

А. И. КОЧЕРГИН

АВТОМАТЫ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Допущено Министерством
высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по специальности
«Технология машиностроения, металлорежущие станки
и инструменты»

МИНСК
«ВЫСШЕЙШАЯ ШКОЛА»
1980

ББК 34.4
К 55
УДК 621.9.06-52

Рецензенты: кафедра «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского института транспортного машиностроения; Е. Ф. Кожемякин — кандидат технических наук, доцент Челябинского политехнического института

Кочергин А. И.

К 55 Автоматы и автоматические линии: [Учеб. пособие для техн. вузов].— Мн.: Выш. школа, 1980.— 288 с., ил.

В пер.: 85 коп.

В пособии приведены основные сведения о системах автоматического управления станками и их целевых механизмах. Рассмотрены станки с управлением кулачками, агрегатные, копировальные, с числовым и цикловым программным управлением, а также с адаптивными системами управления. Описаны автоматические линии, робототехнологические комплексы и автоматизированные производственные участки.

Учебное пособие предназначено для студентов машиностроительных вузов. Будет полезно инженерно-техническим работникам машиностроительных предприятий.

К 31304—121
М 304(05)—80 83—80 2703000000

ББК 34.4
6П5

© Издательство «Вышэйшая школа», 1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ	
Глава 1. Системы автоматического управления станками	7
1.1. Назначение движений в станках 7. 1.2. Автомат, полуавтомат, автоматическая линия 9. 1.3. Общие сведения об управлении 10. 1.4. Программа управления циклом 11. 1.5. Источники информации о ходе процесса обработки и состоянии станка 16. 1.6. Информационные структуры систем управления 18. 1.7. Построение цикловых диаграмм 20. 1.8. Построение систем управления по логическому принципу 20	
Глава 2. Целевые механизмы автоматов и автоматических линий	25
2.1. Классификация механизмов 25. 2.2. Механизмы загрузки заготовок 27. 2.3. Механизмы зажима заготовок 30. 2.4. Механизмы поворота 38. 2.5. Механизмы фиксации 41	
Глава 3. Особенности проектирования автоматов и автоматических линий	44
3.1. Особенности технологических процессов и компоновки автоматического оборудования 44. 3.2. Применение принципов стандартизации при проектировании 46. 3.3. Особенности расчетов 51	
Глава 4. Надежность и производительность станков и автоматических линий	52
4.1. Отказы станков и автоматических линий 52. 4.2. Закономерности функционирования автоматов и автоматических линий 54. 4.3. Показатели надежности станков и автоматических линий 56. 4.4. Показатели надежности элементов станков 58. 4.5. Определение надежности систем по надежности элементов 59. 4.6. Основные пути обеспечения надежности станков и автоматических линий 63. 4.7. Производительность автоматов и автоматических линий 64	
РАЗДЕЛ II. АВТОМАТИКА И УСТРОЙСТВО СТАНКОВ	
Глава 5. Станки с управлением кулачками	66
5.1. Системы управления кулачками 66. 5.2. Структуры систем управления с распределительным валом 70. 5.3. Одношпиндельные прутковые токарные автоматы 72. 5.4. Многошпиндельные прутковые токарные автоматы 80	
Глава 6. Агрегатные станки	83
6.1. Унифицированные узлы агрегатных станков 83. 6.2. Многошпиндельные коробки 90. 6.3. Компоновки агрегатных станков 93	
Глава 7. Копировальные станки	94
7.1. Способы копирования 94. 7.2. Токарный гидрокopировальный полуавтомат 1722 96. 7.3. Фрезерный электрокопировальный станок ГФ 730 100	
Глава 8. Станки с цикловым программным управлением	102
8.1. Назначение циклового программного управления 102. 8.2. Основные узлы системы циклового программного управления 103	

Глава 9. Станки с числовым программным управлением	108
9.1. Назначение станков с числовым программным управлением	108.
9.2. Структура системы ЧПУ	109.
9.3. Классификация систем ЧПУ	110.
9.4. Средства программного управления	112.
9.5. Кодирование информации	117.
9.6. Устройства ввода информации	124.
9.7. Устройства интерполяции	125.
9.8. Разомкнутые приводы подачи	130.
9.9. Замкнутые приводы подачи и позиционирования	134.
9.10. Измерение перемещений исполнительных органов	136.
9.11. Устройство цифровой индикации	144.
9.12. Устройства коррекции	146.
9.13. Токарные станки с ЧПУ	148.
9.14. Сверлильные станки с ЧПУ	151.
9.15. Фрезерные станки с ЧПУ	157.
9.16. Многоцелевые станки типа «обрабатывающий центр»	159.
Глава 10. Станки с адаптивными системами управления	173
10.1. Станки с системами предельного управления	173.
10.2. Станки с системами оптимального управления	178.
10.3. Методика проектирования адаптивных систем управления	183.
РАЗДЕЛ III. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТАНКОВ	
Глава 11. Автоматические линии	186
11.1. Классификация автоматических линий	186.
11.2. Автоматические линии для обработки валов	188.
11.3. Автоматические линии для обработки колец подшипников	196.
11.4. Роторные автоматические линии	201.
11.5. Автоматические линии из агрегатных станков	201.
11.6. Комплексы автоматических линий	208.
11.7. Транспортные системы автоматических линий	209.
11.8. Инструментальная оснастка автоматических линий	219.
11.9. Устройства для удаления стружки	222.
11.10. Оценка показателей надежности и производительности	224.
Глава 12. Робототехнологические комплексы и автоматизированные производственные участки	230
12.1. Промышленные роботы	230.
12.2. Автоматизированные технологические ячейки	242.
12.3. Робототехнологические комплексы	244.
12.4. Автоматизированные производственные участки	246.
РАЗДЕЛ IV. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНКАХ	
Глава 13. Программирование обработки на станках с управлением кулачками	251
13.1. Проектирование рабочего цикла станка	251.
13.2. Проектирование кулачков	255.
Глава 14. Ручное программирование обработки на станках с ЧПУ	257
14.1. Этапы ручного программирования	257.
14.2. Методика подготовки программ для сверлильных станков	258.
14.3. Методика подготовки программ для фрезерных станков	267.
Глава 15. Автоматизированное программирование обработки на станках с ЧПУ	272
15.1. Этапы автоматизированного программирования	272.
15.2. Система автоматизированного программирования САПП для фрезерных станков	274.
Литература	287.

