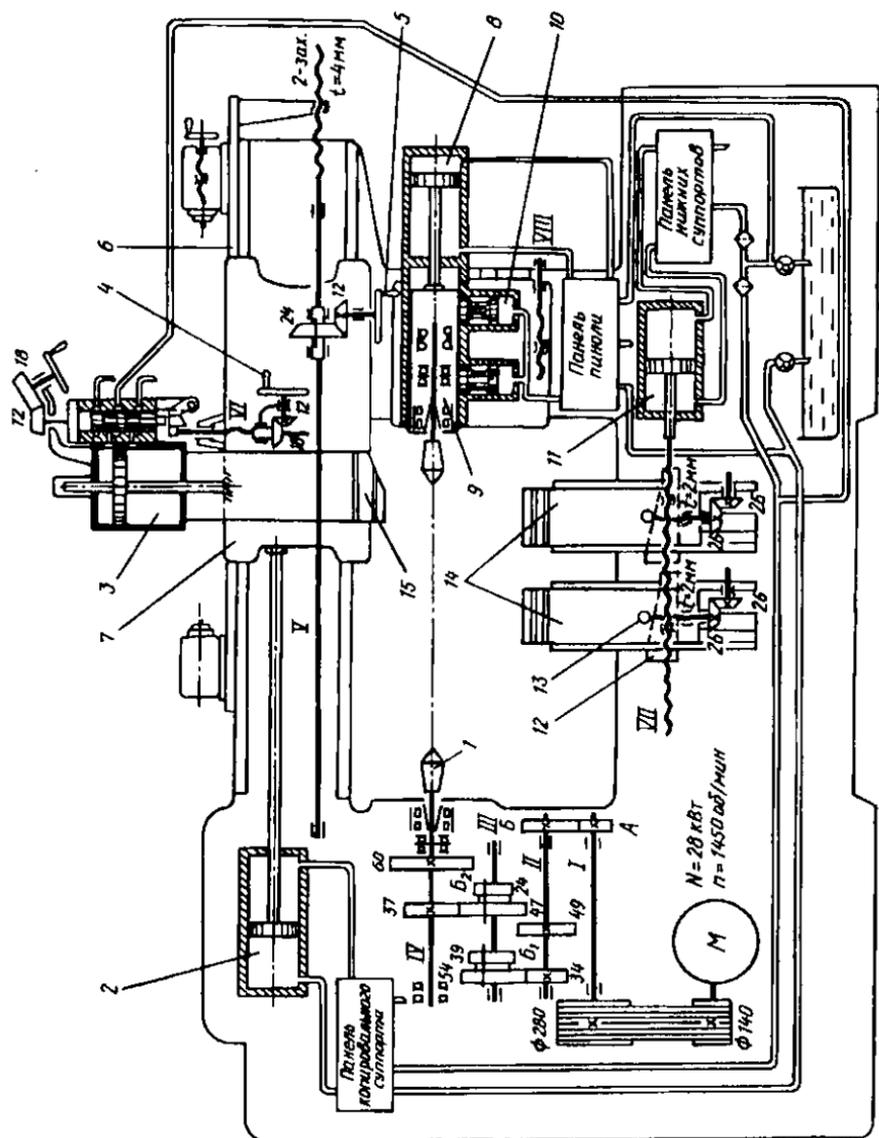


Рис. 5.19. Схема обработки на копировальном токарном полуавтомате: 1 — копировальный суппорт; 2 — резец; 3 — центр задней бабки; 4 — комплект канавочных резцов; 5 — поперечный суппорт; 6 — обрабатываемая деталь; 7 — центр передней бабки; 8 — продольный суппорт

Рис. 5.20. Кинематическая схема гидроконтрольного полуавтомата мод. 1722: 1 — шпindel; 2 — гидродоильный цилиндр продольного суппорта; 3 — гидродоильный привод; 4 и 5 — рукоятки; 6 — платформа для установки копиров; 7 — продольный суппорт; 8 — гидродоильный цилиндр задней бабки; 9 — пинноль; 10 — гидродоильный цилиндр зажима пинноли; 11 — гидродоильный цилиндр поперечных суппортов; 12 — клинья; 13 — палец; 14 — поперечные суппорты; 15 — следующий суппорт



ми B_1 и B_2 . Для этой цели уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1450 \cdot \frac{140}{280} \cdot \frac{A}{B} \cdot \left| \frac{34}{54} \cdot \frac{60}{49} \cdot \frac{24}{47} \right| \cdot \left| \frac{39}{37} \right| = n_{\text{шп}}.$$

В данном случае $n_{\text{шп}}$ выбирается по лимитирующему технологическому переходу. В последних моделях гидрокопировальных станков частота вращения шпинделя переключается автоматически при помощи электромагнитных муфт, что позволяет выполнять различные технологические переходы с рациональной скоростью резания.

Подача продольного 7 и следящего 15 суппортов осуществляется соответственно гидроцилиндром 2 и гидравлическим следящим приводом 3. Для установочных перемещений следящего суппорта и платформы 6, на которой закрепляются кулачки, применяются передачи винт-гайка скольжения, соединенные с рукоятками 4 и 5.

Для подачи поперечных суппортов 14 используется гидроцилиндр 11, шток которого соединен с винтом VII. Этот винт при помощи гаек ($t_r = 2$ мм), в свою очередь, соединен с клиньями 12, которые, воздействуя на пальцы 13, перемещают поперечные суппорта 14. Их установочные перемещения относительно торца шпинделя и его оси вращения осуществляются вручную путем поворота гаек в клиньях 12 и смещения верхней платформы при помощи передачи винт-гайка скольжения.

Подробное описание конструкции и работы узлов горизонтальных одношпиндельных токарных полуавтоматов приводятся в работе [42].

§ 5.6. Горизонтальные многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы

Горизонтальные многошпиндельные токарные автоматы предназначены для обработки мелких сложных деталей классов круглые стержни (валы), полые цилиндры (втулки) и диски из колыброванных прутков и штучных заготовок, получаемых литьем, штамповкой и другими методами. При использовании штучных заготовок станки оснащаются бункерными или магазинными загрузочными устройствами. Возможна и ручная загрузка заготовок. Типовые детали, обрабатываемые на этих станках, приведены на рис. 5.21.

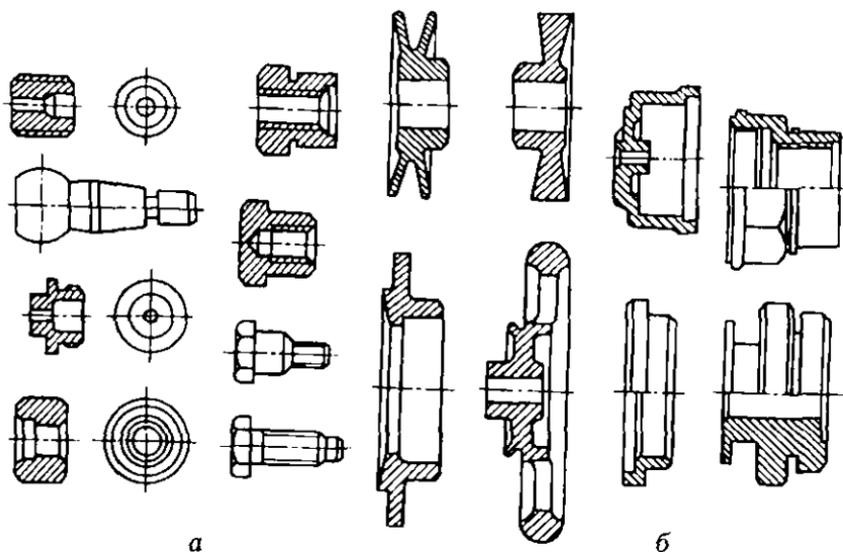


Рис. 5.21. Типовые детали, обрабатываемые на горизонтальных многошпиндельных токарных автоматах — а и полуавтоматах — б

Характерной особенностью указанных автоматов и полуавтоматов является наличие нескольких одновременно работающих шпиндельных узлов. Такие станки представляют собой как бы совокупность одношпиндельных автоматов и полуавтоматов, объединенных общей кулачковой системой управления, станиной и другими узлами.

Для многошпиндельных токарных автоматов и полуавтоматов характерны следующие преимущества:

- 1) высокая производительность обработки, вследствие параллельного выполнения технологических переходов;
- 2) широкие технологические возможности благодаря разнообразному инструментальному обеспечению;
- 3) высокая точность обработки деталей, позволяющая получать готовые детали без последующих видов чистовой обработки;
- 4) значительная экономия производственных площадей, рабочей силы и заработной платы;
- 5) простота в обслуживании.

Данные автоматы и полуавтоматы по способу управления рабочим циклом относятся ко второй группе, так как они предназначены для обработки сложных деталей. Распределительный вал системы управления этих станков в течение рабочего цикла вращается с двумя скоростями: малой — при выполнении рабочих ходов и большой — при выполнении холостых ходов.

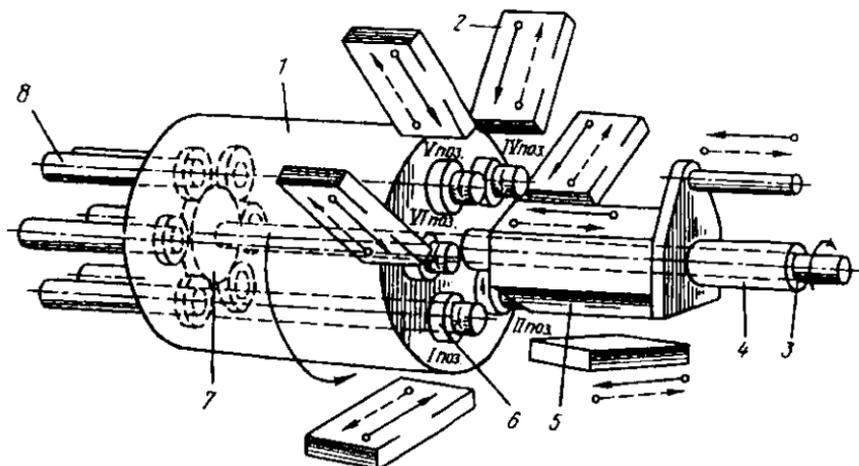


Рис. 5.22. Схема обработки на горизонтальном многшпindelном токарном автомате: 1 — шпиндельный блок; 2 — поперечные суппорта; 3 — приводной вал; 4 — гильза; 5 — продольный суппорт; 6 — шпindel; 7 — центральное зубчатое колесо; 8 — колыбованный пруток

На рис. 5.22 показана схема обработки на шестишпindelном токарном автомате [42]. Колыбованные прутки 8, зажатые в шпинделях 6, совершают простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение. На станке имеется общий продольный суппорт 5, который, перемещаясь по гильзе 4, обеспечивает простое формообразующее движение $\Phi_z(\Pi_2)$ — движение продольной подачи. Он выполнен в виде многогранника, число граней которого равно числу шпинделей. На каждой грани суппорта устанавливается комплект соответствующих инструментов. При этом на двух гранях устанавливаются подвижные шпиндельные бабки — сверлильная и резбонарезная, обеспечивающие простые формообразующие движения $\Phi_v(B_3)$ и $\Phi_z(\Pi_4)$ — главное движение и продольную подачу сверла или резбонарезного инструмента (метчика, плашки).

В автомате напротив каждого шпинделя предусмотрены поперечные суппорта 2, обеспечивающие простое формообразующее движение $\Phi_z(\Pi_5)$ — движение поперечной подачи. Для некоторых элементарных поверхностей (цилиндрическая поверхность канавки, короткая фасонная или коническая поверхность) это движение будет движением врезания $V_p(\Pi_5)$.

Делительное движение $D(B_6)$ совершает шпиндельный блок 1, который после каждого рабочего цикла поворачивается на угол $1/z_w$, где z_w — число шпинделей. Что касается прутка, то в одной из позиций шпиндельного блока он совершает вспомогательное движение $V_c(\Pi_7)$ — подачу на определенную длину.

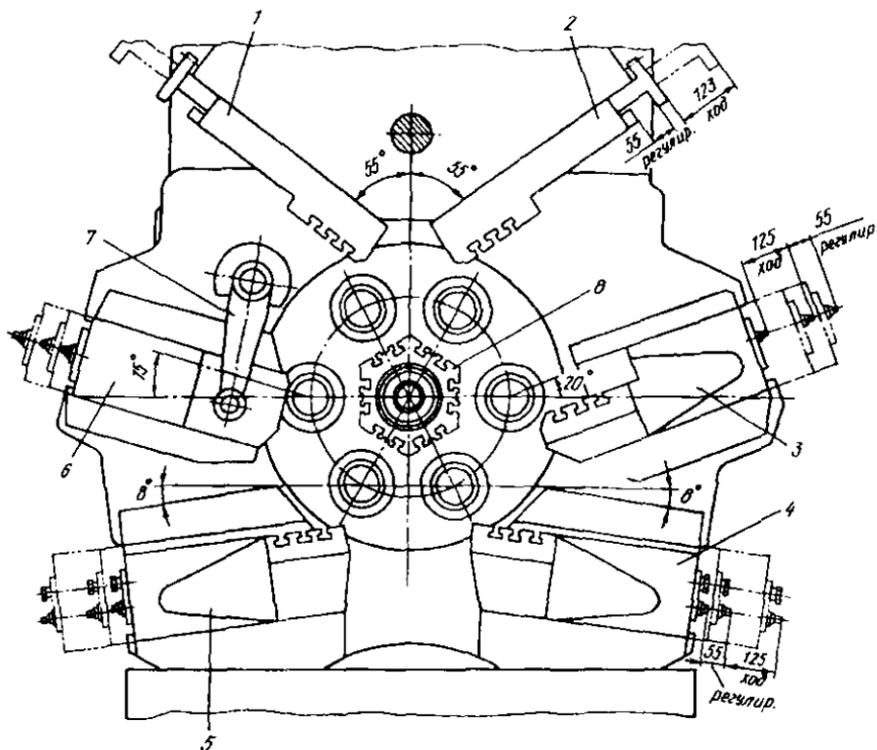


Рис. 5.23. Рабочая зона горизонтального шестишпиндельного токарного автомата: 1, 2, 3, 4, 5 и 6 — поперечные суппорты; 7 — поворотный упор; 8 — продольный суппорт

Рабочая зона горизонтального шестишпиндельного токарного автомата приведена на рис. 5.23. Этот станок имеет шесть поперечных суппортов 1, 2, 3, 4, 5 и 6, предназначенных для проточки различных канавок, обточки коротких конических и фасонных поверхностей, а также отрезки готовой детали (поперечный суппорт 6). Соосно со шпиндельным блоком расположен продольный суппорт 8 с шестью гранями, на двух из которых располагаются подвижные сверлильная и резьбонарезная бабки. Инструмент, установленный на этих исполнительных органах, предназначен для обработки внутренних и обточки наружных цилиндрических поверхностей. При помощи сверлильной бабки обрабатывают отверстия малого диаметра.

В качестве примера на рис. 5.24 приведена схема обработки типовой детали [42]. На пяти позициях I—V технологические переходы выполняются инструментом, установленным на продольном суппорте и резьбонарезной шпиндельной бабке, а на четырех I, IV, V и VI — инструментом, установленным на по-

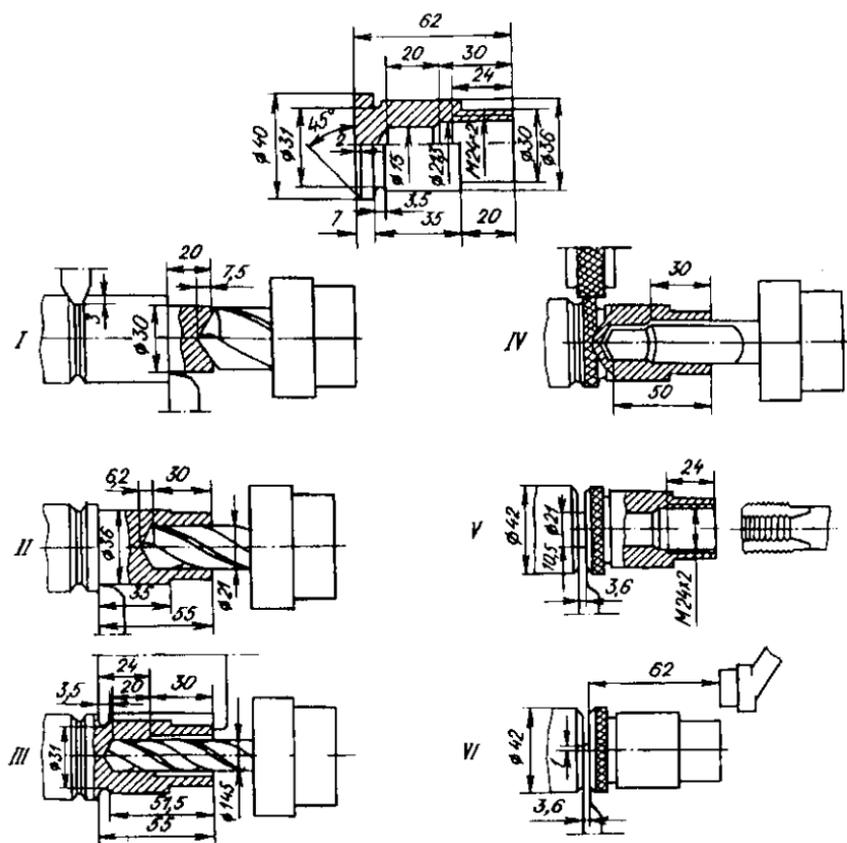


Рис. 5.24. Схема обработки типовой детали на горизонтальном шестишпиндельном токарном автомате: I—VI — позиции обработки

речных суппортах. Отрезка детали и подача прутка до поворотного упора осуществляется на позиции VI. На позициях I—V технологические переходы выполняются параллельно.

На рис. 5.25 представлен горизонтальный шестишпиндельный токарный автомат мод. КА-371. Он состоит из следующих основных узлов. На станине 1 прямоугольной формы смонтированы стойки 3 и 8. На торце стойки 3 расположены поперечные суппорта 4 и поворотный упор 5, а внутри нее — шпиндельный блок 6 с механизмами поворота и фиксации блока, подачи и зажима прутка, а также участки распределительного вала, предназначенные для перемещения поперечных суппортов. В стойке 8 смонтированы приводы вращения шпинделей блока 6, сверильной и резьбонарезной бабок, а также привод медленного и быстрого вращения распределительного вала. Последний располагается в корпусе 9 над стойками 3 и 8. Между стойками находится

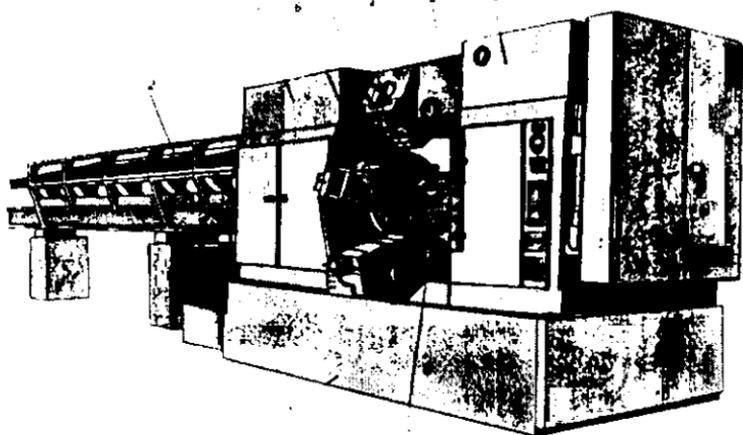


Рис. 5.25. Горизонтальный шестишпindelный токарный автомат мод. КА-371: 1 — станина; 2 — устройство механизированной загрузки прутков; 3 и 8 — стойки; 4 — поперечные суппорты; 5 — поворотный упор; 6 — шпindelный блок; 7 — продольный суппорт; 9 — корпус распределительного вала; 10 — шкаф электрооборудования

продольный суппорт 7. В отсеках станины 1 расположены: в правом — электродвигатель главного движения и электронасос охлаждающей системы; в переднем — резервуар для СОЖ; в левом — насосная установка; в заднем — резервуар для масла. Станок оснащен устройством 2 механизированной загрузки прутков.

В качестве примера рассмотрим кинематическую схему горизонтального четырехшпindelного токарного автомата мод. 1265-4 (предпоследние две цифры означают максимальный диаметр прутка, а последняя — число шпindelей).

Кинематическая цепь главного движения. Вращение на шпindelю VI передается от двигателя М1 ($N = 28$ кВт, $n_{эл} = 1450$ об/мин) через клиноременную передачу $\frac{190}{308}$; зубчатую передачу $\frac{30}{60}$; сменные колеса $\frac{A}{B} \cdot \frac{B}{Г}$ и зубчатые передачи $\frac{45}{45}$. Все шпindelи вращаются с одинаковой скоростью, которая определяется из условия выполнения лимитирующего технологического перехода. Уравнение кинематического баланса для этой цепи имеет следующий вид:

$$1450 \cdot \frac{190}{308} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{B}{Г} \cdot \frac{45}{45} = n_{шп.}$$

Откуда $\frac{A}{B} \cdot \frac{B}{Г} = 0,0022 \cdot n_{шп.}$

Шпиндели сверлильной и резьбонарезной бабок получают вращение от того же электродвигателя $M1$. Для их цепей имеем следующие уравнения кинематического баланса:

— сверлильный шпиндель

$$1450 \cdot \frac{190}{308} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{B}{\Gamma} \cdot \frac{47}{22} \cdot \frac{22}{P} = n_{с.шп};$$

— резьбонарезной шпиндель

$$1450 \cdot \frac{190}{308} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{B}{\Gamma} \cdot \frac{41}{41} \cdot \frac{C}{T} \begin{cases} \rightarrow \frac{32}{52} = n_{р.шп}^I \\ \rightarrow \frac{H}{P} \cdot \frac{47}{47} \cdot \frac{34}{52} = n_{р.шп}^{II} \end{cases}$$

где C, T, H, P — сменные колеса. При помощи этих колес настраиваются две частоты вращения резьбонарезного шпинделя: одна для нарезания резьбы, а другая для вывинчивания инструмента (метчика или плашки). Нарезание резьбы и вывинчивание инструмента производятся при одном и том же направлении вращения шпинделя, блока и резьбонарезного шпинделя. Отличие заключается в соотношении частот вращения. Так, для правой резьбы при нарезании $n_{шп} > n_{р.шп}^I$, а при вывинчивании $n_{шп} < n_{р.шп}^{II}$; для левой резьбы при нарезании $n_{шп} < n_{р.шп}^I$, а при вывинчивании $n_{шп} > n_{р.шп}^{II}$. Включение различных частот вращения резьбонарезного шпинделя осуществляется посредством электромагнитных муфт M_3 и M_4 .

Кинематические цепи вращения распределительного вала. Медленное вращение распределительного вала, состоящего из участков XIII, XVI и XIX, осуществляется от электродвигателя $M1$ через ременную передачу $\frac{190}{308}$; зубчатую передачу $\frac{30}{60}$; сменные колеса $\frac{A}{B} \cdot \frac{B}{\Gamma}$ (их числа зубьев определены при настройке цепи главного движения); червячную передачу $\frac{3}{24}$; сменные колеса $\frac{H}{K} \cdot \frac{D}{E}$ (орган настройки); обгонную муфту M_0 ; коническую передачу $\frac{30}{30}$; электромагнитную муфту M_3 ; зубчатую передачу $\frac{38}{53}$ и червячную передачу $\frac{1}{40}$. Участки XVI и XIX распределительного вала соединены с участком XIII при помощи зубчатых передач с общим передаточным отношением равным единице. Для данной цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

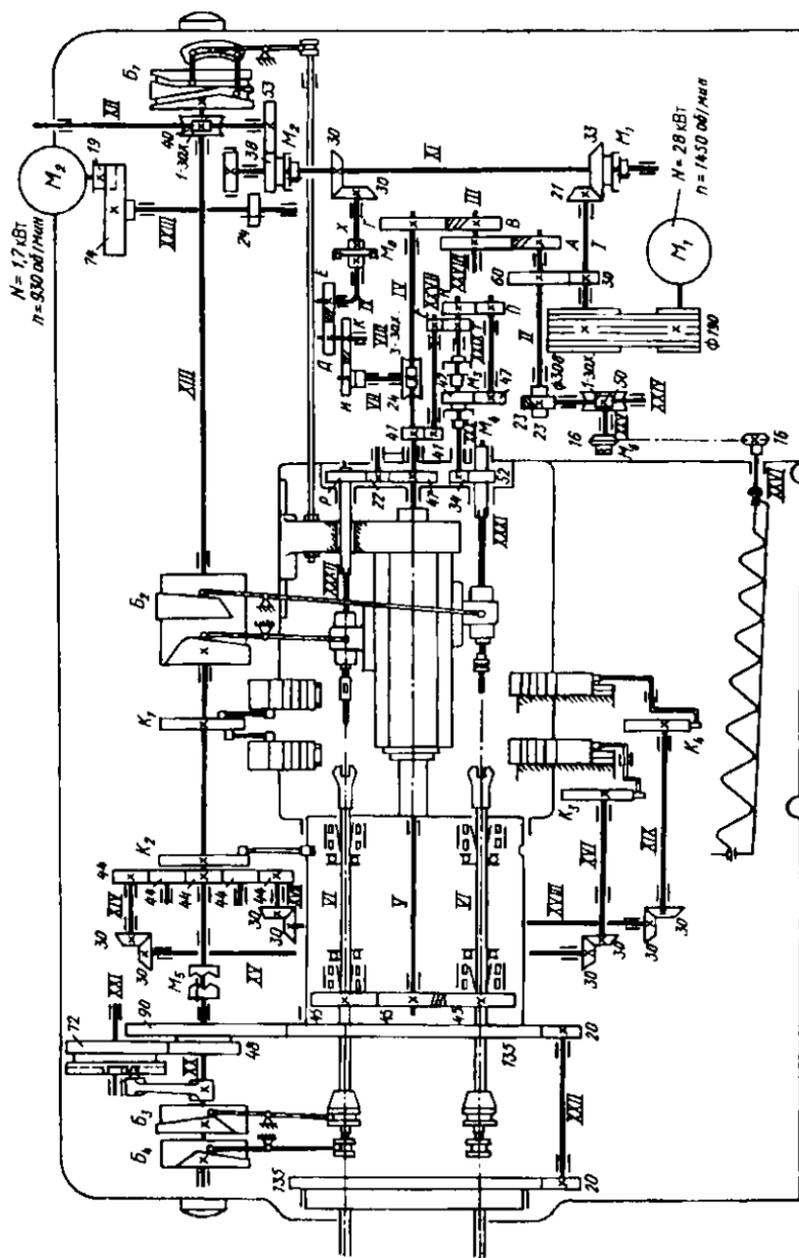


Рис. 5.26. Кинематическая схема горизонтального четырехшпиндельного токарного автомата мод. 1265-4:
 M_1 , M_2 , M_3 , M_4 и M_5 — муфты; B_1 , B_2 , B_3 и B_4 — кулачковые барабаны; K_1 , K_2 , K_3 и K_4 — кулачки

$$1450 \cdot \frac{190}{308} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{B}{F} \cdot \frac{3}{24} \cdot \frac{H}{K} \cdot \frac{D}{E} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{38}{53} \cdot \frac{1}{40} = \frac{60 \cdot \alpha_p}{2 \cdot \pi \cdot t_0},$$

где α_p — угол поворота распределительного вала при выполнении рабочих ходов, в радианах; t_0 — учитываемое время рабочих ходов, с.

$$\text{Откуда } \frac{H}{K} \cdot \frac{D}{E} = 9,5 \cdot \frac{\alpha_p}{t_0} \cdot \frac{B}{A} \cdot \frac{F}{B}.$$

Быстрое вращение распределительного вала осуществляется также от электродвигателя $M1$ через клиноременную передачу $\frac{190}{308}$; коническую передачу $\frac{21}{33}$; электромагнитные муфты M_1 и M_2 ; зубчатую передачу $\frac{38}{53}$ и червячную передачу $\frac{1}{40}$. Скорость быстрого вращения равна 102 об/мин. Для вращения распределительного вала при наладке станка используется электродвигатель $M2$ ($N = 1,7$ кВт, $n_{зп} = 930$ об/мин). В данном случае скорость вращения равна 2,7 об/мин.

Подача продольного суппорта осуществляется кулачковым барабаном B_1 (рис. 5.26), сверлильной и резьбонарезной бабок — кулачковым барабаном B_2 , поперечных суппортов — кулачками K_1, K_2, K_3 и K_4 .

При вращении вала ХХ (муфта M_5 включена) происходит поворот шпиндельного блока мальтийским крестом, а также подача и зажим прутка кулачковыми барабанами B_4 и B_3 .

Уборка стружки осуществляется шнековым транспортером, который получает вращение от электродвигателя $M1$ через клиноременную передачу $\frac{190}{308}$; зубчатую передачу $\frac{30}{60}$; винтовую передачу $\frac{23}{23}$; червячную передачу $\frac{1}{50}$ и цепную передачу $\frac{16}{16}$.

Подробное описание конструкции и работы узлов горизонтальных многошпиндельных токарных автоматов и полуавтоматов приводится в работах [42, 116].

§ 5.7. Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы

Если горизонтальный многошпиндельный токарный полуавтомат повернуть на 90° в вертикальной плоскости, то в принципе получим вертикальный многошпиндельный токарный полуавтомат. Такие станки могут быть последовательного или параллельного действия. Во-первых, вся совокупность технологических переходов выполняется на нескольких позициях, через которые последовательно проходят обрабатываемые заготовки, а во-вто-

рых, на одной позиции при ее непрерывном перемещении. Полуавтомат параллельного действия в принципе является рабочим ротором (см. § 10.6).

Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы по способу управления рабочим циклом относятся как к первой (полуавтоматы параллельного действия), так и ко второй группе (полуавтоматы последовательного действия).

Рассмотрим схему обработки на восьмишпиндельном токарном полуавтомате последовательного действия. Заготовки 3 (рис. 5.27), закрепленные в патронах на шпинделях 2, совершают простые формообразующие движения $\Phi_v(B_{11}) \dots \Phi_v(B_{17})$: главное движение. Причем на каждой позиции в зависимости от выполняемых технологических переходов заготовка вращается с рациональной скоростью. Это достигается благодаря отдельным органам настройки кинематической цепи главного движения на каждой позиции (см. рис. 5.30).

Комплекты инструментов, установленные на суппортах 4, могут совершать простые формообразующие движения $\Phi_s(P_{21}) \dots \Phi_s(P_{27})$ (вертикальная подача) или при помощи специальных приспособлений — простые формообразующие движения $\Phi_s(P_{31}) \dots \Phi_s(P_{37})$ (радиальная подача). Здесь, как и в приводе главного движения, в кинематической цепи подачи каждой позиции предусмотрен отдельный орган настройки (см. рис. 5.30).

После выполнения на всех позициях полуавтомата рабочих циклов происходит делительный поворот $D(B_8)$ шпиндельного

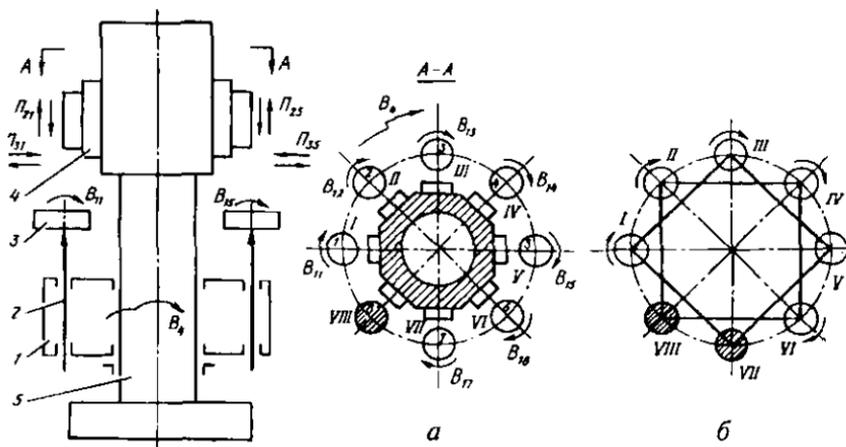


Рис. 5.27. Схема обработки на вертикальном восьмишпиндельном токарном полуавтомате последовательного действия: а: 1 — шпиндельный блок; 2 — шпиндели; 3 — заготовки; 4 — суппорта; 5 — колонна; I—VII — позиции обработки; VIII — позиция загрузки-выгрузки; б: VII—VIII — позиции загрузки-выгрузки

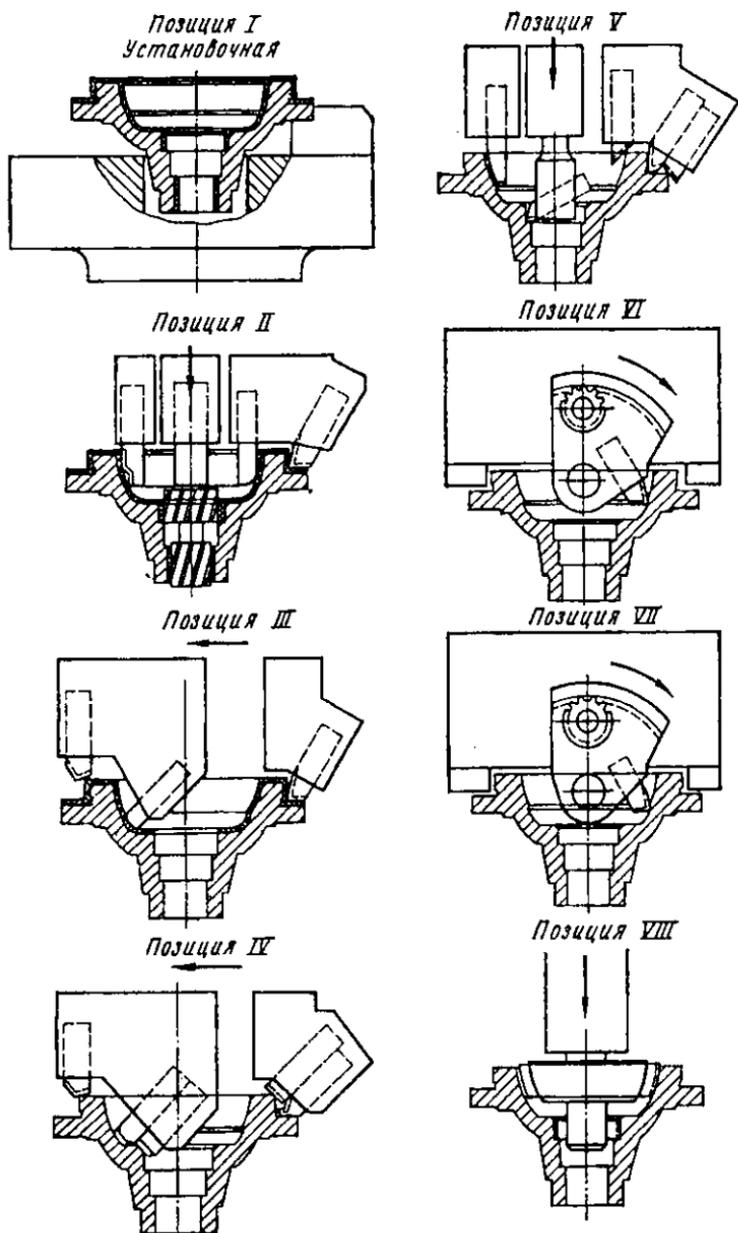


Рис. 5.28. Схема обработки типовой детали на восьмишпindelном токарном полуавтомате: I—VII — позиции обработки; VIII — позиция загрузки-выгрузки (установочная)

блока / относительно колонны 5 на угол $1/z_{ш}$. Во время поворота вращение шпинделей прекращается.

Съем готовой детали и установка заготовки производятся на последней позиции VIII, где шпиндель вообще не вращается. При обработке простых деталей возможны две загрузочно-разгрузочные позиции VII и VIII (рис. 5.27б) для различных заготовок, т. е. на станке будет два потока деталей.

На рис. 5.28 в качестве примера показана схема обработки типовой детали [42] на восьмишпиндельном токарном полуавтомате последовательного действия. Здесь на позициях II, III, V и VI используются специальные приспособления, обеспечивающие радиальную и круговую подачи резцов.

Вертикальный многошпиндельный токарный полуавтомат (рис. 5.29) имеет следующее устройство. На основании 1 смонтирован шпиндельный блок (поворотный стол) 2, несущий шпинделя 3, и неподвижная колонна 7. На гранях колонны закреплены направляющие, по которым перемещаются суппорты 6. В верхнем корпусе 5 расположены коробки скоростей и подачи каждой позиции, получающие вращение от электродвигателя 4, а также механизмы перемещения суппортов. В основании 1 расположен механизм поворота шпиндельного блока.

Рассмотрим кинематическую схему вертикального многошпиндельного токарного полуавтомата мод. 1К282 (рис. 5.30).

Кинематическая цепь главного движения. Вращение на i -й шпиндель от электродвигателя $M1$ до вала V передается через зубчатые передачи кинематических цепей, обеспечивающих низкий ряд $\left(\frac{16}{39} \frac{22}{39} \frac{22}{39} \frac{39}{118} \frac{31}{31} \right)$ и высокий ряд частот вра-

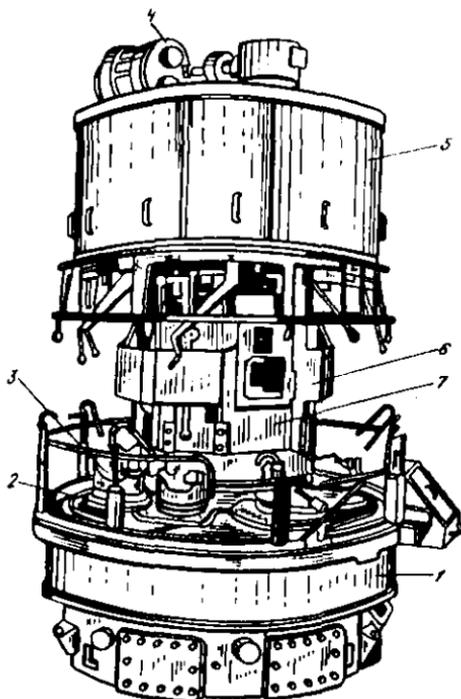


Рис. 5.29. Вертикальный многошпиндельный токарный полуавтомат последовательного действия: 1 — основание; 2 — шпиндельный блок; 3 — шпиндели; 4 — электродвигатель; 5 — верхний корпус; 6 — суппорта; 7 — неподвижная колонна

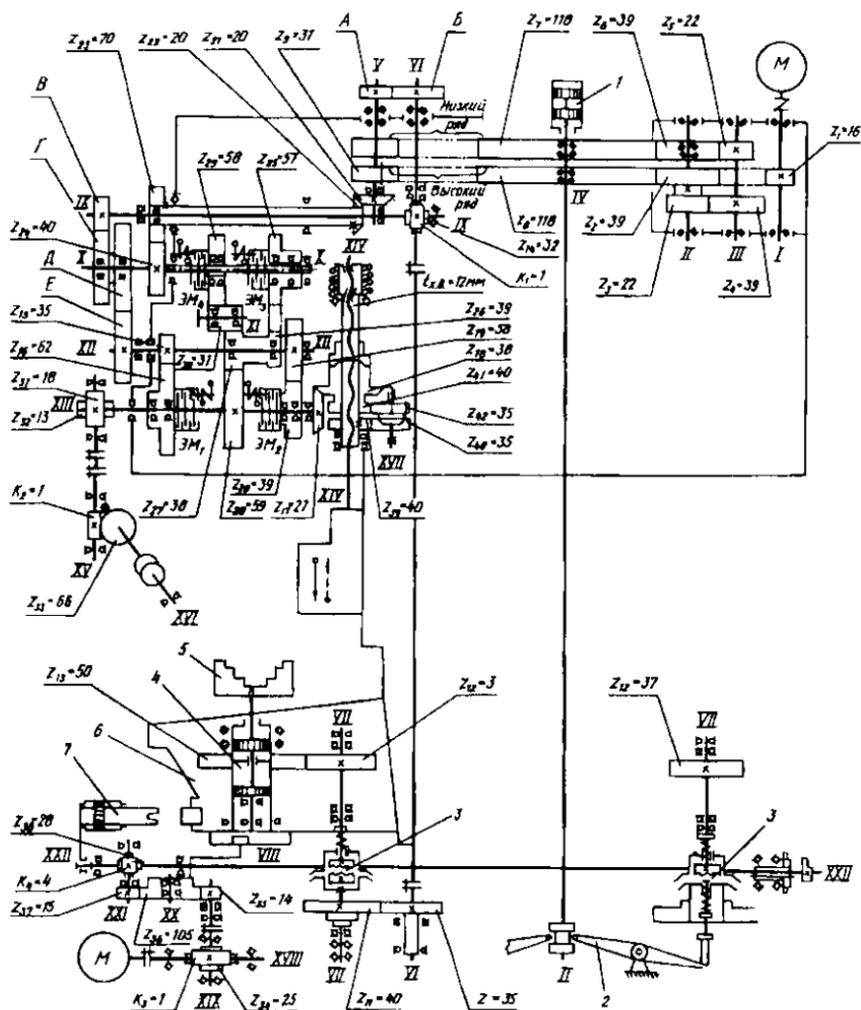


Рис. 5.30. Кинематическая схема вертикального многшпindleльного токарного полуавтомата мод. 1К282: 1 — гидроцилиндр; 2 — рычаг; 3 — муфта; 4 — гидроцилиндр патрона; 5 — патрон; 6 — блок шпинделей; 7 — гидроцилиндр фиксации блока шпинделей

щения шпинделя $\left(\begin{smallmatrix} 16 & 39 & 118 \\ 39 & 118 & 31 \end{smallmatrix} \right)$. Далее движение передается через сменные колеса $\frac{A_i}{B_i}$; зубчатую передачу $\frac{35}{40}$; муфту 3, включаемую рычагом 2 при помощи гидроцилиндра 1, и зубчатую передачу $\frac{37}{50}$. Внутри шпинделя находится гидроцилиндр 4 патрона 5,

который осуществляет зажим заготовки и разжим обработанной детали.

Для данной цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1450 \cdot \frac{16}{39} \begin{cases} \rightarrow \frac{39}{118} \cdot \frac{118}{31} \cdot \frac{A_i}{B_i} \cdot \frac{35}{40} \cdot \frac{37}{50} = n_{\text{шпи}} \text{ (высокий ряд)} \\ \rightarrow \frac{22}{39} \cdot \frac{22}{39} \cdot \frac{39}{118} \cdot \frac{118}{31} \cdot \frac{A_i}{B_i} \cdot \frac{35}{40} \cdot \frac{37}{50} = n_{\text{шпи}} \text{ (низкий ряд)}. \end{cases}$$

Откуда: для высокого ряда $\frac{A_i}{B_i} = 0,002 \cdot n_{\text{шпи}}$;

для низкого ряда $\frac{A_i}{B_i} = 0,0065 \cdot n_{\text{шпи}}$,

где $n_{\text{шпи}}$ — частота вращения шпинделя на i -й позиции, определяемая по лимитирующему технологическому переходу.

Кинематические цепи рабочих и быстрых перемещений суппортов. Конечными звеньями i -й кинематической цепи подачи являются i -е шпиндель и суппорт. Для них имеет следующие расчетные перемещения

1 об. i -го шпинделя $\longleftrightarrow S_i$ -го суппорта, мм.

В этом случае уравнение кинематического баланса запишется в следующем виде:

$$1_{\text{об}} \cdot \frac{50}{37} \cdot \frac{40}{35} \cdot \frac{1}{32} \cdot \frac{B_i}{I_i} \cdot \frac{D_i}{E_i} \cdot \left| \frac{35}{62} \right| \cdot \frac{27}{38} \cdot 12 = S_i.$$

Здесь при помощи электромагнитных муфт \mathcal{M}_1 (зубчатая передача $\frac{35}{62}$) и \mathcal{M}_2 (зубчатая передача $\frac{58}{39}$) можно в процессе обработки автоматически включать две рабочие подачи с соотношением 1 : 2,63.

Решая указанное уравнение для меньшей подачи, получим

$$\frac{B_i}{I_i} \cdot \frac{D_i}{E_i} = 4,3 \cdot S_{i, \text{мини}}.$$

Быстрое перемещение i -го суппорта вниз (подвод) осуществляется электродвигателем $M1$ через зубча-

тые передачи $\frac{16}{39} \cdot \frac{22}{39} \cdot \frac{22}{39} \cdot \frac{39}{118} \cdot \frac{118}{31}$ (низкий ряд частот вращения); коническую передачу $\frac{20}{20}$; зубчатую передачу $\frac{70}{40}$; электромагнитную муфту $ЭМ_3$; зубчатые передачи $\frac{57}{39} \cdot \frac{38}{59} \cdot \frac{27}{38}$ и передачу винта с шагом $t_{х.в.} = 12$ мм. При переходе с низкого ряда частот вращения шпинделя на высокий для сохранения скорости быстрого перемещения суппорта меняют местами шестерни $z_{23} = 70$ и $z_{24} = 40$. Быстрое перемещение i -го суппорта вверх (отвод) осуществляется при включенной муфте $ЭМ_4$. Скорости быстрого подвода и отвода соответственно равны 3500 мм/мин и 3600 мм/мин.

Вращение командоаппарата, каким является вал XVI с кулачками, осуществляется от вала XIII через винтовую передачу $\frac{18}{13}$ и червячную передачу $\frac{1}{66}$. За один оборот вала командоаппарата суппорт может перемещаться на 406,4 мм.

Поворот блока шпинделей осуществляется от электродвигателя $M2$ через червячную передачу $\frac{1}{25}$; зубчатую передачу $\frac{14}{105}$ и мальтийский крест, ведущее звено которого (планка с двумя роликами) установлено на ступице колеса $z_{36} = 105$. При повороте планки на 180° блок шпинделей поворачивается на угол $1/z_{ш}$, где $z_{ш} = 8$, а при повороте на 360° — на угол $2/z_{ш}$. Механизм поворота и фиксации (гидроцилиндр 7) шпиндельного блока управляют через конечные выключатели кулачки, установленные на валу XXII.

Подробное описание конструкции и работы узлов вертикальных многошпиндельных токарных полуавтоматов приводится в работе [42].

Глава 6

СВЕРЛИЛЬНЫЕ И РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

Сверлильные станки предназначены для сверления глухих и сквозных отверстий, рассверливания, зенкерования, развертывания и нарезания внутренней резьбы. При использовании специальных инструментов и приспособлений на них можно растачивать отверстия, вырезать отверстия большого диаметра в листовой заготовке, притирать точные отверстия и т. д. Производящие линии обрабатываемых поверхностей получают методом следа и копирования. Так, при сверлении, зенкеровании, развертывании и растачивании образующие в виде окружностей ava (рис. 6.1) получают методом следа. Эти образующие перемещаются по направляющим ac в виде отрезков прямых линий. При нареза-

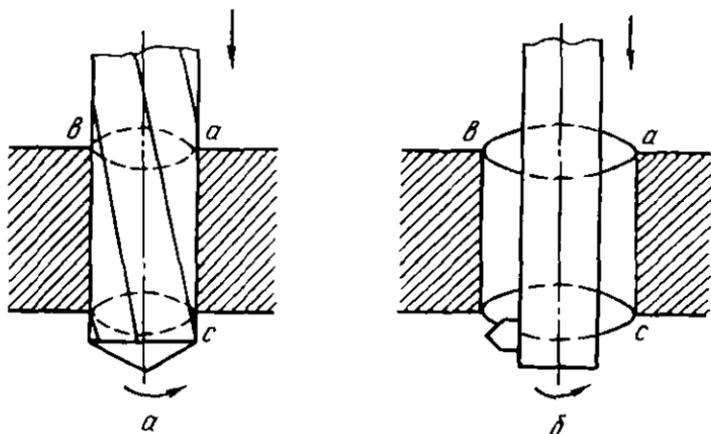


Рис. 6.1. Схемы обработки отверстий: *a* — сверление; *б* — растачивание

нии резьбы образующая (профиль резьбы) получается методом копирования. Она перемещается по направляющей в виде винтовой линии.

На сверлильных станках в качестве инструмента при обработке отверстий используются сверла, зенкеры, развертки, расточные оправки и другой специальный инструмент, а при нарезании резьбы — метчики.

Согласно классификации сверлильные станки относятся ко 2-й группе. Они подразделяются на вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, центральные, для глубокого сверления и многошпиндельные. Типоразмер вертикально-сверлильных и радиально-сверлильных станков определяется наибольшим диаметром сверления.

§ 6.1. Вертикально-сверлильные станки

На вертикально-сверлильных станках в условиях индивидуального и мелкосерийного производства обрабатывают гладкие и резьбовые отверстия в очень мелких и мелких деталях классов некруглые стержни (рычаги), диски, полые цилиндры (втулки) и корпусные детали. Для обработки отверстий диаметром до 75 мм используется размерный ряд станков с наибольшим диаметром сверления 18, 25, 35, 50 и 75 мм. Этот основной параметр записывается двумя последними цифрами в условном обозначении станков, например, 2А118, 2Н125, 2Н135 и т. д. Вторая цифра (единица) означает, что эти станки — вертикально-сверлильные.

На рис. 6.2 показан общий вид вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135. На фундаментной плите 1 смонтирована стойка

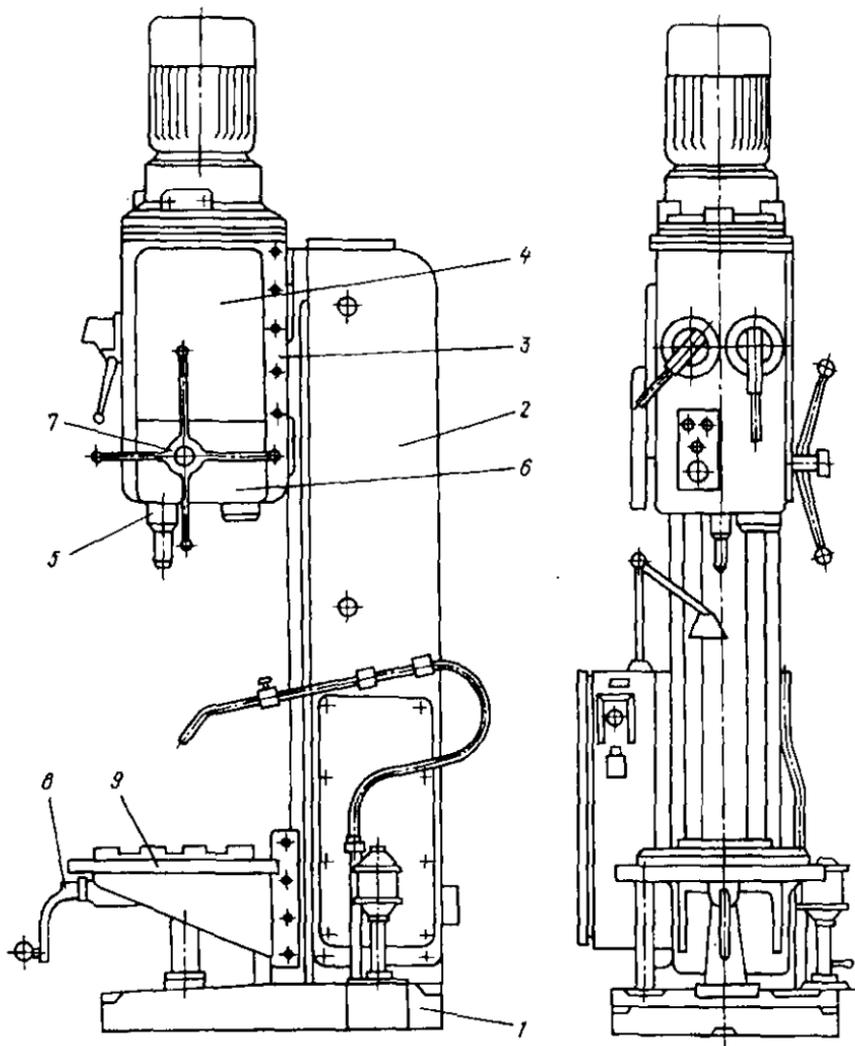


Рис. 6.2. Общий вид вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135:
 1 — фундаментная плита; 2 — стойка; 3 — корпус шпиндельной бабки;
 4 — коробка скоростей с коробкой подачи; 5 — шпиндельный узел;
 6 — механизм подачи; 7 — штурвал; 8 — рукоятка; 9 — стол

(колонна) 2 коробчатой формы. В ее верхней части на вертикальных направляющих закреплен корпус 3 шпиндельной бабки, в котором размещены подвижный в осевом направлении шпиндельный узел 5, коробка скоростей с коробкой подачи 4 и механизм подачи 6 шпиндельного узла. Поднимать и опускать шпиндельный узел можно механически или с помощью штурвала 7

вручную. В нижней части стойки по вертикальным направляющим может перемещаться с помощью рукоятки δ вручную стол 9 , на котором устанавливают приспособления с обрабатываемыми заготовками. Величина подъема или опускания стола зависит от высоты приспособления с заготовкой.

В вертикально-сверлильном станке инструмент 1 (рис. 6.3) совершает два простых формообразующих движения: $\Phi_y(B_1)$ — главное движение и $\Phi_z(\Pi_2)$ — движение подачи. Что касается заготовки 2 , то при сверлении нескольких отверстий ее вместе с приспособлением перемещают на столе 3 вручную до совмещения оси каждого обрабатываемого отверстия с осью вращения шпинделя. Совмещение осей обеспечивается либо направляющими втулками кондукторной плиты приспособления, либо путем совмещения ручную конуса сверла с коническими углублениями от керна, которые наносятся на заготовку при разметке. В последнем случае получается низкая точность межосевого расстояния — в пределах $\pm 0,5$ мм.

Для осуществления указанных формообразующих движений предусматриваются две простые кинематические группы, образующие кинематическую структуру станка. Формообразующее движение $\Phi_y(B_1)$ осуществляется группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпинделя 4 , а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v . В вертикально-сверлильных станках в качестве органа настройки применяются коробки скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения (рис. 6.4). В другой кинематической группе, осуществляющей формообразующее движение $\Phi_z(\Pi_2)$, внутренняя связь обеспечивается поступательной парой гильзы 5 шпиндельного узла, а внешняя — кинематической цепью $a-b-v$ с органом настройки i_z , каким является коробка подач со ступенчатым регулированием величины подач.

При настройке кинематических цепей (рис. 6.4) исходными данными являются: материал детали и инструмента, их геомет-

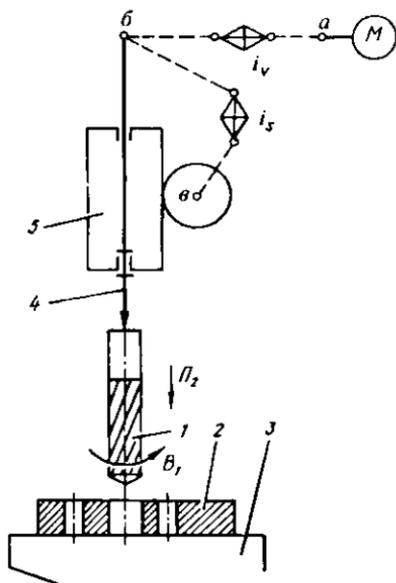


Рис. 6.3. Кинематическая структура вертикально-сверлильного станка

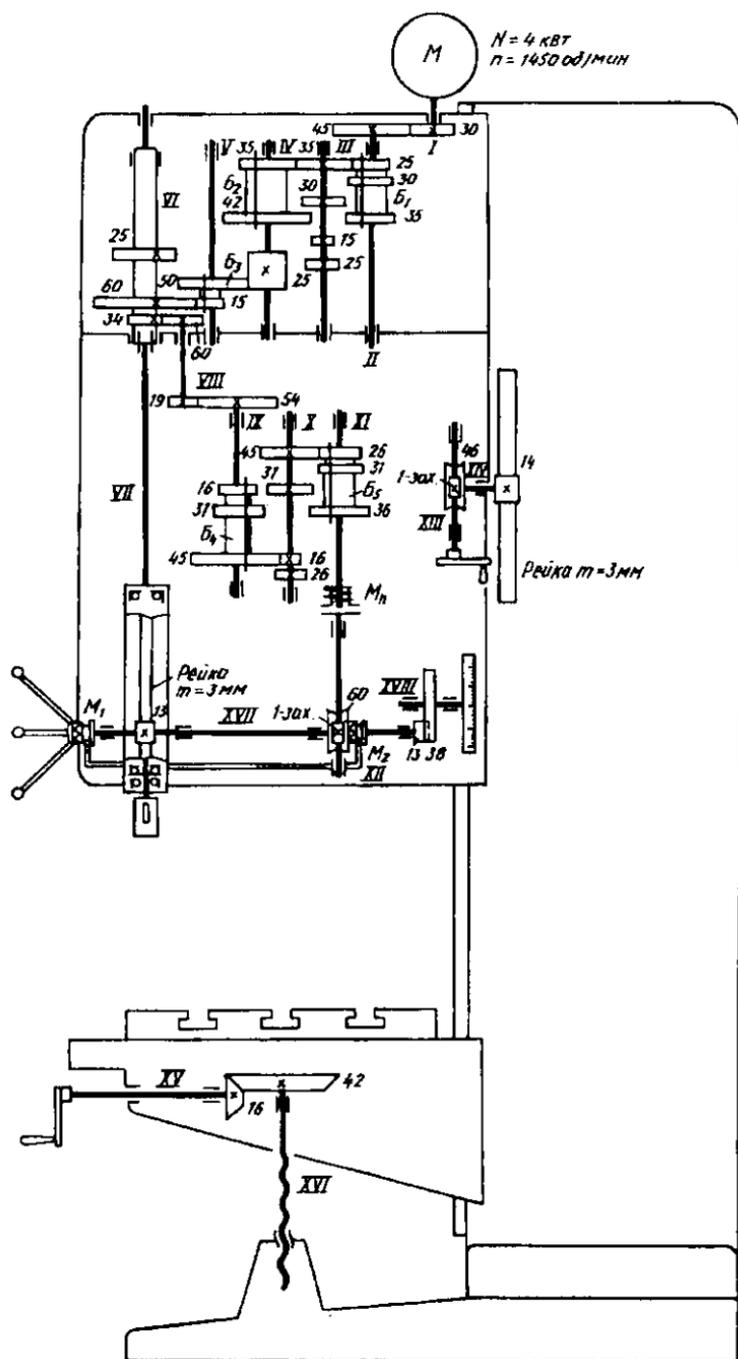


Рис. 6.4. Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка мод. 2H135

рические параметры, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями цепи являются вал электродвигателя M ($N = 4$ кВт, $n_{эл} = 1450$ об/мин) и шпиндель с инструментом. Необходимо обеспечить его частоту вращения $n_{шп}$, определяемую по формуле:

$$n_{шп} = \frac{1000 \cdot V_i}{\pi \cdot d_{ni}},$$

где d_{ni} — диаметр i -го инструмента. В случае применения комбинированного инструмента (например, сверло-зенкер) $n_{шп}$ определяется для лимитирующего инструмента.

Уравнение кинематического баланса для цепи главного движения имеет следующий вид:

$$1450 \cdot \frac{35}{45} \cdot \frac{\left| \frac{23}{35} \right|}{\left| \frac{30}{35} \right|} \cdot \frac{\left| \frac{15}{42} \right|}{\left| \frac{35}{35} \right|} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{\left| \frac{15}{60} \right|}{\left| \frac{50}{25} \right|} = n_{шп}$$

$$P_1 = 3 \quad P_2 = 2 \quad P_3 = 2.$$

Как видно из данного уравнения, коробка скоростей обеспечивает 12 частот вращения и имеет структурную формулу $z_n = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 12$. Настройка такой коробки скоростей заключается в выборе соответствующих передаточных отношений групп, обеспечивающих фактическую частоту вращения $n_{шп}$ инструмента, отвечающую условию $n_{шп} \leq n_{шп/}$.

Кинематическая цепь подачи. Конечными звеньями этой цепи являются блок шестерен, расположенный на шпинделе VII (рис. 6.4), и гильза шпиндельного узла. За один оборот шпинделя гильза вместе со шпинделем и инструментом перемещается на величину вертикальной подачи S_v . В этом случае уравнение кинематического баланса запишется в следующем виде:

$$1_{об} \cdot \frac{34}{60} \cdot \frac{19}{54} \cdot \frac{\left| \frac{16}{45} \right|}{\left| \frac{31}{31} \right|} \cdot \frac{\left| \frac{26}{36} \right|}{\left| \frac{31}{31} \right|} \cdot \frac{1}{60} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 13 = S_v$$

$$P_1 = 3 \quad P_2 = 3.$$

Коробка подачи обеспечивает 9 ступеней подачи и имеет структурную формулу $z_p = 3 \cdot 3 = 9$. Ее настройка также, как и коробки

скоростей, заключается в выборе передаточных отношений групп, которые обеспечивают фактическую подачу S_v , отвечающую условию $S_v \approx S_{v_i}$, где S_{v_i} — подача i -го инструмента, выбираемая по справочнику в зависимости от требуемой точности и шероховатости отверстия, геометрических параметров инструмента, материала заготовки и инструмента, а также условий обработки.

Подробное описание основных узлов вертикально-сверлильных станков рассматривается в работе [9].

§ 6.2. Вертикально-сверлильные станки с ЧПУ

Вертикально-сверлильные станки по сравнению с универсальными станками токарной группы в наименьшей мере оснащены средствами механизации и не имеют средств малой автоматизации. На них человек, выполняя вспомогательные движения и движения управления, дополнительно перемещает вручную заготовку при сверлении нескольких отверстий, чтобы обеспечить совпадение их осей с осью вращения шпинделя. Кроме того, ему приходится заменять инструмент при выполнении нескольких технологических переходов на обрабатываемом отверстии, а также при сверлении отверстий с различными диаметрами. В результате требуется постоянное присутствие человека и его участие при выполнении процесса обработки отверстий. Как отмечалось выше, это исключает возможность многостаночного обслуживания и вносит значительную долю субъективизма в характеристики самого процесса обработки: производительность и точность. Поэтому возникает необходимость в повышении уровня механизации вертикально-сверлильных станков и их оснащении системами ЧПУ.

На рис. 6.5 показан общий вид вертикально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2P135Ф2. В отличие от универсальных станков он имеет:

магазин инструментов в виде шестипозиционной револьверной головки 1 (координата Z), позволяющий быстро производить смену инструмента при выполнении различных технологических переходов;

крестовый стол 2 (координаты X, Y), осуществляющий перемещение заготовки по программе в продольном и поперечном направлениях, т. е. обеспечивающий совпадение осей обрабатываемых отверстий с осью вращения шпинделя, причем с высокой точностью (в пределах $\pm 0,05$ мм).

Станок оснащен системой ЧПУ "Координата С-70-3", позволяющей ему работать в полуавтоматическом цикле (установка заготовки и съем детали осуществляются вручную).

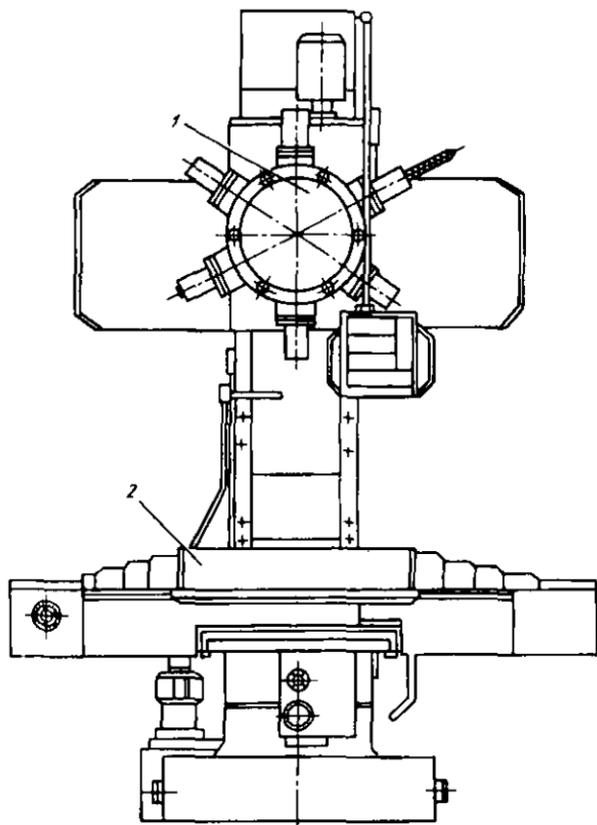


Рис. 6.5. Общий вид вертикально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2P135Ф2:
1 — штипозиционная револьверная головка; 2 — крестовый стол

Кинематическая схема рассматриваемого станка приведена на рис. 6.6. Ступенчатая коробка скоростей 1 обеспечивает 12 частот вращения шпинделя (структурная формула $z_n = 3(1 + 3)$), которые переключаются автоматически при помощи электромагнитных муфт. Ее уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$960 \cdot \begin{array}{|c|} \hline 30 \\ \hline 42 \\ \hline 36 \\ \hline 42 \\ \hline 30 \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline 24 \\ \hline 48 \\ \hline 42 \\ \hline 30 \\ \hline 48 \\ \hline 24 \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{c} \frac{15}{60} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{35}{44} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{49}{47} \cdot \frac{47}{35} = n_{\text{шп}} \\ \frac{42}{21} \cdot \frac{35}{44} \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{49}{47} \cdot \frac{47}{35} = n_{\text{шп}} \end{array}$$

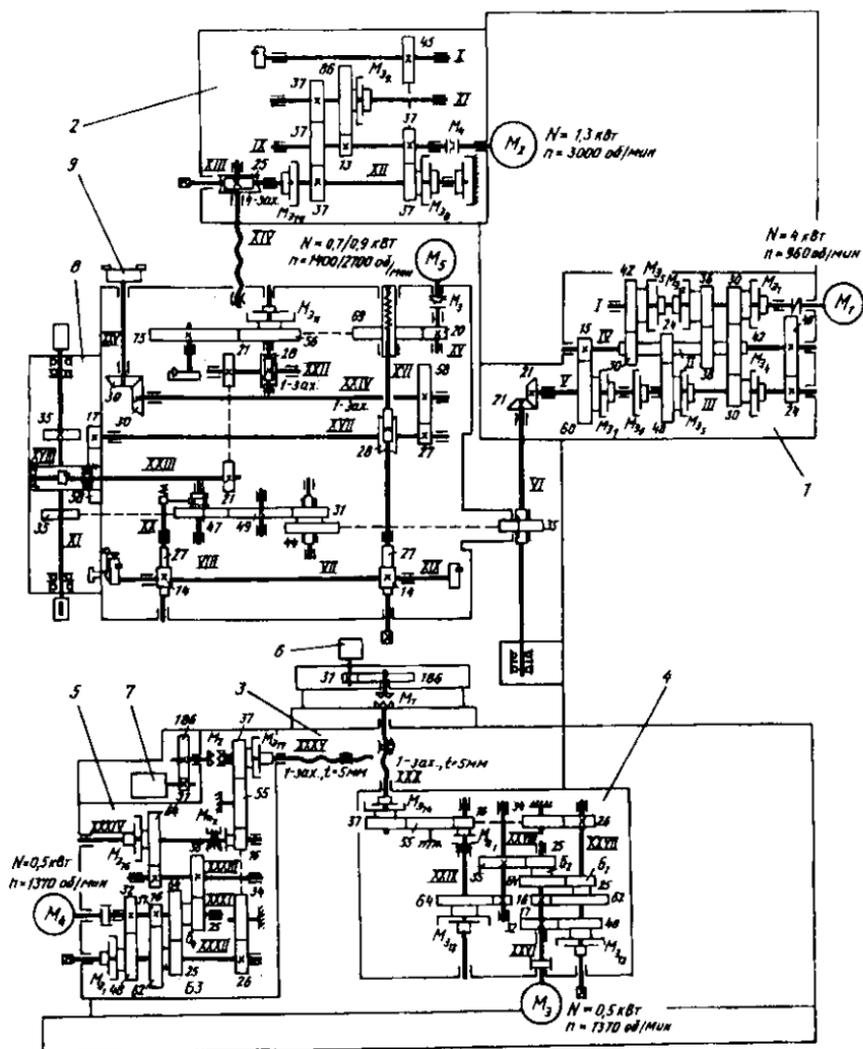


Рис. 6.6. Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2Р135Ф2

Коробка подач 2 при помощи электродвигателя постоянного тока ПБСТ-23, частота вращения которого регулируется ступенчато, обеспечивает 18 скоростей рабочей подачи и одну скорость быстрого перемещения. Для нее имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$(60 \dots 3000) \cdot \frac{13}{86} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{4}{25} \cdot t_{\text{х.в.}} = S_{\text{в.}}$$

Позиционирование крестового стола 3 в продольном и поперечном направлениях осуществляется отдельными приводами 4 и 5, каждый из которых обеспечивает две скорости его перемещения:

$$\text{быструю } V_B = 1370 \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{26}{34} \cdot \frac{34}{16} \cdot \frac{16}{55} \cdot \frac{55}{37} \cdot 5 = 3210 \text{ мм/мин};$$

$$\begin{aligned} \text{медленную (ползучую)} \quad V_M &= 1370 \cdot \frac{17}{62} \cdot \frac{25}{64} \cdot \frac{25}{55} \cdot \frac{16}{64} \times \\ &\times \frac{16}{55} \cdot \frac{55}{37} \cdot 5 = 2,1 \text{ мм/мин.} \end{aligned}$$

Переключение с быстрой на медленную (ползучую) скорость перемещения осуществляется автоматически электромагнитными муфтами. В цепях обратной связи применяются датчики в виде круговых контактных кодовых преобразователей 6 и 7, соединенных с ходовыми винтами передачи 186/31.

Зажим и разжим револьверной головки 8, ее поворот и доведение до фиксирующего упора, а также поворот командоаппарата 9 выбора инструмента, осуществляются от асинхронного двухскоростного электродвигателя М5 ($N = 0,7/0,9$ кВт, $n_{эл} = 1400/2700$ об/мин). При его включении через передачу $\frac{20}{69}$ начинает вращаться червяк $z = 1$, закрепленный на валу XVI. Так как револьверная головка еще зажата и червячное колесо $z = 28$ не может вращаться, то червяк, перемещаясь вдоль оси, посредством реечной передачи поворачивает вал VII. Этот вал, в свою очередь, посредством другой реечной передачи перемещает шток XX, который выводит из зацепления шестерню $z = 47$. В результате разрывается кинематическая цепь главного движения и шпиндель останавливается. Одновременно с этим кулачково-рычажная система на левом конце вала VII, сжимая тарельчатые пружины, освобождает от зажима револьверную головку (ее зажим осуществляется Т-образным прихватом, на который воздействуют тарельчатые пружины). В дальнейшем червяк $z = 1$, переместившись вдоль оси до упора, начинает вращаться и через передачи $\frac{1}{28} \cdot \frac{17}{58}$ поворачивает револьверную головку. В месте с ней через передачи $\frac{1}{28} \cdot \frac{17}{58} \cdot \frac{30}{30}$ поворачивается командоаппарат 9 выбора инструмента, т. е. позиции револьверной головки. При совпадении запрограммированного номера позиции с номером на револьверной головке подается команда на реверс электродвигателя М5 (реверс осуществляется при частоте вращения $n_{эл} = 1400$ об/мин). Вращаясь обратно, он доводит револьверную головку до упора и она вместе с червячным колесом $z = 28$ останавливается. Тогда червяк $z = 1$ начинает вновь перемещаться вдоль оси, но уже в обратном направлении. В результате чего происходит

включение шестерни $z = 47$ и прижим револьверной головки к суппорту. Цепь главного движения становится замкнутой и шпиндель начинает вращаться с частотой, необходимой для выполнения следующего технологического перехода.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия, мм	35
Число шпинделей револьверной головки	6
Число частот вращения	12
Пределы частоты вращения, об/мин	31,5—1400
Число подачи суппорта револьверной головки	18
Пределы подачи суппорта, мм/мин	10—500
Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин	3360
Скорость перемещения стола, мм/мин:	
быстрого	3210
медленного	2,1
Наибольший ход стола, мм:	
продольный	560
поперечный	360
Дискретность перемещения, мм	0,01
Число координат	4
Число одновременно управляемых координат	2
Тип УЧПУ	Координата С-70-3
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	4

Основными недостатками рассмотренного вертикально-сверлильного станка с ЧПУ являются:

сложность конструкции шестишпиндельной револьверной головки и ее низкая жесткость;

небольшая емкость магазина инструментов, каким является револьверная головка, что ограничивает технологические возможности станка;

сравнительно небольшие скорости быстрых перемещений стола и шпинделя, что приводит к снижению производительности станка, особенно при обработке деталей с большим числом отверстий.

Указанные недостатки устранены в более совершенном вертикальном сверлильно-фрезерно-расточном станке с ЧПУ мод. 2254ВМ1Ф4 (рис. 6.7). Он предназначен для комплексной обработки средних деталей из стали, чугуна и цветных металлов в условиях мелкосерийного и серийного производства. На станке можно производить растачивание, сверление, зенкерование и развертывание отверстий; нарезание резьб метчиками и резцами;

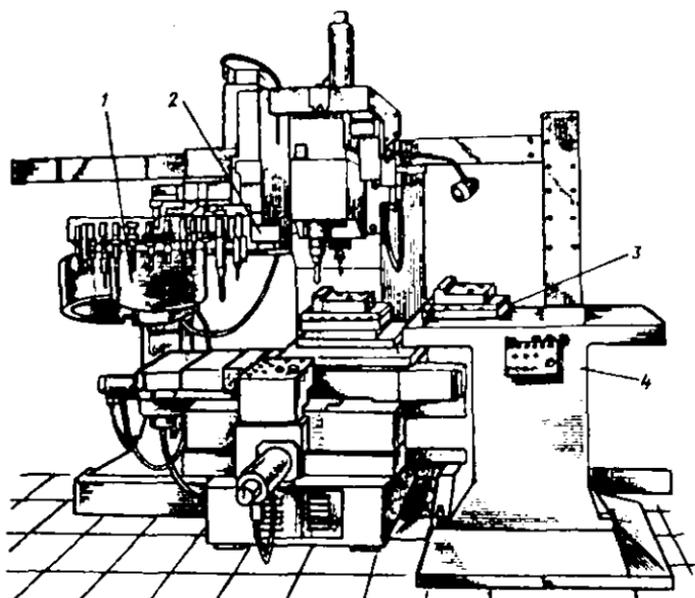


Рис. 6.7. Вертикальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ мод. 2254ВМ1Ф4: 1 — магазин инструментов; 2 — устройство автоматической смены столов — спутников с заготовками; 3 — стол-спутник

получистовое и чистовое фрезерование плоскостей, пазов и криволинейных поверхностей концевыми, торцевыми и дисковыми фрезами.

Для выполнения указанных работ станок оснащен 30-ти местным магазином 1 инструментов и имеет широкие пределы бесступенчатого регулирования частоты вращения (31,5—2000 об/мин) и подачи (1—4000 мм/мин) шпинделя. Почти в три раза увеличены скорости быстрых перемещений (10000 мм/мин) стола и шпинделя. Все это позволяет повысить производительность станка.

Производительность станка повышается также благодаря устройству 2 автоматической смены столов — спутников 3 с заготовками, которое позволяет совместить вспомогательное время на съем детали и установку заготовки с основным временем. Не совмещается лишь время на смену столов — спутников в рабочей зоне.

Конструкция шпиндельного узла станка отличается высокой жесткостью и обеспечивает высокую точность обработки во всем диапазоне частот вращения. Повышению точности обработки способствует также применение измерительных преобразователей линейных перемещений типа “индукосин”. При чистовом растачивании отверстий обеспечивается точность по 7-му квали-

тету, а при контурном фрезеровании поверхностей — по 9-му качеству. Точность межосевых расстояний находится в пределах $\pm 0,01$ мм.

Станок оснащен системой ЧПУ типа “Размер 2М-1300”, которая обеспечивает управление перемещениями исполнительных органов в контурном и позиционном режимах, а также приводами главного движения и подачи. Управление станком производится как от перфоленты, так и вручную с панели устройства ЧПУ.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Размеры рабочей поверхности стола (ширина × длина), мм	400 × 500
Регулирование частоты вращения	Бесступенчатое
Пределы частоты вращения, об/мин	31,5—2000
Регулирование подачи шпинделя	Бесступенчатое
Пределы подачи шпинделя, мм/мин	1—4000
Скорость быстрого перемещения шпинделя и стола, мм/мин	10000
Число инструментов в магазине	30
Время смены инструмента, с	13
Размеры рабочей поверхности столов-спутников (ширина × длина), мм	400 × 500
Время смены столов-спутников с заготовками, с	30
Дискретность перемещения стола, мм	0,005
Число координат	4
Число одновременно управляемых координат	3
Тип УЧПУ	“Размер 2М-1300”
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	6,3

§ 6.3. Радиально-сверлильные станки

Радиально-сверлильные станки предназначены для обработки гладких и резьбовых отверстий в средних и крупных деталях классов полые цилиндры (втулки), диски и корпусные детали в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного производства. Для обработки отверстий до 100 мм используется размерный ряд станков с наибольшим диаметром сверления 25, 35, 50, 75 и 100 мм. Эти станки, согласно классификации, относятся к 5-му типу, что отражается второй цифрой в условном обозначении модели станка.

В радиально-сверлильных станках также, как и в вертикально-сверлильных станках, совмещение осей обрабатываемых отверстий с осью вращения шпинделя осуществляется вручную.

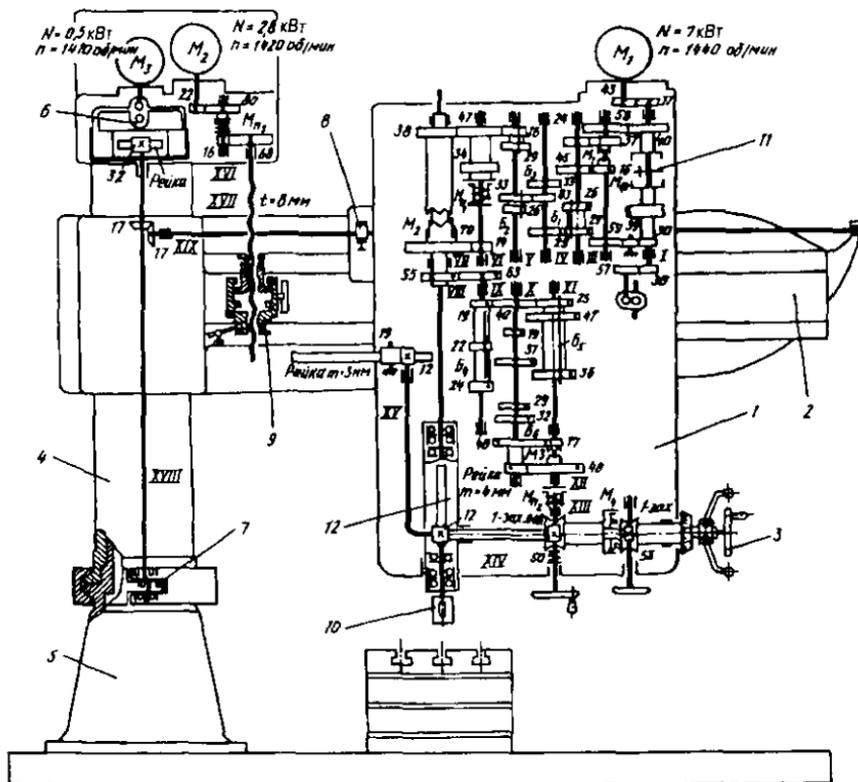


Рис. 6.8. Кинематическая схема радиально-сверлильного станка мод. 2H57: 1 — шпиндельная бабка; 2 — траверса; 3 — маховичок; 4 — поворотная наружная колонна; 5 — неподвижная внутренняя колонна; 6 — гидропривод; 7 и 8 — эксцентрики; 9 — гайка; 10 — шпиндель; 11 — муфта; 12 — гильза

Однако, в отличие от последних, в них перемещается вручную шпиндельная бабка (в полярных координатах) относительно неподвижной заготовки.

Как видно из кинематической схемы (рис. 6.8), шпиндельная бабка 1 может перемещаться по траверсе 2 при помощи реечной шестерни $z = 19$, которая вращается вручную маховичком 3 через вал XV. В свою очередь траверса вместе с поворотной наружной колонной 4 может поворачиваться вручную на неподвижной внутренней колонне 5, а также ускоренно перемещаться по поворотной наружной колонне вверх или вниз при помощи электродвигателя M_2 , зубчатых передач $\frac{22 \cdot 16}{80 \cdot 68}$ и ходового винта $t_{x.в.} = 8$ мм. После совмещения оси обрабатываемого отверстия с осью вращения шпинделя зажим шпиндельной бабки на траверсе и поворотной наружной колонны на неподвижной внутренней колон-

не осуществляется при помощи гидропривода 6, который вращает валы XVII и XVIII с соответствующими зажимными эксцентриками 7 и 8. Зажим траверсы на поворотной наружной колонне осуществляется системой рычагов, на которую воздействует гайка 9.

Кинематическая цепь главного движения. Шпиндель 10 получает вращение от электродвигателя M1 ($N = 7$ кВт, $n_{эд} = 1140$ об/мин) через коробку скоростей, обеспечивающую 32 частоты вращения, из которых 24 — различные (8 частот вращения перекрываются). Реверсирование шпинделя осуществляется электромагнитной муфтой 11, включающей или передачу $\frac{40}{56}$ (вращение по часовой стрелке), или передачи $\frac{30}{39} \cdot \frac{39}{59}$ (вращение против часовой стрелки). Для данной цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1140 \cdot \frac{43}{37} \cdot \frac{40}{56} \cdot \frac{16}{45} \cdot \frac{26}{33} \cdot \frac{23}{33} \cdot \frac{16}{47} \cdot \frac{14}{70} = n_{шп}$$

$$\frac{37}{24} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{29}{34} \cdot \frac{47}{38}$$

$$P_1 = 2 P_2 = 2 P_3 = 2 P_4 = 2 P_5 = 2.$$

Согласно этому уравнению, коробка скоростей имеет структурную формулу $z_n = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 32$. Однако, как уже отмечалось выше, она обеспечивает лишь 24 различные частоты вращения (в пределах 12,5—2250 об/мин).

Кинематическая цепь подач. Коробка подач получает движение от шестерни $z = 55$, расположенной на шпинделе, и сообщает гильзе 12 шпиндельного узла 18 скоростей подач (в пределах 0,063—3,150 мм/об). Для этой цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$1_{ос} \cdot \frac{55}{63} \cdot \frac{19}{40} \cdot \frac{19}{47} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{37}{24} \cdot \frac{36}{40} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{25}{25}$$

$$\begin{aligned} & \rightarrow \frac{1}{50} \cdot \pi \cdot 4 \cdot 12 = S_a \\ & \rightarrow \frac{17}{48} \cdot \frac{17}{48} \cdot \frac{1}{50} \cdot \pi \cdot 4 \cdot 12 = S_b \end{aligned}$$

$$P_1 = 3 P_2 = 3 \quad P_3 = (1 + 1).$$

Согласно данному уравнению, коробка подач имеет структурную формулу $z_p = 3 \cdot 3(1 + 1) = 18$.

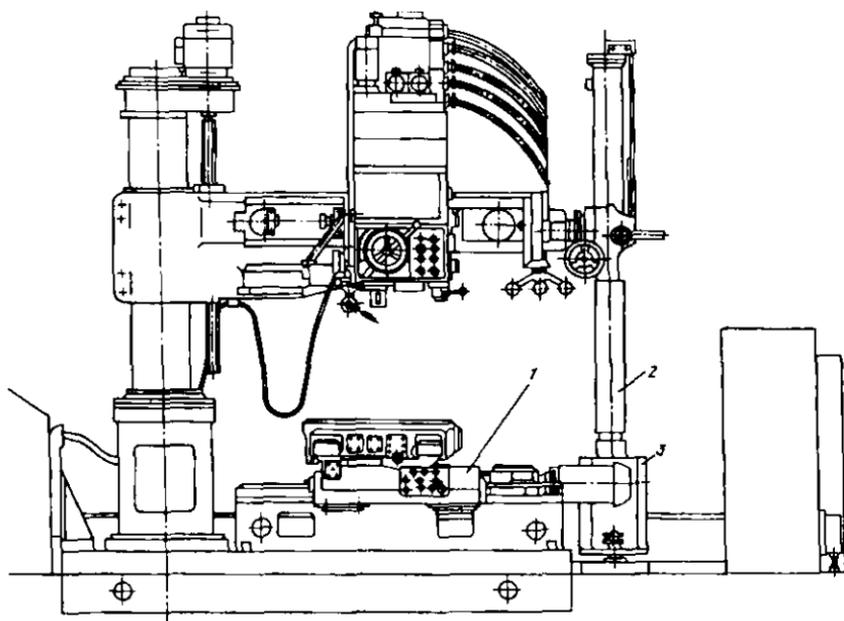


Рис. 6.9. Общий вид радиально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2М55Ф2:
1 — крестовый стол; 2 — стойка; 3 — опора траверсы

Радиально-сверлильные станки также, как и вертикально-сверлильные станки, мало оснащены средствами механизации и не имеют средств малой автоматизации. При выполнении процесса обработки отверстий значительное число движений выполняется вручную (совмещение осей обрабатываемых отверстий с осью вращения шпинделя, смена инструмента и т. д.). Поэтому и для радиально-сверлильных станков возникает необходимость в повышении уровня механизации и оснащении системами ЧПУ.

На рис. 6.9 показан общий вид радиально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2М55Ф2. В отличие от вышерассмотренного универсального станка, он оснащен крестовым столом 1 (координаты X, Y), осуществляющим перемещение заготовки по программе в продольном и поперечном направлениях. Для увеличения жесткости траверсы (консольная балка) предусмотрена стойка 2 с опорой 3 для переднего конца траверсы. Опора, как и траверса, могут перемещаться вверх или вниз в зависимости от высоты обрабатываемой заготовки. В остальном данный станок с ЧПУ аналогичен универсальному радиально-сверлильному станку. Также вручную переключаются частота вращения и скорость подачи. Вручную производится и смена инструмента.

§ 6.4. Горизонтально-расточные станки

На горизонтально-расточных станках в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного производства обрабатывают гладкие и резьбовые отверстия, плоскости и пазы в средних и крупных деталях класса корпусные детали. В качестве инструмента используются расточные борштанги (оправки), сверла, зенкеры, развертки, метчики, торцевые, цилиндрические и пальцевые (концевые) фрезы.

Основным параметром данных станков является диаметр выдвижного расточного шпинделя, несущего инструмент. Рекомендуются следующие значения диаметра шпинделя: 63, 85, 90, 110, 125, 150, 175, 220, 250 и 320 мм.

Горизонтально-расточные станки относятся к 6-му типу сверлильной группы. Их основной особенностью является горизонтальное расположение шпинделя.

На рис. 6.10 показан общий вид горизонтально-расточного станка мод. 2620А. На станине 1 установлены передняя стойка 2 и задняя стойка 3 с подвижным люнетом 4, поддерживающим борштангу с инструментом. По направляющим передней стойки может перемещаться шпиндельная бабка 5, а по направляющим станины — крестовый стол 6, на котором устанавливают заготовку.

В горизонтально-расточных станках инструмент 1 (рис. 6.11), закрепленный на выдвижном расточном шпинделе, совершает следующие движения:

при обработке гладких отверстий два простых формообразующих движения $\Phi_v(B_1)$ — главное движение и $\Phi_z(P_2)$ — движение осевой подачи;

при нарезании резьб сложное формообразующее движение $\Phi_v(B_1 P_2)$;

при фрезеровании вертикальных плоскостей и пазов два простых формообразующих движения $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_z(P_3)$ — движение вертикальной подачи.

Другой инструмент — резец 2, расположенный на планшайбе 3, предназначен для обработки торцов отверстий. Он совершает два простых формообразующих движения $\Phi_v(B_4)$ — главное движение и $\Phi_r(P_5)$ — движение радиальной подачи. Что касается заготовки, то она совершает два простых формообразующих движения $\Phi_z(P_6)$ — движение продольной подачи и $\Phi_y(P_7)$ — движение поперечной подачи, а также делительное движение $D(B_8)$.

Для осуществления вышеперечисленных движений предусматриваются соответствующие кинематические группы, образующие кинематическую структуру станка (рис. 6.11). Формообразующие движения $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_v(B_4)$ осуществляются простыми кинематическими группами, в которых внутренняя связь обеспечивается

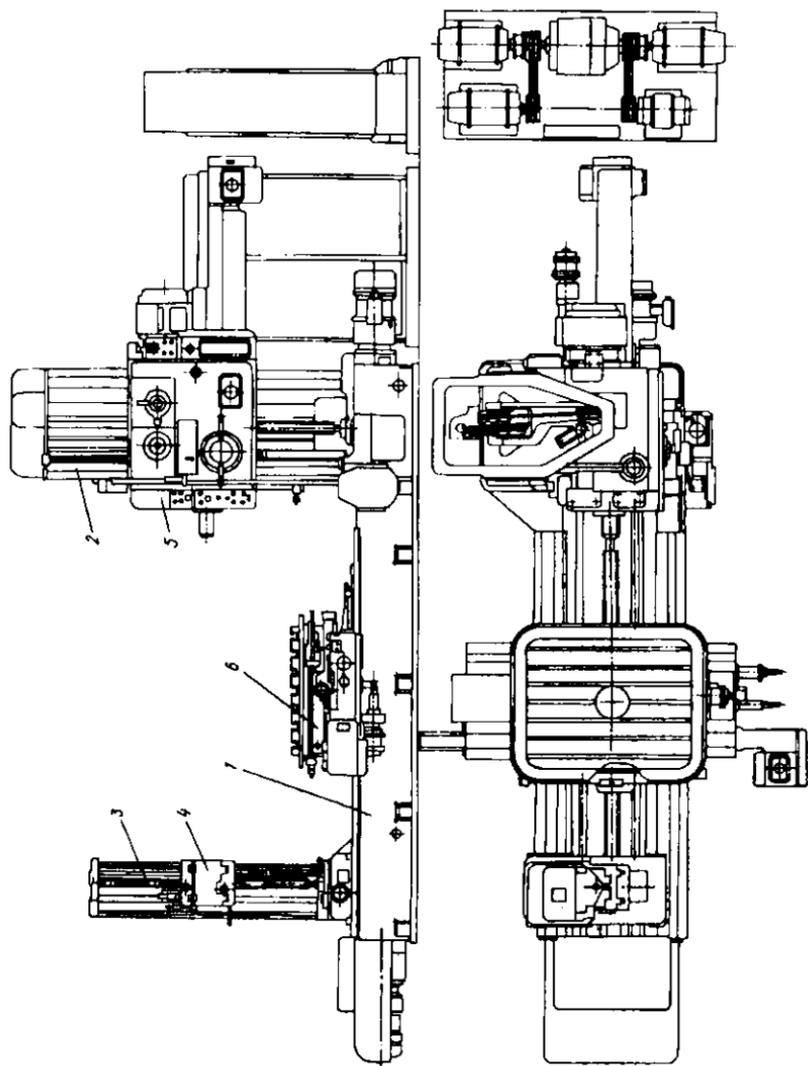


Рис. 6.10. Общий вид горизонтально-расточного станка мод. 2620А:

1 — станина; 2 — передняя стойка; 3 — задняя стойка; 4 — подвижный люнет; 5 — шпиндельная бабка; 6 — крестовый стол

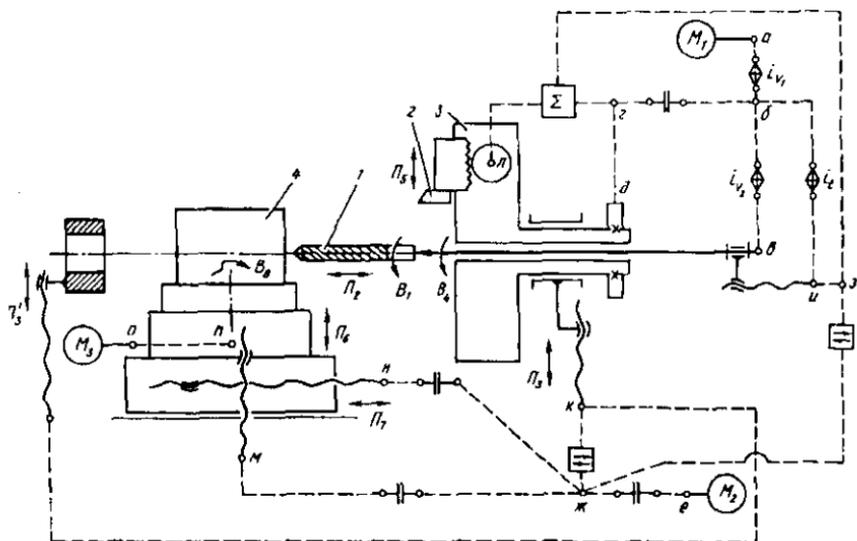


Рис. 6.11. Кинематическая структура горизонтально-расточного станка:
1 — сверло; 2 — резец; 3 — планшайба

вращательными парами соответственно выдвигного расточного шпинделя и планшайбы, а внешняя связь — кинематическими цепями $a-b-v$ с органами настройки i_{v1} , i_{v2} и $a-b-z-d$ с органом настройки i_v . Первый орган настройки i_{v1} обеспечивает 18 ступеней частоты вращения планшайбы, а первый и второй i_{v2} вместе — 36 ступеней частоты вращения выдвигного расточного шпинделя, из которых 27 — различные.

Формообразующие движения подач $\Phi_s(\Pi_2)$, $\Phi_s(\Pi_3)$, $\Phi_s(\Pi_5)$, $\Phi_s(\Pi_6)$ и $\Phi_s(\Pi_7)$, используемые при обработке гладких отверстий, плоскостей и пазов, осуществляются простыми кинематическими группами, имеющими общий источник движения — регулируемый электродвигатель $M2$ постоянного тока. В этих группах внутренняя связь обеспечивается поступательными парами соответственно выдвигного расточного шпинделя, шпиндельной бабки, радиального суппорта планшайбы, продольного и поперечного столов, а внешняя связь — кинематическими цепями $e-ж-з-и$, $e-ж-к$, $e-ж-з-л$, $e-ж-м$ и $e-ж-н$. Формообразующее движение $\Phi_v(B_1 \Pi_2)$, используемое при нарезании резьб, осуществляется сложной кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $v-b-и$ с органом настройки i_v в виде сменных колес $\frac{a \cdot c}{b \cdot d}$, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b-v$ с органом настройки i_{v1} и i_{v2} . Делитель-

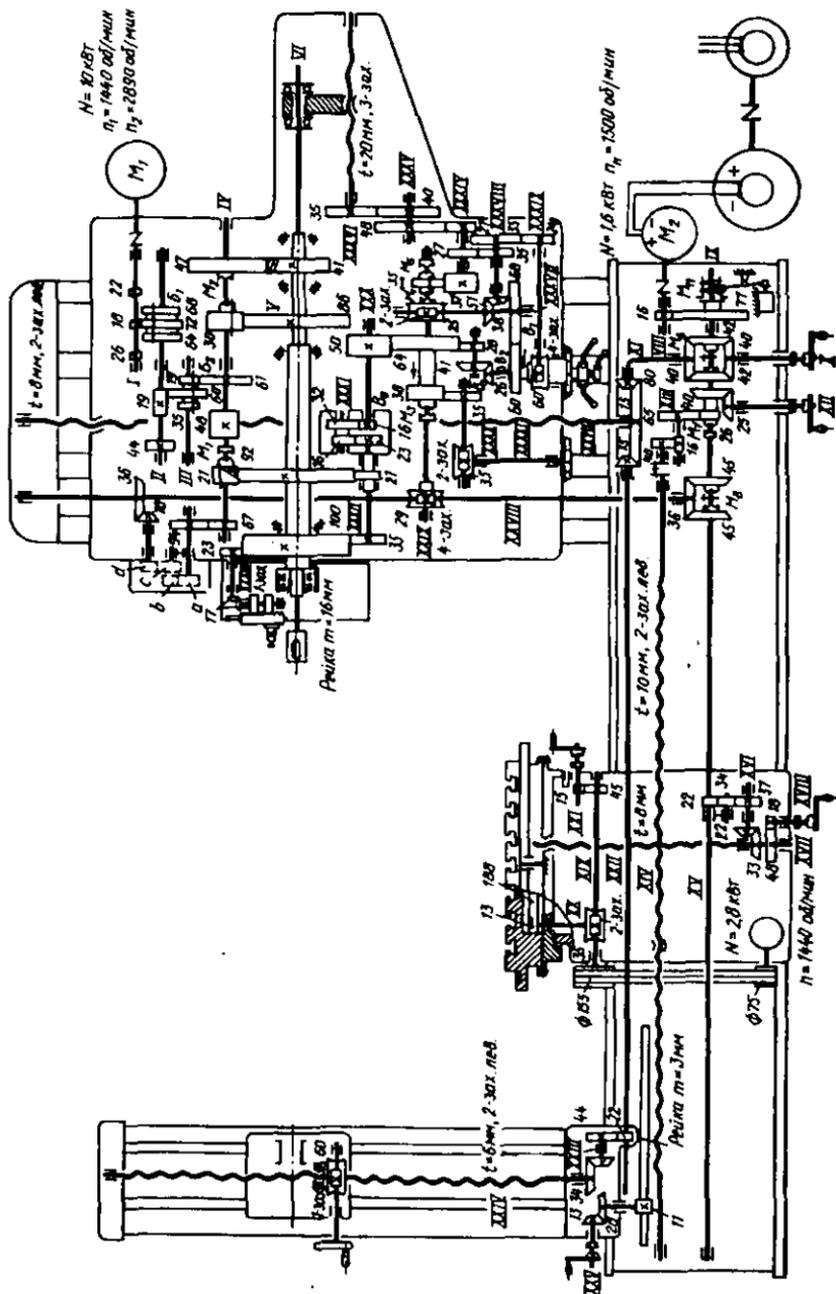


Рис. 6.12. Кинематическая схема горизонтально-расточного станка мод. 2620А

ное движение $D(B_8)$ осуществляется кинематической цепью $o-n$ с источником движения M_3 .

Исходными данными для настройки кинематических цепей горизонтально-расточных станков являются: материал детали и инструмента, их геометрические параметры, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Кинематические цепи главного движения. Как отмечалось выше, в горизонтально-расточных станках две цепи главного движения. В них конечными звеньями являются, с одной стороны, вал электродвигателя M_1 ($N = 10,0$ кВт, $n_{эл} = 1440/2890$ об/мин,) а с другой стороны, — выдвинутой расточный шпиндель I с инструментом (рис. 6.12) и планшайба 2 с резцом. Для этих цепей общее уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$\begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{c} 1440 \\ 2890 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 18 \\ 72 \\ 22 \\ 68 \\ 26 \\ 64 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{cc} 19 & 19 \\ 60 & 61 \\ 19 & 60 \\ 60 & 48 \\ 44 & 60 \\ 35 & 48 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 30 \\ 86 \\ 47 \\ 41 \end{array} \right| = n_{шп} \\
 P_3 = 2 \quad P_1 = 3 \quad P_2 = 3 \quad P_3 = 2 \\
 \cdot \frac{21}{92} = n_{пл}
 \end{array}$$

Согласно данному уравнению имеем следующие структурные формулы коробок скоростей:

для выдвинутого расточного шпинделя $z_n = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 = 36$ (различных частот вращения 27);

для планшайбы $z_n = 2 \cdot 3 \cdot 3 = 18$.

Настройка ступенчатых коробок скоростей производится также, как и в рассмотренных выше станках сверлильной группы.

Кинематические цепи подачи. В кинематических цепях осевой, вертикальной, радиальной, продольной и поперечной подачи общим органом настройки является регулируемый электродвигатель M_2 ($N = 1,6$ кВт, $n_{эл} = 1500$ об/мин) постоянного тока. Их настройка заключается в выборе частоты вращения электродвигателя M_2 , обеспечивающей требуемую скорость подачи соответствующего исполнительного органа в зависимости от выполняемого технологического перехода.

§ 6.5. Многооперационные станки, скомпонованные по типу горизонтально-расточных

Многооперационным станком называется автоматизированный станок с ЧПУ с высокой степенью интеграции операций, т. е. станок, обеспечивающий выполнение большой

номенклатуры технологических операций без перебазирования деталей и с автоматической сменой инструмента [65]. На нем могут выполняться почти все процессы обработки резанием: сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы, фрезерование плоскостей и сложных контуров.

Многооперационный станок снабжен магазином инструментов и манипулятором для их автоматической смены. Система ЧПУ станка обеспечивает:

автоматическое перемещение заготовки и инструмента по соответствующим координатным осям;

необходимое изменение частоты вращения шпинделя и рабочей подачи исполнительных органов, а также включение и выключение скоростей холостых перемещений;

автоматическую смену инструмента и управление другими устройствами станка.

По сравнению с универсальными станками многооперационные станки обеспечивают существенное повышение производительности за счет резкого сокращения вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, а также интенсификации режимов резания. Сокращение вспомогательного времени достигается в основном благодаря повышению скорости холостых ходов исполнительных органов до 10000—15000 мм/мин и автоматизации смены инструментов. В результате во времени цикла возрастает доля основного (машинного) времени. Так, по данным работы [65] доля основного времени на универсальных станках не превышает 18—20%, на станках с ЧПУ увеличивается до 50—60%, а на многооперационных станках достигает 80—90%.

Что касается интенсификации режимов резания, то она обеспечивается за счет сокращения фактической стойкости инструмента, что стало возможным благодаря быстрой замене затупившегося инструмента.

Многооперационные станки позволяют также сократить время контрольных операций на 50—70% вследствие стабильного обеспечения размеров деталей.

В конечном счете производительность изготовления деталей на многооперационных станках в 4—10 раз [65] превышает производительность обработки на универсальных станках. Кроме того, они создают хорошие условия для многостаночного обслуживания.

Важнейшим преимуществом многооперационных станков перед станками-автоматами с кулачковыми системами управления являются простота и быстрота их наладки и переналадки на изготовление различных деталей, что позволяет существенно сократить подготовительно-заключительное время. Производство с такими станками обладает высокой гибкостью и мобильностью.

Применение многооперационных станков оказывает влияние на характер труда обслуживающего персонала. Высокая степень автоматизации этих станков позволяет сократить потребность в труде высококвалифицированных операторов. Роль рабочего-оператора заключается в наблюдении за действием механизмов и устройств одного или нескольких станков (многостаночное обслуживание). При этом уменьшается доля физического труда и возрастает значение труда инженеров и техников по составлению программ, кодированию и проектированию технологических процессов, наладке станков и их ремонту.

Многооперационные станки являются базой для создания ГПМ, гибких автоматических линий (ГАЛ) и гибких производственных систем (ГПС). При создании ГАЛ и ГПС они связываются транспортной системой и управляющей ЭВМ. Такие станки и системы их эффективны в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве.

При создании многооперационных станков широко используются принципы агрегатирования и унификации [1], которые позволяют снизить стоимость производства этого высокопроизводительного и точного оборудования.

По характеру преобладающих переходов и разновидностям главного движения многооперационные станки подразделяются на три группы [75].

1. Фрезерно-сверлильно-расточные с вращением инструмента и компоновкой, аналогичной фрезерным (консольным и бесконсольным), сверлильным и горизонтально-расточным станкам.

2. Токарно-сверлильные и токарно-сверлильно-фрезерные с вращением обрабатываемой детали и компоновкой, приближающейся к компоновке станков токарной группы.

3. Станки с широким использованием различных видов обработки и оригинальной компоновкой узлов.

В зависимости от расположения шпинделя многооперационные станки разделяются на горизонтальные и вертикальные. Среди станков первой группы примерно 70% [75] — горизонтальные.

Общий вид многооперационного станка мод. 2623ПМФ4, созданного на базе горизонтально-расточного станка мод. 2623ПМ, приведен на рис. 6.13. Стойка 2 может перемещаться по продольным направляющим станины 1 (координата Z), на которой установлен поперечный стол 3 (координата X) с поворотным столом 4. По вертикальным направляющим стойки может перемещаться шпиндельная бабка 5 (координата Y) со шпинделем 6, который смонтирован на прецизионных подшипниках, обеспечивающих длительное сохранение точности вращения, повышенную жесткость и виброустойчивость. Слева от шпиндельной бабки на стойке установлен манипулятор 7, осуществляющий автоматическую смену инструментов. На отдельном фундаменте

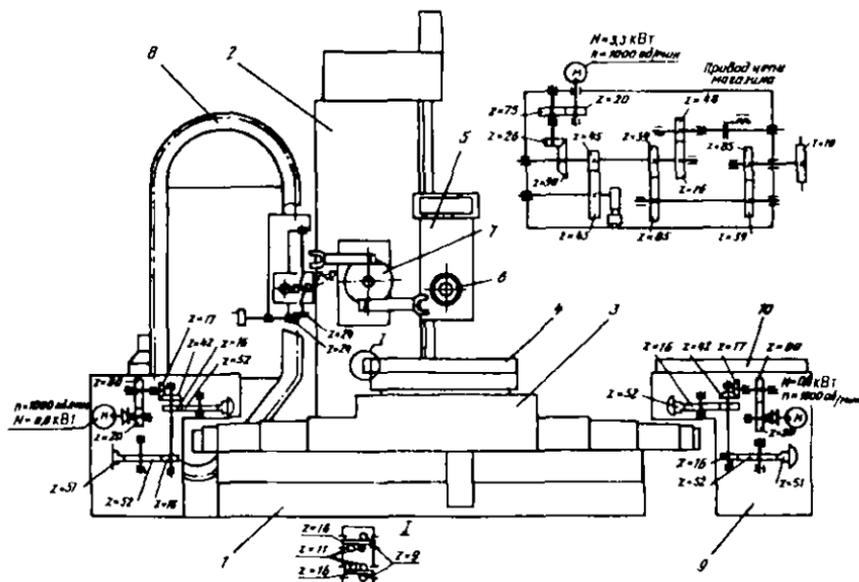


Рис. 6.13. Общий вид многооперационного станка мод. 2623ПМФ4:
 1 — станина; 2 — стойка; 3 — поперечный стол; 4 — поворотный стол;
 5 — шпиндельная бабка; 6 — шпиндель; 7 — манипулятор; 8 — цепной магазин
 инструментов; 9 — устройство загрузки; 10 — столы-спутники

расположен цепной магазин 8, вмещающий 50 инструментов. Станок оснащен устройством загрузки 9 со столами-спутниками 10, на которых производится съем готовой детали и загрузка заготовки в процессе обработки последующей детали.