ВВЕДЕНИЕ

При современном развитии техники автоматизация охватывает все этапы производственного процесса и оказывает революционное влияние на технологию, технику и организацию производства. На основе автоматизации наша страна достигла огромного роста производительности труда и высокого качества изготавливаемой продукции. Автоматизация освобождает людей от однообразного, тяжелого, утомительного труда, оставляя за ними только наладку и содержание машин в исправном состоянии. Человек передает электронным вычислительным и управляющим машинам многие функции управления производственным процессом, в результате чего повышается его роль организатора и руководителя.

Основные проблемы комплексной автоматизации могут быть сформулированы на основе разработанной проф. Г. А. Шаумяном классификации потерь рабочего времени при эксплуатации машин.

К потерям первого вида относятся цикловые: подача материала, транспортировка заготовок (или другого объекта производства) с позиции на позицию, их фиксация и зажим, подвод и отвод исполнительных узлов и другие несовмещенные вспомогательные движения рабочего цикла. Для сокращения и даже полного устранения потерь первого вида должна быть решена проблема автоматизации рабочего цикла и создания станков и автоматических линий непрерывного действия. Примерами такого оборудования являются роторные станки и автоматические линии.

Следующие пять групп составляют внецикловые потери, связанные как с техническими, так и с организационными причинами.

Ко второму виду относятся потери по инструменту — их смена, установка и регулирование, ожидание наладчика и т. д. Необходимость ликвидации этих потерь породила проблему автоматизации смены и регулирования инструментов.

Третий вид включает потери по оборудованию — отыскание места отказа, регулирование и ремонт узлов, получение запасных частей и т. д. Они могут быть снижены в процессе решения проблемы надежности автоматических систем.

К четвертому виду относятся потери по организационным причинам: станок или линия работоспособны, но простаивают из-за отсутствия заготовок, электроэнергии, вспомогательных материалов, рабочего, наладчика, при сдаче готовых деталей, получении за-

готовок, сдаче смены и т. д. Наличие потерь времени по организационным причинам породило проблему автоматизации управления производством. Решение этой проблемы связано с анализом и переработкой огромного количества информации, что возможно только при использовании современной вычислительной техники.

К пятому виду принадлежат потери по браку, когда станок или линия функционируют, но выдают бракованную продукцию. Проблема качества продукции в значительной степени решается путем автоматизации контроля, в том числе в процессе обработки.

Шестой вид — потери, связанные с переналадкой станка или автоматической линии при переходе на изготовление другого изделия, а также потери при замене технологической оснастки, кинематической настройке, смене программносителя и т. д. Из-за них возникла проблема мобильности автоматического производства, которая имеет особенно важное значение в условиях частой смены объекта производства.

Проблемы автоматизации в массовом и мелкосерийном производствах решаются разными способами и средствами. В массовом и крупносерийном производствах длительно изготавливаются определенные изделия неизменной конструкции. В этих условиях возможно и целесообразно применение высокопроизводительного переналаживаемого оборудования: автоматических линий, специальных агрегатных станков, автоматов и полуавтоматов, работающих по жесткой программе. В настоящее время выпуск специальных станков и автоматических линий значительно увеличивается, организуется производство переналаживаемых на различные размеры деталей комплексных автоматических линий. Для сборки массовых изделий машиностроения разрабатываются сборочные автоматические линии.

Известно, что около 70% всей продукции машиностроения изготавливается в серийном производстве при величине партий до 50 штук. До настоящего времени здесь преобладают универсальные станки с ручным управлением. Уровень организации этого производства также значительно уступает организации массового производства. Однако в последние годы положение в серийном производстве стало изменяться. Генеральное направление автоматизации серийного и мелкосерийного производства состоит в применении и развитии быстро переналаживаемых станков с числовым и цикловым программным управлением, в организации участков и цехов на базе высокопроизводительного оборудования, управляемого с помощью электронных вычислительных машин. Для механизации и автоматизации тяжелых физических и монотонных работ стали применять автоматические манипуляторы с программным управлением (промышленные роботы).

Раздел I. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

ГЛАВА 1. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

1.1. Назначение движений в станках

Обработка на станке осуществляется посредством рабочих и вспомогательных движений исполнительных органов. *Рабочими* называют движения, в ходе которых происходит технологическое воздействие на изделие, т. е. обработка, сборка, контроль, балансировка и др. В металлорежущих станках рабочие движения выполняются с рабочей подачей. *Вспомогательными* называют движения,

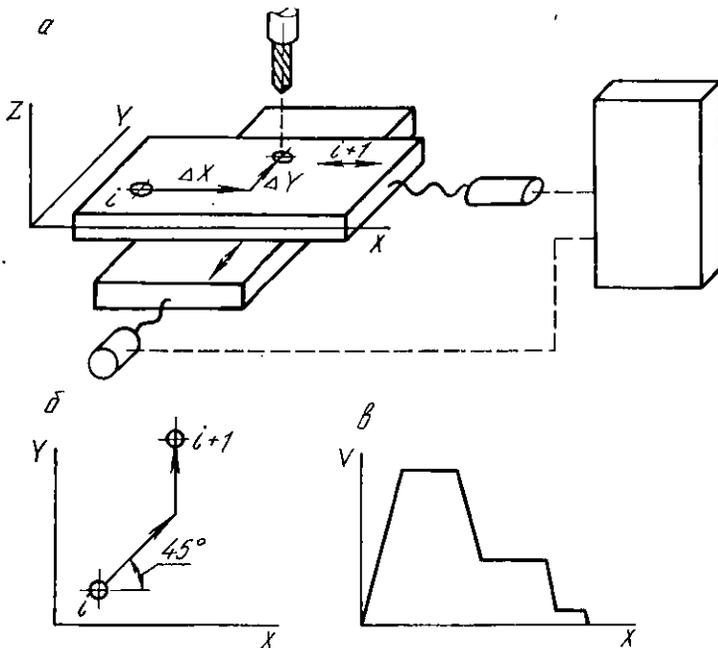


Рис. 1.1. Схемы позиционирования

подготавливающие условия, необходимые для выполнения рабочих движений. К вспомогательным относятся быстрый подвод суппортов к обрабатываемой детали, их отвод, подача материала или заготовки в зону обработки, зажим материала, повороты и фиксация узлов, несущих на себе инструменты или заготовки, и т. д.