На станке применяется устройство ЧПУ типа Н55-2. Программируются следующие перемещения: стола — поперечное; шпиндельной бабки — вертикальное; стойки — продольное; шпинделя — осевое; поворотного стола — круговое.

Кинематическая схема рассматриваемого многооперационного станка показана на рис. 6.14. Его привод главного движения обеспечивает широкий диапазон ступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя при помощи регулируемого электродвигателя М6 постоянного тока и двухступенчатой коробки скоростей. Частота вращения электродвигателя в диапазоне 750...2350 об/мин регулируется при постоянной мощности, а в диапазоне 47...750 об/мин — при постоянном крутящем моменте. Переключение зубчатых колес $z = 50$ и $z = 23$ в коробке скоростей осуществляется гидроцилиндрами. Причем в процессе переключения электродвигатель М6 находится в режиме качательного движения. После переключения зубчатых колес восстанавливается нормальное вращение электродвигателя.

Движение подачи и быстрые перемещения исполнительных органов — шпиндельной бабки, выдвижного шпинделя, стойки, поворотного и поперечного столов — осуществляются программируемыми приводами с высокомоментными электродвигателями, которые обеспечивают широкий диапазон скоростей подач: 2...1600 мм/мин. В качестве датчиков обратной связи используют индуктосины. При контурной обработке и нарезании резьбы внутренняя связь между соответствующими исполнительными органами обеспечивается кинематическими цепями программируемых приводов и электронными связями устройства ЧПУ.

Кинематические схемы привода цепного магазина и устройства загрузки столов-спутников приведены на общем виде станка (рис. 6.13).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Диаметр выдвижного шпинделя, мм	110
Размеры поворотного стола и стола-спутника, мм:	
ширина	1120
длина	1250
Наибольшая масса детали при установке, кг:	
на столе	4000
на столе-спутнике	2000
Перемещения, мм:	
шпиндельной бабки по оси	1250
выдвижного шпинделя	500
стойки по оси	1000
поперечного стола по оси	1600
Перемещение поворотного стола, град	360
Число частот вращения шпинделя	25
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	5—1250
Наибольший диаметр отверстия, расстачиваемого шпинделем, мм	320
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи, мм/мин	2—1600
Скорость быстрого перемещения, мм/мин	8000
Число инструментов в магазине, шт	50
Дискретность перемещения, мм	0,001
Число координат	5
Число одновременно управляемых координат	4
Тип УЧПУ	Н55-2
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	15
Общая мощность, кВт	55

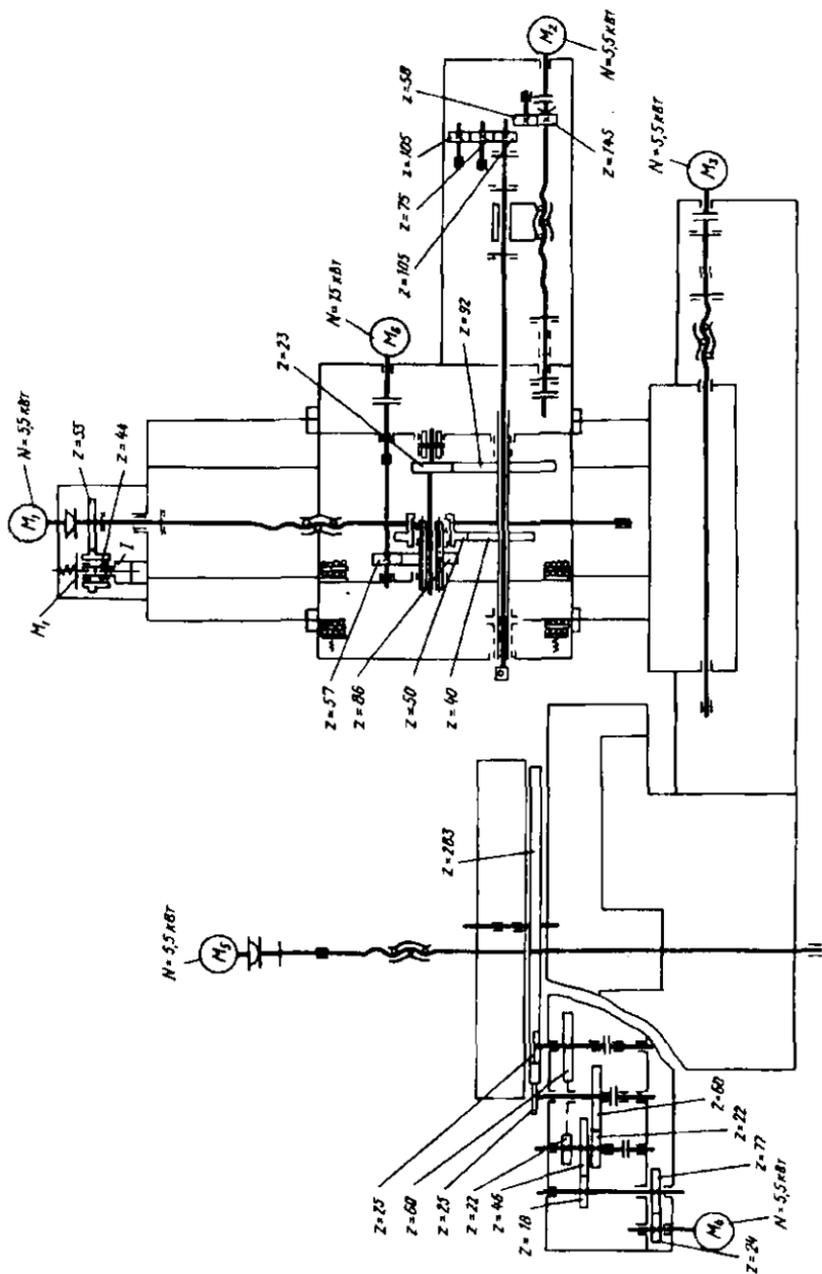


Рис. 6.14. Кинематическая схема многооперационного станка мод. 2623 ПМФ4

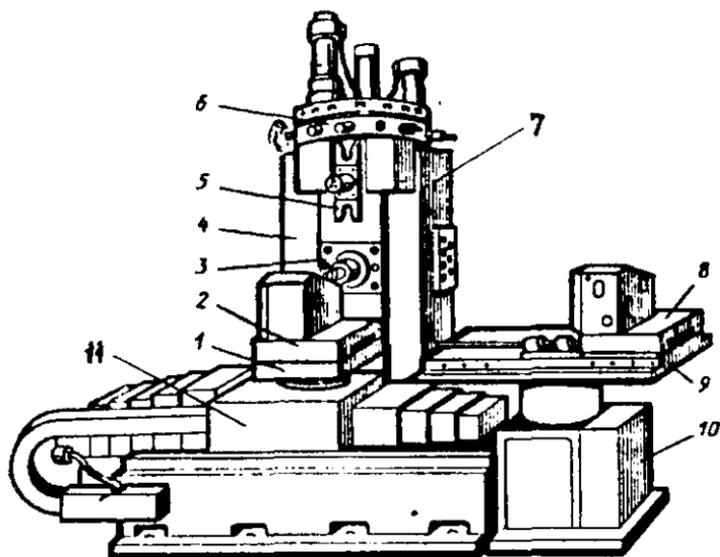


Рис. 6.15. Многооперационный станок мод. ИР500МФ4: 1 — поворотный стол; 2, 8 — спутники; 3 — шпиндельный узел; 4 — шпиндельная бабка; 5 — манипулятор; 6 — магазин; 7 — стойка; 9 — двухпозиционный поворотный стол; 10 — станина; 11 — стол

Многооперационный станок мод. ИР500МФ4*. Этот станок относится к фрезерно-сверлильно-расточной группе и имеет компоновку, аналогичную горизонтально-расточному станку. По направляющим станины 10 (рис. 6.15) могут перемещаться в продольном направлении стойка 7 (координата Z) портального типа, а в поперечном направлении — стол 11 (координата X), на торце стойки установлен поворотный стол 1 со спутником 2. В отличие от вышерассмотренного многооперационного станка в данном станке мощный шпиндель 3 и шпиндельная бабка 4 размещены не сбоку стойки, а в ее проеме. Такая компоновка, сочетающаяся с массивной и жесткой стойкой портального типа, обеспечивает высокую жесткость шпиндельного узла и точность линейных перемещений шпиндельной бабки (координата Y) [29]. На торце стойки установлен магазин 6 с 30-ю инструментами, а в ее проеме — двухзахватный манипулятор 5, осуществляющий смену инструментов. На отдельном фундаменте установлен двухпозиционный поворотный стол 9 со спутником 8, позволяющий совместить время установки заготовки и время съема детали с основным временем.

* Станок разработан Ивановским СКБ расточных станков.

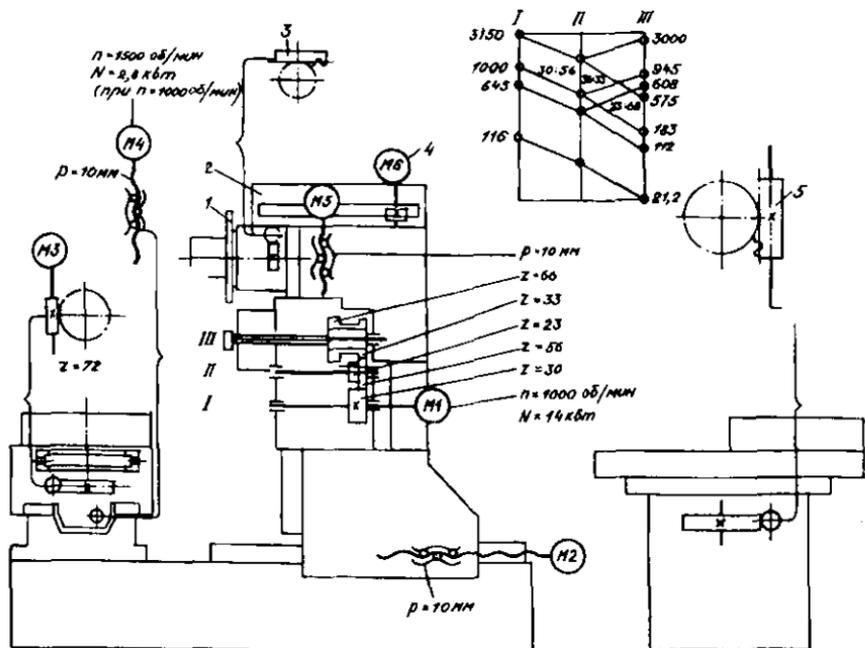


Рис. 6.16. Кинематическая схема многооперационного станка мод. ИР500МФ4

Станок оснащен позиционно-контурной системой ЧПУ высокого класса типа CNC. На нем программируются следующие перемещения: поперечное — стойки; продольное — стола; вертикальное — шпиндельной бабки; круговое — поворотного стола. Дискретность линейных перемещений 0,002 мм. В качестве датчиков обратной связи применяются резольверы. Программа может вводиться в устройство ЧПУ на перфоленте или вручную с помощью буквенно-цифровой клавиатуры на пульте, а также посредством программного накопителя, телетайпа или от центральной ЭВМ.

На рис. 6.16 представлена кинематическая схема станка. Она проста благодаря применению регулируемого электродвигателя постоянного тока для главного движения и регулируемых в широких пределах высокомоментных двигателей для приводов подачи без редукторов. В приводе главного движения для расширения диапазона регулирования частоты вращения шпинделя применяется двухступенчатая коробка скоростей с передаточными отношениями $i_1 = \frac{30}{56} \cdot \frac{56}{33}$ и $i_2 = \frac{30}{56} \cdot \frac{23}{66}$.

Основным параметром станка являются размеры рабочей поверхности стола (ширина равна длине), которые отражены в ус-

ловном обозначении модели. В данном случае размеры рабочей поверхности стола равны 500×500 мм. На таком столе можно устанавливать средние корпусные детали, длина которых находится в пределах 200—500 мм.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Размеры рабочей поверхности стола, мм	500 × 500
Число частот вращения шпинделя	89
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	21 × 3000
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подач исполнительных органов (стола, стойки, шпиндельной бабки), мм/мин	1—2000
Скорость быстрых перемещений, мм/мин	10000
Перемещение, мм:	
продольное стойки по оси	500
поперечное стола по оси	500
вертикальное шпиндельной бабки по оси	800
Дискретность перемещения, мм	0,002
Точность позиционирования, мм	0,025
Точность поворота стола, угловые секунды	± 3
Число инструментов в магазине, шт	30
Время смены инструмента, с	6
Число координат	4
Число одновременно управляемых координат	2
Тип УЧПУ	
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	14

Для обработки очень мелких и мелких корпусных деталей предназначены многооперационные станки мод. ИР200АФ4 и ИР320ПМФ4, у которых размеры рабочей поверхности стола соответственно равны 200×200 мм и 320×320 мм.

На рис. 6.17 показан многооперационный станок мод. ИР320ПМФ4. В отличие от станка мод. ИР500МФ4 в нем предусмотрен стол с вертикальным расположением рабочей поверхности и продольно-подвижный шпиндель. Конструкция станка позволяет осуществлять три режима вращения стола:

- 1) режим позиционирования — поворот стола на любой угол с точностью ± 5 угловых секунд;
- 2) режим кругового фрезерования при частоте вращения стола до 10 об/мин;
- 3) режим токарной обработки при частоте вращения до 200 об/мин.

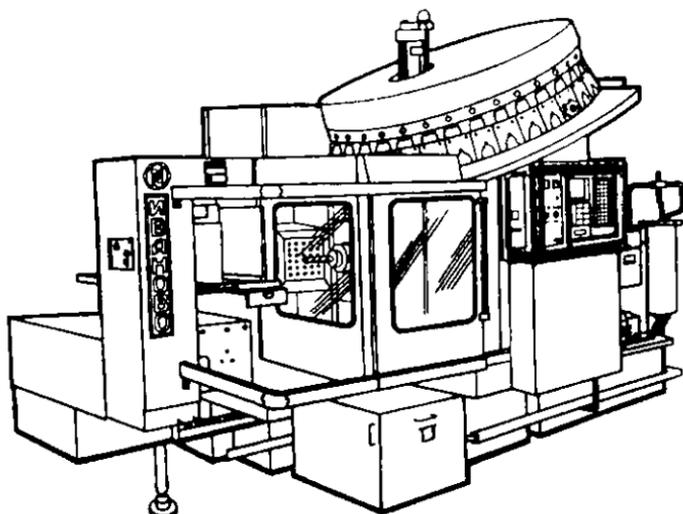


Рис. 6.17. Многооперационный станок мод. IP320PMF4

Многооперационный станок мод. FQH50A. Станок предназначен для обработки средних корпусных деталей в условиях мелкосерийного и серийного производства. На нем выполняют фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание и нарезание внутренних резьб.

По своей компоновке станок близок к горизонтально-расточному станку. На станине 1 (рис. 6.18) смонтирована стойка 2, по которой может перемещаться шпиндельная бабка 3 (координата Y). В верхней части шпиндельной бабки расположены магазин 4 инструментов и манипулятор 5, осуществляющий автоматическую смену инструмента (в крупном плане они показаны на рис. 6.19).

Заготовку устанавливают на поворотный стол 6, который при помощи крестового стола 7 может перемещаться в продольном (координата X) и поперечном (координата Z) направлениях.

Привод шпинделя осуществляется от регулируемого электродвигателя постоянного тока с тиристорным управлением, который обеспечивает частоту вращения в пределах 14...2000 об/мин. Что касается привода подач крестового стола и шпиндельной бабки, то он осуществляется с помощью индивидуальных электрических сервоприводов и шариковых пар винт-гайка.

Станок оснащен контурно-позиционной системой ЧПУ типа NS47102 (Тесла). Ввод программы осуществляется на восьмидорожковой перфоленте. Дискретность линейных перемещений 0,005 мм.

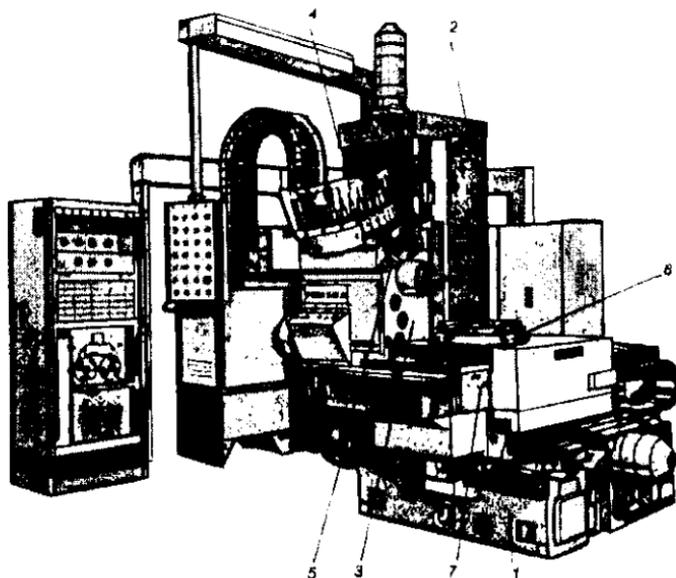


Рис. 6.18. Многооперационный станок мод. FQH50A: 1 — станина; 2 — стойка; 3 — шпиндельная бабка; 4 — магазин инструментов; 5 — манипулятор; 6 — поворотный стол; 7 — крестовый стол

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Наибольшие размеры заготовки, мм	500 × 500 × 500
Перемещение, мм:	
продольное по оси X	630
поперечное по оси Z	530
вертикальное шпиндельной бабки по оси Y	600
Дискретность перемещения, мм:	0,005
Точность позиционирования, мм	± 0,02
Точность поворота стола, угловые секунды	± 3
Число частот вращения	87
Пределы частоты вращения, об/мин	14—2000
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи исполнительных органов, мм/мин	10—1000
Скорость быстрых перемещений, мм/мин	10000
Число инструментов в магазине, шт	30
Время смены инструмента, с	8
Число координат	5
Число одновременно управляемых координат	3
Тип УЧПУ	NS47102
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	12,8

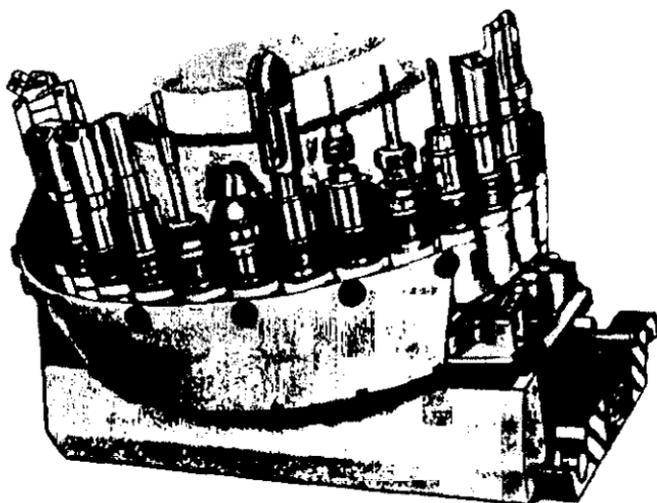


Рис. 6.19. Устройство для автоматической смены инструмента

Многооперационный станок мод. ТС400. Данный станок (рис. 6.20), в отличие от вышерассмотренных, имеет кассетный магазин инструментов большой емкости, что расширяет его технологические возможности. В стационарном кассетном магазине 1 размещается 80 инструментов, а в дополнительных кассетах от 2 до 172 инструментов. Смена инструмента производится при помощи управляемого по двум осям портального робота

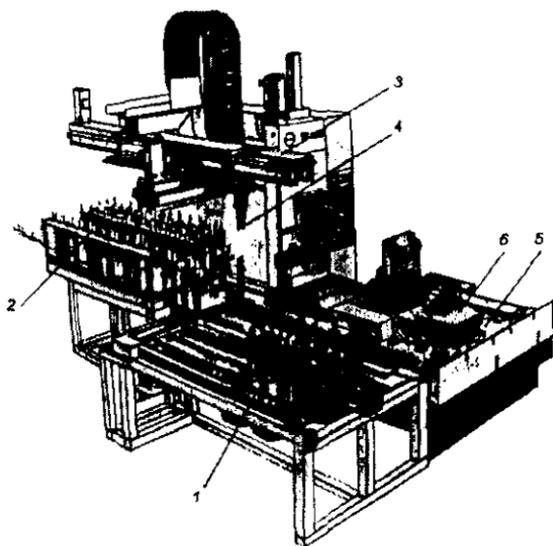


Рис. 6.20. Многооперационный станок мод. ТС400: 1 — стационарная кассета инструментов; 2 — дополнительная кассета инструментов; 3 — портальный робот; 4 — грейфер; 5 — загрузочный стол; 6 — палета

робота 3 с двумя грейферами 4. Время смены инструмента не превышает 5 с.

Станок обладает высокой производительностью, что достигается следующими путями:

1) совмещением времени установки заготовки и съема готовой детали с основным временем благодаря применению двухместного загрузочного стола 5 с палетами 6;

2) сокращением времени вспомогательных перемещений исполнительных органов за счет высокой скорости быстрых перемещений, равной 24000 мм/мин;

3) сокращением основного времени благодаря применению высокоскоростного (до 10000 об/мин) и мощного ($N = 25$ кВт) привода главного движения.

На станке достигается также высокая точность обработки. Этому способствуют:

1) высокая жесткость шпиндельного узла на масляно-воздушной смазке с непосредственным приводом (без механических передач) от трехфазного электродвигателя с полым валом и водяным охлаждением (от системы СОЖ);

2) термосимметричность конструкции станка;

3) высокая жесткость направляющих качения;

4) высокая разрешающая способность датчиков обратной связи — 0,001 мм.

Многооперационные станки японской фирмы "MITSUI SEIKI". Указанная фирма выпускает несколько разновидностей многооперационных станков, близких по компоновке

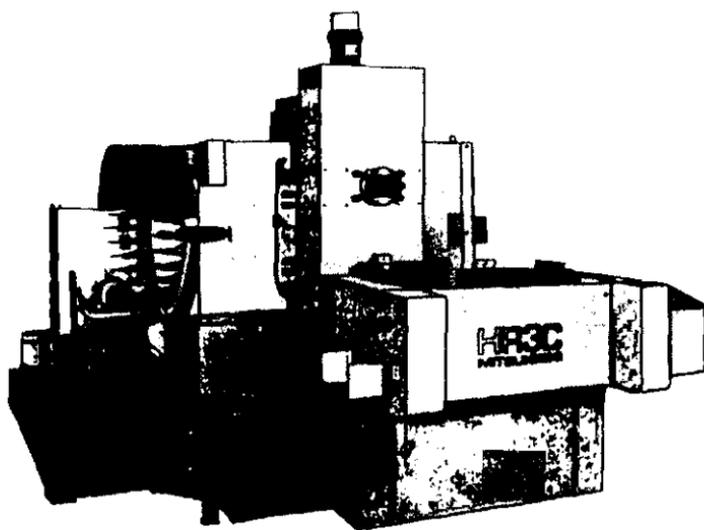


Рис. 6.21. Многооперационный станок мод. HR3C

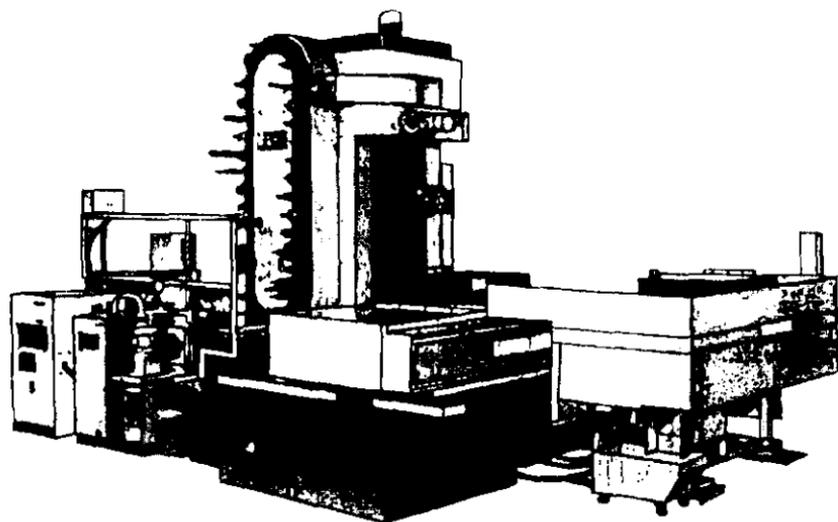


Рис. 6.22. Многооперационный станок мод. HR5B

к горизонтально-расточным станкам. В зависимости от размеров рабочей поверхности стола они имеют различной конструкции магазины инструментов, которые монтируются рядом с боковой стеной стойки, несущей шпиндельную бабку. Станки мод. HR3С (рис. 6.21) с размерами рабочей поверхности стола 400×400 мм выпускают с магазинами дискового типа на 30, 45 и 60 инстру-

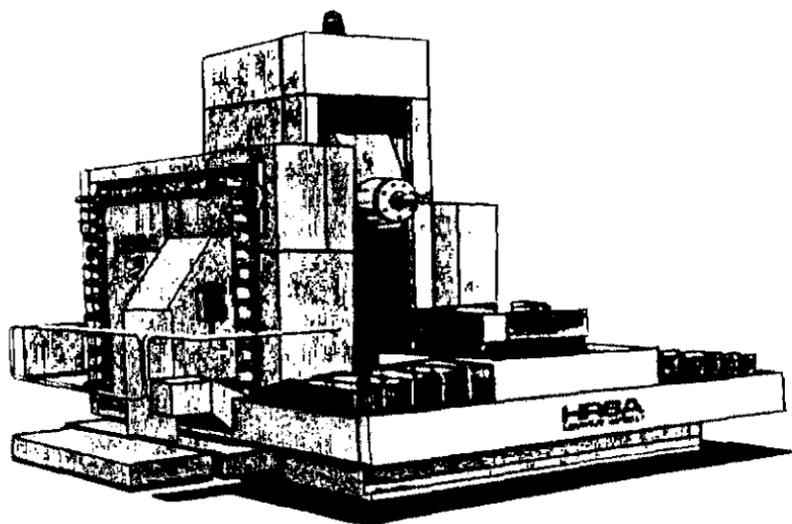


Рис. 6.23. Многооперационный станок мод. HR6A

ментов. Цепным магазином овальной формы на 32, 46 и 60 инструментов оснащают станки мод. *HR5B* (рис. 6.22) с рабочей поверхностью стола 630×630 мм. Таким же цепным магазином, но квадратной формы, на 32, 46 и 60 инструментов оснащают станки мод. *HR6A* (рис. 6.23) с рабочей поверхностью стола 1000×1000 мм.

В указанных станках по координате *У* перемещается шпиндельная бабка, по координате *Х* — продольный стол и по координате *Z* — поперечный стол. Для всех координат дискретность перемещения равна 0,001 мм. Скорость быстрых перемещений 12000 мм/мин.

Станки оснащены загрузочными устройствами с палетами, которые позволяют совместить вспомогательное время на установку заготовки и съем готовой детали с основным временем (загрузочное устройство на станке мод. *HR6A* не показано). Эти устройства в сочетании с высокой частотой вращения шпинделя (например, для станка мод. *HR3C* $n_{\max} = 4500$ об/мин) и высокой скоростью быстрых перемещений (12000 мм/мин) обеспечивают высокую производительность станков. Область их эффективного применения — мелкосерийное и серийное производство.

§ 6.6. Тенденции развития многооперационных станков фрезерно-сверлильно-расточной группы

Основными технико-экономическими показателями станочного оборудования, в том числе и многооперационных станков, являются: производительность, точность, надежность, гибкость и показатели экономической эффективности (см. главу 1). С их улучшением связаны тенденции развития многооперационных станков. Они в основном совпадают с тенденциями развития токарных станков с ЧПУ и токарных ГПМ (см. § 4.5). Однако, есть тенденции, которые характерны, главным образом, для многооперационных станков фрезерно-сверлильно-расточной группы.

1. Использование агрегатно-модульного принципа при создании многооперационных станков из унифицированных узлов и деталей, что позволяет существенно ускорить проектирование и изготовление новых моделей, а также более полно удовлетворить требования заказчика. Этот принцип создает хорошие предпосылки для реализации системы автоматизированного проектирования рациональных вариантов компоновок [4,81], обеспечивающих улучшение технико-экономических показателей многооперационных станков.

2. Оснащение многооперационных станков загрузочными устройствами с палетами, которые позволяют совместить время установки заготовки и съема готовой детали с основным време-

нем, т. е. повысить производительность. Кроме того, такие станки легко встраивать в ГАЛ и ГПС.

3. Использование в комплекте с режущим инструментом измерительных головок для обмера деталей на станке, т. е. для контроля результатов технологического процесса обработки.

4. Применение прецизионных замкнутых направляющих качения, обеспечивающих высокую точность и плавность перемещения исполнительных органов, малые потери на трение, долговечность и износоустойчивость.

5. Использование сменных многошпиндельных головок для параллельной обработки групп отверстий. Эти головки получают движение от основного или специально предусмотренного шпинделя.

§ 6.7. ГПМ фрезерно-сверлильно-расточной группы

Для повышения эффективности использования многооперационных станков их оснащают устройствами автоматической смены спутников (палет) с обрабатываемыми деталями и транспортными системами с накопителями (магазинами) спутников. В результате появляется возможность автоматической переналадки станков при переходе на обработку деталей другого наименования, встраивания их в автоматизированные комплексы [30], а также организации работы станков с ограниченным участием обслуживающего персонала, т. е. в условиях “безлюдной технологии”.

Многооперационные станки в сочетании с вышеуказанными устройствами образуют ГПМ.

На рис. 6.24 представлена схема ГПМ с цепным накопителем спутников фирмы “HITACHI SEIKO” (Япония). Накопитель 1 имеет овальную форму и оснащен приводами 2 и 3. Привод 2 сообщает ему прерывистое (шаговое) одностороннее перемещение, а привод 3 передает спутник 4 с заготовкой из накопителя на трехпозиционное челночное устройство 7, которое обеспечивает автоматическую смену спутников на многооперационном станке 5. Этот процесс осуществляется в следующей последовательности. Спутник с обработанной деталью при помощи стола 6 станка перемещается из рабочей зоны Г на позицию Б, с которой челночное устройство передает его на позицию В. Далее челночное устройство передает спутник с заготовкой с позиции А на позицию Б, с которой стол станка перемещает его в рабочую зону Г. В процессе обработки новой заготовки спутник с готовой деталью при помощи челночного устройства передается с позиции В на позицию А и далее приводом 3 — в пустую ячейку накопителя (магазина). Последний перемещается на шаг и транспортная система готова к повторению цикла.

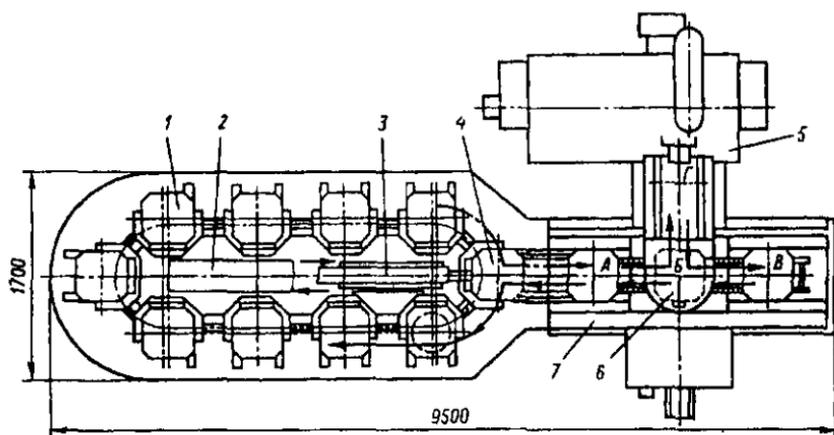


Рис. 6.24. Схема ГПМ с цепным накопителем спутников фирмы "HITACHI SEIKI" (Япония): 1 — накопитель (магазин) спутников; 2 — привод накопителя; 3 — механизм передачи спутника; 4 — спутник с заготовкой; 5 — многооперационный станок; 6 — стол станка; 7 — челночное устройство

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАКОПИТЕЛЯ

Число позиций накопителя для спутников, шт	10
Габаритные размеры спутников, мм	500 × 500
Масса спутника, кг	140
Наибольшие размеры обрабатываемой детали (длина × ширина × высота), мм	600 × 600 × 700
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	500
Скорость транспортировки спутников, м/мин	5
Время смены спутников, с	90

Магазин спутников в виде роликово-цепного конвейера замкнутого прямоугольного типа той же японской фирмы показан на рис. 6.25. Он имеет две продольные роликовые ветви 2 и две поперечные укороченные цепные ветви 3, которые обеспечивают ускоренное перемещение спутников 5 от одной продольной роликовой ветки к другой. Передача спутников с ветви на ветвь производится четырьмя угловыми подъемными механизмами 4. Для установки заготовок и снятия обработанных деталей служит позиция с поворотным столом 1. Она может быть использована для связи с внешним конвейером автоматизированного комплекса. Для передачи спутника с заготовкой на трехпозиционное челночное устройство 8, а также спутника с обработанной деталью с челночного устройства в магазин служит механизм 6. Цикл автоматической смены спутников такой же, как и в предыдущем ГПМ.

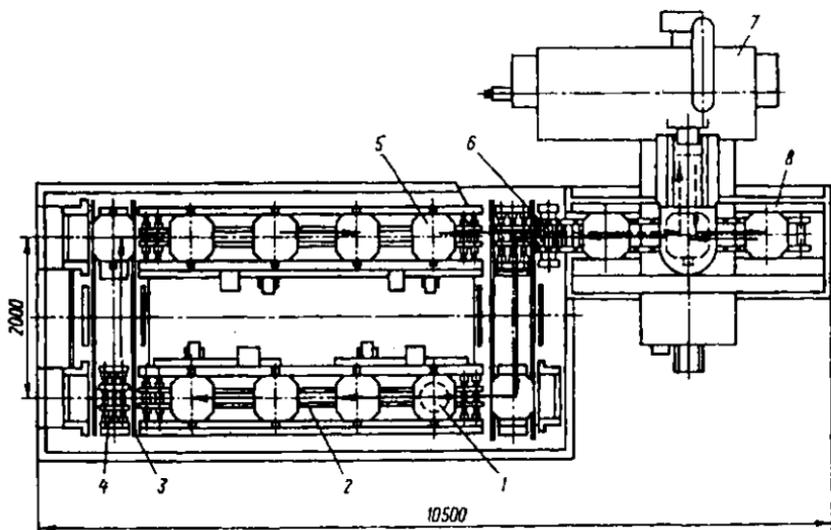


Рис. 6.25. Схема ГПМ с роликово-цепным накопителем спутников фирмы "HITACHI SEIKI": 1 — позиция с поворотным столом; 2 — продольная роликовая ветвь конвейера; 3 — поперечная цепная ветвь конвейера; 4 — подъемный механизм; 5 — спутник; 6 — механизм передачи спутников на челночное устройство; 7 — многооперационный станок; 8 — челночное устройство

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАКОПИТЕЛЯ

Число позиций накопителя для спутников, шт	12
Габаритные размеры спутников, мм	630 × 630
Масса спутника, кг	280
Наибольшие размеры обрабатываемой детали (длина × ширина × высота), мм	800 × 800 × 700
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	900
Скорость транспортирования спутников, м/мин	5
Скорость передачи спутников цепным конвейером, м/мин	7
Высота подъема спутников на угловых позициях накопителя, мм	60
Время смены спутников, с	90

Чтобы исключить перемещение всех спутников в процессе их автоматической смены, применяют накопители с самоходной транспортной тележкой (рис. 6.26). Такой накопитель фирмы "LHEON" (Япония) может обслуживать один или два многооперационных станка. Он включает: двухсторонний стеллаж — накопитель 1 спутников 2 на 20 позиций, которые для удобства установки заготовок и снятия обработанных деталей выполнены

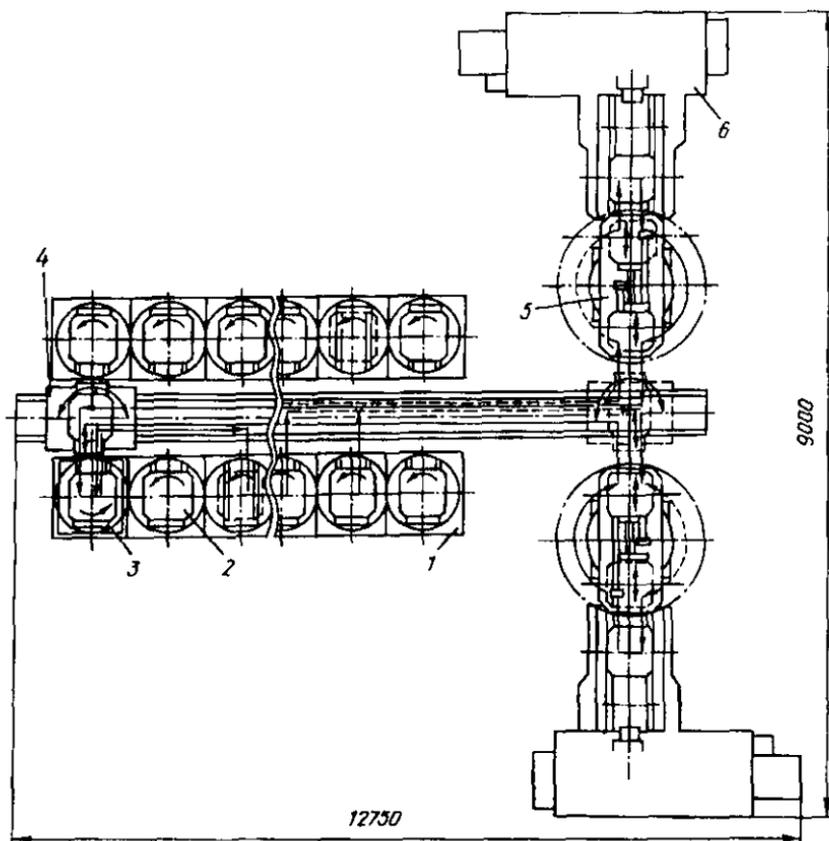


Рис. 6.26. Схема станочного комплекса со стеллажом-накопителем спутников и транспортной тележкой фирмы "LHEON" (Япония): 1 — стеллаж-накопитель; 2 — спутники; 3 — приемно-передаточное устройство; 4 — самоходная транспортная тележка; 5 — устройство автоматической смены спутников; 6 — многооперационные станки

поворотными; приемно-передающее устройство 3 с поворотным столом, служащее для загрузки заготовок и разгрузки обработанных деталей, а также связи системы с внешним транспортом автоматизированного комплекса; самоходную транспортную тележку 4, которая доставляет спутники из стеллажа-накопителя на приемно-передающее устройство 5 многооперационных станков 6 и обратно в стеллаж-накопитель.

Станки 6, входящие в автоматизированный комплекс, имеют магазины на 60 инструментов каждый. Этот комплекс предназначен для обработки 50 наименований корпусных деталей из легких сплавов размерами 600 × 600 мм и массой ≈ 30 кг. Средний размер партии в месяц составляет 50—60 деталей.

Вышерассмотренные ГПМ с накопителями спутников могут работать в течение ночной смены без участия оператора. Такие ГПМ имеют неограниченные возможности для создания различных автоматизированных комплексов.

§ 6.8. Особенности конструкции станков с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы

Анализ конструкций станков с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы показывает, что им присущи те же конструктивные особенности, которые характерны для станков с ЧПУ токарной группы (см. § 4.9). К основным особенностям относятся:

применение привода главного движения с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и привода подач с высокомоментными электрическими двигателями в сочетании с передачей винт-гайка качения;

использование магазинов инструментов различного конструктивного исполнения;

оснащение станков измерительными устройствами контроля размеров деталей и системами автоматической коррекции положения и перемещения инструмента;

применение модульного принципа при создании станков;

использование различных защитных устройств направляющих исполнительных органов и конвейеров для уборки стружки.

Необходимо отметить разнообразие конструктивного исполнения устройств автоматической сме-

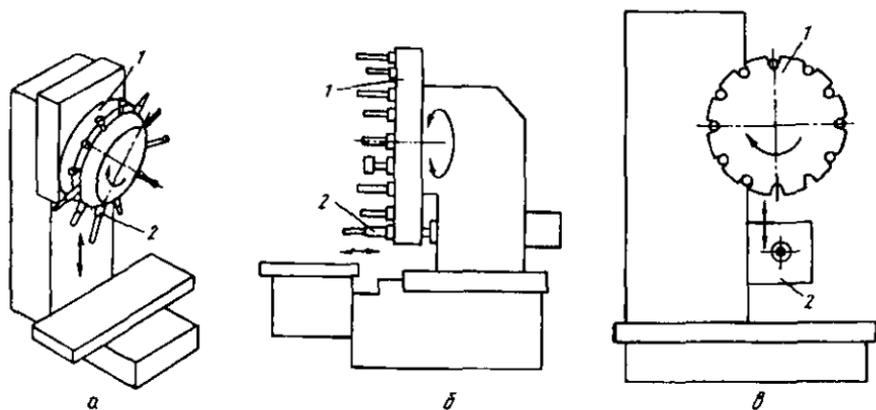


Рис. 6.27. Схемы устройств для автоматической смены инструмента:
а, б — с револьверными головками; *в* — с магазином без манипулятора;
 1 — магазин; 2 — шпиндель

ны инструментов, применяемых в станках фрезерно-сверлильно-расточной группы. Они подразделяются на три типа [67]:

- 1) устройства, обеспечивающие смену инструмента путем поворота револьверной головки, в которой они установлены;
- 2) устройства автоматической смены инструментов без манипулятора;
- 3) устройства автоматической смены инструментов с манипуляторами.

Схемы устройств первого типа приведены на рис. 6.27а, б. В первом варианте (рис. 6.27а) ось револьверной головки перпендикулярна или почти перпендикулярна оси вращения шпинделя, а во втором — параллельна. Револьверные головки могут поворачиваться выборочно в любом направлении и останавливаться в любой позиции. Шпиндель позиции, которая находится в рабочей зоне, получает вращение от общего привода главного движения.

На рис. 6.28 показан станок мод *FCR50NC* (Чехия), имеющий револьверную головку с шестью позициями. Недостатками таких устройств являются сложность конструкции револьверных головок и малое число позиций, а, следовательно, и инструментов (максимум до 12-ти).

Схема устройства второго типа приведена на рис. 6.27в. Здесь перенос инструмента из магазина 1 в шпиндель 2 станка и обратно осуществляется за счет соответствующих движений магазина и шпинделя. Недостатком устройств этого типа являются

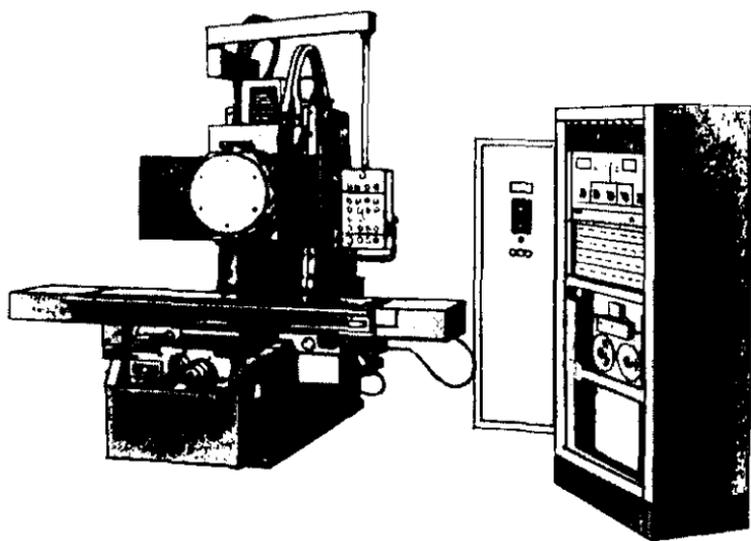


Рис. 6.28. Фрезерно-сверлильный станок с ЧПУ мод. *FCR50NC* (Чехословакия) с револьверной головкой

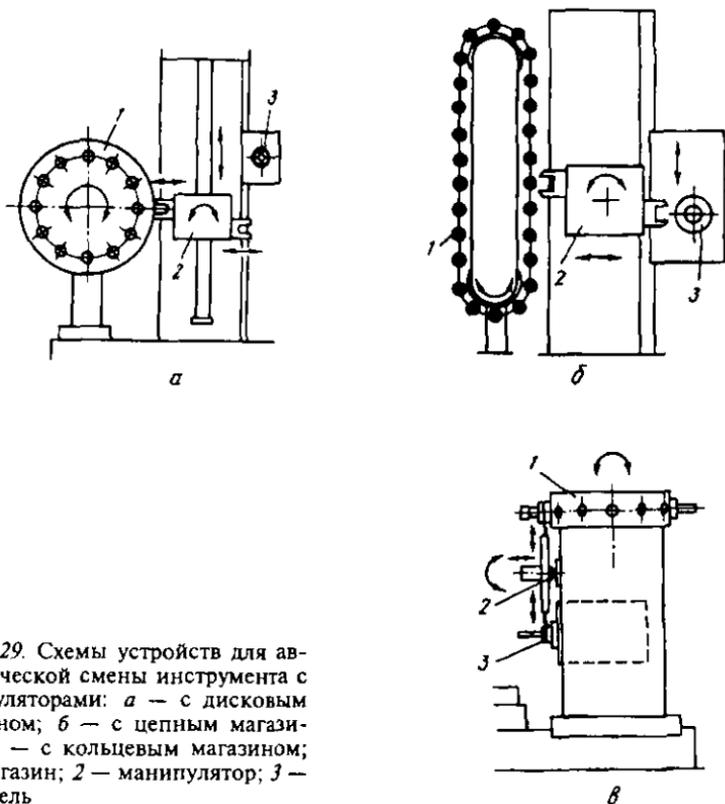


Рис. 6.29. Схемы устройств для автоматической смены инструмента с манипуляторами: *а* — с дисковым магазином; *б* — с цепным магазином; *в* — с кольцевым магазином; 1 — магазин; 2 — манипулятор; 3 — шпиндель

значительные затраты вспомогательного времени на смену инструмента, так как приходится перемещать узлы с большой массой. Кроме того, вместимость магазинов невелика — 12—15 инструментов. Зато они отличаются простотой конструкции.

В станках с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы наибольшее распространение получили устройства автоматической смены инструментов с манипуляторами (рис. 6.29). В этих устройствах перенос инструмента из магазина 1 в шпиндель 3 станка и обратно осуществляется манипулятором 2. Вследствие его небольшой массы существенно сокращается время переноса. Кроме того, время поиска инструмента совмещается с основным временем. Магазины данных устройств имеют большую вместимость — до 100 инструментов.

Пример конструкции устройства с дисковым магазином показан на рис. 6.30. Здесь манипулятор 1 совершает следующие движения:

возвратно-поступательное движение параллельно оси шпинделя 2, необходимое для съема нового инструмента из опроки-

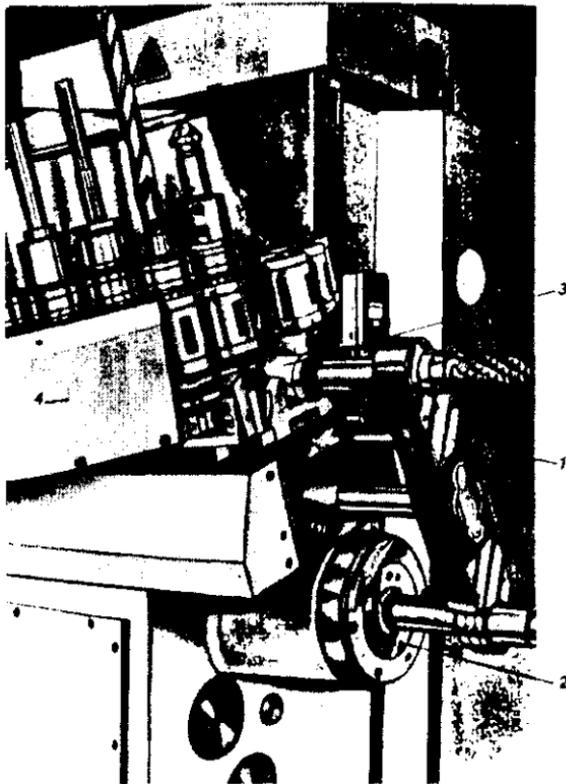


Рис. 6.30. Устройство для автоматической смены инструментов с дисковым магазином: 1 — манипулятор; 2 — шпиндель; 3 — опрокинутая ячейка магазина; 4 — магазин

нутой ячейки 3 магазина 4 и отработавшего инструмента из шпинделя, а также для установки отработавшего инструмента в ячейку, а нового — в шпиндель;

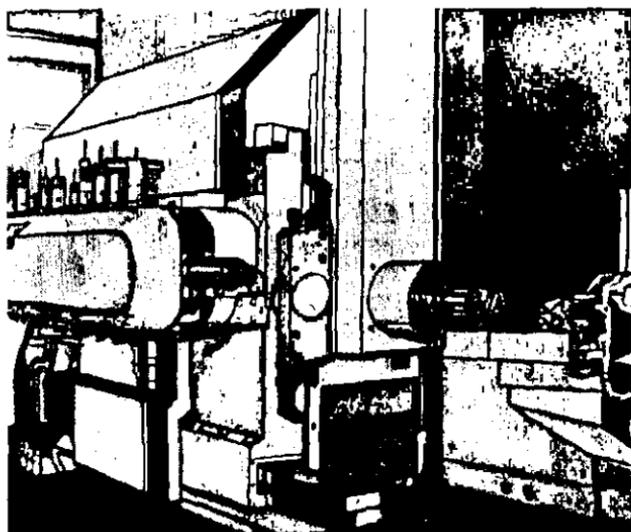
прерывистое вращательное движение, необходимое для захвата или разжима инструментов и их переноса от опрокинутой ячейки к шпинделю и обратно.

На концах манипулятора имеются захваты, обеспечивающие захват и удержание инструментов.

Еще одна конструкция устройства для автоматической смены инструментов приведена на рис. 6.31. Она в отличие от предыдущей имеет более вместительный магазин цепного типа. Кроме того, не требуется опрокидывание ячейки, так как в позиции съема или установки инструмента ось ячейки параллельна оси шпинделя.

С устройствами автоматической смены инструментов в станках фрезерно-сверлильно-расточной группы, в свою очередь, связаны две конструктивные особенности — это применение механизма автоматического зажима и разжима инструмента в шпинделе и устройства автоматической остановки шпин-

Рис. 6.31. Устройство для автоматической смены инструментов с цепным магазином



деля в определенном положении. Последнее необходимо для обеспечения ориентации шпонок шпинделя относительно пазов инструмента при его автоматической смене. Такое устройство рассматривается в § 7.2 (см. станок мод. MC12-250M1).

Простейшим элементом, при помощи которого осуществляются зажим и разжим инструментальной оправки в шпинделе, является резьбовое соединение (рис. 6.32а). Однако оно мало применяется в станках с ЧПУ, вследствие быстрого износа резьбы при частой смене инструмента. Более совершенным элемен-

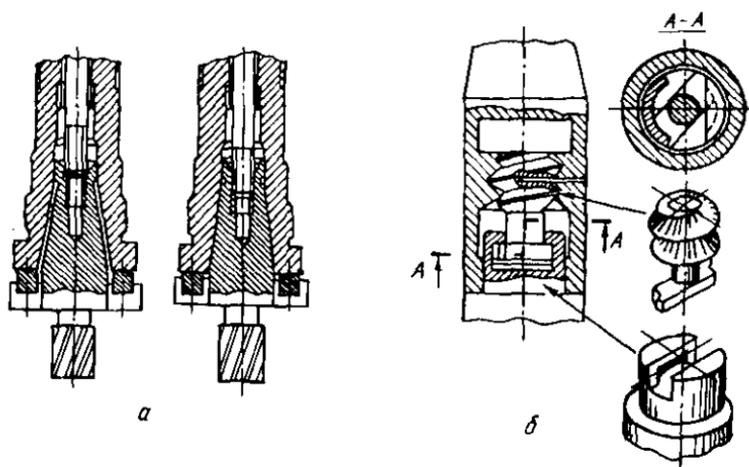


Рис. 6.32. Варианты крепления инструментальной оправки

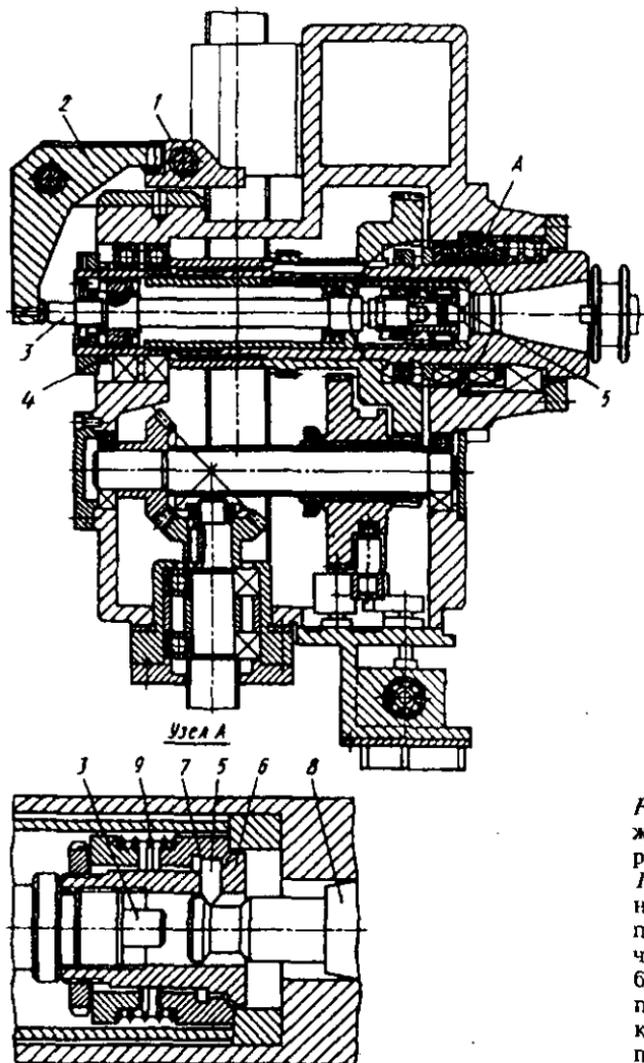


Рис. 6.33. Механизм зажима и разжима инструментальных оправок: 1 — рычаг; 2 — разжимной рычаг; 3 — шомпол; 4 — пакет тарельчатых пружин; 5 — собачка; 6 — втулка; 7 — подпружиненная втулка; 8 — оправка; 9 — пружина

том является байонетовый зажим (рис. 6.32б). Он сокращает время зажима, но имеет сложную конструкцию.

В станках с ЧПУ наибольшее распространение получили зажимы с радиально-перемещающимися собачками или шариками (рис. 6.33). Установка и зажим инструментальных оправок, конструкция которых представлена на рис. 6.34, осуществляется следующим образом. В конус шпинделя при смещенных вправо втулке 6 (рис. 6.33) с шомполом 3 вставляется манипулятором инструментальная оправка 8. При ее перемещении влево буртик хвостовика свободно раздвигает собачки 5. Затем при медленном

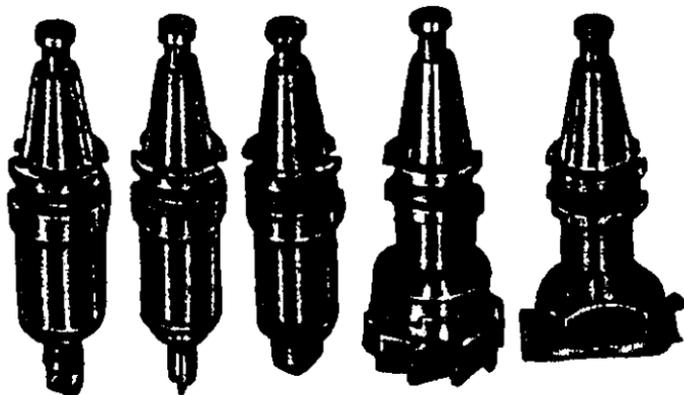


Рис. 6.34. Инструментальные оправки с коническим хвостовиком

вращении шпинделя его шпонки совпадают с пазами оправки. В дальнейшем при обратном ходе шомпола 3 с втулкой 6 собачки 5 под действием конической поверхности подпружиненной втулки 7 заходят в кольцевую канавку оправки и прижимают ее к конусу шпинделя. Разжим оправки происходит при ходе шомпола 3 вправо.

В рассматриваемом механизме перемещение шомпола вправо осуществляется принудительно при помощи рычага 2, на который в свою очередь действует рычаг 1. При этом сжимается пакет тарельчатых пружин 4. Обратный ход шомпола происходит под действием указанных пружин. Следует отметить, что перемещения шомпола при разжиге оправки могут совершаться с помощью гидро- или пневмопривода.

Механизмы с радиально-перемещающимися шариками наиболее технологичны и широко применяются в станках с ЧПУ. Однако в них из-за небольших контактных поверхностей возникают значительные контактные деформации.

Для станков с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы характерна конструктивная особенность, позволяющая совместить время установки заготовки на спутник и съема готовой детали со спутника с основным временем. Эта особенность заключается в применении загрузочно-разгрузочных устройств в виде двухпозиционных линейно- или поворотного-делительных столов.

В качестве примера на рис. 6.35 показан многооперационный станок 1, оснащенный загрузочно-разгрузочным поворотным-делительным столом 3. Во время работы станка сначала со спутника, находящегося на столе 3, снимают обработанную деталь, а затем на него устанавливают заготовку. После окончания обработки предыдущей заготовки спутник 2 с готовой деталью авто-

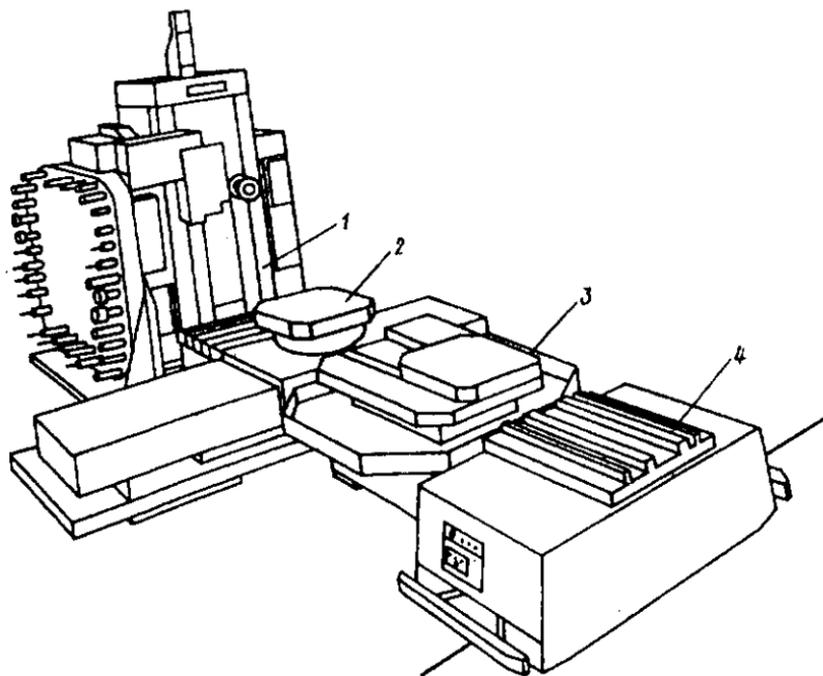


Рис. 6.35. Многооперационный станок с поворотно-делительным разгрузочно-загрузочным столом: 1 — многооперационный станок; 2 — спутник; 3 — разгрузочно-загрузочный стол; 4 — транспортная тележка

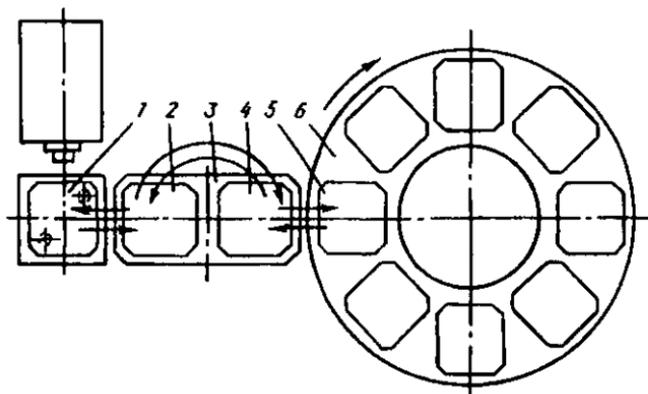


Рис. 6.36. Планировка многооперационного станка с загрузочно-разгрузочным столом и магазином спутников: 1 — многооперационный станок; 2, 4 и 5 — спутники; 3 — загрузочно-разгрузочный стол; 6 — магазин (накопитель) спутников

матически перемещается на свободную позицию разгрузочно-загрузочного стола. В дальнейшем стол поворачивается на 180° , после чего спутник с заготовкой автоматически подается на станок и начинается процесс обработки, а с другого спутника снимают готовую деталь и устанавливают следующую заготовку.

Многооперационный станок может быть оснащен транспортной тележкой 4, которая доставляет к нему спутники с заготовками и транспортирует от него спутники с готовыми деталями. В этом случае в процессе обработки спутник с заготовкой автоматически перемещается с тележки на свободную позицию разгрузочно-загрузочного стола. После обработки на другую свободную позицию стола автоматически перемещается спутник с готовой деталью. Затем стол поворачивается на 180° и спутник с заготовкой автоматически подается на станок, а спутник с готовой деталью — на тележку, которая транспортирует его либо на склад готовых деталей, либо к другому технологическому оборудованию.

Вместо транспортной тележки многооперационный станок 1 (рис. 6.36) может быть оснащен магазином (накопителем) 6 спутников 5, на которых находятся как заготовки, так и готовые детали.

В этой системе в качестве загрузочно-разгрузочного устройства используется также поворотный-делительный стол 3.

Функцию загрузочно-разгрузочного устройства может выполнять двухпозиционная транспортная тележка 1 (рис. 6.37а) или

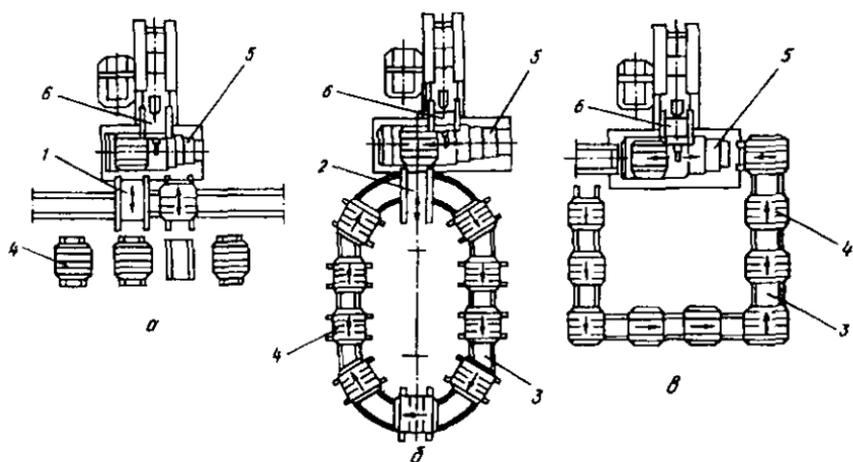


Рис. 6.37. Планировка многооперационных станков с магазинами спутников:
 а — с неподвижными позициями; б, в — с подвижными позициями;
 1 — двухпозиционная транспортная тележка; 2 — загрузочно-разгрузочное устройство магазина; 3 — магазин; 4 — спутники; 5 — стол многооперационного станка; 6 — многооперационный станок

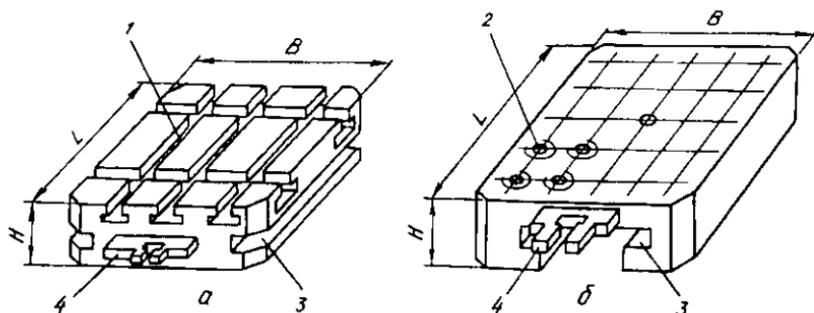


Рис. 6.38. Спутники: *а* — с сеткой Т-образных пазов; *б* — с сеткой резьбовых отверстий; 1 — пазы; 2 — резьбовые отверстия; 3 — направляющие; 4 — замок

загрузочно-разгрузочное устройство 2 (рис. 6.37б) магазина 3 спутников 4. В данном случае в процессе загрузки и разгрузки спутников участвует также стол 5 многооперационного станка 6.

Конструкция спутников, применяемых в станках фрезерно-сверлильно-расточной группы, показана на рис. 6.38. На их рабочей поверхности имеется сетка Т-образных пазов 1 (рис. 6.38а) или сетка резьбовых отверстий 2 (рис. 6.38б), предназначенных для закрепления различных по форме заготовок. Для направления спутников при перемещении в них предусмотрены направляющие 3: внешние *а* или внутренние *б*. Базирование спутников на станках осуществляется по плоскости и двум отверстиям или по трем плоскостям: нижней и двум боковым. Для захвата спутника предусмотрен замок 4.

В станках с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы широко применяются направляющие качения. Эта конструктивная особенность связана в основном с повышением точности обработки. Направляющие качения обладают следующими достоинствами [38]:

обеспечивают равномерность движения исполнительных органов при малых скоростях и, как следствие, высокую точность установочных перемещений;

имеют высокую износостойкость и долговечность по точности;

позволяют сравнительно простыми способами регулировать натяг и обеспечивать высокую жесткость;

отличаются простотой системы смазки.

Основные формы направляющих качения приведены на рис. 6.39. Они подразделяются:

1) по форме тел качения — на шариковые (*б, в, ж, н, о, р*), роликовые (*г, м*) и игольчатые (*а, д, е, з, и, к, л, п*);

2) по способу создания натяга — без предварительного регулируемого натяга (*а, б, в, г*), с предварительным регулируемым

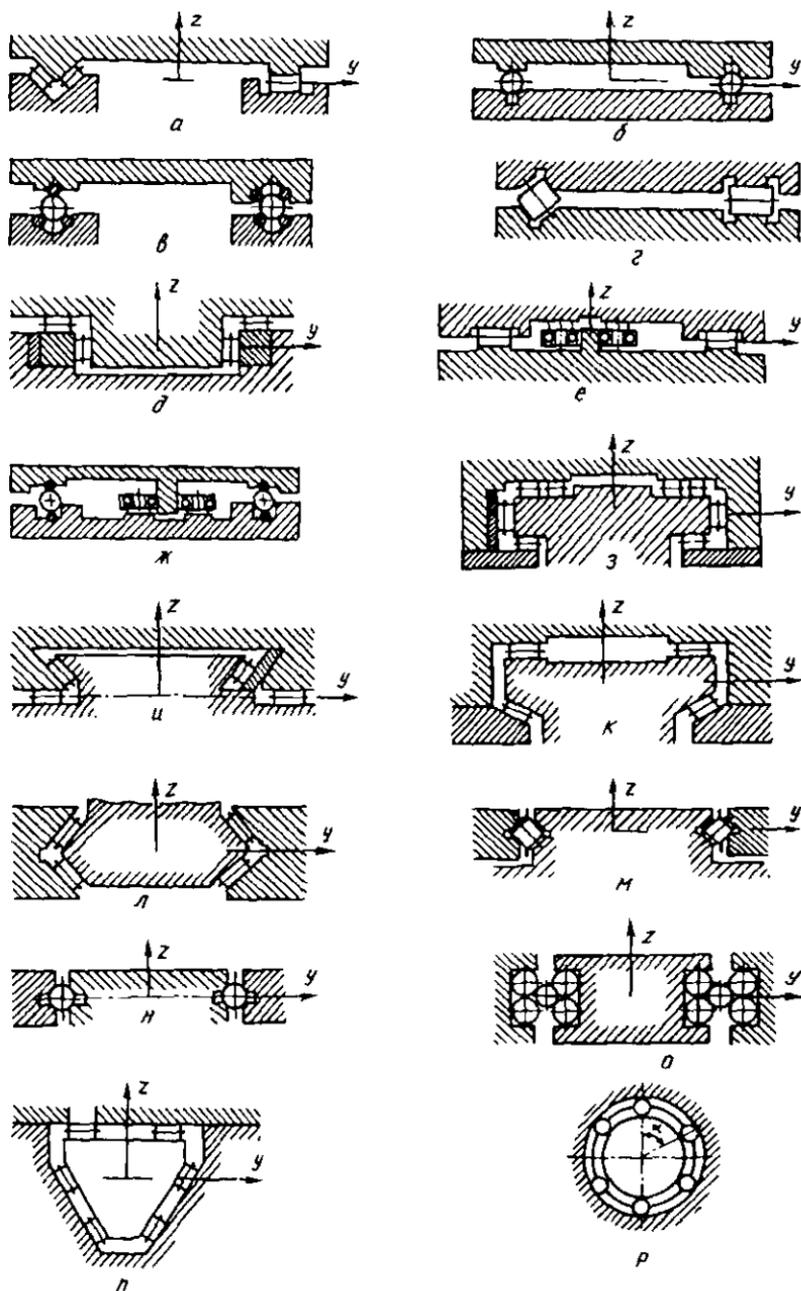


Рис. 6.39. Основные формы направляющих качения: $a, б, в, г$ — без предварительного регулируемого натяга; $з, и, к, л, м, н, о, п, р$ — с предварительным регулируемым натягом; $д, е, ж$ — с частичным предварительным натягом (в горизонтальной плоскости)

натягом (*з, и, к, л, м, н, о, п, р*) и с частичным предварительным натягом, только в горизонтальной плоскости (*д, е, ж*).

Направляющие без предварительного натяга проще и дешевле в изготовлении, чем направляющие с натягом. Они применяются в следующих случаях [38]:

если опрокидывающие моменты малы и нет опасности отрыва исполнительного органа;

когда исполнительный орган имеет большую массу и при приложении внешних усилий сохраняет прилетаемость по всей длине направляющих;

если направляющие исполнительного органа имеют большую длину, при которой перекосы от зазоров малы и нет опасности его отрыва.

Направляющие качения с предварительным натягом дороги и сложны в изготовлении, так как при их высокой твердости требуется высокая точность обработки. Эти направляющие применяются в основном в станках высокой точности.

Тела качения в виде шариков имеют небольшую нагрузочную способность и сравнительно низкую жесткость. Поэтому они применяются в направляющих исполнительных органов с небольшой массой (100...200 кг) и при небольших внешних усилиях (1–2,5 кН). В остальных случаях используются роликовые или игольчатые тела качения.

В станках с ЧПУ направляющие качения выполняются по трем схемам (рис. 6.40). По первой схеме длина сепаратора с телами качения больше длины направляющей подвижной части исполнительного органа (рис. 6.40а). В данном случае длина сепаратора l_c равна

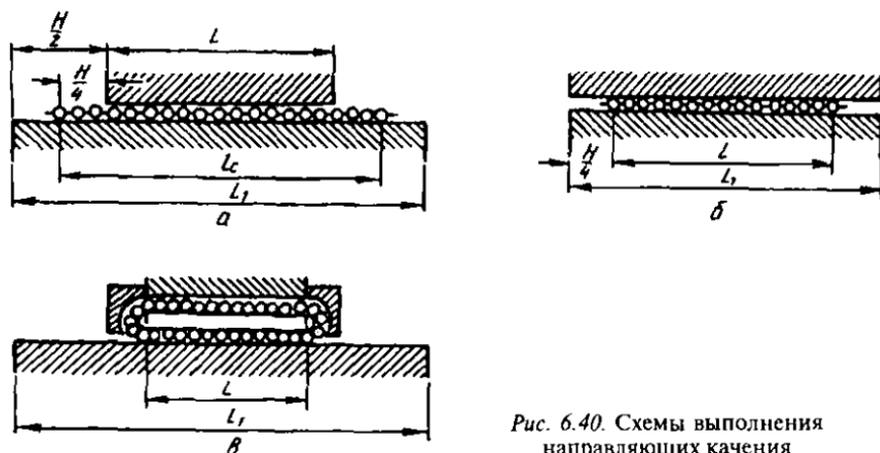


Рис. 6.40. Схемы выполнения направляющих качения

$$l_c = L + 0,5 \cdot H,$$

где H — длина хода.

Такая схема направляющих применяется в столах с большим ходом.

Во второй схеме (рис. 6.40б) длина направляющих подвижной и неподвижной частей исполнительного органа одинакова. При этом сепаратор имеет меньшую длину, т. е. подвижный узел опирается на тела качения не по всей длине направляющих. В этом случае $L_1 = L + 0,5 \cdot H$.

Данная схема применяется при небольшом ходе салазок.

Для третьей схемы (рис. 6.40в) с возвратом тел качения длина хода исполнительного органа не ограничена. Такие направляющие получили широкое распространение в станках с ЧПУ.

Глава 7

ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

На фрезерных станках обрабатывают наружные и внутренние плоские и фасонные поверхности, а также винтовые поверхности. Производящие линии поверхностей получают методами копирования, следа и касания. В качестве инструмента используются фрезы — многолезвийные инструменты, режущие кромки которых располагаются на поверхности тела вращения или его торце (рис. 7.1).

Согласно классификации фрезерные станки относятся к 6-й группе. Их типоразмеры характеризуются габаритами рабочей поверхности стола.

По расположению основных узлов различают консольные и бесконсольные, горизонтально- и вертикально-, продольно- и карусельно-фрезерные станки.

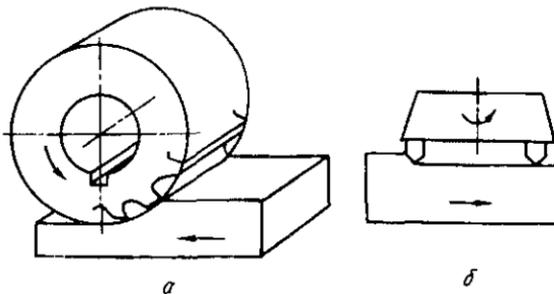


Рис. 7.1. Типы фрез по расположению режущих кромок:
а — цилиндрическая; б — торцевая

§ 7.1. Консольные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки

Консольные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки являются наиболее распространенным типом станков, используемых для выполнения различных фрезерных работ. Отличительная конструкционная особенность этих станков заключается в наличии консоли 1 (рис. 7.2) с вертикальными направляющими, несущей поперечный и продольный столы 2 и 3 (плюс и точка означают движение продольного стола от нас и к нам соответственно). Шпиндель 4 может располагаться горизонтально (рис. 7.2а) или вертикально (рис. 7.2б), что определяет тип станка — соответственно 8-й или 1-й.

На станине 5 горизонтально-фрезерного станка (рис. 7.2а) монтируется хобот 6, несущий поддерживающую серьгу 7. Хобот и серьга используются при обработке набором фрез, закрепленных на оправке, один конец которой устанавливается в шпиндель, а второй — в опору серьги. На станине вертикально-фрезерного станка монтируется вертикально расположенная шпиндельная бабка 8 (рис. 7.2б), которая может поворачиваться относительно горизонтальной оси 1-1.

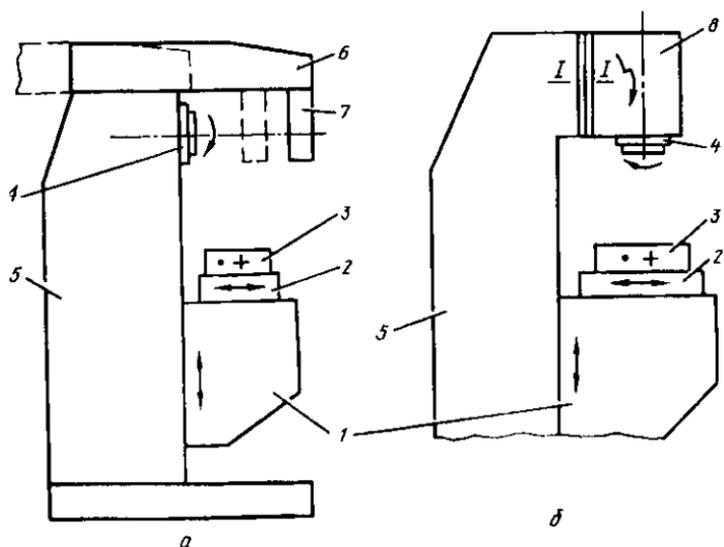


Рис. 7.2. Схема расположения основных узлов консольных фрезерных станков: а — с горизонтальным; б — с вертикальным шпинделем: 1 — консоль; 2, 3 — поперечный и продольный столы; 4 — шпиндель; 5 — станина; 6 — хобот; 7 — серьга; 8 — шпиндельная бабка

Что касается заготовки 2, то в консольных фрезерных станках она может совершать простые формообразующие движения $\Phi_5(P_2)$, $\Phi_5(P_3)$ и $\Phi_5(P_4)$, которые являются движениями продольной, поперечной и вертикальной подач соответственно.

Для осуществления указанных движений предусматриваются только простые кинематические группы. Формообразующее движение осуществляется группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпинделя (горизонтального или вертикального), а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i . Здесь органом настройки является коробка скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. Формообразующие движения $\Phi_5(P_2)$, $\Phi_5(P_3)$ и $\Phi_5(P_4)$ осуществляются группами, в которых внутренняя связь обеспечивается связью соответствующей поступательной пары (продольный и поперечный столы, консоль), а внешняя связь — общей для них кинематической цепью $v-g-d-e$ с органом настройки i и индивидуальными кинематическими цепями $e-ж$, $e-з$ и $e-и$ со своими механизмами реверса. В качестве общего органа настройки применяется коробка подач со ступенчатым регулированием скорости движений.

На консольных фрезерных станках дисковыми и пальцевыми фрезами обрабатывают одно- и многозаходные винтовые поверхности. В этом случае заготовка 1 (рис. 7.4), установленная на продольном столе 3 в центрах универсальной делительной головки 2 и задней бабки 4, совершает сложное формообразующее движение $\Phi_5(P_2, B_5)$. При обработке многозаходных винтовых поверхностей заготовка совершает еще делительное движение $D(B_6)$. Оно используется также при обработке зубчатых колес и шлицевых валиков методом копирования.

Для осуществления формообразующего движения $\Phi_5(P_2, B_5)$ предусматривается сложная кинематическая группа, в которой внутренняя связь обеспечивается кинематической цепью $к-л$ с

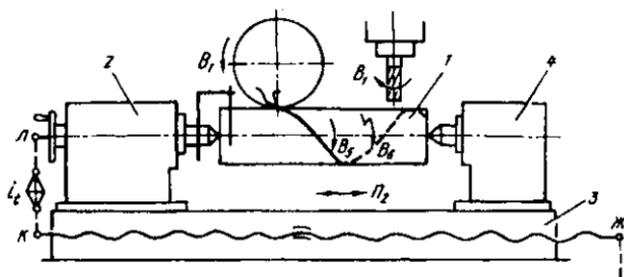


Рис. 7.4. Схема обработки винтовых поверхностей: 1 — заготовка; 2 — делительная головка; 3 — продольный стол; 4 — задняя бабка

органом настройки i_1 (рис. 7.4), а внешняя связь — кинематической цепью $в-г-д-е-ж$ с органом настройки i_2 (рис. 7.3). Делительное движение $D(B_0)$ осуществляется при помощи делительных головок [69].

Кинематическая настройка консольного фрезерного станка. Исходными данными для настройки кинематических цепей фрезерных станков, в том числе и консольных, являются материал детали и фрезы (режущих лезвий), диаметр и число зубьев фрезы, шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Рассмотрим настройку консольного горизонтально-фрезерного станка мод. 6М80Г (рис. 7.5).

Кинематическая цепь главного движения. Конечными звеньями данной цепи являются вал электродвигателя M_1 ($N = 2,8 \text{ кВт}$, $n_{31} = 1420 \text{ об/мин}$) и шпиндель, на котором

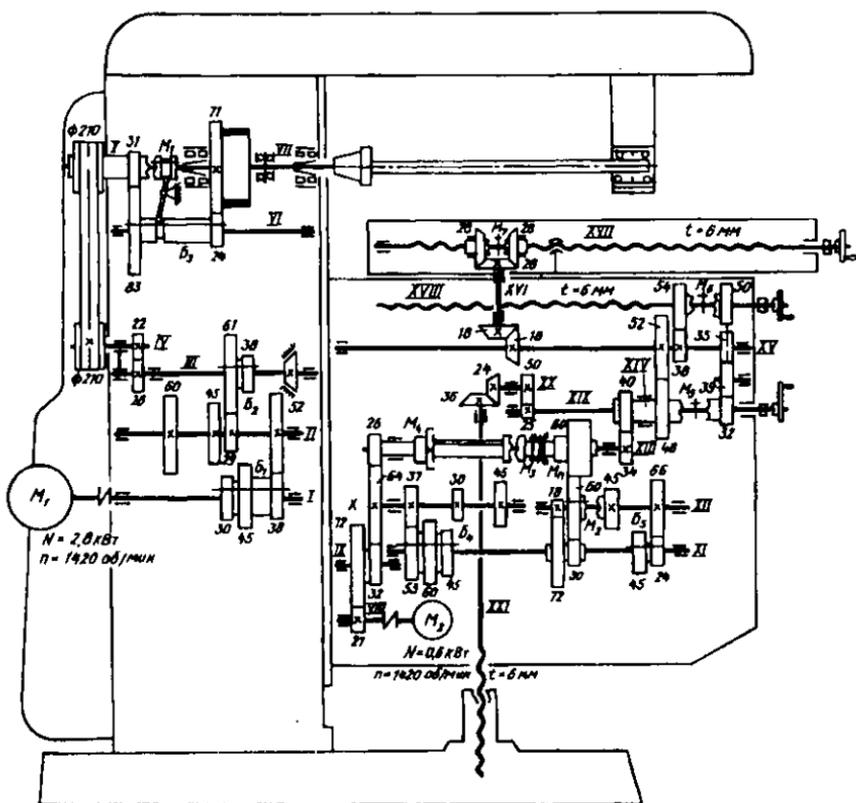


Рис. 7.5. Кинематическая схема консольного горизонтально-фрезерного станка мод. 6М80Г

устанавливаются фрезы. Необходимо обеспечить частоту вращения фрезы, определяемую по формуле:

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\phi}}$$

В рассматриваемой цепи органом настройки является коробка скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения. Для нее имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1420 \cdot \left| \begin{array}{c} 30 \\ 60 \\ 38 \\ 52 \\ 45 \\ 45 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 29 \\ 61 \\ 52 \\ 38 \end{array} \right| \cdot \frac{26}{22} \cdot \frac{210}{210} = n_{\phi}$$

$$\frac{31}{83} \cdot \frac{24}{71} = n_{\phi}$$

$$P_1 = 3 \quad P_2 = 2 \quad P_3 = (1 + 1).$$

Как видно из данного уравнения, коробка скоростей посредством двух групп передач ($P_1 = 3$, $P_2 = 2$) и перебора $P_3 = (1 + 1)$ обеспечивает 12 частот вращения шпинделя и имеет следующую структурную формулу $z_n = 3 \cdot 2(1 + 1) = 12$.

Настройка такой коробки скоростей заключается в выборе соответствующих передаточных отношений групп и перебора, которые обеспечивают фактическую частоту вращения n_{ϕ} фрезы, отвечающую условию $n_{\phi} \leq n_{\text{шп}}$, т. е. выбирается ближайшее меньшее значение частоты вращения.

Кинематическая цепь подач. Конечными звеньями каждой из трех кинематических цепей подач являются вал электродвигателя M_2 и соответственно продольный и поперечный столы, консоль. В этих целях используется общий орган настройки, представляющий собой коробку подач со ступенчатым регулированием скорости движения подачи (продольной, поперечной и вертикальной). При обработке конкретных поверхностей скорость движения, так называемая минутная подача S_m (мм/мин), определяется по следующей формуле:

$$S_m = S_o \cdot n_{\phi} = S_z \cdot z_{\phi} \cdot n_{\phi},$$

где S_o — подача на один оборот фрезы, мм/об; S_z — подача на один зуб фрезы, мм/зуб; z_{ϕ} — число зубьев фрезы. Поддачи S_z и S_o выбираются по справочнику [105] в зависимости от вида обработки (черновая или чистовая), материала детали и режущих лез-

вий фрезы, параметров фрезы и жесткости системы “Станок-приспособление-инструмент-деталь”.

Согласно кинематической схеме (рис. 7.5) для цепи продольной подачи имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1420 \cdot \frac{21}{72} \cdot \frac{32}{64} \cdot \left| \begin{array}{c} 30 \\ 60 \\ 37 \\ 53 \\ 45 \\ 45 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{c} 24 \\ 66 \\ 45 \\ 45 \end{array} \right| \cdot \left(\begin{array}{c} 60 \\ 60 \\ 18 \end{array} \cdot \frac{30}{72} \cdot \frac{60}{60} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} 34 \\ 40 \\ 48 \\ 52 \\ 18 \\ 28 \\ 28 \end{array} \right) \cdot 6 = S_m.$$

$$P_1 = 3 P_2 = 2 \quad P_3 = (1 + 1).$$

Как видно из данного уравнения, коробка подач обеспечивает 12 скоростей движения (минутных подач) и имеет следующую структурную формулу:

$$z = 3 \cdot 2(1 + 1).$$

Настройка коробки подач также, как и коробки скоростей, заключается в выборе передаточных отношений групп и перебора, которые обеспечивают фактическую минутную подачу S'_m , отвечающую условию $S'_m \approx S_m$, т. е. выбирается ближайшее меньшее или большее значение минутной подачи.

При обработке винтовой поверхности дополнительно настраивается цепь ее шага (рис. 7.4), которая согласовывает величины кругового и линейного перемещений заготовки, установленной на продольном столе, или их скорости. Для этой цепи имеем следующие расчетные перемещения:

1 об. заготовки $\longleftrightarrow T$ продольного стола

или

n_3 заготовки $\longleftrightarrow S_m$ продольного стола,

где T — шаг винтовой поверхности, мм.

С учетом установленных расчетных перемещений получим следующее уравнение кинематического баланса:

$$i_{\text{ос}} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{d_1}{c_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot 6 = T,$$

где N — характеристика делительной головки [69].

Решая данное уравнение, получим формулу настройки

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{6 \cdot N}{T}.$$

§ 7.2. Консольные вертикально-фрезерные станки с ЧПУ

Для современной техники характерно большое количество типов деталей сложной пространственной формы: лопатки турбин, сложные корпусные детали, например, летательных аппаратов, штампы, прессформы, металлические модели для литья и т. д. Причем годовая программа их выпуска в большинстве случаев изменяется от единиц до сотен штук, т. е. они изготавливаются в условиях индивидуального и мелкосерийного производства. Изготовление таких деталей на универсальном фрезерном станочном оборудовании весьма трудоемко либо вообще невозможно. Кроме того, эти станки не удовлетворяют также возросшим требованиям к производительности и точности обработки. Поэтому возникает необходимость в использовании станков с ЧПУ.

На рис. 7.6 представлена кинематическая структура консольного вертикально-фрезерного станка с ЧПУ мод. 6Н13Ф3-2. В нем фреза 1 совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение. При контурной

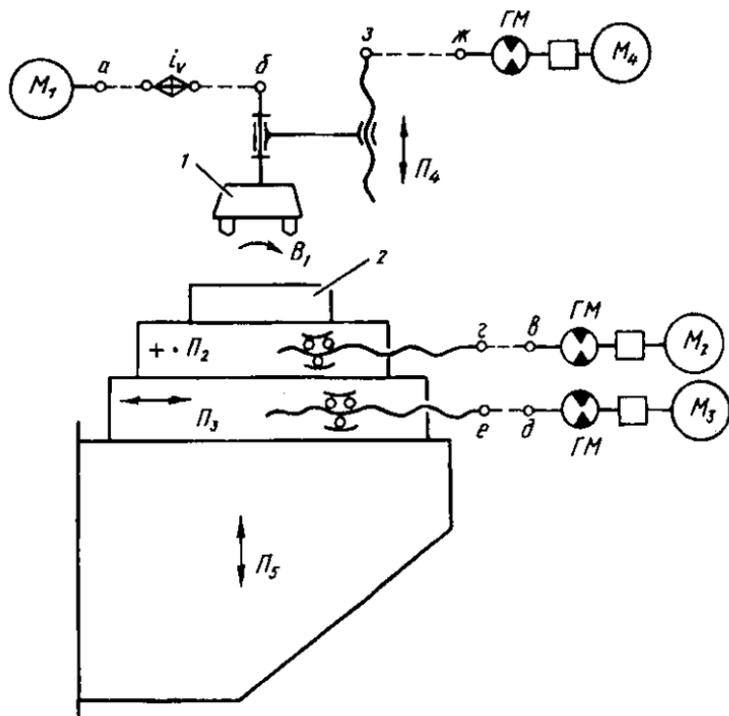


Рис. 7.6. Кинематическая структура консольного вертикально-фрезерного станка мод. 6Н13Ф3-2 с ЧПУ: 1 — фреза; 2 — заготовка

связями: механическими и электронными. Например, для группы формообразующего движения $\Phi_s(P_2, P_3, P_4)$ внутренняя связь состоит из кинематических цепей σ - z , d - e и $ж$ - z , шаговых двигателей M_2 , M_3 и M_4 с гидроусилителями момента ГМ, а также устройства управления шаговыми двигателями, интерполятора и устройства ввода программы, входящими в устройство ЧПУ НЗЗ-1М. Органом настройки этой связи является информация, заданная в программе. Внешняя связь образуется кинематическими цепями σ - z , d - e и $ж$ - z , соединяющими исполнительные органы (продольный и поперечный столы, пиноль шпинделя) с источниками движения: шаговыми двигателями M_2 , M_3 и M_4 с гидроусилителями момента ГМ.

Кинематическая схема консольного вертикально-фрезерного станка с ЧПУ мод. 6Н13ФЗ-2 представлена на рис. 7.7.

Вышерассмотренный станок с ЧПУ предназначен для обработки сравнительно простых деталей, так как процесс фрезерования осуществляется одним инструментом. Этот недостаток устраняется в консольном вертикально-фрезерном станке с ЧПУ мод. 6Р13РФЗ. На нем, благодаря применению многошпиндельной поворотной револьверной головки 1 (рис. 7.8), обработка сложных деталей ведется несколькими инструментами: торцевыми и пальцевыми (концевыми) фрезами, сверлами, зенкерами и развертками. Вращение на шпиндель 2, находящийся в рабочей позиции, передается от регулируемого электродвигателя M_1 постоянного тока ($n_{M1} = 575 \dots 2270$ об/мин) через 4-х ступенчатую коробку скоростей ($z_n = 2,2$.) Такая комбинация двух органов настройки позволяет получить 18 частот вращения шпинделя в диапазоне 40...2000 об/мин, переключаемых автоматически по заданной программе.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Размер рабочей поверхности стола (ширина×длина), мм	40×1600
Число частот вращения шпинделя	18
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	2000
Наименьшая частота вращения шпинделя, об/мин	40
Пределы подачи, мм/мин:	
продольной и поперечной	8—1200
вертикальной	8-800
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Скорость быстрых перемещений в продольном и поперечном направлениях, мм/мин	4000
Число координат	6
Число одновременно управляемых координат	3

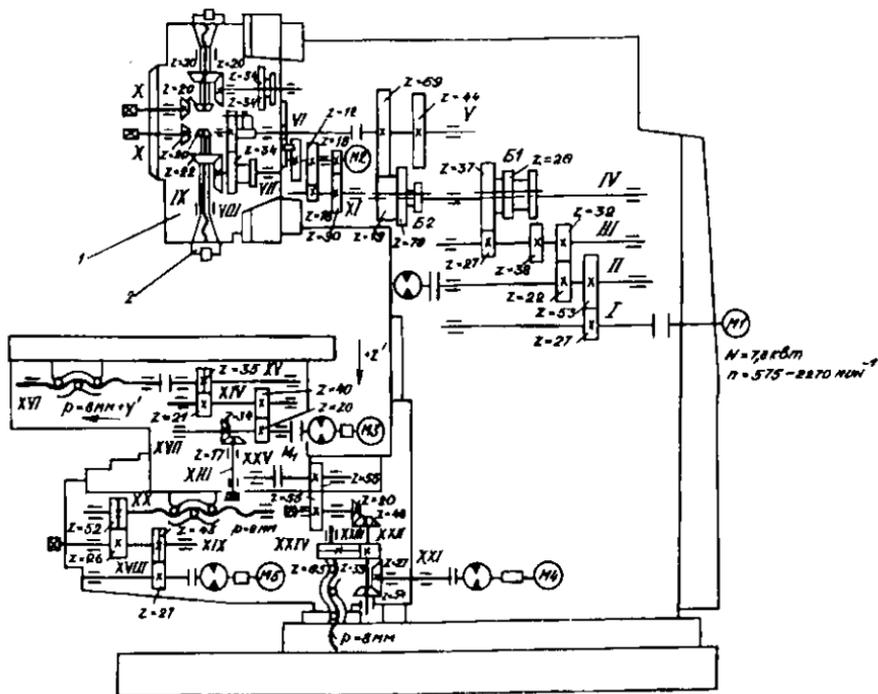


Рис. 7.8. Кинематическая схема консольного вертикально-фрезерного станка мод. 6Р13РФЗ с ЧПУ: 1 — револьверная головка; 2 — шпиндель

Число инструментов в револьверной головке	5
Дискретность перемещения по осям координат, мм	0,01
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	7,8

Многооперационный станок мод. МС12-250М1. Данный станок по общей компоновке близок к широкоуниверсальному станку. На нем можно обрабатывать в полуавтоматическом цикле отверстия и сложные криволинейные контуры в очень мелких корпусных деталях. При этом можно выполнять следующие технологические операции:

- сверление, зенкерование и развертывание с использованием стандартного инструмента;
- фрезерование отверстий методом круговой подачи от УЧПУ;
- расточивание;
- нарезание резьбы метчиком;
- фрезерование наружных и внутренних резьб;
- фрезерование торцов методом круговой подачи;
- фрезерование сложных криволинейных поверхностей с использованием перемещений по трем координатам;

фрезерование канавок и карманов.

Область эффективного использования станка — серийное производство.

Рассматриваемый станок имеет следующую компоновку. Станина 1 (рис. 7.9) смонтирована на основании 2, представляющем собой пустотелую чугунную отливку коробчатой формы с несколькими отсеками, которые используются в качестве резервуаров для СОЖ. По горизонтальным направляющим в верхней части станины может перемещаться шпиндельная головка 3 (координата Z), над которой на кронштейне 4 установлен магазин 5 инструментов. На том же кронштейне смонтированы кантователь 6 и манипулятор 7, осуществляющие автоматическую смену инструмента. В верхней части станины расположена также коробка скоростей, обеспечивающая 12 частот вращения шпинделя. На передней торцевой стенке станины имеются вертикальные направляющие, по которым может перемещаться суппорт 8 (координата Y). В свою очередь по направляющим на суппорте могут перемещаться горизонтальные салазки 9 (координата X), на которых установлен подъемно-поворотный стол 10 с горизонтальной рабочей поверхностью.

Станок оснащен контурно-позиционной системой ЧПУ типа "Размер 4", которая предназначена для управления многокоор-

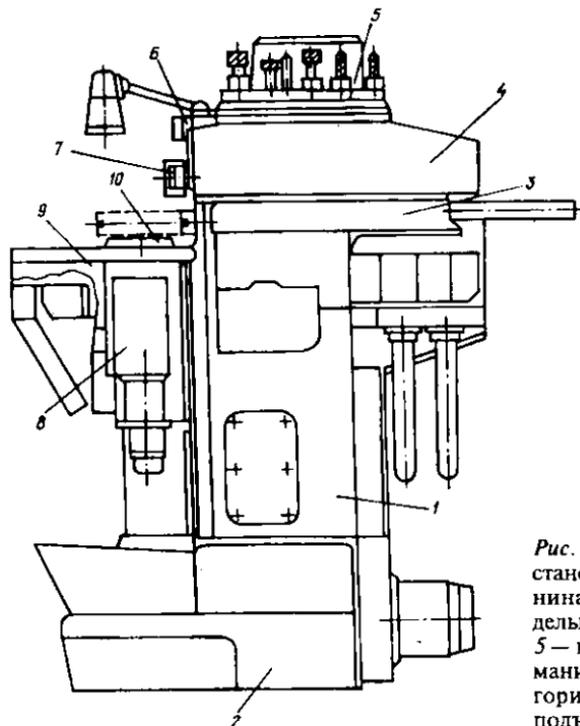


Рис. 7.9. Многооперационный станок мод. MC12-250MI: 1 — станина; 2 — основание; 3 — шпиндельная бабка; 4 — кронштейн; 5 — магазин; 6 — кантователь; 7 — манипулятор; 8 — суппорт; 9 — горизонтальные салазки; 10 — подъемно-поворотный стол

На рис. 7.10 приведена кинематическая схема станка, за исключением привода подачи суппорта. Его кинематическая схема показана на рис. 7.11.

Органом настройки цепи главного движения является коробка скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. Для этой цепи уравнение кинематического баланса имеет следующий вид:

$$\begin{array}{l}
 P_2 = 3 \quad P_3 = 2 \\
 1430 \cdot \frac{103}{144} \cdot \left[\begin{array}{c} \frac{25}{47} \\ \frac{37}{35} \\ \frac{49}{23} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \frac{35}{42} \\ \frac{42}{42} \\ \frac{35}{35} \end{array} \right] \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{45}{53} = n_{\text{шп}} \\
 P_1 = (1 + 1) \\
 1430 \cdot \frac{103}{144} \cdot \left[\begin{array}{c} \frac{25}{47} \\ \frac{37}{35} \\ \frac{49}{23} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \frac{35}{42} \\ \frac{42}{45} \\ \frac{35}{35} \end{array} \right] \cdot \frac{42}{45} \cdot \frac{45}{53} = n_{\text{шп}}
 \end{array}$$

Как видно из уравнения, коробка скоростей при помощи перебора $P_1 = (1 + 1)$, а также групп $P_2 = 3$ и $P_3 = 2$ обеспечивает 12 частот вращения шпинделя. Для их переключения предусмотрен механизм, построенный на принципе селективного и преселективного управления с полной автоматизацией от системы ЧПУ.

На кинематической схеме показан привод поворота шпинделя в ориентированное положение, необходимое для автоматического съема и установки инструмента. Он состоит из электродвигателя М4 ($N = 50$ Вт, $n_{\text{эл}} = 3000 - 3600$ об/мин), червячной передачи $\frac{1}{56}$, соединяемой электромагнитной муфтой с валом У1, и зубчатых передач $\frac{42}{45} \cdot \frac{45}{53}$. Этот привод обеспечивает медленное вращение шпинделя с частотой 60 — 120 об/мин. При включении фиксатора на заднем торце шпинделя микропереключатель В1 отключает электромагнитную муфту и электродвигатель М4. В результате передний торец шпинделя с выступом занимает ориентированное положение. О входе фиксатора в паз диска сигнализирует микропереключатель В2.

Программируемое перемещение шпиндельной головки осуществляется при помощи регулируемого электродвигателя М5 постоянного тока, редуктора и пары винт-гайка качения. Контроль величины перемещения происходит посредством датчика абсолютного отсчета с дискретностью 0,001 мм. Он представляет собой блок из четырех сельсинов (рис. 7.12), связанных друг с другом зубчатыми передачами $\frac{20}{80} \cdot \frac{30}{75} = \frac{1}{10}$. Движение на вал пер-

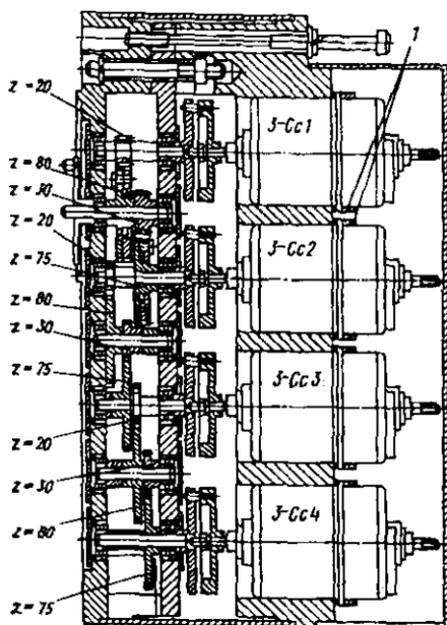


Рис. 7.12. Датчик абсолютного отсчета:
1 — хомутик

вого сельсина $3 - C_c 1$ (рис. 7.10) передается от ходового винта через передачи $\frac{120}{150} \cdot \frac{80}{20}$. Нулевое исходное положение сельсинов при отвернутом хомутике 1 (рис. 7.12) устанавливается вручную.

Аналогичный привод, как и для шпиндельной головки, используется для перемещений суппорта, салазок и подъемно-транспортного стола. Кинематическая схема привода суппорта и салазок показана на рис. 7.11.

Поворот магазина инструментов осуществляется при помощи электродвигателя M_2 (рис. 7.10) постоянного тока, червячной передачи $\frac{1}{60}$ и зубчатых передач $\frac{18}{36} \cdot \frac{41}{85}$. Положение диска магазина опре-

деляется посредством сельсина $7 = C_c 1$.

Осевое перемещение манипулятора и его поворот в позицию съема и установки инструмента осуществляется барабаном управления, который вращается от электродвигателя M_3 через червячную передачу $\frac{1}{60}$ и зубчатые передачи $\frac{20}{40} \cdot \frac{20}{40}$. За цикл смены инструмента барабан управления делает один оборот.

Поворот кантователя, передающего инструмент от магазина к манипулятору и наоборот, происходит от электродвигателя M_1 через червячную передачу $\frac{1}{60}$ и зубчатую передачу $\frac{18}{36}$. О горизонтальном и вертикальном конечных положениях кантователя сигнализируют соответственно микропереключатели 7-B1 и 7-B2.

Подробное описание механических узлов станка приводится в работе [75].

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Рабочая поверхность прямоугольного стола (ширина×длина) мм	250×630
Диаметр планшайбы подъемно-поворотного стола, мм	250
Точность установки угла поворота планшайбы, угл.с	±8
Координатные перемещения, мм:	
салазок по оси X	250
суппорта по оси Y	250

шпиндельной головки по оси Z	200
Число частот вращения шпинделя	12
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	45 — 2000
Число подач	11
Пределы подачи, мм/мин:	
салазок	10 — 1000
суппорта	10 — 1000
шпиндельной головки	10 — 1000
Скорость быстрого перемещения, мм/мин	1200
Точность линейных перемещений, мм	$\pm 0,01$
Стабильность линейных перемещений, мм	$\pm 0,003$
Число инструментов в магазине	20
Время смены инструмента, с	5
Дискретность перемещения, мм	0,001
Число координат	4
Число одновременно управляемых координат:	
линейная интерполяция	3
круговая интерполяция	1
винтовая интерполяция	3
Тип УЧПУ	Размер-4
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	2,2

§ 7.3. Бесконсольные фрезерные станки

Недостатком консольных фрезерных станков является сравнительно низкая жесткость их конструкции из-за наличия подвижной консоли. Этот недостаток устраняется в бесконсольных фрезерных станках, в которых стол (с заготовкой) может пере-

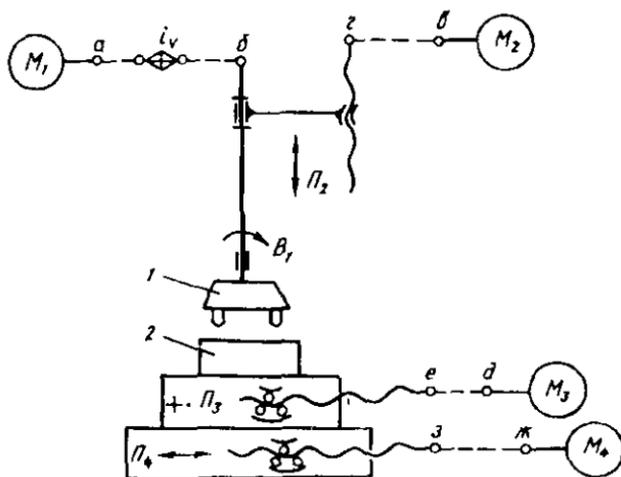


Рис. 7.13. Кинематическая структура бесконсольного вертикально-фрезерного станка мод. 656П: 1 — фреза; 2 — заготовка

вершает два движения: простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ и установочное движение $V_c(\Pi_2)$ в вертикальном направлении. Заготовка 2 совершает два протых формообразующих движения $\Phi_s(\Pi_3)$ и $\Phi_s(\Pi_4)$: движения продольной и поперечной подачи.

Для осуществления формообразующего движения $\Phi_v(B_1)$ предусматривается простая кинематическая группа, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпинделя, а внешняя связь — кинематической цепью $a-b$ с органом настройки i_v в виде коробки скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения. Коробка скоростей обеспечивает 18 частот вращения шпинделя (рис. 7.14) и имеет следующую структурную формулу $Z_n = 3 \cdot 3 \cdot 2$. Формообразующие движения $\Phi_s(\Pi_3)$ и $\Phi_s(\Pi_4)$ осуществляются индивидуальными простыми кинематическими группами, в которых внутренняя связь обеспечивается связью соответствующей поступательной пары (продольный или поперечный стол), а внешняя связь — кинематической цепью $e-d$ или $ж-з$. В качестве органов настройки в них используются электрические двигатели M_3 и M_4 с бесступенчатым регулированием частоты вращения вала $n_{31} = 24 - 1800$ об/мин (рис. 7.14). При частоте вращения $n_{31} = 2400$ об/мин продольный или поперечный столы совершают быстрые перемещения.

Установочное перемещение $V_c(\Pi_2)$ осуществляется простой кинематической группой без органа настройки. Как видно из кинематической схемы (рис. 7.14), эта группа обеспечивает вертикальное перемещение коробки со скоростью $V_b = 750$ об/мин.

§ 7.4. Бесконсольные фрезерные станки с ЧПУ

На бесконсольных фрезерных станках невозможно обрабатывать детали сложной пространственной формы, так как в них отсутствуют формообразующее движение подачи в вертикальном направлении и связь между продольной и поперечной подачами. Они не отвечают также возросшим требованиям точности обработки. Эти недостатки устраняются в бесконсольных фрезерных станках с ЧПУ.

На рис. 7.15 приведена кинематическая структура станка мод. МА655Ф3 с ЧПУ. Фреза 1 совершает простое формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ — главное движение. Контурная обработка деталей пространственной формы обеспечивается следующими сложными формообразующими движениями:

фрезы с заготовкой 2 $\Phi_s(\Pi_2\Pi_3\Pi_4)$, $\Phi_s(\Pi_2\Pi_4)$ или $\Phi_s(\Pi_3\Pi_4)$; заготовки $\Phi_s(\Pi_2\Pi_3)$.

Формообразующее движение $\Phi_v(B_1)$ осуществляется простой кинематической группой, имеющей орган настройки i_v в виде

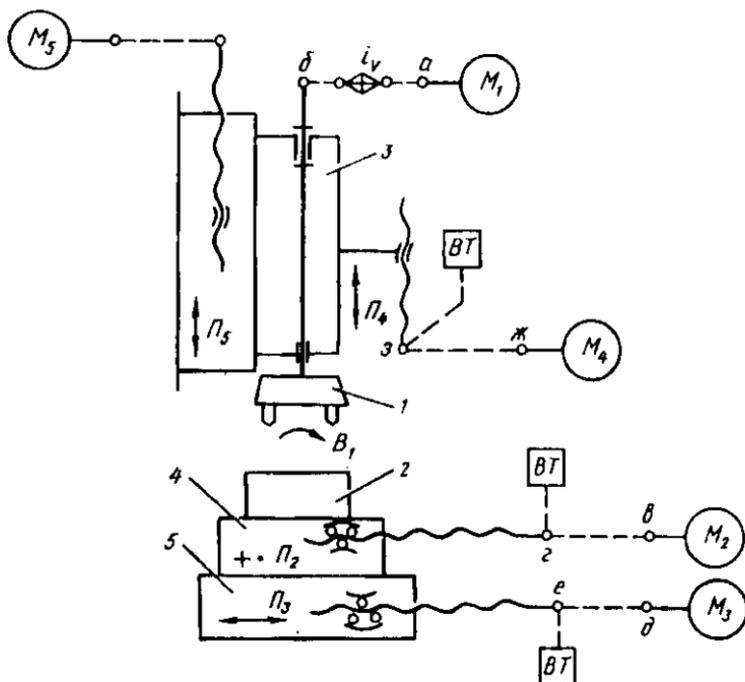


Рис. 7.15. Кинематическая структура бесконсольного вертикально-фрезерного станка мод. МА655ФЗ с ЧПУ: 1 — фреза; 2 — заготовка; 3 — шпиндельная бабка; 4, 5 — продольный и поперечный столы

коробки скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения. Данная коробка (рис. 7.16), имея структурную формулу $Z_n = 6 \cdot 2 \cdot 2$, обеспечивает лишь 17 различных частот вращения шпинделя, так как в ней применена структура с их перекрытием.

Сложные формообразующие движения, как и в предыдущих фрезерных станках с ЧПУ, осуществляются сложными группами с комбинированными связями: механическими и электронными. Отличие заключается в следующем:

1. В рассматриваемом станке используется более совершенное устройство ЧПУ типа УМС-2Ф.

2. В приводах подач в качестве источника движения применяются программируемые тиристорные следящие электроприводы.

3. Осуществляется контроль пути исполнительных органов (продольного и поперечного стола, ползуна) при помощи вращающихся трансформаторов ВТ.

Кинематическая схема рассматриваемого станка представлена на рис. 7.16. Как видно из нее, для увеличения точности от-

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Размер рабочей поверхности стола (ширина×длина), мм	500×1250
Число частот вращения шпинделя	17
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	63—2500
Пределы подачи, мм/мин:	
стола	12—700
ползуна	12—700
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Скорость быстрых перемещений стола и ползуна, мм/мин	1400
Число координат	6
Число одновременно управляемых координат	3
Дискретность перемещения по осям координат, мм	0,01
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	5,5

Существенным недостатком станка мод. МА655Ф3 является то, что автоматическая обработка ведется одним инструментом. Это значительно ограничивает его технологические возможности.

Широкие технологические возможности у многооперационного станка мод. 6904ВМФ2, представленного на рис. 7.17. Станок оснащен магазином 1 на 30 инструментов и манипулятором 2, осуществляющим автоматическую смену инструментов. В результате на нем можно выполнять комплексную обработку

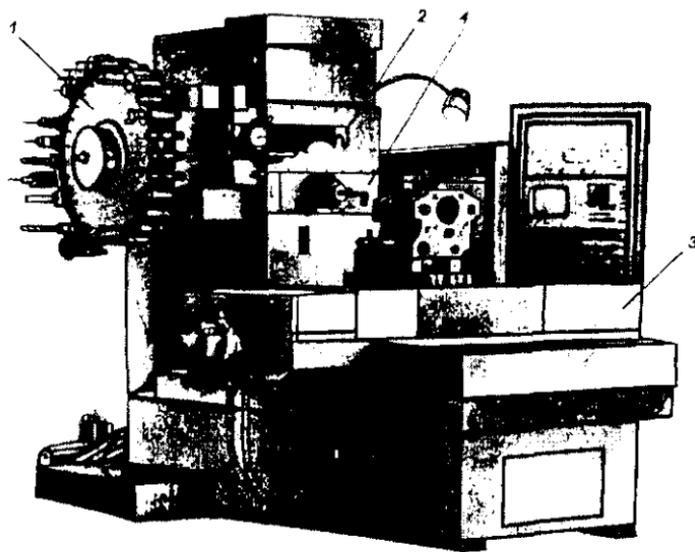


Рис. 7.17. Многооперационный станок мод. 6904ВМФ2:
1 — магазин инструментов; 2 — манипулятор; 3 — крестовый стол;
4 — шпиндельная головка

средних корпусных деталей: фрезерование торцевыми, цилиндрическими и пальцевыми фрезами, а также сверление, зенкерование, развертывание, растачивание и нарезание резьбы метчиками.

Управление станком осуществляется с помощью перфоленты от 4-х координатной системы ЧПУ типа "Размер 214", снабженной цифровой индикацией координат. Программируются: перемещения крестового стола 3 (рис. 7.17) в продольном и поперечном направлениях (координаты X , Z), шпиндельной головки 4 (координата Y); скорости этих перемещений; режим обработки; выбор и смена инструмента; его коррекция на размер и циклы обработки. В станке применена электроиндуктивная система отсчета координат; использованы замкнутые направляющие качения и шариковые винтовые пары.

Станок обеспечивает высокую точность обработки: стабильность диаметральных размеров 0,008 мм; отклонение от плоскости не более 0,008 мм; отклонение от перпендикулярности торца к оси отверстия не более 0,003 мм.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Размеры рабочей поверхности стола (ширина×длина), мм	400×500
Наибольшее продольное и поперечное перемещение стола по осям X и Z , мм	500
Наибольшее перемещение шпиндельной головки по оси Y , мм	500
Наибольший диаметр обработки, мм:	
при сверлении	40
при растачивании	150
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	32—2000
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи, мм/мин	25—2500
Скорость быстрых перемещений стола и шпиндельной головки, мм/мин	5000
Точность позиционирования, мм	0,012
Число инструментов в магазине	30
Число координат	3
Число одновременно управляемых координат	2
Тип УЧПУ	"Размер 214"
Мощность электропривода главного движения, кВт	4,5

Многооперационный станок мод. *FZ22L* (фирма "CHIRON"). Данный станок относится к фрезерно-сверлильно-расточной группе и предназначен для обработки средних, крупных корпусных деталей в условиях индивидуального и мелкосерийного производства. По своей компоновке он близок

к бесконсольно-фрезерным станкам. Однако, в отличие от них, имеет неподвижный стол 1 (рис. 7.18), на котором устанавливается обрабатываемая заготовка, и крестово-подвижную стойку 2, которая может перемещаться по станине 3 в продольном (координата X) и поперечном (координата Y) направлениях. По вертикальным направляющим стойки может перемещаться шпиндельная бабка 4 (координата Z). Между стойкой и шпиндельной бабкой расположен магазин 5 инструментов. Этот магазин цепного типа (рис. 7.19) и имеет U -образную форму. В нем размещается 36 инструментов. Станок оснащен системой ЧПУ типа *CNC*.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Рабочая поверхность неподвижного стола, мм	475×1480
Координатные перемещения, мм:	
стойки по оси X	1200
стойки по оси Y	400
шпиндельной бабки по оси Z	425
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подач исполнительных органов по осям X, Y, Z , мм/мин	1 — 4000
Дискретность перемещения, мм	0,001
Скорость быстрого перемещения, мм/мин	20000
Регулирование частоты вращения шпинделя	Бесступенчатое
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	20 — 6000

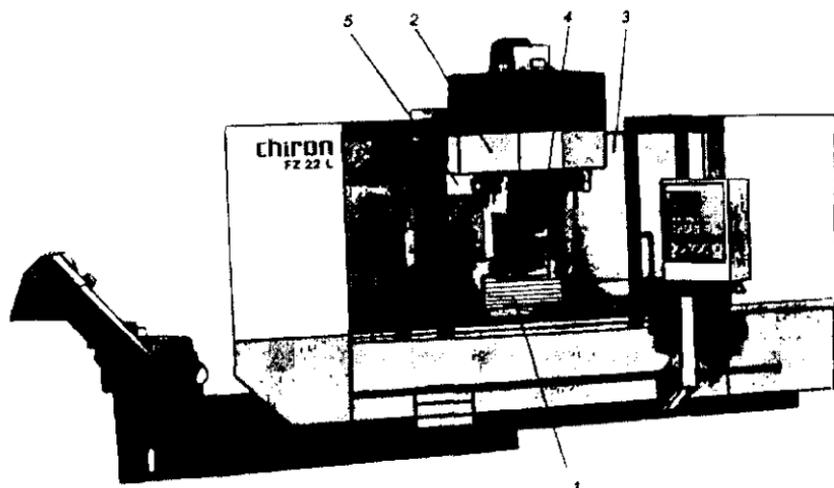


Рис. 7.18. Многооперационный станок мод. *FZ22L*: 1 — неподвижный стол; 2 — стойка; 3 — станина; 4 — шпиндельная бабка; 5 — магазин

Число инструментов в магазине	36
Время смены инструмента, с	4,8
Число координат	4
Число одновременно управляемых координат	3
Тип УЧПУ	CNC
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	27

Многооперационный станок мод. *SHW-UFZ43*. Это — широкоуниверсальный станок фрезерно-сверлильной группы, предназначенный для обработки средних и частично крупных корпусных деталей в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного производства. По своей компоновке он близок к бесконсольным фрезерным станкам. Технологические возможности станка позволяют вести обработку деталей даже сложной конфигурации без их переустановки.

Конструкция данного станка модульная: он состоит из унифицированных узлов и деталей, позволяющих получать различные компоновки. Как видно из рис. 7.20, сбоку стойки 1 по вертикальным направляющим могут перемещаться салазки 2 (координата *Y*), на которых установлена подвижная в осевом направлении шпиндельная бабка 3 (координата *Z*). В корпусе шпиндельной бабки расположена поворотная гильза 4 шпиндельного узла 5, позволяющая автоматически устанавливать его ось вращения вертикально или горизонтально. Сзади стойки на от-

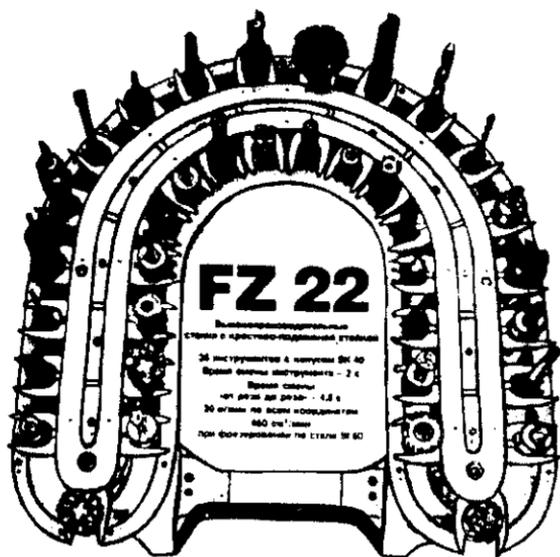


Рис. 7.19. Магазин инструментов

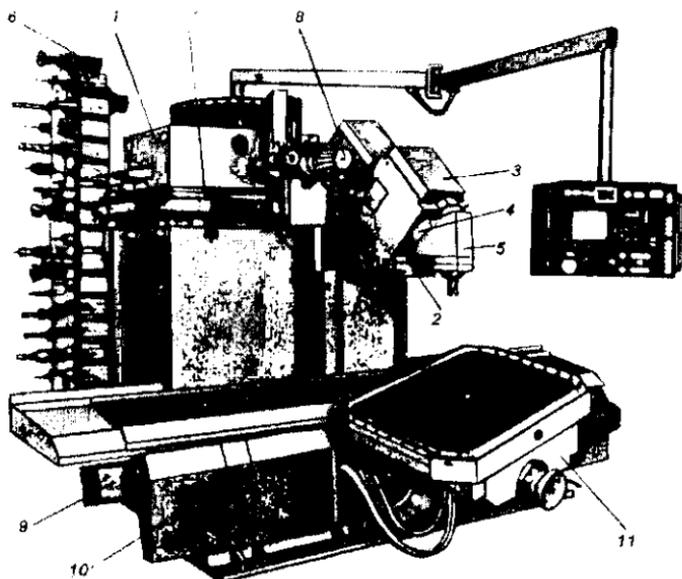


Рис. 7.20. Многооперационный станок мод. SHW-UFZ43: 1 — стойка; 2 — салазки (шпиндельной бабки); 3 — шпиндельная бабка; 4 — поворотная гильза; 5 — шпиндельный узел; 6 — магазин инструментов; 7 — направляющие манипулятора; 8 — манипулятор; 9 — продольная станина; 10 — стол (горизонтальный); 11 — универсальный стол с ЧПУ

дельном фундаменте расположен цепной магазин 6 инструментов. По периметру стойки прикреплены направляющие 7, по которым может перемещаться манипулятор 8, осуществляющий смену инструмента. Внизу, к передней стенке стойки, прикреплена наклонная продольная станина 9, на которой расположен подвижный горизонтальный стол 10 (координата X). На нем установлен универсальный стол 11 с ЧПУ, который может перемещаться по трем координатам, а именно: поворачиваться вокруг вертикальной и горизонтальной осей, а также наклоняться.

Агрегаты модульной системы представлены на рис. 7.21.

Система ЧПУ типа "Сименс 3MTNC355" выполнена с визуализацией на экране дисплея, с большим выбором "меню" и диалоговой системой ввода, что позволяет составлять программу быстро и надежно, причем в условиях цеха.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Рабочая поверхность универсального стола, мм	840×1100
Регулирование частоты вращения шпинделя	Бесступенчатое
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	36 — 2800

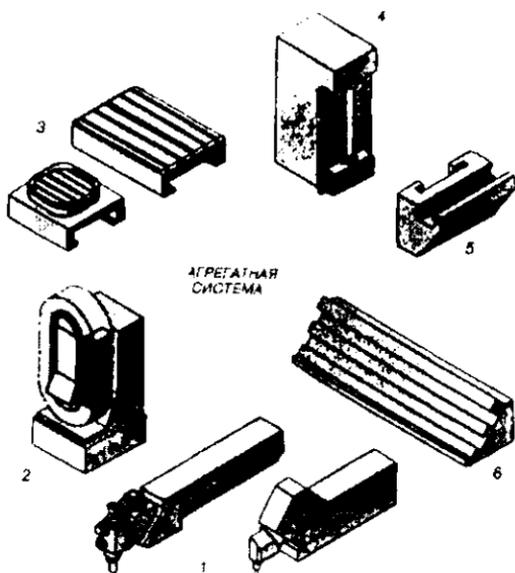


Рис. 7.21. Схема агрегатной системы

Время поворота шпиндельной головки из вертикального положения в горизонтальное, с	3
Координатные перемещения, мм:	
салазок по оси Y	1070
шпиндельной бабки по оси Z	900
стола по оси X	1200
Регулирование подачи	Бесступенчатое
Пределы подачи исполнительных органов по осям X, Y, Z , мм/мин ...	2 — 12000
Скорость быстрого перемещения, мм/мин	12000
Частота вращения универсального стола, об/мин	до 4
Частота ускоренного вращения универсального стола, об/мин	4
Число инструментов в магазине	40
Тип УЧПУ	
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	18/25

Необходимо отметить, что бесконсольные фрезерные станки с ЧПУ вместе с аналогичными консольными станками практически вытеснили тип копировально-фрезерных станков [9] с различными следящими системами. Последние до появления фрезерных станков с ЧПУ широко использовались для обработки деталей сложной формы: кулачков, копиров, шаблонов, штампов, прессформ, металлических моделей для литья и т.д.

§ 7.5. Продольно-фрезерные станки

Продольно-фрезерные станки, относящиеся к 6-му типу, предназначены для обработки крупных корпусных деталей в условиях крупносерийного производства. Их отличительной особенностью является наличие нескольких кинематических групп главного движения, обеспечивающих одновременную обработку нескольких поверхностей детали, что позволяет сократить основное (технологическое) время.

На продольно-фрезерном станке мод. 6652 каждая из четырех фрез 1, 2, 3 и 4 (рис. 7.22) совершает по два формообразующих

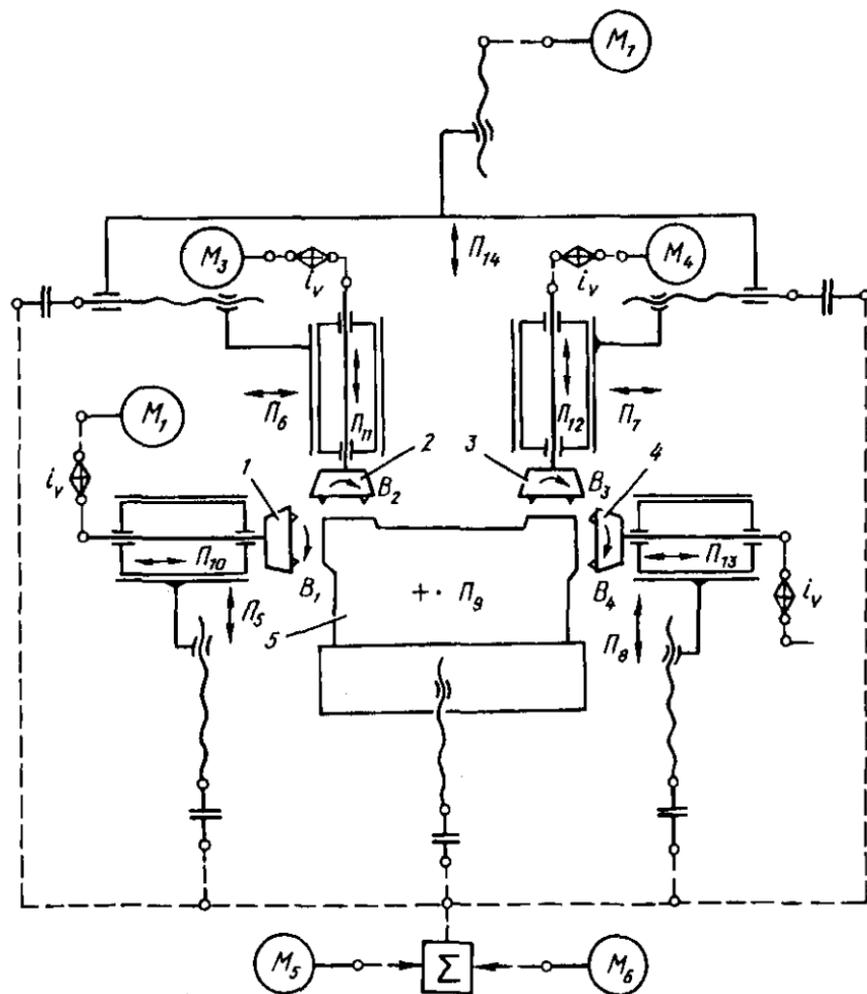


Рис. 7.22. Кинематическая структура продольно-фрезерного станка мод. 6652: 1, 2, 3 и 4 — фрезы; 5 — заготовка

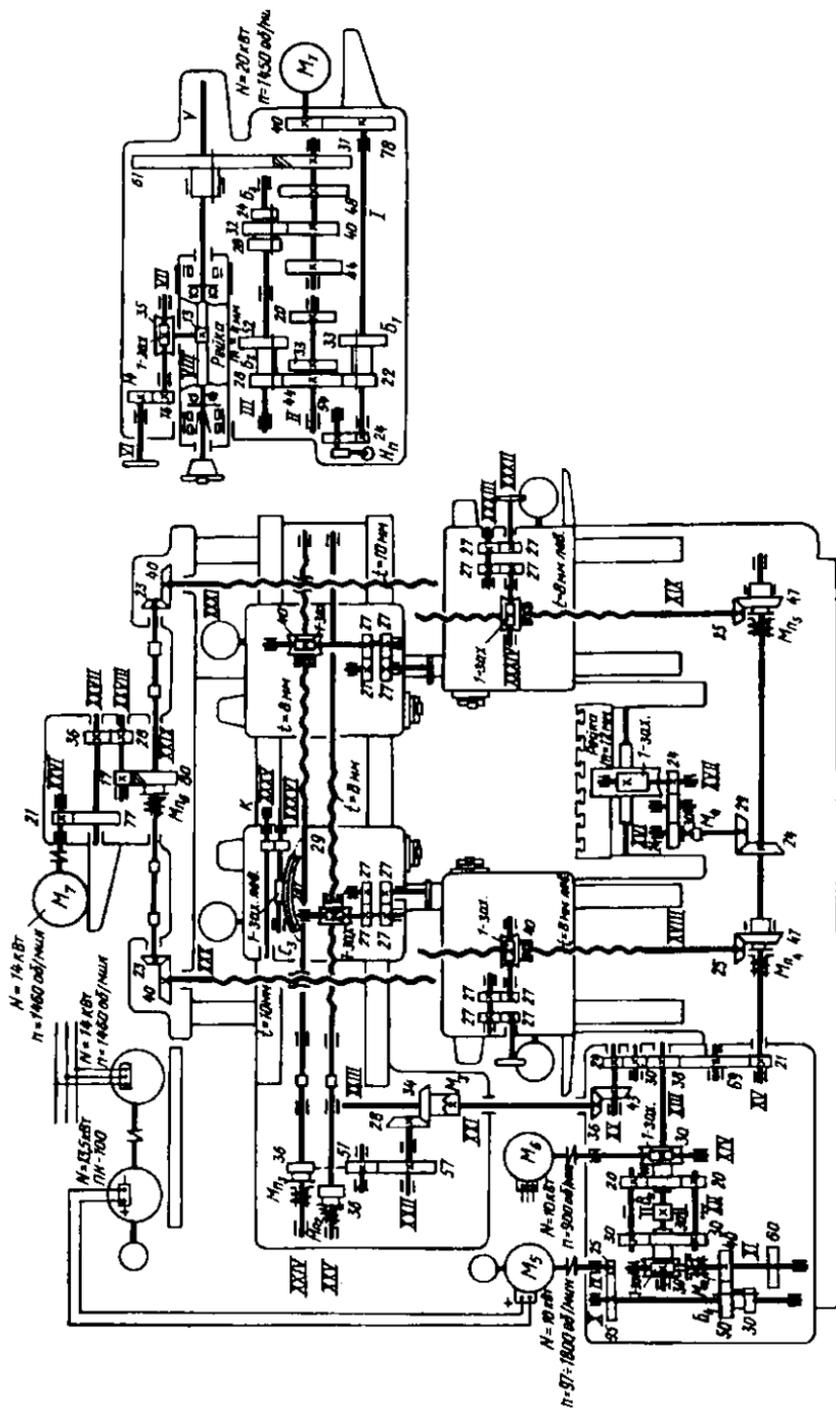


Рис. 7.23. Кинематическая схема продольно-фрезерного станка мод. 6652

движения: соответственно $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(P_5)$; $\Phi_v(B_2)$ и $\Phi_s(P_6)$; $\Phi_v(B_3)$ и $\Phi_s(P_7)$; $\Phi_v(B_4)$ и $\Phi_s(P_8)$. При этом движения P_5 , P_6 , P_7 и P_8 могут использоваться и как установочные движения. Кроме того, каждая из фрез совершает соответствующее установочное движение $B_c(P_{10})$, $B_c(P_{11})$, $B_c(P_{12})$ и $B_c(P_{13})$. Наряду с этим, фрезы 2 и 3 вместе с траверсой 6 совершают еще дополнительное установочное движение $B_c(P_{14})$. Что касается заготовки 5, то она совершает простое формообразующее движение $\Phi_s(P_9)$, которое может быть и установочным движением.

Для осуществления формообразующих движений $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_v(B_2)$, $\Phi_v(B_3)$ и $\Phi_v(B_4)$ предусматриваются отдельные простые кинематические группы главного движения. В каждой из них внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары шпинделя, а внешняя связь — кинематической цепью с органом настройки i_v в виде коробки скоростей со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. Коробки скоростей соответствующих фрезерных бабок являются однотипными и, как видно из кинематической схемы (рис. 7.23), имеют структурную формулу $Z_n = 2 \cdot 2 \cdot 3$.

Формообразующие движения $\Phi_s(P_5)$, $\Phi_s(P_6)$, $\Phi_s(P_7)$, $\Phi_s(P_8)$ и $\Phi_s(P_9)$ осуществляются простыми кинематическими группами подачи, имеющими общие источники движения M_5 и M_6 для обеспечения соответственно рабочих и установочных движений фрезерных бабок и продольного стола. Органом настройки скорости движения подачи является регулируемый двигатель M_5 постоянного тока.

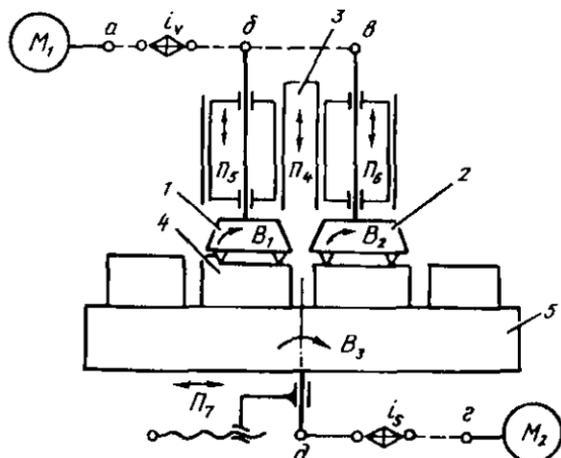
Установочные движения $B_c(P_{10})$, $B_c(P_{11})$, $B_c(P_{12})$ и $B_c(P_{13})$ осуществляются вручную путем перемещения пиноли шпинделя соответствующей фрезерной бабки. Что касается установочного перемещения траверсы со шпиндельными бабками, то оно осуществляется простой кинематической группой с источником движения M_7 . Во время работы станка пиноли фрезерных бабок и траверса зажаты.

Продольно-фрезерные станки, как и все универсальные станки, требуют постоянного присутствия человека и его участия при выполнении процесса обработки деталей. Чтобы исключить это, необходимо использовать для управления станками системы ЧПУ.

§ 7.6. Карусельно-фрезерные станки

Карусельно-фрезерные станки предназначены для обработки плоскостей деталей в условиях крупносерийного и массового производства. Их отличительной особенностью являются непрерывность процесса фрезерования и наличие двух кинематических групп главного движения, обеспечивающих совмещение черного и чистового фрезерования одной и той же поверхности.

Рис. 7.24. Кинематическая структура карусельно-фрезерного станка: 1 и 2 — фрезы; 3 — шпиндельная бабка; 4 — заготовка; 5 — поворотный стол



Как видно из рис. 7.24, фрезы 1 и 2 совершают простые формообразующие движения $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_v(B_2)$. Кроме того, они совершают по два установочных движения: $V_c(P_4)$ — совместно со шпиндельной бабкой 3 в зависимости от высоты обрабатываемой детали; $V_c(P_5)$ и $V_c(P_6)$ — индивидуально с пиннолью шпинделя для установки требуемой глубины фрезерования. Что касается заготовки 4, то она совершает простое формообразующее движение $\Phi_r(B_3)$ — движение круговой подачи, а также вместе с поперечным столом — установочное движение $V_c(P_7)$ в зависимости от радиуса расположения заготовок на поворотном столе 5.

Для осуществления формообразующих движений $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_v(B_2)$ предусматриваются простые кинематические группы главного движения, имеющие общий источник движения M_1 и орган настройки i_v в виде сменных колес. При этом частота вращения шпинделя для чистовой обработки примерно в 2,4 раза больше частоты вращения шпинделя для черновой обработки. Формообразующее движение $\Phi_r(B_3)$ осуществляется простой кинематической группой, в которой внутренняя связь обеспечивается связью вращательной пары поворотного стола, а внешняя связь — кинематической цепью $z-\delta$ с органом настройки i_s в виде сменных колес. Все установочные движения осуществляются вручную.

Глава 8

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Одним из основных путей повышения надежности машин и механизмов, т.е. улучшения их свойства выполнять заданные функции, является повышение износостойкости трущихся по-

верхностей деталей, которая зависит от многих факторов, в том числе, от твердости и шероховатости этих поверхностей. Повышение твердости поверхностей обеспечивается путем термообработки. Однако после термообработки снижается точность из-за температурных деформаций и ухудшается качество поверхностей. Поэтому возникает необходимость в дальнейшей обработке твердых поверхностей в целях повышения их точности и снижения шероховатости. Это обеспечивается на шлифовальных станках, в которых используется абразивный инструмент — шлифовальные круги.

Шлифовальные станки в зависимости от назначения делятся на несколько типов: круглошлифовальные центровые и бесцентровые; внутришлифовальные; плоскошлифовальные; обдирочно-шлифовальные; заточные; специализированные шлифовальные и разные станки, работающие абразивным инструментом. Все они относятся к третьей группе и в обозначении имеют первую цифру 3.

§ 8.1. Круглошлифовальные центровые и бесцентровые станки

Круглошлифовальные центровые станки, относящиеся к первому типу, предназначены для обработки наружных цилиндрических, конических и торцевых поверхностей. В процессе шлифования абразивный круг 1 (рис. 8.1) совершает два движения: простое формообразующее движение $\Phi_1(B_1)$ — главное движение и установочное движение $У_с(\Pi_4)$ при шлифовании методом продольной подачи или движение врезания $В_р(\Pi_4)$ при шлифовании методом радиальной подачи. Первый метод используется при шлифовании длинных, а второй метод — коротких цилиндрических и конических поверхностей. В случае обработки торцевых поверхностей второе движение также является формообразующим $\Phi_2(\Pi_4)$.

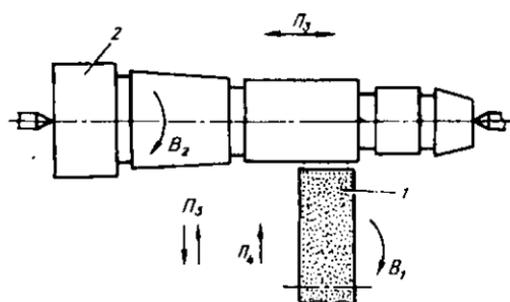


Рис. 8.1. Схема обработки на круглошлифовальном центровом станке: 1 — абразивный круг; 2 — обрабатываемая деталь

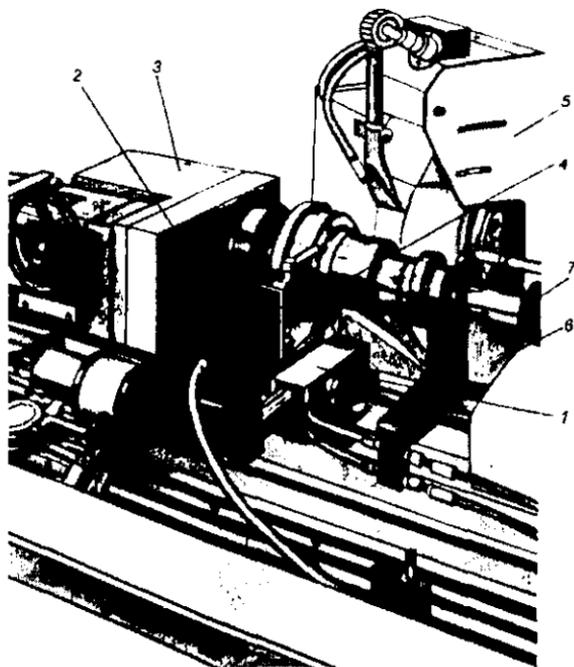


Рис. 8.2. Рабочая зона круглошлифовального станка: 1 — механизм подачи устройства активного контроля в зону обработки; 2 — устройство активного контроля; 3 — передняя бабка; 4 — деталь; 5 — шлифовальная бабка; 6 — шлифовальный круг; 7 — задняя бабка

Два простых движения совершает и обрабатываемая деталь 2: формообразующее движение $\Phi_z(B_2)$ — движение круговой подачи и формообразующее движение $\Phi_z(P_2)$ — движение продольной подачи.

После окончания процесса обработки и перед его началом шлифовальный круг совершает вспомогательное движение $V_z(P_5)$ — быстрый отвод и подвод в рабочую зону.

Рабочая зона круглошлифовального станка показана на рис. 8.2. Обработка детали 4, установленной в центрах передней 3 и задней 7 бабок, ведется шлифовальным кругом 6. Характерной особенностью станков этого типа является наличие устройства 2 активного контроля размеров, т.е. контроля в процессе обработки. Оно расположено спереди детали 4 и подается в зону обработки при помощи механизма 1. При достижении контролируемым размером заданной величины устройство 2 подает команду на быстрый отвод шлифовального круга 6. Благодаря данному устройству обеспечивается 6 — 7-й качества диаметральных размеров.

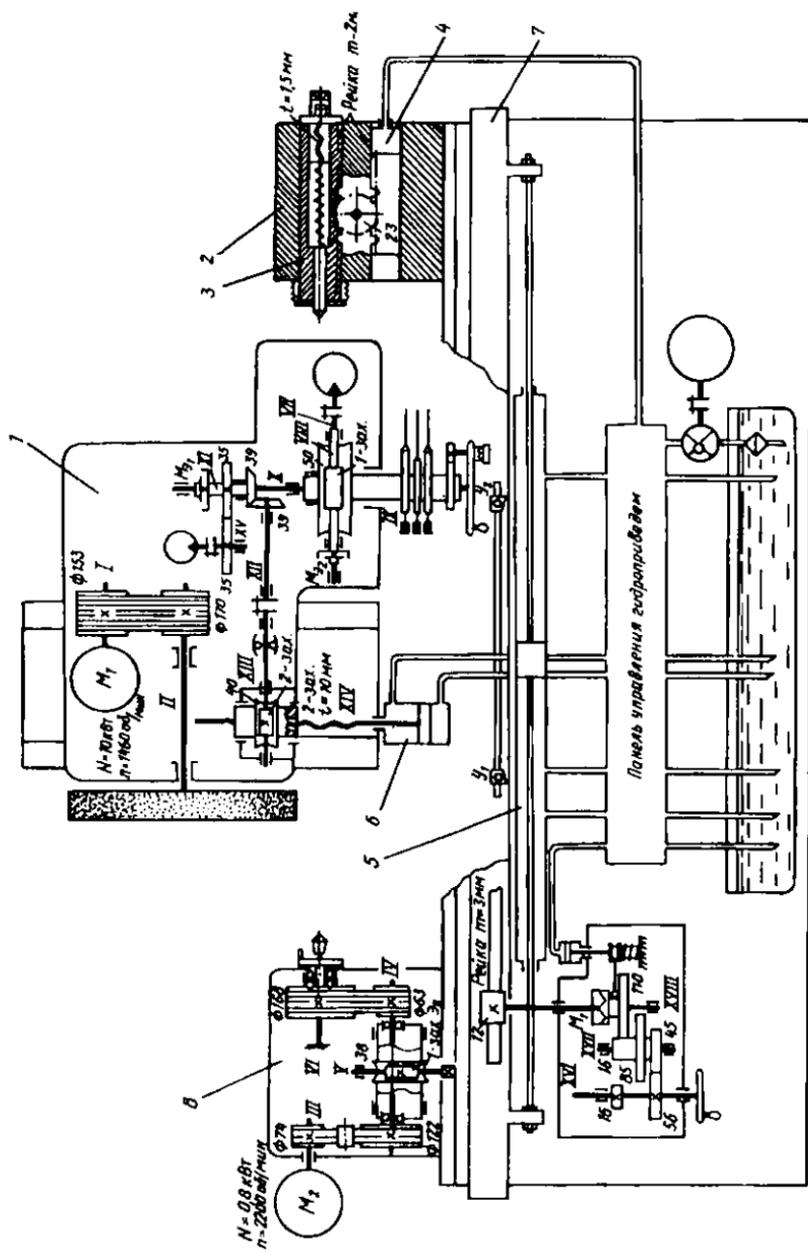


Рис. 8.3. Кинематическая схема круглошлифовального станка мод. 3М151:

1 — шлифовальная бабка; 2 — задняя бабка; 3 — пиньон; 4 — гидроцилиндр пиноли; 5 — гидроцилиндр продольного стола; 6 — гидроцилиндр; 7 — продольный стол; 8 — передняя бабка

На рис. 8.3 представлена кинематическая схема круглошлифовального станка мод. 3М151 с механическими и гидравлическими связями. В нем главное движение осуществляется от электродвигателя M_1 ($N = 10$ кВт, $n_{\text{н}} = 1460$ об/мин) через клиноремennую передачу $\frac{153}{170}$.

Движение непрерывной автоматической радиальной подачи шлифовальной бабки 1 при врезном шлифовании осуществляется от гидродвигателя Г1 через электромагнитную муфту $MЭ_2$; червячную передачу $\frac{1}{50}$; коническую передачу $\frac{39}{39}$; червячную передачу $\frac{2}{40}$ и передачу винт-гайка скольжения ($t = 10$ мм, 2 захода). Этой же кинематической цепью осуществляется и периодическая автоматическая радиальная подача при шлифовании методом продольной подачи. С этой целью на определенное время включается электромагнитная муфта $MЭ_2$.

Для установочных перемещений шлифовальной бабки используется гидродвигатель Г2, от которого движение на винт радиальной подачи передается через зубчатую передачу $\frac{35}{35}$; электромагнитную муфту $MЭ_1$; коническую передачу $\frac{39}{39}$ и червячную передачу $\frac{2}{40}$. Быстрый подвод и отвод осуществляется гидроцилиндром 6.

Круговая подача шлифуемой детали, которую устанавливают в центрах передней 8 и задней 2 бабок, осуществляется от электродвигателя $M2$ постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения через клиноремennые передачи $\frac{74}{122}$ и $\frac{63}{168}$. Этот привод обеспечивает частоту вращения детали в пределах 40 — 400 об/мин.

Для осуществления продольной подачи стола 7, на котором установлены передняя и задняя бабки, используется гидроцилиндр 5 с дроссельным регулированием скорости. Ход стола ограничивается упорами $У_1$ и $У_2$, которые переключают при помощи золотника направление потока жидкости, т.е. осуществляют реверс стола 7.

Характерной особенностью станков шлифовальной группы является наличие приборов правки абразивного инструмента, при помощи которых восстанавливают его режущие способности, геометрическую форму и микропрофиль рабочей поверхности. Применяют три способа правки: обтачиванием, обкатыванием и шлифованием.

При правке обтачиванием правящий инструмент в виде алмазного карандаша играет роль резца, который снимает с абразивного круга отработавший слой абразивных зерен и их

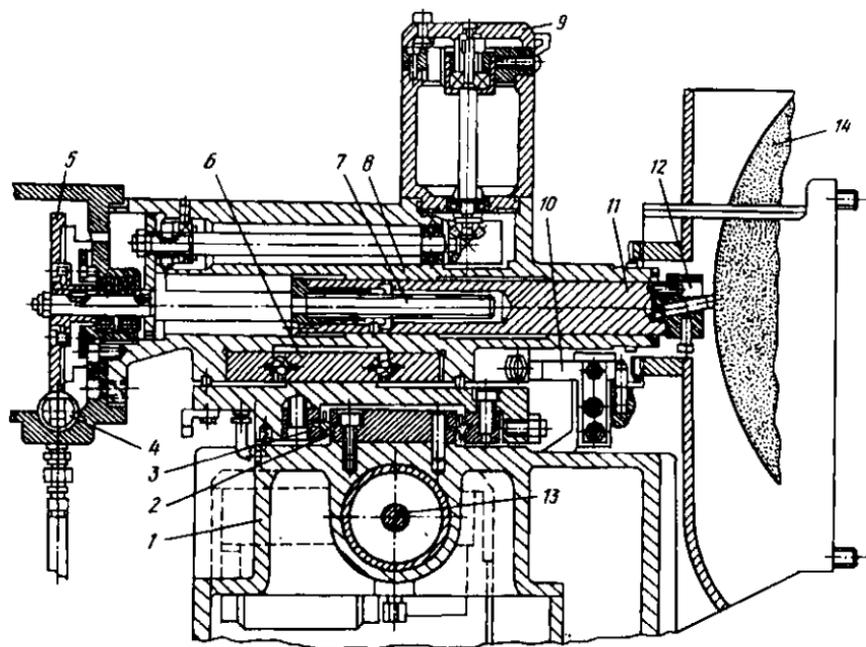


Рис. 8.4. Прибор автоматической правки шлифовального круга круглошлифовального станка: 1 — корпус бабки; 2 — роликовые направляющие; 3 — каретка; 4 — гидравлический плунжер с собачкой; 5 — храповик; 6 — поперечные роликовые направляющие; 7 — ходовой винт; 8 — суппорт; 9 — маховик; 10 — копир; 11 — пиноль; 12 — держатель алмазного карандаша; 13 — шток гидроцилиндра; 14 — шлифовальный круг

связки. Этот способ применяется для автоматической и профильной правки, а также при высокой точности обработки (6 — 7 квалитет) с шероховатостью $R_a \leq 0,32$ мкм.

Правка обкатыванием выполняется дисками (металлическими или твердосплавными), которые получают вращение в результате контакта со шлифовальным кругом. Такой способ правки применяется в станках, предназначенных для обдирочного и предварительного шлифования абразивными кругами на бакелитовой связке.

При правке шлифованием правящий инструмент (алмазные ролики или круги из карбида кремния черного) вращается принудительно с линейной скоростью на периферии 2 — 10 м/с в направлении, противоположном вращению шлифовального круга. Данный способ применяется в станках с широкими кругами: 100 мм и выше.

На рис. 8.4 приведен прибор автоматической правки шлифовального круга круглошлифовального станка. Прибор смонтиро-

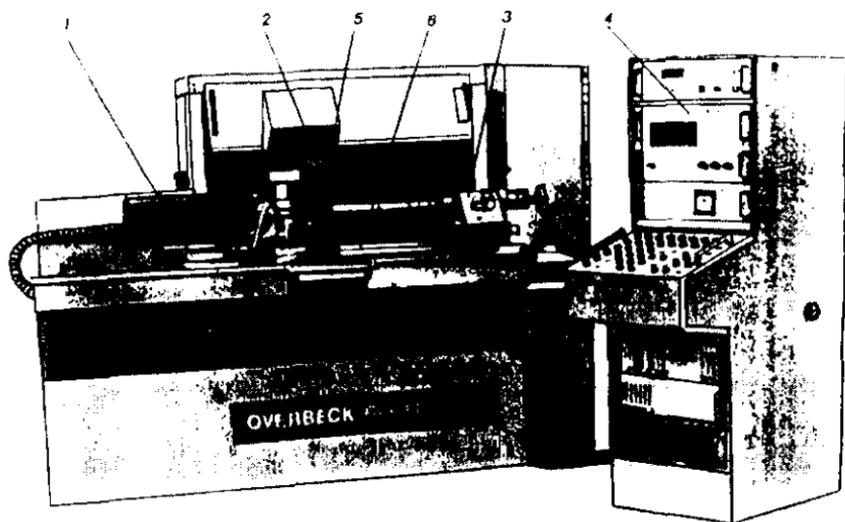


Рис. 8.5. Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. 600R-CNC фирмы "OVERBECK": 1 — передняя бабка; 2 — шлифовальная бабка; 3 — задняя бабка; 4 — система ЧПУ; 5 — устройство активного контроля; 6 — продольный стол

ван на каретке 3, которая может перемещаться по роликовым направляющим 2, закрепленным на корпусе 1 шлифовальной бабки. Движение каретки осуществляется при помощи штока 13 гидроцилиндра, скорость которого регулируется бесступенчато дросселем. На каретке установлены под углом 45° роликовые направляющие 6, по которым может перемещаться суппорт 8, контактирующий с копиром 10, задающим форму правки шлифовального круга. Внутри суппорта находится пиноль 11 с держателем 12 алмазного карандаша. Они могут выдвигаться на глубину врезания вручную при помощи маховика 9, конической и цилиндрической зубчатых передач и ходового винта 7 или автоматически — посредством гидравлического плунжера 4 с собачкой, храповика 5 и того же ходового винта 7.

Включение прибора может осуществляться автоматически в зависимости от числа обработанных деталей или вручную — путем нажатия на кнопку.

Современные круглошлифовальные станки оснащаются системами ЧПУ. Такой станок мод. 600R-CNC фирмы "OVERBECK" показан на рис. 8.5. Он оснащен системой ЧПУ типа CNC.

Эта же фирма разработала круглошлифовальный автомат (рис. 8.6), оснащенный цепным магазином 3 заготовок и двуручным роботом 2, который может перемещаться по порталу 1. Робот осуществляет съем готовой детали и ее перенос в тару готовой продукции, а также установку заготовки.

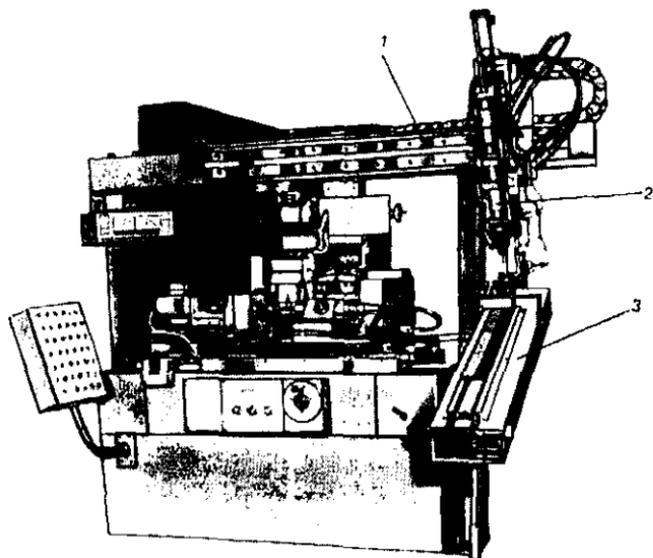


Рис. 8.6. Круглошлифовальный автомат мод. 600RE фирмы "OVERBECK":
1 — портал; 2 — двурукий робот; 3 — цепной магазин заготовок

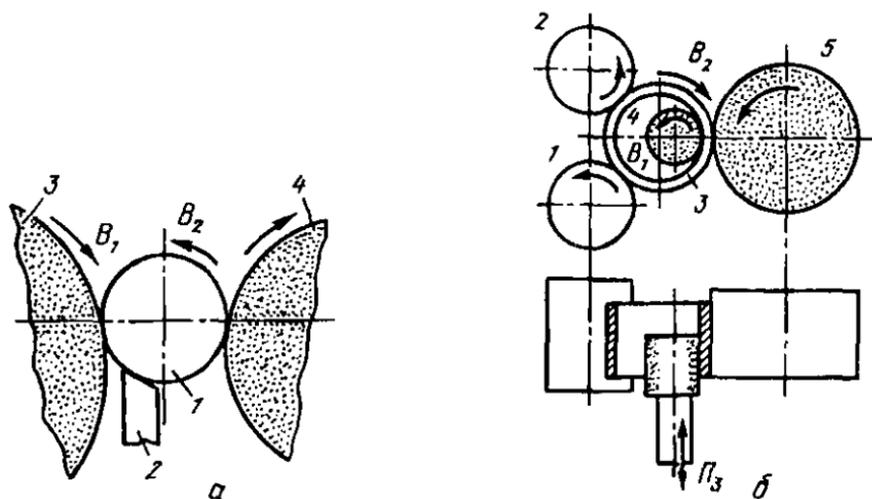


Рис. 8.7. Схемы бесцентрового шлифования: а — наружного: 1 — деталь; 2 — упор; 3 — шлифовальный круг; 4 — ведущий круг; б — внутреннего: 1 и 2 — опорный и прижимной ролики; 3 — деталь; 4 — шлифовальный круг; 5 — ведущий круг

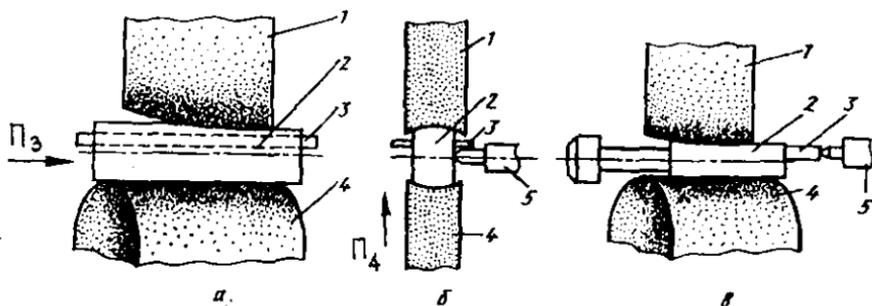


Рис. 8.8. Способы бесцентрового шлифования: а — напроход; б — врезанием; в — подачей до упора; 1 — шлифовальный круг; 2 — деталь; 3 — опорный нож; 4 — ведущий круг; 5 — упор

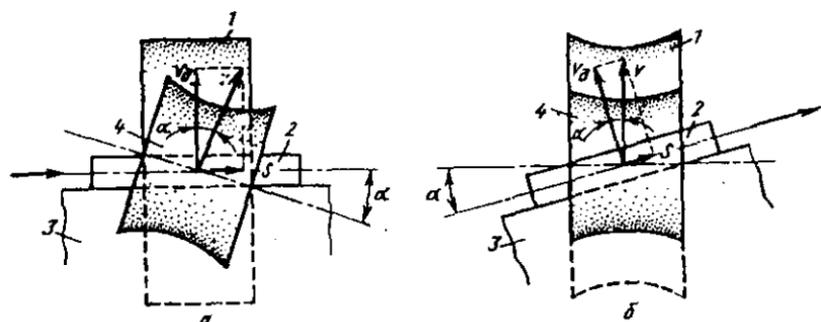


Рис. 8.9. Схема получения продольной подачи при бесцентровом шлифровании: а — путем поворота оси ведущего круга; б — путем поворота опорного ножа; 1 — шлифовальный круг; 2 — деталь; 3 — опорный нож; 4 — ведущий круг

Круглошлифовальные бесцентровые (или бесцентрово-шлифовальные) станки предназначены для обработки поверхности вращения на деталях, не имеющих центровых отверстий. Эти станки применяются в условиях крупносерийного и массового производства.

Схемы бесцентрового шлифования приведены на рис. 8.7. При наружном бесцентровом шлифовании круг 3 (рис. 8.7а) совершает простое формообразующее движение $\Phi_1(B_1)$ — главное движение, а деталь 1 — простое формообразующее движение $\Phi_2(B_2)$: движение круговой подачи, которое обеспечивается при помощи ведущего круга 4. Деталь опирается на опорный нож 2.

Наружное бесцентровое шлифование может выполняться тремя способами (рис. 8.8): напроход, врезанием и подачей до упора. При шлифовании напроход деталь 2 (рис. 8.8а) совершает еще одно формообразующее движение $\Phi_3(P_3)$ — движение продольной подачи, которое обеспечивается путем поворота оси веду-

щего круга 4 (рис. 8.9а) относительно оси шлифовального круга 1. При врезном шлифовании деталь 2 (рис. 8.8б) неподвижна в продольном направлении, так как она упирается в неподвижный упор 5. Но зато она совершает движение врезания $V_p(P_4)$ за счет радиального перемещения ведущего круга 4. Что касается бесцентрового шлифования с подачей до упора, то оно аналогично первому способу. Отличие заключается в том, что деталь 2 (рис. 8.8в) перемещается в продольном направлении до неподвижного упора 5.

При внутреннем бесцентровом шлифовании (рис. 8.7б) шлифовальный круг 4 и деталь 3 совершают соответственно простые формообразующие движения $\Phi_1(B_1)$ и $\Phi_2(B_2)$. Кроме того, круг 4 совершает движение продольной подачи $\Phi_3(P_3)$. Деталь находится между ведущим кругом 5 и опорным 1 и прижимным 2 роликами.

Как отмечалось выше, продольная подача детали 2 (рис. 8.9а) обеспечивается путем поворота оси вращения ведущего круга 4 относительно оси шлифовального круга 1. В этом случае скорость S в продольном направлении равна

$$S = V \cdot \sin \alpha,$$

где V — окружная скорость ведущего круга; α — угол поворота осей.

Продольную подачу детали 2 (рис. 8.9б) можно получить и путем поворота опорного ножа 3 относительно осей шлифовального и ведущего кругов.

На рис. 8.10 приведена кинематическая схема бесцентрово-шлифовального станка мод. 3180 с механическими и гидравлическими связями. Здесь главное движение осуществляется от электродвигателя M_1 ($N = 14$ кВт, $n_{зл} = 1460$ об/мин) через клиноременную передачу $\frac{158}{190}$.

Для вращения ведущего круга 5 используется аксиально-поршневой двигатель 7 с дроссельным регулированием частоты вращения. Вращение от этого двигателя на ведущий круг передается цепной передачей $\frac{Z_1}{Z_2}$. В нижнем правом углу кинематической схемы представлен второй вариант привода ведущего круга: от электродвигателя M_2 через цепную передачу $\frac{17}{23}$; сменные колеса $\frac{A}{B}$ (орган настройки) и червячную передачу $\frac{1}{30}$.

Правка шлифовального и ведущего кругов осуществляется соответственно приборами 2 и 6. Прибор 2 в процессе правки перемещается гидроцилиндром 1.

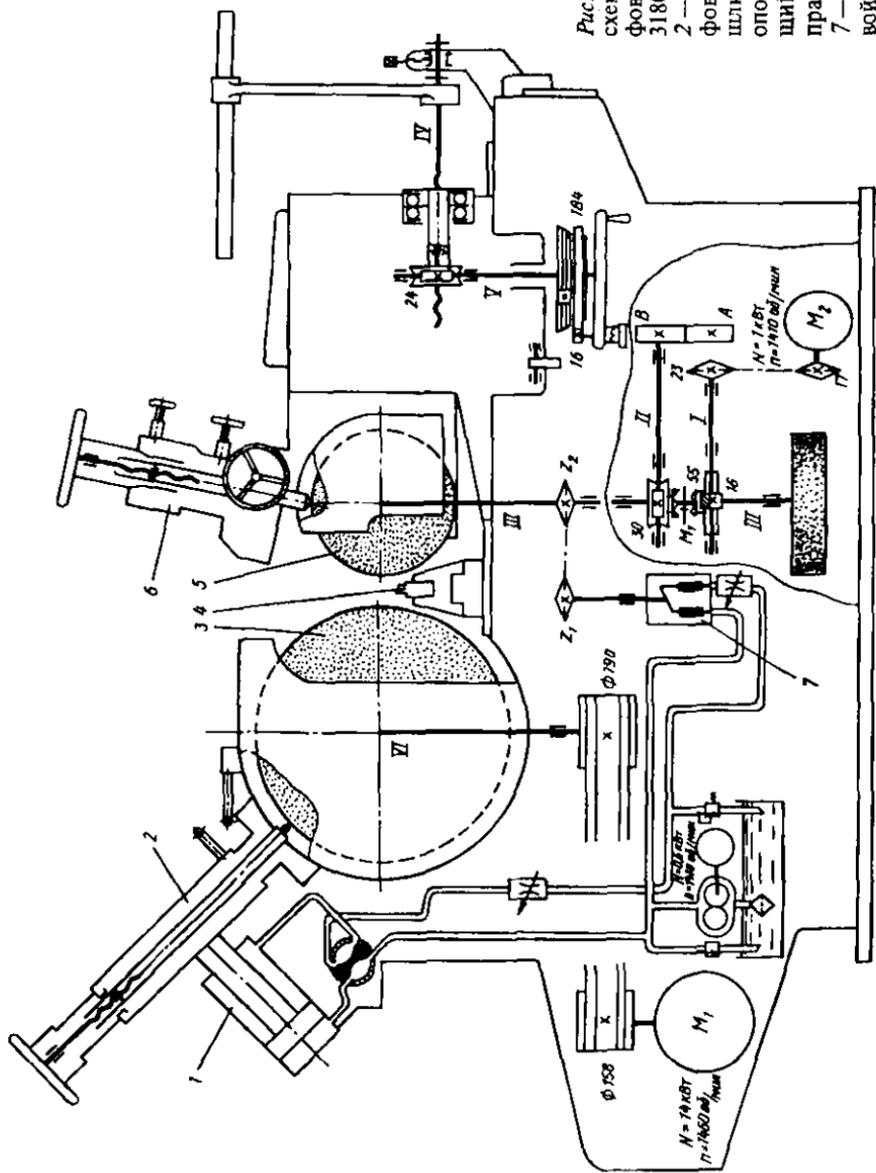


Рис. 8.10. Кинематическая схема бесцентрово-шлифовального станка мод. 3180: 1 — гидроцилиндр; 2 — прибор правки шлифовального круга; 3 — шлифовальный круг; 4 — опорный нож; 5 — ведущий круг; 6 — прибор правки ведущего круга; 7 — аксиально-поршневой двигатель

§ 8.2. Внутришлифовальные станки

Внутришлифовальные станки, относящиеся ко второму типу, предназначены для обработки сквозных и глухих отверстий, а также их торцов. В процессе шлифования абразивный круг *1* (рис. 8.11) совершает следующие движения: формообразующее $\Phi_v(B_1)$ — главное движение; формообразующее $\Phi_s(P_3)$ — движение продольной подачи и движение врезания $B_p(P_4)$, которое может быть прерывистым при обработке методом продольной подачи или непрерывным при обработке методом поперечной (радиальной) подачи. Второй абразивный круг *3* совершает два простых формообразующих движения $\Phi_v(B_5)$ — главное движение и $\Phi_s(P_6)$ — движение поперечной подачи. Что касается детали *2*, то она совершает простое формообразующее движение $\Phi_s(B_2)$ — движение круговой подачи.

Типовая компоновка внутришлифовального станка представлена на рис. 8.12. На станине *1* установлены бабка *2* изделия и шлифовальная бабка *II*, которая может перемещаться в продольном и поперечном направлениях при помощи крестового стола. На бабке изделия закреплен корпус *4*, в котором находится выдвигная пиноль *5* с приводом *3* чашечного круга *8*. На правом конце пиноли размещено поворотное устройство *9*, обеспечивающее поперечную подачу чашечного круга *8*.

На рис. 8.13 приведена кинематическая схема внутришлифовального станка мод. 3А252 с механическими и гидравлическими связями. Главное движение шлифовального круга *4* осуществляется от электродвигателя *M1* через плоскоремennую передачу со сменными шкивами. Для продольной подачи шлифовальной бабки с кругом *4* используется гидроцилиндр *7*. Величина ее хода устанавливается при помощи упоров *6*, которые через рычаг *5* переключают золотник реверса *8*. Поперечная подача шлифовальной бабки осуществляется при помощи электромагнитного шагового привода *10*, передающего движение на храповое колесо ($Z = 200$) и передачу винт-гайка скольжения ($t = 3$ мм). Перемещение шлифовальной бабки вручную в продольном и поперечном направлениях осуществляется соответственно маховиками *9* и *11*.

Движение круговой подачи на шпиндель *III* с зажимным патроном *3* передается от электродвигателя *M2*

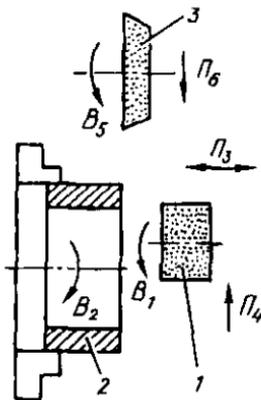


Рис. 8.11. Схема обработки на внутришлифовальном станке: *1* — шлифовальный цилиндрический круг; *2* — деталь; *3* — шлифовальный чашечный круг

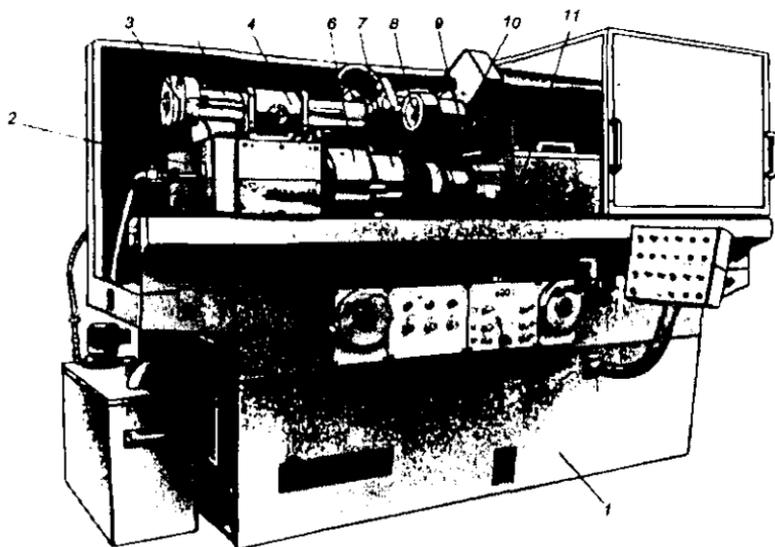


Рис. 8.12. Внутришлифовальный станок: 1 — станина; 2 — бабка изделия; 3 — привод чашечного круга; 4 — корпус; 5 — пильоль; 6 — патрон; 7 — обрабатываемая деталь; 8 — чашечный круг; 9 — поворотное устройство; 10 — цилиндрический круг; 11 — шлифовальная бабка

($N = 1,2$ кВт, $n_{\text{эл}} = 740-1460$ об/мин) с регулируемой частотой вращения через ременную передачу $\frac{90}{160}$; вариатор 2 (второй орган настройки) и ременную передачу $\frac{100}{188}$. Зажим детали в патроне 3 производится при помощи гидроцилиндра 1.

Для создания гидравлических связей в станке предусмотрена насосная установка с электродвигателем $M3(N = 2,8$ кВт, $n_{\text{эл}} = 1450$ об/мин) и панель автоматики.

Современные внутришлифовальные станки оснащаются системами ЧПУ. В качестве примера на рис. 8.14 показан станок мод. 6001-CNC фирмы "OVERBECK", оснащенный системой ЧПУ типа CNC.

Фирма BWF (Германия) создала шлифовальный станок с ЧПУ мод. SR4-CNC для внутреннего и наружного шлифования. Станок оснащен четырехпозиционной револьверной головкой 1 (рис. 8.15) с различными абразивными кругами, имеющими индивидуальные привода-электрошпиндели. Один из кругов предназначен для наружного шлифования.

На станке программируются: вращение C (обозначение по системе ISO) обрабатываемой детали; поперечное перемещение U бабки 2 изделия; поворот B бабки изделия относительно вер-

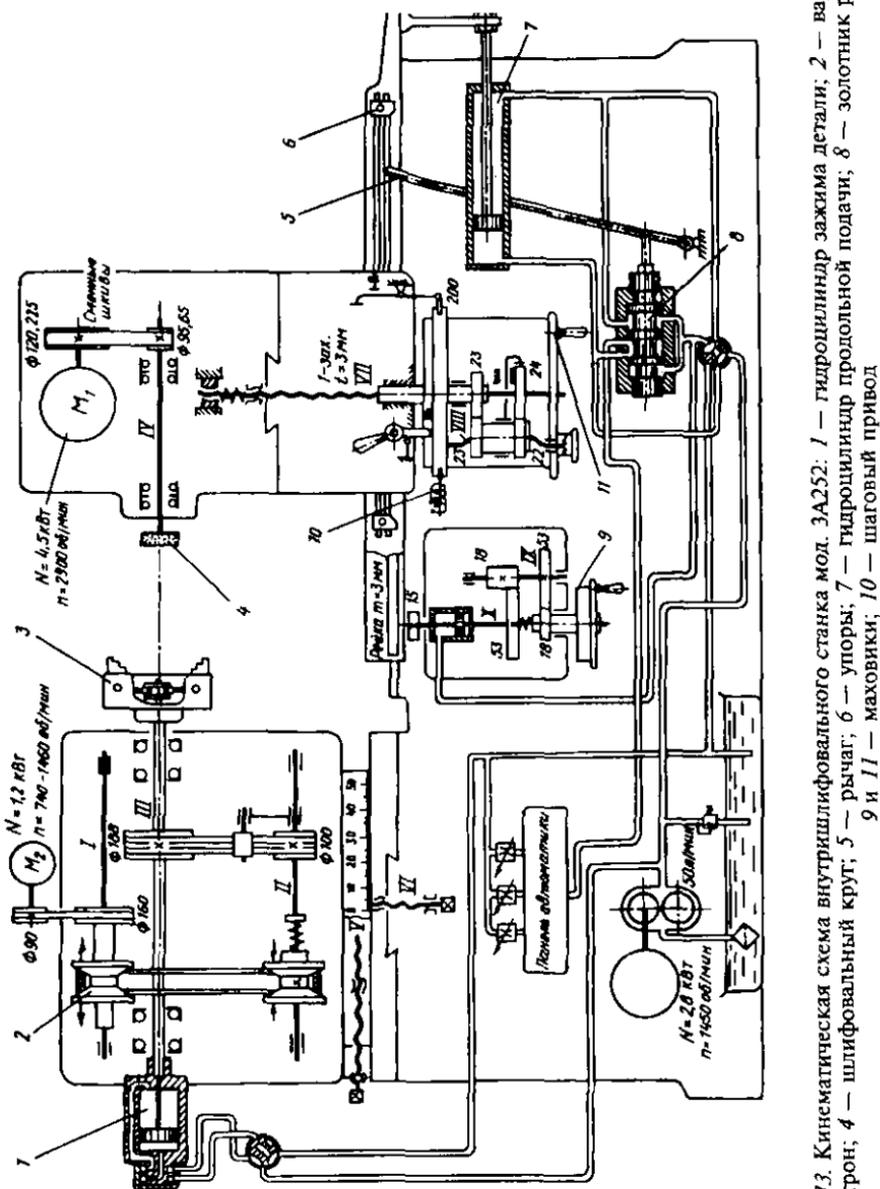


Рис. 8.13. Кинематическая схема внутришлифовального станка мод. 3А252: 1 — гидrocилндр зажима детали; 2 — вариатор; 3 — патрон; 4 — шлицевый крест; 5 — рычаг; 6 — упоры; 7 — гидrocилндр продольной подачи; 8 — золотник реверса; 9 и 11 — маховики; 10 — шаговый привод

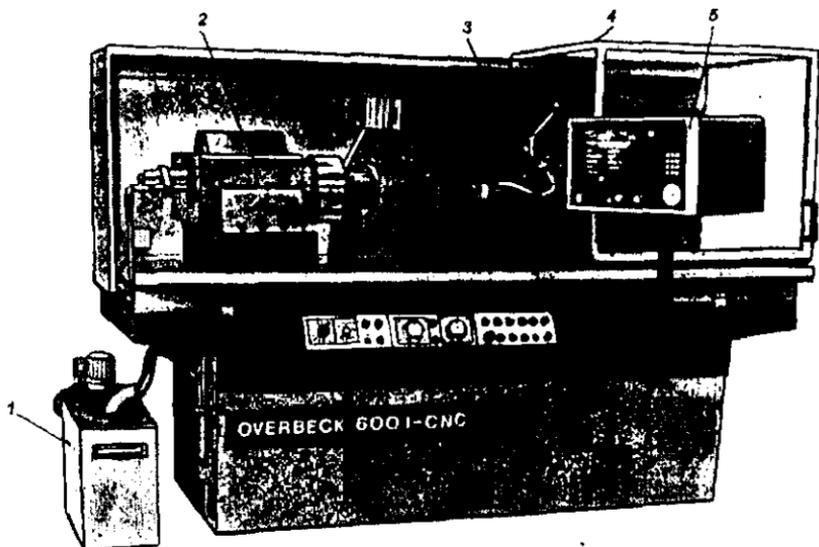


Рис. 8.14. Внутришлифовальный станок с ЧПУ мод. 6001-СNC фирмы "OVERBECK". 1 — гидростанция; 2 — бабка изделия; 3 — шлифовальная бабка; 4 — защитный кожух; 5 — система ЧПУ

тикальной оси; продольные и поперечные перемещения револьверной головки по координатам X и Z ; поворот D револьверной головки. Программирование осуществляется в технике "меню" посредством ручного программирования через клавиатуру, обучения, записи и воспроизведения программы через серийный интерфейс RS232C.

Для всех координат используются сервоприводы с двигателями переменного или постоянного тока.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА

Внутренняя обработка:

диаметр шлифования, мм	5—270
наибольшая длина шлифования, мм	250
наибольший угол поворота бабки изделия, град	30

Наружная обработка:

диаметр шлифования, мм	10—270
наибольшая длина шлифования, мм	60
наибольший угол поворота бабки изделия, град	30

Наибольшая длина обрабатываемой детали, мм

Наибольшая длина обрабатываемой детали с люнетом, мм

Частота вращения шпинделя изделия, об/мин

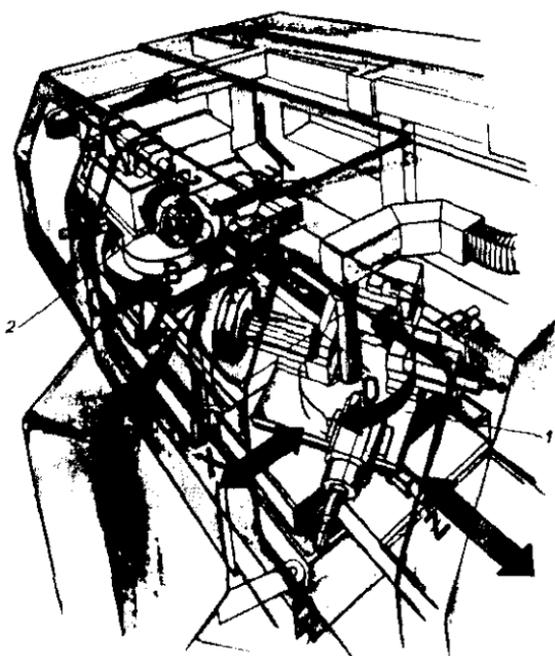


Рис. 8.15. Шлифовальный станок с ЧПУ мод. SR4 = CNC фирмы BWF (Германия) для внутреннего и наружного шлифования:
 1 — четырехпозиционная револьверная головка; 2 — бабка изделия

Окружная скорость шлифовальных кругов, м/с	45
Число позиций револьверной головки	4
Дискретность перемещения:	
по координате X, мм	0,0005
по координате Z, мм	0,001
по координате U, мм	0,0005
по координате B, град	0,0001
Общая потребляемая мощность, кВт	18,5

Для расширения технологических возможностей шлифовальных станков их, как и станки других групп, оснащают магазинами инструментов. В качестве примера на рис.8.16 показан многооперационный шлифовальный станок с ЧПУ мод. CNC352IUG фирмы "BUDERUS" (Германия). Он оснащен магазином дискового типа на 20 шлифовальных кругов различного профиля для шлифования гладких и резьбовых отверстий.

На станке, кроме шлифовальной бабки 4 (рис. 8.17) для внутреннего шлифования, предусмотрена бабка 3 для наружного

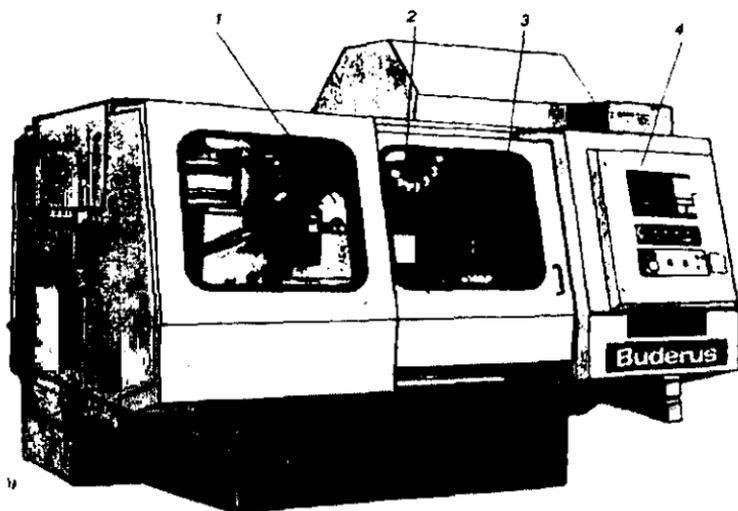


Рис. 8.16. Многооперационный шлифовальный станок с ЧПУ мод. CNC3521UG фирмы "BUDERUS" (Германия) для обработки внутренних и наружных поверхностей: 1 — бабка изделия; 2 — магазин шлифовальных кругов; 3 — шлифовальная бабка; 4 — система ЧПУ

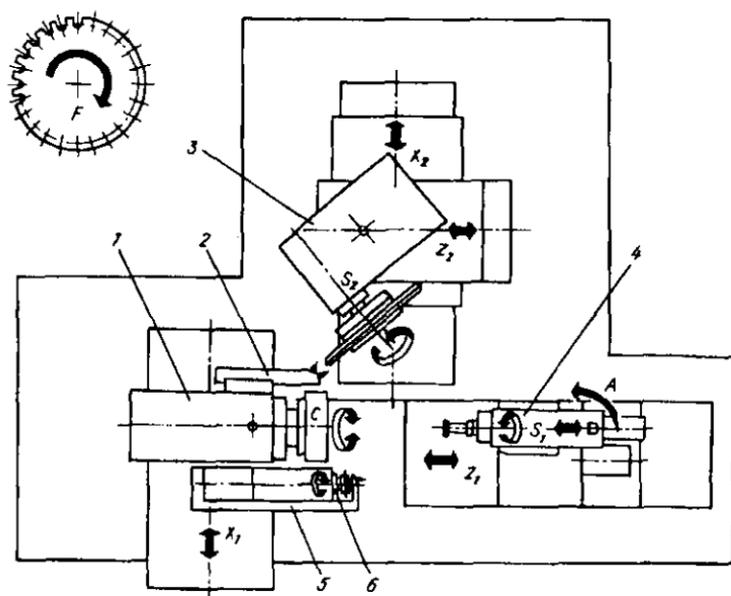


Рис. 8.17. Схема обработки на многооперационном шлифовальном станке мод. CNC3521UG: 1 — бабка изделия; 2 — прибор для правки круга; 3 — шлифовальная бабка для наружного шлифования; 4 — шлифовальная бабка для внутреннего шлифования; 5 — прибор для правки круга; 6 — алмазная шарошка

шлифования гладких и винтовых поверхностей. Для правки кругов предусмотрены приборы 2 и 5, а также алмазная шарошка 6.

В рассматриваемом станке программируются следующие движения: поперечное перемещение X_1 бабки изделия; вращение C изделия; продольное и поперечное перемещения шлифовальной бабки 3 по координатам Z_2 и X_2 ; вращение S_2 круга шлифовальной бабки 3; продольное перемещение Z_1 шлифовальной бабки 4; вращение S_1 круга шлифовальной бабки 4 и поворот A шлифовальной бабки 4.

При этом предусмотрена электронная связь между вращением шпинделя изделия и продольными перемещениями Z_2 и Z_1 , шлифовальных бабок 3 и 4, которая обеспечивает возможность шлифования наружных и внутренних винтовых поверхностей.

На рис. 8.18 показаны типовые операции, выполняемые на многооперационном шлифовальном станке с ЧПУ мод. CNC352IUG.

§ 8.3. Плоскошлифовальные станки

Плоскошлифовальные станки, относящиеся к седьмому типу, предназначены для обработки плоских поверхностей периферией или торцом шлифовального круга. Существует несколько схем плоского шлифования. При периферийном шлифовании (рис. 8.19а,б) абразивный круг 1 совершает три движения: $\Phi_v(B_1)$ — главное движение; $\Phi_s(P_2)$ — движение поперечной подачи и $B_p(P_3)$ — движение врезания или вертикальной подачи. Что касается детали, то она может совершать на столе 2 (рис. 8.19а) движение продольной подачи или на поворотном столе 2 (рис. 8.19б) — движение круговой подачи $\Phi_s(B_4)$. При торцевом шлифовании (рис. 8.19в,г) абразивный круг 3 совершает два движения: $\Phi_v(B_1)$ — главное движение и $B_p(P_2)$ — движение врезания или осевой подачи. Деталь, как и в схемах периферийного шлифования, может совершать на столе 2 (рис. 8.19в) движение продольной подачи $\Phi_s(P_3)$ или на поворотном столе 2 (рис. 8.19г) — движение круговой подачи $\Phi_s(B_3)$.

Схемы двустороннего плоского шлифования приведены на рис. 8.20. Здесь шлифование осуществляется торцами кругов 1 и 2, оси вращения которых могут располагаться горизонтально (а, б) или вертикально (в, г). При этом детали 3 могут совершать движение продольной (а, в) или круговой (б, г) подачи. Рассмотрим кинематическую схему плоскошлифовального станка мод. ЗЕ7113. Главное движение шлифовального круга 7 осуществляется от электродвигателя $M1(N = 5,5 \text{ кВт}, n_{\text{эл}} = 1500 \text{ об/мин})$ через ременную передачу $\frac{105}{194}$ (рис. 8.21). Для его вертикаль-

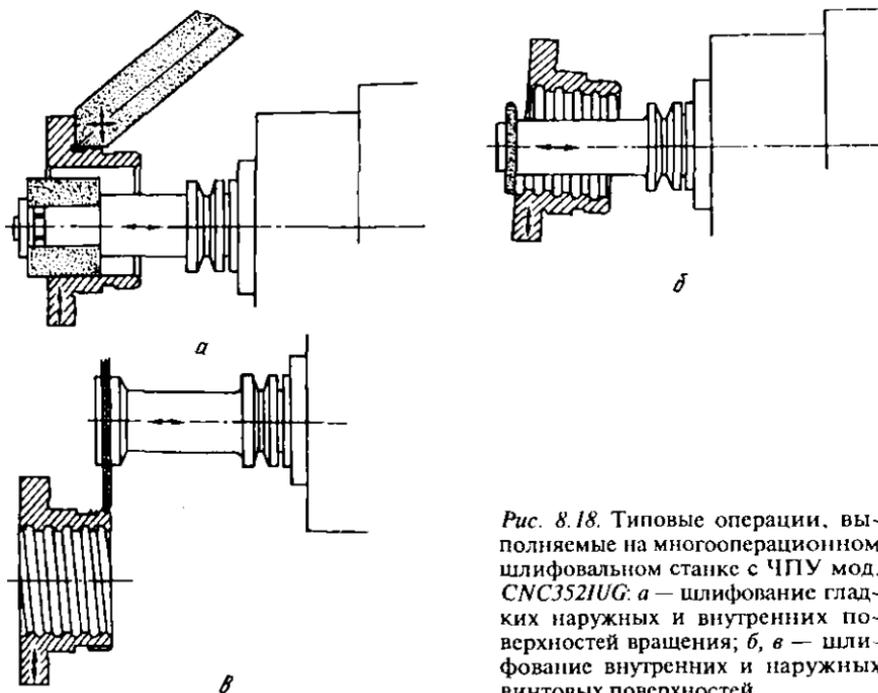


Рис. 8.18. Типовые операции, выполняемые на многооперационном шлифовальном станке с ЧПУ мод. CNC3521UG: а — шлифование гладких наружных и внутренних поверхностей вращения; б, в — шлифование внутренних и наружных винтовых поверхностей

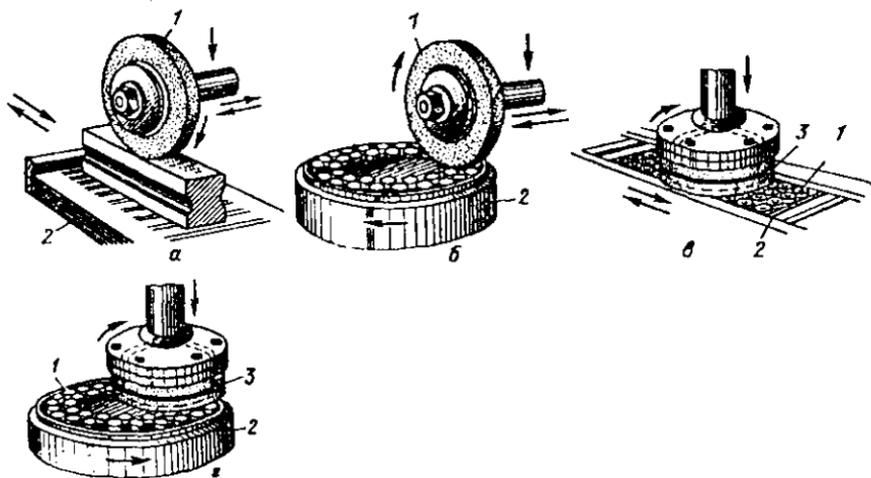


Рис. 8.19. Схемы плоского шлифования: а, б — периферией круга; 1 — абразивный круг; 2 — продольный или поворотный стол; в, г — торцом круга; 1 — обрабатываемые детали; 2 — продольный или поворотный стол; 3 — абразивный круг

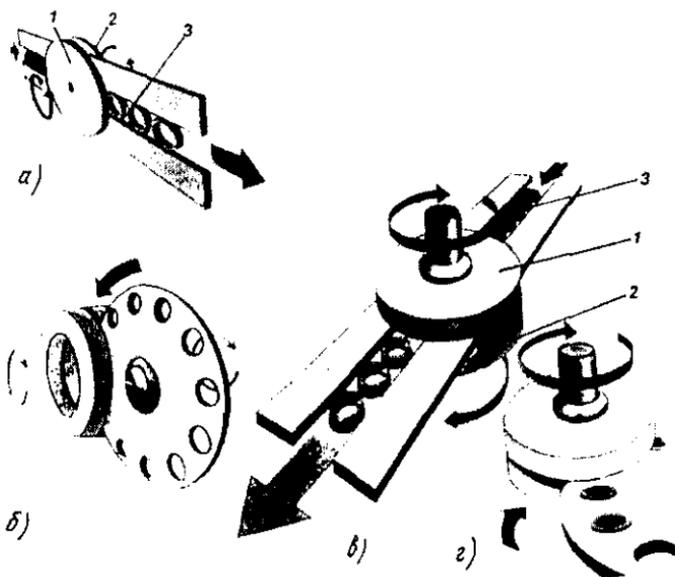


Рис. 8.20. Схемы двустороннего плоского шлифования: а, б — с горизонтальной осью вращения кругов; в, г — с вертикальной осью вращения кругов; 1 и 2 — абразивные круги; 3 — обрабатываемые детали

ной подачи используется двигатель $M3$ ($n_{эл} = 88$ об/мин), от которого движение на передачу винт-гайка скольжения передается через зубчатые передачи $\frac{34}{100} \cdot \frac{100}{100}$ и червячную передачу $\frac{1}{30}$. Быстрые перемещения шлифовальной бабки 3 осуществляются от электродвигателя $M4$ ($N = 0,4$ кВт, $n_{эл} = 1500$ об/мин).

В рассматриваемом станке, в отличие от схем плоского шлифования (рис. 8.19 а, б), движение поперечной подачи сообщается поперечным салазкам 4, имеющим шариковые направляющие. Оно осуществляется от электродвигателя $M2$ через зубчатые передачи $\frac{34}{100} \cdot \frac{50}{100}$ и передачу винт-гайка скольжения. Для продольной подачи стола 5 используется двухштоковый гидроцилиндр с дроссельным регулированием, корпус которого закреплен на поперечных салазках 4, а штоки — на столе 5. Стол имеет роликовые направляющие. Для ручного перемещения салазок и шлифовальной бабки используются маховики 6.

На рис. 8.22 представлен плоскошлифовальный станок с ЧПУ мод. 3А722ВФ2, который предназначен для размерной обработки плоских и ступенчатых деталей. Стальные и чугунные детали могут устанавливаться на электромагнитную плиту (рис. 8.24а).

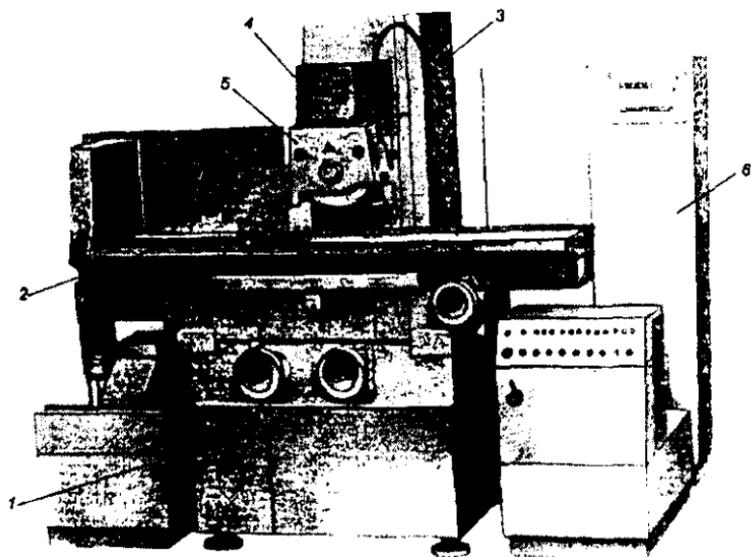


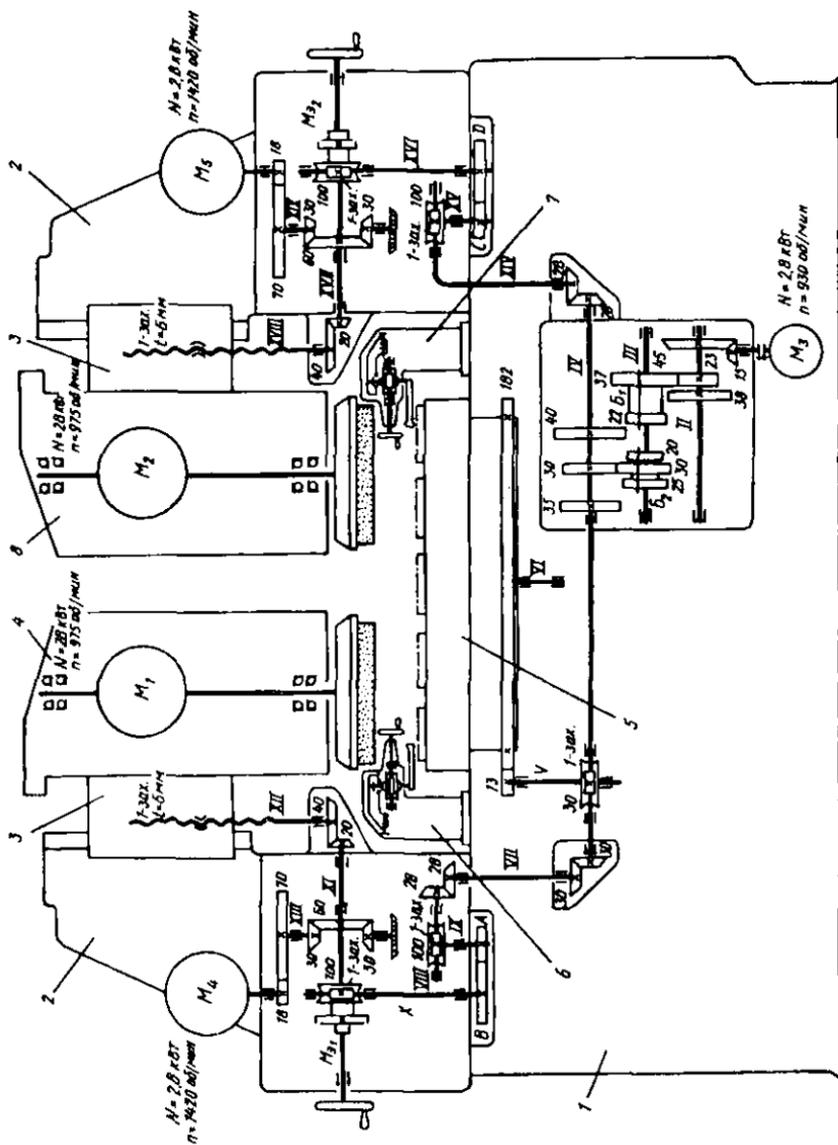
Рис. 8.22. Плоскошлифовальный станок с ЧПУ мод. 3А722ВФ2: 1 — станина; 2 — продольный стол; 3 — стойка; 4 — шлифовальная бабка; 5 — защитный кожух; 6 — система ЧПУ

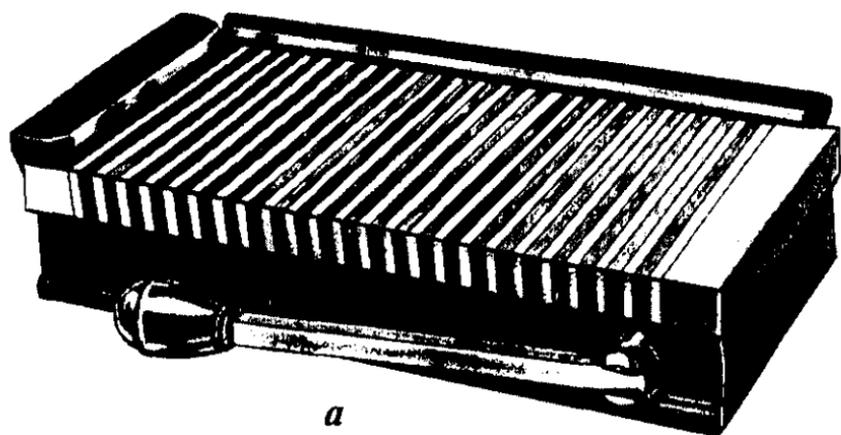
и двухшпиндельными. Кинематическая схема последнего варианта показана на рис. 8.23. Здесь шлифовальная бабка 4 выполняет черновое, а шлифовальная бабка 8 — чистовое шлифование. При этом в обоих случаях при помощи устройств 6 и 7 осуществляется контроль высоты деталей.

Абразивные круги получают вращение от электрошпинделей. Их вертикальная подача осуществляется от электродвигателя M_3 через шестиступенчатую коробку подач и далее от вала 1У по двум одинаковым кинематическим цепям, включающим конические передачи; червячную передачу $\frac{1}{100}$; сменные колеса $\frac{A}{B}$ (или $\frac{C}{D}$); червячную передачу $\frac{1}{100}$; электромагнитную муфту M_1 (или M_2); коническую передачу $\frac{20}{40}$ и передачу винт-гайка скольжения ($t = 6$ мм). Включением электромагнитных муфт M_1 и M_2 управляют соответственно устройства 6 и 7 контроля высоты деталей. Для быстрых перемещений шлифовальных бабок используются электродвигатели M_4 и M_5 .

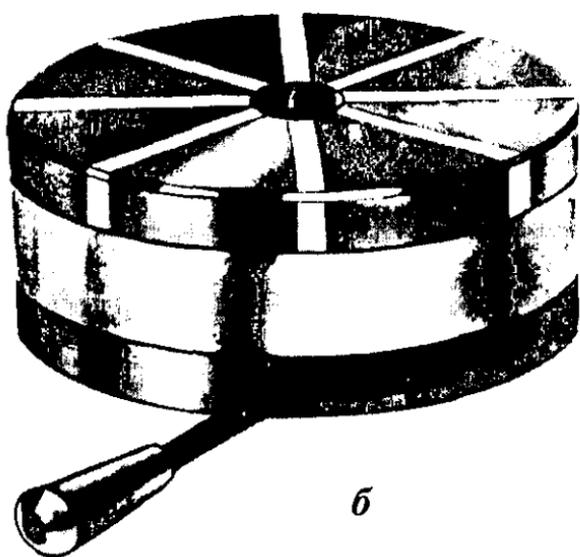
Круговая подача шлифуемых деталей, установленных на поворотном столе 5, осуществляется от электродвигателя M_3 через ту же шестиступенчатую коробку подач; червячную передачу $\frac{1}{30}$ и зубчатую передачу $\frac{13}{182}$. Для крепления на столе деталей,

Рис. 8.23. Кинематическая схема двухшпиндельного плоскошлифовального станка мод. 3772: 1 — станина; 2 — стойки; 3 — вертикальные салазки; 4, 8 — шпиндельные бабки; 5 — поворотный стол; 6, 7 — устройства контроля высоты деталей





a



б

Рис. 8.24. Электромагнитные плиты: *a* — прямоугольная; *б* — круговая

обладающих магнитными свойствами, используется электромагнитная плита (рис. 8.24б).

Конструкции прямоугольной и круговой электромагнитных плит приведены на рис. 8.24.

На рис. 8.25 в качестве примера показан одношпиндельный плоскошлифовальный станок мод. *MRSR700S* фирмы *GMN* (Германия). Он предназначен для прецизионного шлифования дисков, колец и пластин в условиях крупносерийного и массового

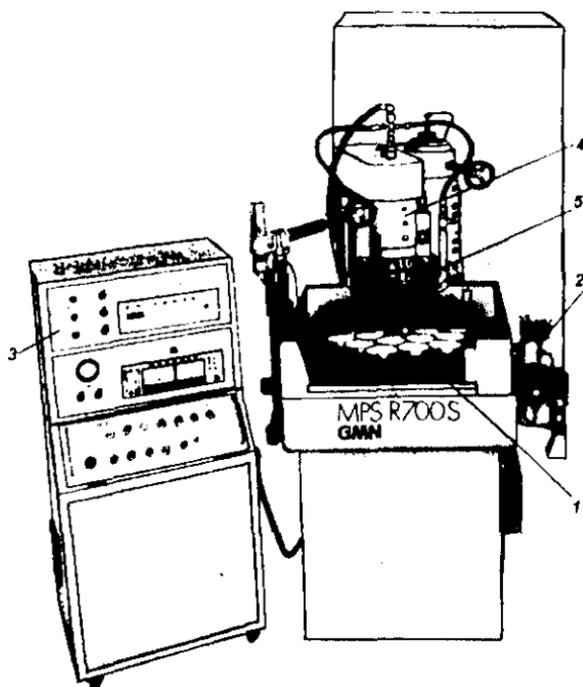


Рис. 8.25. Плоскошлифовальный станок мод. *MRSR700S* фирмы *GMN* (Германия): 1 — поворотный стол; 2 — устройство контроля; 3 — шкаф управления; 4 — шпиндельная бабка; 5 — защитный кожух

производства. Для обеспечения минимального торцевого и радиального биения поворотного стола он оснащен гидростатической опорой. Станок имеет автоматическую вертикальную подачу и оснащен блоком управления программой работы. На этом станке вспомогательное время сводится к минимуму.

Глава 9

АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ

Проблема обработки отверстий в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного производства решается на сверлильных и расточных станках как универсальных, так и с ЧПУ. Что касается крупносерийного и массового производства, то для них требуется станочное оборудование с высокой степенью концентрации операций, обеспечивающее существенный рост производительности труда за счет параллельного выполнения техноло-

гических переходов как по одному и тому же, так и по различным отверстиям. Таким оборудованием являются агрегатные станки, которые komponуются из унифицированных узлов и элементов (агрегатов) самостоятельного функционального назначения путем объединения их в единый рабочий комплекс системами управления, контроля и блокировок [26].

Основными унифицированными узлами и элементами агрегатных станков являются: силовые головки и столы с различными приводами; многошпиндельные коробки (сверлильные, резбонарезные и т.д.); поворотные-делительные столы и барабаны; станции гидропривода, смазки и охлаждения; базовые корпусные детали (станины, стойки, угольники и т.д.); стружкоуборочные транспортеры; элементы электросхем и т.п. Большинство унифицированных узлов и элементов выпускаются нескольких габаритов, что позволяет компоновать агрегатные станки оптимальных размеров в зависимости от габаритов обрабатываемых деталей.

Степень унификации в агрегатных станках достигает 75 — 80%, что обеспечивает ряд преимуществ при их изготовлении и эксплуатации [26]:

1) снижаются затраты времени и средств при проектировании и изготовлении агрегатных станков (по сравнению со специальными станками), а также затраты на серийное производство унифицированных узлов и элементов на специализированных станкостроительных заводах;

2) благодаря узловой компоновке станков, легче осуществлять их переналадку при изменении конструкции обрабатываемых деталей, а также проще производить их ремонт;

3) исключаются затраты времени и средств на изготовление и испытание опытного образца, так как агрегатные станки komponуются из узлов и элементов, прошедших подобные испытания.

На агрегатных станках обрабатываются не только отверстия, но и наружные поверхности вращения, плоскости и винтовые поверхности. В результате на них используются следующие методы обработки: сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, фрезерование, обтачивание, нарезание резьб, подрезание торцев.

На агрегатных станках, предназначенных для обработки отверстий и нарезания резьб, обрабатываемая деталь, как правило, неподвижна, а главное движение и движение подачи по аналогии со сверлильными станками совершает инструмент. Однако возможны варианты компоновки, когда главное движение совершает инструмент, а движение подачи — обрабатываемая деталь.

Агрегатные станки являются преимущественно станками-полуавтоматами, так как на них все движения исполнительных ор-

ганов автоматизированы, а установка заготовки и съем готовой детали осуществляется вручную. Возможна и полная автоматизация станков, когда обрабатываемые заготовки имеют форму, удобную для их автоматической ориентации и загрузки.

Условные обозначения агрегатных станков, как правило, не стандартные. Каждое специальное конструкторское бюро (СКБ) использует свои условные обозначения.

§ 9.1. Классификация и компоновка агрегатных станков

Унифицированные узлы и элементы, из которых компонуются станки, выпускаются серийно по нормам станкостроения, разработанным ЭНИМСом совместно с Московским СКБ АЛ и АС, Минским СКБ АЛ, Харьковским СКБ АС и другими КБ. Из них, пользуясь принципом агрегатирования, можно создать большое множество разнообразных компоновок агрегатных станков. Структура одной из компоновок в качестве примера показана на рис. 9.1. Данный станок состоит из следующих унифицированных узлов и элементов: стойки 1, привода 2 многошпиндельной коробки 3, боковой станины 4, двух силовых столов 5, расточной шпиндельной бабки 6, центральной станины 7, поворотно-дели-

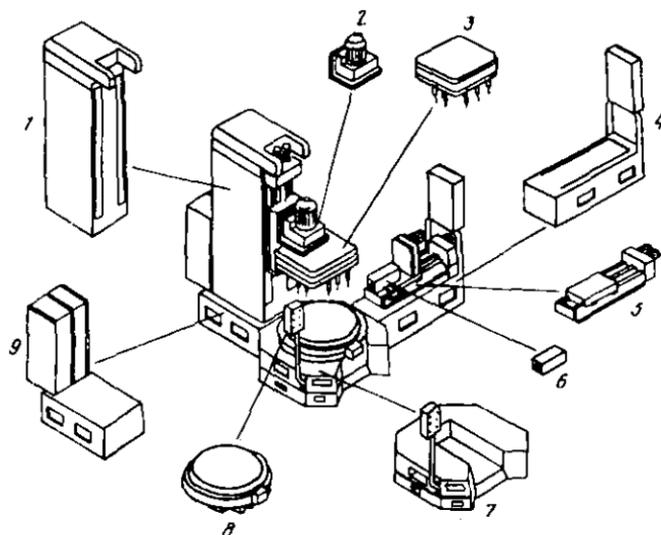


Рис. 9.1. Структура компоновки агрегатного станка: 1 — стойка, 2 — привод многошпиндельной коробки; 3 — многошпиндельная коробка; 4 — станина боковая; 5 — силовой стол; 6 — расточная шпиндельная бабка; 7 — станина центральная; 8 — поворотно-делительный стол; 9 — станина-подставка

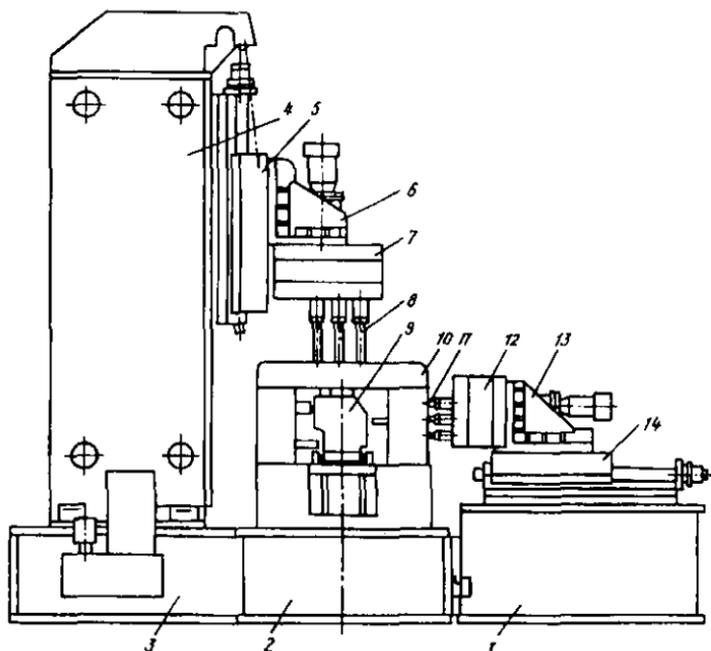


Рис. 9.2. Общий вид комбинированного двустороннего однопозиционного сверильного агрегатного станка со стационарным приспособлением:
 1 — боковая станина; 2 — центральная станина; 3 — станина-подставка;
 4 — стойка; 5 и 14 — силовые столы; 6 и 13 — приводы многошпиндельных коробок; 7 и 12 — многошпиндельные коробки; 8 и 11 — инструменты;
 9 — обрабатываемая деталь; 10 — приспособление

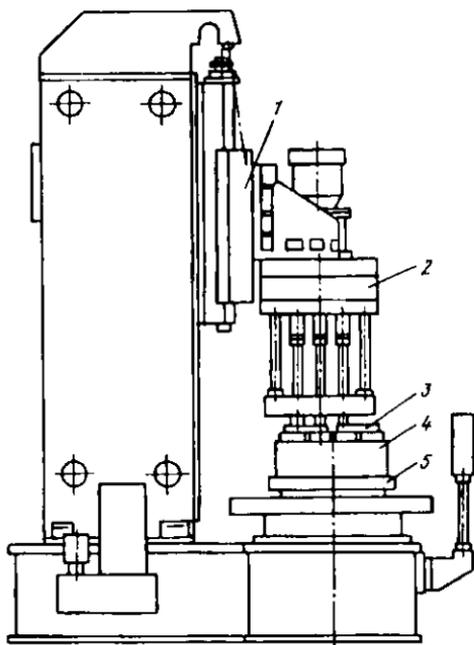
тельного стола 8 и станины-подставки 9. В состав станка входят также унифицированные станции гидропривода, смазки и охлаждения, электросхема.

Что касается приспособления, то оно, хотя и не является унифицированным узлом, состоит в основном из унифицированных деталей.

Все многообразие компоновок агрегатных станков можно классифицировать по определенным признакам. Так, по технологическому признаку они подразделяются на одно- и многопозиционные. На однопозиционных станках вся совокупность требуемых технологических переходов выполняется при неизменном положении детали относительно рабочих органов станка и инструмента, а на многопозиционных — при различных положениях.