Те рабочие и вспомогательные движения, которые служат для образования формы обрабатываемой детали, называются *движениями формообразования*. Их можно разделить на позиционирование, прямоугольное и контурное формообразование.

Позиционирование представляет последовательный выход стола с установленной на нем заготовкой на заданные позиции обработки. Выполняется оно на вертикально-сверлильных, радиально-сверлильных, координатно-расточных станках. Имеются два способа позиционирования. Первый (рис. 1.1, а) заключается в том, что перемещение из точки i в точку $i+1$ сначала происходит по одной координате, затем по другой. Второй способ (рис. 1.1, б) предусматривает сначала одновременные перемещения по двум координатам

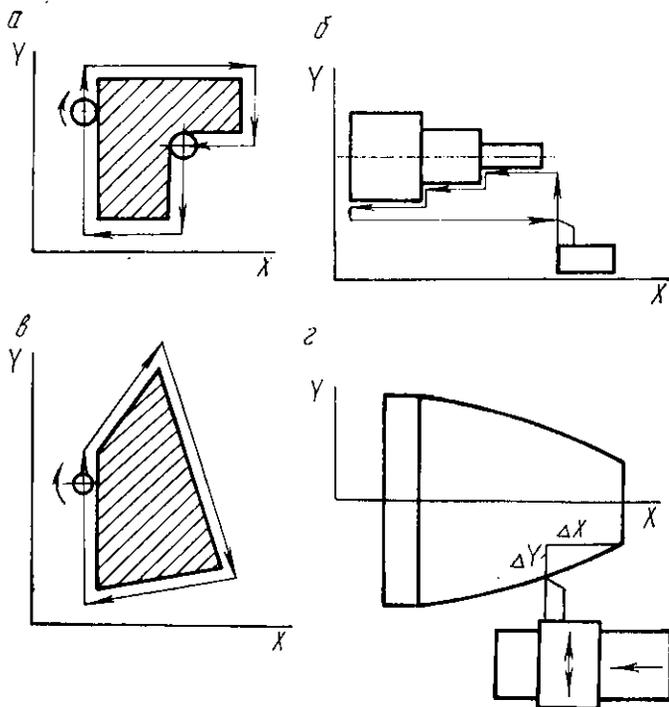


Рис. 1.2. Схемы движений формообразования

с одинаковыми скоростями, т. е. под углом 45° к осям, а затем по одной координате. Таким образом позиционирование происходит быстрее. При позиционировании движения по координатам X и Y являются вспомогательными, а рабочее перемещение инструмента происходит только по оси Z . Для обеспечения высокой точности позиционирования стол перемещается по координате к заданной позиции сначала быстро, потом медленно и, наконец, с очень малой («ползучей») скоростью v (рис. 1.1, в).

Прямоугольное формообразование осуществляется путем перемещений инструмента (или заготовки) поочередно по координатным осям X и Y как с рабочей подачей, так и ускоренно. В частно-

сти, перемещение может происходить только по одной координате. Прямоугольное формообразование осуществляется на токарных, фрезерных и других станках (рис. 1.2, а, б).

Контурное формообразование можно разделить на прямолинейное и криволинейное. При прямолинейном траектория рабочего перемещения инструмента представляет ломаную, состоящую из линейных отрезков, не параллельных осям координат (рис. 1.2, в). При криволинейном (рис. 1.2, г) перемещения по координатам ΔX , ΔY , ΔZ функционально связаны между собой: $\Delta Y=f(\Delta X)$, $\Delta Z=f(\Delta X, \Delta Y)$. Криволинейное формообразование осуществляется на токарных, фрезерных, электроэрозионных, шлифовальных и других станках при обработке валов, кулачков, штампов, шаблонов и других фасонных деталей.

На станке, работающем автоматически, инструмент быстро подводится к детали и, не доходя до ее поверхности на расстояние a , переходит на рабочую подачу; по окончании обработки поверхности в ряде случаев он совершает перебег с рабочей подачей на величину b . Подвод с рабочей подачей на величину a предупреждает врезание инструмента в деталь на большой скорости, возможное вследствие колебания припуска на заготовке и погрешностей срабатывания механизмов, переводящих инструмент с быстрого подвода на рабочую подачу. Величина b компенсирует колебания припуска, износ и погрешности настройки инструмента, погрешности срабатывания механизмов станка.

1.2. Автомат, полуавтомат, автоматическая линия

Станок, который самостоятельно производит все рабочие и вспомогательные движения, называется *автоматом*. Станки-автоматы обычно работают циклически. Механизмы совершают совокупность движений, после выполнения которых станок приходит в точно такое же состояние, в котором он был перед их выполнением. Эта совокупность движений называется *циклом*. В течение цикла обрабатывается одна или несколько деталей. Станок-автомат выполняет самостоятельно цикл за циклом и на их границах не нуждается во вмешательстве человека.

Если сложить продолжительности t_{p1} , t_{p2} , ..., t_{pk} несовмещенных рабочих и продолжительности $t_{в1}$, $t_{в2}$, ..., $t_{вn}$ несовмещенных вспомогательных движений рабочего цикла автомата или автоматической линии, получим время цикла $t_{ц}$ (рис. 1.3):

$$t_{ц} = \sum_{i=1}^k t_{pi} + \sum_{j=1}^n t_{vj} = t_p + t_v,$$

где $t_p = \sum_{i=1}^k t_{pi}$ — время, затрачиваемое на все несовмещенные рабочие движения при выполнении цикла обработки детали;

$t_a = \sum_{i=1}^n t_{a_i}$ — время, затрачиваемое на все несовмещенные вспомогательные движения цикла.

Станок, который выполняет каждый цикл самостоятельно, автоматически, но после каждого цикла требует вмешательства рабочего, называется *полуавтоматом*. Станки-автоматы и полуавтоматы будем называть *автоматическими станками*.