На рис. 9.2 показан общий вид однопозиционного агрегатного станка. На этом станке обрабатываемую деталь 9 устанавливают и зажимают в неподвижном (стационарном) приспособлении 10, расположенном на центральной станине 2. На станине-

Рис. 9.3. Общий вид одно-
стороннего многопозиционно-
го сверлильно-резьбонарезно-
го агрегатного станка с пово-
отно-делительным столом:
1 — силовой стол; 2 — много-
шпиндельная коробка; 3 — об-
рабатываемые детали; 4 —
многопозиционное приспособ-
ление; 5 — поворотный де-
лительный стол



подставке 3 расположена стойка 4, на которой установлен си-
ловой стол 5, перемещающий в вертикальной плоскости привод 6 с
многошпиндельной коробкой 7 и инструментами 8. Еще один
силовой стол 14 установлен на боковой станине 1. Он перемещает
в горизонтальной плоскости привод 13 с многошпиндельной
коробкой 12 и инструментами 11.

Общий вид многопозиционного агрегатного станка приведен
на рис. 9.3. На нем, в отличие от однопозиционного станка, об-
рабатываемые детали 3 устанавливают и закрепляют в многопо-
зиционном приспособлении 4, расположенном на поворотном-
делительном столе 5. Многошпиндельная коробка 2 с соответ-
ствующим инструментом может перемещаться в вертикальной
плоскости силовым столом 1.

Еще один многопозиционный станок показан на рис. 9.4. Здесь
обрабатываемые детали 3 устанавливают и зажимают в многопо-
зиционном приспособлении 4, расположенном на поворотном-
делительном барабане 7 с горизонтальной осью поворота. Обра-
ботку деталей ведут с двух сторон многошпиндельными корбо-
ками 2 и 5, которые могут перемещаться в горизонтальной
плоскости силовыми столами 1 и 6.

По другому технологическому признаку — виду обработ-
ки — агрегатные станки подразделяются на станки с выполне-
нием одного вида (сверлильные, резьбонарезные, расточные,

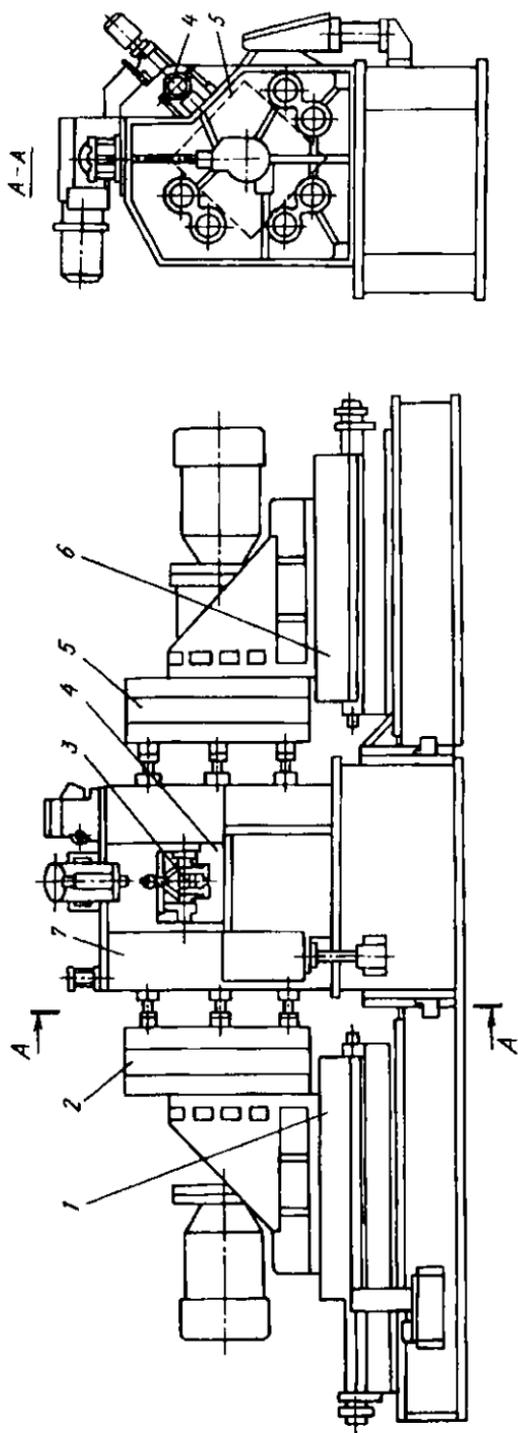


Рис. 9.4. Общий вид горизонтального двустороннего многопозиционного сверильно-расточного агрегатного станка с поворотным делительным барабаном: 1 и 6 — силовые столы; 2 и 5 — многошпиндельные коробки; 3 — обрабатываемые детали; 4 — многопозиционное приспособление; 7 — поворотный делительный барабан

фрезерные и т.д.) и различных видов обработки (сверлильно-резьбонарезные, сверлильно-расточные, сверлильно-фрезерные и т.д.).

Различают также два конструктивных признака: расположение и число силовых агрегатов (силовой агрегат — это сочетание силового стола с многошпиндельной коробкой или со шпиндельной бабкой). По этим признакам агрегатные станки подразделяются на горизонтальные, вертикальные и комбинированные, а также — на одно- и многосторонние (каждый силовой агрегат обрабатывает одну сторону детали).

Согласно вышеприведенной классификации, на рис. 9.2 показан комбинированный двусторонний однопозиционный сверлильный агрегатный станок со стационарным приспособлением, на рис. 9.3 — вертикальный односторонний многопозиционный сверлильно-резьбонарезной агрегатный станок с поворотным-делительным столом, на рис. 9.4 — горизонтальный двусторонний многопозиционный сверлильно-расточной агрегатный станок с поворотным-делительным барабаном.

На рис. 9.5 приведены наиболее часто применяемые типовые компоновки агрегатных станков со стационарным приспособлением, поворотным-делительным столом и барабаном.

§ 9.2. Базовые компоновки агрегатных станков

Одним из путей увеличения удельного выпуска высокопроизводительных агрегатных станков и расширения области их эффективного применения (включая серийное производство) является использование базовых компоновок [83, 85] при создании этих станков. Под базовой компоновкой агрегатных станков определенного типа понимается их общая часть, смонтированная из унифицированных узлов и элементов, а также имеющая постоянные геометрические параметры независимо от формы и габаритов определенной совокупности обрабатываемых деталей.

На рис. 9.6 приведена базовая компоновка [83, 85] наиболее распространенного типа вертикальных односторонних многопозиционных агрегатных станков. Она содержит поворотный-делительный стол 1 с планшайбой диаметром 1000 мм и силовой стол 2 шестого габарита с максимальным ходом платформы 630 мм, на которой расположен угольник 3 шестого габарита. Указанные столы смонтированы соответственно на центральной станине 4 и стойке 6, установленной на станине-подставке 5.

Данная базовая компоновка оснащена унифицированной электрической схемой управления и соответствующим электрооборудованием. Она имеет также унифицированную гидростанцию

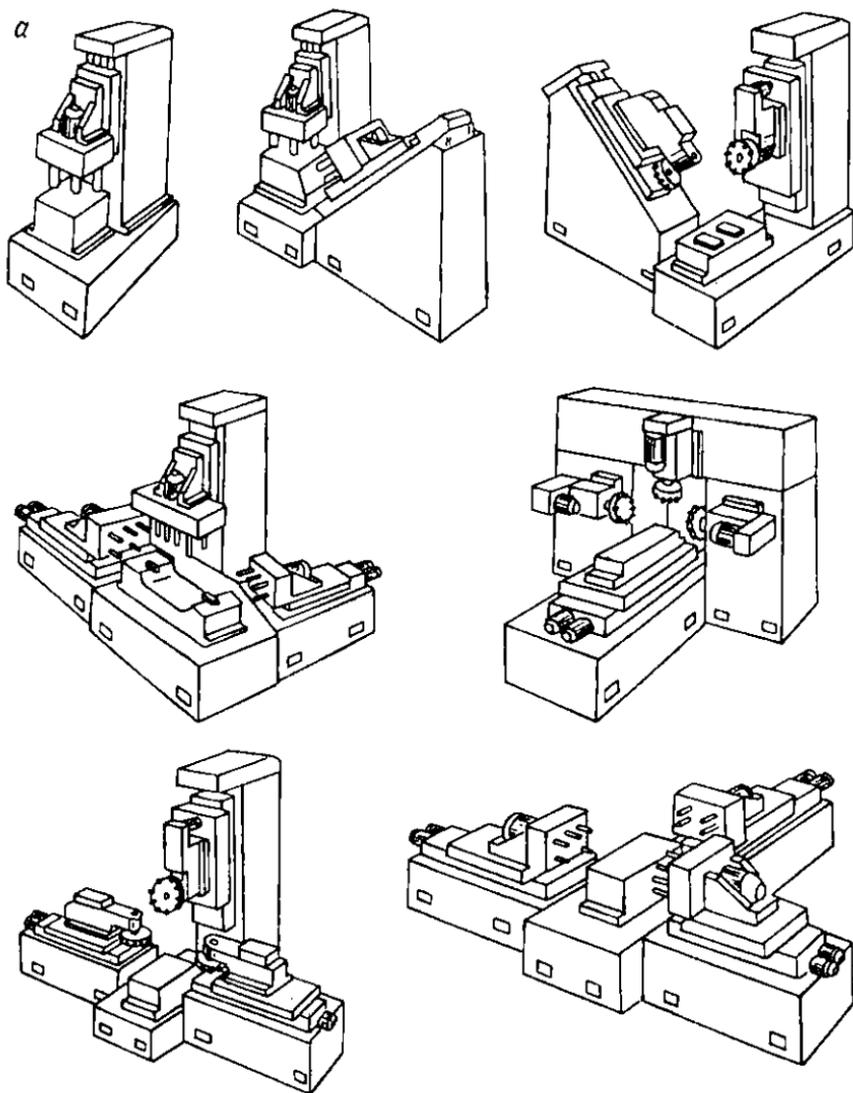
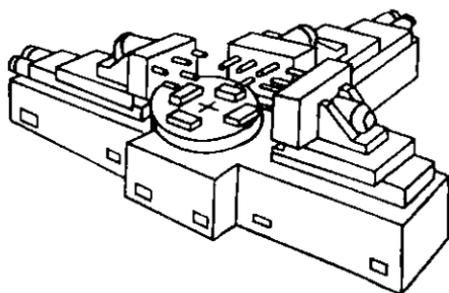
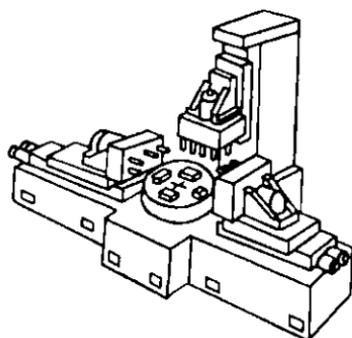
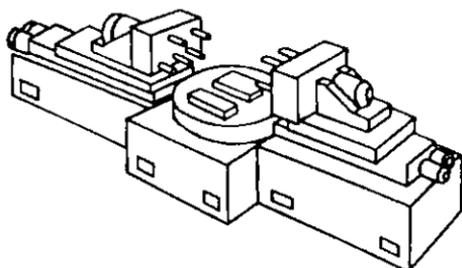
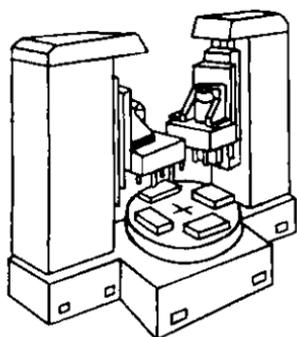
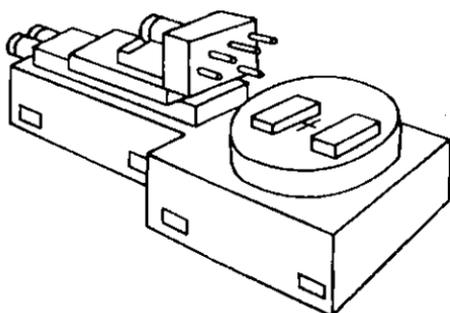
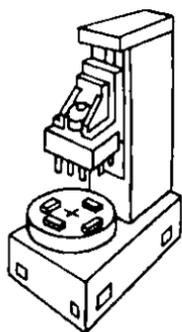


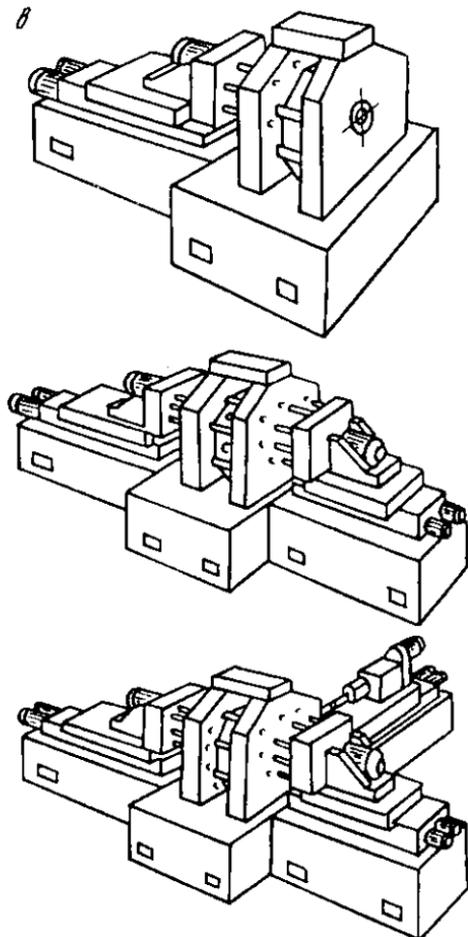
Рис. 9.5. Типовые компоновки агрегатных станков:
 а — со стационарным приспособлением;

б



б — с поворотно-делительным столом;

8



в — с поворотным-делительным барабаном

и гидропривод для зажима деталей в многопозиционном приспособлении.

Основными геометрическими параметрами базовой компоновки являются:

расстояние H от станины-подставки 5 до торца силового стола 2 ($H = 1300$ мм);

расстояние B от рабочей поверхности платформы силового стола до оси планшайбы поворотного-делительного стола 1 ($B = 530$ мм);

расстояние H_1 от рабочей поверхности планшайбы поворотного-делительного стола до привалочной плоскости угольника 3 при среднем положении платформы ($H_1 \approx 1150$ мм);

длина хода L_H и L_B платформы силового стола от ее среднего положения вниз ($L_H = 250$ мм) и вверх ($L_B = 360$ мм);

минимальный запас длины хода L_{\min} платформы силового стола вниз ($L_{\min} = 20$ мм).

Геометрические параметры H и B имеют постоянное значение для всех станков, создаваемых на основе базовой компоновки. Пара-

метр H_1 для большинства станков получается различным и зависит от осевого размера многошпиндельной коробки, замыкающих размеров на инструментальной наладке (схеме обработки), расстояния от рабочей поверхности планшайбы до опорной базы на приспособлении, а также от расположения обрабатываемых поверхностей относительно опорной базы.

Монтаж указанной базовой компоновки выполняется без многошпиндельной коробки и приспособления, которые для каждой разновидности обрабатываемых деталей получают различными. При проверке геометрической точности контролируют расположение базовых элементов под многошпиндельную коробку (штифты 7 и 8 на угольнике 3 и его привалочная плоскость) от-

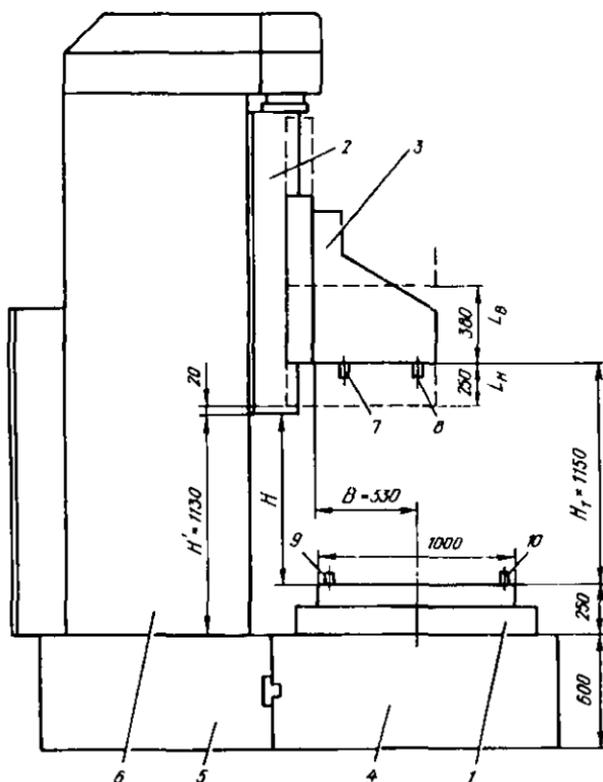


Рис. 9.6. Базовая компоновка вертикальных односторонних многопозиционных агрегатных станков: 1 — поворотный-делительный стол; 2 — силовой стол; 3 — угольник; 4 — центральная станина; 5 — станина-подставка; 6 — стойка; 7, 8, 9, 10 — штифты

носителю базовых элементов под приспособление (штифты 9 и 10 на планшайбе и ее рабочей поверхности). Контроль осуществляется при помощи специальных устройств.

Благодаря проводимым проверкам в дальнейшем при монтаже на базовой компоновке различных многошпиндельных коробок и приспособлений отпадает необходимость в последующих корректировках точности расположения осей вращения шпинделей относительно детали. В данном случае соблюдается принцип полной взаимозаменяемости.

На агрегатных станках с рассматриваемой базовой компоновкой можно обрабатывать отверстия путем сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, растачивания и резьбонарезания в мелких и средних деталях следующих классов: корпусные детали, некруглые стержни (рычаги), полые цилиндры

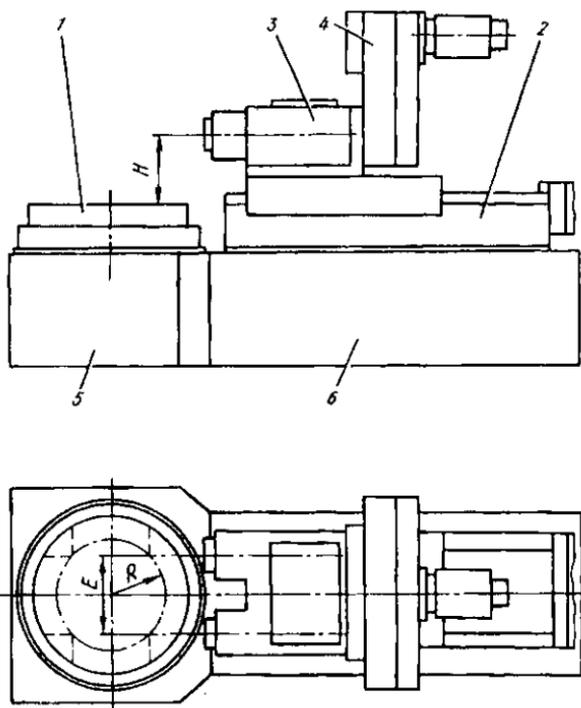


Рис. 9.7. Базовая компоновка горизонтальных односторонних многопозиционных расточных агрегатных станков с поворотными-делительными столами: 1 — поворотный-делительный стол; 2 — силовой стол; 3 — двухшпиндельная расточная бабка; 4 — редуктор; 5 — центральная станина; 6 — боковая станина

(втулки) и диски. Достижимая точность обработки отверстий — 7-й квалитет (сверление, зенкерование, черновое и чистовое развёртывание), а точность их взаимного расположения — 8-я степень точности.

При создании агрегатных станков на основе базовой компоновки достигаются следующие преимущества:

1) сокращаются трудоёмкость и сроки проектирования станков, так как разрабатываются только многошпиндельные коробки, приспособления и инструментальные наладки;

2) существенно сокращается номенклатура покупных и изготавливаемых унифицированных узлов и деталей. В результате появляется возможность организации мелкосерийного производства элементов станины, корпусных деталей многошпиндельных коробок, гидростанций и т.д., что позволяет в определенной мере снизить трудоёмкость их изготовления и повысить ритмичность производства;

3) создаются предпосылки для перехода в производственных условиях от одного типа деталей к другому путем замены на базовой компоновке многошпиндельной коробки, приспособления и инструментальной наладки. Это становится возможным благодаря обеспечению принципа полной взаимозаменяемости при монтаже на базовой компоновке различных многошпиндельных коробок и приспособлений, а также благодаря применению унифицированных электрической и гидравлической схем;

4) появляется возможность выпуска мелкими сериями базовой компоновки под наладку заказчика, что приводит к сокращению сроков внедрения агрегатных станков.

Указанные преимущества еще в большей степени проявляются при создании агрегатных станков на основе базовой компоновки, приведенной на рис. 9.7, которая в отличие от вышерассмотренной имеет привод главного движения. Эта компоновка широко используется при создании агрегатных расточных станков для обработки основных отверстий в корпусах конических редукторов с межосевым углом $\beta = 90^\circ$. Таких редукторов только на заводах тракторного и сельскохозяйственного машиностроения ежегодно выпускается до 115 типов, что составляет примерно 90% всей номенклатуры редукторов отрасли.

Данная базовая компоновка содержит поворотный-делительный стол 1 с планшайбой диаметром 800 мм и силовой стол 2 пятого габарита с длиной хода платформы 400 мм. На платформе силового стола установлены унифицированные двухшпиндельная расточная бабка 3 и редуктор 4. Поворотный-делительный стол смонтирован на центральной станине 5, а силовой стол — на боковой станине 6. На планшайбе поворотного-делительного стола устанавливают различные четырехпозиционные приспособления в зависимости от типов обрабатываемых корпусов конических редукторов.

Основными геометрическими параметрами указанной базовой компоновки являются:

межосевое расстояние E между шпинделями расточной бабки 3 ($E = 400$ мм);

радиус R расположения на планшайбе поворотного-делительного стола 1 точек пересечения осей обрабатываемых отверстий ($R = 283$ мм);

расстояние H от рабочей поверхности планшайбы до осей шпинделей расточной бабки ($H = 370$ мм).

Агрегатные станки, создаваемые на основе указанной базовой компоновки, в большинстве случаев применяются для предварительной обработки основных отверстий корпусов конических редукторов и лишь при невысоких требованиях к точности (не выше 9-го качества) — для окончательной обработки. Более высокая точность (включительно до 7-го качества) достигается на станках с другой базовой компоновкой, представленной на рис. 9.8. Она отличается от предыдущей тем, что имеет еще один

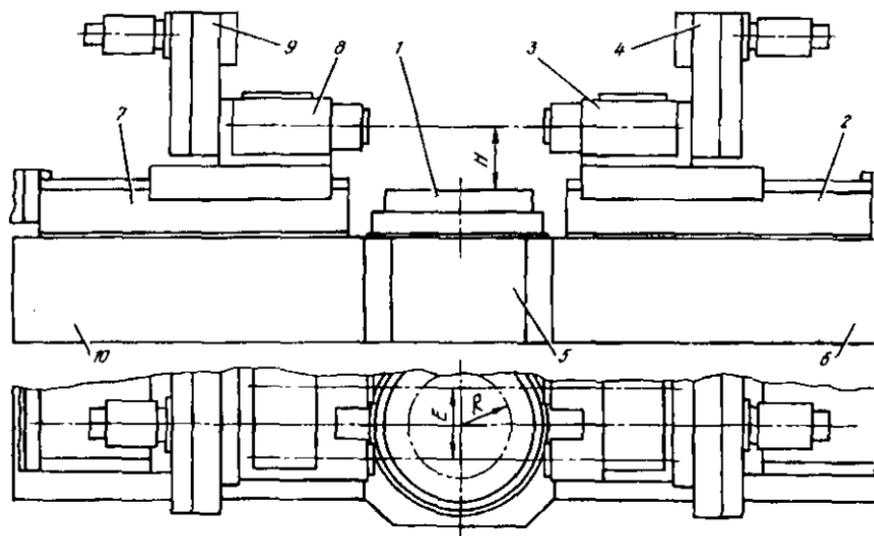


Рис. 9.8. Базовая компоновка горизонтальных многосторонних многопозиционных расточных агрегатных станков с поворотными делительными столами: 1 — поворотный делительный стол; 2 и 7 — силовые столы; 3 и 8 — двухшпиндельные расточные бабки; 4 и 9 — редуктора; 5 — центральная станина; 6 и 10 — боковые станины

силовой стол 7 с унифицированными двухшпиндельной бабкой 8 и редуктором 9, которые используются для выполнения только чистовых переходов.

На агрегатных станках с данными базовыми компоновками обрабатываются основные отверстия в мелких корпусах конических редукторов. Что касается средних и крупных корпусов, то для них рекомендуются аналогичные базовые компоновки с другими габаритами унифицированных узлов и элементов, а также с другими значениями основных геометрических параметров: $E = 500$ и 630 мм; $R = 354$ и 445 мм; $H = 370$ и 420 мм.

§ 9.3. Унифицированные узлы агрегатных станков

Ниже рассматриваются унифицированные узлы, обеспечивающие формообразующие и делительные движения в агрегатных станках: силовые головки и столы, многошпиндельные коробки и шпиндельные бабки, поворотные и линейно-делительные столы.

Силовые головки предназначены для сообщения режущим инструментам главного движения и движения подачи. Все их многообразие классифицируется по ряду признаков [37], какими являются технологическое назначение, мощность, тип привода главного движения, конструкция подаваемого исполнительного органа и механизма подачи, расположение привода подачи.

Так, по технологическому назначению они подразделяются на сверлильные, фрезерные, расточные, резьбонарезные, токарные, шлифовальные и другие головки специального назначения.

По мощности их можно подразделить на:

микроголовки с мощностью двигателя от 0,1 до 0,4 кВт;

головки малой мощности с двигателем от 0,4 до 4,0 кВт;

головки средней мощности с двигателем от 3,0 до 17 кВт;

головки большой мощности с двигателем от 17 до 30 кВт.

В агрегатных станках наибольшее распространение получили силовые головки малой и средней мощности.

По типу привода главного движения различают силовые головки с электрическим, гидравлическим и пневматическим двигателями. В подавляющем большинстве случаев в приводе главного движения используются электрические двигатели.

По конструкции подаваемого исполнительного органа силовые головки могут быть с выдвигной пинолью, подвижным корпусом, подвижным корпусом и выдвигной пинолью. Головки с выдвигной пинолью применяются в основном для сверления, а головки с подвижным корпусом — для растачивания, фрезерования и других работ, требующих повышенной жесткости. Существенным недостатком головок с выдвигной пинолью является необходимость применения дополнительного направления при работе с многошпиндельными насадками. Оно создается при помощи цилиндрических скалок или прямоугольных направляющих.

По конструкции механизма подачи силовые головки подразделяются на механические (с кулачковым или винтовым механизмом), пневматические, гидравлические и пневмогидравлические. Наибольшее распространение в агрегатных станках получили головки с гидравлическими, винтовыми и кулачковыми механизмами подачи.

В зависимости от расположения привода подачи силовые головки могут быть самодействующие с приводом подачи, расположенным внутри самой головки, и несамодействующие с приводом подачи вне головки. Несамодействующие головки применяются в агрегатных станках, предназначенных для обработки очень мелких деталей.

На рис. 9.9 показана кинематическая схема самодействующей силовой головки ГС05 с плоскокулачковым механизмом подачи. Главное движение совершает шпиндель 20, который получает вращение от электродвигателя через клиноременную передачу 1 (или вместо клиноременной передачи — через редуктор 21). Движение к плоскому кулачку 17 механизма подачи передается от червяка 4, расположенного на шлицевом конце шпинделя, через червячное колесо 5, шлицевый вал 6, кулачковую муфту 7, сменные колеса Z_1 и Z_2 подачи и зубчатую

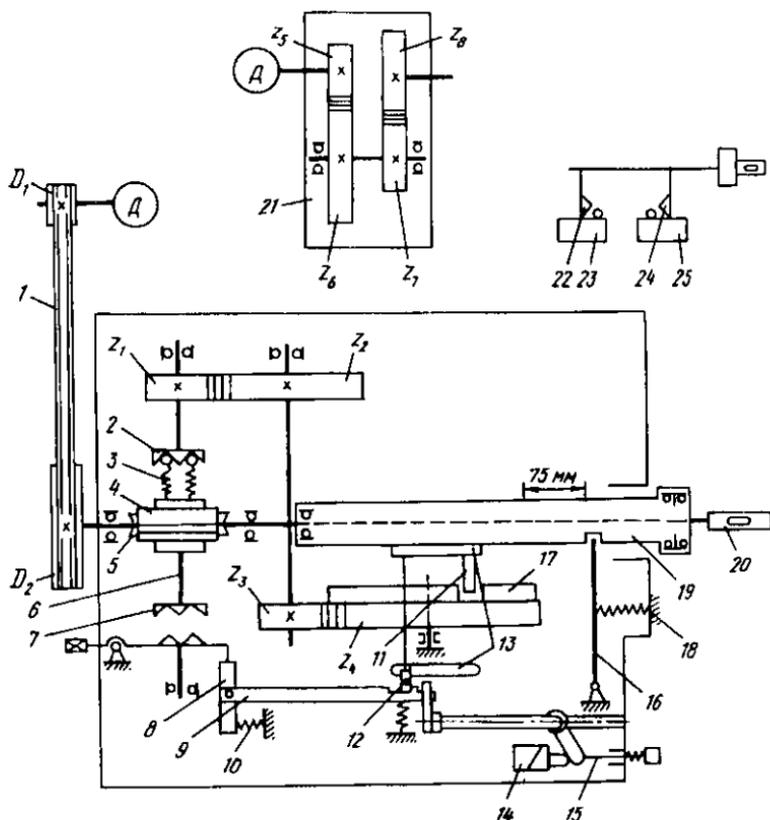


Рис. 9.9. Кинематическая схема самодействующей силовой головки мод. ГС05: 1 — клиноременная передача; 2 — предохранительная муфта; 3 — пружины муфты; 4 — червяк; 5 — червячное колесо; 6 — вал; 7 — кулачковая муфта; 8 — рычаг; 9 — тяга; 10 — пружина; 11 — ролик; 12 — рычаг; 13 — шпонка; 14 — электромагнит; 15 — толкатель; 16 — рычаг; 17 — плоский кулачок подачи; 18 — пружина; 19 — пиноль; 20 — шпиндель; 21 — редуктор; 22 и 24 — кулачки; 23 и 25 — микропереключатели

передачу $\frac{Z_3}{Z_4}$. Плоский кулачок воздействует на ролик 11, закрепленный в пиноли 19, и, тем самым, сообщает ей движение подачи. При этом поджим ролика к рабочей кривой кулачка осуществляется пружиной 18 через рычаг 16. Шариковая муфта 2 предохраняет механизм подачи от поломок в случае перегрузки.

Для прекращения рабочего цикла в силовой головке имеется курковый механизм, который отключает подачу пиноли при ее возвращении в исходное положение. Это осуществляется следующим образом. Пиноль при подходе к исходному положению при помощи шпонки 13 поворачивает рычаг 12, воздействующий на тягу 9. В свою очередь тяга поворачивает рычаг 8 и, тем самым, отключает кулачковую муфту 7, в результате чего пиноль

останавливается. Для повторения цикла кулачковую муфту включают вручную нажимом на толкатель 15 или автоматически с помощью электромагнита 14.

Кулачок 22 и микропереключатель 23 служат для блокировки электрической схемы головки. Что касается кулачка 24 и микропереключателя 25, то они устанавливаются дополнительно при использовании силовой головки в качестве резьбонарезной. В частности микропереключатель 25 подает команду на реверсирование шпинделя электродвигателем *D* после окончания нарезания резьбы.

Недостатками силовых головок с плоскокулачковыми механизмами подачи являются: низкая жесткость, небольшие усилия подачи, малый ход инструмента, сложность конструкции с наличием нескольких механических связей, большой удельный вес времени холостых ходов (33% от машинного времени). Кроме того, на них трудно реализовать сверление глубоких отверстий с несколькими выводами сверла.

Основной недостаток этой головки заключается в том, что холостые и рабочие перемещения осуществляются с одной и той же скоростью.

В агрегатных станках наибольшее применение нашли самодействующие силовые головки с гидравлическим механизмом подачи. Это объясняется тем, что они имеют большие преимущества по сравнению с головками других типов.

Гидравлическая головка конструкции Московского СКБ АЛ и АС приведена на рис. 9.10. Она предназначена для обработки одного или нескольких отверстий в случае оснащения ее многошпиндельной насадкой. Приводной вал 1 головки получает вращение от электродвигателя 7 через зубчатые колеса 6. Одновременно через муфту 5 получает вращение сдвоенный лопастной насос, подающий жидкость (масло) в гидроцилиндр 10, который может перемещать корпус 2 головки по направляющей плите 11. Работой гидроцилиндра управляет гидروпанель 13. Масло для насоса в полость 3 заливают через отверстие 9 с сетчатым фильтром 8.

Развитие агрегатных станков и автоматических линий, скомпонованных из них, потребовало разделения силовых головок на два типа самостоятельных унифицированных узлов: силовые столы и многошпиндельные коробки или шпиндельные бабки с индивидуальными приводами.

Силовые столы обеспечивают движение подачи и предназначены для установки многошпиндельных коробок или шпиндельных бабок (фрезерных, расточных и др.). В некоторых случаях на рабочую плоскость столов устанавливают зажимные приспособления для обрабатываемых деталей.

Основной рабочий цикл силовых столов: быстрый подвод — рабочая подача (одна или несколько) — выдержка на жестком

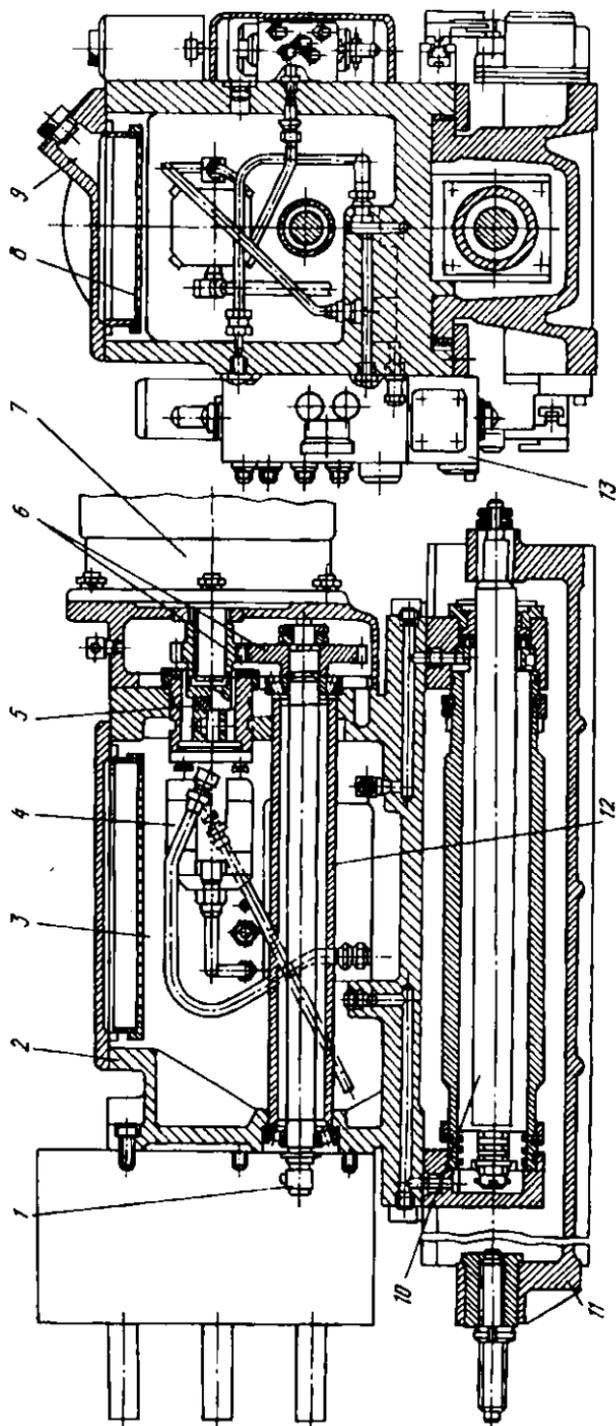


Рис. 9.10. Самодействующая силовая головка с гидравлическим механизмом подачи. 1 — приводной вал; 2 — корпус головки; 3 — полость для масла; 4 — муфта; 5 — насос; 6 — зубчатые колеса; 7 — электродвигатель; 8 — сегчатый фильтр; 9 — отверстие; 10 — гидроцилиндр; 11 — направляющая плита; 12 — труба; 13 — гидропанель

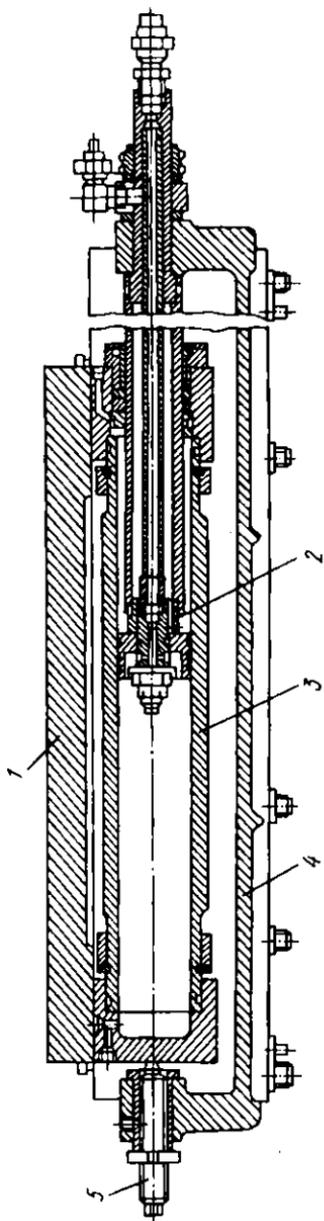


Рис. 9.11. Гидравлический силовой стол мод. 5У4631-5У4672: 1 — платформа; 2 — шток гидроцилиндра; 3 — корпус гидроцилиндра; 4 — основание (плита); 5 — винт-упор

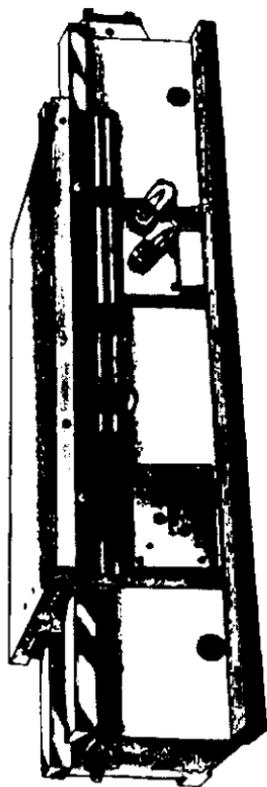


Рис. 9.12. Гидравлический силовой стол мод. HW (фирма "WIEPOFAMA")

упоре — быстрый отвод. Переключение скоростей осуществляется упорами управления, воздействующими на контактные или бесконтактные переключатели.

На рис. 9.11 показан гидравлический силовой стол мод. 5У4631-5У4672 конструкции Московского СКБ АЛ и АС. Платформа 1 может перемещаться по прямоугольным направляющим основания (плиты) 4. Подача платформы осуществляется гидроцилиндром, корпус 3 которого прикреплен к платформе, а шток 2 — к основанию. Масло в цилиндр подается через полый шток. Сбоку платформы расположены упоры, а сбоку основания — контактные переключатели, управляющие электромагнитами распределителей потоков масла. В передней части основания находится винт-упор 5, ограничивающий перемещение платформы силового стола в конце рабочего хода.

Гидравлический силовой стол польской фирмы "WIEROFAMA" приведен на рис. 9.12. Подобные столы изготавливаются 8-ми типоразмеров, которые отличаются друг от друга рабочими размерами платформы, величиной ее хода, мощностью привода подачи и другими параметрами.

В агрегатных станках и автоматических линиях широко применяются силовые столы мод. УМ2424-УМ2474 конструкции МЗАЛ с электромеханическим винтовым приводом подачи. Общий вид этих столов показан на рис. 9.13, а кинематическая схема — на рис. 9.14. Данные столы изготавливаются 6-ти типоразмеров и 9-ти исполнений в зависимости от точности (нормальная, повышенная), величины рабочего хода (короткий, средний, длинный) и наличия поджима в направляющих.

Платформа силового стола ускоренное перемещение получает от электродвигателя 4 (рис. 9.14), который вращает винт 8 через зубчатую передачу 5 при выключенной электромагнитной муфте 7. Рабочее перемещение платформы получает от электродвигателя 1 (электродвигатель 4 выключен) через зубчатые передачи 11 и 2, сменные колеса 3, дисковую фрикционную муфту 10, зубчатые передачи 9 и 6, включенную электромагнитную муфту 7, зубчатую передачу 5 и пару винт-гайка.

Рассматриваемые силовые столы могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях (рис. 9.15). В последних двух положениях стола его движущаяся часть вместе с приводом главного движения уравнивается грузом-противовесом, который размещается внутри стойки (показаны штрих-пунктирными линиями). Масса противовеса определяется по формуле:

$$P_{\text{пр}} = \frac{Q}{i},$$

где Q — масса движущейся части стола и привода главного движения (многошпиндельной коробки или шпиндельной бабки); i — передаточное отношение блоков противовеса.

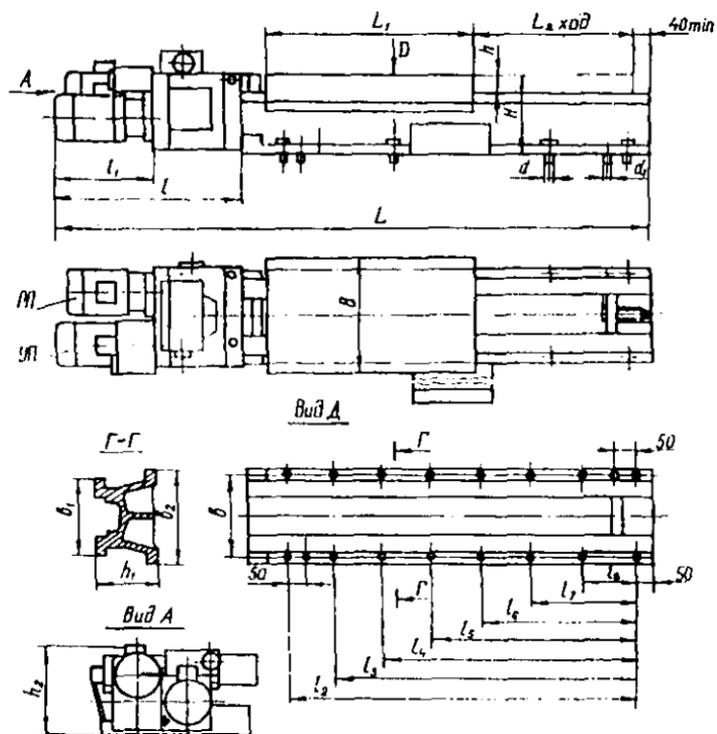


Рис. 9.13. Силовые столы мод. УМ2424-УМ2474

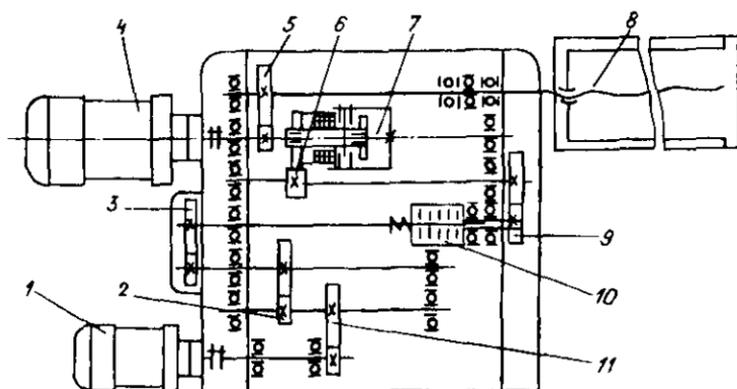


Рис. 9.14. Кинематическая схема силового стола с электромеханическим винтовым приводом подачи: 1 — двигатель рабочего хода платформы; 2, 5, 6, 9, 11 — зубчатые передачи; 3 — сменные колеса; 4 — двигатель ускоренного хода; 7 — электромагнитная муфта; 8 — винт ходовой; 10 — дисковая фрикционная муфта

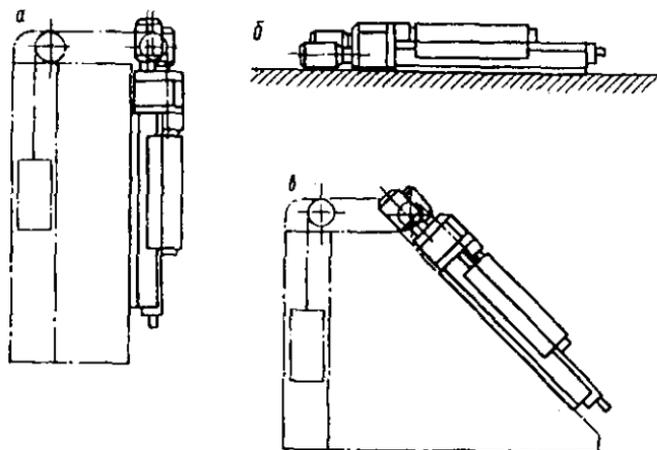


Рис. 9.15. Варианты установки силовых столов: а — вертикальная; б — горизонтальная; в — наклонная

В последнее время наметилась тенденция использовать станочное оборудование с ЧПУ не только в индивидуальном, мелкосерийном и серийном, но также в крупносерийном и массовом производстве [119]. Эта тенденция потребовала создания унифицированных силовых и поворотно-делительных столов с программным управлением. Такие узлы упрощают переналадку агрегатных станков с базовыми компоновками при переходе от одного типа деталей к другому. Унифицированные узлы с ЧПУ являются также основой многооперационных агрегатных станков со сменным инструментом и сменными шпиндельными коробками (см. § 9.4).

На рис. 9.16 показан силовой стол с ЧПУ мод. *CN-SE*, выпускаемый Германской станкостроительной фирмой “HONSBURG”. Стол 1 установлен на боковой станине 2. Рядом находится электрошкаф 3 с системой ЧПУ. В механизме подачи платформы стола используется шариковая пара винт-гайка. Максимальная скорость перемещения платформы 15000 мм/мин.

Многошпиндельные коробки и шпиндельные бабки обеспечивают главное движение различных инструментов, предназначенных для обработки отверстий, плоскостей и резьб. Как отмечалось выше, эти узлы устанавливаются на силовые столы, которые сообщают инструментам движение подачи.

Шпиндельные бабки по технологическому назначению подразделяются на расточные, подрезно-расточные, сверлильные, фрезерные и резьбонарезные. По конструкции они могут быть одно- и многошпиндельными.

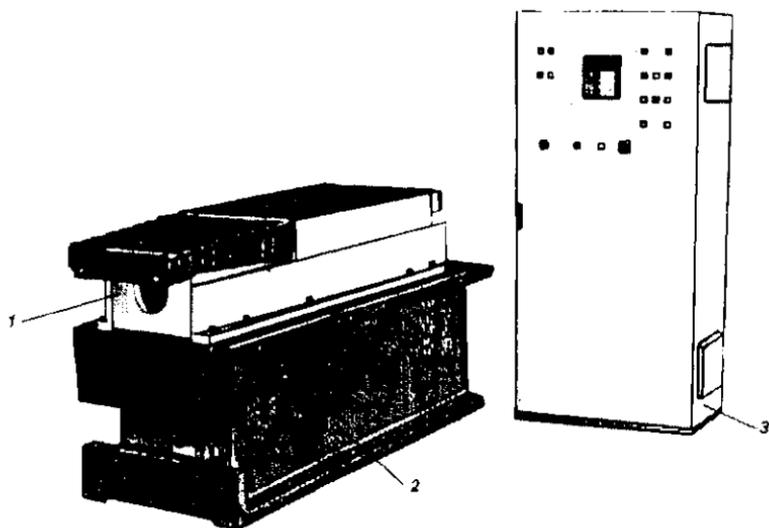


Рис. 9.16. Силовой стол с ЧПУ мод. CN-SE ("HONSBURG"): 1 — силовой стол; 2 — боковая станина; 3 — электрошкаф с системой ЧПУ

Расточные бабки предназначены для выполнения жесткими шпинделями черного, получистового, чистового и тонкого растачивания без направления инструмента по кондукторным втулкам. По точности выполняемой обработки они могут быть нормальной, повышенной и высокой точности. Бабки нормальной точности применяют для выполнения черного и получистового, повышенной точности — чистового, высокой точности — для чистового и тонкого растачивания. В первом случае точность обработанных отверстий обеспечивается по 10—9-му, во втором случае — по 8—7-му и в третьем случае — по 7—6-му квалитетам точности.

На рис. 9.17 показана унифицированная одношпиндельная расточная бабка конструкции Минского СКБ АЛ. В корпусе 5 на двух радиально-упорных шарикоподшипниках 1 (задняя опора) и радиальном двухрядном роликоподшипнике 9 (передняя опора) смонтирован жесткий шпиндель 3. Два упорных шарикоподшипника 7, расположенные в передней опоре, воспринимают осевые усилия. Предварительный натяг в подшипниках 1 регулируется гайкой 2 и компенсационным кольцом 11 (путем его подшлифовки), в подшипниках 7 — компенсационным кольцом 10 и в роликоподшипнике 9 — гайкой 4 и компенсационным кольцом 12. Расточная бабка имеет 7 габаритов, которые характеризуются диаметром шпинделя в передней опоре (40, 60, 80, 100, 130, 160, и 200 мм).

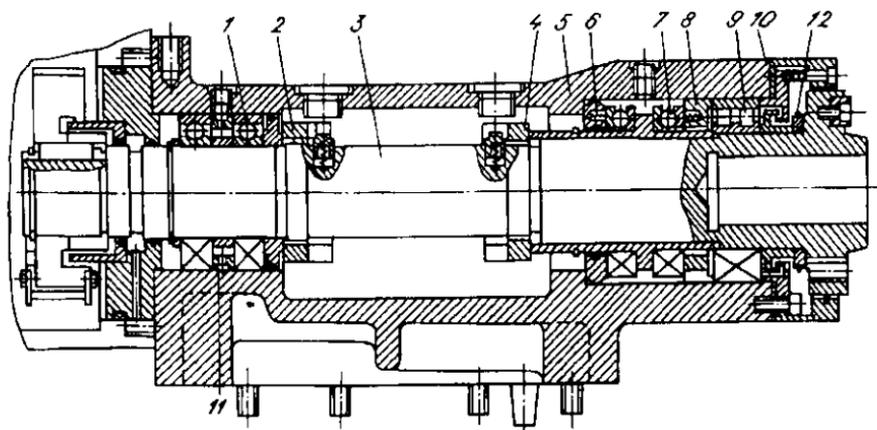


Рис. 9.17. Унифицированная одношпиндельная расточная бабка:
 1 — радиально-упорные шарикоподшипники; 2 и 4 — гайки; 3 — шпиндель;
 5 — корпус бабки; 6 — кольцо; 7 — упорные шарикоподшипники;
 8 — кольцо; 9 — радиальный двухрядный роликоподшипник;
 10, 11 и 12 — компенсационные кольца

Для вращения шпинделя указанной расточной бабки применяют два типа унифицированных приводов: с зубчато-ременными и зубчатыми передачами. В первом приводе вращение от вала электродвигателя 6 (рис. 9.18а) на шпиндель бабки передается двумя сменными шкивами 2 и 8 и зубчатым ремнем 3, боковое положение которого фиксируется кольцами 9. Натяжение ремня осуществляют винтом 7 путем смещения подmotorной плиты 4 относительно корпуса 1 привода. Данный привод имеет четыре габарита и два исполнения по каждому габариту в зависимости от расположения электродвигателя относительно бабки (над ней или за ней).

Во второй конструкции привода вращение от вала электродвигателя 20 (рис. 9.18б) на шпиндель бабки передается сменными колесами 19 и 15, зубчатыми колесами 17 и 12, установленными на валах 18, 16 и 13 в корпусе 11. Сменные колеса закрываются крышкой 14. Этот привод имеет пять габаритов и четыре-пять исполнений по каждому габариту в зависимости от расположения электродвигателя относительно шпиндельной бабки и диапазона получаемых частот вращения шпинделя. Для нижнего диапазона частот вращения используются исполнения 241...641 и 242...642 (рис. 9.19а, б), для среднего — исполнение 540, 640 (рис. 9.19д) и для верхнего — исполнения 244...644 и 243...643 (рис. 9.19в, г).

Рассмотренные унифицированные приводы шпиндельных бабок обеспечивают в процессе обработки лишь одну частоту вращения шпинделя, в результате чего при определенных усло-

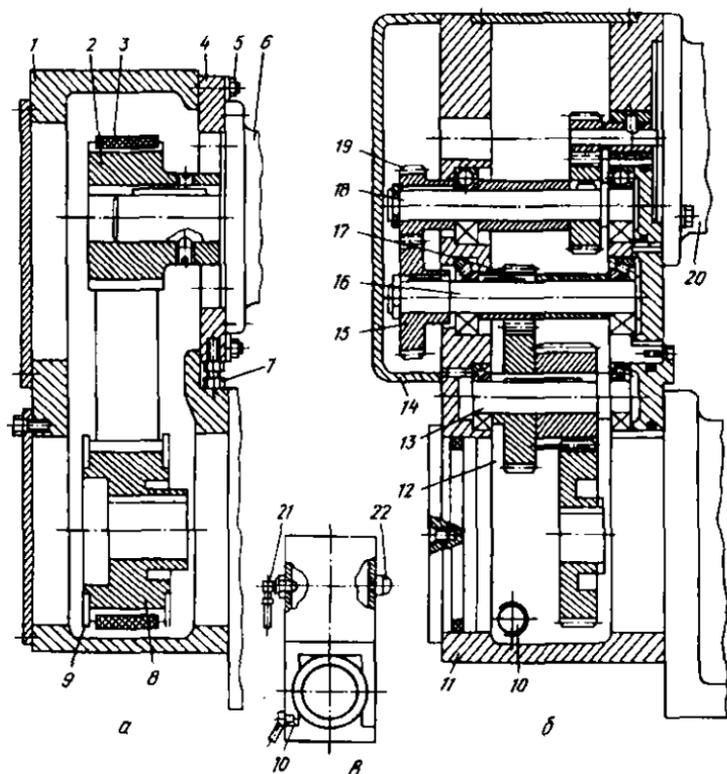


Рис. 9.18. Унифицированные приводы расточных бабок: а) 1 — корпус привода; 2 — ведущий сменный шкив; 3 — зубчатый ремень; 4 — подмоторная плита; 5 — винты крепления подмоторной плиты; 6 — электродвигатель; 7 — винт регулировочный; 8 — ведомый сменный шкив; 9 — кольца; б) 10 — пробка; 11 — корпус привода; 12 и 17 — зубчатые колеса; 13, 16 и 18 — валы; 14 — крышка; 15 и 19 — сменные колеса; 20 — электродвигатель

виях снижается производительность агрегатных расточных станков. В данном случае имеется ввиду обработка коротких основных отверстий (широко распространены в корпусах редукторов) путем последовательного выполнения нескольких различных технологических переходов одной шпиндельной бабкой, например, чернового, получистового и чистового растачивания. Эти переходы выполняют с минимальной частотой вращения, которая выбирается по лимитирующему переходу.

Указанный недостаток устраняется в приводе с блочной компоновкой [89], обеспечивающим две частоты вращения шпинделя в процессе обработки. Кинематическая схема привода и его график частот вращения представлены на рис. 9.20. Так, привод, состоящий из 2-х скоростного блок-редуктора 1, сменных колес

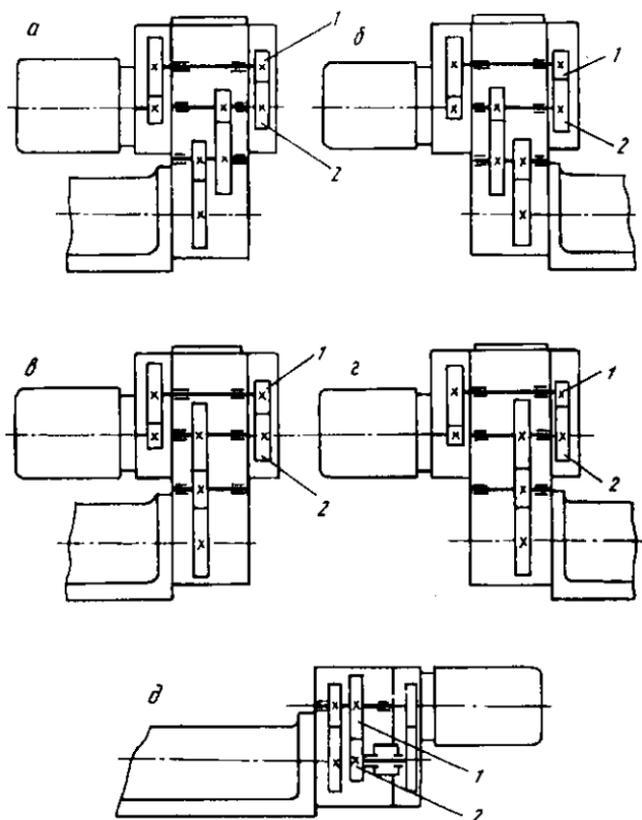


Рис. 9.19. Исполнения и кинематические схемы привода с зубчатыми передачами: а — исполнение 241...641; б — исполнение 242...642; в — исполнение 244...644; г — исполнение 243...643; д — исполнение 540, 640; 1, 2 — сменные колеса

$\frac{a}{b}$ и шпиндельной бабки 2 (рис. 9.20а), обеспечивает верхние и вторую половину средних ступеней частоты вращения шпинделя (250 — 1120 об/мин) с $\varphi_n = 1, 12$. Причем электромагнитными муфтами ЭМ1 и ЭМ2 автоматически переключаются две частоты вращения с $\varphi_n = 1, 58$, что позволяет выполнять два технологических перехода (например, черновое и получистовое растачивание) с оптимальными скоростями резания.

Что касается нижних и первой половины средних ступеней частоты вращения шпинделя (40 — 315 об/мин), то они получаются, если к блоку-редуктору 1 присоединить блок-редуктор 3 ($i = 0, 29$) со сменными колесами $\frac{c}{d}$.

Среди других преимуществ привода с блочной компоновкой необходимо отметить следующие.

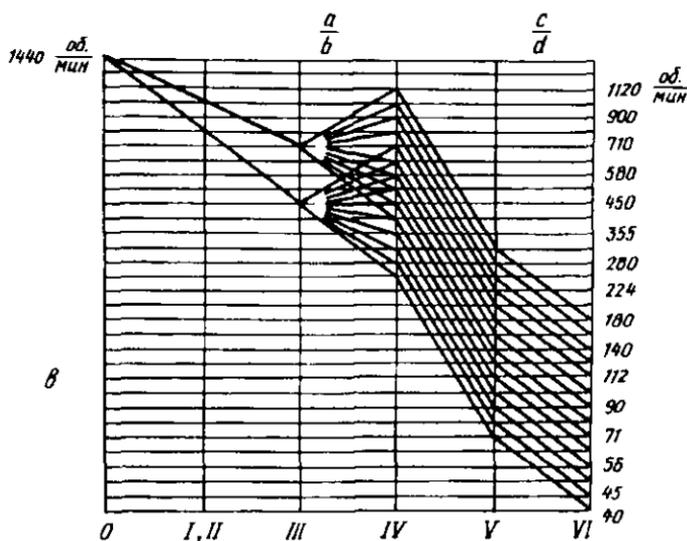
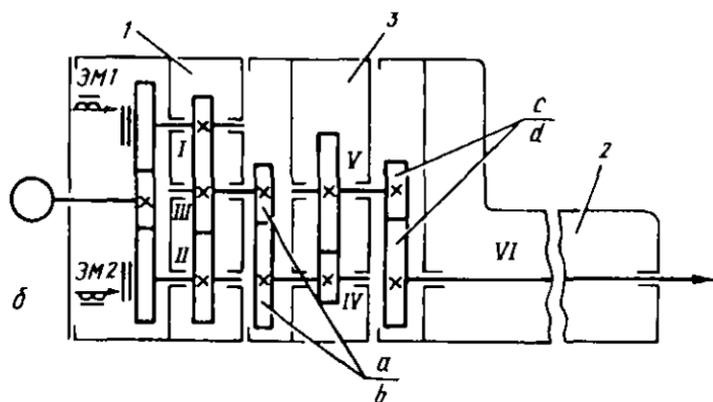
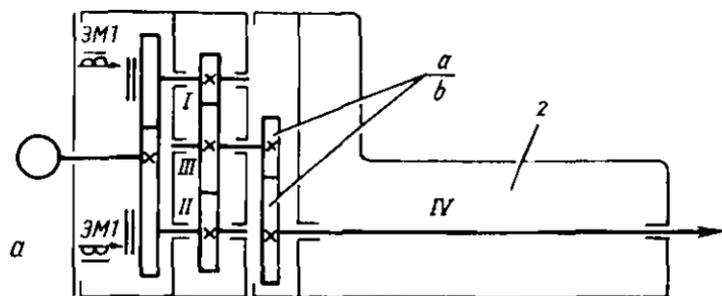


Рис. 9.20. Кинематическая схема привода с блочной компоновкой:
 а — кинематическая схема привода для верхних и второй половины средних ступеней частот вращения; б — кинематическая схема привода для первой половины средних и нижних частот вращения; в — график частот вращения; 1 и 3 — блок-редукторы; 2 — шпиндельная бабка

1. В данном приводе верхние и вторая половина средних ступеней частоты вращения шпинделя получаются более короткими кинематическими цепями, что уменьшает потери мощности на трение, облегчает разгон и торможение привода.

2. Благодаря разбивке сменных колес на две группы $\frac{a}{b}$ и $\frac{c}{d}$ наряду с расширением диапазона частоты вращения шпинделя сокращается число пар сменных колес. Так, если в унифицированном приводе с зубчатыми колесами (рис. 9.19) число пар сменных колес колеблется от 12 до 21, то в приводе с блочной компоновкой для получения того же диапазона частоты вращения требуется лишь 8—9 пар сменных колес.

3. В приводе с блочной компоновкой каждая группа сменных колес располагается после соответствующего блока-редуктора, что повышает минимальную частоту вращения его выходного вала и, тем самым, приводит к уменьшению величины расчетного крутящего момента. В результате уменьшаются размеры валов и шестерен блоков-редукторов.

Следует отметить, что привод с блочной компоновкой используется также и на двухшпиндельных бабках горизонтальных многопозиционных расточных агрегатных станков, предназначенных для обработки основных отверстий в корпусах конических редукторов с $\beta = 90^\circ$ (см. § 9.2).

Унифицированная одношпиндельная фрезерная бабка по своей конструкции в основном аналогична вышерассмотренной расточной бабке (рис. 9.17). Отличие заключается в том, что шпиндель 3 (рис. 9.21) монтируется на подшипниках 8, 9 и 10 не в корпусе 1, а в пиноли 2, которая совершает отскок при обратном ходе обрабатываемой детали после фрезерования. Отскок пиноли осуществляется при помощи гидроцилиндра 14, соединенного с ней через ползун 13, регулировочный винт 11 и серьгу 4. Регулировочный винт служит для наладочного перемещения пиноли, а следовательно, и фрезы на размер обработки. Бесконтактные конечные выключатели 5 и 6 контролируют соответственно переднее и заднее положение пиноли. Зажим и отжим пиноли осуществляются от гидроцилиндра 15, который воздействует на сухарь 16. Еще одна особенность бабки заключается в конструкции шпинделя — он имеет сквозное отверстие 7, через которое проходит тяга для крепления фрезы.

Наряду с рассмотренными унифицированными расточной и фрезерной шпиндельными бабками в агрегатных станках применяются подрезно-расточная, сверлильная и резьбонарезная бабки. Подробное описание их конструкции приводится в работах [26, 49, 111].

Многошпиндельные коробки предназначены для выполнения сверления, зенкерования, развертывания и резьбона-

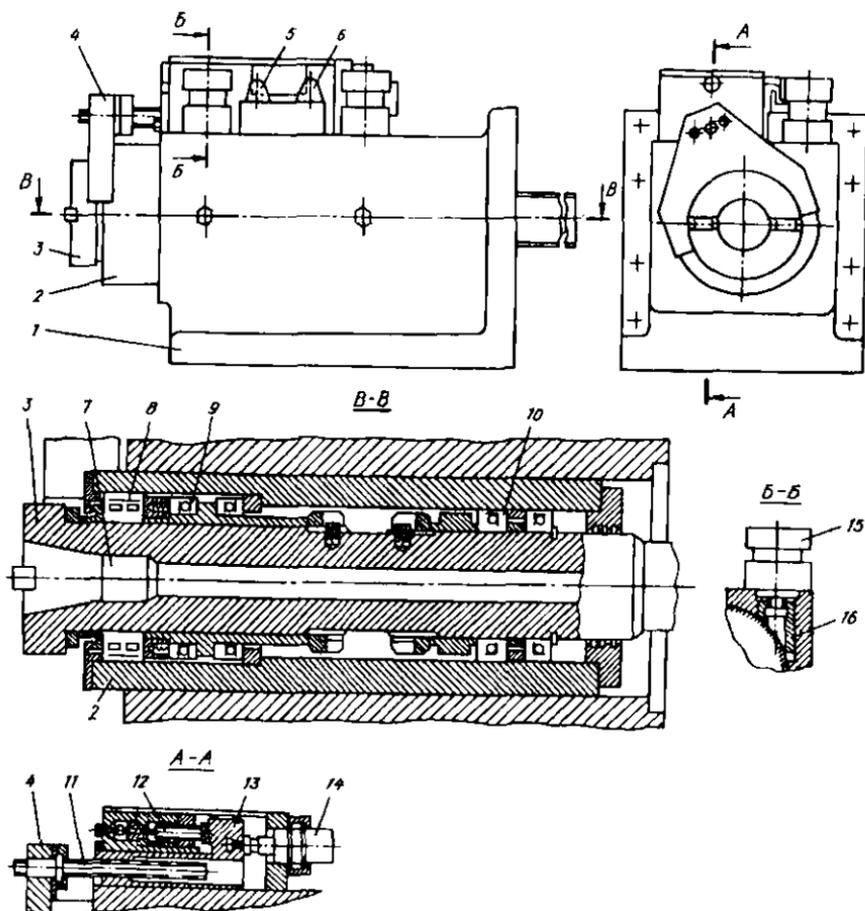


Рис. 9.21. Унифицированная одношпиндельная фрезерная бабка: 1 — корпус; 2 — пиньоль; 3 — шпиндель; 4 — серьга; 5 и 6 — бесконтактные конечные выключатели; 7 — отверстие в шпинделе; 8, 9 и 10 — подшипники; 11 — регулировочный винт; 12 — сменный калибр; 13 — ползун; 14 — гидроцилиндр; 15 — гидроцилиндр зажима; 16 — сухарь

резания. Они занимают промежуточное положение между унифицированными и специальными узлами. Все детали коробок унифицированы, тогда как расточка отверстий в корпусных деталях под подшипники шпинделей и промежуточных валов выполняется по специальным чертежам.

В многошпиндельную коробку (9.22) входит комплект корпусных деталей: задняя плита 2, посредством которой коробка присоединяется к угольнику 1, корпус 12, несущий опоры шпинделей 10 и промежуточных валов 8, а также крышки 3 монтаж-

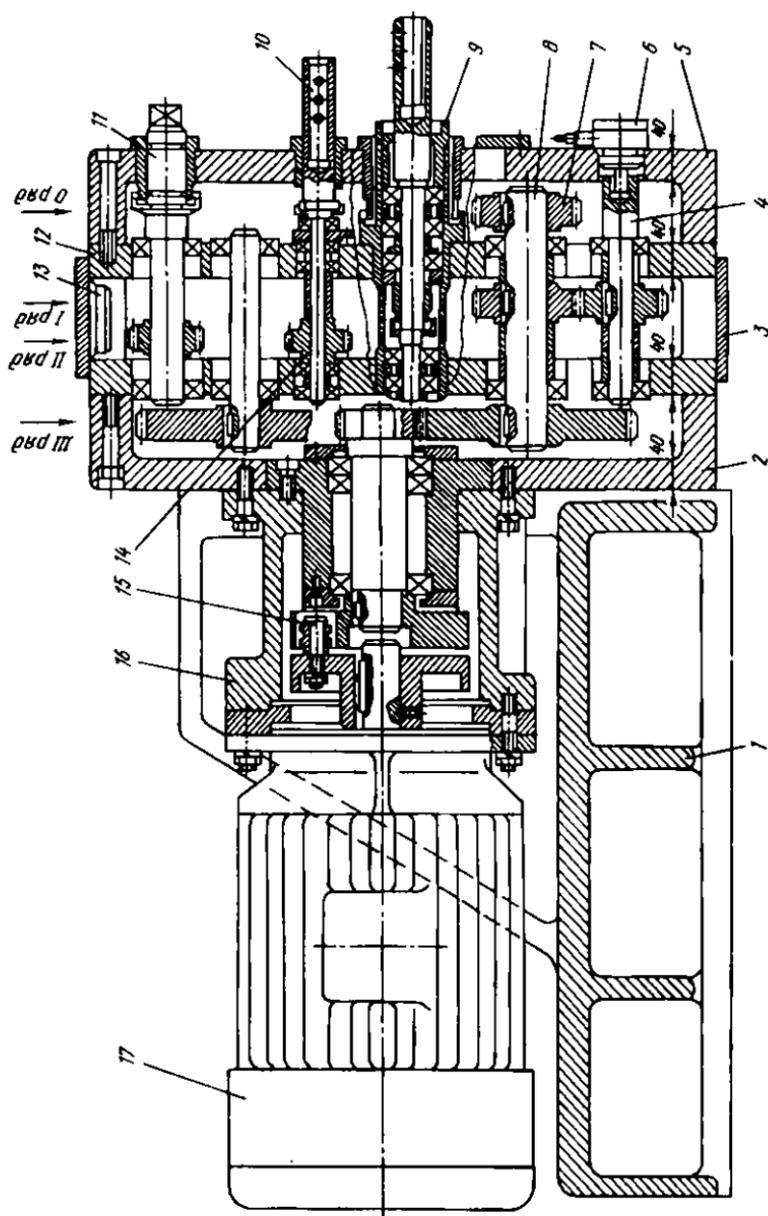


Рис. 9.22. Сверлильная многошпиндельная коробка с приводом: 1 — угольник; 2 — задняя плита; 3 — крышка; 4 — вал насоса; 5 — передняя крышка; 6 — насос; 7 и 14 — зубчатые колеса; 8 — промежуточные валы; 9 — гильза; 10 — шпинделя; 11 — валик для ручного поворота инструментов; 12 — корпус; 13 — крышка; 15 — эластичная муфта; 16 — стакан; 17 — электродвигатель

ных окон; передняя крышка 5, которая служит резервуаром для смазывающей жидкости при вертикальном расположении коробки. На задней плите 2 при помощи стакана 16 установлен электродвигатель 17, передающий вращение через эластичную муфту 15 на промежуточные валы 8 и шпиндели 10. Необходимые частота и направление вращения шпинделей обеспечиваются определенной совокупностью зубчатых колес 7, которые могут располагаться в четырех рядах: 0, I, II и III. Для ручного поворота шпинделей при смене инструментов предусмотрен удлиненный промежуточный вал 11 с шестигранной головкой на конце. Смазка зубчатых колес и подшипников производится от лопастного насоса 6, получающего вращение от вала 4. Жидкость от насоса сначала подается к маслораспределителю, а затем от него по трубкам определенного сечения поступает к местам смазки.

Унифицированные комплекты (сборки) шпиндельных узлов и промежуточных валов многошпиндельных коробок изображены на рис. 9.23 и 9.24. Шпиндели монтируются на радиальных шарикоподшипниках в сочетании с упорным подшипником, воспринимающим осевое усилие. Что касается промежуточных валов, то они монтируются на радиальных шарикоподшипниках со стопорными кольцами.

Сложной задачей при проектировании многошпиндельных коробок из унифицированных комплектов (сборок) является обеспечение требуемых частот и направлений вращения шпинделей

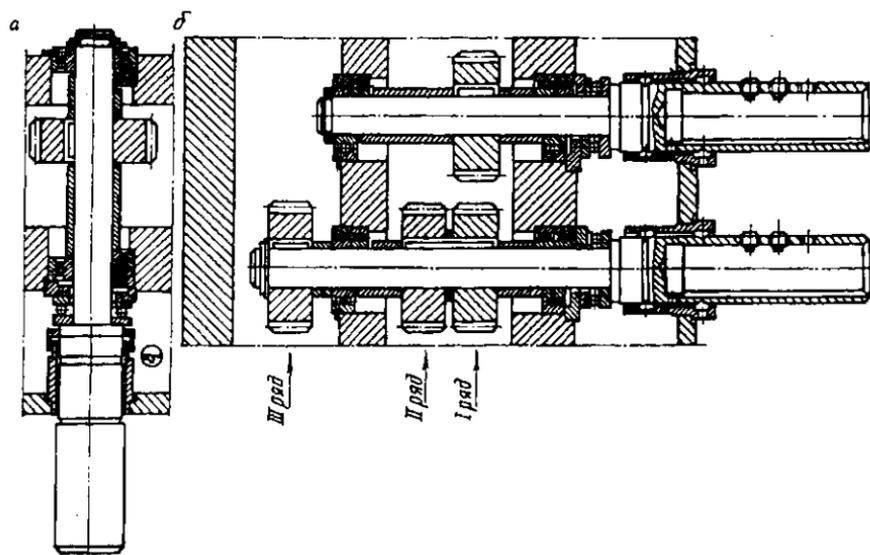


Рис. 9.23. Унифицированные комплекты (сборки) шпиндельных узлов:
 а — вертикальное расположение; б — горизонтальное расположение

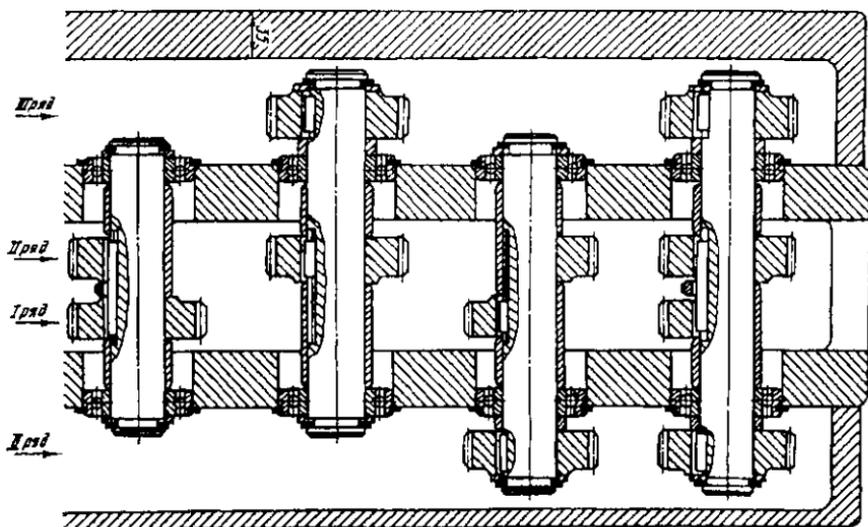


Рис. 9.24. Унифицированные комплекты (сборки) промежуточных валов

с передачей определенного крутящего момента, т.е. разработка кинематической схемы (раскатки). Сложность заключается в том, что координаты шпинделей заданы заранее с высокой точностью в соответствии с расположением обрабатываемых отверстий. Данная задача имеет множество вариантов решений по числу и расположению промежуточных валов. Оптимальным является вариант с минимальным числом промежуточных валов.

Для быстрого решения указанной задачи в Минском СКБ АЛ и других СКБ разработана система автоматизированного проектирования и изготовления многошпиндельных коробок [32]. В этой системе ЭВМ выполняет кинематические и силовые расчеты, контролирует пространственную совместимость унифицированных сборок, а также выдает документацию, необходимую для автоматического построения раскатки и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Такая комплексная система («АВТОПРИЗ») позволяет снизить трудоемкость конструкторских работ при проектировании одной многошпиндельной коробки в 2 — 2,5 раза и трудоемкость технологической подготовки производства на 3 — 4 часа [54].

Многошпиндельная коробка, предназначенная для нарезания резьб метчиками, показана на рис. 9.25. Она отличается от предыдущей тем, что в ней используются унифицированные сборки резьбонарезных шпинделей 7, а на передней крышке 9 на скалках 3 установлены плиты 6 с резьбонарезными пинолями 5, обеспечивающими подачу метчиков. На передней крышке установ-

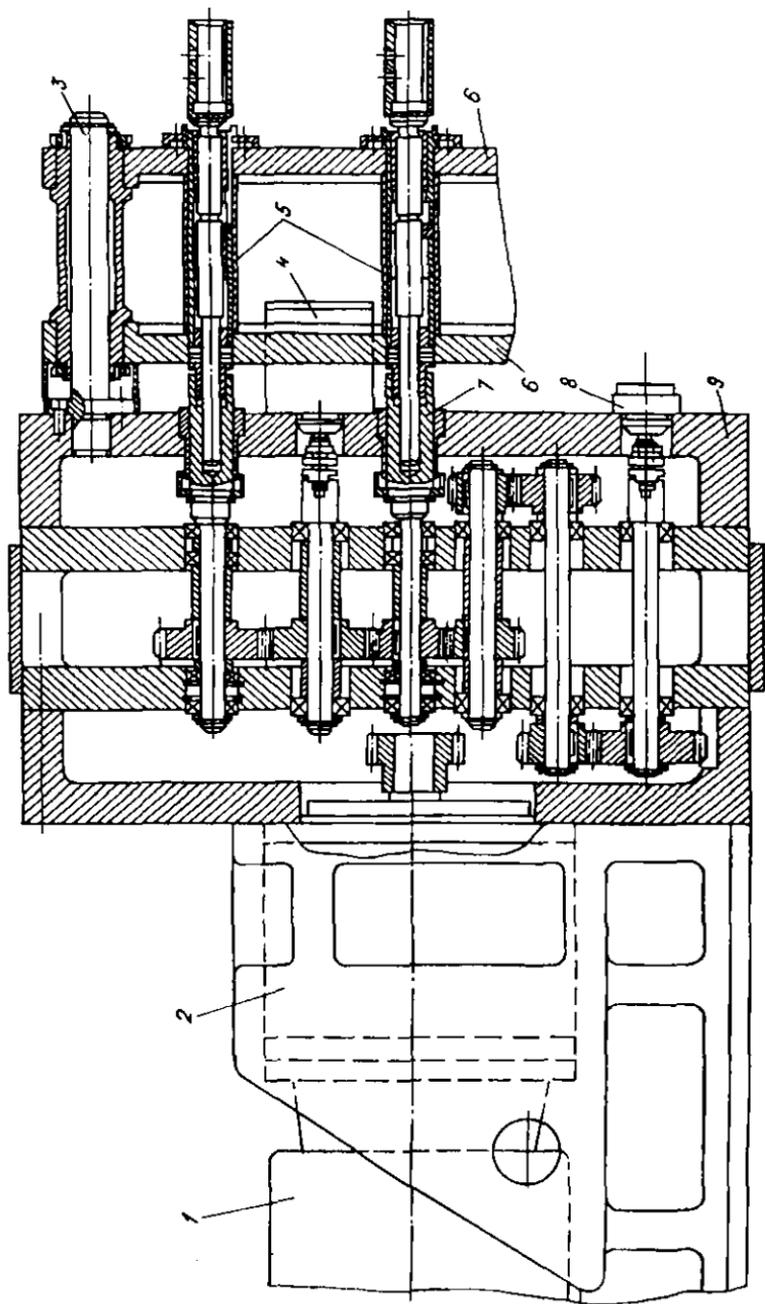


Рис. 9.25. Резьбонарезная многошпиндельная коробка с приводом: 1 — электродвигатель; 2 — угольник; 3 — скалка; 4 — счетный механизм; 5 — пиноль; 6 — плита; 7 — резьбонарезной шпиндель; 8 — насос; 9 — передняя крышка

лен также счетный механизм 4, который получает вращение от одного из промежуточных валов. Этот механизм считает число витков резьбы в процессе ее обработки и при достижении заданного значения подает команду на реверс электродвигателя 1 и его остановку в исходном положении.

Следует отметить, что существуют комбинированные многошпиндельные коробки с резбонарезными и сверлильными шпинделями. В этом случае для их вращения используются отдельные приводы.

Поворотные и линейно-делительные столы, а также барабаны являются транспортными устройствами, обеспечивающими автоматическое перемещение обрабатываемых деталей на многопозиционных агрегатных станках и автоматических линиях.

Круговые перемещения в горизонтальной плоскости осуществляются поворотными делительными столами, а в вертикальной — барабанами. Для линейных перемещений используются подкатные столы, транспортные многосекционные устройства и столы, оснащенные системами ЧПУ.

В указанных транспортных устройствах применяется гидравлический или электромеханический привод.

На рис. 9.26 приведена кинематическая схема поворотных делительных столов моделей УМ4125...УМ4145 с электромеханическим приводом. На плоские кольцевые направляющие корпуса 2, который отлит как одно целое со стружкосборником, установлена планшайба 4. Для ее быстрого вращения служит электродвигатель 1 (большой мощности), а для медленного обратного поворота до откидного упора — электродвигатель 5 (меньшей мощности). В радиальном направлении планшайба центрируется роликовым коническим подшипником 3.

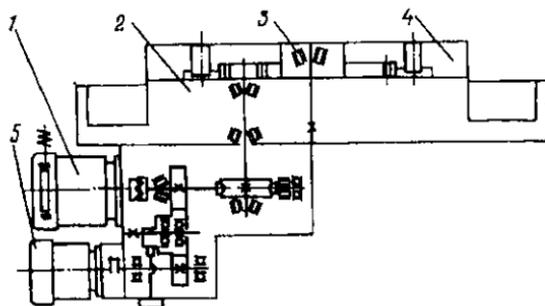


Рис. 9.26. Кинематическая схема поворотных делительных столов мод. УМ4125...УМ4145: 1 и 5 — электродвигатели соответственно для быстрого и медленного поворота планшайбы; 2 — корпус; 3 — роликовый подшипник; 4 — планшайба

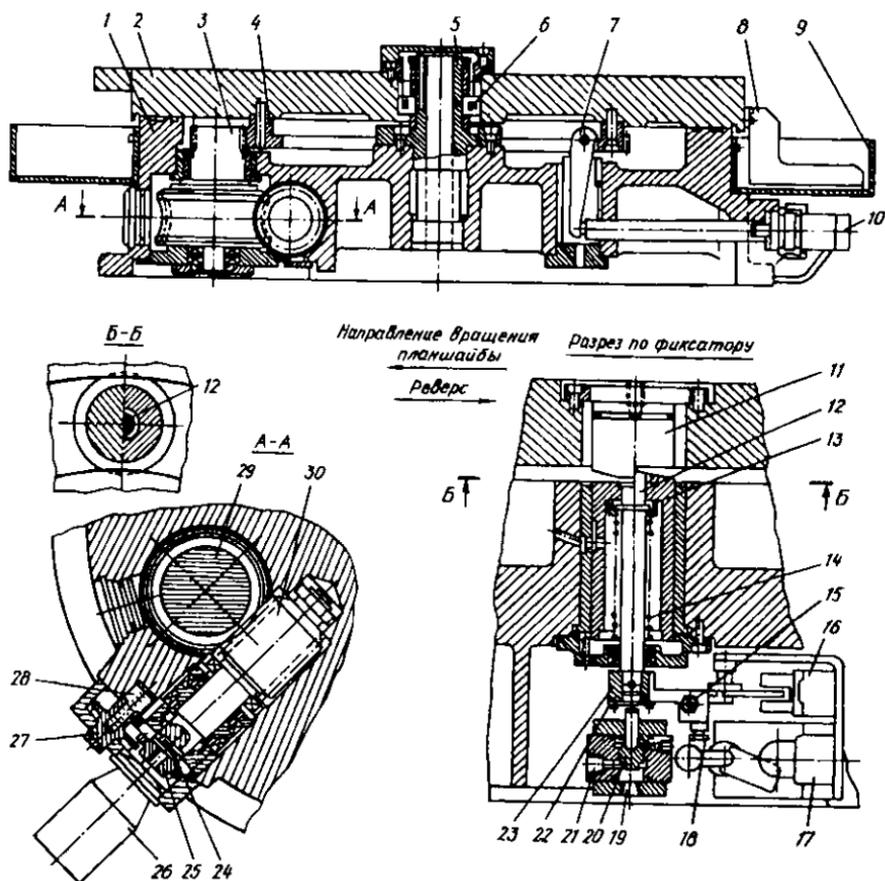


Рис. 9.27. Поворотно-делительные столы мод. УН2056...УН2058 с гидравлическим приводом: 1 — корпус; 2 — планшайба; 3 и 4 — зубчатые колеса; 5 — ось; 6 — двухрядный роликоподшипник; 7 — прихват; 8 — скребок; 9 — лоток; 10 — гидроцилиндр зажима планшайбы; 11 — упор; 12 — штанга; 13 — фиксатор; 14 — пружина; 15 — винт; 16 и 17 — конечные выключатели; 18 — винт; 19 — отверстие; 20 — дроссель; 21 — отверстие; 22 — крышка; 23 — рычаг; 24 — упругая муфта; 25 — шестерня; 26 — гидромотор; 27 — шестерня ручного поворота планшайбы; 28 — пружина; 29 — червячное колесо; 30 — червяк

Данные столы в зависимости от диаметра планшайбы (800, 1000 и 1250 мм) имеют три типоразмера. Для всех столов число позиций может изменяться от 2-х до 12-ти.

Поворотно-делительные столы моделей УН2056-УН2058 с гидравлическим приводом представлены на рис. 9.27. На плоские кольцевые направляющие корпуса 1 установлена планшайба 2, вращающаяся вокруг оси 5 на преци-

зионном двухрядном роликоподшипнике 6 с коническим отверстием. Поворот планшайбы осуществляется гидромотором 26 через упругую муфту 24, червяк 30, червячное колесо 29 и шестерни 3 и 4 (последняя закреплена на планшайбе). При подходе к очередной позиции упор 11, закрепленный на планшайбе, утапливает фиксатор 13 вместе со штангой 12, которая нижним концом нажимает на золотник путевого дросселя 20. В результате уменьшается поток масла, выходящий из гидромотора, и скорость планшайбы плавно снижается.

При ходе штанги 12 вниз закрепленный на ней рычаг 23 регулировочным винтом 18 воздействует на конечный выключатель 17, который подготавливает команду на реверс гидромотора. Когда упор 11 при дальнейшем медленном вращении планшайбы освобождает фиксатор 13, последний под действием пружины 14 перемещается вверх и конечный выключатель 17 подает команду на реверс гидромотора. В конце реверса упор 11 поворачивает штангу 12 вместе с рычагом 23, который регулировочным винтом 15 воздействует на конечный выключатель 16. Этот выключатель через реле времени подает команду на отключение гидроразгрузки планшайбы и включение гидроцилиндра 10, осуществляющего зажим планшайбы при помощи прихвата 7. Выдержка времени необходима для того, чтобы стабилизировать силу прижима упора 11 к фиксатору 13.

В столах данного типа предусмотрен ручной поворот планшайбы при наладке. Он осуществляется посредством подпружиненной шестерни 27, имеющей шестигранное отверстие под ключ, и шестерни 25.

Указанные столы имеют следующий цикл работы планшайбы: отжим и ее гидроразгрузка, быстрое вращение с замедлением в конце поворота, реверс и поджим к фиксатору, отключение

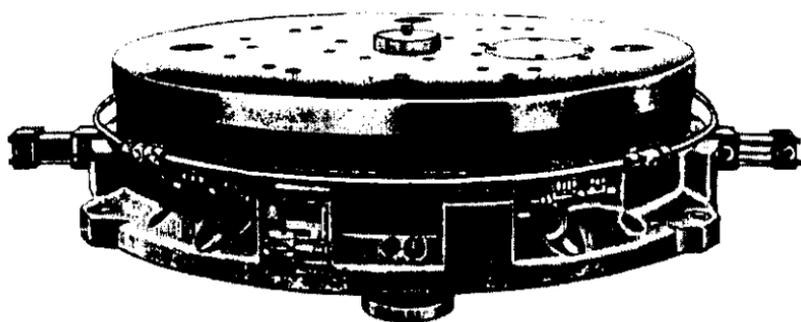


Рис. 9.28. Поворотный-делительный стол мод. НТ с гидроприводом (фирма "WIEPOFAMA")

гидроразгрузки и ее зажим. Гидроразгрузка планшайбы осуществляется путем подачи масла под давлением в канавки направляющих. Это позволяет уменьшить крутящий момент, необходимый для поворота планшайбы, и практически исключить износ направляющих.

В зависимости от диаметра планшайбы (800, 1000 и 1250 мм) рассматриваемые столы изготавливаются трех типоразмеров. Все столы могут иметь от 2-х до 12-ти позиций.

Поворотные-делительные столы с гидроприводом выпускают многие зарубежные станкостроительные фирмы. В качестве примера на рис. 9.28 показан стол типа НТ польской фирмы 'WIEROFAMA". Подобные столы имеют пять типоразмеров с диаметром планшайбы 965, 1220, 1525, 1830 и 1940 мм.

В агрегатных станках в качестве линейно-делительных столов широко используются подкатные столы, имеющие две позиции. На рис. 9.29 показана схема гидропривода подкатного стола мод. УМ2312. При подаче жидкости в бесштоковую полость гидроцилиндра 1 платформа стола перемещается вправо до регулируемого жесткого упора 2, а при подаче жидкости в штоковую полость — влево до регулируемого жесткого упора 4. В обоих положениях платформа стола фиксируется плунжерами, которые поджимают ее к направляющей плите 3. В комплект стола

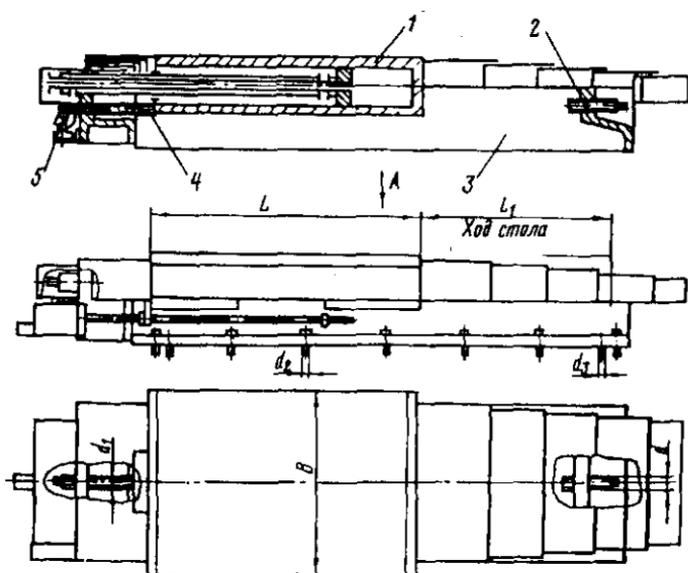


Рис. 9.29. Схема гидропривода подкатного стола мод. УМ2312:
1 — гидроцилиндр; 2 и 4 — регулируемые жесткие упоры; 3 — направляющая плита; 5 — бесконтактные переключатели БВК 201-24

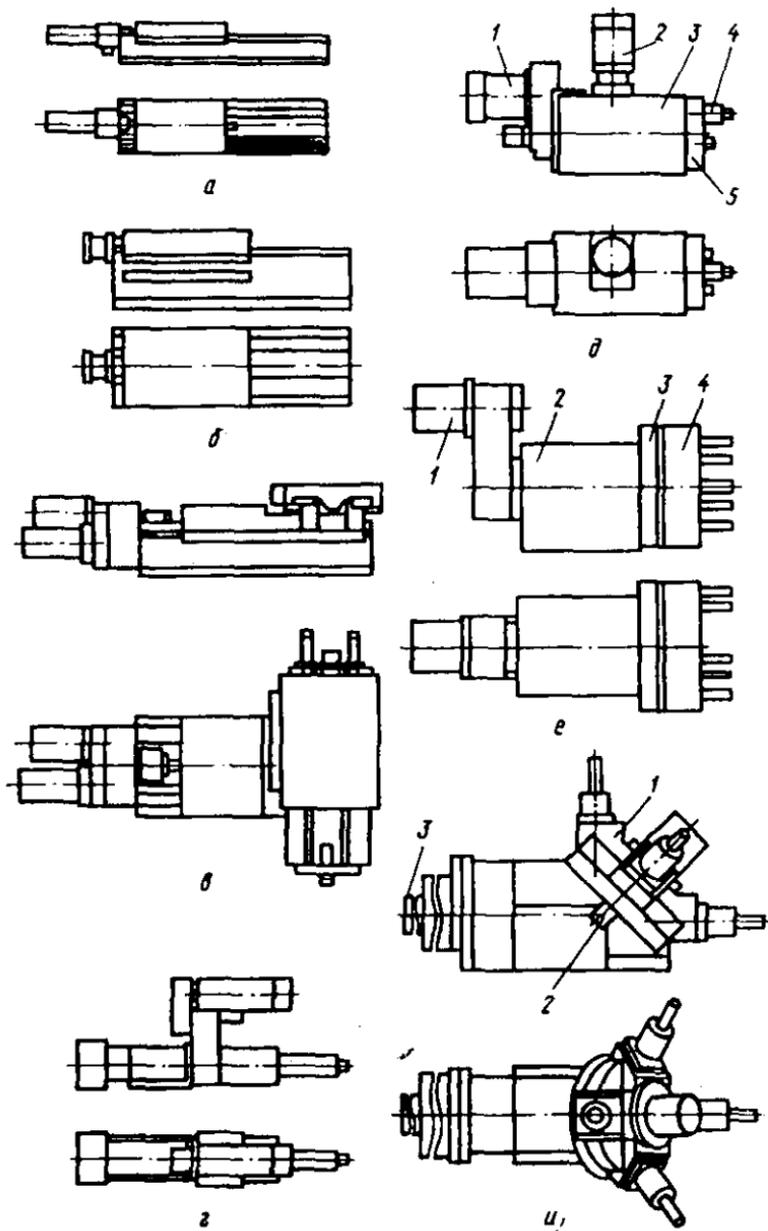


Рис. 9.30. Гамма унифицированных узлов с ЧПУ, используемых при создании агрегатных многооперационных станков и ГПМ

входят упоры управления с бесконтактными переключателями 5, расположенными на торце стола.

Подкатный стол имеет три исполнения в зависимости от величины хода платформы.

Одной из основных тенденций развития агрегатных станков является оснащение унифицированных узлов системами ЧПУ. Так, на рис. 9.30 приведена отечественная гамма унифицированных узлов с ЧПУ, используемых при создании агрегатных многооперационных станков и ГПМ. Сюда входят:

однокоординатные силовые столы (рис. 9.30а) семи габаритных размеров с шарико-винтовой парой и высокомоментным электродвигателем;

однокоординатные силовые столы с гидроприводом (рис. 9.30б) двух габаритных размеров;

крестовые (двухкоординатные) столы (рис. 9.30в) трех габаритных размеров;

продольно-поворотные столы с гидроприводом двух габаритных размеров.

Указанная гамма унифицированных узлов включает также различные одно- и многошпиндельные бабки, используемые в станочных системах с ЧПУ:

бабки револьверные с веерным расположением шпинделей (рис. 9.30и);

бабки многошпиндельные (рис. 9.30е);

бабки револьверные с параллельным расположением шпинделей (рис. 9.30д);

бабки расточные с планшуппортом (рис. 9.30г).

В револьверной бабке с параллельными шпинделями (рис. 9.30д) поворот револьверной головки 5 относительно корпуса 3 и выдвижение шпинделя 4 на рабочей позиции осуществляет привод 2, а главное движение — привод 1.

В револьверной бабке с веерным расположением шпинделей (рис. 9.30и) поворот револьверной головки 1 осуществляет привод 2, а главное движение — привод 3.

Многошпиндельная бабка (рис. 9.30е) получает главное движение от привода 1.

Все шпиндельные бабки движение подачи получают от однокоординатных силовых столов.

§ 9.4. Агрегатные многооперационные станки и ГПМ

В основе агрегатных многооперационных станков лежат базовые компоновки (см. § 9.2). Если последние оснастить магазинами одиночных инструментов или многошпиндельных коробок, а также устройствами для их автоматической смены, то получим

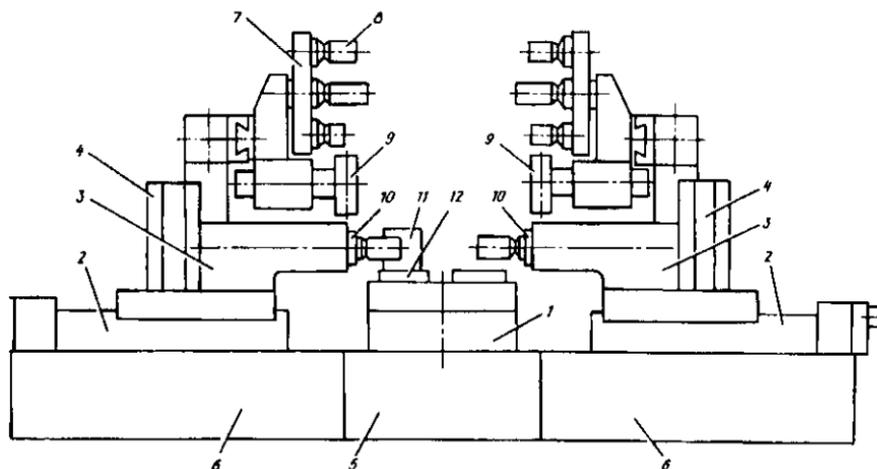


Рис. 9.31. Общий вид агрегатного многооперационного станка с подвижными магазинами инструментов: 1 — поворотный-делительный стол; 2 — силовые столы; 3 — двухшпиндельные бабки; 4 — редукторы; 5 — центральная станина; 6 — боковые станины; 7 — магазины инструментов; 8 — инструмент; 9 — манипуляторы; 10 — шпиндельные узлы; 11 — обрабатываемые детали; 12 — палеты с приспособлениями

многооперационные станки из унифицированных узлов и элементов.

Так, на рис. 9.31 представлен специализированный агрегатный многооперационный станок, предназначенный для обработки основных отверстий в корпусах конических редукторов с $\beta = 90^\circ$ в условиях серийного производства [86]. Большая номенклатура таких редукторов изготавливается на заводах сельхозмашиностроения. Например, только на Ташкентском агрегатном заводе изготавливается более 30-ти наименований корпусов конических редукторов с годовой программой выпуска от 1500 до 6000 штук.

В основе указанного станка лежит базовая компоновка, приведенная на рис. 9.8. Многооперационный станок (рис. 9.31) состоит из поворотного-делительного стола 1 с планшайбой диаметром 1000 мм и силовых столов 2 шестого габарита с длиной хода платформы 500 мм. Эти узлы смонтированы соответственно на центральной станине 5 и боковых станинах 6. На платформах силовых столов установлены двухшпиндельные бабки 3 с редукторами 4.

Станок оснащен двумя магазинами инструментов 7 и манипуляторами 9, предназначенными для автоматической смены инструментов 8 в шпиндельных узлах 10. Магазины инструментов вместе с манипуляторами могут перемещаться над расточными бабками, что необходимо для автоматической смены инструментов в каждом шпиндельном узле.

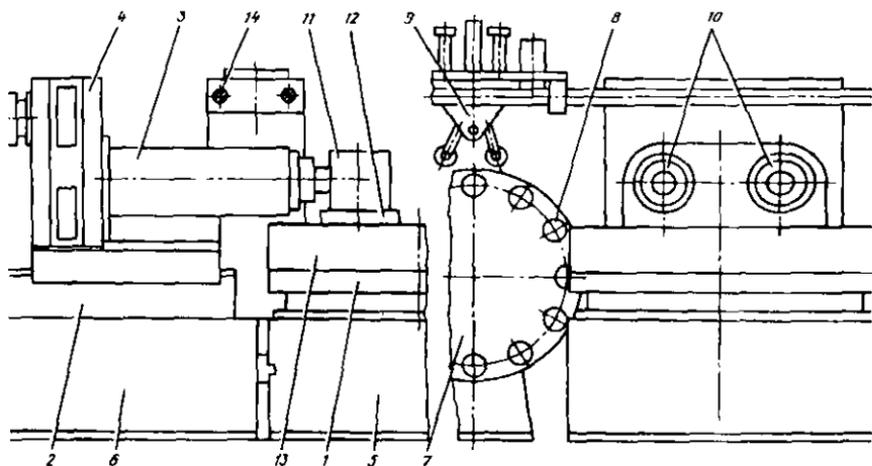


Рис. 9.32. Общий вид агрегатного многооперационного станка со стационарными магазинами инструментов: 1 — поворотный-делительный стол; 2 — силовые столы; 3 — двухшпиндельные бабки; 4 — редукторы; 5 — центральная станина; 6 — боковые станины; 7 — магазины инструментов; 8 — инструмент; 9 — манипуляторы; 10 — шпиндельные узлы; 11 — обрабатываемые детали; 12 — палеты с приспособлениями; 13 — кожух; 14 — порталы

Что касается обрабатываемых деталей 11, то они устанавливаются на палетах 12 с приспособлениями. Установка и съем палет с поворотного-делительного стола осуществляется порталным роботом.

Рассмотренная компоновка вспомогательных узлов для автоматической смены инструментов целесообразна при их массе до 10 кг, что имеет место при обработке мелких корпусов редукторов. При массе инструментов более 10 кг (группа средних и крупных корпусов) целесообразна стационарная компоновка магазинов инструментов (рис. 9.32). В данном случае стационарные магазины 7 расположены сбоку станка. Смена инструментов 8 в двухшпиндельных бабках 3 осуществляется манипуляторами 9, перемещающимися по порталам 14.

Рассмотренные многооперационные станки являются четырехпозиционными и двусторонними.

Другая разновидность агрегатных многооперационных станков показана на рис. 9.33. Этот станок оснащен револьверным устройством с четырьмя многошпиндельными коробками 3. Роль револьверного устройства выполняет поворотный-делительный стол 2, установленный на силовом столе 1. Сменные многошпиндельные коробки имеют общий привод 4, передающий вращение на шпиндели коробки, находящейся в рабочей зоне станка.

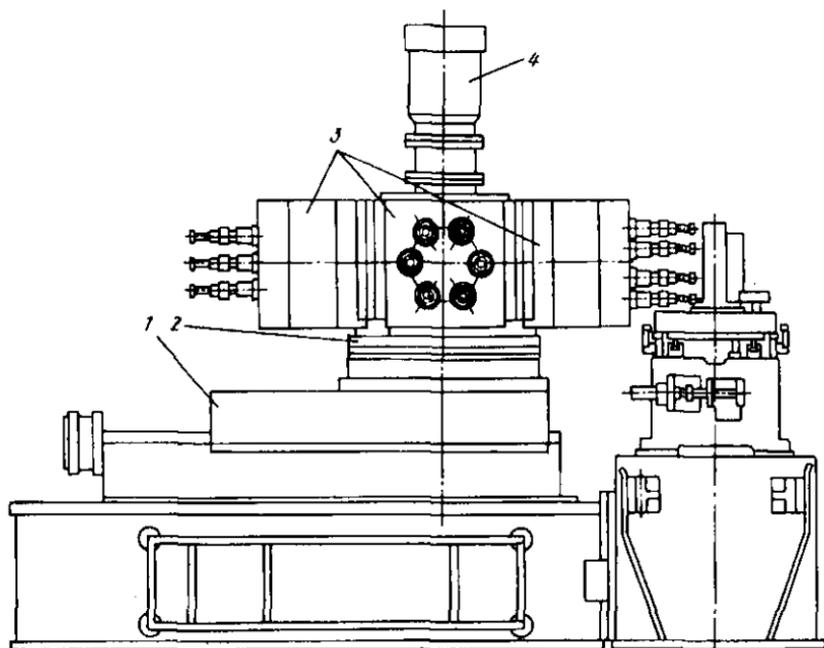


Рис. 9.33. Общий вид одностороннего агрегатного многооперационного станка со сменными многошпиндельными коробками: 1 — силовой стол; 2 — поворотный-делительный стол; 3 — многошпиндельные коробки; 4 — привод многошпиндельных коробок

Недостатками рассмотренной разновидности агрегатных многооперационных станков являются малый объем магазина многошпиндельных коробок и большая масса подвижной части силовых столов (платформа стола с магазином многошпиндельных коробок), что ограничивает скорость быстрых перемещений.

Эти недостатки в определенной мере устранены в агрегатном многооперационном станке с 8-ю многошпиндельными коробками, созданном в СКТБС НПО "Технолог" (г. Ташкент). В нем (рис. 9.34) стационарный револьверный магазин 1 (используется поворотный-делительный стол) шпиндельных коробок 6 расположен на портале 5 над силовым столом 4 с приводом шпинделей коробок. Силовой стол 4 при ходе вперед при помощи фиксирующего и зажимного устройства, расположенного на приводе шпинделей, захватывает соответствующую многошпиндельную коробку и снимает ее со скалок 8, закрепленных на кронштейнах 7 магазина. Следует отметить, что в магазине могут располагаться сменные одношпиндельные фрезерные и расточные бабки.

Обрабатываемую деталь устанавливают на палете 2, которая может перемещаться перпендикулярно осям шпинделей сило-

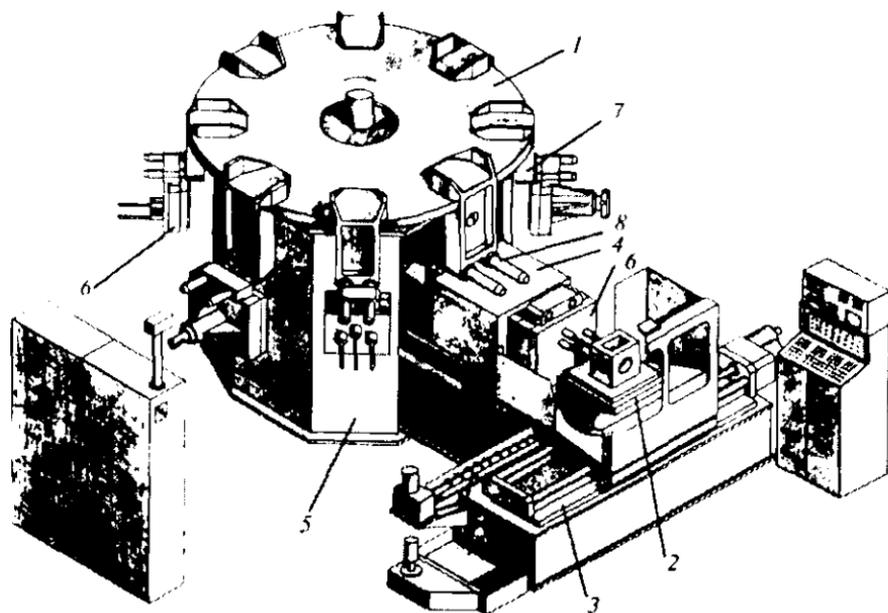


Рис. 9.34. Агрегатный многооперационный станок со стационарным магазином многошпиндельных коробок: 1 — револьверный магазин; 2 — палета с приспособлением; 3 — силовой стол; 4 — силовой стол с приводом шпинделей; 5 — портал; 6 — шпиндельная коробка; 7 — кронштейны; 8 — скалки

вым столом 3. Это перемещение необходимо при фрезеровании плоскостей.

На данном станке могут выполняться сверление, в том числе глубокое в несколько проходов, зенкерование, цекование, растачивание, контроль глубины отверстий, резбонарезание и фрезерование. Для обеспечения этих разнообразных видов обработки рабочая подача силового стола 4 изменяется в пределах 16—400 мм/мин. Скорость быстрых перемещений равна 1000 мм/мин. Время смены коробки — 25 с.

На рис. 9.35 приведена планировка указанного агрегатного многооперационного станка.

В Харьковском СКБ АС создан агрегатный многооперационный станок мод. ХПАЧ с ЧПУ, подобный вышерассмотренному. На T-образной станине 1 (рис. 9.36) установлен силовой стол 2, на платформе которого закреплен привод 4 многошпиндельных коробок. Силовой стол охватывает арочная стойка 3, на которой установлен стационарный магазин сменных многошпиндельных коробок 5. Передача коробок из магазина к приводу 4 и обратно осуществляется маятниковой рукой 6 и манипулятором 7.

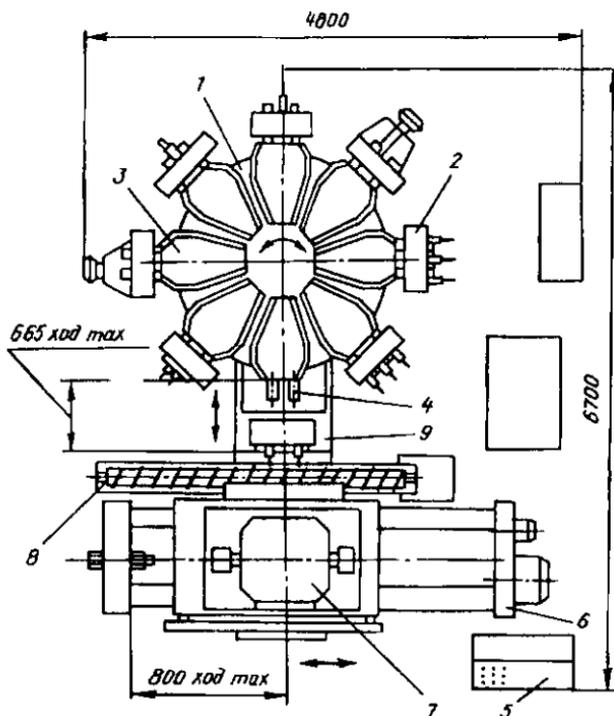


Рис. 9.35. Планировка агрегатного многооперационного станка:
 1 — револьверный магазин; 2 — многошпиндельные коробки;
 3 — кронштейны; 4 — скалки; 5 — пульт управления; 6 — силовой стол;
 7 — палета с приспособлением; 8 — стружкоборочный узел; 9 — силовой стол с приводом шпинделей

Перпендикулярно силовому столу 2 на *T*-образной станине установлен координатно-силовой стол 9, на платформе которого смонтирован поворотный-делительный стол 8.

Еще один многооперационный станок со стационарным магазином многошпиндельных коробок представлен на рис. 9.37. Он разработан фирмой «Буркхарт и Вебер» (Германия) и предназначен для обработки гладких и резьбовых отверстий в крупных корпусных деталях, например, в блоках цилиндров автомобильных двигателей. На этом станке обработка детали 1 ведется с двух сторон силовыми агрегатами 4 со сменными многошпиндельными коробками 2, расположенными в магазинах 3 в виде *П*-образных стеллажей. Это — оперативный запас многошпиндельных коробок, необходимых для обработки одного типа деталей. Стратегический запас коробок для совокупности различных деталей находится на стеллажах рядом со станком.

Многооперационные станки со стационарными магазинами многошпиндельных коробок являются основой агрегатных ГПМ,

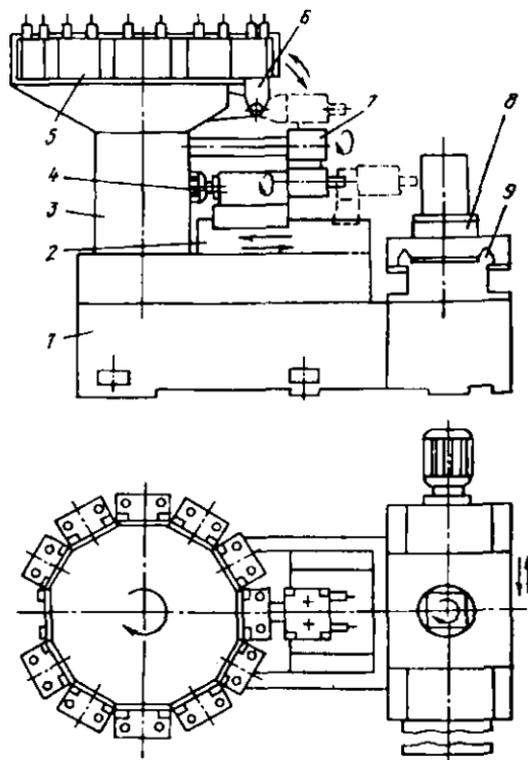


Рис. 9.36. Агрегатный много-
операционный станок мод.
ХПАЧ с ЧПУ: 1 — Т-образ-
ная станина; 2 — силовой
стол; 3 — стойка; 4 — привод
многошпиндельных коробок;
5 — многошпиндельные кор-
ботки; 6 — маятниковая рука;
7 — манипулятор; 8 — пово-
ротный-делительный стол; 9 —
координатно-силовой стол

которые предназначены для обработки различных сложных корпусных деталей в условиях “безлюдной технологии” на заводах мелкосерийного и серийного производства. Эти модули оснащают магазинами многошпиндельных коробок большой емкости и магазинами обрабатываемых заготовок.

На рис. 9.38 приведен ГПМ с магазином многошпиндельных коробок 2 в виде транспортного устройства 3 прямоугольной формы, на котором может быть установлено до 12-ти коробок с сотнями инструментов. Данное устройство в определенной последовательности подает сменные коробки 2 к силовому агрегату 4.

Заготовка 1 по конвейеру сначала подается на стол 5 загрузочной позиции, а затем транспортером 6 перемещается в приспособление 7. При этом обработанная деталь, подлежащая разгрузке, находится на столе 8. Стол 9 служит для поворота заготовки после того, как одна из ее сторон будет полностью обработана.

Такой гибкий модуль по данным фирмы “INGERSOLL” (США) эффективен при ежедневном выпуске 2 — 3 одинаковых или различных сложных корпусных деталей.

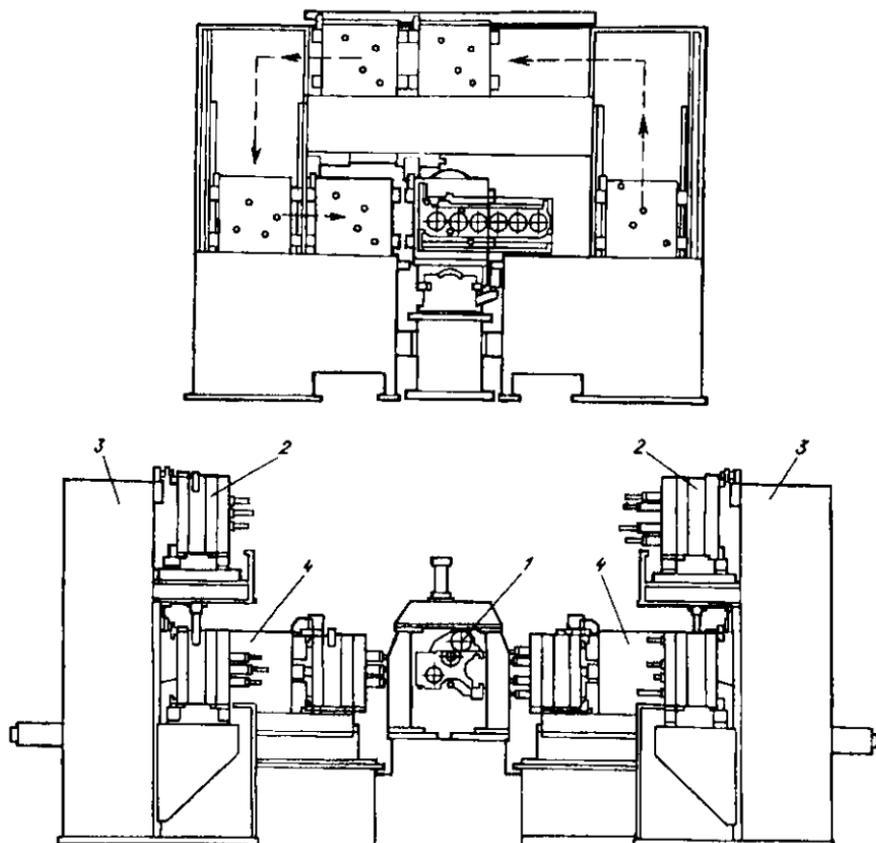


Рис. 9.37. Общий вид агрегатного многооперационного станка фирмы "Буркхарт и Вебер": 1 — обрабатываемая деталь; 2 — сменные многошпиндельные коробки; 3 — магазины многошпиндельных коробок; 4 — силовые агрегаты

Следует отметить, что в агрегатных ГПМ применяются накопители (магазины) спутников с деталями, подобные накопителям в ГПМ фрезерно-сверлильно-расточной группы.

Агрегатный ГПМ французской фирмы "Рено машин Утий" показан на рис. 9.39. Он предназначен для выполнения преимущественно сверлильных и резьбонарезных операций на призматических корпусных деталях. ГПМ состоит из силового агрегата 1 с программным управлением, на который устанавливаются и крепятся сменные многошпиндельные коробки 6, их магазины в виде продольных транспортеров 3 и 4, поворотного делительного стола 8 с приспособлением 9. Стол 8 обеспечивает обработку деталей с двух, трех и четырех сторон. На торце транспортеров 3 и 4 предусмотрены погрузочно-опрокидывающие устройства 2 и

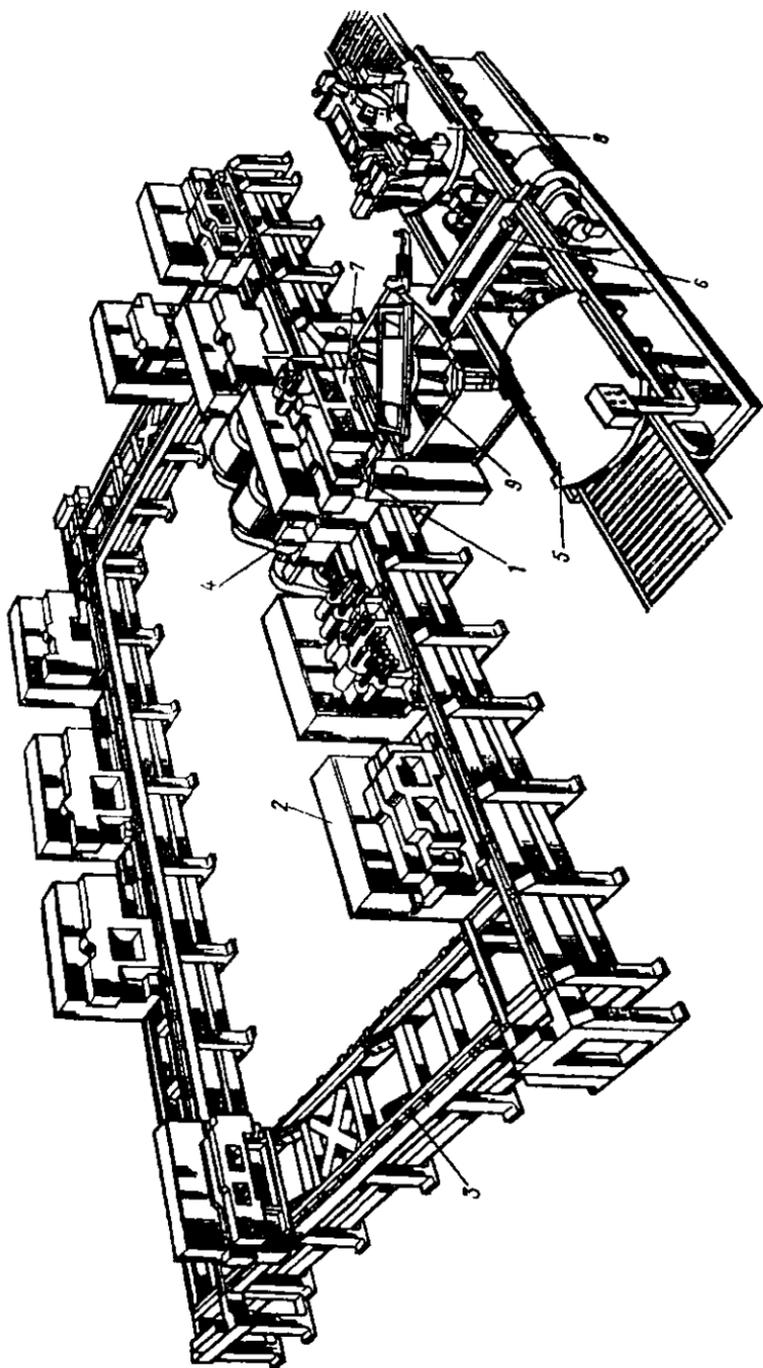


Рис. 9.38. Агрегатный ГПМ: 1 — обрабатываемая заготовка; 2 — многошпиндельные коробки; 3 — транспортное устройство; 4 — силовой агрегат; 5 и 8 — столы для заготовки и готовой детали; 6 — транспортер; 7 — приспособление; 9 — стол

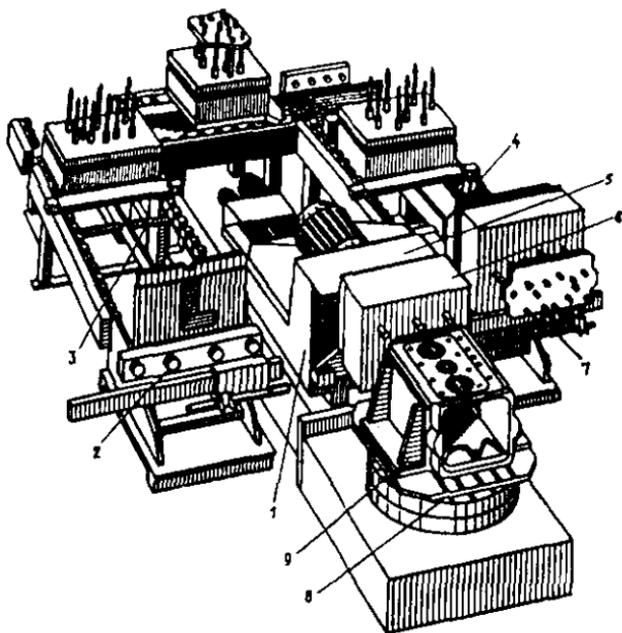


Рис. 9.39. Агрегатный ГПМ фирмы "Рено машин-Утий" (Франция):
 1 — силовой агрегат; 2 и 7 — погрузочно-опрокидывающие устройства;
 3 и 4 — продольные транспортеры; 5 — угольник силового агрегата;
 6 — сменные многошпиндельные коробки; 8 — поворотно-делительный стол;
 9 — приспособление

7, которые переворачивают многошпиндельные коробки перед установкой на силовой агрегат и после их съема.

Данный модуль может работать в составе более сложных автоматизированных систем или самостоятельно. В последнем случае его оснащают магазином заготовок или спутников, на которые устанавливают заготовки.

§ 9.5. Тенденции развития агрегатных станков

Тенденции развития агрегатных станков рассматривают на двух уровнях: на уровне унифицированных узлов и уровне конструктивных решений по станкам в целом. Наиболее общими тенденциями в развитии унифицированных узлов в настоящее время являются [2]:

1) повышение мощности приводов шпиндельных узлов и силовых столов, что позволяет увеличить концентрацию инструментов на одном силовом агрегате и станке в целом;

2) применение в приводах шпиндельных узлов электродвигателей переменного тока с частотным регулированием, а в приводах силовых столов — высокомоментных двигателей, в целях обеспечения автоматического регулирования частоты вращения шпинделей и подачи;

3) повышение скорости быстрых перемещений силовых столов и снижение времени срабатывания поворотных и линейно-делительных столов, что позволяет существенно сократить вспомогательное время;

4) оснащение унифицированных узлов программным управлением;

5) применение в силовых столах пары винт-гайка и направляющих качения;

6) создание силовых агрегатов с револьверными головками, имеющими одно- и многошпиндельные позиции. Подобный силовой агрегат фирмы “Мулхед” (Англия) представлен на рис. 9.40. Он имеет револьверную головку с четырьмя многошпиндельными позициями.

Основными тенденциями развития агрегатных станков являются:

1) применение базовых компоновок при создании агрегатных станков, что позволяет снизить трудоемкость и сроки их проектирования, уменьшить номенклатуру покупаемых и изготавливаемых унифицированных узлов, обеспечить определенную гибкость станков в условиях крупносерийного производства;

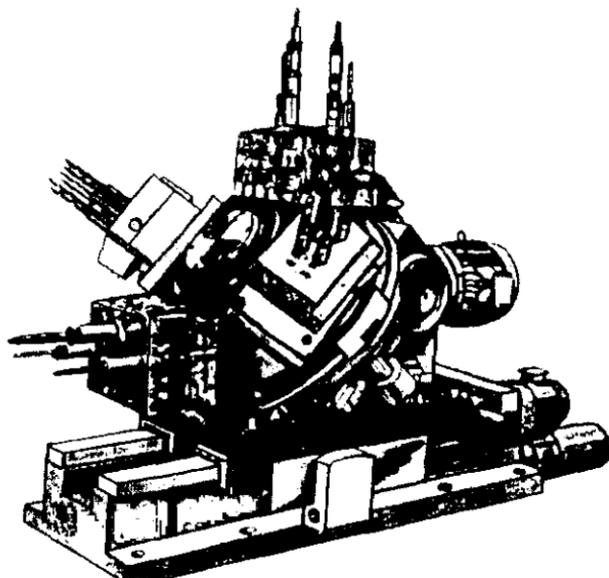


Рис. 9.40. Силовой агрегат фирмы “Мулхед” (Англия)

- 2) создание агрегатных многооперационных станков со сменными инструментами и многошпиндельными коробками;
- 3) расширение технологических возможностей агрегатных станков путем применения таких видов обработки, как протягивание, прошивка, раскатывание, шлифование, полирование и др.;
- 4) повышение точности обработки до пятого качества путем применения прецизионных подшипников в шпиндельных узлах, увеличения их жесткости и т.д.;
- 5) оснащение агрегатных многооперационных станков устройствами автоматической загрузки и разгрузки, а также магазинами заготовок или спутников с заготовками;
- 6) оснащение переналаживаемых агрегатных станков системами ЧПУ.

Глава 10

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ И ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

§ 10.1. Термины, определения и классификация

Главным направлением развития машиностроения является широкая автоматизация мелкосерийного, серийного, крупносерийного и массового производства на базе автоматических линий, участков, цехов и заводов.

Автоматической линией называется совокупность технологического оборудования, установленного в последовательности технологического процесса обработки, соединенного автоматическим транспортом и оснащенного автоматическими загрузочно-разгрузочными устройствами, а также одной общей или несколькими взаимосвязанными системами управления [16].

По разновидности применяемого технологического оборудования автоматические линии подразделяются на линии из [58]:

- универсальных станков автоматов и полуавтоматов;
- многооперационных станков и ГПМ;
- агрегатных станков;
- специальных станков автоматов и полуавтоматов;
- роторного технологического оборудования;
- комбинированного технологического оборудования.

По виду транспорта обрабатываемых деталей они подразделяются на автоматические линии с жесткой (синхронной) и гибкой (асинхронной) связью.

В линиях с жесткой связью (рис. 10.1а) детали обрабатываются одновременно на всей совокупности технологического оборудо-

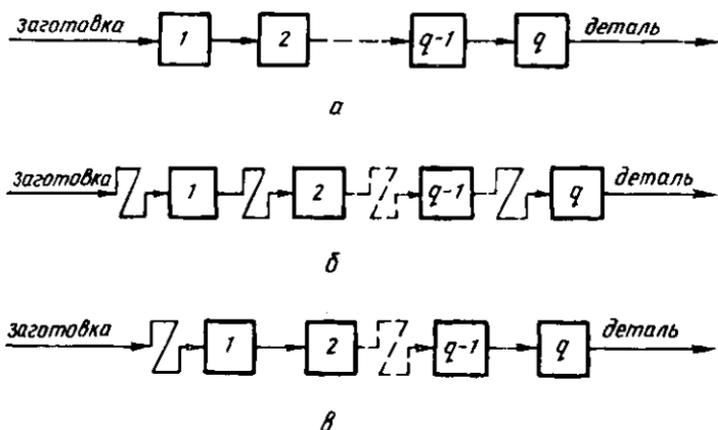


Рис. 10.1. Типы связей в автоматических линиях: а — автоматическая линия с жесткой связью; б — автоматическая линия с гибкой связью; в — автоматическая линия с комбинированной связью; q — q -ое технологическое оборудование; ∇ — накопитель обрабатываемых деталей

дования и после обработки передаются от оборудования к оборудованию без промежуточных устройств, позволяющих накапливать межоперационные заделы за счет различных циклов его работы. Поэтому при создании таких линий необходимо стремиться к тому, чтобы время цикла на каждом оборудовании было равным или мало отличалось друг от друга. Недостатком этих линий является то, что при остановке хотя бы одного станка или какого-нибудь устройства вся линия не работает.

В линиях с гибкой связью (рис. 10.1 б) между каждым технологическим оборудованием или его группой предусмотрены магазины-накопители. В результате деталь после обработки на одном оборудовании сначала подается в накопитель, а ранее находившаяся в нем деталь — к следующему оборудованию. В данном случае при остановке одной или нескольких единиц технологического оборудования работает исправная часть линии за счет деталей в накопителях. Однако применение накопителей приводит к усложнению автоматических линий.

В зависимости от способа перемещения обрабатываемых деталей автоматические линии подразделяются на спутниковые и беспутниковые. Первые применяются для обработки деталей сложной формы, не имеющих хороших поверхностей для базирования при транспортировании или закреплении в приспособлениях на рабочих позициях. Автоматические линии со спутниками обеспечивают высокую надежность и точность фиксации деталей относительно исполнительных орга-

нов технологического оборудования. В тоже время спутники с транспортными устройствами их возврата на загрузочную позицию усложняют автоматические линии и повышают их стоимость.

По расположению транспортных устройств относительно рабочих зон технологического оборудования автоматические линии можно разделить на сквозные и несквозные. В сквозных линиях транспортные устройства проходят через рабочие зоны всей совокупности технологического оборудования, а в несквозных линиях — вне рабочих зон. В последних транспортировка обрабатываемых деталей в рабочие зоны оборудования осуществляется отдельными транспортными устройствами.

Сквозные автоматические линии по конструкции проще несквозных. Однако первые, как правило, имеют большую протяженность, так как в них используют однопозиционные агрегатные станки (вместо многопозиционных в несквозных линиях), выполняющие обработку деталей с одной или двух сторон. Далее при использовании сквозного транспортера рабочие зоны агрегатных станков необходимо располагать на одном уровне, что приводит к усложнению конструкции станков и увеличению трудоемкости их монтажа и проверки геометрической точности [12]. Кроме того, при многосторонней обработке корпусных деталей на таких автоматических линиях требуются кантователи, которые усложняют транспортную систему и дополнительно увеличивают протяженность линий. Указанные недостатки устраняются в несквозных автоматических линиях с транспортными устройствами в виде порталных промышленных роботов [12].

В зависимости от количества одинаковых деталей, обрабатываемых одновременно на каждой позиции, линии подразделяются на одно- и многопоточные, а в зависимости от количества различных деталей — одно- и многопредметные.

По возможности переналадки различают переналаживаемые и переналаживаемые или гибкие линии. Последние могут быть двух типов:

1) переналаживаемые на обработку группы заранее заданных деталей, однотипных по размерам и технологии обработки;

2) переналаживаемые на обработку новых, заранее неизвестных деталей аналогичного типа и технологии изготовления. Их переналадка осуществляется путем регулировки или замены отдельных элементов технологической оснастки, транспортных и загрузочных устройств, режущего инструмента и т.д.

По степени автоматизации переналадки различают гибкое технологическое оборудование с автоматической и

ручной переналадкой. В первом случае предусматривают соответствующие механизмы и системы управления.

Совокупность гибкого технологического оборудования образует гибкую производственную систему (ГПС). В соответствии с ГОСТом 26228-85 по организационным признакам ГПС подразделяются на гибкие автоматизированные линии (ГАЛ), гибкие автоматизированные участки (ГАУ), гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ) и гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ).

Основой ГАЛ являются ГПМ, станки с ЧПУ и другое автоматизированное технологическое оборудование.

Указанные составляющие ГПС имеют следующие определения [20].

ГПМ — переналаживаемая на изделия заданной номенклатуры единица основного технологического оборудования, оснащенная устройствами программного управления, смены инструмента и изделия (накопителем, манипулятором или промышленным роботом), удаления отходов, контроля и подналадки технологического процесса, а также коррекции качества изделий; осуществляющая многократные автоматические рабочие циклы; предназначенная для автономной работы и имеющая возможность встраивания в системы более высокого уровня.

ГАЛ — совокупность двух и более единиц технологического оборудования с ЧПУ и (или) ГПМ, объединенных автоматизированными системами управления и транспортно-накопительными системами (для заготовок, полуфабрикатов, изделий, инструментов, оснастки, отходов), переналаживаемая на изделия заданной номенклатуры в пределах технических возможностей оборудования.

ГАУ имеет такое же определение, что и ГАЛ. В отличие от ГАЛ он характеризуется организацией независимого потока изделий по основному технологическому оборудованию. В отличие от ГАЛ в ГАУ можно изменять последовательность технологических операций.

ГАЦ — комплекс ГАУ, ГАЛ, ГПМ и основного оборудования других типов, предназначенный для последовательного выполнения технологических процессов и переналаживаемый на изготовление изделий заданной номенклатуры.

ГАЗ — комплекс ГАЦ, ГАУ, ГАЛ, ГПМ (литейных, кузнечно-прессовых, металлорежущих, термических, моечных, сушильных, контрольных, сборочных, консервационных, упаковочных и т.п.) и основного оборудования других типов, переналаживаемый на выполнение технологических процессов изготовления готовых изделий, входящих в план производства и поставки (реализации).

§ 10.2. Автоматические линии из агрегатных станков

Автоматические линии из агрегатных станков предназначены для обработки сложных деталей, требующих значительного количества технологических переходов. К таким деталям относятся блоки цилиндров двигателей и головки блоков, картеры коробок передач и задних мостов автомобилей, станины электродвигателей, впускной и выпускной коллекторы двигателей, коленчатые валы и т.п. Перечисленные детали имеют как устойчивые, так и неустойчивые поверхности для базирования при транспортировании и закреплении в приспособлениях. Поэтому автоматические линии из агрегатных станков могут быть без спутников и со спутниками.

Автоматические линии из агрегатных станков на 60—75% состоят из унифицированных узлов, элементов и деталей [26]. Сюда относятся узлы, элементы и детали, из которых состоят агрегатные станки, а также транспортные и поворотные устройства, станции гидропривода вспомогательных устройств, транспортеры уборки стружки, контрольные устройства и другие механизмы автоматических линий.

Область эффективного применения автоматических линий из агрегатных станков — крупносерийное и массовое производство.

В автоматических линиях для обработки отверстий широко применяют одно- и двусторонние агрегатные станки с горизонтальным, вертикальным или комбинированным расположением

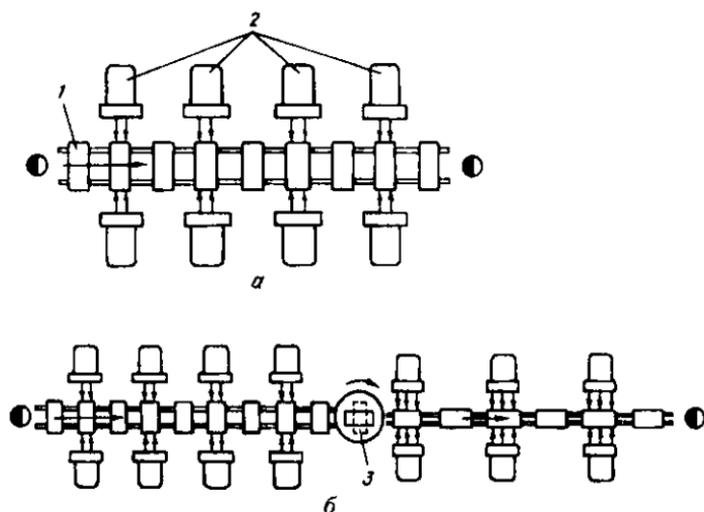


Рис. 10.2. Схемы автоматических линий с жесткой связью и сквозными транспортерами: а — с неизменным расположением обрабатываемых деталей; б — с поворотом обрабатываемых деталей; 1 — сквозной транспортер; 2 — агрегатные станки; 3 — поворотный стол

силовых агрегатов. Сравнительно редко применяют трехсторонние станки с двумя горизонтальными и одним вертикальным (устанавливается на портал) силовыми агрегатами, так как последний трудно обслуживать.

В указанных линиях, как правило, используют сквозные транспортеры для обрабатываемых деталей. Схема такой линии показана на рис. 10.2а. Она состоит из четырех двусторонних горизонтальных агрегатных станков 2 и сквозного (прямоточного) транспортера 1. Вначале линии рабочий (наполовину закрашенный круг) устанавливает заготовку, а в конце линии второй рабочий снимает готовую деталь. Для обработки более сложных деталей с четырех или шести сторон подобные линии компонуют из двух или трех участков, между которыми располагают поворотный стол 3 (рис. 10.2б).

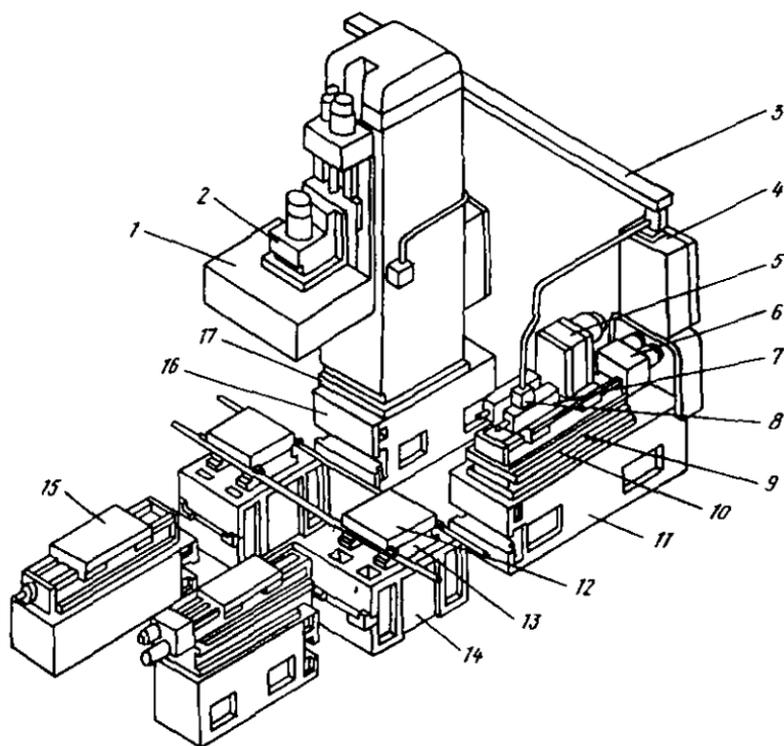


Рис. 10.3. Компонка сквозной автоматической линии с жесткой связью из двух односторонних агрегатных станков: 1 — многшпindleвая коробка; 2 — упорный угольник; 3 — короб разводки электрооборудования; 4 — электрошкаф; 5 — редуктор привода шпинделей; 6 — силовой стол; 7 — расточная бабка; 8 — пульт управления; 9 — компенсационная прокладка; 10 — проставка; 11 — боковая станина; 12 — спутник; 13 — станция фиксации и зажима; 14 — средняя станина; 15 — подкатный стол; 16 — подставка; 17 — стойка

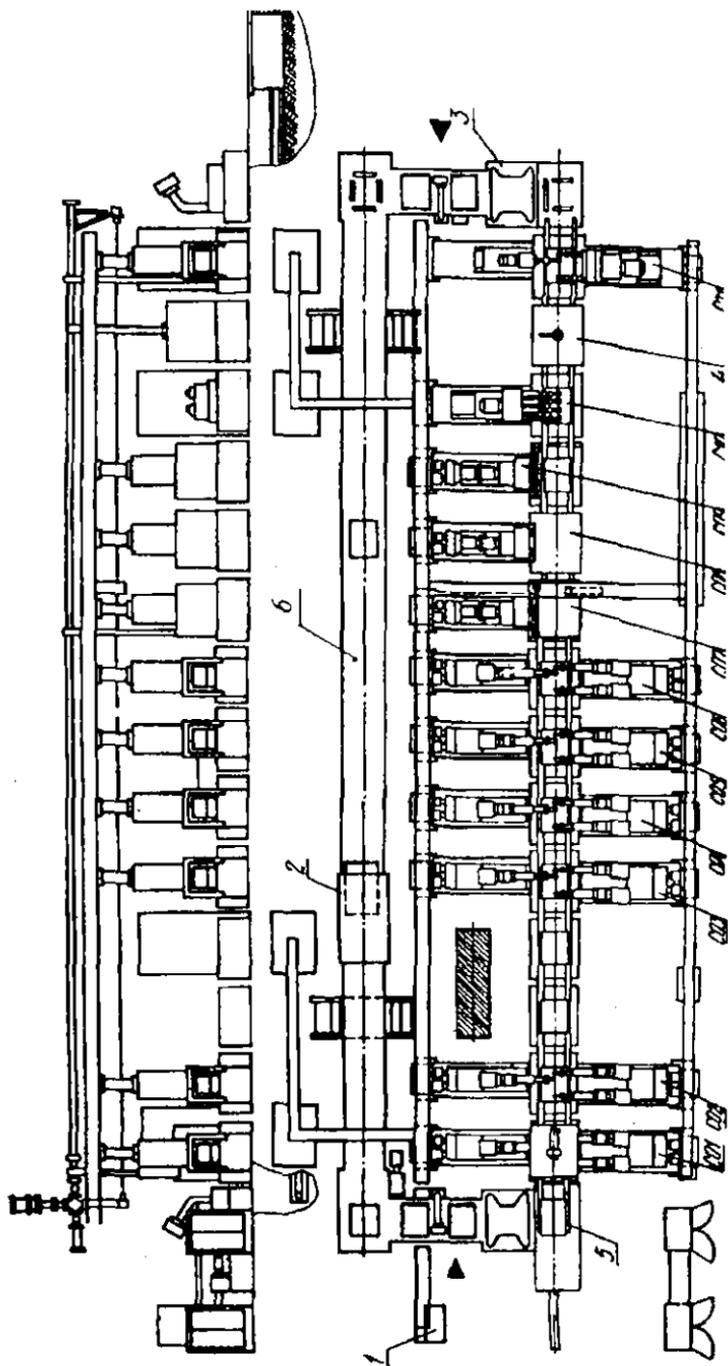


Рис. 10.4. Планировка сквозной автоматической линии с жесткой связью: S01-S11 — агрегатные станки; 1 — позиция загрузки; 2 — станция обдува спутников; 3 — поперечный транспортер; 4 — туалетная станция; 5 — сквозной транспортер; 6 — боковой транспортер возврата спутников

В качестве примера на рис. 10.3 показана компоновка сквозной автоматической линии с жесткой связью между двумя агрегатными станками. Ее горизонтальный односторонний расточной станок состоит: из боковой станины 11; силового стола 6, который установлен на ней при помощи проставки 10 и компенсационной прокладки 9, двух одношпиндельных расточных бабок 7 и привода 5 их шпинделей. Вертикальный односторонний сверлильный станок состоит из подставки 16, стойки 17 и силового стола с многшпиндельной бабкой 1 и ее приводом 2. Транспортёр спутников 12 установлен на средней станине 14. На позициях загрузки заготовок и разгрузки обработанных деталей смонтированы подкатные столы 15.

Планировка аналогичной автоматической линии, но для обработки более сложных деталей, представлена на рис. 10.4. Она

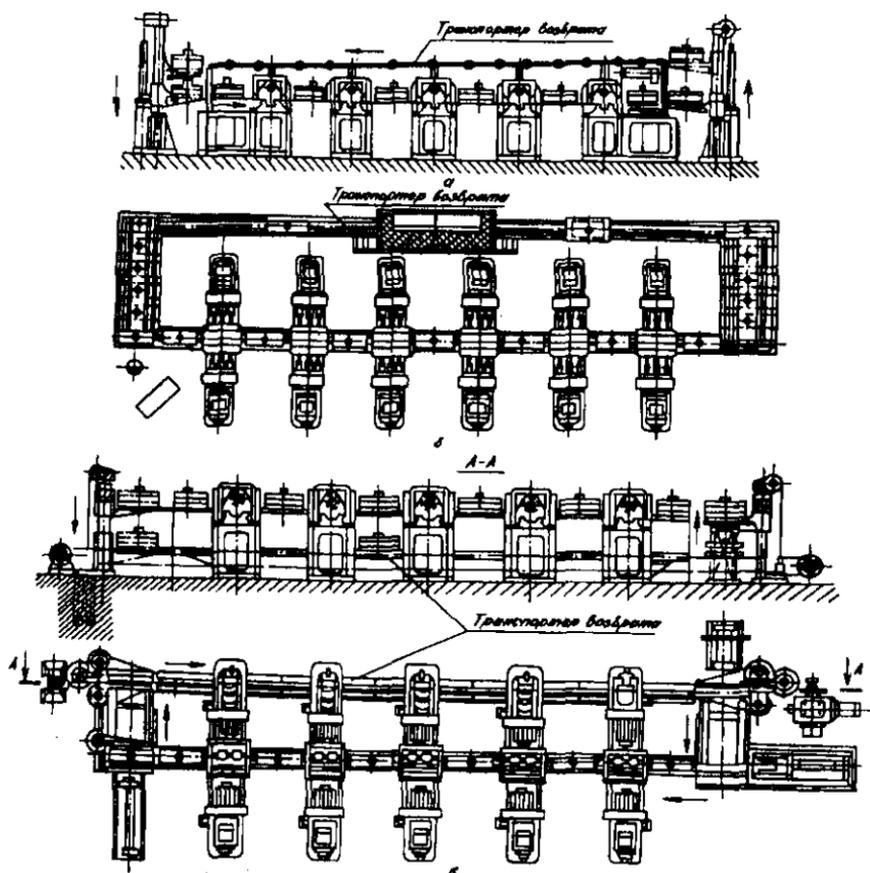


Рис. 10.5. Схемы расположения транспортеров возврата спутников: а — над линией; б — сбоку линии; в — в станинах станков линии

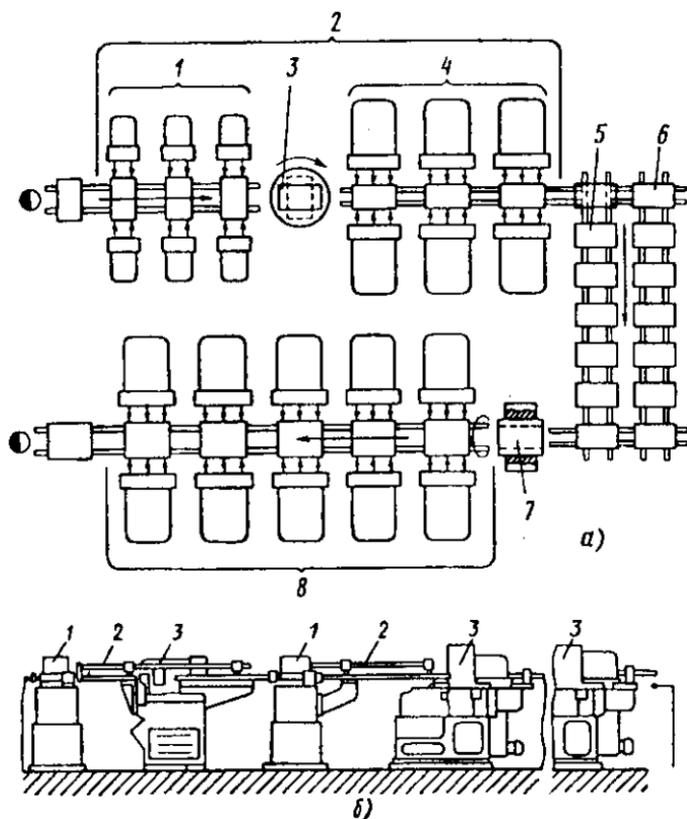


Рис. 10.6. Схема автоматической линии с комбинированной (жестко-гибкой) связью: 1 и 4 — участки секции 2-й линии; 3 — поворотный стол; 5 — поперечный транспортер; 6 — накопитель; 7 — кантователь; 8 — секция линии

включает одиннадцать одно- и двусторонних агрегатных станков CO1...C11 и моечную станцию 4, через которые проходит сквозной транспортер 5. Возврат спутников на позицию загрузки 1 осуществляют поперечные транспортеры 3 и продольный боковой транспортер 6. На последнем смонтирована станция обдува 2 спутников. Обдув необходим для удаления стружки и СОЖ с базовых элементов спутников.

Существуют сквозные автоматические линии, в которых транспортер возврата спутников расположен не сбоку линии (рис. 10.5б), а над линией (рис. 10.5а) или проходит через станины станков линии (рис. 10.5в).

Схема линии с комбинированной связью (жестко-гибкой) для обработки деталей с шести сторон приведена на рис. 10.6. В ней секция 2 состоит из двух участков 1 и 4 со сквозными транспортерами, между которыми расположен поворотный стол 3. Сек-

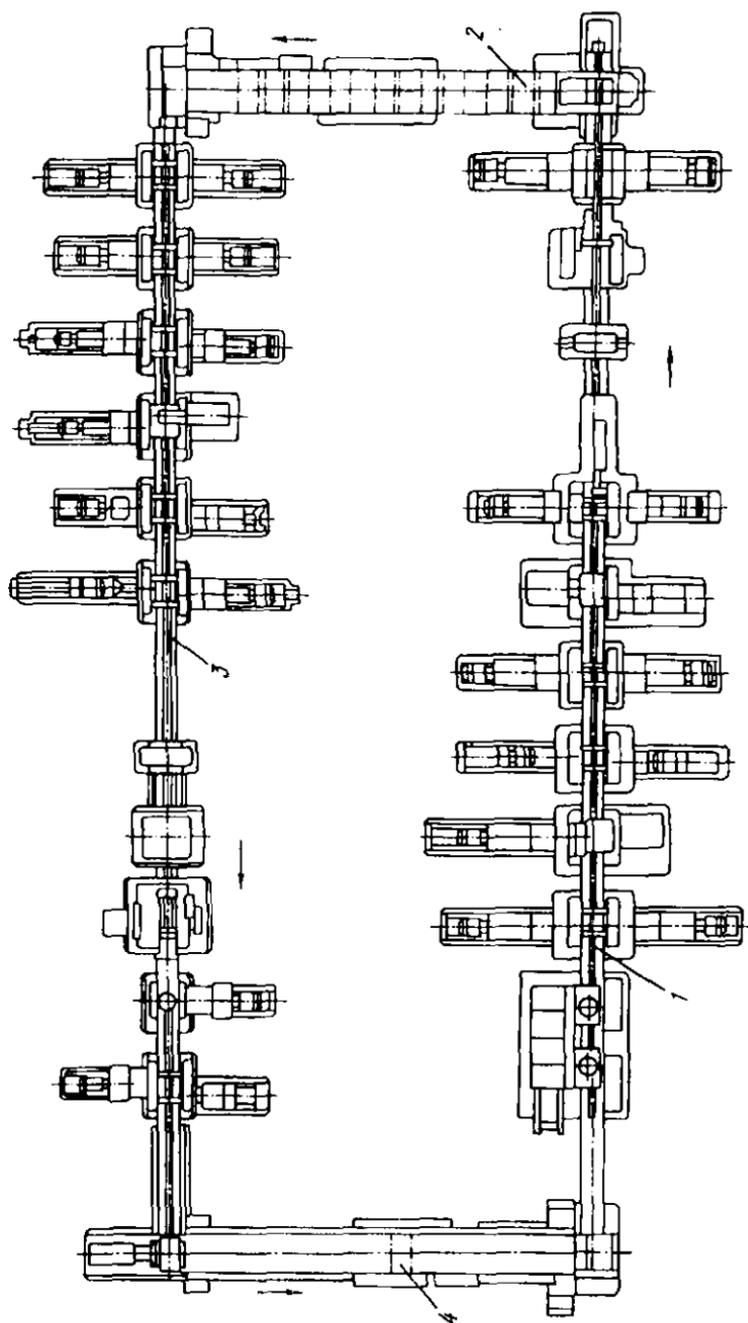


Рис. 10.7. Планировка автоматической линии с комбинированной (жестко-гибкой) связью: 1 и 3 — сквозные транспортеры двух секций линии; 2 и 4 — накопители (поперечные транспортеры)

ция 8 представляет собой один участок со сквозным транспортером. Между секциями 2 и 8 установлены поперечный транспортер 5 и накопитель 6 обрабатываемых деталей (в принципе транспортер 5 также является накопителем). В случае остановки секции 2 секция 8 линии работает от накопителя и, наоборот, при остановке секции 8 секция 2 работает на накопитель.

Планировка подобной автоматической линии представлена на рис. 10.7. Она состоит из двух секций со сквозными транспортерами 1 и 3, а также двух накопителей 2 и 4, которые одновременно выполняют роль поперечных транспортеров.

В автоматических линиях со сквозными транспортерами применяются, как правило, однопозиционные агрегатные станки, выполняющие обработку с одной, двух или трех сторон. Такие линии не выгодны для массовой обработки мелких деталей. Их более выгодно обрабатывать на автоматических линиях из многопозиционных станков с поворотными делительными столами или барабанами. В результате высокой степени концентрации операций на этих станках протяженность автоматических линий получается значительно короче линий из однопозиционных станков.

В линиях с многопозиционными станками применяют в основном несквозные транспортеры, которые перемещают детали (или спутники с деталями) от станка к станку (они не проходят через их рабочие зоны). Передача деталей (или спутников с деталями) в рабочие зоны станков и обратно осуществляется с помощью индивидуальных загрузочно-разгрузочных устройств (например, манипуляторами), что усложняет транспортную систему.

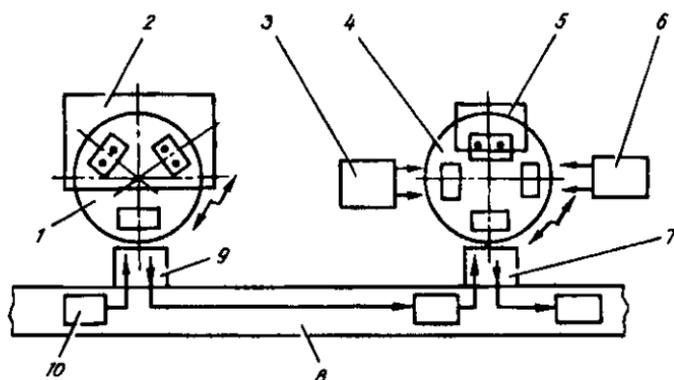


Рис. 10.8. Схема автоматической линии с многопозиционными станками и несквозным транспортером: 1 и 4 — многопозиционные станки; 2 и 5 — вертикальные силовые агрегаты; 3 и 6 — горизонтальные силовые агрегаты; 7 и 9 — загрузочно-разгрузочные устройства (транспортеры); 8 — несквозной транспортер; 10 — спутник с деталью

На рис. 10.8 показана схема автоматической линии с многопозиционными станками 1 и 4 и несквозным транспортером 8. Станок 1 имеет поворотный-делительный стол с двумя рабочими позициями и общий вертикальный силовой агрегат 2, а станок 4 — поворотный-делительный стол с тремя рабочими позициями, два горизонтальных 3 и 6 и один вертикальный 5 силовых агрегатов. Установку спутников 10 на загрузочные позиции станков и их съем осуществляют загрузочно-разгрузочные устройства 7 и 9.

В сквозных и несквозных автоматических линиях с жесткой, гибкой и комбинированной связью применяются различные по конструкции и принципу действия транспортеры. Все они подразделяются на две группы: циклического и непрерывного действия.

Наиболее широко применяются шаговые штанговые транспортеры с подпружиненными собачками (рис. 10.9а). В них штанга 1 получает возвратно-поступательное движение от электро-механического, гидравлического или пневматического привода. При ходе штанги 1 вперед собачки 2 захватывают детали 3 (или спутники

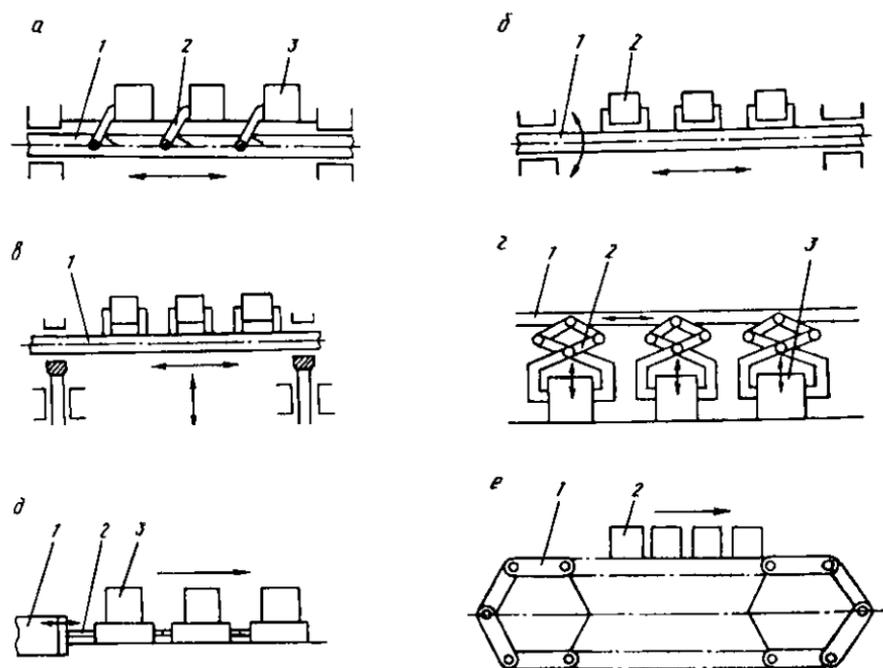


Рис. 10.9. Схемы транспортеров: а, б, в — штанговые транспортеры; г — рейнерный транспортер; д — толкающий транспортер; е — цепной транспортер

ки с деталями) и перемещают их на шаг. В целях увеличения точности перемещения деталей штанга в конце хода замедляет скорость движения. При обратном ходе штанги, который она совершает с большой скоростью, собачки проскальзывают под деталями. После обработки деталей на соответствующих агрегатных станках цикл работы транспортера повторяется.

Более высокую точность перемещения на шаг деталей 2 (или спутников с деталями) обеспечивает штанговый транспортер с флажками 1 (рис. 10.9б). Здесь точность перемещения зависит в основном от зазора между деталью и флажками, а также его допуска.

В данном транспортере циклического действия штанга 1 совершает два движения: возвратно-поступательное и возвратно-вращательное. При ходе штанги вперед флажки перемещают детали от станка к станку. В конце хода штанга поворачивается и флажки выходят из соприкосновения с деталями. В таком положении штанга совершает обратный ход, в конце которого она поворачивается в исходное положение. В результате транспортер готов к повторению цикла работы.

В тех случаях, когда перед перемещением деталей по какой-либо причине их необходимо поднять (например, снять с базирующих штифтов), применяют грейферный шаговый транспортер (рис. 10.9в). В нем, в отличие от предыдущего транспортера, штанга 1 с флажками и деталями 2 совершает два возвратно-поступательных движения: перпендикулярно и вдоль своей оси.

Разновидностью циклических транспортеров является толкающий транспортер 2 (рис. 10.9д), в котором спутники с деталями 3 перемещают (толкают) шток 2 гидро- или пневмоцилиндра 1. Ход штока равен шагу между позициями линии.

К транспортерам непрерывного действия относится цепной транспортер 1 (рис. 10.9е). Он применяется в линиях, где требуется непрерывное транспортирование деталей 2 в процессе их обработки на станках линии.

Вышерассмотренные автоматические линии скомпонованы из непереналаживаемых агрегатных станков. Поэтому они не обладают гибкостью по номенклатуре деталей, т.е. их нельзя переналадить на обработку новой или модернизированной детали без существенной переделки агрегатных станков и транспортных устройств.

Для обеспечения указанной гибкости в современных автоматических линиях из агрегатных станков предусматривают [113]: резервные позиции, на которых при переходе на другую деталь встраивают дополнительное оборудование; резервные стороны обработки на встроенном оборудовании; групповую обработку деталей на ряде агрегатных станков;

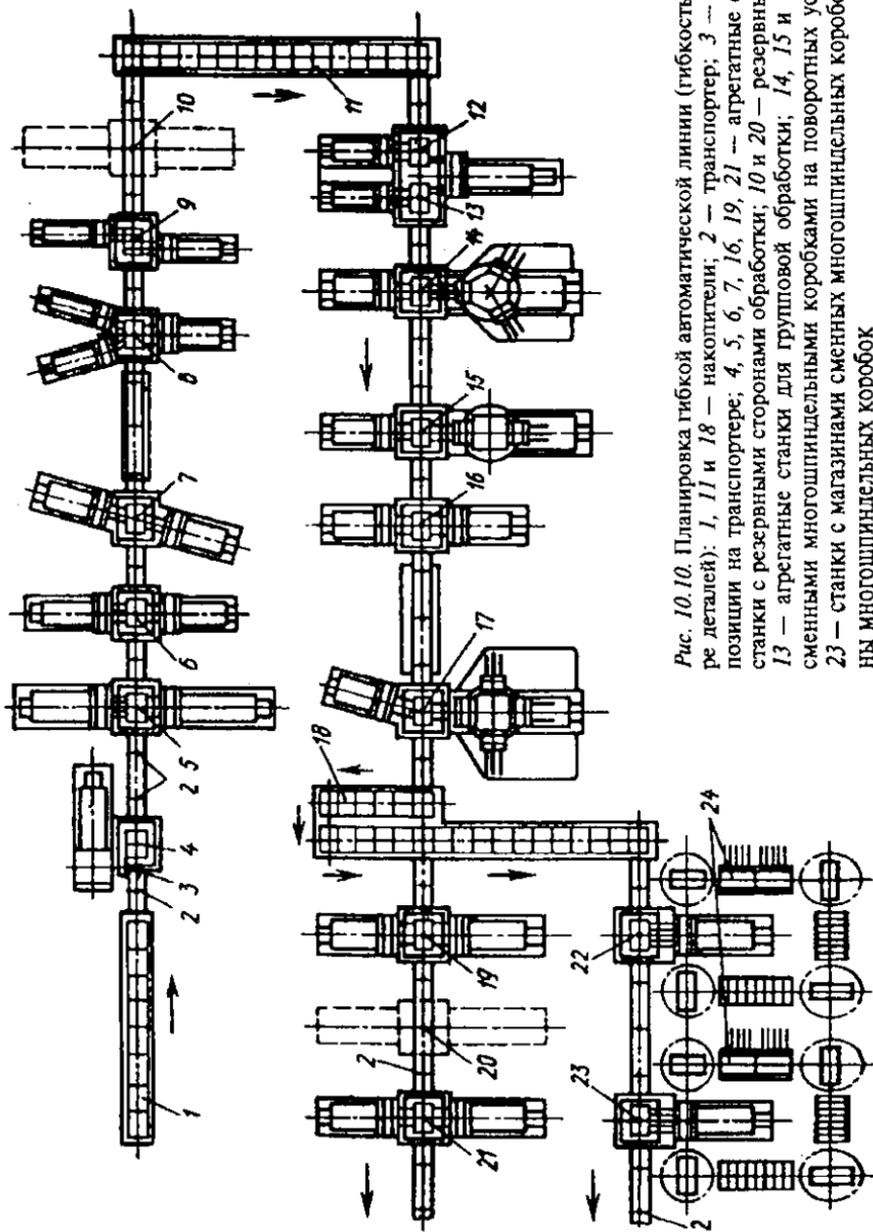


Рис. 10. Планировка гибкой автоматической линии (гибкость по номенклатуре деталей): 1, 11 и 18 — накопители; 2 — транспортёр; 3 — промежуточные позиции на транспортёре; 4, 5, 6, 7, 16, 19, 21 — агрегатные станции; 8 и 9 — станции с резервными сторонами обработки; 10 и 20 — резервные позиции; 12 и 13 — агрегатные станции для групповой обработки; 14, 15 и 17 — станции со сменными многошпиндельными коробками на поворотных устройствах; 22 и 23 — станции с магазинами сменными многошпиндельных коробок; 24 — магазин

применение агрегатных станков со сменными шпиндельными коробками;

параллельные потоки для выполнения несовместимых операций при изготовлении различных деталей.

Такая гибкая автоматическая линия, предназначенная для комплексной обработки корпусных деталей, приведена на рис. 10.10. В ней предусмотрены две резервные позиции 10 и 20, на которых при необходимости устанавливают дополнительное оборудование, и два агрегатных станка 8 и 9 с резервными сторонами обработки. Агрегатные станки 14, 15 и 17 имеют сменные многошпиндельные коробки, расположенные на поворотных (револьверных) устройствах, а станки 22 и 23 — в магазинах 24. На агрегатных станках 12 и 13 предусмотрена групповая обработка различных корпусных деталей. Для выполнения несовместимых (по видам обработки и режимам резания) операций при изготовлении различных деталей имеются два потока с агрегатными станками 19, 20, 21 и 22, 23. На остальных агрегатных станках 4, 5, 6, 7 и 16 выполняется однотипная обработка совокупности корпусных деталей. Рабочая зона всех перечисленных станков расположена на одном уровне.

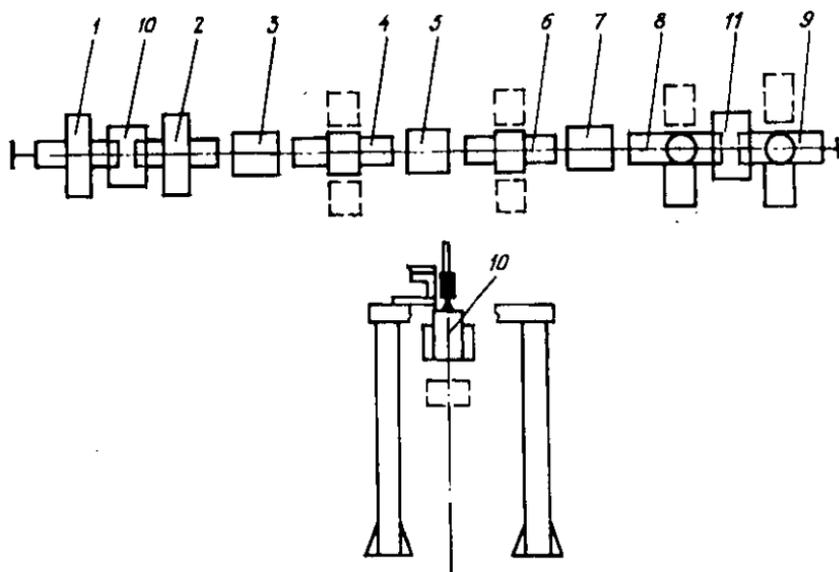


Рис. 10.11. Планировка гибкой автоматической линии с портальными транспортными роботами: 1 и 2 — агрегатные фрезерные станки; 3, 5 и 7 — накопители (емкость соответствует часовой производительности); 4 и 6 — агрегатные сверлильные станки; 8 и 9 — агрегатные расточные станки; 10 и 11 — портальные промышленные роботы

Транспортная система линии состоит из четырех сквозных транспортеров 2 и трех накопителей 1, 11 и 18. Ее не нужно перенастраивать при переходе на обработку другой детали из группы заранее заданных деталей, так как для них используются одинаковые спутники.

Планировка еще одной разновидности автоматической линии гибкой по номенклатуре деталей показана на рис. 10.11. В отличие от вышерассмотренной линии она состоит из агрегатных станков 1, 2, 4, 6, 8 и 9, созданных на основе различных базовых компоновок, позволяющих переходить в производственных условиях от одного типа деталей к другому путем замены на них (вручную) приспособлений шпиндельных коробок и инструментальной наладки [12].

Ее несквозная транспортная система линии состоит из двух порталных промышленных роботов 10 и 11, из которых первый обслуживает станки 1, 2, 4 и накопители 3, 5, а второй — станки 6, 8, 9 и накопители 5, 7. Благодаря применению такой транспортной системы стало возможным использование в линии агрегатных станков различных типов с высокой степенью концентрации операций (четырехсторонних и многопозиционных). Причем эти станки имеют различную высоту рабочей зоны, например, для агрегатных сверлильных станков 4 и 6 она равна 1140 мм, а для расточных станков 8 и 9 — 1410 мм. Кроме того, отпадает необходимость в использовании поворотных устройств для обрабатываемых деталей, так как эту функцию выполняют промышленные роботы.

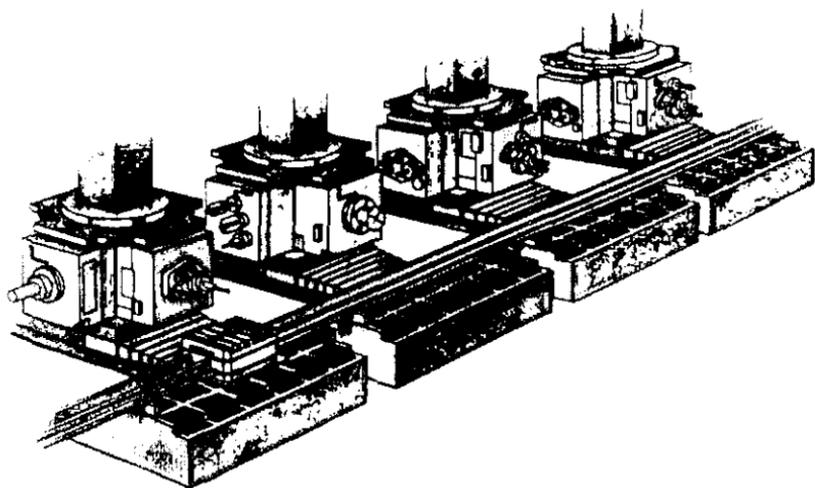


Рис. 10.12. Гибкая автоматическая линия из агрегатных станков со сменными шпиндельными бабками и многошпиндельными коробками

Переналадка указанной линии заключается в замене на сверлильных и расточных станках приспособлений, многошпиндельных коробок и инструментальной наладки, а во фрезерных станках — приспособлений и инструментальной наладки. Кроме того, на резервных сторонах сверлильных и расточных станков устанавливаются соответствующие силовые агрегаты, если в этом есть необходимость. Что касается транспортной системы, то на промышленных роботах заменяют схваты.

Гибкая автоматическая линия фирмы "HONSBERG" (Германия) приведена на рис. 10.12. Она состоит из агрегатных станков со сменными шпиндельными бабками и многошпиндельными коробками, установленными на поворотных столах, и единой транспортной системы с тележками. Она имеет высокую степень гибкости и позволяет быстро переходить на обработку новой детали. Эффективная область ее применения — крупносерийное производство.

§ 10.3. ГАЛ из многопозиционных станков и ГПМ

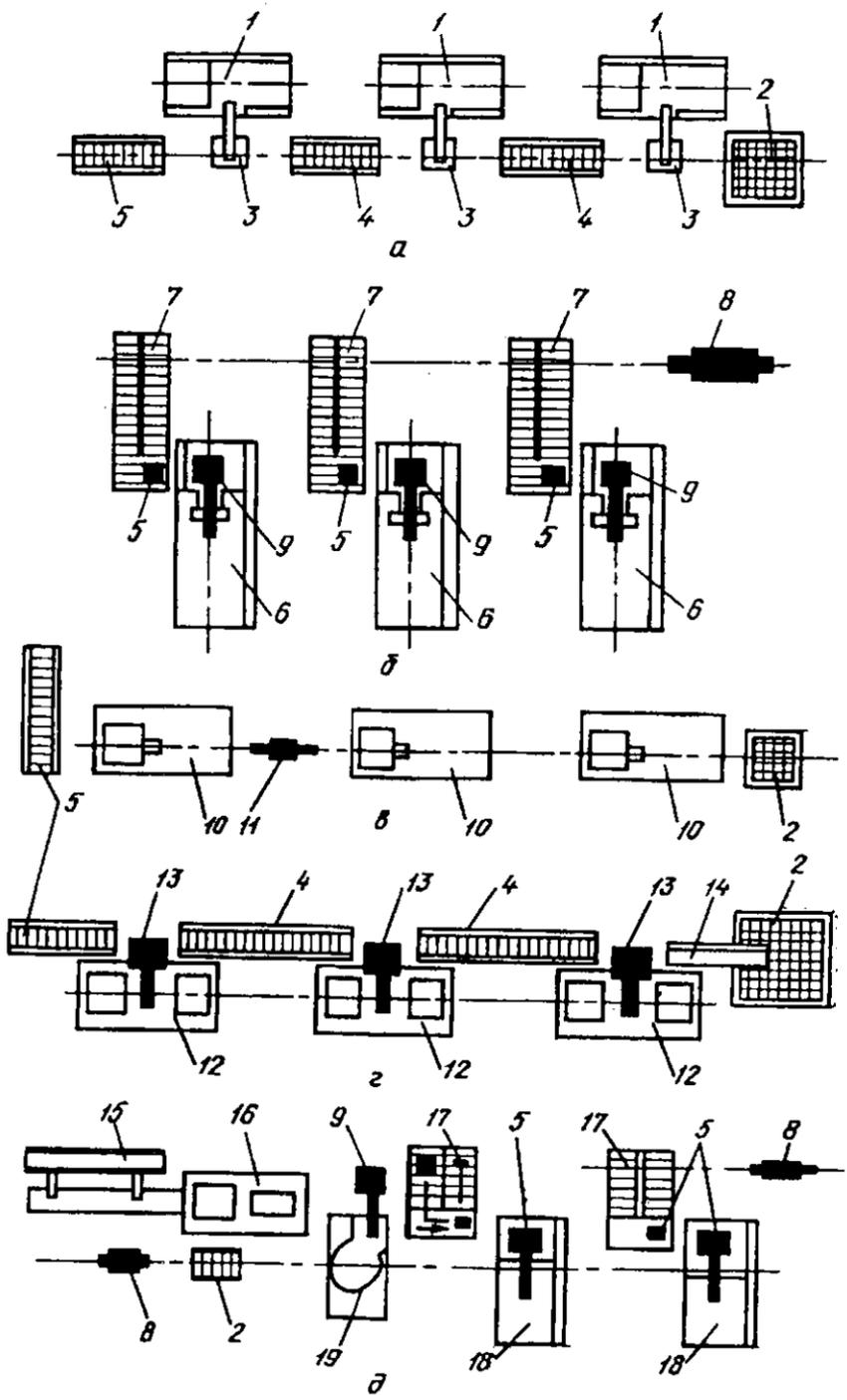
ГАЛ для обработки тел вращения. Данные ГАЛ komponуют из токарных станков с ЧПУ и (или) ГПМ, которые связывают между собой едиными системами управления и транспортно-накопительной системой, включающей промышленные роботы и накопительно-передающие устройства.

По составу технологического оборудования эти ГАЛ могут быть однородными и неоднородными. В последнем случае в состав ГАЛ входят станки других групп: фрезерно-центровальные, шлифовальные и др.

По расположению станков в линии различают продольную (фронтальную) и поперечную компоновки, для которых линии центров токарных станков соответственно параллельны и перпендикулярны направлению перемещения обрабатываемых деталей от станка к станку. Возможна и комбинированная компоновка.

Три варианта продольной компоновки токарных ГАЛ показаны на рис. 10.13. В первом варианте (рис. 10.13а) линия состоит

Рис. 10.13. Схемы компоновок токарных ГАЛ: а) 1 — токарный станок с ЧПУ мод. 1П756ДФ311; 2 — тара; 3 — промышленный робот мод. "Бриг 10"; 4 — накопительно-передающее устройство; 5 — кассета; б) 6 — токарный станок с ЧПУ мод. 16К20Ф3; 7 — накопитель; 8 — порталный промышленный робот мод. ТРМ-50; 9 — промышленный робот мод. НЦТМ-01; в) 10 — токарный станок с ЧПУ мод. ТПК-125ВМ; 11 — промышленный робот мод. РФ-204; г) 12 — токарный станок с ЧПУ мод. СР-161; 13 — промышленный робот мод. "Фанук О"; 14 — склиз; д) 15 — автомат загрузки прутков; 16 — прутковый автомат с ЧПУ мод. 1325Ф30; 17 — приемно-передающее устройство; 18 — токарный станок с ЧПУ мод. 16Б16Т1; 19 — бункерно-ориентирующее устройство



из трех токарных станков 1 с ЧПУ мод. 1П756ДФ311 и несквозной транспортной системы, расположенной спереди рабочей зоны станков. Транспортная система включает накопитель-кассету 5 заготовок, тару 2 готовых деталей, два промежуточных накопительно-передающих устройства 4 и три промышленных робота 3 мод. "Бриг-10", которые осуществляют установку и съем обрабатываемых деталей на соответствующих станках.

Второй вариант линии (рис. 10.13а), состоящий из трех токарных станков 10 с ЧПУ мод. ТПК-125ВМ, в отличие от первого, имеет транспортную систему в виде одного портального промышленного робота 11 мод. РФ-204, расположенного над рабочей зоной станков.

В третьем варианте фронтальной линии (рис. 10.13а), в отличие от первого, аналогичная (по структуре) транспортная система расположена сзади рабочей зоны станков. Эта линия состоит из трех токарных станков 12 с ЧПУ мод. СР-161 (Болгария), трех промышленных роботов 13 мод. "Фанук О" и вышеперечисленных накопительных устройств 5, 4 и 2.

На рис. 10.13б представлены поперечная компоновка ГАЛ, состоящая из трех токарных станков 6 с ЧПУ мод. 16К20Ф3. Ее несквозная транспортная система включает портальный промышленный робот 8 мод. ТРМ-50, который передает обрабатываемые детали между тремя накопителями 7, и три промышленных робота 9 мод. НТЦМ-01, осуществляющие установку и съем обрабатываемых деталей на соответствующих станках.

Комбинированная компоновка ГАЛ показана на рис. 10.13д. Она состоит из продольно расположенного пруткового автомата 16 с ЧПУ мод. 1325Ф30, двух поперечно расположенных токарных станков 18 с ЧПУ мод. 16Б16Т1 и несквозной транспортной системы. В ней левый промышленный робот 8 перемещает обрабатываемые детали в таре 2 от станка 16 к бункерно-ориентирующему устройству 19. Правый робот 8 перемещает детали между двумя приемно-подающими устройствами 17. Из трех промышленных роботов 9 первый берет детали из бункерно-ориентирующего устройства и укладывает их поштучно в кассету приемно-подающего устройства 17. Остальные два робота 9 осуществляют установку и съем обрабатываемых деталей на станках 18.

В качестве примера на рис. 10.14 представлена неоднородная ГАЛ с продольной компоновкой [100], аналогичной второму варианту (рис. 10.13а). Она скомпонована из фрезерно-центрального станка 2 мод. МР179 и двух токарных станков 9 и 13 с ЧПУ мод. 1Б732Ф3, на которых производится подрезка торцев, центровка и полная токарная обработка валов электродвигателей тридцати типоразмеров длиной от 500 до 1400 мм и диаметром до 140 мм.

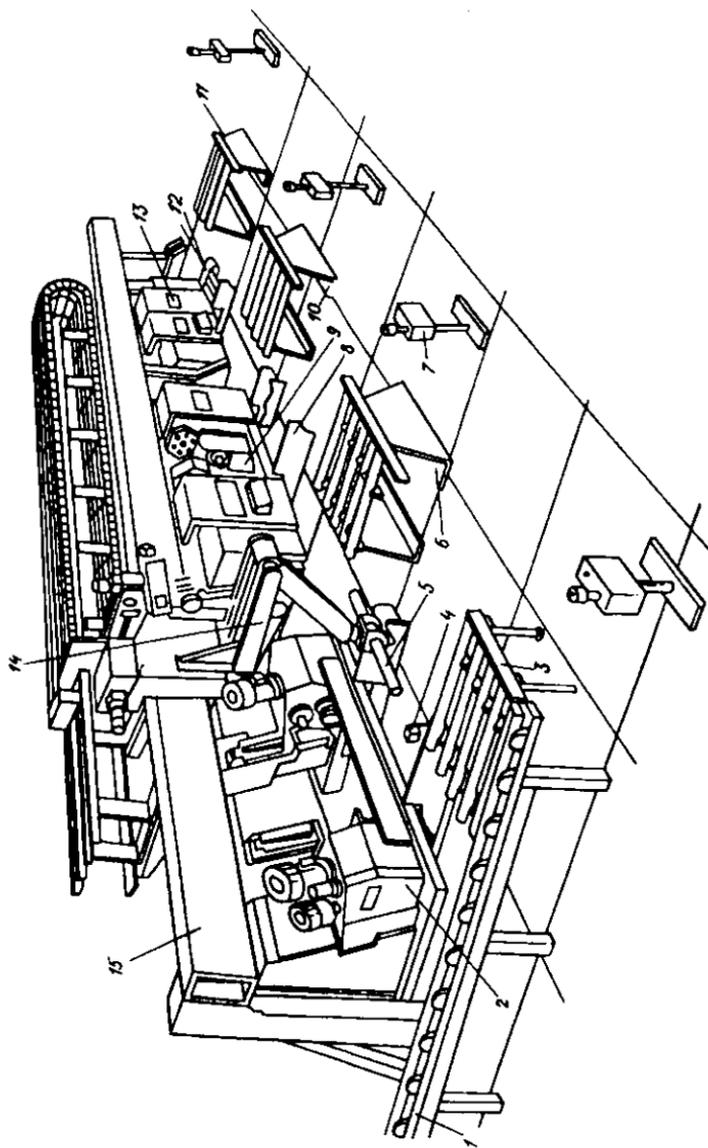


Рис. 10.14. ГАЛ с продольной компоновкой для обработки валов электродвигателей: 1 — конвейер для подачи заготовок; 2 — фрезерно-центровальный станок мод. МР179; 3 — накопитель заготовок; 4 — устройство для измерения длины заготовок; 5 — заготовка; 6 и 10 — промежуточные накопители; 7 — стойка фотозащиты; 8 и 12 — стойки ожидания; 9 и 13 — токарные станки с ЧПУ мод.1Б732Ф3; 11 — накопитель готовых изделий; 14 — промышленный робот мод. УМ160Ф2.81.01; 15 — портал робота

Транспортная система линии включает: конвейер 1 для подачи заготовок 5 в виде разрезанного проката; накопитель 3 заготовок; промежуточные накопители 6 и 10; позиции ожидания 8 и 12; накопитель 11 готовых деталей и порталый промышленный робот 14 мод. УМ160Ф2.81.01, который может перемещаться по portalу (монорельсу) 15. При этом робот выполняет следующую работу: забирает заготовки с транспортера 1 и укладывает их в ячейки накопителя 3; по вызову обслуживает соответствующий станок, т.е. производит его разгрузку и загрузку; осуществляет межстаночное транспортирование обрабатываемых деталей и их складирование на промежуточных накопителях 6 и 10, а также на позициях ожидания 8 и 12 перед станками 9 и 13; производит перебазирование (поворот деталей на 180°) и осуществляет складирование готовых деталей на накопителе 11.

Рука робота снабжена тактильным щупом, при помощи которого она выполняет поиск заготовки и измеряет ее диаметр. Длина заготовки измеряется с помощью устройства 4. Если эти размеры выходят за пределы допусков, то заготовка бракуется.

Для ограждения опасной зоны ГАЛ предусмотрены фотодатчики, установленные на стойках 7. При пересечении линии между фотодатчиками они срабатывают и ГАЛ останавливается.

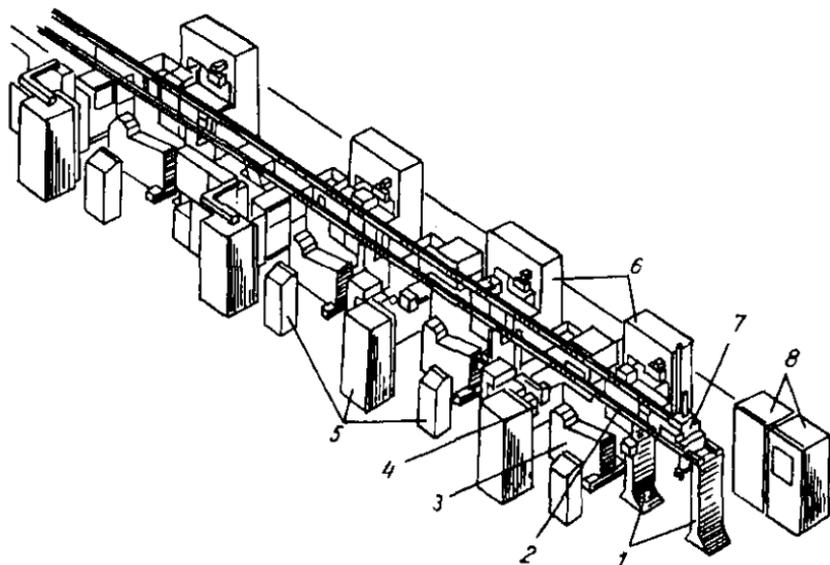


Рис. 10.15. ГАЛ с поперечной компоновкой: 1 — опоры портала; 2 — портал; 3 — устройства установки заготовки и съема обработанной детали; 4 — токарные станки с ЧПУ; 5 и 6 — пульты управления; 7 — промышленный робот; 8 — шкафы электрооборудования и питания

Типовая однородная ГАЛ с поперечной компоновкой [14] показана на рис. 10.15. Она состоит из токарных станков 4 с ЧПУ мод. 1И611ПФ3, АТПР-2М12Ср, 16Б1Ф3 или 1П17ПФ3 и несквозной транспортной системы, включающей устройства 3 для установки заготовки и съема обработанной детали на каждом станке и промышленный робот 7, который может перемещаться по порталу 2. Робот передает кассеты с обрабатываемыми деталями от станка к станку.

Такая ГАЛ предназначена для обработки валиков диаметром 10—20 мм и длиной 10—400 мм. Наибольшая масса заготовки 5 кг.

Примером ГАЛ с комбинированной компоновкой и неоднородным составом технологического оборудования является линия фирмы "EMAG" (Германия), предназначенная для обработки червячных валов длиной 300 — 1000 мм и диаметром 40 — 140 мм. В ней участок с продольной компоновкой составляет отрезной автомат 4 с ЧПУ мод. UKS 710 (рис. 10.16) и токарный

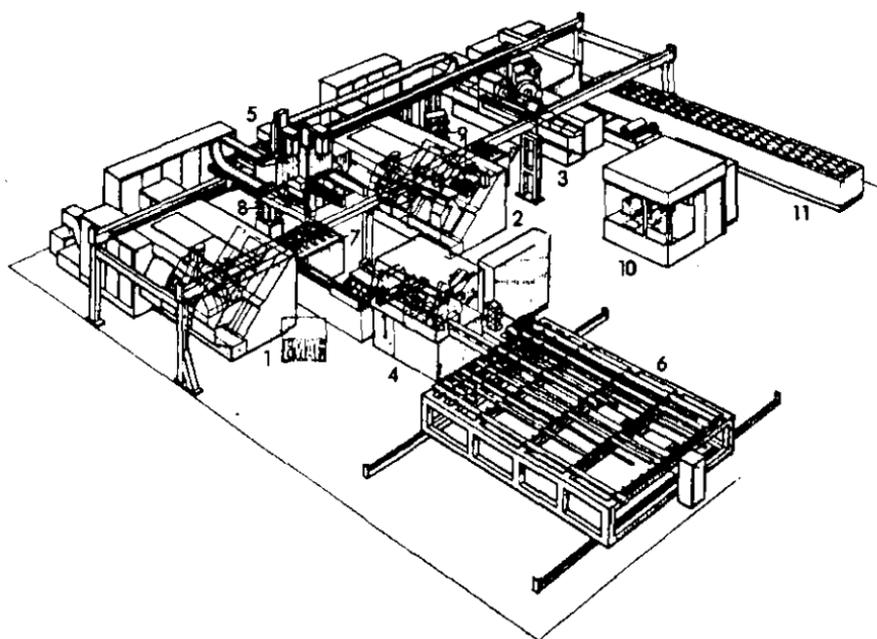


Рис. 10.16. ГАЛ с комбинированной компоновкой фирмы "EMAG" (Германия) для обработки червячных валов: 1 — токарный автомат с ЧПУ мод. USC21; 2 — токарно-фрезерный центр (многооперационный станок) мод. USC21F; 3 — круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. К37; 4 — отрезной автомат с ЧПУ мод. UKS710; 5 — промышленный робот с двухкоординатным порталом; 6 — плоский магазин прутков; 7 — промежуточный накопитель заготовок; 8 — магазин для токарных инструментов; 9 — магазин для фрезерных инструментов; 10 — управляющая микро-ЭВМ; 11 — конвейер готовых деталей

автомат 1 мод. USC21, а участок с поперечной компоновкой — тот же токарный автомат 1, многооперационный станок (токарно-фрезерный центр) 2 мод. USC21F и круглошлифовальный станок 3 с ЧПУ мод. К37.

Транспортная система ГАЛ включает плоский магазин 6 прутков, перемещающийся в поперечном направлении, механизм подачи прутков, промежуточные накопители 7 обрабатываемых деталей, конвейер 11 готовых деталей и промышленный робот 5 с двухкоординатным порталом. Робот устанавливает заготовки и снимает обработанные детали на соответствующих станках, осуществляет межстаночное транспортирование деталей и их складирование на промежуточных накопителях, выполняет перебазирование, а также отдельным манипулятором производит смену токарного и фрезерного инструмента, расположенного соответственно в магазинах 8 и 9.

Управление ГАЛ осуществляет микро-ЭВМ 10.

ГАЛ для обработки призматических деталей. Эти линии komponуют из многооперационных станков и (или) ГПМ, связывая их едиными системой управления и транспортно-накопительной системой. Они, как и вышерассмотренные ГАЛ, по составу технологического оборудования могут быть однородными и неоднородными, а по расположению станков в линии — иметь продольную и поперечную компоновки, для которых координата X станков соответственно параллельна и перпендикулярна по направлению перемещения обрабатываемых деталей от станка к станку. Возможна также и комбинированная компоновка.

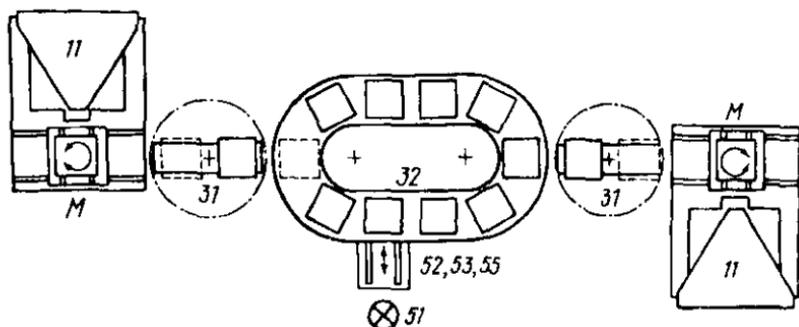


Рис. 10.17. Продольная компоновка однородной ГАЛ фирмы "EX-CELL-0" (США): М — многооперационный станок; 11 — цепной магазин инструментов; 31 — устройства для смены палет (спутников); 32 — овалный транспортно-накопительный конвейер; 51 — рабочий; 52 и 53 — позиции загрузки-выгрузки; 55 — место расположения оснастки

Продольная компоновка однородной ГАЛ фирмы "EX-CELL-0" (США) приведена на рис. 10.17. Она состоит из двух многооперационных станков *M* с цепными магазинами *11* инструментов (здесь используются обозначения, принятые фирмой) и транспортной системы, включающей устройства *31* для смены палет на станках и овальный транспортно-накопительный конвейер *32* палет. Установку заготовок и съем готовых деталей с палет осуществляет рабочий *51* на позициях загрузки-выгрузки *52* и *53*.

Та же фирма выпускает неоднородные ГАЛ с комбинированными компоновками (рис. 10.18 и 10.19). Первый вариант такой линии (рис. 10.18) состоит из многооперационного станка *M* с цепным магазином *11* и двустороннего агрегатного станка *24* со сменными шпиндельными коробками, расположенными на револьверных устройствах. Ее транспортная система включает устройства *31* для смены палет на станках и транспортно-накопительный конвейер *33*, имеющий ветвь возврата палет на позиции загрузки-разгрузки *52* и *53*.

Второй вариант неоднородной ГАЛ с комбинированной компоновкой фирмы "EX-CELL-0" состоит из многооперационного агрегатного станка *M1* со сменными многошпиндельными коробками (рис. 10.19), расположенными в стационарном магазине *14*, и многооперационного станка *M2* с цепным магазином *11* инструментов. В этой линии транспортировка палет от станка к станку осуществляется при помощи транспортных тележек *41*,

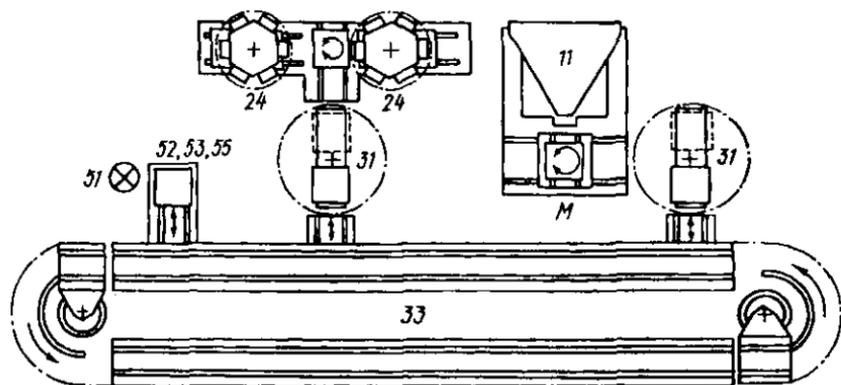


Рис. 10.18. Комбинированная компоновка неоднородной ГАЛ фирмы "EX-CELL-0" (США): *M* — многооперационный станок; *11* — цепной магазин инструментов; *24* — двусторонний агрегатный станок с револьверными магазинами шпиндельных коробок; *31* — устройство для смены палет; *33* — транспортно-накопительный конвейер; *51* — рабочий; *52* и *53* — места расположения оснастки

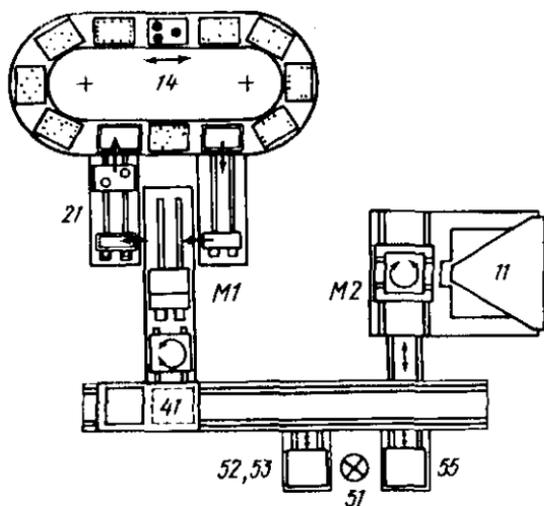


Рис. 10.19. Комбинированная компоновка неоднородной ГАЛ фирмы "EX-CELL-0": M1 — многооперационный агрегатный станок со сменными многошпиндельными коробками; M2 — многооперационный станок; 11 — цепной магазин инструментов; 14 — стационарный магазин многошпиндельных коробок; 21 — устройство для смены коробок; 41 — транспортные тележки; 51 — рабочий; 52 и 53 — позиции загрузки-выгрузки; 55 — место расположения оснастки

которые могут перемещаться между ними по специальным направляющим. Установку заготовки и съем готовых деталей с транспортных тележек осуществляет рабочий 51 на позициях загрузки-выгрузки 52 и 53.

Общий вид однородной ГАЛ с продольной компоновкой представлен на рис. 10.20. Здесь многооперационные станки 3 объединены транспортной системой, состоящей из круговых накопителей 18, палет 19, загрузочно-разгрузочных поворотных столов 21 и транспортной тележки 20, которая может перемещаться вдоль направляющих 22. Тележка транспортирует палеты с заготовками от исходного накопителя 15, к которому они поступают со склада 16 заготовок, к накопителям 18 и между ними, а палеты с обработанными деталями — наоборот.

ГАЛ управляется центральной системой управления, состоящей из программируемого контроллера 8 с дисплеем 13, символического контрольного дисплейного устройства 9 и монитора 10. Контроллер программирует работу всего комплекса, ведет сбор и анализ информации о работе всех систем, хранит необходимые подпрограммы, обеспечивает сопряжение отдельных управляющих систем и координирует их работу, передает данные на ЭВМ высшего уровня и т.д. При помощи дисплея 13 с клавиатурой оператор ГАЛ может вмешаться в работу любого элемента. К нему непрерывно поступают данные от дисплейного контрольного устройства 9, например, в виде условной символической информации о функционировании всех элементов комплекса в целом. Выведенные на цветной дисплей данные в каждый момент показывают положение всех заготовок, деталей, транспортной тележки и т.д.

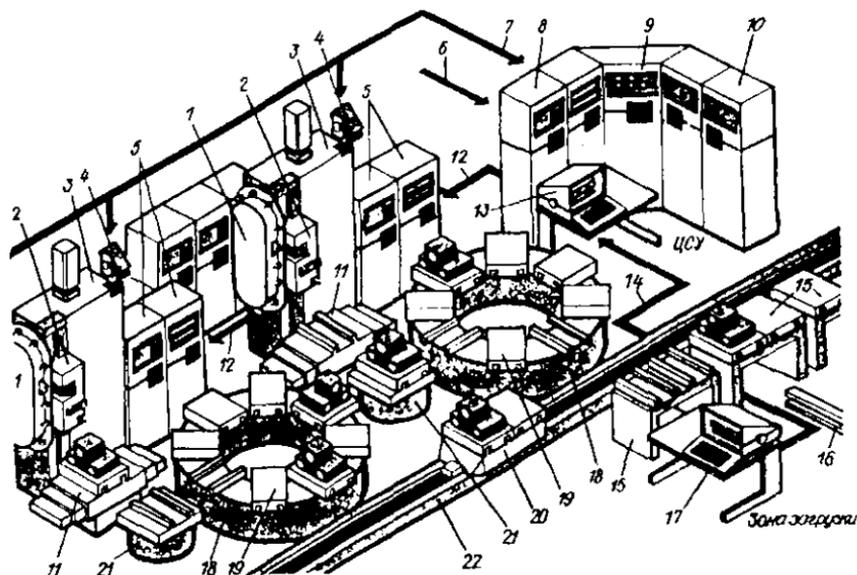


Рис. 10.20. Однородная ГАЛ с продольной компоновкой: 1 — магазины инструментов; 2 — манипулятор смены инструментов; 3 — многооперационные станки; 4 — видеокамеры; 5 — шкафы с УЧПУ; 6 — линия связи (шина) с ЭВМ высшего уровня; 7 — линия связи с монитором; 8 — программируемый контроллер; 9 — дисплейное устройство; 10 — монитор; 11 — продольный стол станка (координата); 12 — линия связи контроллера с УЧПУ; 13 — дисплей; 14 — линия связи контроллера с блоком системы управления зоной загрузки; 15 — исходный накопитель; 16 — склад заготовок; 17 — блок управления; 18 — круговой накопитель; 19 — палеты; 20 — транспортная тележка; 21 — загрузочно-разгрузочные поворотные столы; 22 — направляющие тележки

§ 10.4. Механообрабатывающие ГАУ

После ГАЛ следующей организационной ступенью ГПС является ГАУ. Он также, как и ГАЛ, представляет собой совокупность двух и более единиц технологического оборудования с ЧПУ и (или) ГПМ, объединенных автоматизированными системами управления и транспортно-накопительными системами (для заготовок, полуфабрикатов, изделий, инструментов, оснастки, отходов), перенастраиваемую на изделия заданной номенклатуры в пределах технических возможностей оборудования. Однако, в отличие от ГАЛ, в нем может изменяться последовательность технологических операций, что позволяет достичь максимальной загрузки встроенного оборудования. Кроме того, в состав ГАУ может дополнительно входить отдельно функционирующее оборудование [118], не связанное с остальной системой управле-

ния или общей транспортной системой. Гибкость ГАУ обеспечивает возможность изготовления деталей в виде сборочных комплектов.

По функциональному назначению различают предметные и узловые ГАУ. Предметные ГАУ обеспечивают обработку (от заготовки до детали) определенной группы или групп деталей — валов, втулок, корпусов и т.д., а узловые ГАУ — комплектов деталей и узлов определенных типоразмеров. По характеру выполняемых операций ГАУ подразделяются на заготовительные, механикообрабатывающие и сборочные. Данная классификация [118] представлена на рис. 10.21.

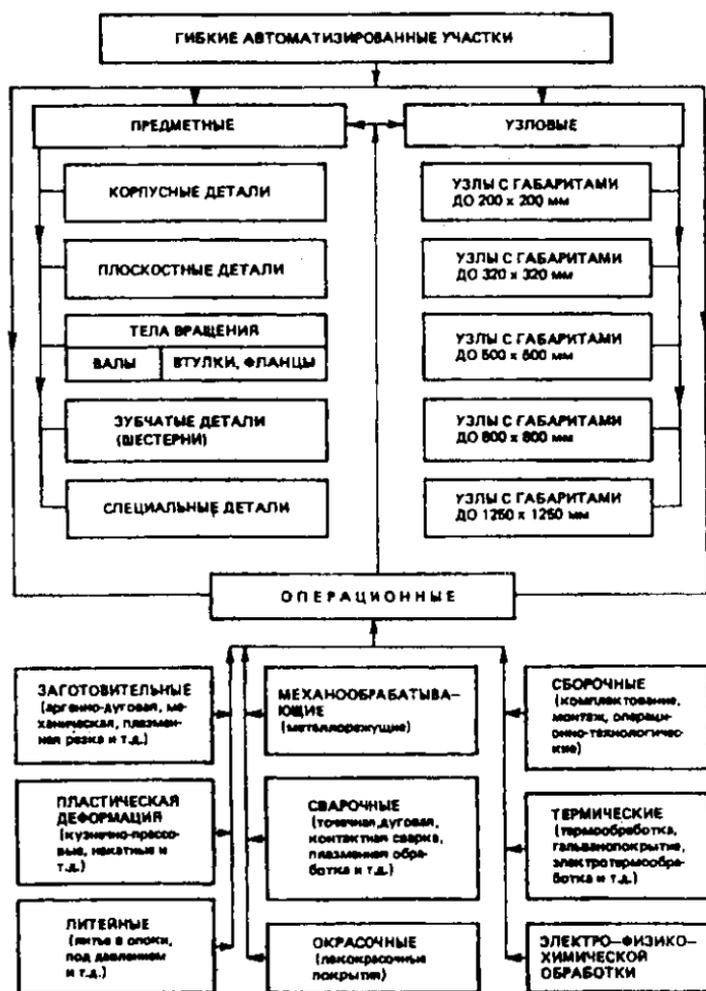


Рис. 10.21. Классификация ГАУ по функциональному назначению

Подготовка ГАУ для обработки каждой новой партии деталей включает ряд обязательных работ, выполняемых всем обслуживающим персоналом. К ним относятся: подготовка и внедрение управляющей программы, подбор приспособлений и их сборка, комплектование необходимого режущего инструмента и т.д. Первая деталь из новой партии изготавливается на ГАУ с участием всего обслуживающего персонала, а последующие — с ограниченным участием персонала, т.е. в условиях “безлюдной” технологии. В этих же условиях изготавливаются детали повторных партий.

Взаимозаменяемые (по технологическим возможностям) станки в ГАУ работают, как правило, с одинаковыми режимами, которые устанавливаются в зависимости от материала детали и инструмента. Обработка деталей на них выполняется в любом порядке, что позволяет выравнять их загрузку.

Компоновка предметного ГАУ для обработки корпусных деталей показана на рис. 10.22. В состав участка входят: шесть единиц многооперационных станков 7; измерительная машина 10; автоматизированная транспортно-складская система заготовок, деталей и сменных магазинов инструментов; центр управления, включающий ЭВМ 12 и пульт 13 оператора, а также отделения 14, 15, 16 и 17 соответственно для заточки инструмента, комплектации и настройки инструмента, сборки приспособлений-спутников и комплектации сменных магазинов.

Автоматизированная транспортно-складская система ГАУ включает: тележки-робокары 8 и 9 (схема их перемещения показана жирными линиями); робот-штабелер 3, обслуживающий склады 1, 2 и 4 соответственно спутников сменных магазинов, заготовок и деталей; накопители 6 с автоматической загрузкой и разгрузкой станков, а также пункт 11 оперативного накопления.

Перечисленные элементы автоматизированной транспортно-складской системы выполняют по программе следующие основные операции:

1) робот-штабелер 3 осуществляет:

подачу со складов 4, 1 и 2 заготовок, спутников и сменных магазинов инструментов на монтажный стол 5;

прием с монтажного стола и размещение в ячейках складов готовых деталей, а также обработавших спутников и магазинов инструментов;

2) тележки-робокары 8 и 9 транспортируют:

спутники с заготовками и необходимые магазины инструментов к накопителям 6 многооперационных станков 7, а также в пункт 11 оперативного накопления;

спутники с готовыми деталями к измерительной машине 10 и далее от нее к монтажному столу;

Рис. 10.22. Компоновка предметного ГАУ механообработки. 1 — спутники (палеты); 2 — склад инструментальных магазинов; 3 — робот-штабелер; 4 — склад заготовок и деталей; 5 — монтажный стол; 6 — накопители с автоматической загрузкой; 7 — гибкое технологическое оборудование; 8 и 9 — самоходные тележки-роботы; 10 — измерительная машина; 11 — пункт оперативного накопления; 12 — ЭВМ; 13 — пульт оператора; 14 — отделение заточки инструмента; 15 — настройка инструмента; 16 — отделение сборки спутников; 17 — отделение комплектации сменных магазинов

отработавшие магазины инструментов к монтажному столу или в отделение 17;

магазины инструментов, скомплектованные в отделении 17, к складу 2;

спутники с обрабатываемыми деталями между многооперационными станками;

3) накопители 6 выполняют роль оперативных магазинов и при помощи специальных устройств устанавливают на станки спутники с заготовками и снимают с них спутники с готовыми деталями.

Еще одна компоновка предметного ГАУ, предназначенного для обработки деталей уже двух классов — корпусных деталей и полых цилиндров (втулок), приведена на рис. 10.23. На данном участке используются четыре многооперационных станка 1, из которых два — двусторонние, и камера 2 очистки деталей от стружки.

Автоматизированная транспортно-складская система ГАУ состоит из автоматизированного склада 3 заготовок и готовых деталей; 25-ти спутников 11; агрегатов 14 загрузки и разгрузки спутников с технологического оборудования; оперативного накопителя 12; манипулятора 5; робота-штабелера 7 и транспортной тележки 15, перемещающейся по рельсам.

Оргоснастка участка включает монтажный стол 9, на котором оператор снимает со спутника готовую деталь и устанавливает на него заготовку; стол 13 контроля и стол 10, где наладчик готовит комплекты спутников с приспособлениями для новых деталей.

Элементы автоматизированной транспортно-складской системы, управляемые вычислительным комплексом 16, выполняют следующие основные операции:

1) робот-штабелер 7 осуществляет:

подачу заготовок со стеллажа 4 склада на промежуточный стол 8;

прием готовых деталей и их размещение в ячейках склада;

2) манипулятор 5 передает заготовки с промежуточного стола 8 на монтажный стол 9, а готовые детали — в обратном направлении;

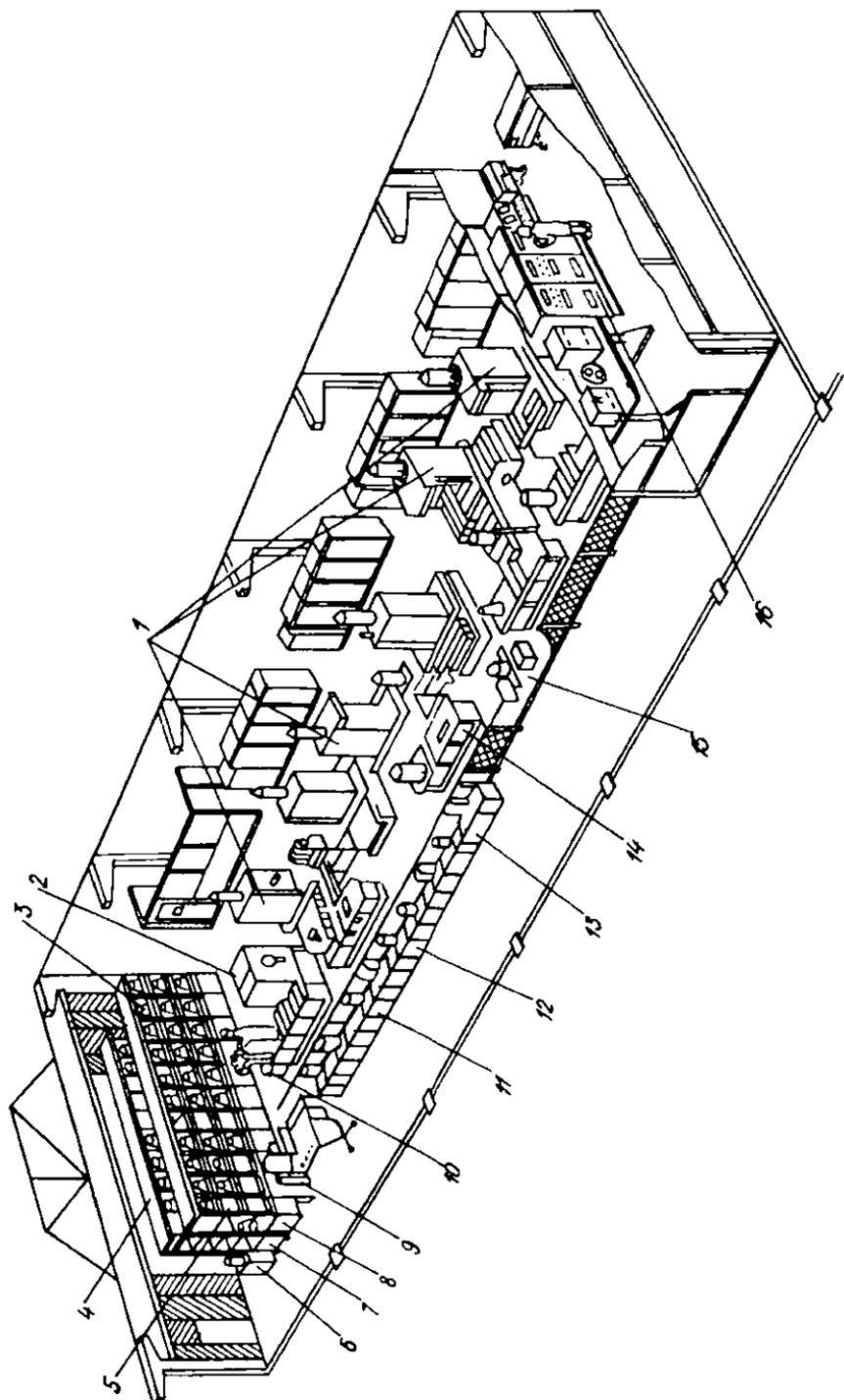


Рис. 10.23. Компоновка предметного ГАУ для обработки корпусных деталей и втулок: 1 — многооперационные станки; 2 — камера очистки деталей от стружки; 3 — автоматизированный склад заготовок и деталей; 4 — стеллаж склада; 5 — манипулятор; 6 и 8 — столы; 7 — робот-штабелер; 9 — монтажный стол; 10 — стол сборки спутников и приспособлений; 11 — спутник; 12 — оперативный накопитель; 13 — стол контроля; 14 — агрегаты загрузки спутников; 15 — транспортная тележка; 16 — управляющий вычислительный комплекс

3) агрегаты 14 осуществляют установку спутников с заготовками на станки и съем с них спутников с обработанными деталями;

4) тележка 15 транспортирует:

спутники с заготовками к агрегатам 14 многооперационных станков, а также к оперативному накопителю 12;

спутники с готовыми деталями к камере 2 очистки от стружки, а с нее на стол 9;

спутники с обрабатываемыми деталями между многооперационными станками.