Автоматическая линия представляет комплекс основного и вспомогательного оборудования, с помощью которого в определен-

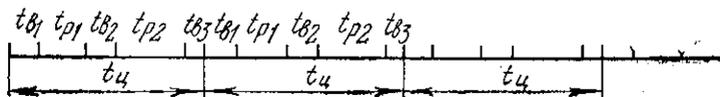


Рис. 1.3. Элементы времени цикла

ной технологической последовательности и с принудительным ритмом изготавливается продукция. Основное оборудование автоматических линий для механической обработки состоит из металлорежущих станков, а также агрегатов, осуществляющих сборку, контроль, термообработку и другие операции. Вспомогательное оборудование автоматических линий многообразно. Это прежде всего межстаночный транспорт, передающий обрабатываемые детали от одного станка к другому, накопители деталей перед группами станков, транспортер для отвода стружки, станции смазки, система подачи смазочно-охлаждающей жидкости и т. д. Все операции технологического процесса выполняются автоматически, без участия человека. Однако современные автоматические линии требуют выполнения человеком целого ряда работ по наладке и обслуживанию. Он производит загрузку заготовок и съем готовых деталей, наладку линии, смену затупившихся инструментов, контролирует обработку и производит подналадку, устраняет отказы.

1.3. Общие сведения об управлении

Управление станками — процесс осуществления воздействий, необходимых для выполнения обработки и производимых на основании определенной информации. Совокупность устройств, обеспечивающих управление, называется *системой управления*.

В систему управления автомата и автоматической линии входят блок управления, вырабатывающий управляющие воздействия, и управляемый объект, т. е. комплекс исполнительных устройств станка. Источниками информации, используемой при управлении станками и автоматическими линиями, являются программа управления циклом, система «станок — приспособление — инструмент — деталь» (СПИД), окружающая среда, адаптивный блок, информа-

ционнно-диагностическая система. Часть информации задается до начала цикла обработки, т. е. является априорной, другая часть накапливается в ходе воспроизведения циклов, для чего система управления должна получать информацию о результатах управления.

Устройство блока управления определяется способом задания априорной информации, способом накопления ее в ходе технологического процесса, объемом и сущностью функций системы управления, принятыми схемными и конструктивными решениями. Поэтому имеется целый ряд принципиально различных устройств блока управления. В простейшем случае он представляет вращающийся вал с насаженными на нем кулачками.

Функциями системы управления станка или автоматической линии могут быть: управление циклом обработки (движениями формообразования, включением и выключением механизмов), смещением обрабатываемых деталей и режущих инструментов; осуществление вспомогательных операций (блокировки, сигнализации, контроля работы системы гидравлики, пневматики и т. д.).

В соответствии с заданными функциями управления априорная информация складывается из геометрической о величинах перемещения или о положении исполнительных устройств, технологической о параметрах режима резания, информации о режимах работы управляющего блока и вспомогательной.

1.4. Программа управления циклом

Сущность программы управления циклом. Среди источников, из которых система управления получает необходимую информацию, имеется один, обнаруживаемый в системе управления любого автомата и автоматической линии,— программа управления циклом, представляющая совокупность команд, которые должны быть выполнены.

Программа управления циклом является априорной информацией. Она разрабатывается на стадии подготовки производства на основании чертежа обрабатываемой детали или информации, вырабатываемой ЭВМ в процессе автоматизированного проектирования технических устройств. При использовании чертежа обрабатываемой детали подготовка программ может выполняться вручную или с применением ЭВМ.

Программа управления циклом физически материализуется на некотором предмете или в некотором устройстве, называемом *программоносителем*. Существуют два принципиально разных способа задания программы: 1) в аналоговом виде; 2) в цифровом виде.

Способы задания программы в аналоговом виде. Программа в аналоговом виде задается профилем кулачков, копиров, расстановкой упоров управления и конечных переключателей.

Системы управления кулачками (рис. 1.4, а) в качестве программоносителей имеют дисковые, цилиндрические и другие кулачки. Профиль кулачка 2, определяемый профилем обрабатываемой детали 1 и технологией обработки, через рычаг 3 вызывает требуемое перемещение исполнительного узла 4 с заданной скоростью. За один оборот вала 5, называемого распределительным, с помощью нескольких насаженных на него кулачков можно получить согласованные движения всех исполнительных узлов

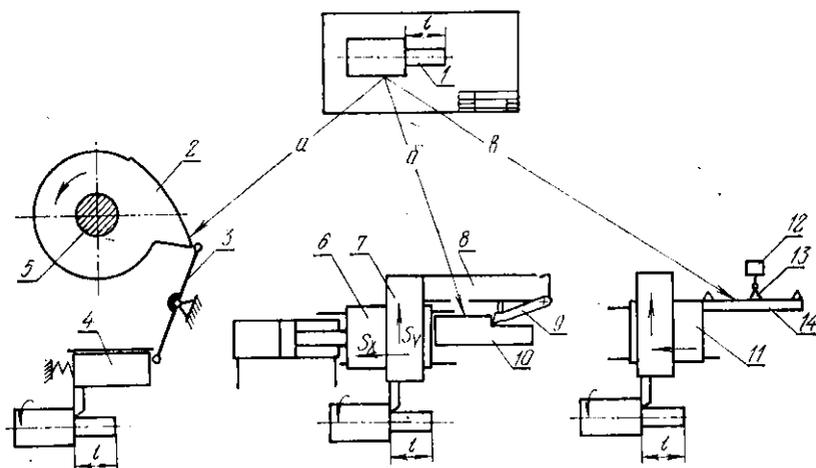


Рис. 1.4. Способы задания в аналоговом виде программы управления циклом

станка, т. е. совершить один цикл обработки. Кулачок является не только программоносителем аналогового типа, но и тяговым механизмом привода исполнительного узла. Изготавливая кулачки с различным профилем, можно получить разные законы изменения пути и скорости исполнительных узлов.

Системы управления кулачками позволяют автоматизировать как рабочие, так и вспомогательные движения. Они отличаются простотой конструкции, высокой точностью и надежностью. В связи с тем что кулачки трудоемки в изготовлении, автоматы и полуавтоматы с управлением кулачками могут эффективно применяться только в массовом и крупносерийном производствах.

Копировальные системы управления (рис. 1.4, б) в качестве программоносителя имеют копир 10, профиль которого точно совпадает с профилем обрабатываемой детали 1. Гидравлическим или другим приводом перемещаются продольные салазки 6 с продольной подачей S_x . Результатом работы копирующего прибора 8 при перемещении шупа 9 по копиру 10 является поперечное движение салазок 7 со следящей подачей S_y .

Копировальные системы управления предназначены для обработки деталей со сложными фасонными поверхностями. Благодаря возможности быстрой переналадки копировальные станки могут быть применены в серийном производстве. Недостатками копировальных систем управления являются: невозможность полной автоматизации цикла (осуществляется автоматическое управление только рабочими движениями) и автоматизации работы несколькими инструментами; высокая трудоемкость изготовления копиров.

Системы управления упорами (рис. 1.4, в) в качестве программносителя имеют расстановку упоров 13 на прикрепленной к суппорту 11 линейке 14. (Упоры могут быть установлены и на вращающемся барабане.) При перемещении суппорта упоры действуют на электрические конечные переключатели, гидравлические или пневматические золотники 12, которые вырабатывают соответствующего рода сигналы и посылают их в систему управления. Эти сигналы используются для управления циклом исполнительного узла (переход с быстрого подвода на рабочую подачу, с одной рабочей подачи на другую, реверс, остановка в исходном положении). Для того чтобы можно было осуществить управление упорами, в кинематическую схему электромеханического исполнительного узла должны быть включены электромагнитные муфты и тормозы, многоскоростные или регулируемые электродвигатели. В гидравлические и пневматические системы необходимо вводить путевые золотники, а также золотники с электрогидравлическим или электропневматическим управлением.

Системы управления упорами не только управляют циклом, но и обеспечивают очередность перемещения разных исполнительных узлов, являются составной частью систем блокировки и сигнализации. Они широко применяются в автоматических линиях, агрегатных станках, в станках с копировальными системами управления (для управления циклом работы), в манипуляторах и промышленных роботах. Эти системы просты по конструкции, универсальны, обеспечивают дистанционное управление, могут быть использованы как на переналаживаемом, так и на переналаживаемом оборудовании. Для повышения их надежности в системах управления применяются бесконтактные путевые переключатели.

Задание программы в цифровом виде. Программа в цифровом виде задается стандартным набором символов, который называется *кодом*. Символами кода являются цифры, буквы и некоторые знаки, например, +, -, %,), (. Представление информации в символах того или иного кода называется *кодированием*. Носителем программы в цифровом виде (программоносителем) служит перфолента и очень редко магнитная лента. На пятидорожечной перфоленте программа кодируется буквенно-цифровым кодом БЦК-5, на восьмидорожечной — буквенно-цифровым международным кодом ISO-7bit. Программа в цифровом виде может быть введена в систему управления станка непосредственно от ЭВМ.

Системы управления, работающие по программе, заданной в цифровом виде, называются *системами числового программного управления* (ЧПУ). Ими оснащают металлорежущие станки, промышленные роботы, измерительные машины, автоматические линии и другое оборудование.

Принципиальными преимуществами задания программы в цифровом виде являются: возможность автоматизации процесса подготовки программы с помощью ЭВМ и возможность быстрой замены программносителя на станке. Благодаря этому оборудование с ЧПУ может эффективно использоваться при частой смене изготавливаемых объектов, т. е. в серийном и мелкосерийном производствах. Так как оборудование имеет высокую стоимость и сложно в эксплуатации, его применение в каждом случае должно быть экономически обосновано.

Числа в обычных источниках исходной информации, записанные в десятичной системе счисления, фиксируются на программносителях в двоичной и унитарной системах счисления, а также двоично-десятичным способом.

Основой двоичной системы счисления является число 2. Для того чтобы число десятичной системы, например 87, представить в двоичной, его необходимо выразить в виде суммы степеней числа 2:

$$87 = 64 + 16 + 4 + 2 + 1 = 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0.$$

Совокупность коэффициентов при степенях числа 2 представляет запись числа в двоичной системе:

87	1 0 1 0 1 1 1
Число в десятичной системе счисления	Число 87 в двоичной системе счисления

Широкое применение двоичной системы в автоматике объясняется тем, что в этой системе любое число изображается с помощью только двух цифр 0 и 1, а эти цифры и составленные из них числа легко фиксируются физически. Единице обычно соответствует отверстие, пробитое в перфоленте или перфокарте, магнитный штрих, нанесенный на магнитную ленту, включенное реле, высокое напряжение на выходе элемента, а нулю — отсутствие перечисленных признаков.

На пятидорожечной ленте можно получить 32 комбинации отверстий, на восьмидорожечной — 128. Обычно запись производится поперек дорожки, но возможна и вдоль нее. Если воспользоваться весами дорожек, можно не делать предварительного перевода из десятичной системы в двоичную. При этом отверстия следует пробить на тех дорожках, сумма весов которых равна кодируемому десятичному числу. Для примера на рис. 1.5, а, б показана запись чисел 11 и 87. Для записи больших чисел двоичным кодом требуются широкие ленты.

Для многих систем ЧПУ числа фиксируются двоично-десятичным кодом. В этом случае они записываются по правилам десятичной системы цифрами, каждая из которых изображается в двоичной системе четырьмя знаками:

Цифра	0	1	2	3	4
Двоичное изображение цифры	0000	0001	0010	0011	0100
Цифра	5	6	7	8	9
Двоичное изображение цифры	0101	0110	0111	1000	1001

Например, число 87,35, записанное двоично-десятичным кодом, выглядит так:

1000	0111	0011	0101
8	7	3	5

На перфоленте число занимает столько строк, сколько оно имеет разрядов (рис. 1.5, в).

Числа на магнитной ленте очень часто фиксируются в унитарной системе счисления. При этом каждой единице

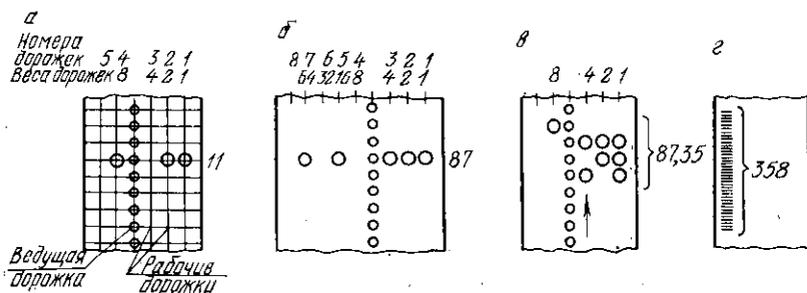


Рис. 1.5. Примеры кодирования чисел

числа соответствует один магнитный штрих (рис. 1.5, в). Магнитная лента состоит из двух слоев. Нижний пластмассовый (основа) покрыт тонким слоем ферромагнитного вещества. Магнитные штрихи образуются в верхнем слое при пропускании электрических импульсов через записывающую магнитную головку.