Типовые схемы планировки ГАУ для обработки тел вращения в условиях многономенклатурного серийного производства приведены на рис. 10.24.

В первом варианте планировки (рис. 10.24а) технологическое оборудование 3 располагается с двух сторон относительно транспортного модуля 4, который с автоматизированного склада 6 снабжает оборудование заготовками и инструментом. Последний комплектуется и настраивается в отделении 5. ГАУ управляется от вычислительного комплекса 1.

Во втором варианте планировки (рис. 10.24б) технологическое оборудование 3 также располагается с двух сторон относительно транспортного устройства, каким является автоматизированная тележка 8. Она транспортирует заготовки и инструмент с автоматизированного склада 6 к соответствующему технологическому оборудованию. Управление участком осуществляет вычислительный комплекс 1.

В отличие от первого варианта, в третьем варианте планировки (рис. 10.24в) технологическое оборудование 3 располагается с одной стороны транспортного модуля 6. Кроме того, предусмотрен поворотный стол 5, с которого промышленный робот 9 загружает заготовками две единицы технологического оборудования 3. ГАУ управляется вычислительным комплексом 8.

Одним из обязательных и основных элементов транспортно-складской системы ГАУ является автоматизированный стеллаж-накопитель с роботом-штабелером. Его задача — получать, хранить и выдавать заготовки и готовые изделия, приспособления и спутники, инструмент и магазины инструмента, а также межоперационные заделы.

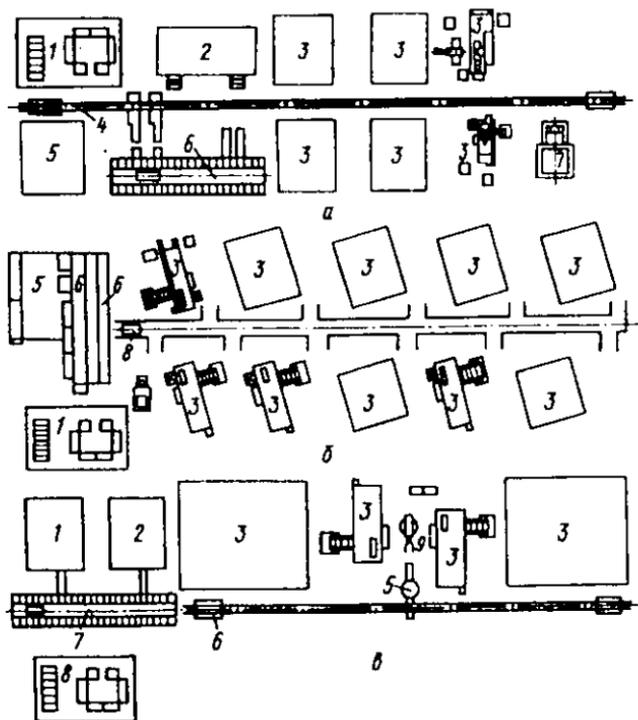
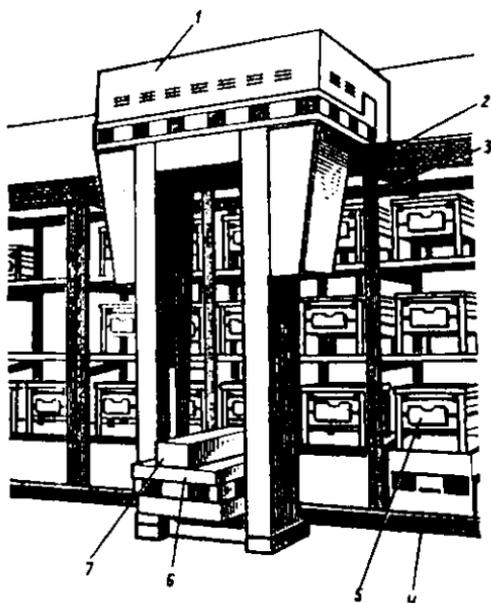


Рис. 10.24. Типовые схемы планировки ГАУ для обработки тел вращения: а) 1 — управляющий вычислительный комплекс; 2 — моечное отделение; 3 — технологическое оборудование; 4 — транспортный модуль; 5 — отделение комплектации и настройки инструмента; 6 — автоматизированный склад; 7 — контейнер для сборки стружки; б) 1 — управляющий вычислительный комплекс; 3 — технологическое оборудование; 5 — отделение комплектации и настройки инструмента; 6 — автоматизированный склад; 8 — транспортная тележка; в) 1 — отделение комплектации и настройки инструмента; 2 — отделение сборки оснастки; 3 — технологическое оборудование; 5 — поворотный стол; 6 — транспортный модуль; 7 — автоматизированный склад; 8 — управляющий вычислительный комплекс; 9 — промышленный робот

Конструкция автоматизированного стеллажа-накопителя с роботом-штабелером приведена на рис. 10.25. На стеллаже 3 установлены верхний и нижний рельсовые пути 2, 4, по которым может перемещаться робот-штабелер 1. По его вертикальным направляющим в свою очередь может подниматься или опускаться каретка 6, несущая телескопический стол 7 с выдвжной платформой.

Работа штабелера в автоматическом цикле осуществляется от автономной системы управления. При получении соответствующей команды (на загрузку или разгрузку) и адреса ячейка робот-штабелер перемещается по программе к заданной колонке яче-

Рис. 10.25. Автоматизированный стеллаж-накопитель с роботом-штабелером: 1 — робот-штабелер; 2 — верхний рельсовый путь; 3 — стеллаж с ячейками; 4 — нижний рельсовый путь; 5 — тара, расположенная в ячейке стеллажа; 6 — каретка; 7 — телескопический стол



ек, а каретка — к заданному этажу ячеек. При загрузке стеллажа, например, готовыми изделиями сначала телескопический стол с тарой вводится в ячейку, а затем каретка опускается на 40 мм и телескопический стол выводится из ячейки (без тары). При разгрузке стеллажа телескопический стол сначала вводится в ячейку (при опущенной на 40 мм каретке), а затем каретка поднимается на 40 мм и телескопический стол с тарой заготовок выводится из ячейки.

§ 10.5. Контроль качества обработки на гибком станочном оборудовании

Одним из основных требований, которые предъявляют к гибкому станочному оборудованию, является гарантированное обеспечение заданного качества обработки деталей. С этой целью для автоматического управления качеством, профилактики и предотвращения брака применяют системы автоматического контроля. Они выполняют следующие контрольно-измерительные операции [109]:

- измерение и контроль параметров заготовок, обрабатываемых и готовых деталей;
- контроль и диагностику состояния инструмента;
- измерение размеров и учет времени работы инструмента;
- формирование данных для коррекции управляющих программ;
- контроль за состоянием оборудования;

контроль за удалением технологических отходов.

Системы автоматического контроля подразделяются на две группы:

1) системы встроенного контроля, которые необходимые измерения и контроль осуществляют на станочном оборудовании в ходе процесса обработки деталей;

2) системы выносного контроля, выполняющие контрольно-измерительные операции вне станочного оборудования, т.е. до или после реализации процесса обработки деталей.

К системам встроенного контроля относятся устройства: активного контроля параметров заготовок, обрабатываемых деталей и процесса резания; диагностики состояния инструмента; коррекции программного управления и самонастройки управляемых параметров. Эти устройства должны быть достаточно универсальными, гибкими и способными автоматически перестраиваться при переходе гибкого станочного оборудования на обработку новых деталей.

К системам выносного контроля относятся измерительные машины и роботы, которые могут устанавливаться на позициях контроля или в измерительных лабораториях. Применение этих систем приводит к усложнению станочной системы в целом. Однако они обеспечивают высокую точность измерения параметров готовой детали.

Ко всем системам автоматического контроля предъявляются следующие основные требования [109]:

возможность автоматической перестройки средств измерения и контроля в пределах заданной номенклатуры деталей;

обеспечение полноты и достоверности контроля, в том числе контроля преобразования и передачи информации;

высокая надежность средств измерения и контроля;

соответствие их динамических характеристик динамическим свойствам контролируемых объектов.

Одними из важнейших систем автоматического контроля являются системы, связанные с обеспечением размеров обрабаты-

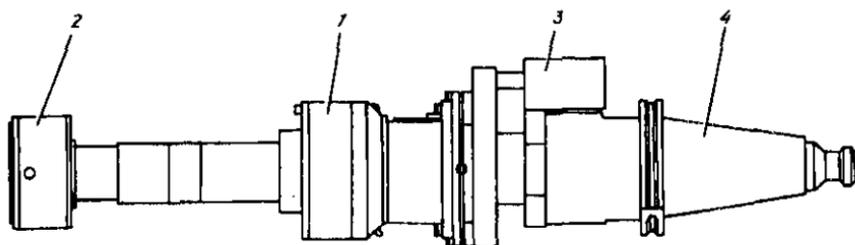


Рис. 10.26. Устройство для измерения: 1 — измерительный датчик касания; 2 — шуп; 3 — устройство передачи сигнала; 4 — оправка

ваемой детали непосредственно на станке. Среди них все большее распространение получают системы автоматического измерения и компенсации [30], включающие специальные измерительные устройства, смонтированные в инструментальной оправке. Типовая конструкция устройства такой системы представлена на рис. 10.26. Оно состоит из измерительного датчика касания 1, подпружиненного щупа 2, который может перемещаться в корпусе датчика в радиальном и осевом направлениях, устройства передачи сигнала 3 и оправки 4, имеющей такой же хвостовик,

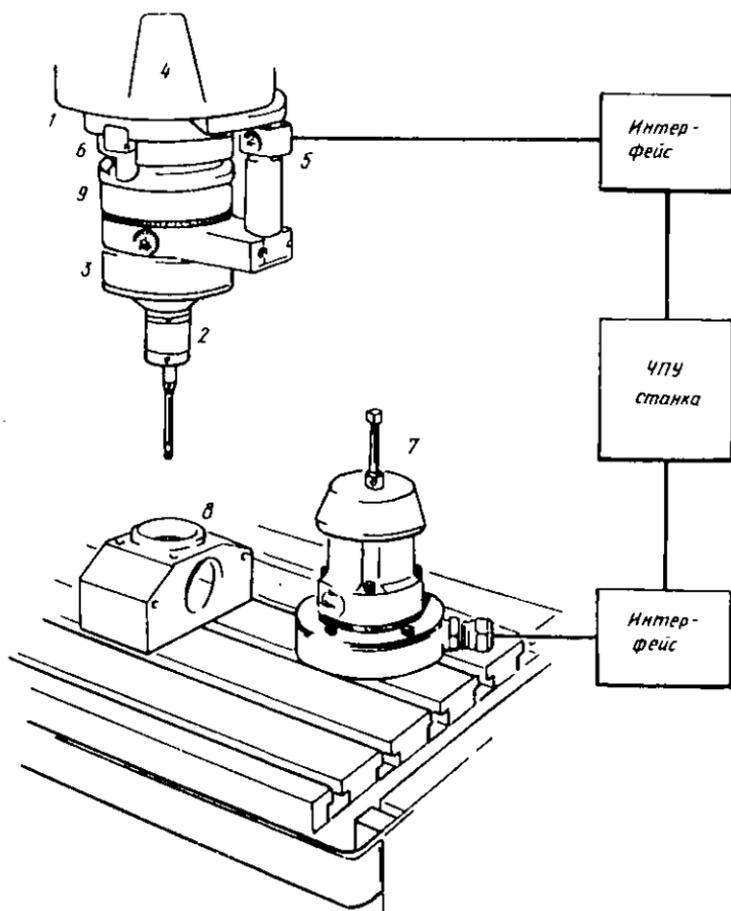


Рис. 10.27. Схемы измерения и передачи сигнала в систему ЧПУ на многооперационных станках фрезерно-сверлильно-расточной группы:

1 — шпиндель; 2 — датчик касания; 3 — адаптер; 4 — хвостовик; 5 — устройство передачи сигнала; 6 — оптический приемник; 7 — датчик наладки инструмента; 8 — обрабатываемая деталь; 9 — оптический передатчик

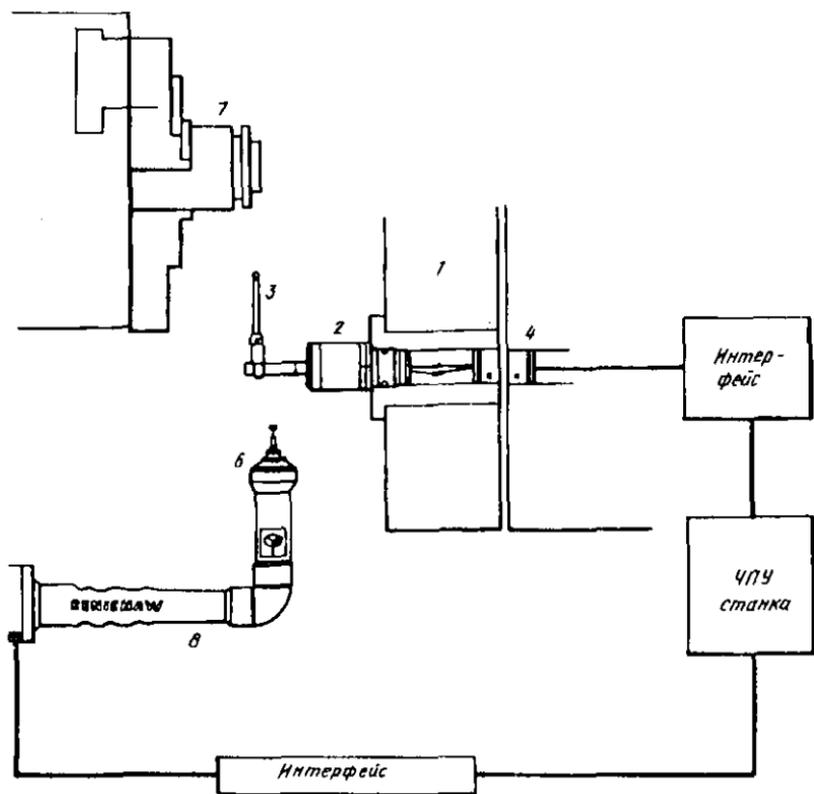


Рис. 10.28. Схема измерения и передачи сигнала в систему ЧПУ на токарных станках: 1 — револьверная инструментальная головка; 2 — датчик касания; 3 — удлинитель; 4 — устройство передачи сигнала; 5 — оптический приемник; 6 — датчик наладки инструмента; 7 — обрабатываемая деталь; 8 — оптический передатчик

как и у инструментальных оправок. Внутри датчика находится источник питания (элемент с окисью серебра) и инфракрасный генератор, который может излучать сигналы.

Данное устройство в станках фрезерно-сверлильно-расточной группы находится в одной из ячеек магазина инструментов и используется тогда, когда необходимо проверить правильность выполнения какого-либо технологического перехода, например, чистового растачивания. С этой целью оно по программе устанавливается в шпиндель станка автоматическим устройством смены инструмента. В токарных станках с ЧПУ это устройство находится в одном из гнезд револьверной инструментальной головки.

Схемы измерения и передачи сигнала в систему ЧПУ на станках фрезерно-сверлильно-расточной и токарной групп приведе-

ны на рис. 10.27 и 10.28. Щуп датчика касания 2 (рис. 10.27) по программе сначала касается датчика наладки инструмента 7, от которого через интерфейс поступает сигнал в систему ЧПУ. Далее по программе щуп касается двух противоположных сторон растачиваемого отверстия. В моменты касания сигналы от датчика через передатчик 9 посылаются в оптический приемник 6 (расположен на торце шпинделя), а от него через интерфейс поступают в систему ЧПУ. В результате система ЧПУ определяет величину перемещения расточенного отверстия детали между двумя моментами касания щупа, измеренную датчиком обратной связи по положению соответствующего исполнительного органа.

Следует отметить, что измеренная величина перемещения определяется как среднее арифметическое значение результатов измерений, полученных до и после поворота шпинделя с устройством на 180° . В этом случае исключается влияние несовпадения центра щупа с осью отверстия на конечный результат измерения.

Что касается фактического диаметра отверстия, то он определяется как сумма указанного перемещения и диаметра щупа. Полученная величина сравнивается с величиной, заданной программой обработки, и по результатам сравнения выдается команда либо на продолжение обработки, либо на повторную расточку с коррекцией или подается сигнал о браке.

Система оптической передачи сигнала на 360° фирмы "РЕНИШОУ" представлена на рис. 10.29.

Итак, в рассматриваемой системе автоматического измерения и компенсации многооперационный станок выполняет роль измерительной машины. Поэтому точность измерения зависит от точности координатных перемещений исполнительных органов станка. По данным работы [30] точность измерения диаметров отверстий по двум точкам составляет $\pm (8 \text{ мкм} + 0,03 \text{ мкм/мм})$.

Таким же образом действуют подобные системы, используемые в токарных станках с ЧПУ.

Более высокую точность измерения геометрических параметров обработанных поверхностей (диаметр, межосевое расстояние и т.д.) обеспечивают системы выносного контроля — измерительные машины, которые устанавливаются на конвейере ГПМ или ГАЛ. На рис. 10.30 показана измерительная машина мод. "BRAVO" фирмы "DEA" (Италия). Она включает два программируемых робота 1, которые с большой скоростью при помощи щупов 2 измеряют обработанные поверхности детали по координатам X , Y , и Z . Перемещения по этим координатам составляют соответственно 5080, 1200 и 1500 мм. Точность измерения находится в пределах $\pm (5+8/1000)\text{мкм}$, где L — длина измерения, мм.

Точность и качество обработки на автоматизированном станочном оборудовании, особенно гибком, в значительной мере

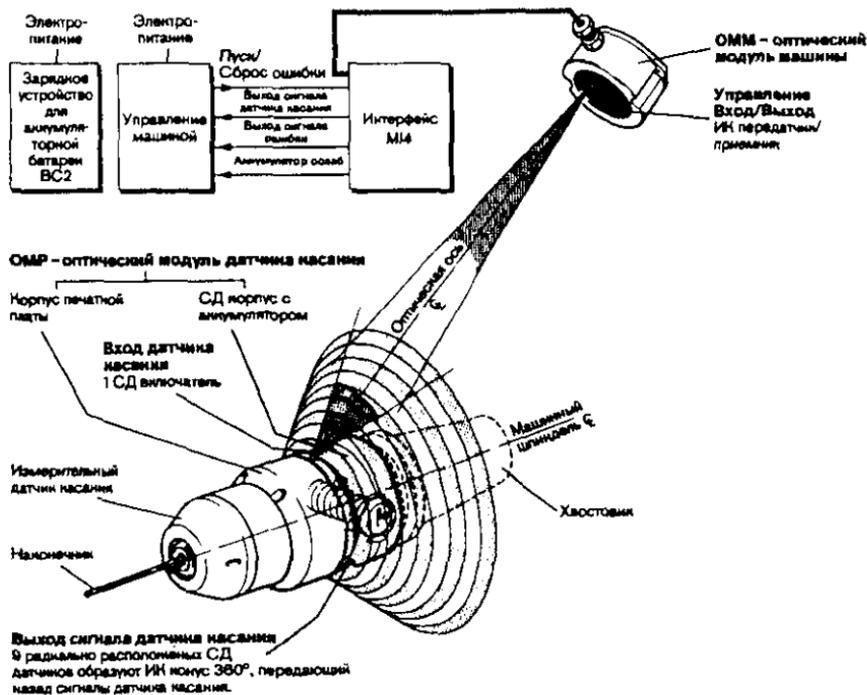


Рис. 10.29. Система оптической передачи сигналов на 360° фирмы "РЕНИШОУ"

зависят от состояния режущего инструмента. Например, в случае износа инструмента размеры обрабатываемых поверхностей выходят за допустимые пределы, а при его выкрашивании возможна еще и поломка соответствующих узлов станка вследствие перегрузок. Поэтому возникает необходимость в автоматизированном контроле состояния инструмента.

Самым простым способом обеспечения обработки качественным инструментом является назначение ему гарантированного срока годности (размерной стойкости) и автоматический подсчет фактически отработанного им времени. После выработки срока годности инструмент автоматически заменяется дублером. Недостатками данного способа являются недоиспользование стойкостных возможностей инструмента или работа в негарантированных условиях вследствие неизбежных ошибок при назначении срока годности. Кроме того, не учитываются скрытые дефекты инструмента. Поэтому наряду с учетом времени работы инструмента применяются различные способы прямого или косвенного контроля за состоянием инструмента [30]. Эти способы приведены в табл. 10.1.

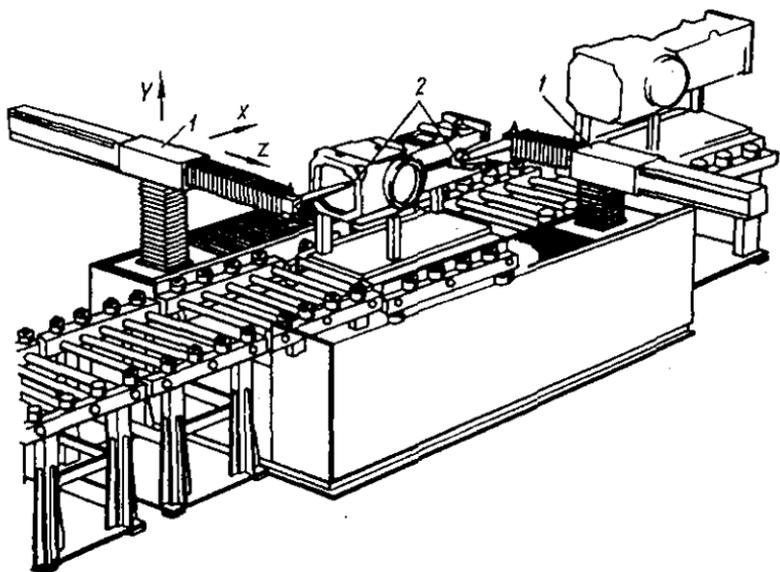


Рис. 10.30. Измерительная машина мод. "BRAVO" фирмы "DEA" (Италия):
1 — программируемый робот; 2 — щуп

Таблица 10.1

Способы управления условиями механической обработки [30]

Тип способа	Измеряемый параметр	Аппаратура
Прямой	Геометрия инструмента	Микроскоп, миникомпьютер, фотодатчик
	Сила резания	Динамометр, тензодатчики
	Точность размеров и шероховатость поверхности	Устройство измерения размера Устройство измерения параметра шероховатости лазером
Косвенный	Шум при резании	Устройство измерения шума
	Температура резания	Термопара
	Радиоактивное излучение	Устройство измерения радиоактивного излучения
	Вибрация	Акселерометр
	Потребляемая мощность	Ваттметр

Рассмотрим наиболее распространенные способы контроля за состоянием инструмента.

Для выявления затупления сверл и метчиков, а также их поломки, в приводе главного движения применяют устройства для измерения выхода тока нагрузки. Если ток нагрузки превышает верхний предел, то указанный инструмент затупился, а если меньше нижнего предела, то произошла его поломка.

Для данных целей все шире применяются тензометрические устройства измерения момента на шпинделе или силы в механизме подачи. Последние устройства используются также для выявления начального момента соприкосновения инструмента с заготовкой. Это позволяет уменьшить длину рабочего хода за счет исключения величины подхода и перебега инструмента. Тем самым повышается производительность станка.

Широкое распространение в многооперационных станках и ГПМ получил способ измерения размеров режущего инструмента непосредственно на станке. Для этих целей используются датчики наладки инструмента (устройства контроля положения инструмента). Они могут быть неподвижными, и к ним перемещается контролируемый инструмент (см. рис. 4.11), или подвижными, т.е. они сами перемещаются к контролируемому инструменту, например, при помощи программируемого робота. Последняя схема контроля положения инструмента представлена на рис. 10.30.

Указанный способ измерения размеров режущего инструмента позволяет определить его износ и внести соответствующую корректировку в программу обработки, а также выявить поломку инструмента.

§ 10.6. Автоматические роторные линии

Роторные линии являются одной из высших форм автоматического технологического оборудования, обеспечивающего высокую производительность и качество продукции. Они предназначены для обработки небольших и сравнительно простых деталей методами штамповки, прессования, литья, резания и др., а также для сборки, упаковки, расфасовки и контроля качества в условиях массового производства.

В разработку научных основ комплексной автоматизации массового производства на базе роторных линий, а также в их промышленное применение большой вклад внес коллектив конструкторского бюро под руководством академика Л. Н. Кошкина. В этом бюро созданы комплексы автоматических роторных линий для выполнения технологических процессов обработки, состоящих из десятков операций. Роторные линии по сравнению с отдельным автоматическим оборудованием повышают производительность в 3 — 6 раз, снижают трудоемкость изготовления изделий в 2 — 4 раза, сокращают занимаемые производственные

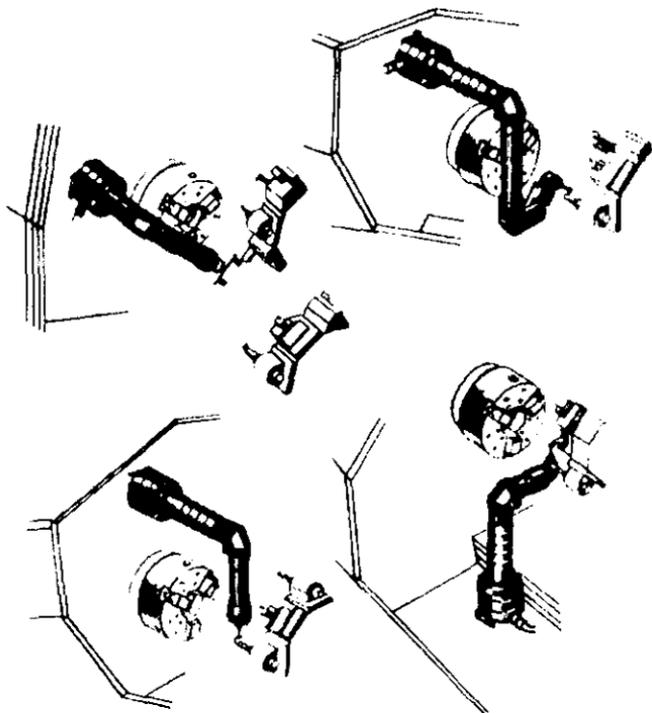


Рис. 10.31. Схема измерения положения инструмента с использованием программируемого робота

площади в 3 — 10 раз и уменьшают производственный цикл изготовления продукции в 10—20 раз [45].

Различают автоматические роторные и роторно-конвейерные линии. Автоматической роторной линией называется совокупность технологических и транспортных роторов, установленных на одной станине и объединенных системами привода и управления [45, 55]. Автоматическая роторно-конвейерная линия отличается от роторной тем, что в ней предметы обработки и инструмент отделены от исполнительных органов технологических роторов и размещены на гибких транспортных конвейерах.

На рис. 10.32 приведена схема работы технологического и транспортных роторов. Загрузка заготовкой ротора производится транспортным ротором 13 в зоне I при их непрерывном вращении. В этой зоне несущий орган 7 транспортного ротора разжимается, и заготовка остается в блоке 8 инструментов. Далее в зоне II при непрерывном вращении техноло-

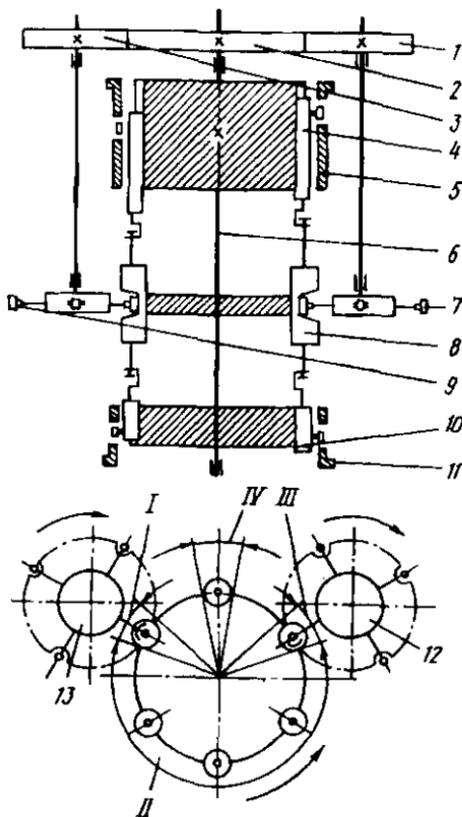


Рис. 10.32. Схема работы технологического и транспортных роторов: 1, 2 и 3 — зубчатые колеса; 4 и 10 — ползуны; 5 и 11 — неподвижные копиры; 6 — вал; 7 и 9 — несущие органы транспортных роторов; 8 — блоки инструментов; 12 и 13 — транспортные роторы; I и III — зоны загрузки и разгрузки технологического ротора; II — зона обработки; IV — зона смены блоков инструмента

гического ротора ползуны 4 и 10 под действием неподвижных копиров 5 и 11 перемещают инструменты в блоке 8, в результате чего выполняется определенный технологический переход (или переходы). В зоне III несущий орган 7 транспортного ротора 12 захватывает обработанную деталь в блоке инструментов технологического ротора (также при их непрерывном вращении) и передает ее дальше по технологической цепочке. Смена блоков с износившимися инструментами осуществляется в зоне IV при остановленных роторах. Непрерывное вращение технологического и транспортных роторы получают от общего привода через зубчатые колеса 1, 2 и 3.

Таким образом, обработка деталей на автоматических роторных линиях от заготовки до готового изделия производится при непрерывном движении объекта обработки и инструмента.

Как отмечалось выше, совокупность технологических и транспортных роторов, установленных на одной станине и объединенных системами привода и управления, образует автоматическую роторную линию. Схема такой линии показана на рис. 10.23.

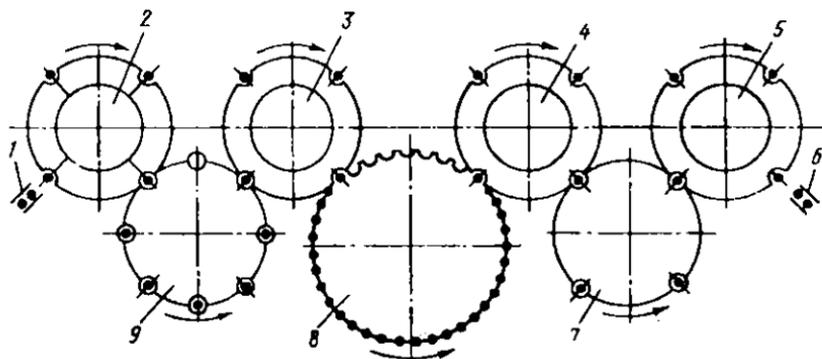


Рис. 10.33. Схема автоматической роторной линии: 1 — магазин заготовок; 2, 3, 4 и 5 — транспортные роторы; 6 — приемный магазин готовых деталей; 7, 8 и 9 — технологические роторы

В ней технологические роторы 9, 8 и 7 имеют различное число позиций (соответственно восемь, тридцать шесть и четыре), так как время выполнения технологических переходов на них различное. Загрузка линии заготовками производится из магазина 1 транспортным ротором 2, а съем готовых деталей и их передача в приемный магазин 6 — транспортным ротором 5. Передача обрабатываемых деталей между технологическими роторами выполняется транспортными роторами 3 и 4.

Роторные линии могут строиться по двум основным принципам:

1. Линии с жестким (синхронным) технологическим потоком (рис. 10.34) предметов обработки, в котором не допускается накопление деталей между технологическими роторами, кроме накопления в транспортных роторах.

2. Линии с гибким (асинхронным) технологическим потоком (рис. 10.35) предметов обработки, в котором допускается накопление деталей в склизах, дисковых роторах, механических элеваторах, конвейерах и т.д.

В линиях, построенных по первому принципу, производственный цикл короткий и не превышает 2 — 3 минут. В линиях с гибким технологическим потоком данный цикл длиннее.

Автоматические роторные и роторно-конвейерные линии классифицируются по многим признакам, характеризующим технологический поток, гибкость линии, вид транспорта, систему управления и т.д. Данная классификация [45] приведена в табл. 10.2.

Технологические роторы классифицируются (табл. 10.3) по назначению, способу воздействия на поток, номенклатурности этого потока, виду привода инструментов, ярности и т.д.

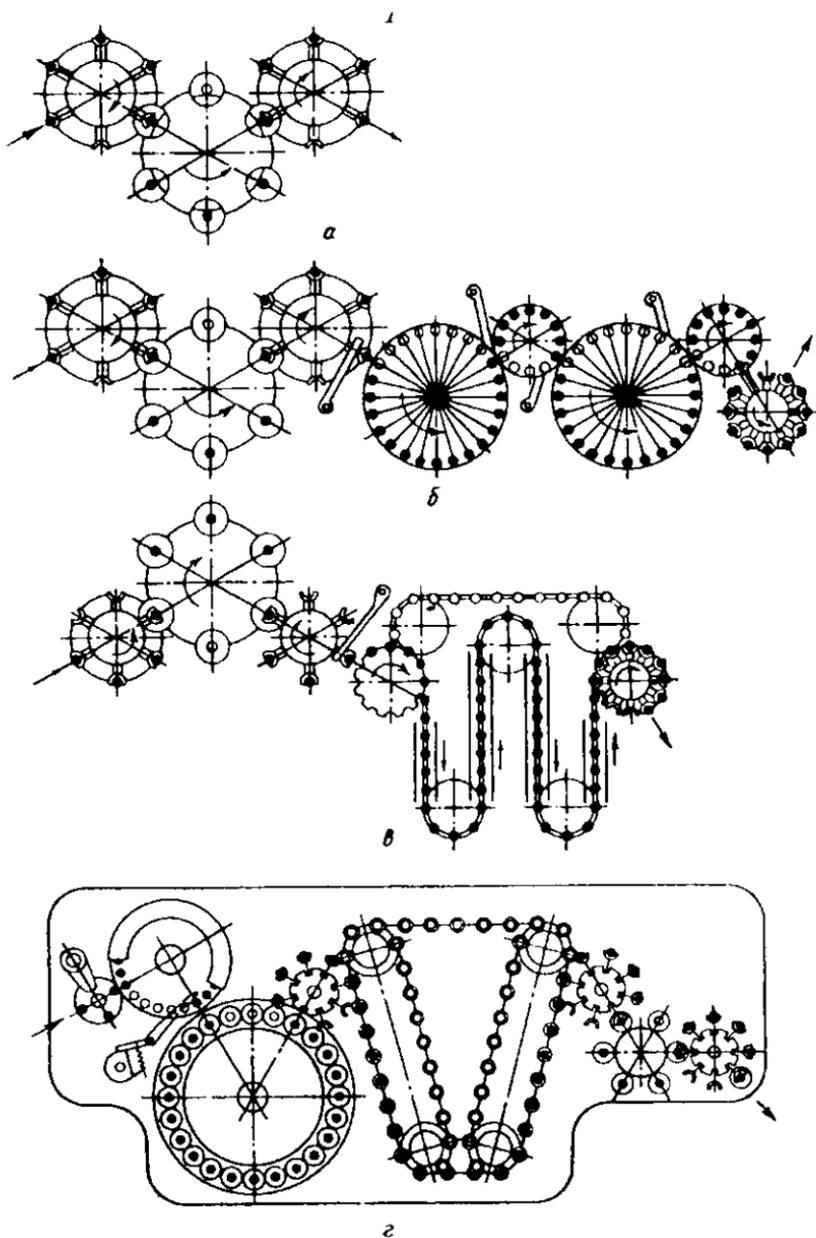


Рис. 10.34. Схемы роторных и роторно-конвейерных линий с жестким технологическим потоком: а — роторная машина; б — роторная линия с транспортными роторами и переталкивателями; в — роторно-конвейерная линия с транспортными роторами и переталкивателями; г — роторно-конвейерная линия с транспортными роторами, переталкивателями и многорычужковым цепным конвейером

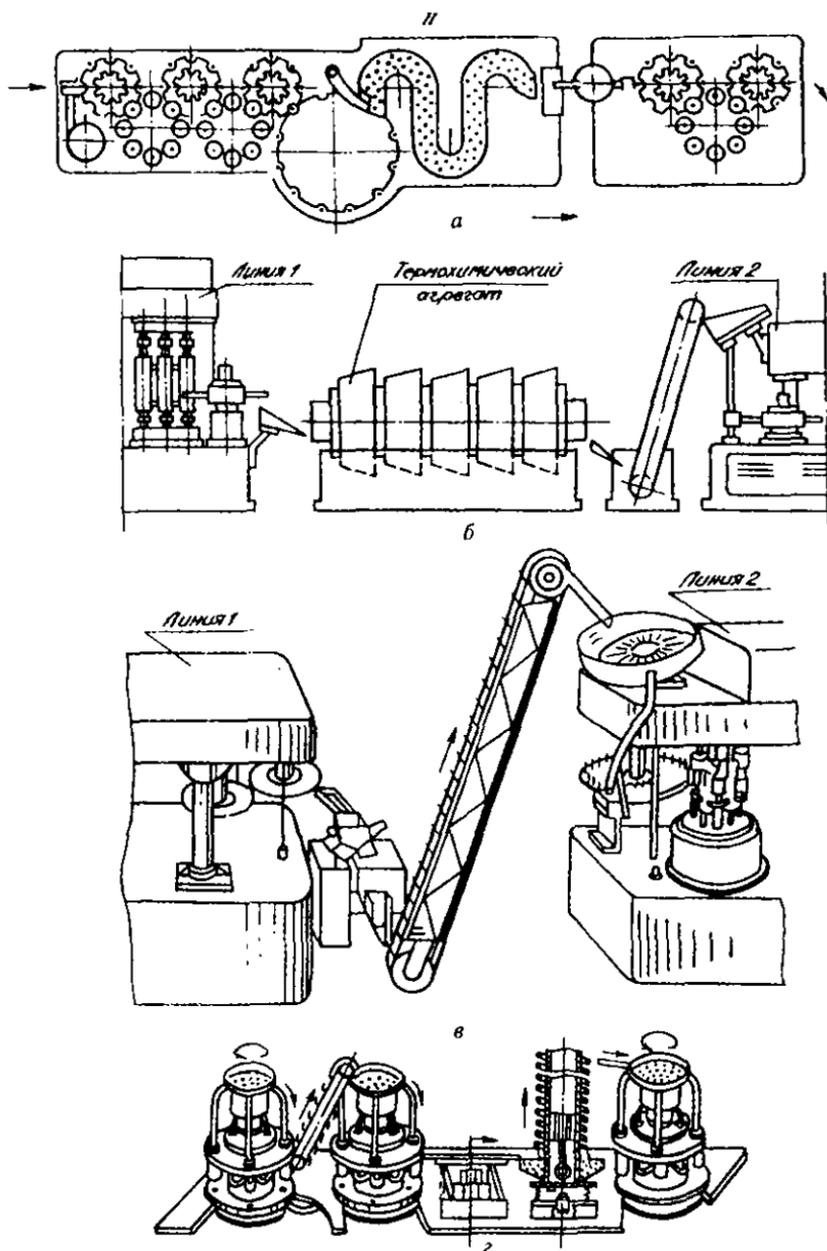


Рис. 10.35. Схемы роторных линий с гибким технологическим потоком: а — роторные линии с дисковым ротором; б — роторные линии со склизом и механическим элеватором; в — роторные линии со сборником и механическим элеватором; г — роторные линии с элеватором, конвейерами сбора и выдачи

Существует классификация и транспортных роторов (табл. 10.4). Здесь классификационными признаками являются: плотность потока, высота траектории потока, скорость потока и ориентация деталей.

Как отмечалось выше, автоматические роторные и роторно-конвейерные линии эффективны в условиях массового производства. Однако в случае создания многономенклатурных линий область их эффективного применения расширяется вплоть до серийного производства. Схема такой линии представлена на рис. 10.36. На ней различными инструментами обрабатываются четыре типа деталей.

Одной из важнейших характеристик технологических роторов является привод инструмента (табл. 10.3), который выбирается в зависимости от усилия, необходимого для выполнения технологического перехода (или переходов), а также от закона движения инструмента. На рис. 10.37 в качестве примера показаны технологические роторы с двусторонним механическим (*a*, *в*) и гидравлическим (*б*) приводами. Опыт создания роторных линий показывает, что механический привод может развивать усилие до 100 кН, а гидравлический — свыше 100 кН.

Таблица 10.2

Классификация автоматических роторных и роторно-конвейерных линий [45]

Признак	Линии
Вид технологии	Сединой или сходными технологиями
Поточность	Одно- и многопоточные
Вид потока	Снезависимыми или зависимыми потоками
Тип потока	Светвлящимися или неветвлящимися потоками
Структура потока	Сжесткими (синхронными) или гибкими (асинхронными) потоками
Характеристика потока	Спостоянной или переменной скоростью потока
Состав линии	Из роторных или роторно-конвейерных машин
Степень универсальности автоматов линии	Из агрегатированных или специализированных машин
Номенклатурность	Одно- и многопредметные
Гибкость	Непереналаживаемые или переналаживаемые
Структура линии	Без межучастковых запасов или с ними
Вид транспорта	Беспутниковые или со спутниками
Наличие роботов	Нет или есть
Внутреннее управление	Без программного управления или с ним
Внешнее управление	Включенные или не включенные в АСУ

Классификация технологических роторов [45]

Признак	Технологический ротор
Назначение	Обработки давлением
	Обработки резанием
	Термообработки
	Химической обработки
	Нанесения покрытий
	Промывки
	Контроля
	Сборки
	Лужения и пайки
	Расфасовки
Способ воздействия на поток	Комплектации (упаковки)
	Инструментальной обработки (блочный вариант)
Номенклатурность потока	Аппаратной обработки (безблочный вариант)
	Одно- и многопредметной обработки
Привод инструментов	Механический
	Гидравлический
	Электромагнитный
Способ размещения привода	Комбинированный
	Содно- или двусторонним приводом
Ярусность	Одно- или многоярусный
Расположение оси ротора в пространстве	Свертикальной, горизонтальной или наклонной осью
Положение блока инструментов относительно оси ротора	Спараллельными или скрещивающимися осями

Классификация транспортных роторов [45]

Признак	Транспортный ротор
Плотность потока	Обеспечивающий постоянную и переменную плотность потока
Высота траектории потока	Не изменяющий или изменяющий высоту
Ориентация деталей	Не изменяющий или изменяющий пространственную ориентацию деталей
Скорость потока	Не изменяющий или изменяющий скорость потока

В роторах с механическим приводом инструмента его рабочее движение функционально связано с параметрами транспортного движения потока деталей. Однако такая связь не всегда позволяет получить требуемый закон движения инструмента. В этом случае применяют гидравлический или механогидравлический привод, обеспечивающий широкий диапазон варьирования параметров рабочего движения инструмента.

От типа привода инструмента зависит конструкция верхней и нижней частей технологических роторов, что видно из вариантов типовых роторов, представленных на рис. 10.38. В то же время остается неизменной конструкция их блокодержателей с гнездами, куда устанавливают инструментальные блоки 4, а также замков, соединяющих ползуны роторов со штоками блоков.

В роторах с механическим приводом инструмента его установочное и рабочее движения могут совершаться от одного

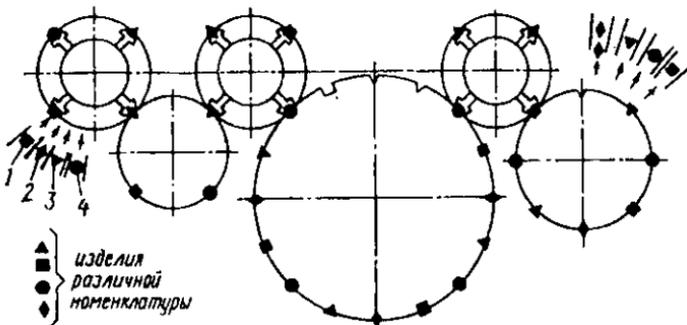


Рис. 10.36. Схема многономенклатурной роторной линии:
 1, 2, 3 и 4 — типы обрабатываемых деталей

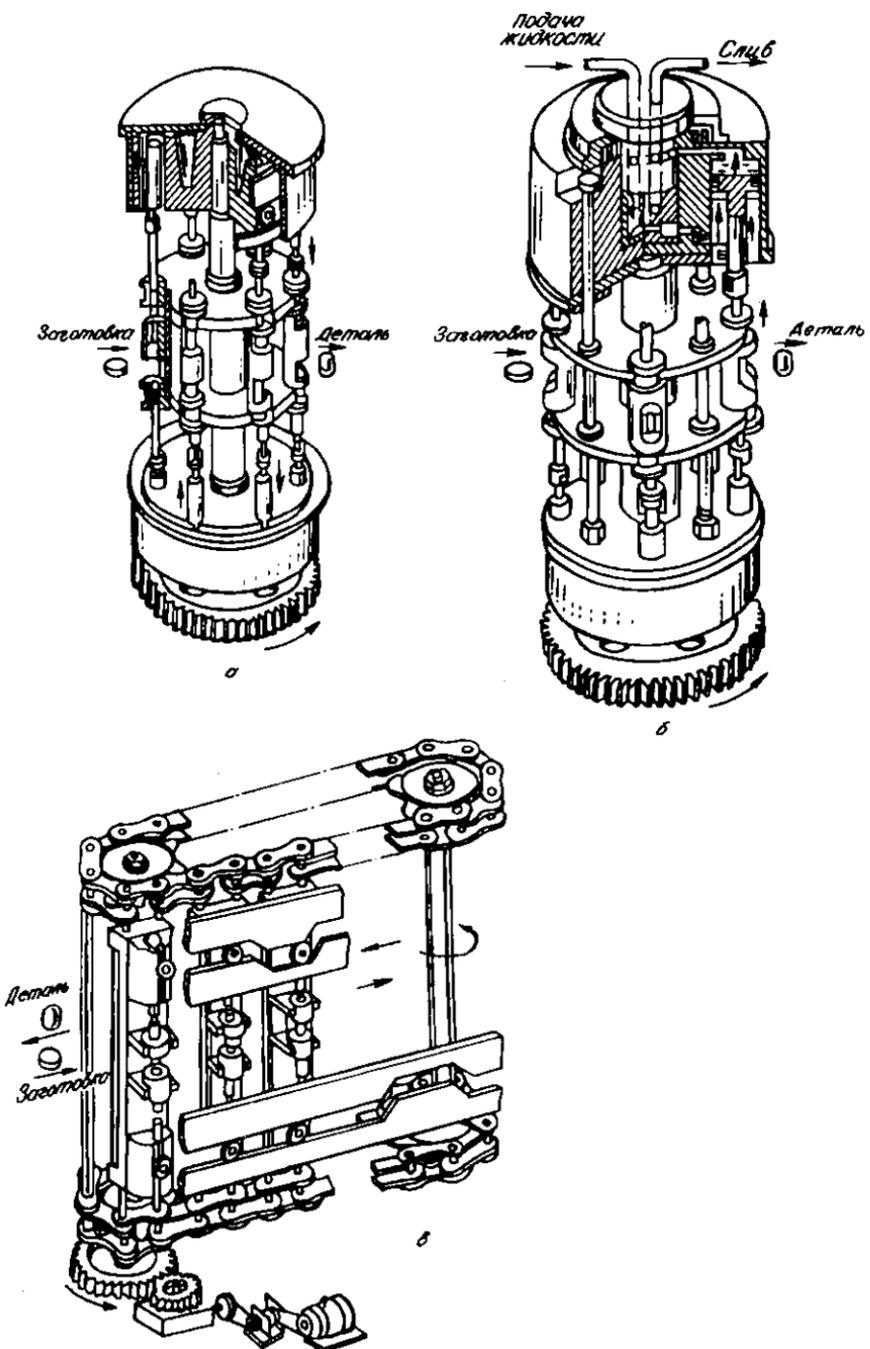


Рис. 10.37. Технологические роторы с двусторонним механическим (а, в) и гидравлическим (б) приводами

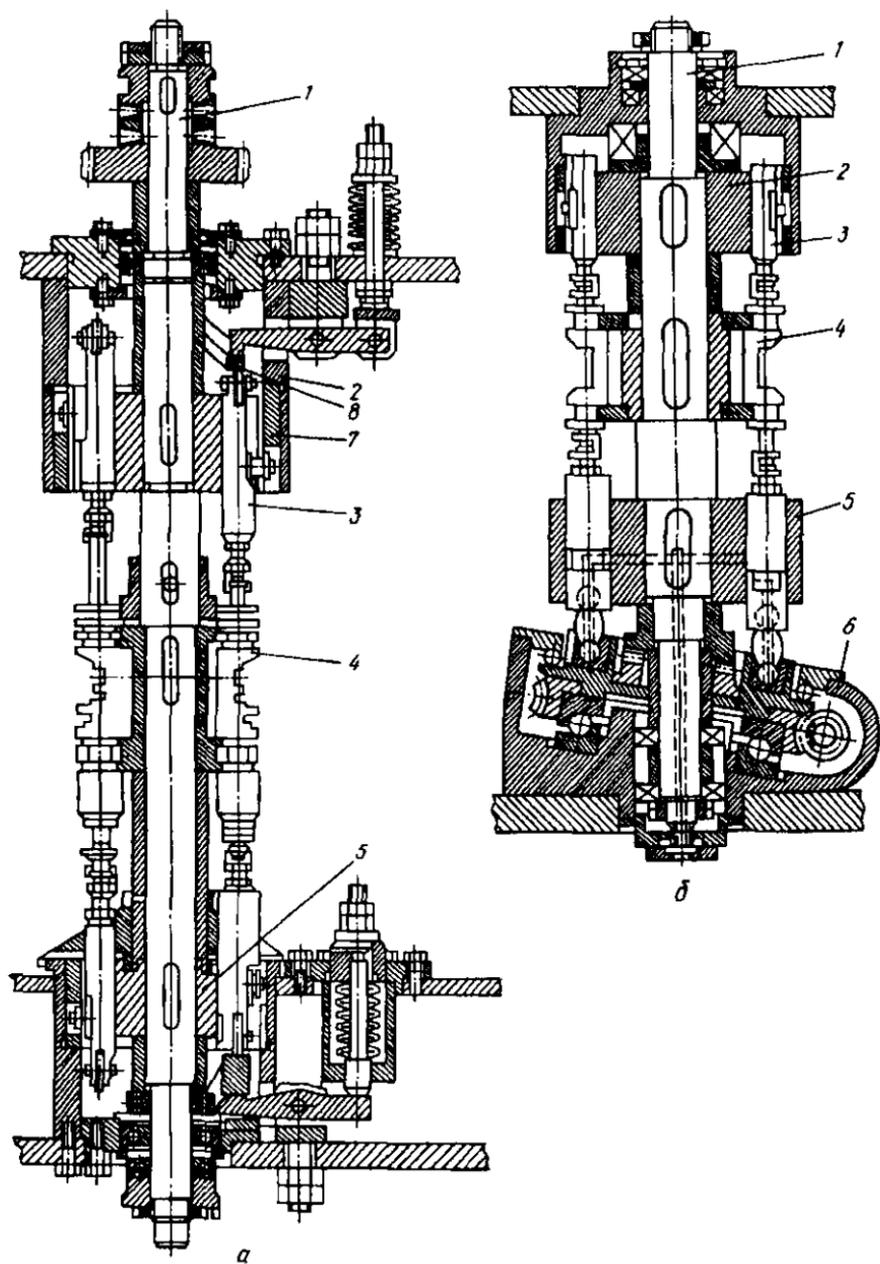


Рис. 10.38. Типовые конструкции технологических роторов с двусторонним механическим (а, б) и гидравлическим (в) приводами: 1 — главный вал; 2 и 5 — блоки верхних и нижних ползунов; 3 — шток; 4 — инструментальный блок; 6 — червячный редуктор; 7 — боковой копир; 8 — торцевой копир

(рис. 10.38б) или двух механизмов (рис. 10.38а). В последнем случае установочное движение осуществляется от бокового копира 7, а рабочее движение — от торцевого копира 8. Гидравлический привод (рис. 10.38в) сообщает инструменту установочное и рабочее движения. Что касается механогидравлического привода, то установочное движение инструменту сообщает боковой копир, а рабочее движение — гидроцилиндр.

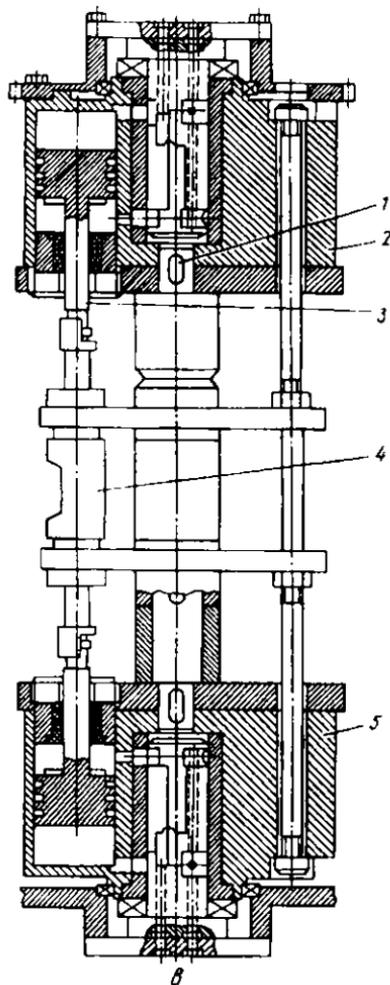
На рис. 10.39 представлены типовые конструкции транспортных роторов, которые обеспечивают перемещение деталей с поворотом вокруг своей оси (а), без поворота (б) и с изменением высоты траектории (в). Поворот деталей осуществляется при помощи неподвижного копира 9, который при вращении ротора перемещает шток-рейку. В свою очередь шток-рейка поворачивает клещевой захват. Высота траектории деталей изменяется при помощи неподвижного копира 10.

Техническая производительность роторных линий определяется по формуле, аналогичной (1.02):

$$Q_T = \frac{u_p \cdot \eta}{T_{u.p} + \Sigma t_{cp}}$$

где u_p и $T_{u.p}$ — соответственно число инструментальных гнезд (или блоков инструмента) и время цикла на последнем технологическом роторе линии; Σt_{cp} — время собственных простоев по техническим причинам, приходящееся на каждую обработанную деталь.

В роторных линиях, как показывает опыт промышленной эксплуатации [45], время собственных простоев почти на 90% состоит из времени поиска и устранения отказов, связанных с выходом из строя инструментов. Поэтому сокращение данного времени является одной из основных задач, решаемых при создании



Продолжение рис. 10.38.

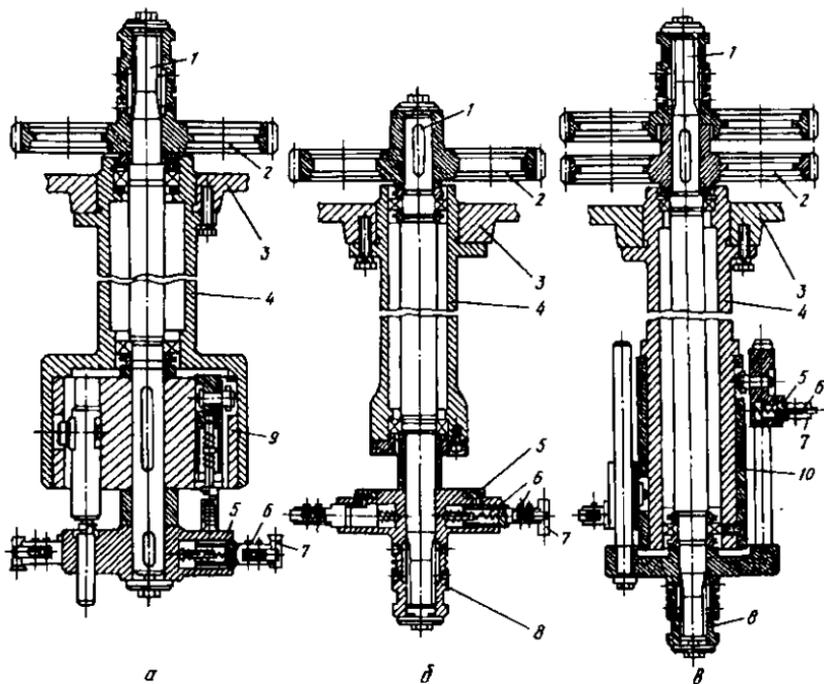


Рис. 10.39. Типовые конструкции транспортных роторов: а — с поворотом деталей; б — без поворота деталей; в — с изменением высоты траектории деталей; 1 — вал; 2 — зубчатое колесо привода; 3 — станина; 4 — корпус ротора; 5 — блок захватов; 6 — клещевой захват; 7 — деталь; 8 — муфта синхронизации; 9 — копир для поворота клещевого захвата с деталью; 10 — копир для изменения высоты траектории деталей

и эксплуатации роторных линий. В настоящее время эта задача решается путем применения в линиях устройств автоматической смены вышедших из строя инструментальных блоков.

§ 10.7. Гибкие производственные системы сборки

Сборка машин, приборов, механизмов и т.д. является заключительным и определяющим этапом производственного процесса, на котором обеспечиваются их технические характеристики и качество. Для этого этапа характерна высокая трудоемкость. Так, трудоемкость узловой и общей сборки в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве составляет 25 — 60% трудоемкости изготовления изделий [31].

В то же время в сборочном производстве механизировано только 25% сборочных операций, а автоматизировано и того меньше — около 6%. Поэтому одной из важнейших задач сборочного

производства является его автоматизация, которая позволит резко повысить производительность труда, технический уровень и качество выпускаемой продукции. И не просто автоматизация, а гибкая автоматизация, обеспечивающая возможность быстрой перестройки на выпуск новой продукции. Этим требованиям отвечают гибкие производственные системы (ГПС) сборки.

В ГПС сборки в качестве оборудования и средств технологического оснащения применяют [31]:

переналаживаемые станки и линии блочно-модульной конструкции;

программируемые широкоуниверсальные и специализированные средства сборки: станки и линии с ЧПУ, сборочные головки, промышленные роботы и центры;

многоцелевые манипуляторы, робокары, многорядные и регулируемые магазины-питатели;

многофункциональные захватные и переналаживаемые загрузочные устройства;

транспортёры, поворотные столы.

Наиболее эффективным средством автоматизации основных и вспомогательных сборочных операций являются сборочные роботы с ЧПУ. Они обладают большой гибкостью и высоким быстродействием, а также широкими функциональными возможностями благодаря оснащению их сенсорными системами: визуальной, тактильной, акустической, кинестатической и другими.

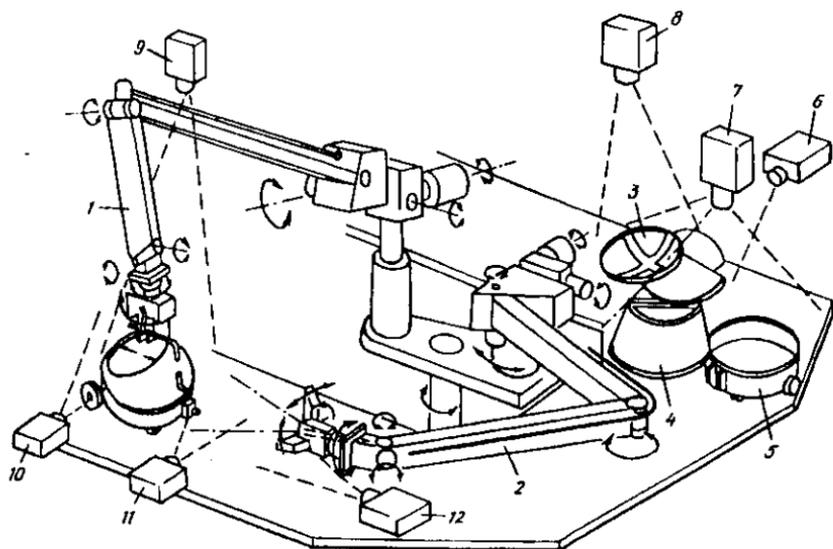


Рис. 10.40. Схема сборочного центра с двуруким роботом для сборки пылесосов:

- 1 — силовой манипулятор; 2 — сенсорный манипулятор для захватывания, ориентирования и передачи комплектующих узлов; 3 — фильтр в сборе; 4 — электродвигатель; 5 — корпус; 6 — 12 — телекамеры

В качестве примера на рис. 10.40 приведена схема сборочного центра с двуруким роботом 2, предназначенного для сборки пылесосов из узлов: фильтра 3 в сборе, электродвигателя 4 и корпуса 5. Здесь левый силовой манипулятор 1 выполняет сборочные операции, а правый сенсорный манипулятор 2 осуществляет захватывание, ориентирование и передачу комплектующих узлов в зону сборки, т.е. к манипулятору 1. Захватные устройства обоих манипуляторов оснащены визуальными и тактильными датчиками. Для определения ориентации и взаимного расположения комплектующих узлов служат телекамеры 6 — 8, а положения собираемого пылесоса — телекамеры 9 — 12.

Схема сборочного центра с отдельными ориентирующими устройствами и сборочным роботом “Скилам” (Япония) представлена на рис. 10.41. Комплектующие детали поступают на позицию сборки в ориентированном положении из многосекционного магазина 1 и вибробункерных устройств 3 по лоткам 2. Робот 6 при помощи многозахватного устройства 4 в определенной последовательности берет ориентированные детали и производит их сборку. Результатом сборки является изделие 5.

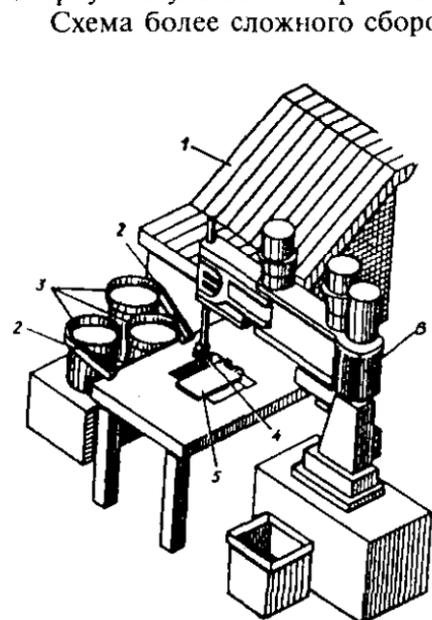


Рис. 10.41. Схема сборочного центра с роботом “Скилам” (Япония):
1 — многосекционный магазин;
2 — подающие лотки;
3 — вибробункерные устройства;
4 — захватное устройство;
5 — собираемое изделие; 6 — робот

Схема более сложного сборочного центра, оснащенного шестью различными сборочными устройствами 1 и двухкоординатным столом 3 показана на рис. 10.42. В нем в качестве сборочных устройств могут применяться сборочные головки с автоматической подачей деталей или манипуляторы, имеющие общую систему 2 программного управления.

Собираемые детали 3 размещаются в блоках (рис. 10.43б), которые по четыре штуки устанавливаются на поддоне 1 (рис. 10.43а), изготовленном из листовой стали. В каждом блоке имеется зона 4, куда монтируют приспособление с базовой деталью изделия. Таким образом, одновременно могут собираться четыре изделия.

Сборочный центр с высокой гибкостью и широкой универсальностью 2 показан на рис

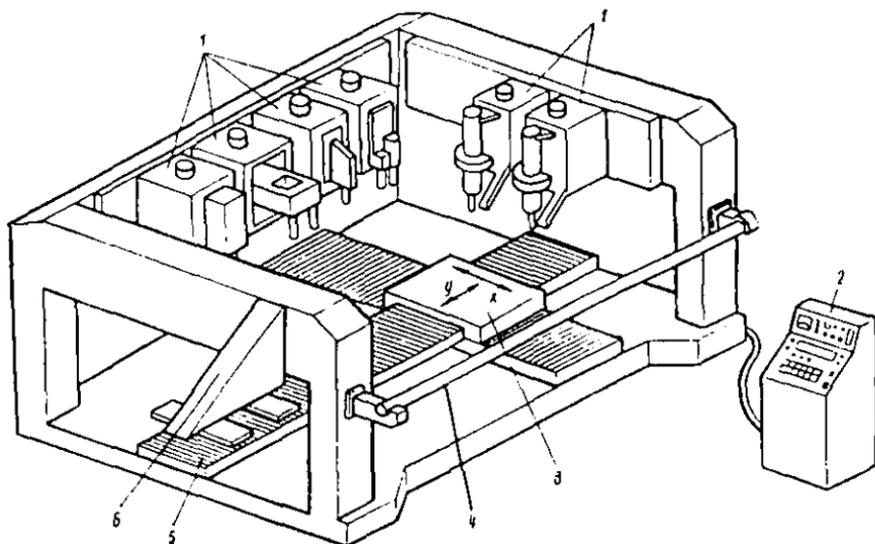


Рис. 10.42. Схема центра с шестью сборочными устройствами: 1 — сборочные устройства; 2 — система программного управления; 3 — двухкоординатный стол; 4 — предохранительное ограждение; 5 — транспортное устройство; 6 — загрузочное устройство поддонов

10.44. К нему собираемые детали поступают непосредственно с участка механической обработки в кассетах 4 при помощи конвейера 2. Эти детали манипулятор 20 переносит в кассеты 3, в которых комплекует их определенным образом. В целях обеспечения возможности захватывания деталей различной формы манипулятор оснащен системой 19 автоматической смены захватных устройств.

Кассеты, скомплектованные собираемыми деталями, поступают в многопозиционную зону сборки при помощи конвейеров 1, 6 и 12. На первой позиции захватно-ориентирующее устройство 17 из кассет 15 и 18 берет детали в определенной последовательности и ориентирует их относительно приспособления 5. Здесь установку и запрессовку деталей осуществляет устройство 16, которое может перемещаться по программе по координатным осям X, Y и Z. Устройства 17 и 16 оснащены системой 14 автоматической смены захватов и сборочных инструментов.

На вторую позицию центра собираемое изделие вместе с приспособлением перемещает конвейер 7. На ней осуществляется дальнейшая сборка при помощи резьбозавертывающего устрой-

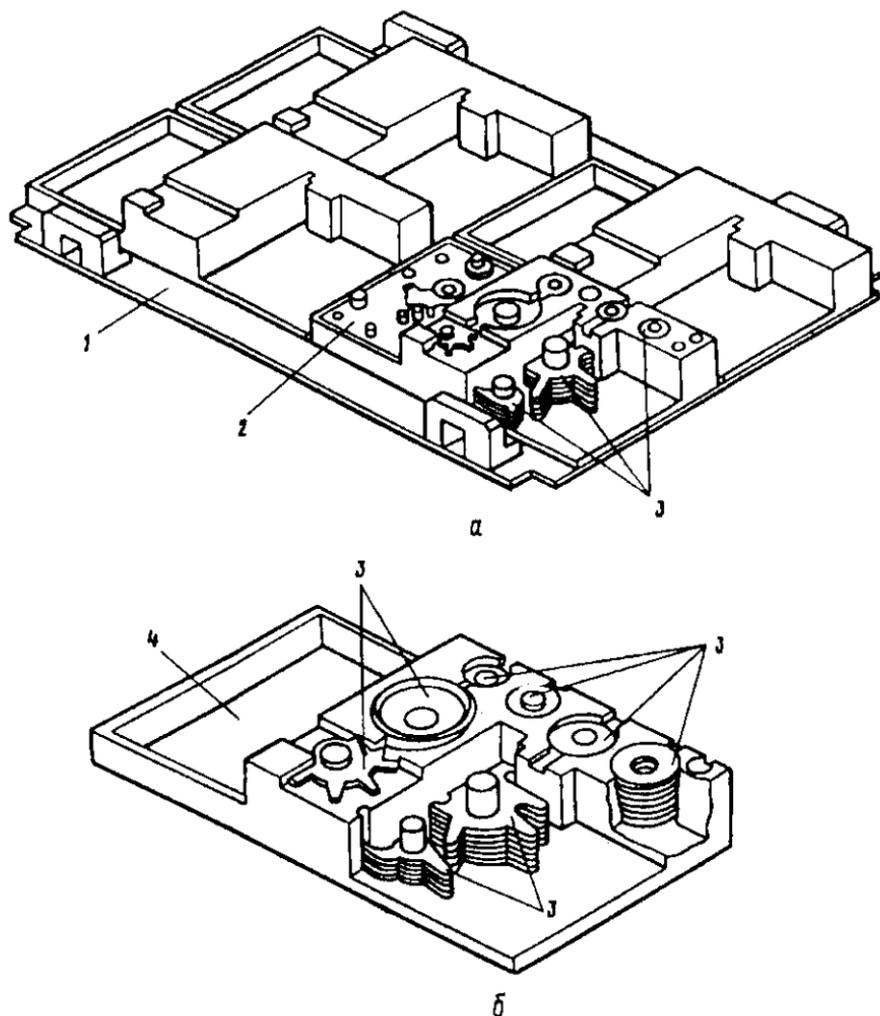


Рис. 10.43. Поддон (а) с четырьмя блоками (б):
 1 — поддон; 2 — базовая деталь; 3 — собираемые детали; 4 — зона установки
 сборочных приспособлений с базовой деталью

ства 9 и винтоверта 13, которые по программе могут перемещаться также по трем координатным осям X , Y и Z . Эти устройства оснащены системами 10 и 11 автоматической смены сборочных инструментов. После сборки изделие перемещается за пределы центра конвейером 7.

Как видно из вышеизложенного, сборочный центр обладает достаточно широкими функциональными возможностями. Он

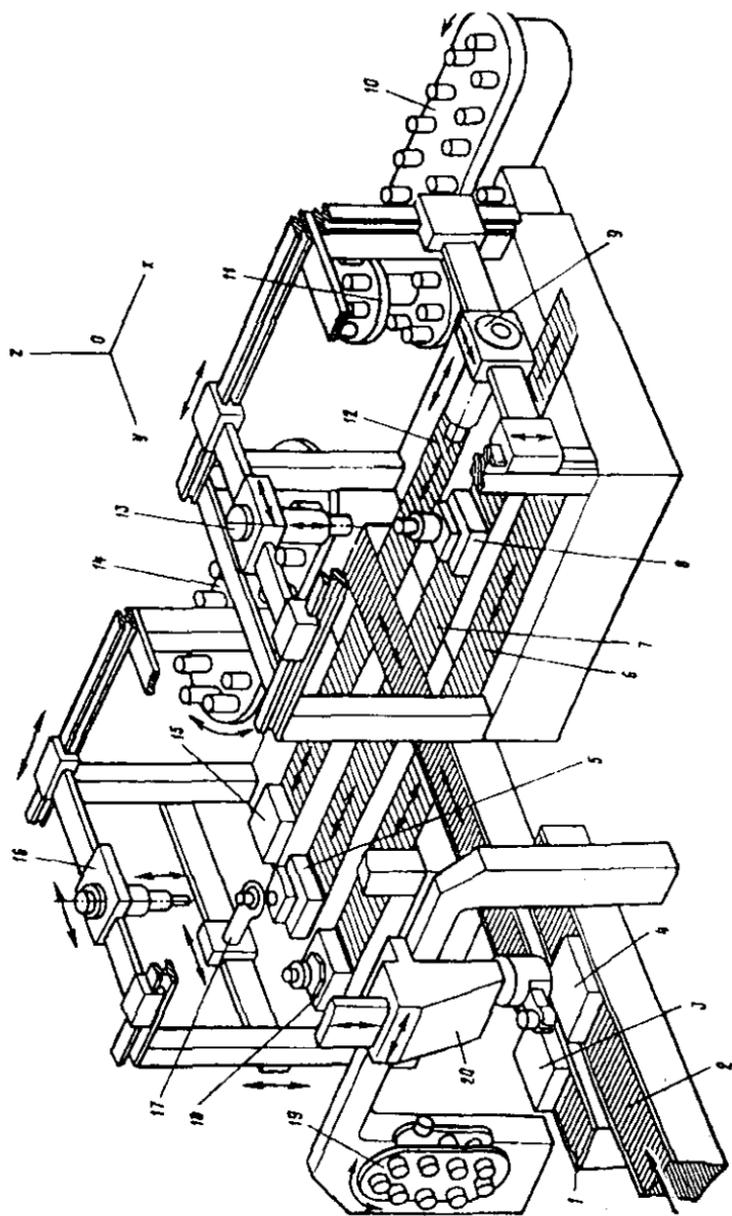


Рис. 10.44. Гибкий широкоуниверсальный сборочный центр для сборки различных изделий: 1, 2, 6, 7 и 12 — конвейеры; 3, 4, 15 и 18 — кассеты; 5 и 8 — сборочные приспособления; 9 — резьбозавертывающее устройство; 10, 11 и 14 — системы автоматической смены сборочных инструментов; 13 — винтоверт; 16 — устройство запросов; 17 — захватно-ориентирующее устройство; 19 — система автоматической смены захватных устройств; 20 — манипулятор

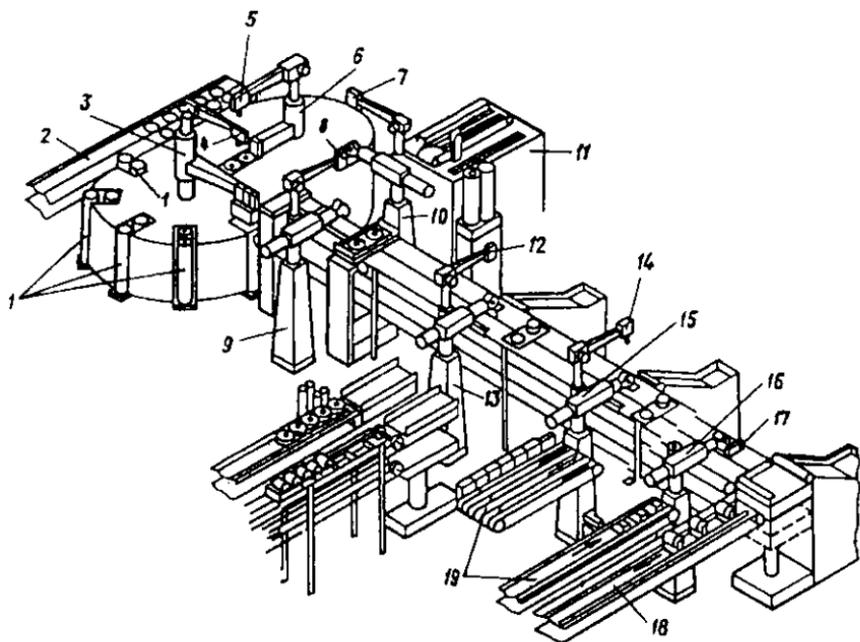


Рис. 10.45. Компонка линии для сборки электродвигателей: 1 — магазины собираемых деталей; 2 и 11 — транспортеры-накопители; 3, 6, 9, 10, 13, 15 и 16 — сборочные роботы; 4, 5, 7, 8, 12, 14 и 17 — телекамеры; 18 — накопительный конвейер; 19 — транспортеры-накопители

применяется для сборки различных изделий в условиях мелкосерийного и серийного производства.

Из сборочных центров с роботами компонуются сборочные линии. Такая линия, предназначенная для сборки электродвигателей, приведена на рис. 10.45. На первом центре, включающем роботы 3 и 6 с телекамерами 4 и 5, осуществляется предварительная сборка торцевых крышек. Здесь телекамеры выполняют контроль качества сборки и коррекции ориентации торцевых крышек. Следующий центр для сборки более сложных деталей (тумблеры, конденсаторы, переключатели) включает роботы 9 и 10 с телекамерами 7 и 8. Подача собираемых деталей к роботам 3, 6, 9 и 10 производится магазинами 1 и транспортерами-накопителями 2 и 11. Сборка выполняется на поддонах.

Далее процесс сборки осуществляется на третьем центре роботами 13 и 15 с телекамерами 12 и 14, которые контролируют качество деталей и правильность их ориентации. Кроме того,

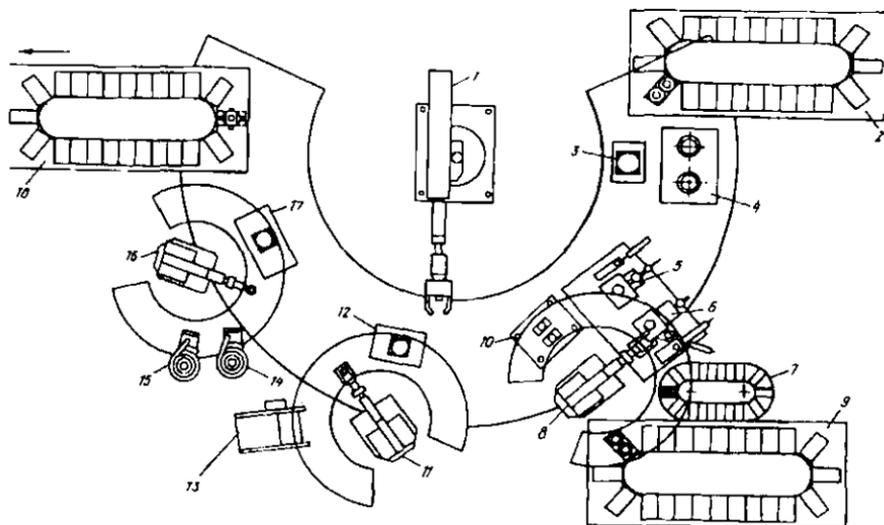


Рис. 10.46. Планировка сборочной линии фирмы "Фанук" (Япония) с круговым расположением сборочных центров: 1 — робот-питатель; 2, 7 и 9 — поворотные питатели соответственно с корпусами, роторами и крышками; 3 — установка нанесения покрытия; 4 — установка намагничивания; 5 — установка запрессовки масленок; 6 — запрессовка подшипников; 8, 11 и 16 — сборочные роботы; 10 — устройство сборки ротора и крышки; 12 — заворачивание болтов; 13, 14 и 15 — питатели соответственно с болтами, щетками и гайками; 17 — затяжка гаек; 18 — выходной транспортер

робот 15 оснащен датчиком контроля усилия затяжки болтов. Окончательная сборка электродвигателей производится на четвертом центре роботом 16 с телекамерой 17, обеспечивающей контроль совмещения собираемых узлов и деталей. Подача собираемых деталей к третьему и четвертому центрам осуществляется транспортерами-накопителями 19. Собранный электродвигатель робот 16 переносит на накопительный конвейер 18, а поддоны укладываются на конвейер возврата к центру предварительной сборки крышек.

В отличие от вышерассмотренной сборочной линии с линейным расположением сборочных центров фирма "Фанук" (Япония) создала подобную линию с круговым расположением четырех сборочных центров (рис. 10.46). На первом центре, который обслуживается общим роботом-питателем 1, осуществляется покрытие и намагничивание корпусов, поступающих с поворотного питателя 2. На втором основном сборочном центре производится запрессовка масленок и подшипников, а также установка ротора и крышек. Эти операции осуществляются на позициях 6,

5 и 10 при помощи робота 8 и общего робота-питателя 1. Подача собираемых деталей к роботу 8 выполняется поворотными питателями 7 и 9.

Ввинчивание болтов производится на третьем сборочном центре, который обслуживается роботом 11 и роботом-питателем 1. Болты на сборку поступают с питателя 13. На последнем сборочном центре происходит установка щеток и затяжка гаек, которые подаются к роботу 16 питателями 14 и 15. Готовая продукция устанавливается роботом-питателем 1 на выходной конвейер 18.

Для фирмы "Фанук" сборочные линии с круговым расположением сборочных центров являются типовыми. Подобные линии она создала для сборки насосов, электронных блоков и других изделий небольших габаритов.

На базе сборочных центров и поддонов (рис. 10.43) могут организовываться автоматизированные участки сборки сложных изделий. Такой участок показан на рис. 10.47. Здесь собираемые детали с соответствующих участков механической обработки подаются на конвейер 1, где рабочие, комплектующие поддоны 3, укладывают их определенным образом в блоки поддонов 4. Далее укомплектованные деталями поддоны при помощи конвейера 1 и поперечных конвейеров 5 перемещаются в зоны сбороч-

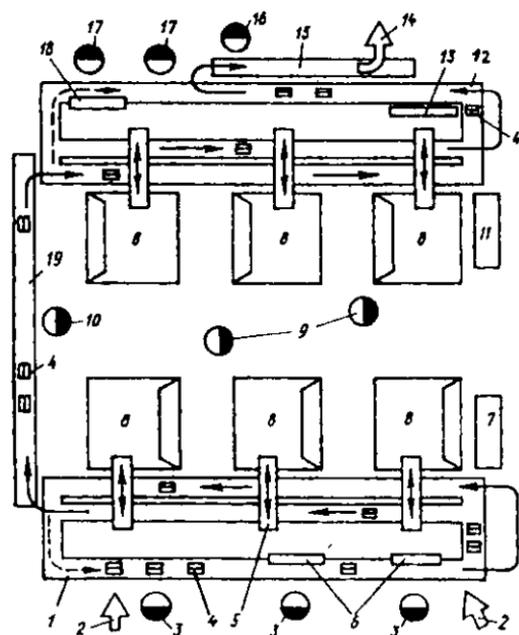


Рис. 10.47. Планировка автоматизированного участка на базе сборочных центров: 1, 12 и 15 — конвейеры; 2 — подача к конвейеру 1 собираемых деталей; 3 — рабочие, комплектующие поддоны; 4 — поддон; 5 — поперечные конвейеры; 6 — станция набора деталей; 7 и 11 — системы управления конвейерами; 8 — сборочные центры; 9 — оператор; 10, 16 и 17 — сборщики; 13 — специальное сборочное устройство; 14 — выход собранного изделия; 18 — универсальное сборочное устройство; 19 — транспортер-накопитель

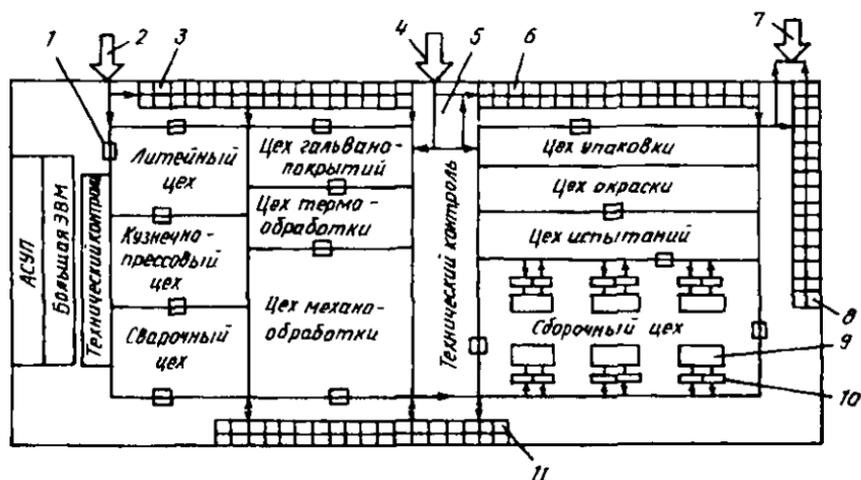


Рис. 10.48. Схема гибкого предприятия: 1 — робочая; 2 — подача материала на склад или в цеха; 3 — автоматический склад материала; 4 — подача покупных комплектующих изделий на склад или в цеха; 5 — участок распаковки, расконсервации и контроля покупных изделий; 6 — автоматический склад деталей, узлов и комплектующих изделий; 7 — отправка готовых изделий; 8 — автоматический склад готовой продукции; 9 — сборочные центры; 10 — накопители собираемых компонентов и собранных узлов; 11 — автоматический склад инструментов и приспособлений

ных центров 8, на которых выполняются соответствующие сборочные операции.

После первой сборки поддоны с подсобранными изделиями при помощи транспортера-накопителя 19, конвейеров 12 и 5 перемещаются на другие сборочные центры 8, где выполняется окончательная сборка изделий. Сборщики 17 устраняют дефекты сборки, а сборщик 16 осуществляет визуальный контроль изделий. Собранные изделия поступают на конвейер 15 и далее на выход 14.

Особый интерес представляют интегрированные производственные комплексы [31], которые решают всю совокупность задач производства с использованием САПР и АСУ. К этим задачам относятся проектирование изделий, технологии, оборудования и оснастки как для изготовления деталей, так и для сборки изделий. Схема гибкого предприятия с подобными комплексами приведена на рис. 10.48.

Создание предприятий на основе интегрированных производственных комплексов возможно при конструктивной, технологической, энергетической, организационно-производственной, информационной, программно-алгоритмической совместимости составляющих элементов производственной системы [31]. Ин-

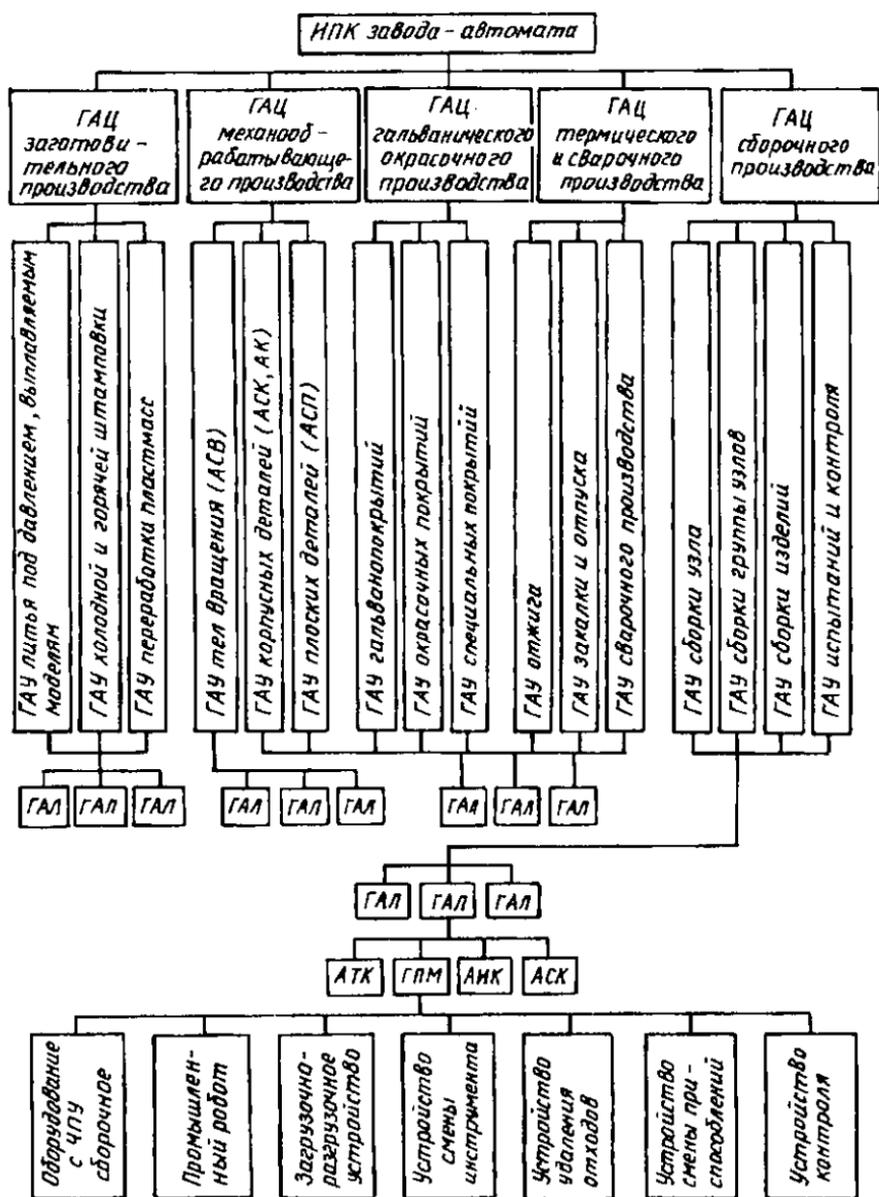


Рис. 10.49. Структура комплексной ГПС предприятия: ГАЦ, GAУ и ГАЛ – гибкие автоматизированные цех, участок и линия

тегрированные производственные комплексы объединяют все ГПС специализированных производств: литейное, кузнечно-прессовое, сварочное, механообрабатывающее, термическое, сборочное, испытательное и др. (рис. 10.49).

Глава 11

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И МАНИПУЛЯТОРЫ В МЕХАНОСБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

§ 11.1. Термины, определения и классификация

Промышленные роботы и манипуляторы находят все большее применение в системах металлообработки, заменяя человека (или помогая ему) на участках с опасными, вредными для здоровья, тяжелыми или монотонными условиями труда. Существуют три закона [106] использования роботов.

1. Они должны заменять людей на опасных и вредных работах (и этим оправдываются все затраты).

2. Роботы должны заменять людей на работах, которые люди не хотят делать (и этим также оправдываются все затраты).

3. Роботы должны заменять людей на работах, которые они (роботы) могут выполнять с меньшими затратами и лучшим качеством.

В основе применения промышленных роботов и манипуляторов в автоматизированных системах металлообработки лежат три главные причины [106]:

неприемлемость для человека энергетических затрат или условий выполнения той или иной работы;

невозможность обеспечения требуемого качества продукции вручную;

потребность в выпускаемом продукте настолько велика, что становится выгодным внедрение более совершенных методов производства.

Эти причины вытекают, в основном, из вышеуказанных законов использования роботов.

Что такое робот? Слово “робот” было придумано чешским писателем К. Чапек и образовано от слова “*robota*”, которое означает подневольный труд или барщину. У Чапека робот – это искусная в работе машина с человекоподобным поведением, которая частично выполняет функции человека при взаимодействии с окружающим миром, т.е. машина, которая умеет работать и не умеет мыслить [115].

Ассоциация робототехнической промышленности (США) приняла следующее определение робота [107].

Робот представляет собой предназначенный для выполнения некоторого набора операций многофункциональный манипулятор с возможностью смены управляющей программы, способный перемещать материалы, детали, инструменты и специальные устройства посредством задаваемых программой движений.

Несколько другое определение предложила Международная организация по стандартизации (ИСО).

Робот представляет собой предназначенный для выполнения некоторого набора операций автоматический позиционно-управляемый многофункциональный манипулятор с возможностью смены управляющей программы, обладающий несколькими степенями подвижности и способный производить набор программно-управляемых действий с материалами, деталями, инструментами и специальными устройствами.

В отечественной литературе [46] дается более общее определение робота без конкретизации его действий. Оно ближе к определению К. Чапека.

Робот — автоматическая машина, включающая перепрограммируемое устройство управления и другие технические средства, обеспечивающие выполнение тех или иных действий, свойственных человеку в процессе его трудовой деятельности.

Существует еще довольно распространенный термин, который неоднократно встречается и в данной работе, — промышленный робот. По ГОСТу 25686-85 он имеет следующее определение.

Промышленный робот — автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления, для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Как видно из вышеприведенных технических определений, в основе робота или промышленного робота лежит манипулятор. По терминологии Ассоциации робототехнической промышленности (США), манипулятор — механическое устройство, состоящее из нескольких звеньев или сегментов, скользящих друг по другу или соединенных шарнирно, управляемое человеком или ЭВМ и предназначенное для манипулирования объектами по нескольким степеням подвижности [107].

В отличие от данного определения в отечественной литературе [46] дается определение, сравнивающее манипулятор по выполняемым функциям с рукой человека, а именно: манипулятор — устройство для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом. Такое же по сути определение манипулятора дается в работе [13]. Ма-

нипулятор — это устройство, дистанционно управляемое оператором и (или) программным устройством, содержащее рабочий орган, который предназначен для имитации перемещений и рабочих функций кисти руки оператора.

С элементами руки человека связаны названия элементов механической части промышленных роботов и манипуляторов [107].

Кисть — класс многопальцевых захватов, иногда выделяемый по признакам количества пальцев и их подвижности, приближающийся к подвижности пальцев человеческой кисти.

Запястье — совокупность звеньев (как правило, вращательных), находящихся между предплечьем манипулятора и рабочим органом (например, кистью) робота, позволяющая ориентировать последний в пространстве.

Предплечье — часть многозвонного манипулятора между запястьем и локтем.

Локоть — сочленение, соединяющее плечо и предплечье манипулятора.

Плечо — звено манипулятора, непосредственно следующее за основанием.

Как отмечалось выше, манипулятор является составной частью робота или промышленного робота. Взаимосвязь их блоков наглядно представлена на структурной схеме промышленного робота (рис. 11.1). Последний получается из манипулятора путем оснащения его соответствующим схватом (рабочим органом) с информационными устройствами (сенсорными системами), двигателем и тормозом; устройством передвижения, а также системами управления дополнительными устройствами и роботом в целом.

Промышленный робот мод. “КОАТ-А-МАТИК” фирмы “Ретаб” (Япония) является аналогом руки человека и включает:

1) плечо в виде стойки 8 (рис. 11.2), которое может качаться при помощи гидроцилиндра 21 и поворачиваться относительно вертикальной оси при помощи гидроцилиндра 18;

2) предплечье 28, которое может качаться в локте при помощи гидроцилиндра 9;

3) запястье, состоящее из двух качательных пар с гидродвигателями 1 и 3 и вращательной пары с гидродвигателем 6;

4) рабочий орган в виде распылительной головки.

Датчиками обратной связи при повороте и качании плеча, качании предплечья в локте и ориентирующих движениях запястья являются потенциометры 15, 7, 2, 4 и 5 соответственно.

Уравновешивание подвижных частей манипулятора (плеча и предплечья) осуществляется пружинами 11.

В рассматриваемом роботе используется устройство управления контурного типа с программносителем в виде магнитного диска.

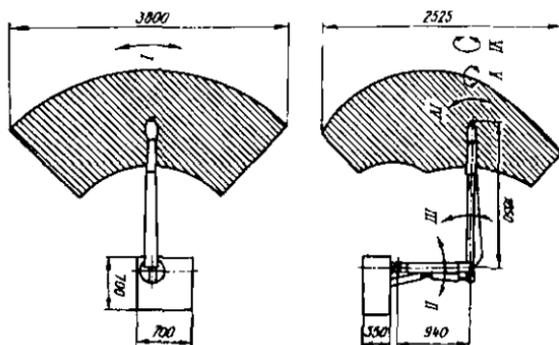


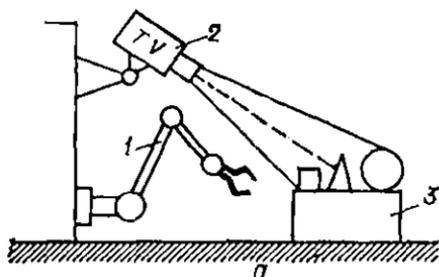
Рис. 11.3. Упрощенная схема компоновки манипулятора и его рабочая зона (заштрихована)

Упрощенная схема компоновки манипулятора указанного робота и его рабочая зона (заштрихована) приведены на рис. 11.3.

В зависимости от “интеллектуальности”, определяемой мощностью управляющей вычислительной системы, различают три поколения промышленных роботов. Вычислительная мощность систем управления роботом первого поколения весьма мала (иногда равна нулю). Единственная “интеллектуальная” функция этих систем заключается в запоминании последовательности действий, задаваемой оператором с обучающего пульта. Эти роботы наиболее эффективно применяются в условиях мелкосерийного и серийного производства для выполнения транспортных и вспомогательных операций в автоматизированных системах (ГПМ, ГАЛ, ГАУ, ГПС сборки).

В роботах второго поколения применяются небольшие (по объему памяти) микропроцессоры и различные сенсорные системы, с помощью которых они могут реагировать на изменения внешней среды. В них стало возможным рассчитывать в реальном масштабе времени движения звеньев манипулятора по всем степеням подвижности, что позволяет реализовать плавные перемещения рабочего органа по заданным траекториям. Роботы второго поколения могут выполнять операции с деталями, находящимися на движущемся конвейере. Эти роботы находят все большее применение при выполнении процессов автоматизированного производства: точечной и дуговой сварки, окраски распылением, сборки.

На рис. 11.4 показаны схема и блок-схема системы управления робота второго поколения с телевизионной камерой (система “глаз-рука”). Здесь манипулятор 1 с помощью телевизионной камеры 2 может из совокупности различных деталей, лежащих навалом на столе 3, выбирать детали заданной формы.



Визуальная подсистема

Подсистема обработки данных

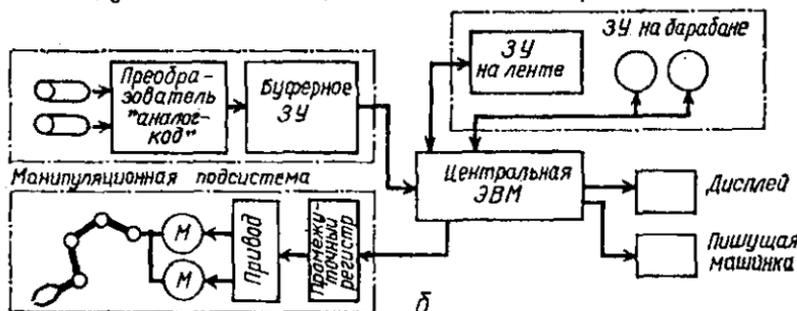


Рис. 11.4. Схема робота второго поколения — а и блок-схема системы управления — б: 1 — манипулятор; 2 — телевизионная камера; 3 — стол с различными предметами

Следует отметить, что роботы второго поколения называются еще адаптивными роботами, так как они оснащены сенсорными системами, с помощью которых могут приспосабливаться к изменениям внешней среды.

Роботы третьего поколения (интегральные роботы) или, как их иногда называют, роботы с искусственным интеллектом отличаются от вышерассмотренных тем, что их система управления состоит из нескольких асинхронно работающих микроЭВМ. В данном случае имеются управляющие микропроцессоры для каждой степени подвижности робота и центральный процессор, координирующий их работу. Каждый микропроцессор обрабатывает сигналы внутренних датчиков положения и скорости своего звена манипулятора, а центральный процессор, координируя их работу, взаимодействует с внешними датчиками, другими роботами и элементами автоматизированных систем (например, станками), хранит в своей памяти различные программы и обменивается информацией с другими ЭВМ.

В роботах третьего поколения весьма сложно математическое обеспечение. В их "память" заносят математическую модель внеш-

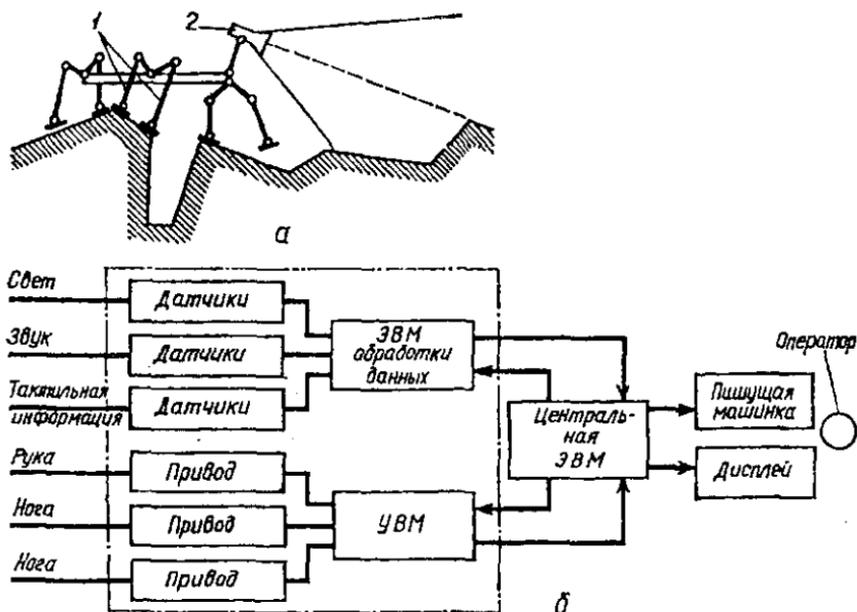


Рис. 11.5. Схема робота третьего поколения — *a* и блок-схема системы управления — *б*: 1 — шестиногий робот; 2 — телевизионная камера

ней среды и общую цель задачи [108]. Что касается конкретной программы действий, то она вырабатывается в процессе движения робота на основании сопоставления модели внешней среды, общей цели и информации, получаемой от сенсорных систем. Роботы третьего поколения относятся к самообучающимся машинам.

В качестве примера на рис. 11.5 приведены схема *a* и блок-схема системы управления *б* шагающего робота третьего поколения, имеющего шесть ног. Этот робот может с помощью телевизионной камеры 2 перемещаться по сильно пересеченной местности.

Роботы третьего поколения находятся еще в стадии экспериментальной разработки. По мнению специалистов они должны применяться в средах, где не может работать человек. Это океанские глубины, космос, поверхности других планет, зоны высокого радиоактивного излучения. Такие роботы могут вести и сложные сборочные работы в машиностроительной промышленности.

Независимо от поколения промышленные роботы классифицируются по многим признакам, характеризующим назначение, основные параметры, привод и т.д.

По характеру выполняемых операций они делятся на три группы:

технологические (производственные) роботы, которые в качестве производящих или обрабатывающих машин участвуют в выполнении основных технологических операций: сварки, окраски, гибки, пайки, сборки и т.д.;

вспомогательные (подъемно-транспортные) роботы, выполняющие действия типа взять-перенести-положить (установка заготовок и съем обработанных деталей, смена инструмента в оперативных магазинах и т.д.);

универсальные роботы, предназначенные для выполнения разнородных технологических операций: основных и вспомогательных.

По степени специализации технологические и вспомогательные промышленные роботы подразделяются на:

специальные роботы, предназначенные для выполнения определенной технологической операции или обслуживания конкретной модели технологического оборудования;

специализированные (целевые) роботы, выполняющие технологические операции одного вида (сварка, окраска, сборка и т.д.) или обслуживающие широкую номенклатуру моделей основного технологического оборудования;

многоцелевые роботы, предназначенные для выполнения различных основных технологических или вспомогательных операций.

По способу установки на рабочем месте промышленные роботы могут быть напольные, подвесные и встроенные, а по возможности передвижения — стационарные и подвижные.

По типу приводов манипулятора и устройства передвижения промышленные роботы подразделяются на электромеханические, гидравлические, пневматические и с комбинированным приводом.

По грузоподъемности промышленные роботы делятся на: сверхлегкие (до 1 кг), легкие (1 — 10 кг), средние (10 — 200 кг), тяжелые (200 — 1000 кг) и сверхтяжелые (свыше 1000 кг).

По числу степеней подвижности промышленные роботы могут быть с двумя, тремя, четырьмя и более степенями подвижности манипулятора.

По числу рук промышленные роботы подразделяются на однорукие, двурукие и многорукие.

В промышленных роботах могут применяться следующие системы основных координатных перемещений: прямоугольная, цилиндрическая, сферическая и комбинированная.

По способу управления промышленные роботы делятся на роботы с программным управлением: цикловым, пози-

ционным и контурным; с адаптивным управлением: позиционным и контурным.

По типу используемых сигналов в системе управления промышленные роботы могут быть с аналоговой, цифровой и цифро-аналоговой системами.

По способу программирования промышленные роботы могут иметь системы с внешним программированием, обучением и комбинированные.

По точности позиционирования или воспроизведения траектории промышленные роботы делятся на четыре класса — 0, 1, 2 и 3, которым соответствуют следующие относительные погрешности в %: класс 0 до 0,01; класс 1 от 0,01 до 0,05; класс 2 от 0,05 до 0,1 и класс 3 свыше 0,1%.

Основными техническими показателями промышленных роботов являются:

1. Грузоподъемность робота, определяемая как суммарная грузоподъемность его рук.

2. Грузоподъемность руки, равная наибольшей массе объектов манипулирования (с учетом массы захватного устройства) при экстремальных условиях перемещения.

3. Число степеней подвижности.

4. Погрешность позиционирования, представляющая собой отклонение заданной позиции исполнительного механизма от фактической при многократном позиционировании. Данная погрешность оценивается в линейных или угловых единицах.

5. Погрешность отработки (воспроизведения) траектории, представляющая собой отклонение фактической траектории от заданной по программе.

6. Рабочее пространство промышленного робота, определяемое как пространство, в котором может находиться рабочий орган.

7. Рабочая зона, определяемая как пространство, в котором может находиться рабочий орган при функционировании промышленного робота.

8. Зона обслуживания промышленного робота, представляет собой часть рабочей зоны, где полностью сохраняются заданные значения технических характеристик.

§ 11.2. Компонка и конструкции промышленных роботов

Кинематика манипуляторов промышленных роботов. Компонка и конструктивные схемы манипуляторов промышленных роботов зависят от совокупности движений,

выполняемых для обеспечения производственного функционирования. Эти движения подразделяются на три вида: глобальные, региональные и локальные.