В качестве символов буквенно-цифрового кода БЦК-5 выбраны десять цифр и десять букв русского алфавита:

0,	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9
Н,	Е,	Д,	Т,	К,	П,	Ш,	С,	В,	Я

Буквы, за исключением К и Я, являются начальными буквами названий соответствующих цифр: Н — нуля, Е — единицы и т. д. Этим облегчается контроль закодированной информации. Каждая буква закрепляется за определенной командой управления и называется *адресом команды*. Рядом с буквенным адресом находится цифровая информация команды. Буквенный символ обычно явля-

Табл. 1.1. Обозначение названий некоторых команд управления

Команда управления	Символ	Команда управления	Символ
Конец кадра	Н	Подача (ее скорость)	П
Перемещение по координате X	Е	Шпиндель (его скорость)	Ш
Перемещение по координате Y	Д	Смена инструмента	С
Перемещение по координате Z	Т	Вспомогательные команды	В
Кадр или инструмент (номер)	К	Резерв	Я

ется начальной буквой названия команды. Для примера одна из систем адресования представлена в табл. 1.1. Когда количество команд управления станком больше десяти, можно использовать двузначные символы ЯЕ, ЯД, ... ЯВ.

Цифры кодируются на четырех дорожках перфоленты двойным кодом. Каждая буква кодируется так же, как соответствующая ей цифра. Только для буквы на пятой дорожке ленты пробивается отверстие. Таким образом, на пятой дорожке фиксируется признак буквы или цифры.

1.5. Источники информации о ходе процесса обработки и состоянии станка

Система СПИД как источник информации. При обработке детали в звеньях системы СПИД — станке, приспособлении, инструменте, детали — происходят разнообразные процессы. К ним относятся: деформации звеньев системы СПИД под действием сил резания и нагрева, вибрации, изменение жесткости технологической системы вдоль траектории инструмента, появление температурного поля в зоне резания, изнашивание инструмента, изменение размеров обрабатываемой детали и другие явления, зависящие от управления, т. е. от режимов резания [14].

Обычно случайные изменения параметров технологической системы приводят к отклонению процесса резания от течения, предписанного программой управления циклом. Это проявляется в изменении составляющих силы и мощности резания, скорости изнашивания инструмента, частоты слома стружки, уровня вибрации системы. В результате снижается точность обработанных деталей, увеличивается рассеяние погрешностей обработки, частота поломок и сколов режущих инструментов, опасность повреждения станка и приспособления; при чрезмерных вибрациях технологической системы процесс резания становится неосуществимым.

При обработке на универсальном станке рабочий имеет возможность нейтрализовать вредное влияние изменений параметров технологической системы и достичь заданной точности обработки, например, путем уменьшения подачи и увеличения числа проходов.

Но такой способ коррекции программы связан со снижением производительности обработки, дополнительной нагрузкой на рабочего и невозможностью среагировать на локальные изменения параметров технологической системы. При обработке на автоматизированных станках и автоматических линиях вносить коррекцию в режим резания становится затруднительным или невозможным. Поэтому с целью предохранения режущего инструмента и станка от поломок, обеспечения требуемого качества обработанных деталей технолог занижает режимы резания, ориентируясь на самое неблагоприятное стечение обстоятельств. Это приводит к недоиспользованию возможностей оборудования.

Установлено, что информация о поведении системы СПИД характеризует состояние процесса резания, и система СПИД может быть использована как источник информации для управления станком с целью повышения производительности и качества обработки, а также снижения ее стоимости.

Окружающая среда как источник информации. Под окружающей средой подразумевается источник информации о возмущениях, влияющих на процесс обработки, но не зависящих от процесса управления. Возмущениями являются колебания припуска на заготовках и твердости их материала, температура рабочей жидкости, СОЖ и окружающей среды, изменения давления воздуха в пневмосистеме и др. Они приводят к дополнительным динамическим нагрузкам, отказам оборудования, колебаниям стойкости инструментов, производительности, качества и стоимости обработки.

Возмущения, изменяющиеся случайным образом, не могут быть учтены при разработке программы управления циклом. Поэтому для станков с ручным управлением режим резания обычно занижается. Если оснастить станки системами управления, использующими информацию о возмущениях, можно значительно повысить режимы резания, ликвидировать поломки инструментов, улучшить качество обработки.

Адаптивный блок как источник информации. На станках целесообразна обработка с режимами резания, обеспечивающими экстремум выбранного экономического критерия оптимальности, т. е. максимум производительности, минимум технологической себестоимости обработки и приведенных затрат на съем единицы объема припуска и др. Однако для оптимального управления нужна специфическая информация, которую не дают три уже названных источника. Такую информацию способен вырабатывать адаптивный блок. В нем имеется устройство памяти, в которое поступает информация о ходе процесса и возмущающих воздействиях. Его вычислительное устройство вырабатывает информацию, используемую при оптимизации обработки по выбранному экономическому критерию.

Информационно-диагностическая система как источник информации. С целью получения информации об отсутствии аварийной

ситуации в системе СПИД, а также для быстрого отыскания неисправностей станок оснащается информационно-диагностической системой. Она вырабатывает информацию об усилии зажима заготовки, наличии смазки, давлении в гидросистеме, работоспособности инструментов и т. д. Часть информации выводится на пульт управления и помогает быстро находить неисправности. Остальная поступает в блок управления и используется для автоматического прерывания цикла обработки в случае аварийной ситуации. Обширная информация от информационно-диагностической системы используется наиболее полно, когда для управления применяется ЭВМ.

1.6. Информационные структуры систем управления

Информационные структуры системы управления представляют различные сочетания используемых источников информации. Обозначим программу управления символом a_1 , систему СПИД — a_2 , окружающую среду — a_3 , адаптивный блок — a_4 , информационно-диагностическую систему — a_5 . Тогда показанные на рис. 1.6. структуры системы управления можно обозначить следующим образом: (a_1) , (a_1a_2) , $(a_1a_2a_3)$, $(a_1a_2a_4)$, $(a_1a_2a_3a_4)$, $(a_1a_2a_3a_4a_5)$.

подавляющее большинство современных станков-автоматов и полуавтоматов имеют структуру (a_1) . Программа вводится программноносителем в блок управления, где преобразуется в форму, необходимую для управления станком. Кроме того, в блоке управления происходит усиление сигналов до уровня, требуемого для управления приводами различных исполнительных узлов. На рис. 1.6, a поток информации обозначен стрелкой A . Возмущения, отклоняющие течение процесса обработки от предписанного направления, снижающие его эффективность и вызывающие рассеяние качества обработки, обозначены буквой γ . Системы управления с одним источником информации a_1 способны только обрабатывать программу и не реагируют на возмущения.

В системе управления со структурой (a_1a_2) (рис. 1.6, б) в блок управления поступают два потока информации. Например, определенный программой поток A может нести информацию только о траектории инструмента и вспомогательных командах, а B , идущий от станка, может обуславливать величину подачи в зависимости от нагрузки на привод главного движения. Следовательно, поток B используется здесь для повышения производительности обработки. В других случаях он может способствовать повышению точности обработки. При этом автоматически вводится поправка в зависимости от фактических размеров обработанных деталей.

Система со структурой (a_1a_3) (рис. 1.6, в) производит управление процессом обработки с учетом случайных возмущений γ , возникающих по вине окружающей среды.

Система управления со структурой $(a_1 a_2 a_3)$ (рис. 1.6, з) объединяет преимущества систем со структурами $(a_1 a_2)$ и $(a_1 a_3)$. В такой системе в блок управления поступают три потока информации: A — о программе, B — о процессе обработки, C — о возмущающих воздействиях.

Еще более сложными являются структуры $(a_1 a_2 a_4)$, $(a_1 a_2 a_3 a_4)$ и $(a_1 a_2 a_3 a_4 a_5)$ (рис. 1.6, д — ж), но зато оснащенные ими станки имеют широкие функциональные возможности.

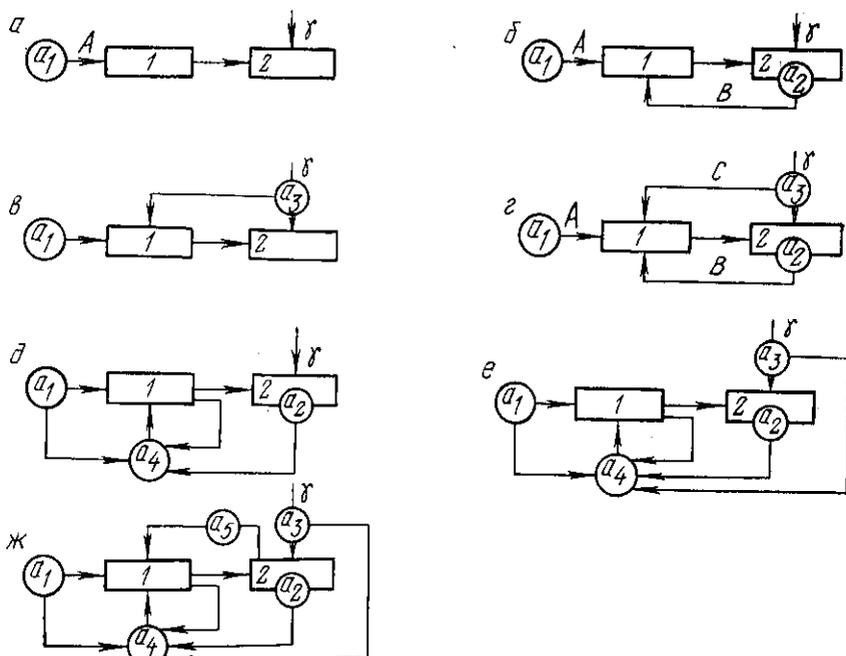


Рис. 1.6. Информационные структуры систем управления:

1 — блок управления; 2 — станок

Системы управления, получающие информацию хотя бы из одного источника a_2 , a_3 и a_4 , называются *адаптивными*. Им посвящена глава 10. Система управления, использующая в качестве источника информации только программу a_1 (см. рис. 1.6, а), является *разомкнутой*. Она не получает информации о результатах управления. Системы управления других информационных структур (см. рис. 1.6, б — ж), получающие информацию о результатах управления в виде сигналов обратной связи, называются *замкнутыми*. В разомкнутых системах управления могут быть местные обратные связи, например, предназначенные для повышения точности отработки программы.

1.7. Построение цикловых диаграмм

Цикловая диаграмма (циклограмма) управляемого объекта представляет графическое изображение его рабочего цикла. Вид циклограммы определяется типом управляемого объекта (станок, автоматическая линия, промышленный робот и их отдельный исполнительный узел), особенностями его системы управления (кулачковая, копировальная, упорами и т. д.), ее аппаратурной частью (из гидравлических, электрических и других элементов).

На циклограмме должны быть перечислены исполнительные узлы, элементы цикла и их длительность, выраженная в секундах или долях времени цикла (рис. 1.7). Если механизмы имеют электрические и гидравлические приводы, на циклограмме целесообразно указывать параметры гидроцилиндров и длину хода штоков, последовательность поступления электрических команд, моменты срабатывания конечных переключателей, места введения блокировок.

Рабочий цикл станка, управляемого распределительным валом, можно изобразить или круговой циклограммой, в которой каждая концентрическая окружность представляет работу одного механизма, или линейной (рис. 1.8), в которой каждая строка изображает один элемент цикла. На этих циклограммах длительность элементов цикла выражена величиной соответствующего угла поворота распределительного вала.

По циклограммам, построенным для проектируемых станков и автоматических линий, получают исходные данные для разработки схем управления и исполнительных узлов. На основании циклограммы удастся сократить количество и продолжительность перекрываемых движений, а также совместить по времени ряд движений, вводя при этом блокировки.