Глобальными называются межоперационные движения робота, необходимые для его взаимодействия с удаленными друг от друга технологическими объектами (например, обслуживание группы оборудования, автоматизированной линии и т.п.). Они совершаются, как правило, на расстояния, превышающие размеры робота, и осуществляются при помощи двухкоординатных порталов, порталных кареток или транспортных тележек.

К региональным движениям манипулятора относятся внутриоперационные перемещения от рабочего органа в любую точку рабочей зоны, определяемые размерами звеньев руки. Сюда относятся все перемещения, связанные с транспортировкой заготовок и обработанных деталей на одном технологическом оборудовании.

Локальными называются движения, связанные с ориентацией схвата (перебазирование обрабатываемых деталей, ориентация деталей при сборке и т.д.). Эти движения совершаются в основном при помощи запястья манипулятора.

С другой стороны для перемещения тела (в нашем случае заготовки, детали или инструмента) в любую точку рабочей зоны механизм перемещения должен иметь не менее шести степеней подвижности: три — для осуществления переносных движений по координатным осям X , Y , Z и три — для получения вращательных движений относительно этих осей. Данные движения обеспечиваются соответствующими поступательными и вращательными кинематическими парами.

В манипуляторах промышленных роботов число и последовательность поступательных и вращательных кинематических пар в принципе могут быть любыми. Они зависят от характера производственного функционирования манипулятора. В свою очередь последовательность кинематических пар определяет систему координат, используемую в манипуляторе.

В зависимости от вида кинематических пар, используемых в структуре манипулятора, обеспечиваются различные группы движений: поступательных, вращательных и комбинированных. Сочетанием кинематических пар получается 60 совокупностей индексов подвижности [108], а следовательно, и 60 типов кинематических структур манипуляторов. В действительности число кинематических структур намного больше, так как они зависят не только от количества, но и от последовательности расположения кинематических пар [127].

На рис. 11.6 представлены кинематические структуры манипуляторов промышленных роботов с указанием индексов под-

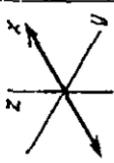
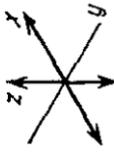
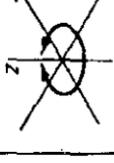
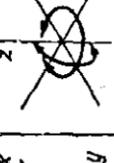
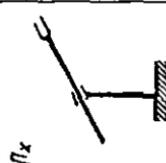
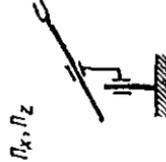
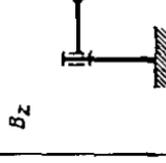
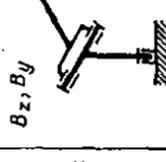
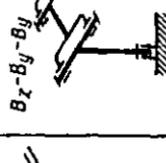
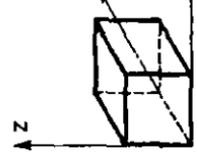
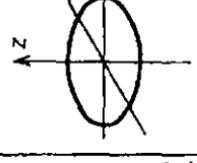
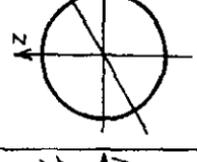
		Поступательные движения (Π)			Вращательные движения (B)		
Индекс подвижности	Π_x, Π_y, Π_z	$\Pi_x - \Pi_y, \Pi_x - \Pi_z, \Pi_y - \Pi_z$	$\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z$	B_x, B_y, B_z	$B_x - B_y, B_x - B_z, B_y - B_z$	$B_x - B_y - B_z$	
Комер подвижности	1-3	4-6	7	8-10	11-13	14	
Пример движения							
Кинематическая структура примера							
Рабочая область примера							

Рис. 11.6. Кинематические структуры манипуляторов промышленных роботов: а — поступательные и вращательные движения; б — комбинированные движения

Комбинированные движения (П,В)						
Индекс подвижности	$(\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z) - (B_x - B_y - B_z)$	$(\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z) - (\Pi_x - \Pi_z) - (\Pi_y - \Pi_z) - (B_x - B_y) - (B_x - B_z) - (B_y - B_z)$	$(\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z) - (B_x - B_y - B_z)$	$(\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z) - (B_x - B_y - B_z)$	$(\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z) - (B_x - B_y - B_z)$	$(\Pi_x - \Pi_y - \Pi_z) - (B_x - B_y - B_z)$
Число подвижности	15-23	24-32	33-35	36-44	45-53	60
Пример движения						
Кинематическая структура примера						
Рабочая область примера						

Рис. 11.6. Продолжение

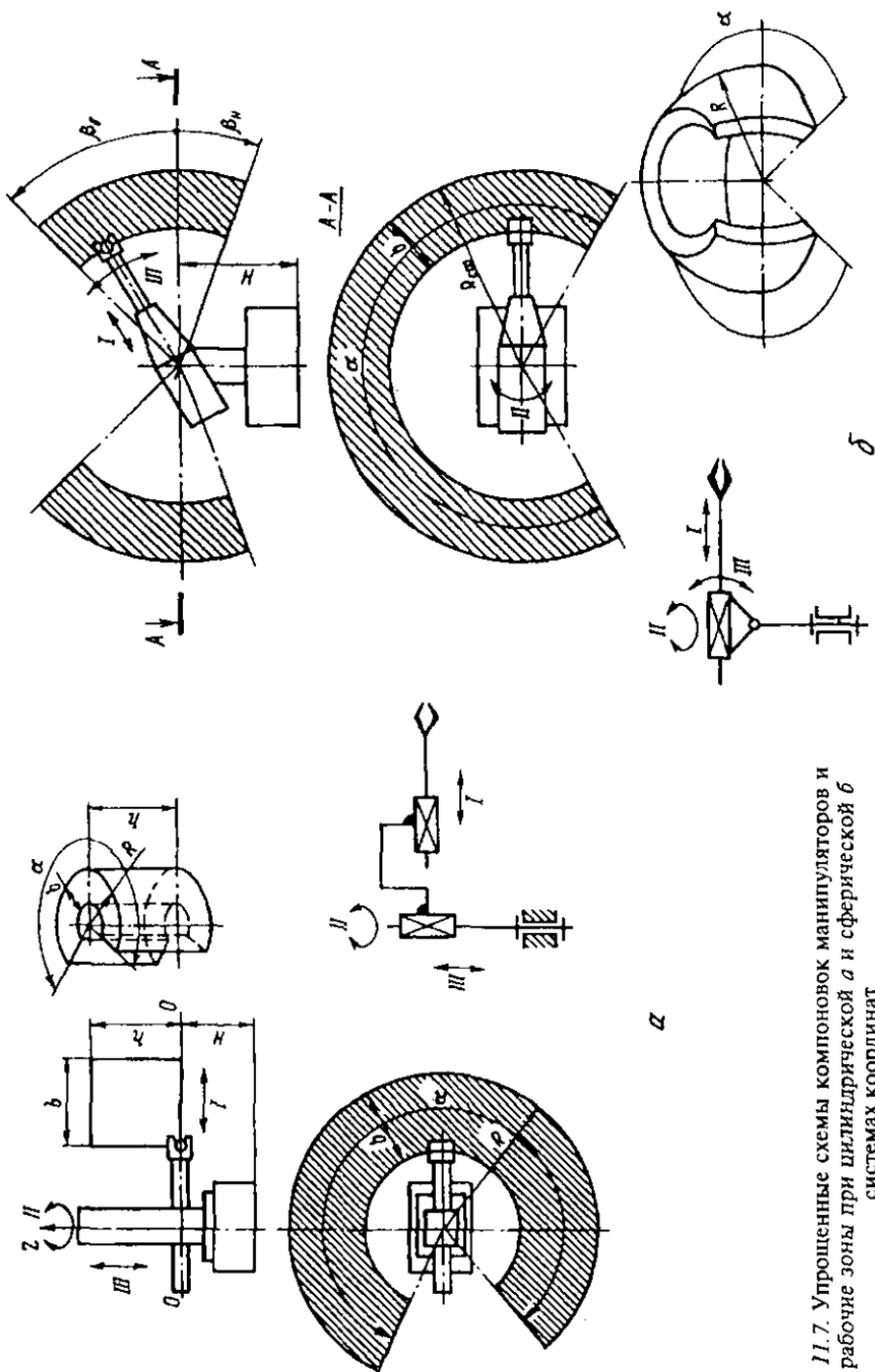


Рис. 11.7. Упрощенные схемы компоновок манипуляторов и их рабочие зоны при цилиндрической *a* и сферической *b* системах координат

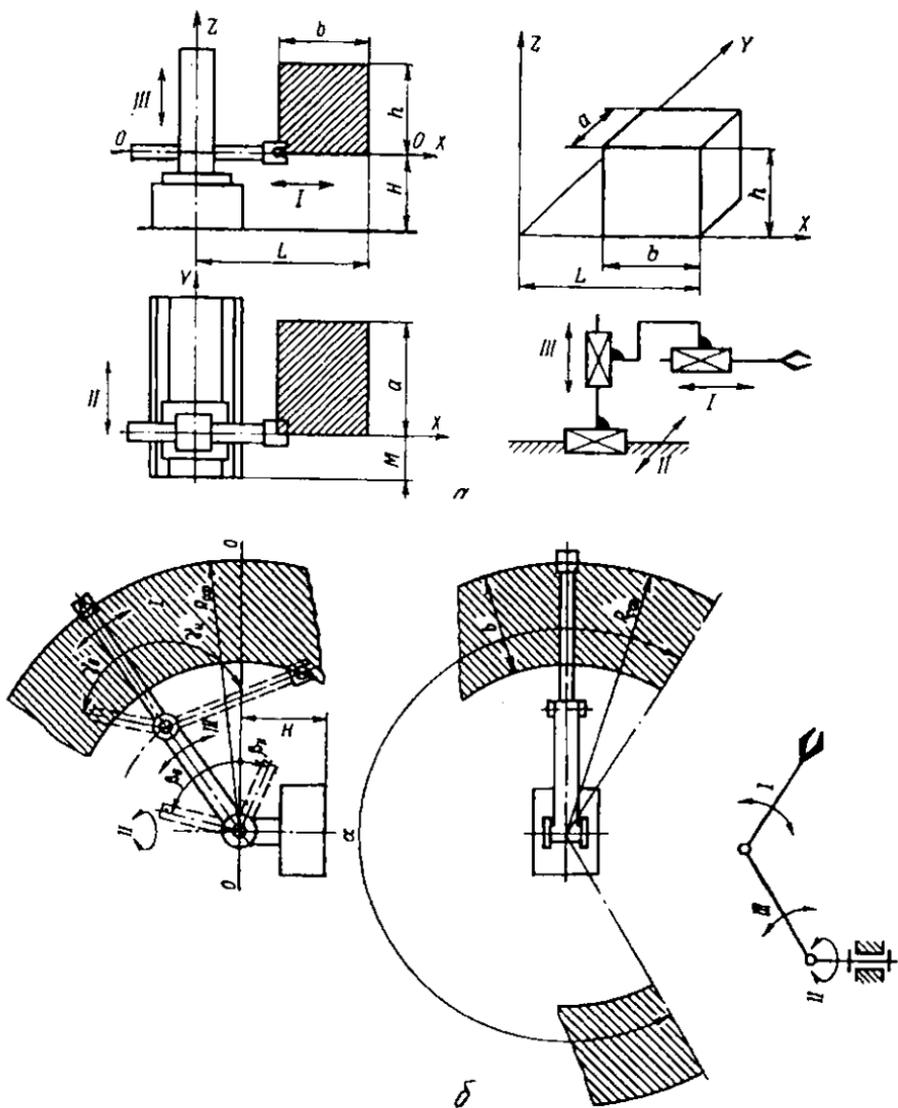


Рис. 11.8. Упрощенные схемы компоновок манипуляторов и их рабочие зоны при прямоугольной (а) и комбинированной (б) системах координат

вижности, групп движений (показаны жирными линиями) и рабочих зон (областей). Здесь индекс подвижности имеет направленный граф [108]. Например, запись $\vec{B}_z - \vec{B}_y - \vec{\Pi}_x$ обозначает следующую структуру манипулятора: вращающаяся стойка (B_z), на которой установлен поворотный привод (B_y), где в свою очередь находится привод поступательного перемещения (Π_x).

Каждой системе координат, используемой в манипуляторах, соответствует своя рабочая зона (область) и определенный порядок перевода рабочих органов из одной точки в другую. Это учитывается при программировании движений робота.

На рис. 11.7 и 11.8 приведены упрощенные схемы компоновок манипуляторов и их рабочие зоны при различных системах координат. В цилиндрической системе координат (рис. 11.7а) переносные степени подвижности *I*, *II* и *III* обеспечивают независимое (раздельное) изменение длины руки (ось *X*), угла α ее поворота относительно оси *Z* и высоты *H* подъема (ось *Z*). В этой системе рабочая зона получается в виде усеченного или полного полого цилиндра с параметрами *R*, *b*, *h* и α .

В сферической системе координат (рис. 11.7б) переносные степени подвижности *I*, *II* и *III* обеспечивают независимое изменение длины руки (координата ρ в полярной системе), угла α ее поворота относительно оси *Z* и угла β качания в вертикальной плоскости. Здесь рабочая зона получается в виде усеченного или полного тора с параметрами $R_{\text{сф}}$, b , $\beta_{\text{н}}$, $\beta_{\text{в}}$ и α .

В прямоугольной системе координат (рис. 11.8а) переносные степени подвижности *I*, *II* и *III* обеспечивают независимое изменение длины руки (ось *X*), ее перемещения по оси *Y* и высоты *H* подъема (ось *Z*). В данной системе рабочая зона получается в виде параллелепипеда с параметрами *a*, *b* и *h*.

В комбинированной системе координат (рис. 11.8б) переносные степени подвижности *II* и *III* обеспечивают независимое изменение углов α и β (координаты φ и θ в полярной системе), а степени подвижности *I* и *III* — изменение координаты ρ . Здесь рабочая зона получается в виде пространства, ограниченного двумя сферами, имеющими общий центр. Параметрами рабочей зоны являются $R_{\text{сф}}$, *b*, α , $\beta_{\text{в}}$, $\beta_{\text{н}}$, $\gamma_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{н}}$.

При выборе (или проектировании) промышленных роботов с той или иной системой координат используют следующие критерии оценки: точность позиционирования, занимаемую производственную площадь, возможность применения модульной конструкции, сложность программирования, а также конструктивные и технологические соображения. Так, при равных условиях наибольшая точность позиционирования получается в роботах с прямоугольной системой координат. Причем она не зависит от исходного положения и величины перемещения рабочего органа. Меньшая производственная площадь требуется для промышленных роботов со сферической, цилиндрической и комбинированной системами координат, а большая — с прямоугольной системой координат. Далее, если к точности перемещения рабочего органа по всей траектории или на отдельных ее участках предъявляются особые требования, предпочтение отдается прямоугольной системе координат, для которой программирование осуще-

ствляется несколько проще. Наконец, создание манипуляторов с модульной компоновкой проще всего осуществлять при использовании прямоугольной системы координат.

Конструкции промышленных роботов. На рис. 11.9 представлена конструкция стационарного промышленного робота мод. *ROBOTRON* (Германия), который относится к семейству роботов с цилиндрической системой координат. На основании 9 смонтировано поворотное устройство 8 с двигателем в виде пневмоцилиндра 10, а также механизм упоров 1, при помощи которого задается угол поворота руки относительно оси Z. На поворотном устройстве установлена колонна 5, по которой может перемещаться вертикальная каретка 4 с рукой 7 и механизмом ее выдвижения 6. На конце руки закреплено запястье 3, ориентирующее в пространстве модуль захвата 2 путем сообщения ему линейного перемещения и поворота. В механизмах перемещения каретки и выдвижения руки, а также в запястье ис-

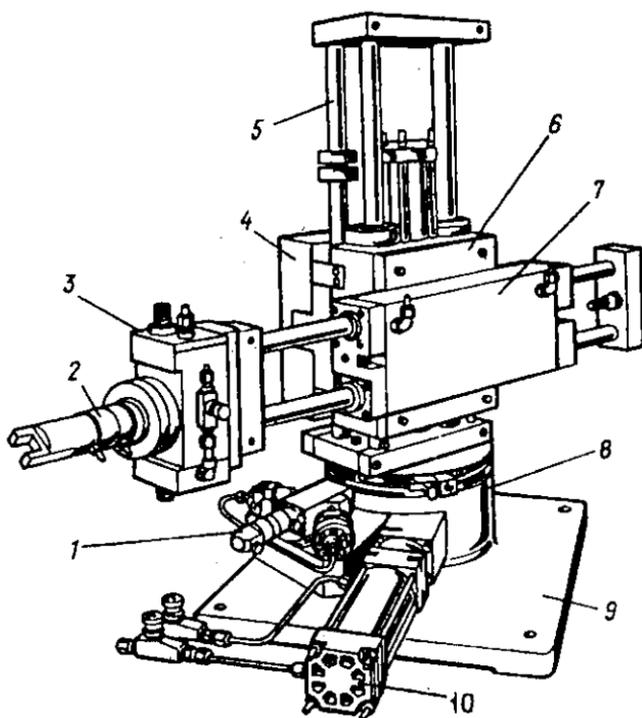


Рис. 11.9. Промышленный робот мод. *ROBOTRON* (Германия) с цилиндрической системой координат: 1 — механизм упоров; 2 — модуль захватывания; 3 — запястье; 4 — вертикальная каретка; 5 — колонна; 6 — переходник; 7 — рука с механизмом выдвижения; 8 — поворотное устройство; 9 — основание; 10 — пневмоцилиндр

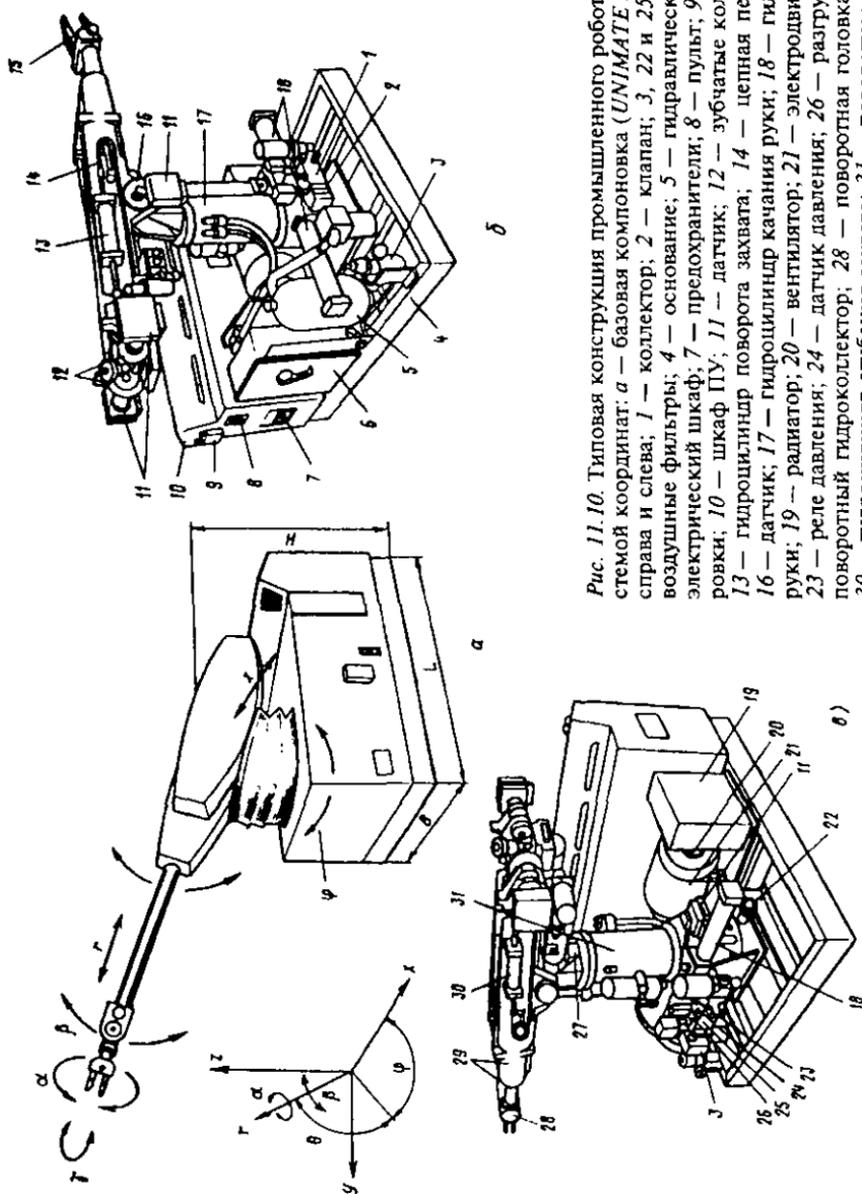


Рис. 11.10. Типовая конструкция промышленного робота со сферической системой координат: *a* — базовая компоновка (UNI/MATE MARK II); *б* и *в* — вид справа и слева; 1 — коллектор; 2 — клапан; 3, 22 и 25 — гидравлические и воздушные фильтры; 4 — основание; 5 — гидравлический аккумулятор; 6 — электрический шкаф; 7 — предохранители; 8 — пульт; 9 — устройство блокировки; 10 — шкаф ПУ; 11 — датчик; 12 — зубчатые колеса вращения кисти; 13 — гидроцилиндр поворота захвата; 14 — цепная передача; 15 — захват; 16 — датчик; 17 — гидроцилиндр качания руки; 18 — гидроцилиндр поворота руки; 19 — радиатор; 20 — вентилятор; 21 — электродвигатель гидростанции; 23 — реле давления; 24 — датчик давления; 26 — разгрузочный клапан; 27 — поворотный гидрокolleктор; 28 — поворотная головка захвата; 29 — рука; 30 — гидроцилиндр сгибания захвата; 31 — поворотная колонна

пользуется пневматический привод. Точность позиционирования достигает $\pm 0,05$ мм.

Промышленные роботы, подобные по кинематической структуре вышерассмотренному, выпускались в бывшем СССР (М20П40.02, РКТБ, СМ40Ц40.11 и др.), США (М-1200, *VERSATRAN E-ESH* и др.), Германии (*ZF20, SIBOT-2* и др.), Японии (*MHY JUNIOR, TYPE RTP, TAIBOT N-25* и др.) и др. странах. Технические характеристики таких роботов приведены в работе [46]. В них используются пневматический, гидравлический и электромеханический приводы. Применяются цикловая, позиционная, контурная или комбинированная системы управления. Способы программирования: по упорам или путем обучения.

На рис. 11.10 показана типовая конструкция стационарного промышленного робота со сферической системой координат. Такие роботы изготавливались [46] в бывшем СССР (“Универсал-15”, “Универсал-60” и др.), США (*UNIMATE MARK II, UNIMATE 2000, PRAB-4200* и др.), Англии (*UNIMATE 2100, SPACE SAVER* и др.), Японии (*KAWASAKI UNIMATE 2000, TYPE RB* и др.) и других странах. В данной конструкции на общем основании 4 смонтированы гидростанция и поворотная колонна 31, осуществляющая поворот выдвигной руки 29 относительно оси Z при помощи гидроцилиндра 18. Кроме того, рука может совершать качательное движение в вертикальной плоскости относительно колонны при помощи гидроцилиндра 17 качания руки. На выдвигной руке установлены два гидроцилиндра 30 и 13, посредством которых в запястье осуществляются соответственно сгибание (угол β) и поворот (угол α) захвата. Все приводы оснащены кодовыми датчиками положения. Что касается применяемых систем программного управления, то они могут быть позиционными, контурными или комбинированными. Способы программирования: путем обучения, от ЭВМ или на магнитном носителе.

Представитель гаммы промышленных роботов с прямоугольной системой координат робот фирмы “Бош” приведен на рис. 11.11. Здесь на неподвижном основании 2 расположены горизонтальные салазки 1 (ось X), на которых смонтирована колонна 3 (на рис. 11.11 основные узлы робота показаны в разъединенном положении). По колонне может перемещаться каретка 4 (ось Z) с выдвигной рукой 5 (ось Y). На конце выдвигной руки установлено запястье 6, сообщающее захватному устройству 7 два ориентирующих движения: поворот и локальное линейное перемещение. Перемещения по осям координат X, Y, Z, т.е. горизонтальных салазок 1, выдвигной руки 5 и каретки 4 осуществляются при помощи электромеханических приводов, в которых используются серводвигатели с дисковым ротором. В качестве датчиков пути применяются вращающиеся оптические датчики. Что

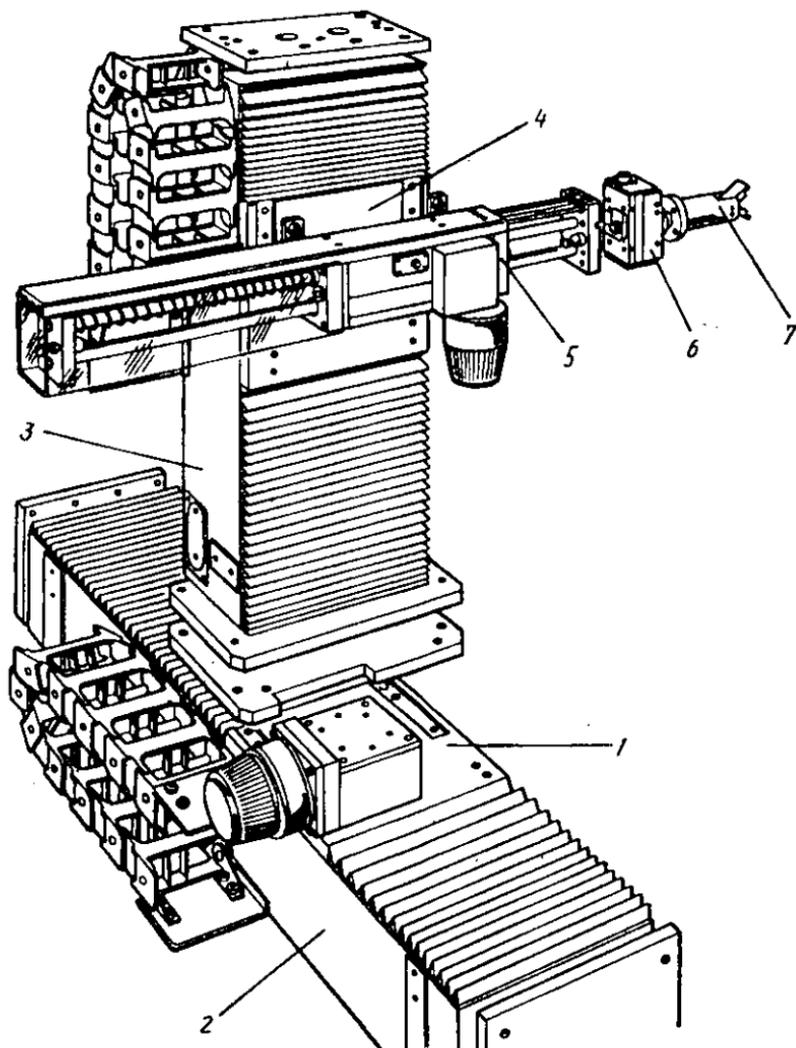


Рис. 11.11. Промышленный робот фирмы "Бош" (Германия) с прямоугольной системой координат: 1 — горизонтальные салазки; 2 — основание; 3 — колонна; 4 — каретка; 5 — выдвигающая рука; 6 — запястье; 7 — захватное устройство

касается ориентирующих (локальных) перемещений в запястье, то они осуществляются посредством пневматических приводов.

В промышленных роботах указанной гаммы применяются позиционные, контурные и комбинированные системы программного управления. Способы программирования: путем обучения,

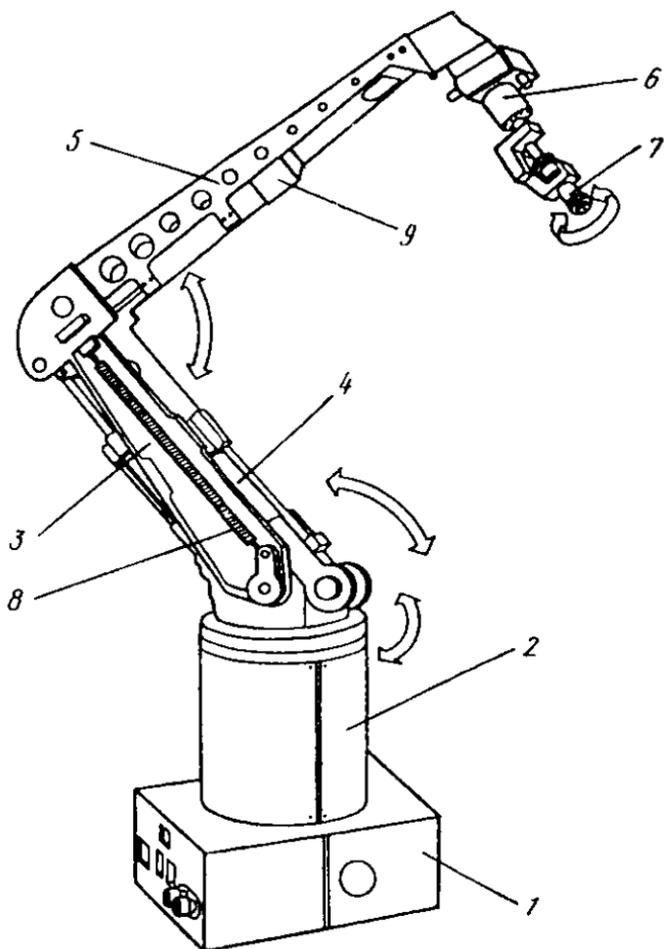


Рис. 11.12. Промышленный робот мод. "Контур-002" с комбинированной системой координат: 1 — основание; 2 — поворотное устройство; 3 — плечо; 4 — гидроцилиндр; 5 — предплечье; 6 — запястье; 7 — рабочий орган; 8 — пружины; 9 — гидроцилиндр

от ЭВМ или на магнитном носителе. Погрешность позиционирования не превышает $\pm 0,05$ мм.

На рис. 11.12 показан стационарный промышленный робот мод. "Контур-002" с многозвенной рукой, который относится к семейству роботов с комбинированной системой координат. Такие роботы выпускались в бывшем СССР ("Колер", "Контур-002" и др.), Италии (*PAINTER*, *SPRAYING ROBOT* и др.), Швеции (*ASEA IRB-6*, *COAT-A-MATIK* и др.), Германии (*IR-SE*, *IR-30E* и др.) и других странах.

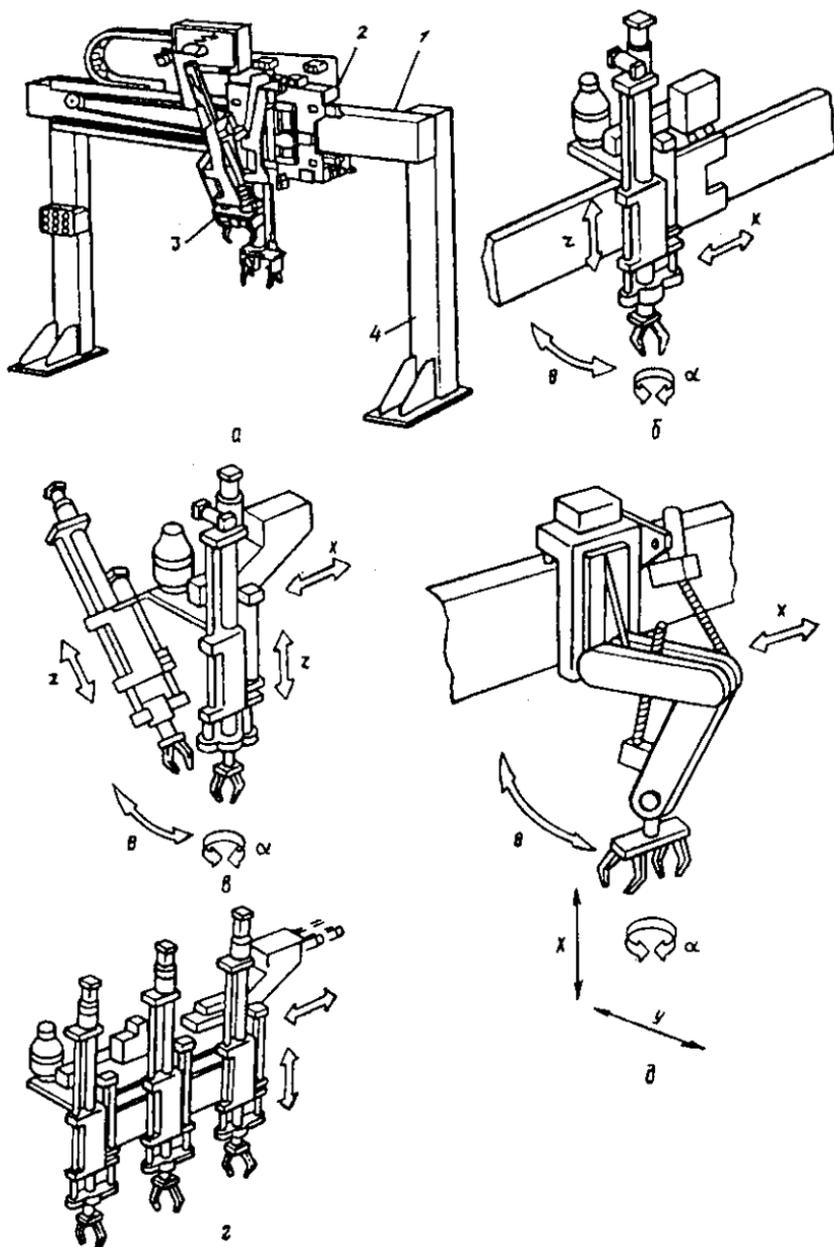


Рис. 11.13. Варианты исполнения порталных промышленных роботов:
 а — общий вид; б — исполнение 1 с одной линейной рукой; в — исполнение 2 с двумя линейными руками; г — исполнение 3 с тремя линейными руками;
 д — исполнение 4 с многозвенной рукой; 1 — монорельс (портал);
 2 — каретка; 3 — рука; 4 — стойки

В указанном роботе на неподвижном основании 1 смонтировано поворотное устройство 2, в верхней части которого на оси установлено плечо 3 многозвенной руки. Оно может качаться относительно поворотного устройства при помощи гидроцилиндра 9. К плечу посредством локтевого сочленения присоединено предплечье 5, которое тоже может качаться, но относительно плеча при помощи гидроцилиндра 4. На конце предплечья закреплено запястье 6, сообщающее ориентирующие (локальные) движения рабочему органу 7. На подобных роботах, относящихся к группе универсальных, в качестве рабочих органов могут использоваться пневмораспылители красок, песко- и дробеструйные сопла, сварочные наконечники, клещевые схваты и т.д.

В рассматриваемом окрасочном роботе применяется контурная система программного управления типа "Сфера-16". Программирование осуществляется путем обучения. Погрешность воспроизведения траектории большая: достигает $\pm 3,0$ мм.

В автоматизированных станочных системах широко применяются не только стационарные (напольные или встроенные), но и подвижные порталные промышленные роботы. Четыре исполнения порталных роботов приведены на рис. 11.13. Робот с двумя руками (исполнение 2) применяется в основном для установки заготовок на станок одной рукой и съема готовых деталей другой рукой. В этом случае сокращается время на транспортные перемещения по сравнению с роботом, имеющим одну руку (исполнение 1). Третья рука (исполнение 3) используется в основном для автоматической смены инструментов в магазине.

Модульные конструкции промышленных роботов. В развитии робототехники, также, как и в развитии автоматизированного технологического оборудования, большую роль играет принцип агрегатирования, т.е. принцип создания различных манипуляторов, информационных и управляющих систем на основе определенной совокупности модулей. Данный принцип позволяет:

сократить сроки проектирования и изготовления промышленных роботов;

уменьшить номенклатуру комплектующих узлов и снизить их стоимость путем организации специализированного производства с применением типовых технологических процессов;

повысить применяемость промышленных роботов за счет их удешевления в результате сокращения издержек в сфере производства, а также возможности приобретения заказчиком только тех модулей, которые необходимы ему для создания требуемого робота;

упростить эксплуатацию и ремонт промышленных роботов, повысить их надежность и долговечность.

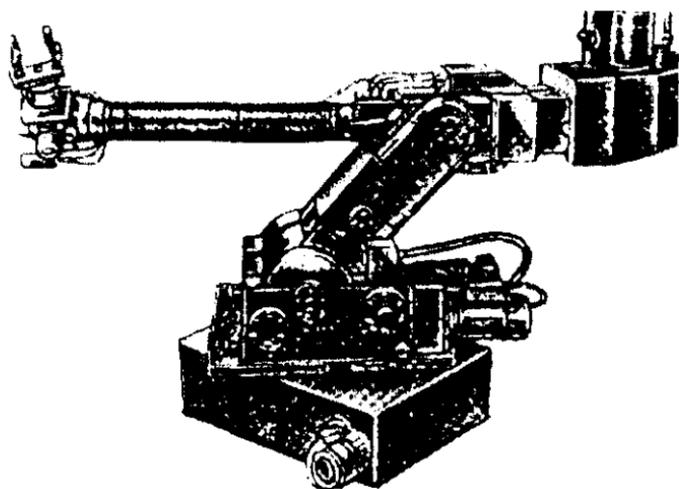


Рис. 11.14. Промышленный робот модульного исполнения

Примером модульного исполнения является отечественный промышленный робот, приведенный на рис. 11.14. Из определенной совокупности его модулей можно получить четыре варианта компоновки (рис. 11.15): с прямоугольной *a*, цилиндрической *б*, сферической *в* и комбинированной *г* системами координат. Модули руки 1, 2 и 3 компонуются из конструктивных блоков, сочетания которых позволяют получить одну, две и три степени подвижности. Модули 4, 5, 6, 7, 8 и 9 обеспечивают соответственно радиальный ход (ось *Y*), качание относительно оси *X*, двойное качание, поворот относительно оси *Z*, поперечный ход

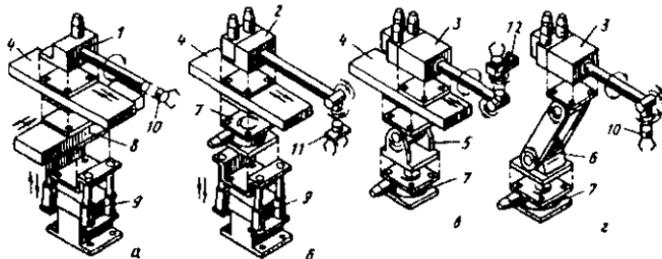


Рис. 11.15. Варианты компоновки модульного робота: *a* — с прямоугольной; *б* — с цилиндрической; *в* — со сферической и *г* — с комбинированной системами координат; 1 — рука с одной степенью подвижности; 2 — рука с двумя степенями подвижности; 3 — рука с тремя степенями подвижности; 4 — модуль радиального хода; 5 — модуль качания; 6 — модуль двойного качания; 7 — модуль поворота; 8 — модуль поперечного сдвига; 9 — модуль подъема; 10 — схват; 11 — сдвоенный схват; 12 — схват со сдвигом

(ось X) и подъем руки (ось Z). Все модули имеют электрический следящий привод с обратной связью по скорости и положению, что позволяет применять как позиционные, так и контурные системы управления. Для преобразования вращательного движения в поступательное прямолинейное используется шарико-винтовая пара.

Кроме перечисленных модулей в указанных компоновках применяются три пневматических модуля схвата: простой хват 10, двойной хват 11 и хват со сдвигом 12.

Технические характеристики модулей [13] приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Технические характеристики модулей

Модуль	Пределы перемещения		Скорость перемещения		Номинальная грузоподъемность	Номинальный момент	Погрешность позиционирования			
	угловые градусы	мм	градус/с	мм/с			с аналоговыми датчиками		с кодовыми датчиками	
							мм	угловые минуты	мм	угловые минуты
Поворота	300	—	135	—	—	800	—	±4	—	±0,56
Подъема	—	400	—	400	250	—	0,4	—	0,05	—
Сдвига	—	800	—	600	200	—	0,8	—	0,1	—
Качания	60	—	45	—	—	3000	—	2	—	0,22
Радиально-го хода	—	1000	—	600	200	—	0,8	—	0,1	—
Двойного качания:										
нижний рычаг	90	1000	65	800	250	1800	1,8	3,0	0,2	0,4
верхний рычаг	90	—	65	—	—	1800	—	3,0	—	0,4
Руки:										
вращение	360	—	180	—	—	200	—	10	—	1,3
сгибание	200	—	180	—	—	200	—	10	—	1,5
тележки	—	100	—	1500	70	—	2	—	0,4	—

Схема модульной компоновки универсальных промышленных роботов трех типов с шестью степенями подвижности из унифи-

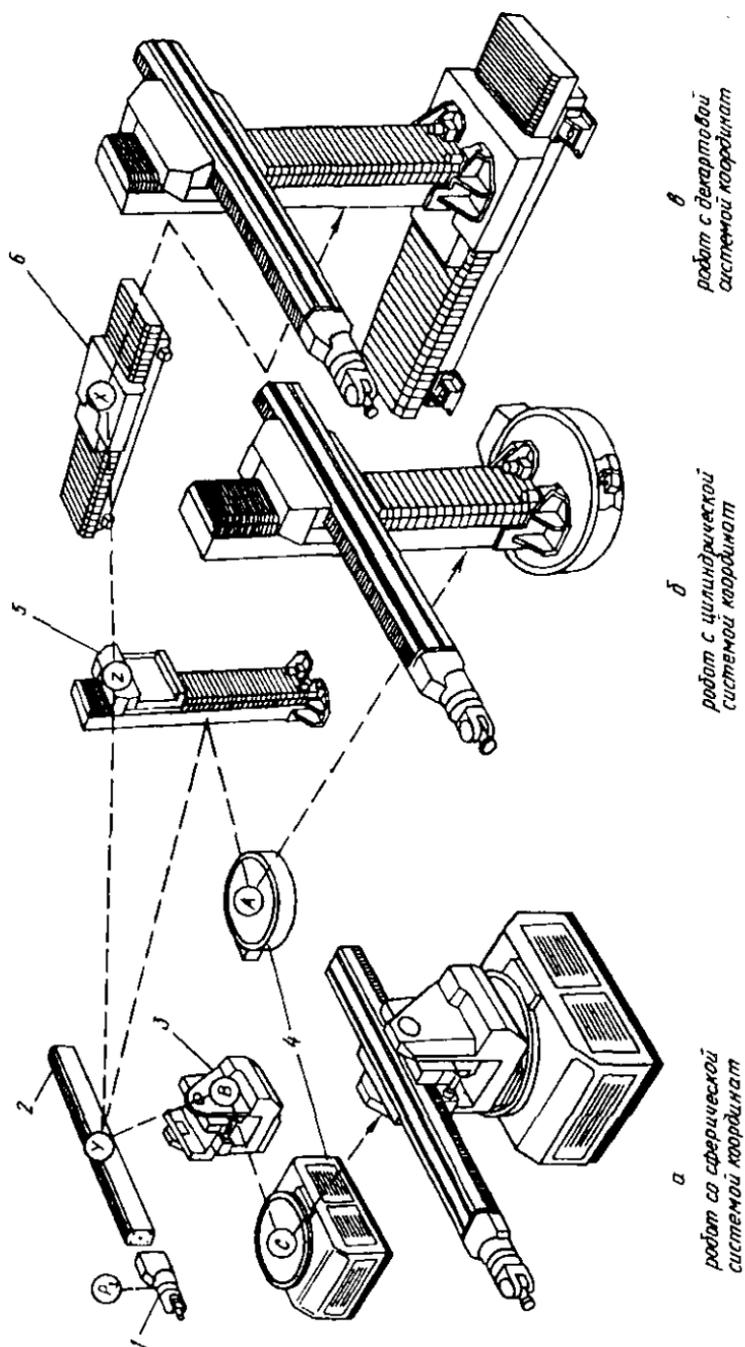


Рис. 11.16. Схема модульной компоновки универсальных промышленных роботов: *а* — со сферической, *б* — с цилиндрической, *в* — с прямоугольной системами координат; 1 — модуль запястья с тремя степенями подвижности; 2 — модуль со скользящей кареткой; 3 — качающийся модуль; 4 — модуль вращающегося основания; 5 — модуль вертикального перемещения; 6 — линейный модуль основания

цированных модулей фирмы “Циаки” (Франция) показана на рис. 11.16. Здесь из шести универсальных модулей: модуля 1 за-
пястья с тремя степенями подвижности; модуля 2 со скользящей
кареткой (ось Y); качающегося модуля 3; модуля 4 вращающего-
ся основания; модуля 5 вертикального перемещения (ось Z) и
линейного модуля 6 основания (ось X) komponуются три типа
роботов со сферической a , цилиндрической b и прямоугольной
(декартовой) v системами координат.

Модули, применяемые в промышленных роботах, представ-
ляют собой автономные механизмы, которые можно быстро и с
минимальной наладкой присоединять друг к другу. Комбинируя
базовые модули, получают граф возможных вариантов кинема-
тических структур промышленных роботов. Такой граф [128] в
качестве примера приведен на рис. 11.17. Здесь из семи модулей
 S, L, R, DT, RG, RT, G неподвижного звена SL и каретки T полу-
чается 39 различных кинематических структур роботов, имею-
щих от двух до шести степеней подвижности.

Модульные промышленные роботы выгодны не только про-
изводителю, но и их потребителю. Последнему лучше иметь моду-
льный робот, который не является избыточным, чем недоис-
пользовать дорогой универсальный робот. В этом случае потре-
битель вкладывает средства только в действительно нужное
оборудование. Кроме того, модульные роботы проще эксплуати-
ровать.

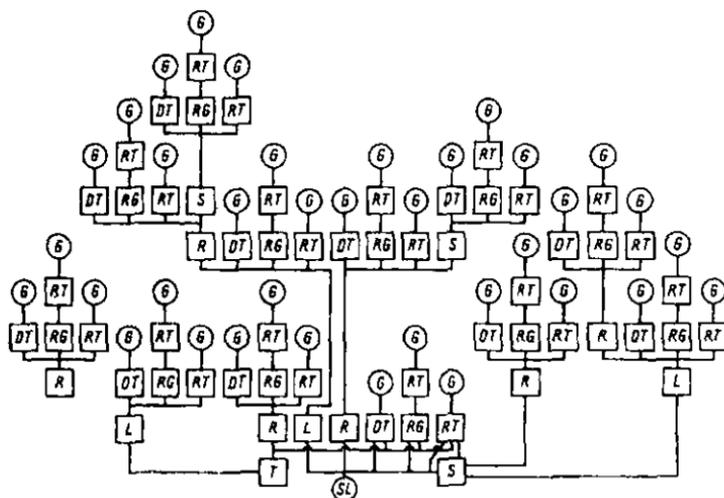


Рис. 11.17. Граф вариантов кинематических структур модульных
промышленных роботов [128]: SL — неподвижное звено; T — каретка;
 S — модуль поступательного движения; L — модуль подъема-опускания;
 R — модуль вращения; DT — шарнирный модуль; RG — модуль качения;
 RT — телескопический модуль; G — схват

Адаптивные промышленные роботы. Адаптивные роботы обеспечивают активное целенаправленное взаимодействие с реальной внешней средой на основе информации о ее состоянии (о расположении и свойствах объектов внешней среды), о состоянии и функционировании отдельных узлов и подсистем робота и его исполнительных органов [46]. Поэтому управляющая программа адаптивного робота не содержит всей необходимой информации, так как определенная часть ее формируется в процессе его функционирования на основе анализа выполняемых действий, контроля параметров внешней среды и состояния узлов и подсистем робота.

Для получения информации о параметрах и состоянии внешней среды промышленные роботы оснащаются соответствующими датчиками: о наличии объекта манипулирования, его форме, массе, состоянии поверхностей и т.п. Роботы оснащаются также датчиками информации о состоянии и функционировании их отдельных узлов и подсистем: об усилии удержания объекта, степени возможного проскальзывания и т.п.

Адаптивные промышленные роботы в отличие от жестко-программируемых роботов могут решать дополнительно следующие задачи:

- определять расстояние до объекта манипулирования и наличие контакта с ним;

- осуществлять поиск объекта, распознавать его тип и положение;

- производить захват неориентированных деталей из тары и их ориентацию;

- контролировать усилие зажима манипулируемого объекта;

- осуществлять сложные сборочные, сварочные и окрасочные операции;

- корректировать программу работы или осуществлять аварийные отключения при отклонении контролируемых параметров внешней среды от их заданных значений.

На рис. 11.18 показана схема работы сенсорного модуля промышленного робота мод. УМ160Ф2.81.01[46]. Модуль оснащен электромеханическим тактильным устройством, включающим штырь 4, который может перемещаться в вертикальной плоскости; коромысло 6, установленное на нижнем торце штыря; и датчики положения 5 штыря и коромысла. Имеется электролинейка с конечными выключателями 8, закрепленными на стойках 7.

Поиск заготовки (рис. 11.18б) осуществляется путем сканирования пространства тары с ориентирующими призмами в горизонтальной плоскости. Так, при соприкосновении коромысла 6 с заготовкой 2 оно поворачивается, а штырь 4 перемещается вверх. В результате от датчиков 5 в систему управления поступают сиг-

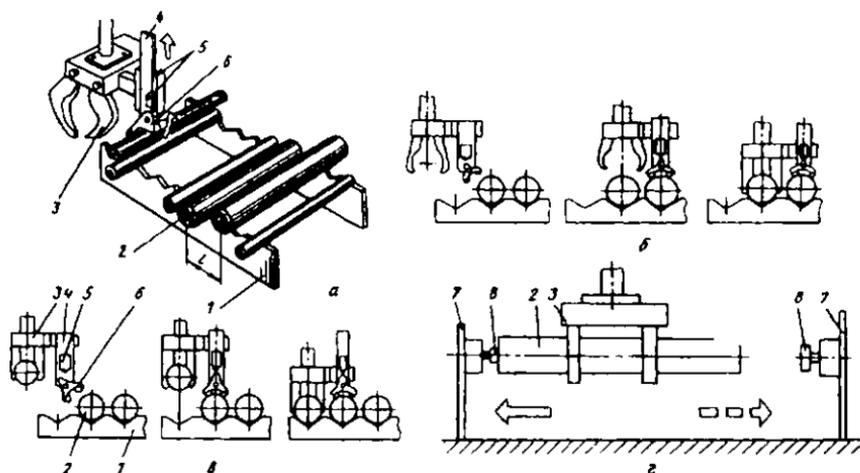


Рис. 11.18. Схема работы сенсорного модуля промышленного робота мод. УМ160Ф2.81.01: а — схема работы тактильного сенсорного модуля; б — последовательность работы при взятии заготовки; в — последовательность работы при укладке изделия; г — измерение длины детали; 1 — ориентирующий магазин; 2 — валы (заготовки или детали); 3 — захватное устройство; 4 — штырь; 5 — датчики положения; 6 — коромысло; 7 — стойка; 8 — конечный выключатель

налы на перемещение руки с захватным устройством в положение, из которого в дальнейшем осуществляется захват заготовки (вторая и третья части рис. 11.18б).

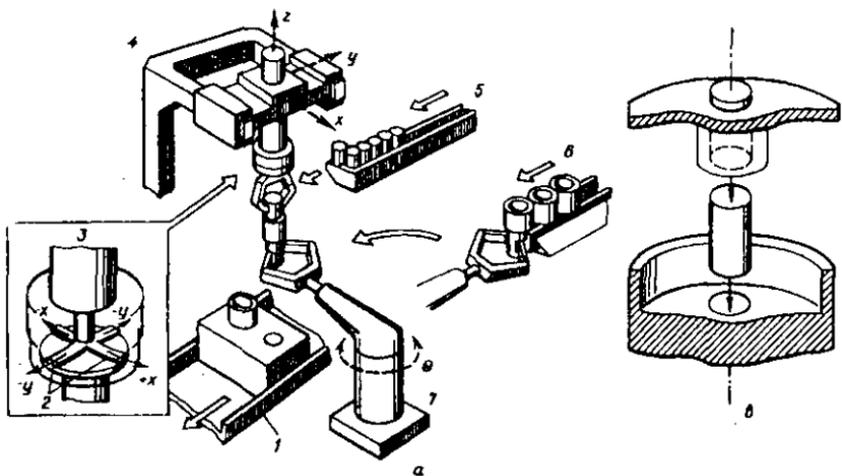
Укладка готовой детали в предыдущую свободную позицию тары показана на рис. 11.18в. В этом случае при соприкосновении коромысла б с ранее уложенной деталью датчики 5 также подают сигналы в систему управления, но на перемещение руки с захватным устройством в положение, из которого в дальнейшем можно положить готовую деталь в свободную позицию тары (вторая и третья части рис. 11.18в).

Измерение длины заготовки и установка определенного положения захватов относительно ее торцов осуществляется при помощи электрической линейки.

Схема использования сенсорного модуля в сборочном роботе мод. HI-T-HAND EXPERT-2 (Япония) приведена на рис. 11.19.

Этот робот входит в сборочный центр, включающий дополнительно вспомогательный манипулятор 7 с одной степенью подвижности, устройству 5 и 6 для подачи собираемых деталей, и конвейер 1 со спутниками (вместо спутников могут использоваться базовые корпусные детали).

Захватное устройство основного робота соединено с рукой 3 при помощи сенсорного устройства в виде крестообразной пружины



Начало посадочной работы

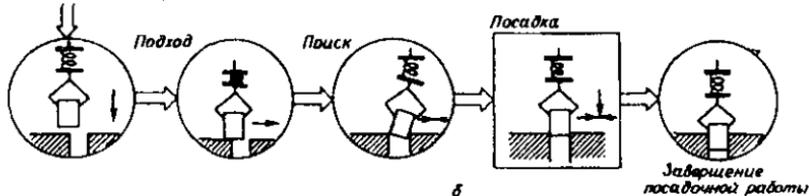


Рис. 11.19. Схема автоматической сборки с использованием робота мод. *HI-T-HAND EXPERT-2* (Япония) с сенсорным устройством: *а* — схема сборочного центра: 1 — конвейер; 2 — крестообразная пружина с тензодатчиками; 3 — рука основного робота; 4 — манипулятор основного робота; 5 и 6 — подающие лотки; 7 — вспомогательный манипулятор; *б* — этапы сборочной операции; *в* — пример собираемого узла

жины 2 с тензометрическими силовыми датчиками, которые подают сигналы, пропорциональные прогибу лепестков пружины по осям X , Y и Z . Прогиб лепестков является следствием несовпадения осей сопрягаемых деталей при поджиге их друг к другу в процессе сборки (рис. 11.19б).

Сборка валика со втулкой осуществляется следующим образом. Сначала вспомогательный манипулятор 7 берет втулку с подающего лотка 6 и устанавливает ее на спутник. Затем манипулятор 4 основного робота берет валик с подающего лотка 5 и переносит его в зону сборки. Здесь при введении валика во втулку контролируются силы и осциллирующие движения руки по сигналам датчиков сенсорного устройства. В конечном счете валик входит в отверстие втулки.

§ 11.3. Захватные устройства промышленных роботов

Одним из важнейших элементов промышленных роботов по функциональному назначению являются захватные устройства. Они служат [46] для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования, которые могут иметь различные размеры, форму, массу и обладать различными физическими свойствами.

К захватным устройствам предъявляются следующие обязательные требования [46]:

надежность захватывания и удержания объектов;

недопустимость повреждения или разрушения захватываемого объекта;

стабильность базирования объекта;

прочность рабочих элементов захватов при их малых габаритах и массе.

Кроме того, крепление захватных устройств к запястью руки должно быть надежным, тем более при условии их смены в зависимости от различных объектов манипулирования.

Захватные устройства классифицируются по многим признакам [46].

По способу удержания объекта они могут быть:

схватывающими устройствами, в которых объект манипулирования удерживается благодаря кинематическому воздействию рабочих элементов (губок, пальцев, клещей и т.д.) с помощью сил трения или их комбинации с запирающими усилиями;

поддерживающими устройствами, которые обеспечивают удержание объекта манипулирования без зажима путем использования нижних поверхностей, выступающих частей или отверстий объекта (крюки, петли, вилки и т.д.);

удерживающими устройствами, которые соединяются с объектом манипулирования при помощи различных физических эффектов (магнитные, вакуумные и другие устройства).

По принципу действия различают механические, магнитные, вакуумные, с эластичными камерами и другие удерживающие захватные устройства.

По характеру базирования захватные устройства подразделяются на пять групп:

1) способные к перебазированию объекта манипулирования путем изменения его положения при помощи управляемых действий рабочих элементов (например, шарнирных пальцев);

2) центрирующие устройства, которые определяют положение в пространстве оси или плоскости симметрии манипулируемого объекта (захватные устройства с губками, призмами и т.д.);

3) базирующие устройства, которые определяют положение в пространстве базовой поверхности (или поверхностей) объекта;

4) фиксирующие устройства, сохраняющие положение объекта манипулирования, которое он имел в момент захватывания;

5) устройства, не обеспечивающие базирования или фиксации объекта манипулирования (в промышленных роботах почти не применяются).

По степени специализации могут быть следующие захватные устройства:

универсальные — способные захватывать и удерживать объекты манипулирования с широким диапазоном геометрических и физических параметров;

многоцелевые — способные захватывать и удерживать объекты манипулирования за ограниченную номенклатуру поверхностей, отличающихся формой или размерами;

целевые (специализированные) — захватывающие и удерживающие объекты манипулирования с однородными конструктивно-технологическими параметрами;

специальные — приспособленные для захватывания и удержания одного вида объектов манипулирования.

По числу рабочих позиций захватные устройства подразделяются на одно- и многопозиционные последовательного, параллельного и комбинированного действия.

По наличию дополнительных устройств и механизмов захватные устройства могут быть без дополнительных устройств, с устройствами для ориентирующих (локальных) перемещений и с приспособлениями для выполнения технологических операций (сварки, окраски и т.д.).

По виду управления захватные устройства делятся на неуправляемые, командные, жесткопрограммируемые и адаптивные. Последние оснащаются датчиками внешней информации (определения формы объекта, усилия зажима и т.д.).

По характеру крепления захватного устройства к запястью руки они могут быть несменяемыми, сменными, быстро-сменными и пригодными для автоматической смены.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия наиболее распространенных захватных устройств промышленных роботов, используемых в автоматизированных системах обработки и сборки деталей.

Механические захватные устройства подразделяются на неуп-

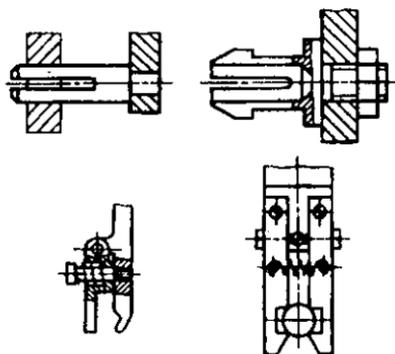


Рис. 11.20. Неуправляемые механические захватные устройства

равляемые, неприводные со стопорными механизмами и командные.

В неуправляемых устройствах заготовка (или деталь) удерживается силой упругого воздействия рабочих элементов на ее определенные поверхности, а снимается с захвата принудительно дополнительным устройством. В данном случае рабочими элементами могут быть разрезные упругие валики или втулки (цанги), а также клещи (рис. 11.20) с одной или двумя подпружиненными губками. Недостатком неуправляемых захватных устройств является возможность повреждения поверхностей рабочих элементов или детали при захвате или съеме последней. Такие захватные устройства применяются в основном при манипулировании объектами небольшой массы и габаритных размеров.

В неприводных захватных устройствах со стопорными механизмами, обеспечивающими чередование циклов зажима и разжима, не требуются для их выполнения специальные команды от системы управления и дополнительный подвод энергии. В этих автономных устройствах заготовка (или деталь) удерживается в результате эффекта самозатягивания или запирания рабочих элементов под действием пружин.

На рис. 11.21а показана схема захватного устройства с запирающимися губками. Здесь на корпусе 7 устройства закреплена направляющая 5, несущая на нижнем конце запирающую планку 4. По направляющей 5 может перемещаться головка 3, в которой на пальцах установлены губки 1. На головку и губки действуют соответственно пружины 6 и 13. Кроме того, захватное устройство имеет стопорный механизм, состоящий из оси 12, закрепленной на головке, защелки 11 с выступами 10, свободно вращающейся на оси 12, нижней и верхней втулок 9 и 8, установленных в цилиндре, закрепленном на корпусе 7.

Данное захватное устройство работает следующим образом. При укладке детали (валика или втулки) на поддон разгрузочной позиции сначала происходит контакт детали с ним, и она останавливается. Вместе с ней благодаря упору 2 останавливается и головка 3 с губками 1. Затем в результате дальнейшего опускания корпуса 7 одновременно происходят следующие действия:

1) запирающая планка 4 освобождает губки 1, и они раскрываются под действием пружины 13;

2) защелка 11 свободно проходит через нижнюю втулку 9, своими выступами 10 входит в контакт с зубьями верхней втулки 8 и поворачивается на 45°.

При обратном ходе захватного устройства защелка взаимодействует уже с зубьями нижней втулки 9, в результате чего она поворачивается еще на 45°. В таком положении она задерживает

ется нижней втулкой. При этом губки устройства остаются раскрытыми, как это и показано на рис.11.19а справа.

При захвате заготовки на загрузочной позиции в заготовку сначала упирается упор 2 и головка 3 останавливается. Затем в результате дальнейшего опускания корпуса 7 зашелка 11 своими выступами 10 вновь начинает взаимодействовать с зубьями верхней втулки 8 и поворачивается на 45°. Далее при обратном ходе захватного устройства зашелка, взаимодействуя уже с зубьями нижней втулки 9, повернется еще на 45°. В таком положении она

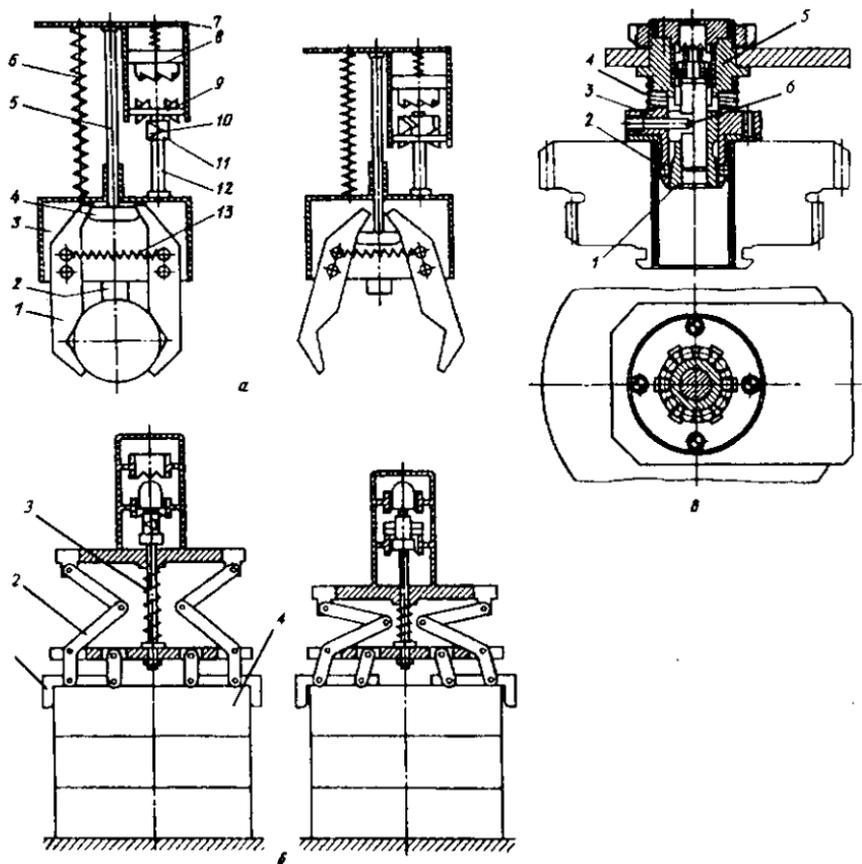


Рис. 11.21. Неприводные механические захватные устройства со стопорными механизмами: *а* — устройство с запирающимися губками: 1 — губки; 2 — упор; 3 — головка; 4 — запирающая планка; 5 — направляющая головки; 6 — пружина; 7 — корпус; 8 — верхняя втулка; 9 — нижняя втулка; 10 — выступы зашелки; 11 — зашелка; 12 — ось; 13 — пружина; *б* — устройство с самозатягивающимися губками: 1 — губки; 2 — рычажная система; 3 — пружина; 4 — заготовка (или деталь); *в* — устройство с самозатягивающимися шариками: 1 — конусная втулка; 2 — шарик; 3 — обойма; 4 — пружина; 5 — корпус; 6 — стопорный механизм

свободно проходит через паз этой втулки, позволяя и дальше перемещаться направляющей 5 относительно головки 3. В результате планка 4 начинает воздействовать на губки 1, и они захватывают заготовку, которую робот в дальнейшем транспортирует в зону обработки станочной системы.

Схема неуправляемого захватного устройства с самозатягивающимися губками приведена на рис. 11.21б. Здесь эффект самозатягивания губок 1 достигается благодаря применению специальной рычажной системы 2, а также действию пружины 3 и массы захватываемой заготовки (или детали) 4. Такие устройства предназначены для захвата заготовок (или деталей) классов диски и втулки из стопы.

На рис. 11.21в показана схема специального неуправляемого захватного устройства, в котором используется также эффект самозатягивания рабочих элементов, какими являются шарики. Его захватная часть состоит из конусной втулки 1, закрепленной на корпусе 5, и шариков 2, равномерно расположенных в обойме 3. Последняя может перемещаться относительно втулки 1, сжимая или отпуская пружину 4. Внутри конусной втулки и обоймы находится стопорный механизм 6, который обеспечивает два их взаимных положения: в первом положении они сближены, и шарики находятся в канавке втулки, а во втором — разведены и шарики располагаются на конической поверхности втулки. При этом в первом случае наружный диаметр по шарикам меньше, а во втором — больше диаметра отверстия захватываемой заготовки (или детали).

Указанное захватное устройство работает следующим образом. При захвате заготовки на загрузочной позиции захватная часть устройства свободно входит в отверстие, так как шарики 2 находятся в кольцевой канавке конусной втулки 1 (втулка и обойма сближены). После того, как обойма 3 упрется в торец заготовки, в результате дальнейшего перемещения корпуса 5 и втулки 1 срабатывает стопорный механизм 6, освобождая обойму 3. В дальнейшем при обратном ходе устройства втулка 1 при помощи пружины 4 начинает перемещаться относительно обоймы 3, раздвигая шарики 2 конической поверхностью. В результате происходит самозатягивание шариков и, как следствие, захват заготовки.

При укладке детали в разгрузочной позиции деталь сначала упирается в поддон и останавливается вместе с обоймой 3. В это время втулка 1 продолжает перемещаться дальше, расклинивая шарики 2 и вызывая срабатывание стопорного механизма 6, который фиксирует ее и обойму в сближенном положении. В дальнейшем при обратном ходе устройства его захватная часть свободно выходит из отверстия детали, оставляя ее на поддоне.

В командных захватных устройствах захват и удержание манипулируемого объекта осуществляется благодаря кинематическому воздействию рабочих элементов с помощью сил

трения или их комбинации с запирающими усилиями. В них наибольшее распространение получили конструкции клещевого типа. Они могут быть с рычажными передаточными механизмами, дающими значительное увеличение усилия зажима детали, или с реечными передаточными механизмами, не дающими выигрыша в усилия зажима.

В данных захватных устройствах в качестве источника энергии используется пневмо-, гидро- или электропривод. Пневмопривод отличается простотой и удобством подвода энергии, легкостью регулирования усилия зажима, а также возможностью использования в агрессивных средах и при высоких температурах. В тоже время он имеет сравнительно большие габариты и развивает малые усилия зажима. Эти недостатки устраняются в гидроприводе, но для него характерны утечки жидкости. Что касается электропривода, то ввиду сложности он мало применяется в захватных устройствах.

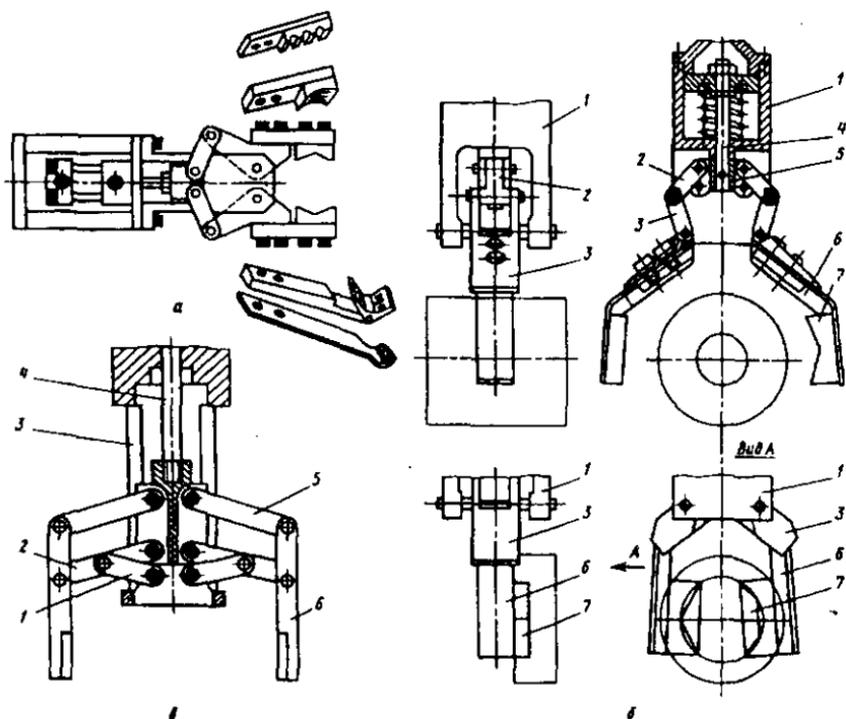


Рис. 11.22. Широкодиапазонные захватные устройства с рычажными передаточными механизмами и пневмоприводом: а — со сменными рабочими губками; б — с перестановкой осей тяг и сменными рабочими губками: 1 — пневмоцилиндр; 2 — тяги; 3 — поворотные рычаги; 4 — шток; 5 — планка; 6 — держатели; 7 — рабочие губки; а — с параллельным перемещением губок: 1 — рычаги; 2 и 5 — рычаги; 3 — корпус; 4 — шток; 6 — губки

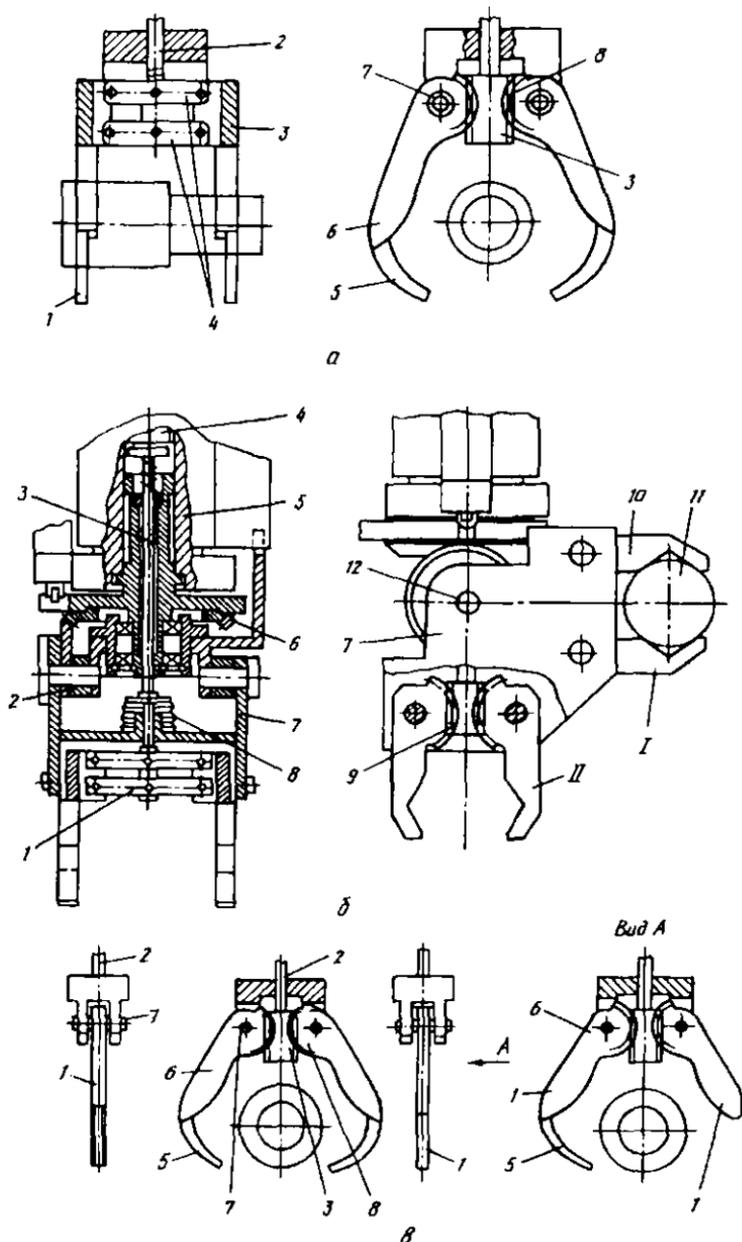


Рис. 11.23. Широкодиапазонные центрирующие захватные устройства с реечными передаточными механизмами для тел вращения: *a* — клешевое устройство для ступенчатых и гладких валов; *б* — клешевое устройство для дисков и втулок; *в* — клешевое устройство для тел вращения: 1 — поворотные губки; 2 — тяга; 3 — рейки; 4 — рычаги; 5 и 6 — участки профиля губок с меньшей и большей толщиной; 7 — оси; 8 — зубчатые секторы

На рис. 11.22 показаны широкодиапазонные (многоцелевые) захватные устройства с рычажными передаточными механизмами и пневматическим приводом. Их можно использовать для захвата и удержания объектов манипулирования различной формы и с различными габаритными размерами.

Переналадка захватного устройства, представленного на рис. 11.22а, осуществляется путем смены рабочих губок. При переналадке другого захватного устройства (рис. 11.22б) производят не только смену рабочих губок 7, но и перестановку осей тяг 2 в дополнительные отверстия планки 5, закрепленной на штоке 4 пневмоцилиндра 1. В результате расширяется диапазон размеров захватываемых поверхностей. Что касается устройства с параллельным перемещением губок 6 (рис. 11.22в), предназначенного для захвата призматических деталей, то здесь нет необходимости в его переналадке, так как рычажная система, образующая параллелограммы, обеспечивает большой ход губок.

В командных захватных устройствах широко применяются и реечные передаточные механизмы, в основном в сочетании с гидравлическим приводом, так как эти механизмы не дают выигрыша в усилии захвата. Работа одного из таких устройств, предназначенного для захвата и удержания ступенчатых и гладких валиков, осуществляется следующим образом. Захват заготовки (или детали), ее центрирование и удержание производятся губками 1 (рис. 11.23а), которые поворачиваются при помощи реек 3 и зубчатых секторов 8, выполненных на губках. Перемещение реек вверх осуществляется штоком 2 гидроцилиндра, который соединен с ними шарнирным параллелограммом, образованным рычагами 4. Данный параллелограмм обеспечивает независимую работу каждой пары губок, что позволяет надежно захватывать и удерживать ступенчатые валики.

Среди большого многообразия схватов особое место занимают адаптивные схваты, оснащенные различными датчиками, которые обеспечивают робот информацией о внешней среде при взаимодействии с ней. Это — информация о наличии и положении объекта манипулирования в пространстве, его форме и размерах, массе, состоянии поверхностей и т.п.

Примеры адаптивных схватов приведены на рис. 11.24. Первая разновидность представляет собой антропоморфный трехпальцевый хват с трубчатыми фалангами (рис. 11.24а). Передача движений осуществляется тросиками, проходящими внутри пальцев. Сгибание фаланг производится на $\pm 45^\circ$ в каждом шарнире. Данная кисть имеет одиннадцать степеней подвижности, которые обеспечиваются двигателями постоянного тока, вынесенными за пределы захватного устройства.

Экспериментальное адаптивное захватное устройство типа МН-1 (рис. 11.24б) оснащено шестью тактильными датчиками 3,

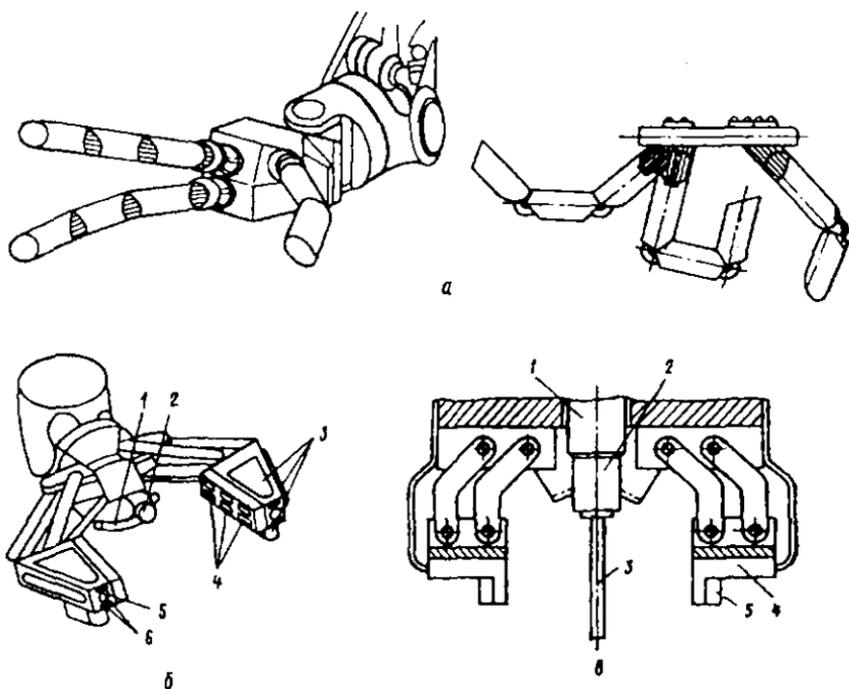


Рис. 11.24. Адаптивные захватные устройства: а — трехпальцевое захватное устройство; б — адаптивное устройство типа МН-1: 1 — рычаг; 2, 4 и 6 — потенциометрические датчики давления; 3 — тактильные датчики; 5 — фотодиод; в — захватное устройство с тактильным щупом: 1 — выдвижной элемент; 2 — силовой датчик; 3 — щуп; 4 — зажимные губки; 5 — фотодальномер

расположенными на наружной стороне губок, семнадцать потенциометрическими датчиками давления 2, 4 и 6, находящимися на внутренней поверхности губок и рычаге 1, и двумя фотодиодами 5. Тактильные датчики, построенные на принципе микропереключателей, фиксируют соприкосновение губок с объектом манипулирования, а фотодиоды обеспечивают локацию объекта и наведение на него захватного устройства.

В третьей разновидности адаптивного захватного устройства (рис. 11.24в) предусмотрены выдвижной элемент 1 с датчиком 2 и щупом 3, а также фотодальномеры 5, размещенные на торцах губок 4. Это устройство предназначено для захвата неориентированно расположенных дисков. Оно работает следующим образом. При раскрытых губках выдвинутым щупом 3 производится сканирование поля расположения деталей. После соприкосновения щупа с деталью определяется ее положение при помощи датчика 2 путем нахождения нормали к цилиндрической повер-

хности диска. Затем устройство выводится на центр диска и поворачивается вокруг продольной оси робота. Далее фотодальномеры 5 находят свободные участки наружной поверхности детали для ее захватывания.

Адаптивные захватные устройства применяются, как правило, при автоматизации сборочных операций.

§ 11.4. Управление промышленными роботами

Системы управления промышленными роботами являются важнейшими функциональными элементами, которые определяют их возможности. По типу применяемых систем управления роботы подразделяются на поколения.

К первому поколению относятся роботы с программным управлением. Большинство из них имеет позиционную систему управления, чаще всего циклового типа. Наиболее совершенные роботы данного поколения, применяемые, например, для сварки и окраски, имеют контурную систему управления. В стационарных промышленных роботах основой системы управления является система управления их манипуляторами, а в транспортных промышленных роботах — система управления их перемещениями.

Второе поколение промышленных роботов — это роботы с сенсорными системами (“о чувствленные” роботы), с помощью которых они могут приспосабливаться к изменениям внешней среды. Их часто называют адаптивными роботами. Они работают по программе, которая корректируется на основе информации о состоянии внешней среды. Примером таких роботов являются сборочные роботы, оснащенные тактильными датчиками и телевизионными камерами.

К роботам третьего поколения относятся интегральные роботы с развитой системой чувствительных устройств, включая техническое зрение, и соответствующей системой обработки получаемой от них информации, включая распознавание образов. Их иногда называют роботами с искусственным интеллектом.

По способу управления системы управления роботов первого поколения могут быть цикловыми, позиционными или контурными.

По наличию обратной связи они делятся на разомкнутые и замкнутые. Первые отличаются простотой, но в них нет входной информации о состоянии промышленного робота и внешней среды. Поэтому для обеспечения надежного функционирования робота необходимо поддерживать в определенных пределах его физические параметры и параметры внешней среды, что в большинстве случаев затруднительно.

В настоящее время все большее применение находят замкнутые системы управления. В них управление осуществляется с учетом текущих значений параметров состояния промышленного робота и внешней среды. Соответствующая информация поступает от различных датчиков обратной связи.

По типу используемых сигналов системы управления могут быть аналоговыми, числовыми или комбинированными. В аналоговых системах информация задается и хранится в виде потенциалов. В них в качестве элементной базы используются решающие и операционные усилители постоянного тока. Что касается числовых систем управления, то в них вся информация представляется в числовом виде и хранится на быстроменных носителях: магнитных и перфорированных лентах, барабанах, дисках и т.п.

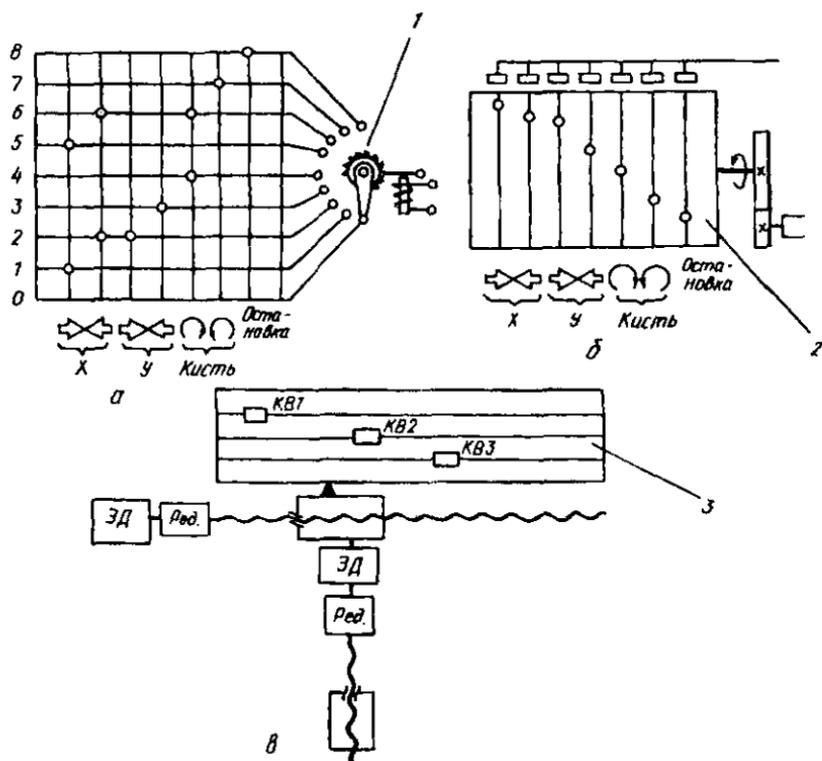


Рис. 11.25. Цикловые устройства управления: а — штеккерная панель; б — вращающийся барабан; в — линейные направляющие с конечными выключателями; 1 — шаговый искатель; 2 — барабан; 3 — линейные направляющие

По типу привода, используемого для перемещения звеньев манипулятора, системы управления делятся на пневматические, гидравлические, электрические и комбинированные.

В системах управления программирование может осуществляться путем расчета программы, обучения или самообучения.

Цикловые системы управления. Эти системы применяются в промышленных роботах, обслуживающих технологическое оборудование, в том числе и станочное, в условиях крупносерийного и массового производства. Эти роботы имеют, как правило, небольшое число точек позиционирования по каждой степени подвижности.

В простых цикловых системах управления в качестве программного устройства используется штеккерная панель (рис. 11.25а). Здесь цикл работы манипулятора изменяется путем перестановки штеккеров. В более сложных системах управления программным устройством является вращающийся барабан с кулачками (рис. 11.25б), которые воздействуют на командные элементы. В данном случае в качестве носителей программы могут использоваться также перфокарты или перфолента. В системах с линейными направляющими перемещения исполнительных органов манипулятора определяются положением конечных выключателей (рис. 11.25в).

Для управления промышленными роботами выпускаются серийно системы циклового управления типа УЦМ (У — универсальная, Ц — цикловая, М — модульная). В качестве примера на рис. 11.26 приведена структурная схема системы типа УЦМ-663 (первая цифра означает число управляемых координат, а вто-

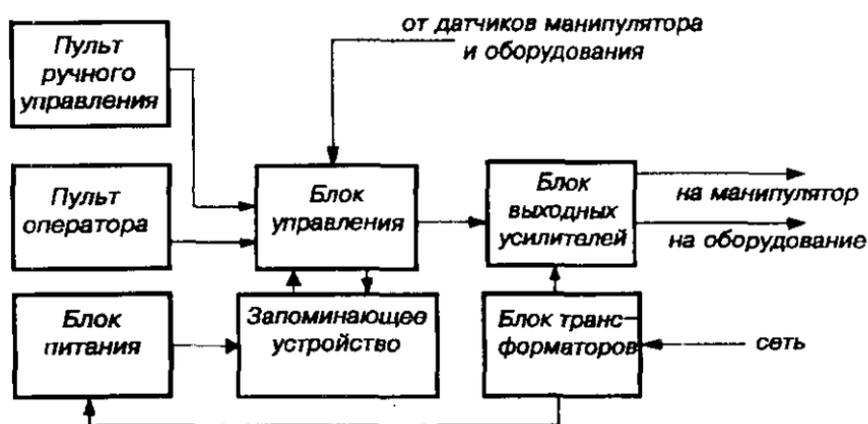


Рис. 11.26. Структурная схема системы УЦМ-663

рая — число одновременно управляемых координат). Она состоит из следующих основных функциональных блоков, которые осуществляют:

1) блок управления — обработку информации по заданной программе и выдачу управляющих воздействий на манипулятор робота и технологическое оборудование;

2) запоминающее устройство — хранение заданной программы работы манипулятора;

3) пульт оператора — задание режимов работы системы и ручное управление звеньями манипулятора;

4) пульт ручного управления — ручное управление звеньями манипулятора в наладочном режиме;

5) блок усилителей — выдачу управляющих команд на исполнительные механизмы манипулятора и технологического оборудования.

Система управления может работать в следующих режимах: “Ручной”, “Наладка”, “Кадр”, “Команда”, “Цикл”, “Автомат”, “Задание программы”.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ УЦМ-663

Тип системы управления	цикловая
Число управляемых координат	6
Число одновременно управляемых координат	6
Число точек позиционирования:	
по двум координатам	8
по четырем координатам	4
Число управляемых схватов	6
Число выдаваемых технологических команд с обратной связью	12
Число одновременно выдаваемых технологических команд	2
Объем запоминающего устройства (количество единичных команд)	224
Количество программ, одновременно размещаемых в памяти	4
Число разветвлений в программе	8
Число циклов в программе	2
Число каналов управления манипулятором	28
Число каналов управления оборудованием	12

Системы ЧПУ используются для управления промышленными роботами в технологических схемах, когда требуется позиционирование исполнительного органа робота. Серийные системы управления имеют следующее обозначение, например, УПМ-772: *У* — универсальная, *П* — позиционная, *М* — модульная, первая цифра — число управляемых координат, вторая цифра — число одновременно управляемых координат, третья цифра — наличие обратной связи (*2* — замкнутая и *1* — разомкнутая системы).

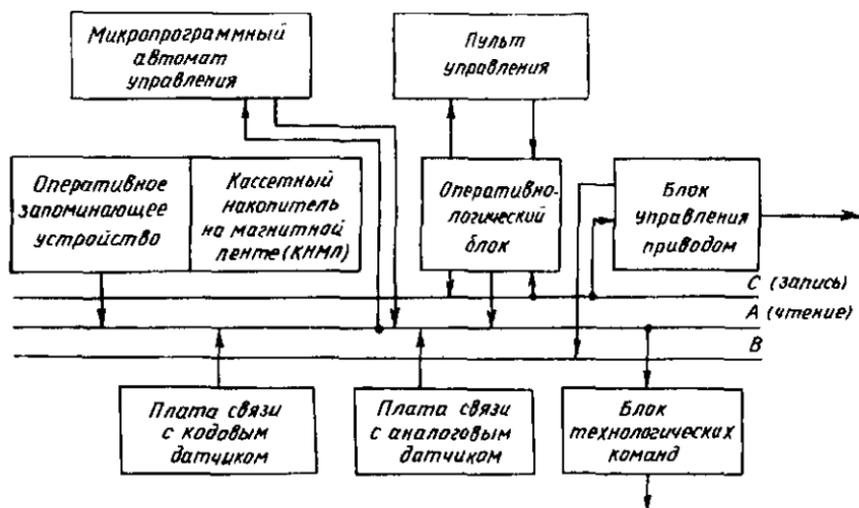


Рис. 11.27. Упрощенная структурная схема системы УПМ-772

Упрощенная структурная схема системы ЧПУ типа УПМ-772 представлена на рис. 11.27. Здесь кассетный накопитель на магнитной ленте является основным программносителем. Он совместно с блоком управления осуществляет прием, хранение и выдачу программы по запросу из микропрограммного автомата. Для оперативного хранения рабочей программы предназначено полупроводниковое запоминающее устройство. Его информационная связь с другими блоками осуществляется по шинам А (чтение) и С (запись). Управляющие сигналы формируются в микропрограммном автомате, а адресная информация поступает из счетчика адресов оперативно-логического блока. Последний вместе с микропрограммным автоматом образует фактически управляющее вычислительное устройство, обеспечивающее взаимодействие всех функциональных блоков, выполняющее функции центрального управления и логической обработки информации.

Блок технологических команд выдает на исполнение технологические и вспомогательные команды и принимает ответные сигналы, запросы на выбор программы и условия ее выполнения от технологического оборудования и манипулятора.

В данной системе управления применяется двухотсчетная измерительная схема с датчиками обратной связи. Она состоит из блока питания датчиков, формирователей фаз датчиков и преобразователей фазы в цифру.

Пульт управления обеспечивает работу системы в следующих режимах: "Программа", "Поиск кадра", "Ручное управление", "Обучение" и "Разметка ленты". Кроме того, с пульта можно

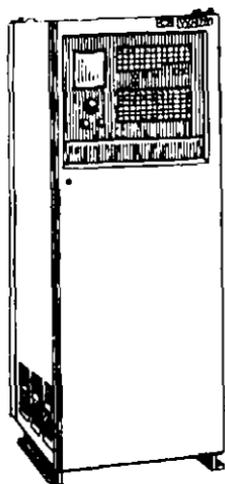


Рис. 11.28. Структурная схема системы УКМ-772

набрать технологические команды, величины временных выдержек, откорректировать ряд работ, задать цифровую индикацию зоны и кадра, получить световую сигнализацию состояния системы и т.д.

Контурные системы ЧПУ используются для управления промышленными технологическими роботами в автоматизированных системах сварки и окраски. Примером является система типа УКМ-772 (К — контурная) с системой отсчета в абсолютных размерах и линейной интерполяцией. В ней программирование осуществляется путем обучения. В качестве программносителя используется кассета с магнитной лентой.

Структурная схема указанной системы приведена на рис. 11.28. Она состоит из следующих функциональных блоков: микро-ЭВМ, “Электроника-60М”, кассетного накопителя типа “Искра 005-33”, пульта оператора, пульта обучения, блока логического, аппаратуры электропитания и вентиляции. В этой системе управляющие программы формируют в режиме “Обучение” по кадрам. Текущую технологическую и вспомогательную информацию кадра задают на переключателях пульта обучения.

В сложных робототехнических комплексах для управления роботами используют системы с применением микропроцессоров. Последние существенно повышают уровень “интеллектуальности” роботов.

Программирование промышленных роботов регламентируется ГОСТом 24836-81 “Устройства программного управления промышленными роботами. Методы кодирования и

программирования". Согласно этому стандарту программирование роботов может осуществляться тремя методами: обучения, аналитическим и комбинированным.

Метод обучения нашел широкое распространение в различных промышленных роботах. Его суть заключается в том, что необходимые движения манипулятора воспроизводятся оператором. При этом соответствующая информация записывается в память системы управления. В дальнейшем робот переключает на автоматический режим и манипулятор воспроизводит всю последовательность движений. Необходимо отметить, что современные системы управления в своей памяти могут хранить несколько программ, которые при необходимости можно воспроизвести вновь.

Процесс ручного обучения связан с появлением субъективных ошибок, которые зависят от возможностей обучающего оператора. Даже у опытного оператора они могут быть значительными, если трудно вручную управлять манипулятором. Кроме того, оператор не может управлять несколькими технологическими параметрами.

Эти недостатки устраняются при полуавтоматическом обучении, которое находит широкое распространение. Его суть заключается в том, что оператор при помощи специального пульта обучения сначала выводит исполнительный орган манипулятора в нужное положение, а затем дает сигнал на запись. В этот момент записываются все координаты манипулятора, которые определяют его положение в пространстве. Далее процесс обучения повторяют, переводя манипулятор в следующую позицию. В результате получается рациональная программа работы манипулятора.

Метод аналитического программирования применяется в промышленных роботах с контурными системами ЧПУ, например, в роботах для дуговой сварки. Его суть заключается в вычислении приращений всех управляемых координат последовательно расположенных точек траектории исполнительного органа манипулятора. Этот метод широко распространен в станках с ЧПУ.

Процесс аналитического программирования сводится к выполнению следующих основных этапов [108]:

- 1) определение последовательности обработки, например, дуговой сварки, и всех технологических параметров;
- 2) выбор осей координат и расчет координат узловых точек траектории движения исполнительного органа;
- 3) определение шага аппроксимации и аппроксимация геометрических элементов траектории;
- 4) расчет и составление таблицы координат промежуточных точек;

- 5) определение мест и возможных величин коррекции программы;
- 6) текстовая запись программы в коде применяемого интерполятора;
- 7) запись информации на программноноситель;
- 8) интерполирование;
- 9) перезапись программы на вторичный программноноситель;
- 10) управление промышленным роботом от полученной программы.

Аналитическое программирование может выполняться в ручную или автоматизированно. В первом случае подготовка программ весьма трудоемка. Во втором случае трудоемкость существенно сокращается. Это достигается благодаря применению автоматизированных комплексов, в состав которых входят средства вычислительной техники, и соответствующему математическому обеспечению. Такие комплексы позволяют автоматизировать следующие этапы:

- 1) определение траектории исполнительного органа;
- 2) аппроксимацию и интерполяцию элементов траектории;
- 3) определение параметров движения вдоль контура;
- 4) введение коррекции величин перемещения исполнительного органа;
- 5) определение команд стандартных циклов обработки.

В последние годы широко распространились системы автоматизированного программирования, предназначенные для позиционных и контурных систем ЧПУ. При их использовании программирование сводится к правильному заданию исходной информации.

Глава 12

ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

§ 12.1. Термины, определения и классификация

Под числовым программным управлением (ЧПУ) станком понимается обработка заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные представлены в цифровой форме [29].

Управляющая программа* — это совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка для обработки конкретной за-

* Здесь рассматриваются термины и определения в области ЧПУ, установленные ГОСТом 20523-80

готовки. Подготовка управляющих программ может быть ручной (без применения ЭВМ) и автоматизированной (с применением ЭВМ).

Различают кадр, слово, номер и формат кадра управляющей программы, а также адрес ЧПУ.

Кадр управляющей программы — ее составная часть, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды.

Слово управляющей программы — составная часть кадра, содержащая данные о параметре процесса обработки заготовки и (или) другие данные по выполнению управления.

Адрес ЧПУ — часть слова управляющей программы, определяющая назначение следующих за ним данных, содержащихся в этом слове.

Номер кадра управляющей программы — слово в начале кадра, определяющее последовательность кадров в управляющей программе.

Формат кадра управляющей программы — условная запись структуры и расположения слов в кадре управляющей программы с максимальным числом слов.

Главный кадр — это кадр управляющей программы, содержащий все данные, необходимые для возобновления процесса обработки заготовки после перерыва. Его обозначают специальным символом.

Абсолютный размер — линейный или угловой размер, задаваемый в управляющей программе и указывающий положение точки относительно принятого нуля отсчета.

Размер в приращении — линейный или угловой размер, задаваемый в управляющей программе и указывающий положение точки относительно координат точки предыдущего положения рабочего органа станка.

Нулевая точка станка — точка, принятая за начало координат станка.

Исходная точка станка — точка, определяемая относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по управляющей программе.

Фиксированная точка станка — точка, определяемая относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа станка.

Точка начала обработки — точка, определяемая начало обработки конкретной заготовки.

Нулевая точка детали — точка на детали, относительно которой заданы ее размеры.

Плавающий ноль — свойство системы ЧПУ помещать начало отсчета перемещения рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки станка.

Различают позиционное, контурное и адаптивное ЧПУ станочным оборудованием.

Позиционное ЧПУ — управление, при котором рабочие органы станка перемещаются в заданные точки без задания траектории их перемещения. Данное управление применяется, в основном, в сверлильно-расточных и других станках, в которых обработка выполняется только после установки оси инструмента в заданную точку.

Контурные ЧПУ — управление, при котором рабочие органы станка перемещаются по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки. Это управление применяется в станках со сложными формообразующими движениями, которые являются результатом одновременного согласования простых движений по нескольким координатам, например, в токарных, фрезерных и др. станках.

Адаптивное ЧПУ — управление, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям. Примером таких условий может быть изменение глубины резания, твердости обрабатываемой заготовки, жесткости системы “станок-приспособление-инструмент-деталь” и т.д.

Под системой ЧПУ понимается совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих управление станком. Системы ЧПУ могут быть разомкнутые и замкнутые.

В разомкнутых системах (без обратной связи) используется только задающая информация, т.е. один поток информации. В них отсутствуют контроль за выполнением управляющей программы и информация о возмущениях, возникающих при выполнении технологического процесса.

Замкнутые системы управления работают на основе совместного использования задающей информации и информации обратной связи о выполнении управляющей программы и протекании технологического процесса.

Управляющая программа записывается на программноносителях, которые могут быть внешними и внутренними. К первым относятся перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, проволока, барабаны и диски, киноплёнка. Что касается внутренних программноносителей, то к ним относятся штеккерные панели и коммутаторы, панели с переключателями или кнопками, электронно-лучевые трубки и т.д. Внешние программноносители можно быстро заменять, а внутренние являются неотъемлемым элементом устройства ЧПУ.

Все программноносители характеризуются емкостью, скоростью записи и считывания информации, быстротой замены (внешние программноносители), надежностью, стоимостью и т.д.

По характеру информации, выражающей программу, системы ЧПУ подразделяются на непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные. Примером непрерывных систем являются фазовые системы (с фазовой модуляцией) [43]. В них программа задается синусоидальным напряжением, фаза которого пропорциональна программируемым перемещениям. Такими системами ЧПУ оснащены многие фрезерные станки.

К дискретным системам относятся шагово-импульсные и счетно-импульсные системы. В них информация о перемещении инструмента или заготовки выражена соответствующим числом импульсов. В шагово-импульсных системах, относящихся к разомкнутым системам, в качестве источника движения применяют шаговые двигатели с усилителями момента. В счетно-импульсных системах используют счетные схемы с датчиками обратной связи. Эти системы находят широкое применение в современных станках различных групп.

Под устройством ЧПУ понимается устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта. Можно выделить четыре функции устройства ЧПУ.

1. Управление формообразованием детали (геометрическая задача ЧПУ [93]). Эта задача заключается в отображении геометрической информации чертежа в такую совокупность формообразующих движений, которые материализуют чертеж в конкретное изделие.

2. Управление дискретной автоматикой станка (логическая задача ЧПУ). Данная задача заключается в автоматизации многочисленных вспомогательных операций, связанных с технологическим обеспечением. К этим операциям относятся: управление автоматической сменой инструмента; управление, связанное с переключениями в приводах главного движения и подачи; управление зажимными устройствами, охлаждением, смазыванием, перемещениями ограждения и т.д. Для их решения создают системы цикловой электроавтоматики.

3. Управление рабочим процессом станка (технологическая задача ЧПУ). Эта задача состоит в достижении требуемого качества обрабатываемых деталей с наименьшими затратами. Основными показателями качества являются точность обработки и взаимного расположения поверхностей, а также их шероховатость. Примером управления рабочим процессом станка является контроль и диагностика состояния инструмента, его размерная поднастройка (см. § 10.5).

4. Взаимодействие с окружающей производственной средой (терминальная задача ЧПУ). К этому взаимодействию относятся диалог с оператором и другими системами управления.

Различают геометрическую и технологическую информацию. Геометрическая информация описывает форму, размеры элементарных поверхностей детали и инструмента и их взаимное расположение в пространстве.

Технологическая информация описывает технологические характеристики детали и условия ее изготовления.

В станках с ЧПУ вся информация кодируется при помощи определенного кода. Он представляет собой ряд правил и условных обозначений, посредством которых осуществляется преобразование информации одного вида в другой.

Одноразрядная единица двоичной информации называется бит. Байт — единица количества двоичной информации, равная восьми битам.

Килобайт — единица количества двоичной информации, равная 1024 ($\approx 10^3$) байт.

Мегабайт — единица количества двоичной информации, равная 1048576 ($\approx 10^6$) байт.

Машинное слово — объем информации, равный 1, 2 или 4 байт (8, 16 или 32 бит) в зависимости от разрядности блоков ЭВМ.

Опорная точка — точка расчетной траектории, в которой происходит изменение либо закона, описывающего траекторию, либо условий протекания технологического процесса.

Эквидистанта — линия, равноотстоящая от линии контура детали.

Аппроксимация — процесс замены одной функциональной зависимости другой с определенной степенью точности.

Интерполяция — получение (или расчет) координат промежуточных точек траектории движения центра инструмента в плоскости или в пространстве.

Геометрический элемент — непрерывный участок расчетной траектории или контура детали, задаваемый одним и тем же законом в одной и той же системе координат.

Интерполятор — вычислительный блок системы ЧПУ, задающий последовательность управляющих воздействий для перемещения рабочих органов станка по осям координат в соответствии с функциональной связью между координатами опорных точек, заданных программой управления станком.

§ 12.2. Особенности обработки на станках с ЧПУ

Характерная особенность станков с ЧПУ заключается в том, что для них программа работы, а именно, данные о величине, скорости и направлении перемещений рабочих органов, задается в определенном коде символов, нанесенных на соответствующую

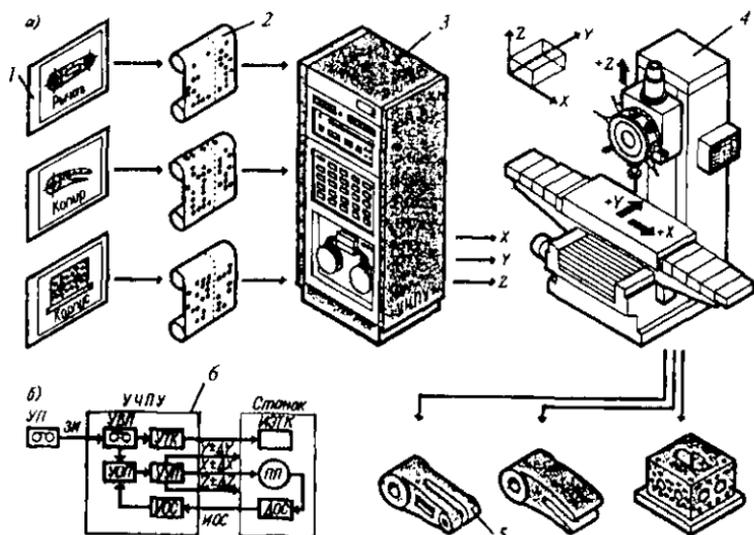


Рис. 12.1. Схема преобразования информации чертежа в материализованную деталь на станке с ЧПУ: а — схема преобразования: 1 — чертеж детали; 2 — программноноситель с управляющей программой; 3 — устройство ЧПУ; 4 — станок с ЧПУ; 5 — деталь; б — функциональная схема системы ЧПУ: УП — управляющая программа; УВП — устройство ввода программы; УОП — устройство отработки программы; УУП — устройство управления приводом; ПП — привод подачи; ДОС — датчик обратной связи; УОС — устройство обратной связи; ИЭТК — исполнительные элементы технологических команд

ший программноноситель. Причем процесс подготовки управляющей программы отделен во времени и пространстве от процесса обработки детали. Однако следует отметить, что появились системы ЧПУ, позволяющие вести программирование непосредственно в цехе на пульте управления станка.

Процесс преобразования информации чертежа 1 (рис. 12.1) в материализованную деталь 5 происходит следующим образом. Сначала разрабатывается управляющая программа, которая в определенном коде наносится на программноноситель. Затем программноноситель устанавливается в устройство 3 ЧПУ. В нем задающая информация (ЗИ) считывается устройством ввода программы (УВП) (рис. 12.1б) и в виде электрических сигналов направляется по двум каналам:

- 1) через устройство технологических команд (УТК) на исполнительные элементы технологических команд;
- 2) через устройство отработки программы (УОП) и устройство управления приводом (УУП) на соответствующие приводы подачи (ПП) рабочих органов станка. Информация о выполнении управляющей программы через датчики обратной связи (ДОС) и

устройство обратной связи (УОС) поступает в устройство обработки программы.

Результатом реализации управляющей программы на станке 4 с ЧПУ является материализованная деталь 5. Она соответствует геометрической и технологической информации чертежа детали. Чтобы обработать деталь другой конфигурации часто достаточно в устройство ЧПУ установить программноноситель с соответствующей управляющей программой.

Процесс разработки управляющей программы включает следующие этапы [108]:

- 1) выбор заготовки и технологии ее получения;
- 2) выбор станка с ЧПУ, обеспечивающего эффективную обработку, и установление его технических характеристик;
- 3) проработка чертежа детали на технологичность, определение технологических баз и способа крепления заготовки;
- 4) выбор режущего инструмента и его параметров;
- 5) определение и обоснование последовательности обработки поверхности (маршрутная технология) и всех технологических параметров;
- 6) выбор осей координат и расчет координат опорных точек контура;
- 7) определение траектории перемещения центра инструмента, например, оси фрезы;
- 8) расчет координат опорных точек эквидистанты;
- 9) определение шага аппроксимации и аппроксимация геометрических элементов эквидистанты;
- 10) расчет и составление таблицы координат промежуточных точек;
- 11) определение мест и возможных величин коррекции программы;
- 12) текстовая запись управляющей программы в коде применяемого интерполятора;
- 13) запись информации на программноноситель;
- 14) интерполирование;
- 15) перезапись программы на вторичный программноноситель;
- 16) управление оборудованием от полученной управляющей программы (или непосредственно от интерполятора).

Первые пять этапов по своему содержанию аналогичны этапам технологической подготовки производства на универсальном оборудовании. Они выполняются в техническом отделе завода. Этапы 6 — 15 осуществляются в специальном подразделении по обслуживанию станков с ЧПУ. Последний этап выполняется в цехе на рабочем месте наладчика или оператора. Отработка управляющей программы осуществляется в присутствии технолога и техника-программиста.

Следует отметить, что между указанными подразделениями существует не только прямая, но и обратная связь, т.е. в соответствующие подразделения передаются замечания для внесения изменений в документы.

§ 12.3. Системы счисления

При передаче, хранении и преобразовании информации, в том числе и в системах ЧПУ, применяют ее кодирование посредством соответствующих кодов. В системах ЧПУ код состоит из трех частей: кода перемещений, кода технологических команд и кода необходимой логической информации. Для представления чисел, характеризующих перемещения, используют коды, определяемые как системы счисления. В них запись любого числа базируется на его представлении в виде полинома:

$$A = a_n \cdot m^n + a_{n-1} \cdot m^{n-1} + \dots + a_0 \cdot m^0 + a_{-1} \cdot m^{-1} + a_{-2} \cdot m^{-2} + \dots, \quad (12.1)$$

где a_i — коэффициент — один из символов (цифр) системы счисления; m — основание системы; n — номер разряда (за основной принимают разряд $n = 0$).

Десятичная система счисления. В этой системе основание $m = 10$, а в качестве символов (коэффициентов) используют десятичные цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Так, например, в десятичной системе число 5839,17 можно представить в виде следующего полинома:

$$5839,17 = 5 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0 + 1 \cdot 10^{-1} + 7 \cdot 10^{-2}.$$

Данная система является емкой, но она мало пригодна в устройствах вычислительной техники, так как изготовление элемента с десятью четко различимыми состояниями технически весьма сложно.

Унитарная система счисления. Она имеет один цифровой символ — 1. Любое и только целое число выражается набором единиц, например, число 5 представляется в виде 1+1+1+1+1, число 13 — в виде 1+1+1+1+1+1+1+1+1+1+1+1 и т.д. Эта система простая и легко реализуется, но весьма громоздка.

Двоичная система счисления. В ней основание $m = 2$, а в качестве символов используются две цифры — 1 и 0. Например, в этой системе число 38,5 можно представить в виде следующего полинома:

$$\begin{aligned} 38,5 &= 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} = \\ &= 1 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 + 1 \cdot \frac{1}{2} = 38,5. \end{aligned}$$

При использовании системы счисления число записывают, как правило, не в виде полинома, а путем перечисления символов. Так, для приведенного примера получим следующее перечисление 100110,1.

Двоичная система счисления отличается простотой и экономичностью. Она широко применяется в вычислительной технике и автоматике, так как позволяет использовать большое многообразие приборов, устройств и элементов с двумя устойчивыми состояниями, соответствующими символам 0 и 1.

Небольшой недостаток двоичной системы заключается в громоздкости записи по сравнению с десятичной системой. Так, количество цифр двоичного изображения числа примерно в 13,3 раза больше количества цифр в десятичном изображении того же числа [29]. Этот недостаток устраняется в смешанных системах счисления: двоично-десятичной, двоично-восьмеричной и др.

Двоично-десятичная система счисления. В этой по существу десятичной системе символы 0, 1, 2, ..., 9 записываются двоичным кодом, для чего используется четыре двоичных разряда (тетрада). Например: цифра 0 записывается в виде 0000; цифра 1 — в виде 0001, цифра 2 — в виде 0010, ..., цифра 9 — в виде 1001. В данной системе для записи чисел от 0 до 999 требуется три двоичные тетрады. Так, число 941 будет иметь вид 100101000001, число 837 — 1000 0011 0111 и т.д.

Если в двоично-десятичной системе используются нормальные значения (вес) каждого разряда двоичной системы, то значимость разрядов в тетраде составит $2^3 2^2 2^1 2^0$ или 8421. Эту систему с указанным весом разрядов называют двоично-десятичным взвешенным кодом 8421. Разработаны коды с другими наборами весов по разрядам, например: 2421, 5211, 7421 и т.д.

Подробно системы счисления описываются в работе [29].

§ 12.4. Программноносители в станках с ЧПУ

Как отмечалось выше, программноносители могут быть внешними и внутренними. К внешним программноносителям относятся: перфокарты, перфоленты, киноплёнки, магнитные ленты, проволока, барабаны и диски. Внутренние программноносители — это штеккерные панели и коммутаторы, панели с переключателями или кнопками, электронно-лучевые трубки и т.п.

Перфокарта представляет собой карту из плотного картона толщиной 0,18 мм со срезанным углом, который определяет начало записи информации. Запись осуществляется в определенном коде путем перфорирования (нанесения) кодовых отверстий прямоугольной (3×1,5 мм) или круглой формы (Ø 3 мм).

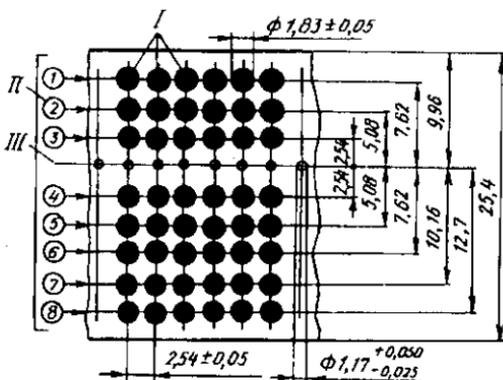


Рис. 12.2. Восьмидорожечная перфоленга: I — строки; II — дорожки кодовых отверстий; III — транспортная дорожка

Перфокарты дешевы, и их легко исправлять. Однако они мало пригодны для станков с ЧПУ, так как для записи всей информации требуется большое количество перфокарт.

Перфоленги устраняют указанный недостаток и широко применяются в станках с ЧПУ. Они изготавливаются из бумаги толщиной 0,1 мм и шириной 17,5; 22,5 и 25,4 мм. Запись информации на них осуществляется перфорированием кодовых отверстий диаметром 1,83 мм (рис. 12.2) с расстоянием между строками $2,54 \pm 0,05$ мм. На ведущей (транспортной) дорожке диаметр отверстий равен 1,17 мм.

На перфоленге шириной 17,5 мм размещается пять кодовых дорожек, шириной 22,5 мм — шесть или семь кодовых дорожек, шириной 25,4 мм — восемь кодовых дорожек. Запись информации осуществляется с помощью различных перфораторов.

В отличие от перфокарт и перфоленг магнитные программные носители в виде ленты, проволоки, барабанов и дисков имеют большую емкость и надежность. Кроме того, их можно многократно использовать для записи и перезаписи информации.

Магнитная лента имеет эластичную основу (подложку) 3 (рис. 12.3) из полимерного материала, на которую нанесен рабочий ферромагнитный слой 2 — порошок из окислов железа. Этот слой закреплен на подложке с помощью специального связующего вещества. Толщина основы 60–120 мкм, а ферромагнитного слоя — 5 — 20 мкм при размере зерен порошка 0,3 — 0,9 мкм. Ширина ленты 35 мм. Лента выдерживает скорость протягивания и перемотки до 200 мм/с.

Запись информации на магнитную ленту осуществляется с помощью магнитной головки, которая представляет собой электромагнит специальной конструкции, состоящий из двух полуколец 4 (рис. 12.3) из листового пермаллоя. Сердечник магнитной головки имеет два зазора. Верхний зазор заполнен латунной

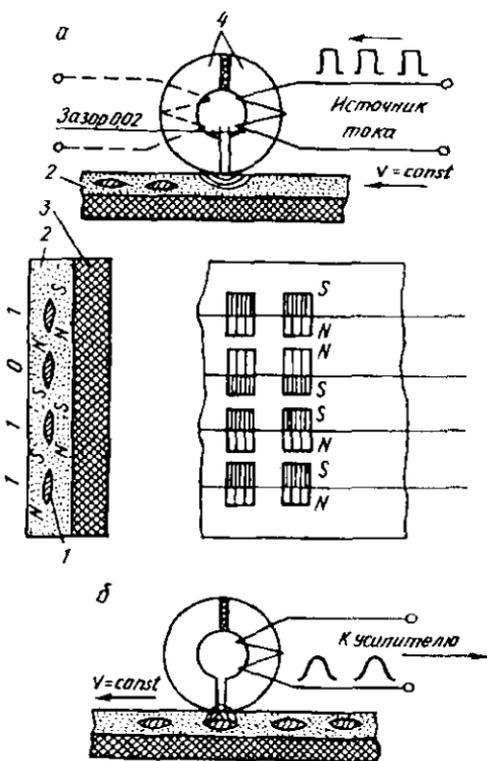
Рис. 12.3. Схема записи — а и считывания — б информации при использовании магнитной ленты

прокладкой для уменьшения остаточного намагничивания сердечника. Нижний — воздушный зазор (20 — 50 мкм) взаимодействует с рабочим ферромагнитным слоем ленты. На сердечнике установлены одна или две обмотки с общей заземленной точкой.

При подаче импульса тока (рис. 12.3а) на одну из обмоток головки (например, правую) в сердечнике возникает магнитное поле, которое замыкается в зоне воздушного зазора через ферромагнитный слой. В результате небольшой участок (размером около 10 мкм) этого слоя намагничивается в строго определенном направлении и появляется диполь — элементарный постоянный магнит. Диполь с другим расположением полюсов получается при подаче импульса тока на вторую (левую) обмотку головки. Таким образом, появляется возможность записи символов 1 и 0 путем подачи импульса тока в различные обмотки головки. Следует отметить, что поле любого диполя может сохраняться неограниченно долго, если оно не подвергается действию внешних магнитных полей. Поэтому кодированную информацию на магнитных носителях используют в устройствах долговременной памяти ЭВМ.

Считывание информации с магнитной ленты производится такой же магнитной головкой (рис. 12.3б), что и запись. При непрерывном перемещении ленты, когда диполь подходит к воздушному зазору головки, его силовые линии замыкаются через сердечник и изменяют в нем величину магнитного потока. Это приводит к тому, что обмотка головки индуцирует ЭДС, которая является полезным сигналом. Естественно, что число магнитных головок должно равняться числу дорожек.

Магнитные барабаны представляют собой полые цилиндры из немагнитного материала (алюминиевый сплав Д16,



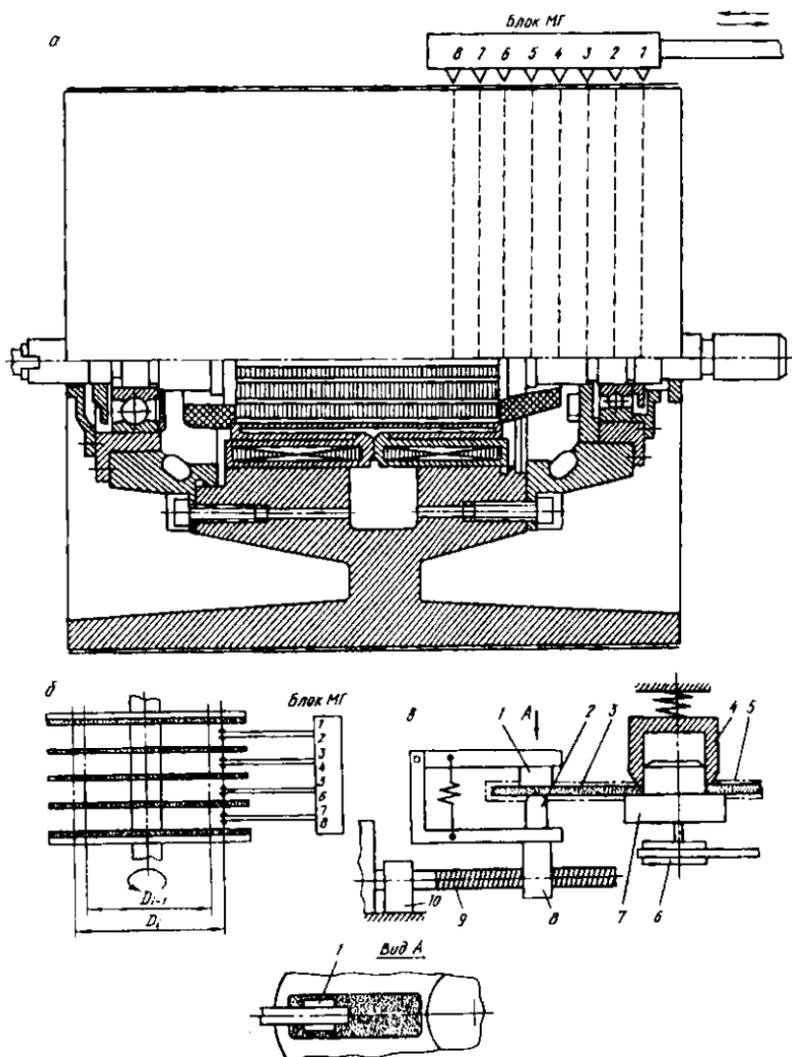


Рис. 12.4. Схемы магнитных запоминающих устройств [29]: а — магнитного барабана; б — дискового съемного пакета; в — гибкого диска: 1 — прижим; 2 — магнитная головка; 3 — диск; 4 — прижим диска; 5 — кассета; 6 — привод механизма вращения; 7 — ступица; 8 — гайка; 9 — винт; 10 — привод

латунь Л62, ЛС59-1 и др.), на которые нанесено металлическое или ферритное покрытие. Информация записывается или считывается блоком магнитных головок с вращающегося барабана (рис. 12.4а). Блок может перемещаться вдоль оси барабана для установки головок на соответствующие дорожки. Магнитные

барабаны обеспечивают высокую скорость записи и считывания информации — не менее 1,25 М байт/с.

В настоящее время в качестве носителей информации широко применяются магнитные диски. Они обеспечивают большой объем хранения информации, их просто менять и хранить. Такие носители информации могут быть: одно- (рис. 12.4а) и многодисковыми (рис. 12.4б); жесткими и гибкими; с фиксированными и позиционируемыми магнитными головками.

Жесткие диски изготавливают из немагнитного листового материала (например, алюминиевого сплава Д16МП) толщиной 1,27–1,9 мм диаметром до 400 мм, а гибкие — из полимерных материалов. На поверхности дисков наносят ферролаковые и другие магнитопроводящие покрытия толщиной 0,9–6 мкм.

Современные магнитные диски на одной стороне имеют от 77 до 410 дорожек. Частота их вращения 360–3600 об/мин. Время поиска информации 10–90 мс.

Схема запоминающего устройства с гибким диском и позиционируемой магнитной головкой представлена на рис. 12.4в. В нем диск 3 в кассете 5 устанавливается на ступицу 7, которая получает вращение от привода 6. Сверху диск поджимается прижимом 4. В радиальной прорези кассеты 5 (см. вид А) располагается магнитная головка 2, поджимаемая к диску прижимом 1. Головка при помощи механизма позиционирования (привод 10, винт 9, гайка 8) может перемещаться в радиальном направлении для установки ее на соответствующую дорожку.

Общими недостатками магнитных программноносителей являются: невозможность визуального контроля записанной инфор-

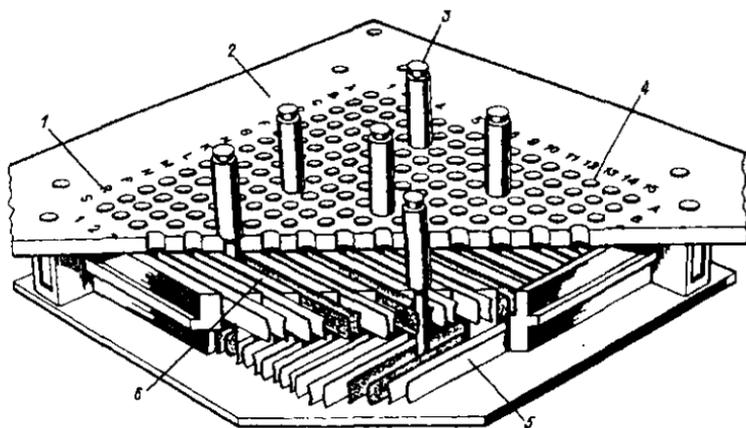


Рис. 12.5. Штеккерная двухслойная панель: 1 — адрес; 2 — лицевая панель; 3 — штеккер; 4 — гнездо; 5 и 6 — нижние и верхние шины

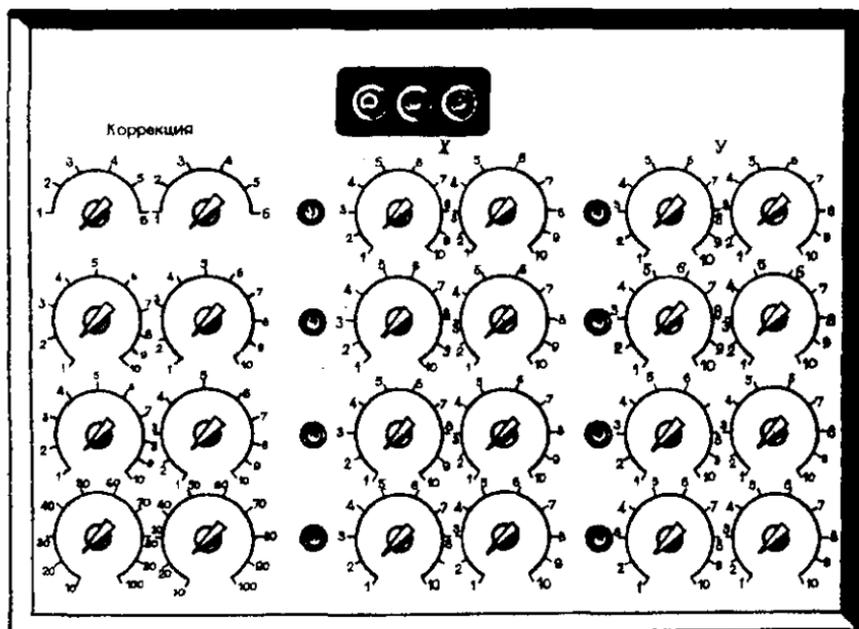


Рис. 12.6. Панель с секторными переключателями

мации и ее корректировки; более высокая стоимость по сравнению с перфокартами и перфолентами.

Внутренние программоносители являются неотъемлемой частью устройства ЧПУ. Они по сравнению с внешними программоносителями имеют следующие преимущества [29]:

- возможность ввода информации (набора программы) непосредственно на рабочем месте;

- наглядность введенной информации;

- возможность корректировки введенной в процессе ее использования для управления станочным оборудованием.

В тоже время внутренние программоносители имеют малую емкость и не могут хранить ранее использованную информацию после переналадки станочного оборудования.

В штеккерных панелях ввод информации осуществляется путем установки в гнезда 4 (рис. 12.5) штеккеров 3. Соответствующее гнездо выбирается на лицевой панели 2 по адресу / и номеру строк. Установленные штеккеры замыкают верхние 6 и нижние 5 шины, которые определяют конкретную схему включения исполнительных реле.

Штеккерная панель может быть выполнена в виде барабана. В этом случае считывание информации происходит при повороте барабана путем воздействия штеккеров на микропереключатели.

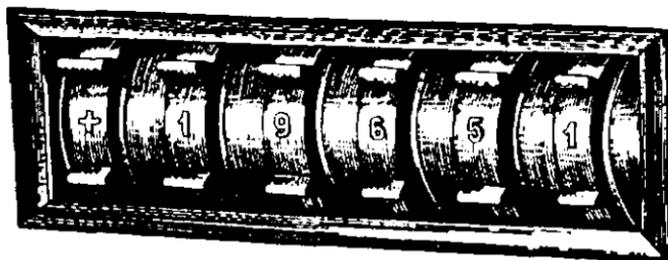


Рис. 12.7. Дискový декадный переключатель

В панелях с переключателями ввод информации осуществляется установкой переключателей в нужную позицию (рис. 12.6). Такой носитель информации прост и удобен. Он находит широкое применение в станках с ЧПУ для ввода различных команд.

В станках с ЧПУ широко применяются панели с дисковыми декадными переключателями (рис. 12.7). Они используются для ввода цифровой информации, например, при коррекции управляющей программы.

Электронно-лучевые трубки являются наиболее скоростными программносителями [29]. В них запись и считывание информации производится электронным лучом со скоростью $200 \cdot 10^3$ имп/с.

§ 12.5. Подготовка информации для управляющих программ

При обработке поверхностей детали инструмент и заготовка, совершая соответствующие формообразующие движения, перемещаются относительно друг друга по определенной траектории. В результате получается требуемый контур детали. В станках с ЧПУ программируется траектория движения центра P инструмента (рис. 12.8). Для проходных резцов центр P инструмента — это центр дуги окружности при вершине; для концевых фрез, сверл, разверток и зенкеров — центр основания; для концевых фрез со сферическим торцом — центр полусферы и т.д. Если в процессе обработки радиус инструмента по контуру детали не изменяется (рис. 12.8 *a-e*), то траектория центра P инструмента является эквидистантой контура детали. В противном случае (рис. 12.8 *ж-л*) траектория движения центра P инструмента существенно отличается от контура детали. Однако на практике и такую траекторию называют эквидистантой.

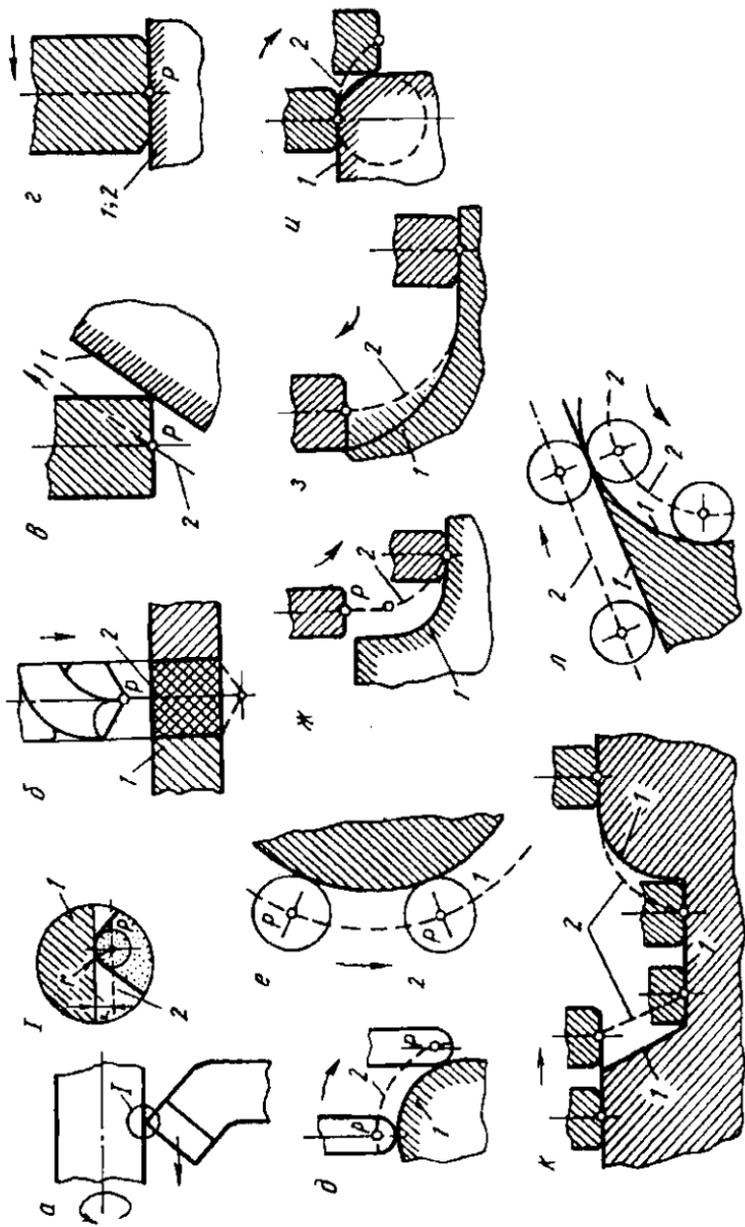


Рис. 12.8. Схемы траекторий центра инструмента: 1 — контур детали; 2 — траектория движения центра инструмента

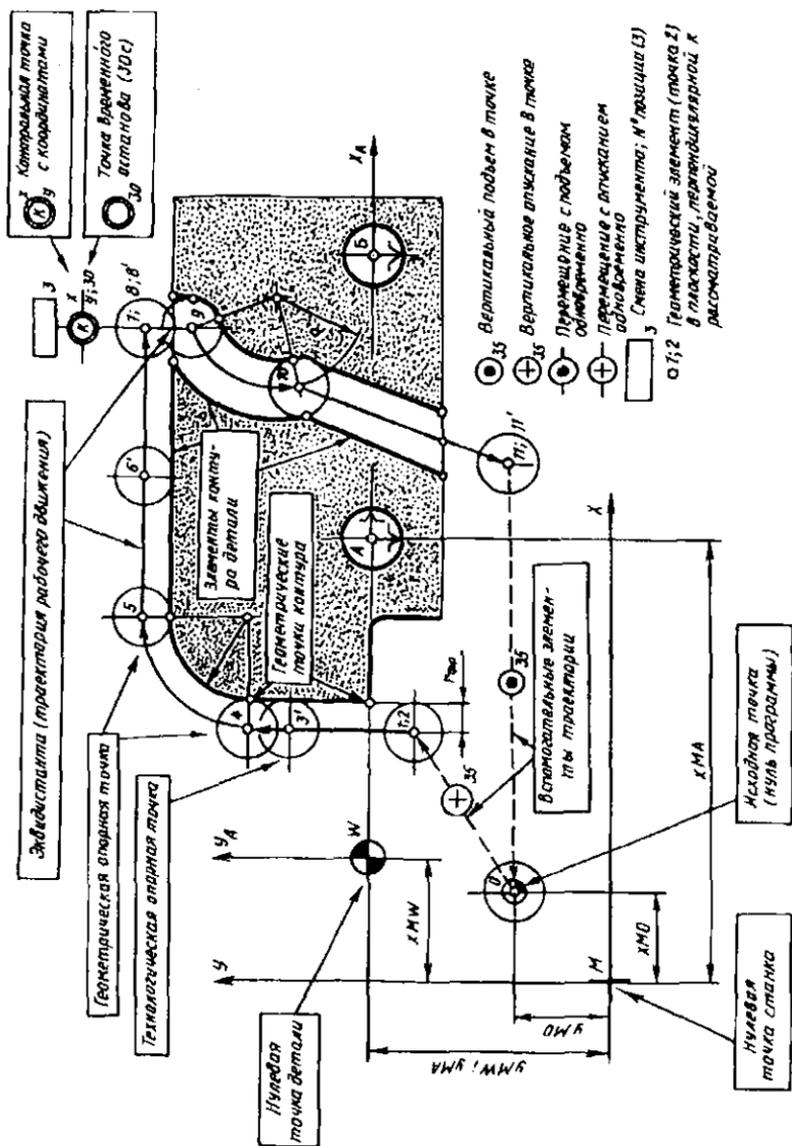


Рис. 12.9. Элементы траектории движения центра инструмента

Движение центра инструмента по эквидистанте является рабочим движением. Наряду с этим центр инструмента совершает подготовительные и вспомогательные движения, характер которых зависит от положения исходной (нулевой) точки, расположения приспособления и т.д.

Таким образом, для составления управляющей программы необходимо прежде всего определить рабочие, подготовительные и вспомогательные траектории перемещения центра инструмента.

При программировании траектории движения центра инструмента ее разбивают на отдельные участки, последовательно переходящие друг в друга. В качестве примера [29] на рис. 12.9 приведены элементы траектории центра инструмента.

В станках с ЧПУ положение опорных точек может задаваться в прямоугольной (декартовой), цилиндрической и сферической системах координат, представленных на рис. 12.10. В прямоугольной системе координат (*a*) положение точки *A* задается координатами *X*, *Y*, *Z* с определенным знаком относительно начала координат. Координаты *X*, *Y*, *Z* называются соответственно абсциссой, ординатой и аппликатой.

В цилиндрической системе координат точка *A* в пространстве задается радиусом-вектором ρ , центральным углом φ и аппликатой *z* (рис. 12.10б), а в сферической системе — радиусом-вектором *R*, долготой ψ и полярным углом θ .

Переход из одной системы координат в другую осуществляется путем пересчета по несложным формулам.

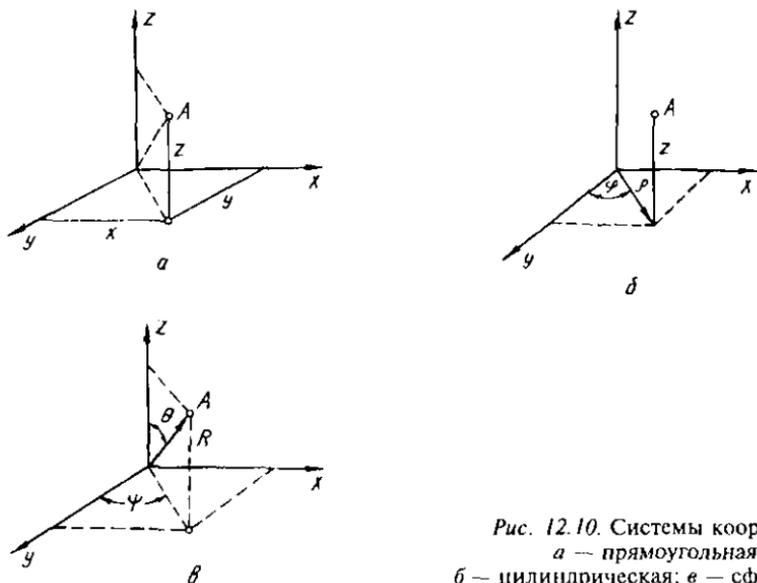


Рис. 12.10. Системы координат:

a — прямоугольная;

б — цилиндрическая; *в* — сферическая

Программирование начинается с выбора нулевой точки W детали, которая является началом координат ее системы $X_d Y_d Z_d$ (рис. 12.11а). В этой системе задается положение базовых поверхностей заготовки и всех опорных точек, определяющих траекторию движения центра инструмента при обработке.

Далее, если заготовка устанавливается непосредственно на рабочую поверхность стола станка, должно быть зафиксировано положение нуля детали (точка W) в системе координат XYZ (рис. 12.11б), начало которой находится в нулевой точке станка. В общем случае нуль детали (точка W) будет иметь координаты xMW , yMW , zMW .

При установке заготовки в приспособление относительно нуля станка (точка M) должно быть закоординировано положение приспособления (рис. 12.11в). При этом координатная система детали $X_d W_d Y_d$ должна совпадать с системой приспособления $X_u G Y_u$.

Координатной системой инструмента является система $Z_u N X_u$ (рис. 12.11б).

В системе координат детали координаты опорных точек траектории могут задаваться двумя способами:

- 1) абсолютными размерами, т.е. размерами каждой опорной точки от нулевой точки W детали (рис. 12.12а);
- 2) приращениями в направлении движения инструмента от одной опорной точки к другой (рис. 12.12б).

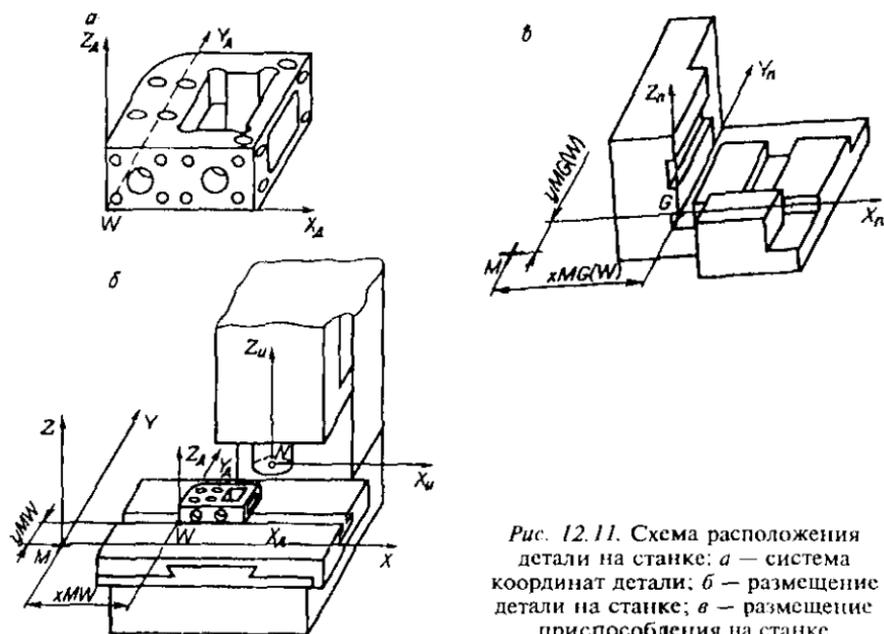


Рис. 12.11. Схема расположения детали на станке: а — система координат детали; б — размещение детали на станке; в — размещение приспособления на станке

При записи управляющей программы первый способ задания координат опорных точек кодируется буквенно-цифровым символом $G90$, а второй — $G91$.

Выбор того или иного способа задания координат опорных точек траектории зависит от простановки размеров детали. При абсолютном задании размеров используется первый способ, а при относительном — второй способ. На рис. 12.13 в качестве примера представлены схемы задания размеров деталей и соответствующие им способы задания координат опорных точек. Значения координат опорных точек приведены в табл. 12.1.

Исходя из дискретности систем ЧПУ приращения координат опорных точек можно выразить не в мм, а количеством импульсов. Например, приращения $\Delta x_i = 11,25$ мм и $\Delta y_i = 9,17$ мм при дискретности по осям координат $0,01$ мм/имп можно представить как $\Delta x_i = 1125$ имп и $\Delta y_i = 917$ имп.

Следует отметить, что приращения по двум осям координат не определяют заданного прямолинейного движения между двумя опорными точками. Даже при постоянной скорости перемещения по осям, вследствие неравенства приращений ($\Delta x_i \neq \Delta y_i$), время движения по одной из координат будет меньше, а заданная траектория получится искаженной (рис. 12.14а). Приблизить фактическую траекторию к заданной можно путем введения дополнительных (промежуточных) опорных точек 2-5 (рис. 12.14б) и задания центру инструмента соответствующих приращений между этими точками: точке 2 — $(\Delta x, \Delta y)$, точке 3 — $(\Delta x, \Delta y)$, точке 4 — (Δx) , точке 5 — $(\Delta x, \Delta y)$, т.е. путем разбивки траектории на более мелкие участки.

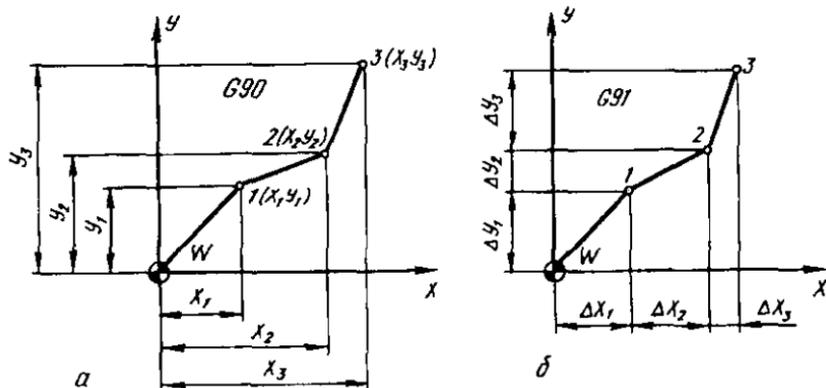


Рис. 12.12. Способы задания координат опорных точек 1—3: а — абсолютные размеры; б — размеры в приращениях

Координаты опорных точек

Точка	Способы задания координат			
	абсолютными размерами		приращениями	
	X	Y	Δx	Δy
	0	0	0	0
1	25	0	+25	0
2	25	20	0	+20
3	65	20	+40	0
4	65	0	0	-20
5	105	0	+40	0
6	105	70	0	+70
7	45	70	-60	0
8	45	90	0	+20
9	0	90	-45	0

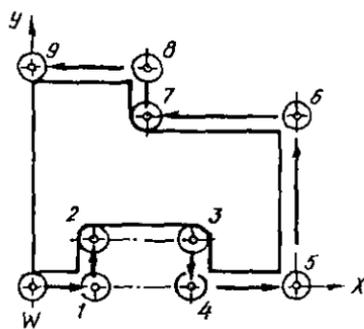
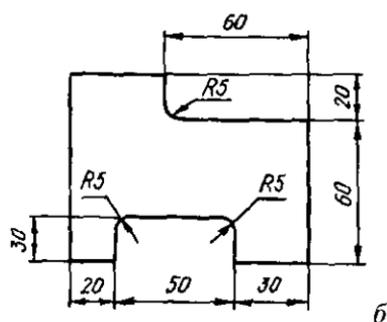
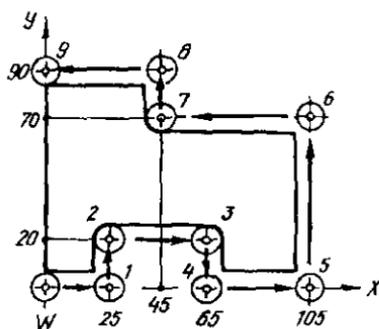
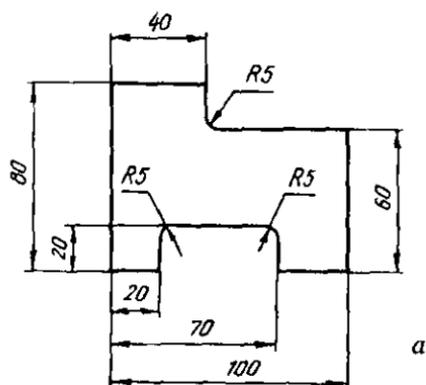


Рис. 12.13. Схемы задания размеров деталей: а — абсолютные размеры; б — относительные размеры

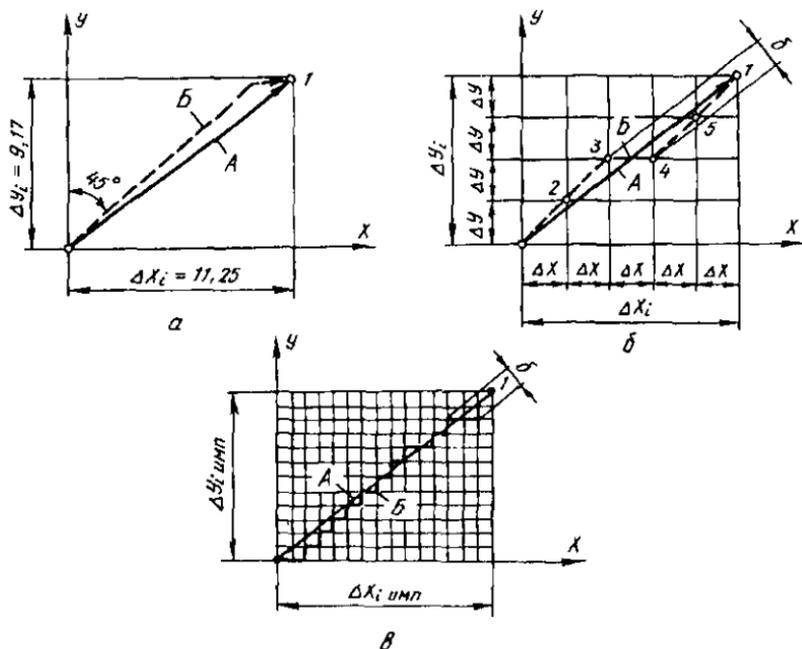


Рис. 12.14. Линейные траектории перемещения центра инструмента: *a* — без задания промежуточных опорных точек; *б* — с заданием промежуточных опорных точек 2, 3, 4 и 5; *в* — с попеременной подачей импульсов по осям координат; *A* — заданная траектория; *B* — фактическая траектория; δ — ошибка в обработке

Естественно, что введение дополнительных опорных точек при программировании траектории центра инструмента приводит к резкому увеличению трудоемкости расчетов и объема программы. Поэтому, чтобы исключить эти недостатки, в системе ЧПУ предусматривают специальный вычислительный элемент — интерполятор (см. § 12.1), который автоматизирует детальное представление заданной траектории между двумя основными опорными точками (с выдачей команд на соответствующие перемещения по осям координат). В процессе перемещения центра инструмента от одной опорной точки к другой интерполятор непрерывно поддерживает функциональную связь между координатами опорных точек, т.е. обеспечивает обработку траектории в зависимости от вида функции. Интерполятор называется *линейным*, если функция выражает прямую линию, и — *круговым*, если функция выражает окружность и кривые другого порядка.

Необходимо отметить, что обеспечить точную функциональную связь между движениями по осям координат в каждой дан-

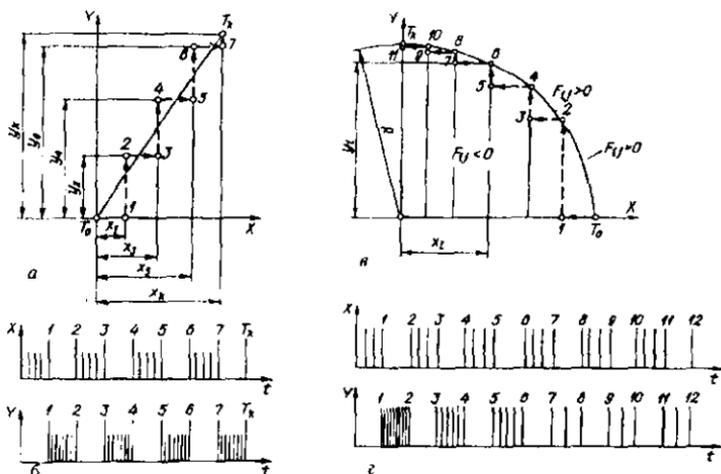


Рис. 12.15. Линейная — а и круговая — в интерполяция: б и г — схемы подачи импульсов по осям X и Y; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 — промежуточные опорные точки

ной точке траектории весьма сложно. Поэтому в соответствии с принятым характером перемещения интерполятор выдает попеременно импульсы то по одной, то по другой координате (рис. 12.14в), т.е. происходит ступенчатое перемещение. Однако, учитывая, что в современных станках с ЧПУ цена импульса равна 0,001 мм, перемещение между соседними опорными точками будет практически плавным, а ошибка в отработке управляющей программы — минимальной.

Схемы линейной и круговой интерполяции, а также схемы подачи импульсов по осям координат приведены на рис. 12.15. Как видно из данного рисунка импульсы для управления приводами по осям X и Y подаются попеременно. Количество импульсов на элементарном участке перемещения зависит от дискретности системы ЧПУ, т.е. от цены импульса.

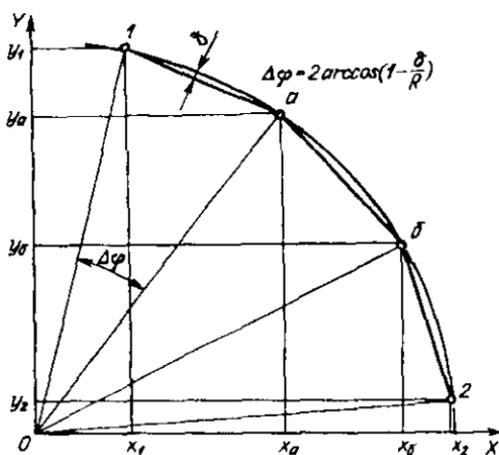


Рис. 12.16. Линейная аппроксимация дуги окружности

В станках с ЧПУ с линейными интерполяторами затруднено программирование траектории в виде дуг окружностей. Для решения этой проблемы применяется аппроксимация (см. § 12.1) дуг окружностей ломаными линиями (рис. 12.16). В результате появляются промежуточные опорные точки. Величина элементарных участков аппроксимации зависит от углового шага $\Delta\varphi$, радиуса R дуги и принимаемого значения стрелки прогиба δ .

Современные станки с ЧПУ оснащаются линейно-круговыми интерполяторами. Поэтому нет необходимости выполнять аппроксимацию дуг окружностей.

§ 12.6. Кодирование информации

Информация управляющей программы, обеспечивающей обработку конкретной детали на станке с ЧПУ, записывается на соответствующем программносителе (чаще всего на перфоленте) в виде определенного набора кадров. В каждом кадре имеется геометрическая и технологическая информация, необходимая для обработки элементарного участка детали, например, участка между опорными точками. В свою очередь кадры состоят из слов, информация которых определяет работу отдельных исполнительных органов: перемещений по координатам X , Y , Z , работу механизмов смены инструментов и т.д. Каждое слово занимает несколько поперечных строчек перфоленты.

Различают два способа записи управляющей программы на перфоленте: с постоянной и переменной длиной кадра.

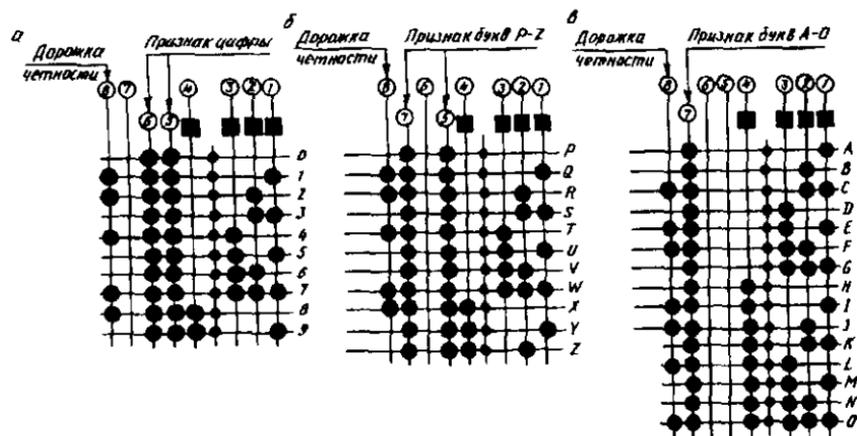


Рис. 12.17. Буквенно-цифровой код ИСО-7 бит: а — кодирование цифр от 0 до 9; б — кодирование букв от Р до Z; в — кодирование букв от А до О

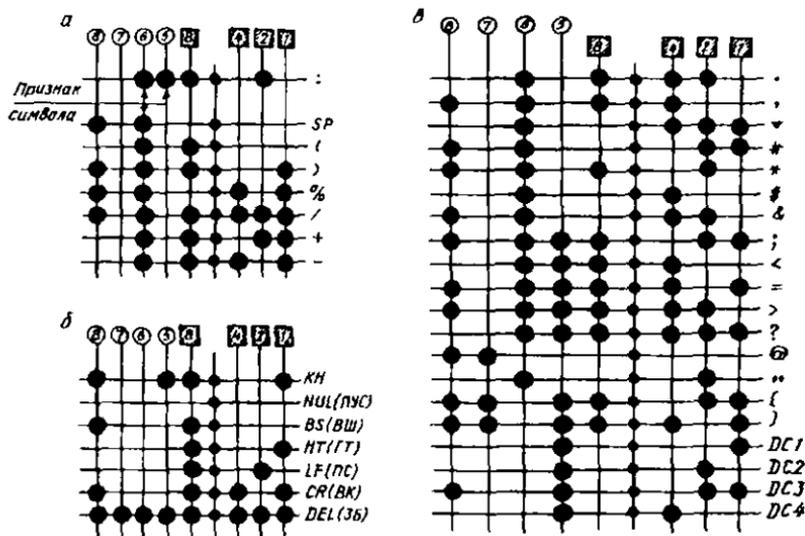


Рис. 12.18. Изображение символов в коде ИСО-7 бит: а, б — служебные символы; в — дополнительные символы

В первом случае объем кадра остается постоянным по всей программе и занимает постоянное число строк перфоленты. В таком кадре предусматривается место для записи всех слов (команд) вне зависимости от их повторяемости и числовых значений. Той или иной информации соответствует определенная часть кадра. Недостатками этого способа являются большой расход перфоленты и высокая трудоемкость программирования.

Указанные недостатки устраняются при записи управляющей информации с переменной длиной кадра. Этот способ широко применяется при использовании буквенно-цифровых кодов. Примерами таких кодов являются буквенно-цифровой код БЦК-5 (нормаль станкостроения Э68-1) и семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит. Последний широко применяется в современных станках с ЧПУ.

Код ИСО-7 бит предназначен для записи управляющей информации на восьмидорожечной перфоленте и позволяет кодировать 128 символов. На первых четырех дорожках (рис. 12.17) приписаны веса двоично-десятичного кода 8421. Дорожки 5-7 являются дорожками признаков. Так, признаком десятичных цифр от 0 до 9 является перфорирование отверстий на дорожках 5 и 6. Буквы латинского алфавита от А до О выражаются цифрами соответственно от 0 до 15. При этом их признаком является перфорирование дорожки 7. Последующие буквы от Р до Z выража-

ются цифрами от 0 до 10, но они имеют другой признак, чем буквы от А до О, а именно, отверстия на дорожках 5 и 7.

Изображение служебных и дополнительных символов приведено на рис. 12.18. Признаком большинства этих символов является перфорирование отверстий на дорожке 6.

В коде ИСО-7 бит помехозащищенность осуществляется путем построчного контроля на четность. Этот контроль обеспечивается перфорированием отверстия на дорожке 8, если на семи предыдущих дорожках число отверстий нечетное. Таким образом, на каждой строке перфоленты пробивается и считывается четное число отверстий.

Согласно ГОСТу 20999-83 за символами кода ИСО-7 бит закреплены определенные значения, которые приведены в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Значение символов по ГОСТу 20999-83 [29]

Символ	Наименование	Значение
<i>1. Символы адресов</i>		
<i>X, Y, Z</i>		Первичная длина перемещения, параллельного осям <i>X, Y, Z</i>
<i>A, B, C</i>		Угол поворота соответственно вокруг осей <i>X, Y, Z</i>
<i>U, V, W</i>		Вторичная длина перемещения, параллельного осям <i>X, Y, Z</i>
<i>P, Q</i>		Третичная длина перемещения, параллельного осям <i>X, Y</i>
<i>R</i>		Перемещение на быстром ходу по оси или третичная длина перемещения, параллельного оси <i>Z</i>
<i>G</i>		Подготовительная функция
<i>F, E</i>		Первая (<i>F</i>) и вторая (<i>E</i>) функция подачи
<i>S</i>		Функция главного движения
<i>N</i>		Номер кадра
<i>M</i>		Вспомогательная функция
<i>T, D</i>		Первая (<i>T</i>) и вторая (<i>D</i>) функция инструмента
<i>I, J, K</i>		Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно осям <i>X, Y, Z</i>
<i>H, L, O</i>		Не определено
<i>2. Управляющие символы</i>		
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало управляющей программы. Используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке перфоленты

Символ	Наименование	Значение
<i>LF(П)</i>	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра
:	Главный кадр	Перевод строки
±	Плюс, минус	Знак, обозначающий главный кадр
±	Плюс, минус	Математические знаки (направление перемещения)
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа "Конец кадра" может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами "номер кадра" и "Главный кадр", то он действует на целый кадр
()	Круглая скобка: левая, правая	Знаки, обозначающие, что информация, расположенная внутри скобок, не должна обрабатываться на станке
<i>HT(П)</i>	Горизонтальная табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную знаковую позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати и распечатки управляющей программы
<i>NUL(ПУС)</i>	Пусть	Пропуск строки перфоленты
<i>BS(ВШ)</i>	Возврат на шаг	Для управления электрофицированной пишущей машинкой (ЭПМ)
<i>CR(БК)</i>	Возврат каретки	То же
<i>SP(ПР)</i>	Пробел	Сдвиг каретки ЭПМ на шаг
<i>KH</i>	Конец носителя	Символ для отключения ЭПМ при распечатке управляющей программы
<i>DEL(ЗБ)</i>	Забой	Символ забоя информации УЧПУ не читается
<i>3. Дополнительные символы</i>		
.		Точка
,		Запятая
'		Апостроф
#		Знак "дизель"
*		Звездочка
\$		Знак доллара
&		Знак "коммерческое И"
;		Точка с запятой
<		Открывающая угловая скобка
=		Знак равенства

Символ	Наименование	Значение
>		Закрывающая угловая скобка
?		Вопросительный знак
@		Коммерческий знак
"		Кавычки
		Левая фигурная скобка
		Правая фигурная скобка
DC1		Пуск устройства считывания с ленты
DC2		Указания на перфорация ленты
DC3		Отключение устройства считывания с ленты
DC4		Освобождение перфоратора ленты

При разработке управляющих программ используются функции с адресом G — подготовительные функции (табл. 12.3), которые определяют режим и условия работы станка и устройства ЧПУ. Эти функции кодируются от $G00$ до $G99$. Их можно разделить на несколько групп:

$G00, \dots, G09$ — команды общего порядка: позиционирование, линейная или круговая интерполяция, ускорение, замедление, пауза (выдержка);

$G10, \dots, G39$ — особенности непрерывной обработки: выбор осей, плоскостей, видов интерполяции;

$G40, \dots, G59$ — коррекция размеров инструмента без отсчета, смещение осей;

$G60, \dots, G79$ — вид и характер работы: точно, быстро;

$G80, \dots, G89$ — постоянные автоматические циклы;

$G90, \dots, G99$ — особенности задания размеров, режимов обработки.

Таблица 12.3

Значения некоторых подготовительных функций по ГОСТу-20999-83 [29]

Код функции	Наименование	Значение
$G00$	Быстрое позиционирование	Перемещение в запрограммированную точку с максимальной скоростью. Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется. Перемещения по осям координат могут быть некоординированными
$G01$	Линейная интерполяция	Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению

Код функции	Наименование	Значение
G02; G03	Круговая интерполяция	между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган по двум или более осям одновременно Вид контурного управления для получения дуги окружности, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования дуги, изменяются устройством управления
G02	Круговая интерполяция. Движение по часовой стрелке	Направление движения определяется со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G03	Круговая интерполяция. Движение против часовой стрелки	
G04	Пауза	Указание о временной задержке, конкретное значение которой задается в управляющей программе или другим способом. Применяется для выполнения операций, протекающих известное время и не требующих ответа о выполнении
G06	Параболическая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги параболы, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования этой дуги, изменяются устройством управления
G08	Разгон	Автоматическое увеличение скорости перемещения в начале движения до запрограммированного значения
G09	Торможение	Автоматическое уменьшение скорости перемещения относительно запрограммированной при приближении в запрограммированной точке
от G17 до G19	Выбор плоскости	Задание плоскости таких функций, круговая интерполяция, коррекция на фрезу и др.
G41	Коррекция на фрезу — левая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G42	Коррекция на фрезу — правая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G43	Коррекция на положение инструмента — положительная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо сложить с координатой, заданной в соответствующем кадре или кадрах

Код функции	Наименование	Значение
G44	Коррекция на положение инструмента — отрицательная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо вычесть из координаты, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G53	Отмена заданного смещения	Отмена любой из функций. Действует только в том кадре, в котором она записана
G54	Заданное смещение	Смещение нулевой точки детали относительно исходной точки станка
G80	Отмена постоянного цикла	Функция, которая отменяет любой постоянный цикл
G90	Абсолютный размер	Отсчет перемещения производится относительно выбранной нулевой точки
G91	Размер в приращениях	Отсчет перемещения производится относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	Установки абсолютных накопителей положения	Изменение состояния абсолютных накопителей положения. При этом движение исполнительных органов не происходит
G93	Скорость подачи в функции, обратной времени	Указание, что число, следующее за адресом F , равно обратному значению времени в минутах, необходимому для обработки
G94	Скорость подачи в мм в минуту	Указание, что число, следующее за адресом F , равно скорости подачи в мм в минуту
G95	Скорость подачи в мм на оборот	Указание, что число, следующее за адресом F , равно скорости подачи в мм на оборот
G96	Постоянная скорость резания	Указание, что число, следующее за адресом S , равно скорости резания в метрах в минуту. При этом скорость шпинделя регулируется автоматически в целях поддержания запрограммированной скорости резания
G97	Обороты в минуту	Указание, что число, следующее за адресом S , равно скорости шпинделя в оборотах в минуту

В табл. 12.4 приведены вспомогательные функции по ГОСТу-20999-83 с адресом M , используемые при составлении управляющих программ.

Значение некоторых вспомогательных функций по ГОСТу-20999-83 [29]

Код функции	Наименование	Значение
<i>M00</i>	Программируемый останов	Останов без потери информации по окончании отработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделя, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки
<i>M01</i>	Останов с подтверждением	Функция аналогична <i>M00</i> , но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
<i>M02</i>	Конец программы	Указывает на завершение отработки управляющей программы и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние устройства ЧПУ и (или) исполнительных органов станка
<i>M03</i>	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
<i>M04</i>	Вращение шпинделя против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки
<i>M05</i>	Останов шпинделя	Останов шпинделя наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
<i>M06</i>	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключать шпиндель и охлаждение
<i>M07</i>	Включение охлаждения №2	Включение охлаждения № 2, например, масляным туманом
<i>M08</i>	Включение охлаждения № 1	Включение охлаждения № 1, например, жидкостью
<i>M09</i>	Отключение охлаждения	Отменяет <i>M07</i> и <i>M08</i>
<i>M10</i>	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка
<i>M11</i>	Разжим	Отменяет <i>M10</i>
<i>M19</i>	Останов шпинделя в заданной позиции	Вызывает останов шпинделя при достижении им определенного углового положения
<i>M30</i>	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние устройства ЧПУ и (или) исполнительных органов станка. Установка

Код функции	Наименование	Значение
M49	Отмена ручной коррекции	в исходное положение устройства ЧПУ включает в себя возврат к символу "начало программы" Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи и (или) скорости главного движения и возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
M55, M56	Смещение инструмента	Линейные смещения инструмента в положения 1, 2, определяемые жесткими механическими или другими видами упоров или датчиками
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпиндел независимо от перемещения исполнительных органов станка и задействованной функции
M60	Смена заготовки	Включение цикла, обеспечивающего замену заготовки в рабочей позиции

Структура управляющей программы. Управляющая программа в коде ИСО-7 бит строится так, что в последовательно расположенных кадрах записывается только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. В результате команды, записанные в данном кадре, не повторяются в последующих. Они отменяются лишь другой командой этой группы или специальной командой отмены. Это позволяет производить запись управляющей программы с переменной длиной кадра.

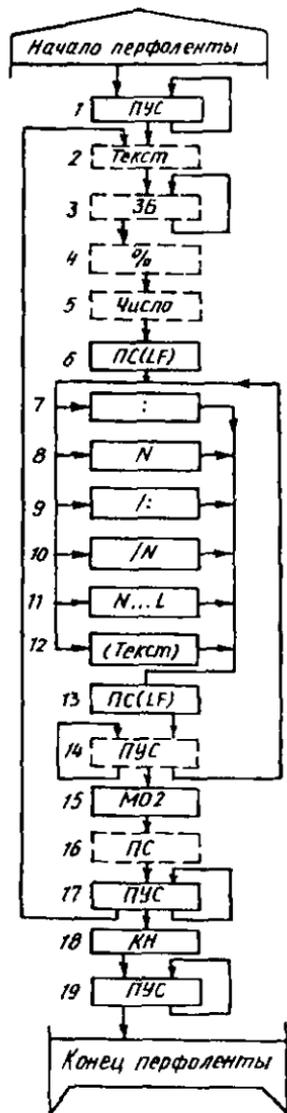
Структура программоносителя показана на рис. 12.19. Управляющая программа начинается символом % — "начало программы". Далее должен следовать символ *ПС(LF)* — "конец кадра". Кадр с символом % не нумеруется. Нумерация начинается с последующего кадра. Обозначение управляющей программы, если оно необходимо, находится непосредственно за символом % ("начало программы") перед символом *ПС* ("конец кадра"). Например, %012*ПС* означает, что управляющая программа имеет номер 12.

Если группа символов не подлежит обработке на станке, то она должна быть заключена в круглые скобки. Внутри скобок не должны находиться символы % и : ("главный кадр").

Управляющая программа должна заканчиваться символом *М02* — "конец программы" или "конец информации".

В начале и конце перфоленты, а также между управляющими программами, оставляются ракурды (символы ПУС) для ее зап-

Рис. 12.19. Структура программносителя: 1 и 19 — раккорд; 2 и 12 — комментарий; 3 — стирающие записи; 4 — начало программы; 5 — номер управляющей программы; 6, 13 и 16 — конец кадра; 7 — главный кадр; 8 — дополнительный кадр; 9 — исключение главного кадра; 10 — исключение дополнительного кадра; 11 — обращение к подпрограмме; 14 — интервал между кадрами; 15 — конец программы; 17 — интервал между управляющими программами; 18 — конец носителя



равки в считывающее устройство. После символа ПУС до символа % можно записывать комментарий, текст которого содержит номер чертежа и наименование детали, модель станка с ЧПУ, фамилию технолога программиста, дату и т.д.

Структура кадров управляющей программы. К структуре кадра предъявляются определенные требования [29]:

1. Каждый кадр должен начинаться символом N (“номер кадра”), содержать информационные слова или слово и завершаться символом $ПС$ (“конец кадра”). При необходимости в кадре указывают символы табуляции, которые проставляют перед любым словом, кроме слова “номер кадра”.

2. Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в следующей последовательности:

слова “подготовительная функция”;

слова “размерные перемещения” в последовательности: $X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C$;

слова “параметр интерполяции или шаг резьбы”: I, J, K ;

слово (или слова) “функция подачи”, относящиеся к определенной оси, должно следовать непосредственно за словом “размерное перемещение” по этой оси. Если слово “функция подачи” относится к двум и более осям, то оно должно следовать за последним словом “размерное перемещение”, к которому оно относится;

слово “функция главного движения”;

слово (или слова) “вспомогательная функция”.

3. Порядок записи слов с адресами *U, V, W, P, Q, R*, используемых в значениях, отличных от значений, указанных в табл. 12.2, и слов с адресами *D, E, H*, должен быть указан в формате конкретного устройства ЧПУ.

4. В пределах одного кадра не должны: повторяться слова “размерные перемещения” и “параметр интерполяции или шаг резьбы”;

использоваться слова “подготовительная функция”, входящие в одну группу.

5. После символа “главный кадр” записывается вся информация, необходимая для начала или возобновления обработки. В этом случае символ “главный кадр” записывается вместо символа *N* в качестве адреса в слове “номер кадра”. Символ “главный кадр” может быть использован для останова в нужном месте при перематке перфоленты.

6. Если необходимо реализовать режим “пропуск кадра”, то перед словом “номер кадра” и символом “главный кадр” записывается символ / (“пропуск кадра”). Этот режим и используется для осуществления наладочных переходов при наладке станка, которые исключаются после его наладки.

Запись слова в кадрах управляющей программы. Каждое слово в кадре управляющей программы должно содержать символ адреса, математический знак “плюс” или “минус” (при необходимости) и последовательность цифр. Цифры могут быть записаны без использования и с использованием десятичного знака. В последнем случае незначащие нули до и (или) после знака могут быть опущены, например: размеры 0,75 мм и 348,0 мм по оси *X* можно записать $X + 75$ и $X + 348$ (в целых числах десятичный знак не ставится).

При записи без использования десятичного знака (его положение подразумевается) в целях сокращения количества информации можно опускать или нули, стоящие перед первой значащей цифрой (ведущие нули), или последние нули. Например, размер 349,4 мм по оси *X* при пяти разрядах на целую часть и трех разрядах на дробную часть можно представить: $X + 00349400$ (полная запись), $X + 349400$ (без записи ведущих нулей) и $X + 003494$ (без записи последних нулей). Во втором и третьем случаях определение разрядности ведется соответственно от младших и старших разрядов.

Как отмечалось выше, размерные перемещения могут записываться в абсолютных значениях или в приращениях. Соответствующая запись в управляющей программе определяется подготовительными функциями *G90* (абсолютный размер) и *G91* (размер в приращениях). Например, быстрое перемещение (*G00*) по оси *X* на 102,3 мм и по оси *Y* на 94,8 мм в абсолютных размерах можно записать: $G90G00X + 102.3Y + 94.8$. Знак “плюс”

в слове “размерные перемещения” в некоторых устройствах ЧПУ допускается опускать.

Угловые размеры в управляющих программах выражают в радианах или градусах. Для поворотных столов угловые размеры выражают в десятичных долях оборота.

Функция подачи (символы F и E) определяет скорость подачи, которая кодируется числом с количеством разрядов, указанным в формате конкретного устройства ЧПУ. Тип подачи выбирается заданием подготовительных функций: $G93$ — “подача в функции, обратной времени”; $G94$ — “подача в минуту”; $G95$ — “подача на оборот”. Так, например, обработку резцом по координате Z до абсолютного размера 83,4 мм со скоростью подачи 0,45 мм/об можно записать $G90G01G95Z + 83.4F.45$.

Функция главного движения (символ S) определяет скорость главного движения. Она также, как и скорость подачи, кодируется числом с количеством разрядов, указанным в формате конкретного устройства ЧПУ. Вид данной функции определяет следующие подготовительные функции: $G96$ — “постоянная скорость резания” и $G97$ — “обороты в минуту”.

Функция инструмента (символ T) используется для выбора инструмента. В некоторых устройствах ЧПУ данную функцию используют и для коррекции (или компенсации износа) инструмента. В этом случае она состоит из двух групп цифр. Первая группа цифр используется для выбора инструмента, а вторая — для его коррекции. В других устройствах ЧПУ для записи коррекции (или компенсации) инструмента рекомендуется использовать символы D или H .

Количество цифр, следующих за символами T , D и H , указывается в формате конкретного устройства ЧПУ.

Итак, порядок расположения слов в кадре и структура каждого слова в отдельности определяется форматом кадра, который характеризует тот или иной тип устройства ЧПУ. В качестве примера ниже приведена запись формата:

$\% : / DSN03G2X + 053Y + 053Z + 053F031S04T05M2LF.$

Устройство ЧПУ с указанным форматом воспринимает символы: $\%$ (“начало программы”); $:$ (“главный кадр”); $/$ (“пропуск кадра”) и DS (явная десятичная запятая). Во всех словах, кроме слов с адресами G и M , ведущие нули можно опускать (о чем говорит цифра 0 перед количеством разрядов, например: $N03$, $X + 053$, $F031$ и т.п.).

В данном формате $N03$ означает, что на номер кадра отводится три разряда, а ведущие нули можно опускать, т.е. в управляющей программе могут быть кадры от $N001$ до $N999$.

Следующий элемент записи $G2$ означает, что на номер подготовительной функции отводится два разряда и ведущие нули

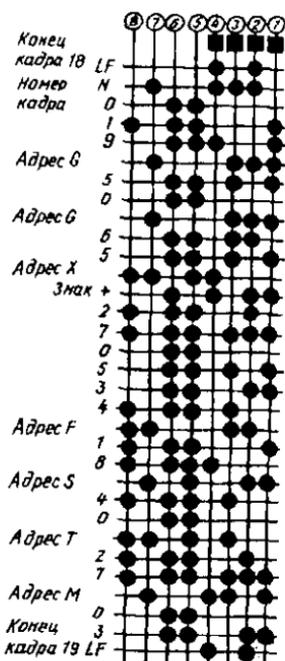


Рис. 12.20. Изображение кадра $N019G50G65X + 270534F18S40T27M03LF$ на перфоленте в коде ИСО-7бит

нельзя опускать, т.е. подготовительные функции могут быть от $G00$ до $G99$ (см. табл. 12.3).

Элементы формата $X + 053$, $Y + 053$ и $Z + 053$ описывают перемещения соответственно по осям X , Y и Z со знаком “плюс” или “минус”. Причем знак “плюс” и ведущие нули можно опускать. Если бы эти элементы имели запись $X \pm 53$, $Y \pm 53$ и $Z \pm 53$, то знак “плюс” и ведущие нули опускать нельзя. В указанных элементах первая цифра означает количество разрядов, отводимых на целую часть величины перемещения (пять разрядов), а вторая цифра — на дробную часть величины перемещения (три разряда). Для их разделения должен использоваться десятичный знак \cdot , о чем говорит символ

DS в рассматриваемом формате. Например, перемещение по оси X на величину $1349,27$ мм в положительном направлении и перемещение по оси Z на величину $356,35$ мм в отрицательном направлении запишутся в следующем виде: $X1349.27$ и $Z-356.35$. Максимально возможная величина перемещения по каждой оси равна $99999,999$ мм.

Следующий элемент записи $F031$ представляет собой функцию подачи. Здесь на целую часть величины скорости подачи отводится три разряда, а на дробную часть — один. При этом ведущие нули можно опускать. Если бы в формате было записано $F3$, то это означало бы, что ведущие нули опускать нельзя, а величина скорости подачи должна иметь только целую часть с тремя разрядами.

Следующие элементы формата означают соответственно четырехразрядную функцию главного движения ($S04$), пятиразрядную функцию инструмента ($T05$), вспомогательные функции от $M00$ до $M99$ ($M2$) и конец кадра (LF или $ПС$).

Пример кадра [29] для формата $N3G2X \pm 33Y \pm 33Z \pm 42B32F2S2T2M2LF$, характеризующего устройство ЧПУ типа SNC , приведен на рис. 12.20. Кадр имеет следующую запись $N019G50G65X + 270534F18S40T27M03LF$, что означает кадр номер 19 ($N019$); учесть радиус фрезы со знаком “плюс” по оси X ($G50$); обработать с точным подводом к заданной координате ($G65$); выйти в координату $X + 270534$ с подачей $F18$ при скорос-

ти резания $S40$; подготовить инструмент ($T27$); включить шпиндель по часовой стрелке ($M03$); конец кадра ($L F$).

Кодирование элементов круговой траектории. Схемы кодирования приведены на рис. 12.21. Здесь при задании координат абсолютными размерами с адресами перемещений X , Y и Z указывают координаты конечной точки P_1 , а с адресами интерполяции I , J и K — численные значения и направления векторов, проведенных из начальной точки P_0 дуги в ее центр C , т.е. $x_c - x_0$, $y_c - y_0$ и $z_c - z_0$. В случае задания размеров в приращениях с адресами перемещений X , Y и Z указывают соответственно величины приращений $x_1 - x_0$, $y_1 - y_0$ и $z_1 - z_0$. Например, для схемы кодирования, представленной на рис. 12.21а, i -й кадр на интерполирование будет иметь вид:

$$N(i)G17G90G02X\{x\}Y\{y\}I\{x_c - x_0\}J\{y_c - y_0\}LF.$$

Методики подготовки управляющих программ для станочно-го оборудования с ЧПУ различных групп и системы автоматизации программирования подробно рассматриваются в работе [29].

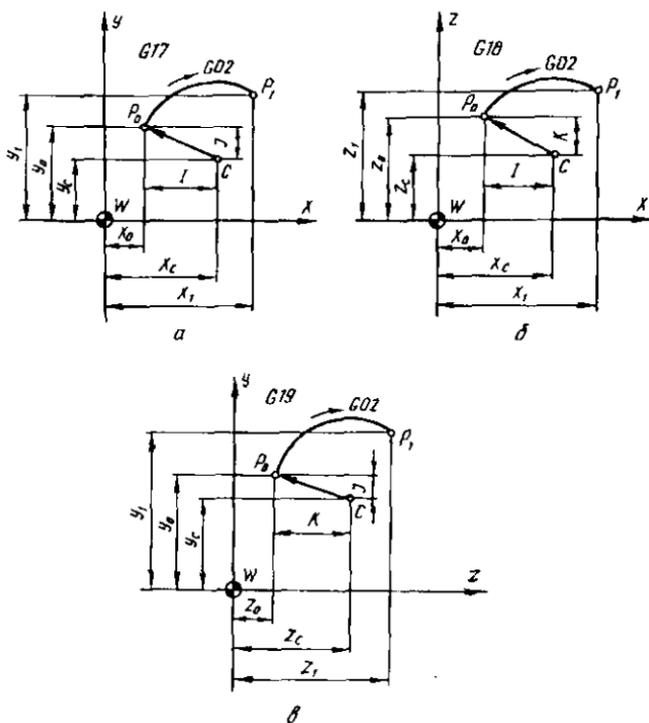


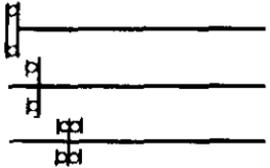
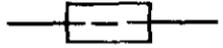
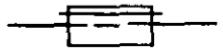
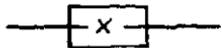
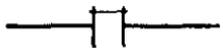
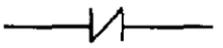
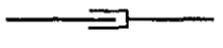
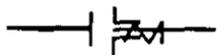
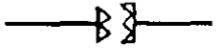
Рис. 12.21. Схемы кодирования элементов круговой траектории: а — в плоскости XWY ; б — в плоскости XWZ ; в — в плоскости YWZ

ПРИЛОЖЕНИЕ

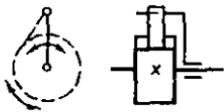
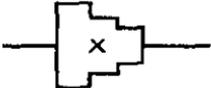
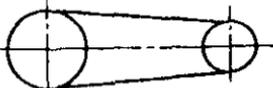
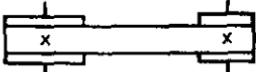
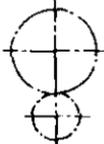
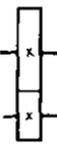
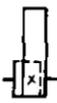
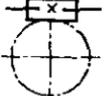
Таблица П.1

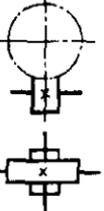
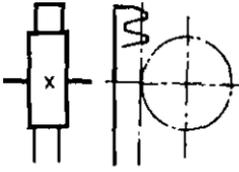
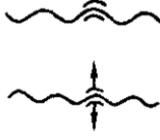
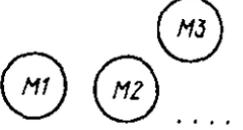
Условные обозначения элементов кинематических цепей

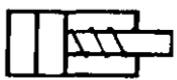
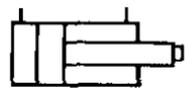
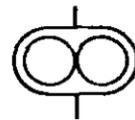
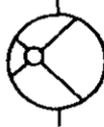
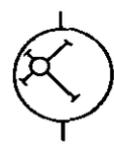
Наименование	Обозначение
Вал, валик, ось, стержень и т.п.	
Шарнирное соединение стержней	
Подшипники качения и скольжения (без уточнения типа):	
а) радиальный	
б) радиально-упорный:	
— односторонний	
— двусторонний	
Радиальный подшипник скольжения	
Подшипники качения:	
а) радиальный	
б) радиальный роликовый	
в) радиальный самоустанавливающийся	
г) радиально-упорные:	
— односторонний	
— двусторонний	
д) радиально-упорные роликовые:	
— односторонний	
— двусторонний	

Наименование	Обозначение
е) упорные: — одинарный — двойной	
Соединение детали с валом:	
а) свободное при вращении	
б) подвижно без вращения	
в) при помощи вытяжной шпонки	
г) глухое	
Соединение двух валов:	
а) глухое	
б) эластичное	
в) шарнирное	
г) телескопическое	
д) предохранительной муфтой	
Муфты сцепления кулачковые:	
а) односторонняя	
б) двусторонняя	

Наименование	Обозначение
Муфты сцепления фрикционные:	
а) общее обозначение	
б) односторонняя	
в) односторонняя электромагнитная	
г) двусторонняя	
д) двусторонняя электромагнитная	
е) конусная односторонняя	
ж) дисковая односторонняя	
з) дисковая двусторонняя	
Муфты обгона самовыключающиеся:	
а) односторонняя	
б) двусторонняя	
Тормоза:	
а) ленточный	
б) дисковые	
в) дисковый электромагнитный	

Наименование	Обозначение
Храповые зубчатые механизмы	
Шкив ступенчатый	
Передачи ременные:	
а) плоским ремнем	
б) клиновым ремнем	 
Передачи зубчатые цилиндрические:	 
а) внешнее зацепление	 
б) внутреннее зацепление	 
Передача зубчатая коническая	 
Передача червячная с цилиндрическим червяком	

Наименование	Обозначение
Передача зубчатая винтовая	
Передача реечная	
Передача винт-гайка:	
а) неразъемная	
б) разъемная	
Электродвигатели	
Насосы постоянной подачи:	
а) с постоянным направлением потока	
б) с реверсивным потоком	
Насосы с регулируемой подачей:	
а) с постоянным направлением потока	
б) с реверсируемым потоком	

Наименование	Обозначение
Гидромотор	
Гидроцилиндры:	
а) общее обозначение	
б) одностороннего действия с возвратом штока пружиной	
в) двустороннего действия:	
— с одним штоком	
— с двусторонним штоком	
— дифференциальный	
Насосы:	
а) шестеренный	
б) лопастной	
в) радиально-поршневой	

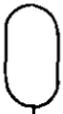
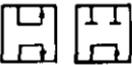
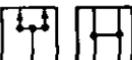
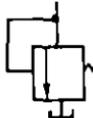
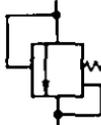
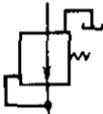
Наименование	Обозначение
г) аксиально-поршневой	
Аккумулятор гидравлический	
Фильтр	
Направление потоков	  
Клапаны:	
а) предохранительный	
б) напорный золотник	
в) редукционный	
г) обратный	
Регулятор потока (дрессель)	
Распределитель потока от двух электромагнитов	

Таблица П.2

Классификация металлорежущих станков

Станки	Группа	Типы								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы	Револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Добовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные	
		одношпиндельные	многошпиндельные	Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазонасточные	Горизонтально-сверлильные		
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Полуавтоматы	Зубофрезерные	Специализированные	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные	Разные	
			одношпиндельные							многошпиндельные
Шлифовальные, доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные	Разные	
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Зубодобывные для цилиндрических колес	Зубонарезные для конических колес	Зубофрезерные	Для обработки торцев зубьев	Резьбофрезерные	Зубодобывные для фовальные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные	
										для цилиндрических колес
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	—	Копировальные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные	Разные	

Станки	Группа	Типы								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Строгальные, долбежные, протяжные	7	Продольные		Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	—	Протяжные вертикальные	—	Разные
		односторонние	двусторонние							
Разрезные	8	Отрезные, работающие токарным резцом, абразивным кругом		Поперечно-строгальные		Ленточные	Дисковые пилы	Ножовочные	—	—
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекальные	Правильно и беспен-тровообди-рочные	—	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	—	—

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверьянов О.И., Ныс Д.А.* Разработка агрегатированного комплекса многоинструментальных станков с ЧПУ. — Станки и инструмент, 1979, № 11, с. 14—17.
2. Автоматизация дискретного производства. Под ред. *Семенова Е.И., Волчковича Л.И.* — М.: Машиностроение, 1986; София — Техника, 1987. — 376 с.
3. Автоматизация массового и крупносерийного производства. — Станки и инструмент, 1983, № 5, с. 10—12.
4. Автоматизированное проектирование компоновок многооперационных станков. — Станки и инструмент, 1982, № 8, с. 6—7.
5. Автоматические линии в машиностроении: Справочник в 3-х томах. — М.: Машиностроение, 1984 — Т. 1. Этапы проектирования и расчет. Под ред. *Волчковича Л.И.*, 1984. — 312 с.
6. Автоматические линии в машиностроении. Справочник в 3-х томах. — М.: Машиностроение, 1984 — Т. 2. Станочные автоматические линии. Под ред. *Дашченко А.И.*, 1984. — 408 с.
7. Автоматические линии в машиностроении: Справочник в 3-х томах. — М.: Машиностроение, 1985 — Т. 3. Комплексные автоматические линии и участки. Под ред. *Дашченко А.И., Навроцкого Г.А.*, 1985. — 480 с.
8. *Антипов В.И., Потапов В.А.* Выставка *IMTS-86*. — Станки и инструмент, 1987, № 8, 30—34 с.
9. *Ачеркан Н.С.* и др. Металлорежущие станки. Т. 1. — М.: Машиностроение, 1965. — 764 с.
10. *Бабич А.В., Баранов А.Г., Калабин И.В.* и др. Промышленная робототехника. Под ред. *Я.А. Шифрина*. — М.: Машиностроение, 1982. — 415 с.
11. *Белага В.Б., Перегудов Л.В.* Выбор оптимальной технологической схемы агрегатных расточных станков. — Вестник машиностроения, 1978, № 9, с. 45—49.
12. *Белага В.Б., Перегудов Л.В.* Роботизированные автоматические линии из агрегатных станков для обработки корпусных деталей. — Станки и инструмент, 1986, № 11, с. 16—17.
13. *Белянин П.Н.* Промышленные роботы и их применение. — М.: Машиностроение, 1983. — 311 с.
14. *Белянин П.Н.* Робототехнические системы для машиностроения. — М.: Машиностроение, 1986. — 256 с.
15. *Берман А.М., Олевский В.М., Суров Е.В.* Управление гибкими производственными системами и робототехническими комплексами. Под ред. *Черпакова Б.И.* — М.: Высшая школа, 1988. — 96 с.
16. *Брон Л.С.* Автоматические линии. Термины и определения. — Станки и инструмент, 1981, № 6, с. 1—3.
17. *Брон Л.С.* Единая гамма унифицированных узлов агрегатных станков и автоматических линий. — Станки и инструмент, 1979, № 5, с. 14—17.
18. *Брон Л.С., Васильев В.С.* Персонализируемое автоматическое и автоматизированное металлорежущее оборудование. — Станки и инструмент, 1980, № 3, с. 3—8.

19. *Васильев В.С.* Принципы построения гибких производств. — Станки и инструмент, 1984, № 4, с. 4—6.
20. *Васильев В.С., Лищинский Л.Ю., Хлебалин Н.Ф.* Современная классификация металлорежущих станков и станочных систем. Основные термины и определения. — Станки и инструмент, 1984, № 2, с. 4—6.
21. *Вийко А.Н.* и др. Кодирование конструктивно-технологических параметров корпусных деталей в САПР технологических систем. — Вестник машиностроения, 1984, № 10, с. 51—54.
22. *Власов С.Н., Годович Г.М., Черпаков Б.И.* Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий. — М.: Машиностроение, 1983. — 439 с.
23. *Воеводин В.М., Черпаков Б.И.* Гибкие автоматические линии (Классификация. Принципы построения). — Станки и инструмент, 1985, № 10, с. 2—5.
24. *Волчкевич Л.И., Ковалев М.П., Кузнецов М.М.* Комплексная автоматизация производства. — М.: Машиностроение, 1983. — 269 с.
25. *Волчкевич Л.И., Кузнецов М.М., Усов Б.А.* Автоматы и автоматические линии. Ч.1. Основы проектирования. Под ред. *Шаумяна Г.А.* — М.: Высшая школа, 1976. — 230 с.
26. *Вороничев Н.М., Тартаковский Ж.Э., Генин В.Б.* Автоматические линии из агрегатных станков. — М.: Машиностроение, 1979. — 487 с.
27. *Гебель Х.* Компоновка агрегатных станков и автоматических линий. — М.: Машгиз, 1959. — 288 с.
28. *Генин В.Б., Тартаковский Ж.Э.* Силовые и поворотные делительные столы с гидравлическим приводом. — Станки и инструмент, 1979, № 5, с. 19—22.
29. *Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П.* Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1990. — 588 с.
30. Гибкие производственные комплексы. Под ред. *Белянина П.Н.* и *Лещенко В.А.* — М.: Машиностроение, 1984. — 384 с.
31. *Алексеев П.И., А.Г.Герасимов* и др. Гибкие производственные системы сборки. Под ред. *Федотова А.И.* — Л.: Машиностроение, 1989. — 349 с.
32. *Гиндин С.С., Марков В.М., Платей Г.И., Тукаев Е.С.* Машинное проектирование узлов агрегатных станков. — М.: НИИМАШ, 1974.
33. *Гольдин М.М., Зуев В.Д., Иванцов Л.А., Любарский Л.В., Понамарев В.Ф.* Наладка и эксплуатация агрегатных станков и автоматических линий. Справочное пособие. Изд. 2-е, М.: Машиностроение, 1974. — 456 с.
34. *Горелик Г.И., Генин В.Б., Тартаковский Ж.Э.* Шпиндельные бабки. — Станки и инструмент, № 5, 1979. — с. 17—19.
35. *Дашенко А.И., Белоусов А.Л.* Проектирование автоматических линий: Учебное пособие. — М.: Высшая школа, 1983. — 328 с.
36. *Дашенко А.И., Шмелев А.И.* Конструкции агрегатных станков. — М.: Высшая школа, 1987. — 176 с.
37. *Дашенко А.И., Шмелев А.И.* Конструкция и наладка агрегатных станков. — М.: Высшая школа, 1965. — 387 с.
38. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. *Решетова Д.Н.* В 2-х томах. — Т. 1. Общие основы конструирования: направляющие и несущие системы. — М.: Машиностроение, 1972. — 664 с.
39. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. *Решетова Д.Н.* В 2-х томах. — Т. 2. Шпиндели и их опоры, механизмы и детали приводов. — М.: Машиностроение, 1972. — 520 с.
40. *Довбня Н.М., Кондратеев А.Н., Юревич Е.И.* Роботизированные технологические комплексы в ГПС. — Л.: Машиностроение, 1990. — 303 с.
41. *Иванов А.А.* Гибкие производственные системы в приборостроении. — М.: Машиностроение, 1988. — 304 с.
42. *Камышный Н.И., Стародубов В.С.* Конструкции и наладка токарных автоматов и полуавтоматов. — М.: Высшая школа, 1983. — 272 с.

43. *Киселев В.М.* Фазовые системы числового программного управления станками. — М.: Машиностроение, 1976. — 352 с.
44. *Клусов И.А., Волков Н.В., Золотухин В.И.* и др. Автоматические роторные линии. — М.: Машиностроение, 1987. — 288 с.
45. *Клусов И.А.* Проектирование роторных машин и линий. Учебное пособие. — М.: Машиностроение, 1990. — 320 с.
46. *Козырев Ю.Г.* Промышленные роботы. Справочник. 2-е изд., — М.: Машиностроение, 1988. — 392 с.
47. *Горнев В.Ф., Савинов А.М., Валиков В.И.* Комплексные технологические процессы ГПС. Под ред. *Черпакова Б.И.* — М.: Высшая школа, 1989. — 112 с.
48. Конструирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1977. — 392 с.
49. *Конюх А.И., Плащей Г.И., Марголин Н.У., Израильский М.М.* Справочник по наладке агрегатных станков и автоматических линий. — Беларусь, 1977. — 288 с.
50. *Кордыш Л.М., Косовский В.Л.* Гибкие производственные модули. — М.: Высшая школа, 1989. — 111 с.
51. *Костюк В.И., Гавриш А.Л., Ямпольский Л.С., Карлов А.Г.* Промышленные роботы. — Киев: Высшая школа, 1985. — 359 с.
52. *Костюк В.И., Ямпольский Л.С., Карлов А.Г.* Промышленные роботы и их применение. — Киев: Знание, УССР, 1980. — 72 с.
53. *Котляр Ф.* Основы маркетинга. Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1990. — 736 с.
54. *Кочергин А.И.* Автоматы и автоматические линии. — Минск: Высшая школа, 1980. — 288 с.
55. *Кошкин Л.Н.* Комплексная автоматизация производства на базе роторных линий. — М.: Машиностроение, 1972. — 352 с.
56. *Кошкин Л.Н.* Роторные и роторно-конвейерные линии. — М.: Машиностроение, 1982. — 336 с.
57. *Кудинов В.А.* Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1967. — 359 с.
58. *Кузнецов М.М., Волчкевич Л.И., Замчалов Ю.П.* Автоматизация производственных процессов. — М.: Высшая школа, 1978. — 431 с.
59. Металлорежущие станки. Учебное пособие для вузов. Под ред. *Колева Н.С.* — М.: Машиностроение, 1980. — 500 с.
60. *Куприянов Д.А., Либов Л.Я.* Проектирование металлорежущих станков с ЧПУ на агрегатно-модульной основе. — Станки и инструмент, 1982, № 8, с. 7—9.
61. *Кучер А.М.* Немые кинематические схемы металлорежущих станков. — Л.: Машиностроение, 1977. — 138 с.
62. *Лещенко В.А.* Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. — М.: Машиностроение, 1976. — 288 с.
63. *Лобусев В.М., Тукаев Е.С., Френкель А.Я.* Многошпиндельные коробки единой серии УНЕ-3100. — Станки и инструмент, 1979, № 5, с. 25—27.
64. *Марголин Р.Б.* Эксплуатация и наладка станков с программным управлением и промышленных роботов. — М.: Машиностроение, 1991. — 272 с.
65. *Маталин А.А., Дашевский Т.Б., Княжицкий И.И.* Многооперационные станки. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
66. Металлорежущие системы машиностроительных производств. Учебное пособие для студентов технических вузов. Под ред. *Земскова Г.Г., Таратынова О.В.* — М.: Высшая школа, 1988. — 464 с.
67. Металлорежущие станки. Учебник для машиностроительных вузов. Под ред. *Пуша В.Э.* — М.: Машиностроение, 1986. — 256 с.
68. Металлорежущие станки и автоматы: Учебник для машиностроительных вузов. Под ред. *Проникова А.С.* — М.: Машиностроение, 1981. — 479 с.
69. Металлорежущие станки. Учебное пособие для вузов. Под ред. *Колева Н.С.* — М.: Машиностроение, 1980. — 500 с.
70. Многоинструментальный горизонтальный расточно-фрезерный станок мод. 2623ПМФ4. — Станки и инструмент, 1981, № 1, с. 35—36.

71. Многоинструментальный продольно-фрезерный станок мод. ГФ1860 с ЧПУ. — Станки и инструмент, 1977, № 6, с. 44.
72. Многоинструментальный сверлильно-фрезерно-расточный станок мод. ИР500МФ4. — Станки и инструмент, 1977, № 6, с. 44—45.
73. Многооперационный вертикальный сверлильно-фрезерно-расточный станок с ЧПУ мод. 2254ВМ1Ф4. — Станки и инструмент, 1983, № 3, с. 36.
74. Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточный станок мод. 2204ВМФ4 высокой точности. — Станки и инструмент, 1985, № 12, с. 28—29.
75. *Модзелевский А.А., Соловьев А.В., Лот В.А.* Многооперационные станки. Основы проектирования и эксплуатации. — М.: Машиностроение, 1981. — 216 с.
76. *Молчанов Г.Н.* Повышение эффективности обработки на станках с ЧПУ — М.: Машиностроение, 1979. — 204 с.
77. *Монахов Г.А., Оганян А.А., Кузнецов Ю.И.* и др. Станки с программным управлением. — М.: Машиностроение, 1975. — 288 с.
78. *Ныс Д.А.* Понятие гибкости в современных станочных системах. — Станки и инструмент, 1984, № 10, с. 4—5.
79. *Перегудов Л.В.* Влияние кинематико-технологической структуры компоновки агрегатных станков на точность обработки отверстий. — Станки и инструмент, 1985, № 3, с. 5—7.
80. *Перегудов Л.В.* К вопросу создания систем точного останова исполнительного органа металлорежущих станков. — в кн. "Автоматизация привода, управления и контроля в машиностроении". — М.: Наука, 1974, с. 112—117.
81. *Перегудов Л.В.* К вопросу формирования множества вариантов технологическо-кинематической структуры агрегатных станков при автоматизированном проектировании. — Вестник машиностроения, 1985, № 10, с. 62—65.
82. *Перегудов Л.В.* Повышение надежности агрегатных расточных станков. — Станки и инструмент, 1986, № 7, с. 12—14.
83. *Перегудов Л.В.* Проектирование агрегатных станков (систематизация и выбор компоновок). В 2-х ч. — Т.: ТашПИ, 1982, ч. 1, 74 с.; ч. 2, 72 с.
84. *Перегудов Л.В., Белага В.Б.* Систематизация технологических схем агрегатных расточных станков. — Станки и инструмент, 1983, № 9, с. 13—15.
85. *Перегудов Л.В., Белага В.Б.* Создание агрегатных станков на основе различных базовых компоновок для обработки деталей сельхозмашин. — Технология, экономика и организация производства. — М.: ЦНИИЭИТракторосельхозмаш, 1984, № 2 (20), с. 6—11.
86. *Перегудов Л.В., Белага В.Б.* Специализированные многопозиционные гибкие производственные модули. — Станки и инструмент, 1987, № 5, с. 9—11.
87. *Перегудов Л.В., Белага В.Б., Попов А.В.* Создание и внедрение на предприятиях отрасли агрегатных станков с блочной компоновкой привода главного движения. — Технология, экономика и организация производства. — М.: ЦНИИЭИТракторосельхозмаш, 1980, № 2 (12), с. 31—35.
88. *Перегудов Л.В., Белага В.Б., Суrowцев В.А.* Применение агрегатных расточных станков для обработки корпусных деталей сельхозмашин. — М.: ЦНИИЭИТракторосельхозмаш, 1975. — 36 с.
89. *Перегудов Л.В., Попов А.В.* Блочная компоновка привода главного движения агрегатных расточных и фрезерных станков. — Станки и инструмент, 1981, № 10, с. 10—12.
90. Перспективы развития станкостроения и научно-технические основы их реализации. — Станки и инструмент, 1983, № 5, с. 8—10.
91. *Пичхадзе Ш.И., Филипов Е.К., Куранов А.Р.* Гибкая автоматизация зубообработки. — Станки и инструмент, 1985, № 5, с. 7—9.
92. *Попов В.Л., Янкевич Д.И., Тютюнников Ю.А., Бирюлин О.Г.* Основы гибких производственных систем. — М.: Агропромиздат, 1989. — 240 с.
93. Программное управление станками. Учебник для машиностроительных вузов. Под ред. *Сосонкина В.Л.* — М.: Машиностроение, 1981 — 398 с.

94. Проектирование технологии. Под ред. чл.-корр. АН СССР *Соломенцева Ю.М.* — М.: Машиностроение, 1990. — 416 с.
95. Промышленная робототехника. Под ред. *Ямпольского Л.С.* — Киев: Техника, 1984. — 264 с.
96. Промышленные роботы в станкостроении — Станки и инструмент, 1983, № 5, с. 17—18.
97. *Проников А.С.* Надежность машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 592 с.
98. *Проников А.С.* Расчет и конструирование металлорежущих станков. — М.: Высшая школа, 1967. — 431 с.
99. *Пуш В.Э.* Конструирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1977. — 390 с.
100. *Пуш В.Э., Пигерт Р., Сосонкин В.Л.* Автоматические системные. — М.: Машиностроение, 1982. — 319 с.
101. *Ратмиров В.А.* Основы программного управления станками. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
102. *Ратмиров В.А., Рашкович П.М.* Программное управление зубофрезерными станками. — Станки и инструмент, 1982, № 6, с. 16—19.
103. Симпозиум: токарная технология ЭМАГ. — М.: Красный пролетарий, 1989.
104. *Спиридонов А.А., Федоров В.Б.* Металлорежущие станки с программным управлением. — М.: Машиностроение, 1972. — 352 с.
105. Справочник металлста. В 5-ти томах. Т. 3. Под ред. *Малова А.Н.* — М.: Машиностроение, 1977. — 748 с.
106. Справочник по промышленной робототехнике. В 2-х кн. Кн. 1. Под ред. *Нофа Ш.* Пер. с англ. *Миронова Д.Ф.* и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 480 с.
107. Справочник по промышленной робототехнике. В 2-х кн. Кн. 2. Под ред. *Нофа Ш.* Пер. с англ. *Миронова Д.Ф.* и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 480 с.
108. *Сыну Г.А.* Промышленные роботы. Конструирование и применение. Под ред. *Костюка В.И.* — Киев: Вища школа, 1985. — 176 с.
109. *Тимофеев А.В.* Адаптивные робототехнические системы. — М.: Машиностроение, 1988. — 332 с.
110. *Фадюшин И.Л., Музыкант Я.А., Мещеряков А.И., Маслов А.Р.* Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС. — М.: Машиностроение, 1990. — 272 с.
111. *Федоров С.И., Генин В.Б., Тартаковский Ж.Э., Фридман Л.И.* Наладка агрегатных станков. — М.: Машиностроение, 1982. — 232 с.
112. *Федотенок А.А.* Кинематическая структура металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1970. — 408 с.
113. *Феофанов Н.И., Калинин В.В.* Комплексная автоматизация обработки корпусных деталей. — Станки и инструмент, 1986, № 11, с. 12—13.
114. *Чадаев Р.Г., Горелик Г.И.* Силовые столы с электромеханическим приводом подачи. — Станки и инструмент, 1979, № 5, с. 22—25.
115. *Челпанов И.Б.* Устройство промышленных роботов. — Л.: Машиностроение, 1990. — 223 с.
116. *Чергикало В.И., Гуров О.И., Давидович Б.П.* и др. Токарные многошпиндельные автоматы. — М.: Машиностроение, 1978. — 309 с.
117. *Черпаков Б.И.* Основные направления разработки и использования ГПС в промышленности. Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции: "Проблемные вопросы автоматизации производства". — М.: НИИМаш, 1984, с. 73—74.
118. *Черпаков Б.И., Брук И.В.* Гибкие механообрабатывающие производственные системы. Под ред. *Черпакова Б.И.* — М.: Высшая школа, 1989. — 127 с.
119. *Черпаков Б.И., Земляной В.В.* Использование устройств ЧПУ в специальных станках и автоматических линиях. — Станки и инструмент, 1985, № 1, с. 46.

120. *Черпаков Б.И., Земляной В.В., Феофанов А.И.* и др. Гибкие и автоматизированные линии массового и крупносерийного производства. — М.: Высшая школа, 1989. — с. 112.

121. *Шаумян Г.А.* Автоматы и автоматические линии. — М.: Машгиз, 1961. — 552 с.

122. *Шаумян Г.А.* Комплексная автоматизация производственных процессов. — М.: Машиностроение, 1973. — 639 с.

123. Экономика станкоинструментальной промышленности: Учебное пособие для студентов машиностроительных вузов. Под ред. *Андреева А.М.* и *Бигтунова В.В.* — М.: Машиностроение, 1981. — 280 с.

124. Энциклопедический справочник "Машиностроение". — М.: Машгиз, 1950. Т. 9. — 1208 с.

125. *Этин А.О.* и др. Временная инструкция по определению сравнительности и эффективности станков. — М.: ЭНИМС, 1972. 106 с.

126. *Юревич Е.И., Аветиков Б.Г., Коротко О.Б.* и др. Устройство промышленных роботов. — Л.: Машиностроение, 1980. — 333 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	5
§ 1.1. Производительность	6
§ 1.2. Надежность	9
§ 1.3. Точность	13
§ 1.4. Гибкость	16
§ 1.5. Эффективность	19
Глава 2. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ	22
§ 2.1. Образование поверхностей деталей	22
§ 2.2. Методы образования производящих линий	23
§ 2.3. Классификация движений в станках	24
§ 2.4. Кинематическая группа	26
§ 2.5. Кинематическая структура станков	28
§ 2.6. Основы кинематической настройки станков	29
Глава 3. КИНЕМАТИКА ЗУБО- И РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ	31
§ 3.1. Зубодолбежные станки	31
§ 3.2. Зубофрезерные станки	42
§ 3.3. Зуборезные станки для нарезания конических колес	56
§ 3.4. Зубошлифовальные станки	61
§ 3.5. Зубошвинговальные станки	69
§ 3.6. Токарно-затыловочные станки	74
§ 3.7. Резьбофрезерные станки	81
Глава 4. ТОКАРНЫЕ СТАНКИ	85
§ 4.1. Токарно-винторезные станки	86
§ 4.2. Обработка конических и фасонных поверхностей на токарно- винторезных станках	93
§ 4.3. Токарные станки с ЧПУ	95

§ 4.4. Токарные гибкие производственные модули	108
§ 4.5. Тенденции развития токарных станков с ЧПУ и ГПМ	112
§ 4.6. Токарно-револьверные станки	114
§ 4.7. Токарно-револьверные станки с ЧПУ	120
§ 4.8. Токарно-карусельные станки	122
§ 4.9. Особенности конструкции станков с ЧПУ токарной группы	128
Глава 5. ТОКАРНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ	139
§ 5.1. Определения и классификация	139
§ 5.2. Фасонно-отрезные автоматы	142
§ 5.3. Автоматы продольного точения	145
§ 5.4. Токарно-револьверные автоматы	149
§ 5.5. Горизонтальные одношпиндельные токарные полуавтоматы	158
§ 5.6. Горизонтальные многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы	164
§ 5.7. Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы	172
Глава 6. СВЕРЛИЛЬНЫЕ И РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ	178
§ 6.1. Вертикально-сверлильные станки	179
§ 6.2. Вертикально-сверлильные станки с ЧПУ	184
§ 6.3. Радиально-сверлильные станки	190
§ 6.4. Горизонтально-расточные станки	194
§ 6.5. Многооперационные станки, скомпонованные по типу горизонтально-расточных	198
§ 6.6. Тенденции развития многооперационных станков фрезерно- сверлильно-расточной группы	212
§ 6.7. ГПМ фрезерно-сверлильно-расточной группы	213
§ 6.8. Особенности конструкции станков с ЧПУ фрезерно- сверлильно-расточной группы	217
Глава 7. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ	229
§ 7.1. Консольные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки	230
§ 7.2. Консольные вертикально-фрезерные станки с ЧПУ	236
§ 7.3. Бесконсольные фрезерные станки	245
§ 7.4. Бесконсольные фрезерные станки с ЧПУ	247
§ 7.5. Продольно-фрезерные станки	256
§ 7.6. Карусельно-фрезерные станки	258
Глава 8. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ	259
§ 8.1. Круглошлифовальные центровые и бесцентровые станки	260
§ 8.2. Внутришлифовальные станки	270
§ 8.3. Плоскошлифовальные станки	276

Глава 9. АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ	283
§ 9.1. Классификация и компоновка агрегатных станков	285
§ 9.2. Базовые компоновки агрегатных станков	289
§ 9.3. Унифицированные узлы агрегатных станков	296
§ 9.4. Агрегатные многооперационные станки и ГПМ	321
§ 9.5. Тенденции развития агрегатных станков	330
Глава 10. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ И ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ	332
§ 10.1. Термины, определения и классификация	332
§ 10.2. Автоматические линии из агрегатных станков	336
§ 10.3. ГАЛ из многопозиционных станков и ГПМ	348
§ 10.4. Механообрабатывающие ГАУ	357
§ 10.5. Контроль качества обработки на гибком станочном оборудовании	365
§ 10.6. Автоматические роторные линии	372
§ 10.7. Гибкие производственные системы сборки	384
Глава 11. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И МАНИПУЛЯТОРЫ В МЕХАНОСБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	395
§ 11.1. Термины, определения и классификация	395
§ 11.2. Компоновка и конструкции промышленных роботов	404
§ 11.3. Захватные устройства промышленных роботов	425
§ 11.4. Управление промышленными роботами	434
Глава 12. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ	441
§ 12.1. Термины, определения и классификация	441
§ 12.2. Особенности обработки на станках с ЧПУ	445
§ 12.3. Системы счисления	448
§ 12.4. Программоносители в станках с ЧПУ	449
§ 12.5. Подготовка информации для управляющих программ	455
§ 12.6. Кодирование информации	464
ПРИЛОЖЕНИЕ	478
ЛИТЕРАТУРА	487

*Л.В. Перегудов, А.Н. Хашимов,
И.К. Шалагуров, С.Л. Перегудов*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редакторы *И. Рахимова, Т. Лю*
Худож. редактор *Ж. Гурова*
Технические редакторы *А. Горшкова, Т. Харитонова*
Корректор *И. Богодарова*
Компьютерная верстка *Е. Гильмутдиновой*

Сдано в набор 13.09.2000. Подписано в печать 05.04.2001. Формат 60×90¹/₁₆.
Гарнитура “Таймс”. Печать офсетная. Усл.печ.л. 31,0. Уч.изд.л. 34,56.
Тираж 1000. Заказ № К-38. Цена договорная.

Издательство “Ўзбекистон”, 700129, Ташкент, Навои, 30.
Изд. № 290-95.

Отпечатано на арендном предприятии Ташполиграфкомбината
Государственного комитета Республики Узбекистан по печати.
700129, Ташкент, Навои, 30.