1.8. Построение систем управления по логическому принципу

Системы управления многих станков-автоматов и автоматических линий предназначены для выполнения большого количества разнообразных функций, что определяет их сложность. Такие системы не удастся строить на основании простых рассуждений. Анализ и синтез сложных систем управления выполняются методами алгебры логики, называемой также исчислением высказываний.

Высказыванием является любое утверждение, которое может быть истинным или ложным и не может быть одновременно истинным и ложным. Высказывания будем обозначать большими буквами: А, В, С и т. д. Под истинным высказыванием можно понимать осуществление некоторого действия, под ложным — его отсутствие. Истинное высказывание обозначается 1, ложное 0, например

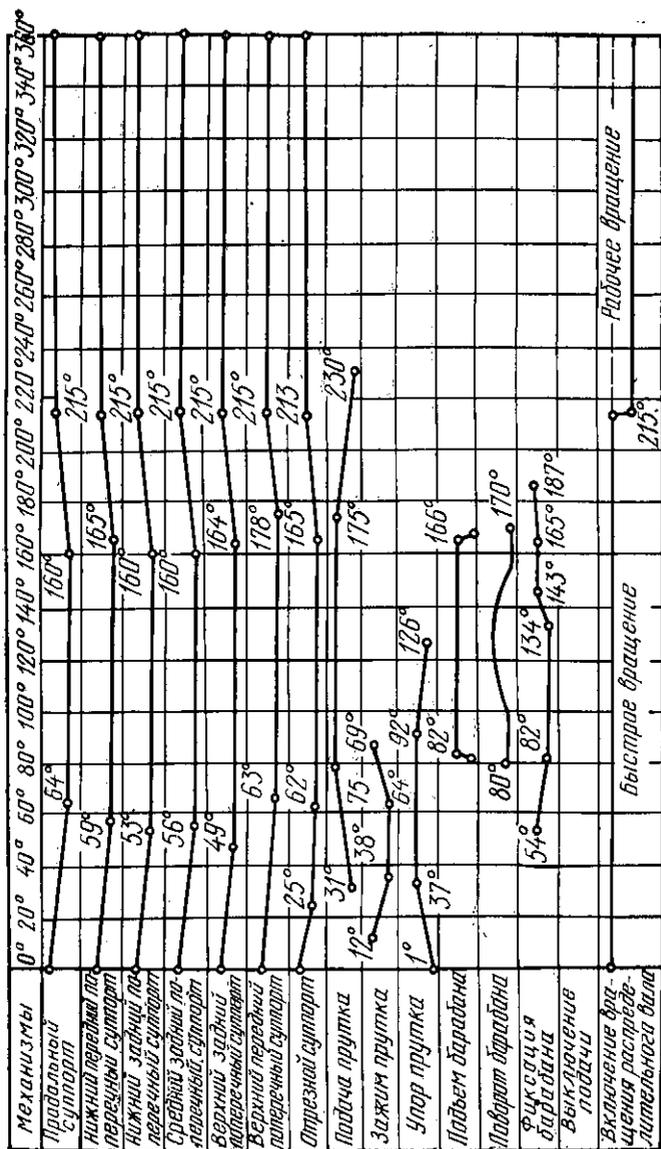


Рис. 1.8. Циклограмма станка, управляемого распределительным валом

$A=1, B=0$. Это позволяет установить соответствие между высказываниями и цифрами двоичной системы счисления.

С помощью логических связей (логических функций) из простых высказываний получают сложные. Если говорить о схемах автоматики, под простыми высказываниями можно понимать сигналы A, B, C, \dots, Z на входе некоторого элемента, а под функцией — зависимость сигнала P на выходе от сигналов на входе. Основными логическими функциями (связями) являются отрицание НЕ, умножение И, сложение ИЛИ.

Отрицание обозначают так: $P = \bar{A}$. Эта функция показывает, что P истинно, когда A ложно, и P ложно, когда A истинно. Связь иллюстрируется табл. 1.2, в которой также приведены некоторые дополнительные сведения о логических функциях. В схемах автоматики отрицание реализуется логическим элементом НЕ, имеющим один вход и один выход. Сигнал на выходе появляется тогда, когда нет сигнала на входе; сигнал на выходе отсутствует при появлении сигнала на входе.

Понятия об умножении и сложении рассмотрим применительно к двум независимым высказываниям A и B . Рассуждения легко распространить на большее число высказываний.

Умножение двух высказываний A и B обозначают как $P = AB$. При этом понимают, что сложное высказывание P истинно только тогда, когда одновременно истинны высказывания A и B (табл. 1.2).

В системах автоматики логическое умножение выполняет элемент И, имеющий несколько входов и один выход. Сигнал на выходе появляется только тогда, когда одновременно имеются сигналы на всех его входах.

Логическое сложение двух высказываний A и B обозначают как $P = A + B$. При этом понимают, что сложное высказывание P истинно тогда, когда истинно хотя бы одно из высказываний A и B , входящих в него (табл. 1.2). В схемах автоматических устройств логическое сложение выполняет элемент ИЛИ, имеющий несколько

Табл. 1.2. Таблица логических функций

Наименование функций	Обозначение функций	Выражение		
		алгебраическое	словесное	табличное
Отрицание	—	$P = \bar{A}$	P есть не A	A 1 0
				P 0 1
Умножение	· &	$P = AB$ $P = A \& B$	P есть A и B	A 1 1 0 0
				B 1 0 1 0
				P 1 0 0 0
Сложение	+ ∨	$P = A + B$ $P = A \vee B$	P есть A или B	A 1 1 0 0
				B 1 0 1 0
				P 1 1 1 0

входов и один выход. Сигнал на выходе появляется только тогда, когда имеется сигнал хотя бы на одном входе.

На основании перечисленных связей можно построить более сложные логические функции, которые предназначены для описания сложных автоматических устройств. Функции удается упростить при использовании законов алгебры логики. Перечислим основные законы.

1. Переместительный закон для сложения и умножения:

$$A+B=B+A;$$

$$AB=BA$$

2. Сочетательный закон для сложения и умножения:

$$(A+B)+C=A+(B+C);$$

$$(AB)C=A(BC)$$

3. Распределительный закон для сложения и умножения:

$$(A+B)C=AC+BC;$$

$$(A+C)(B+C)=AB+AC+BC+C$$

4. Закон инверсии для сложения и умножения:

$$\overline{A+B}=\overline{A}\overline{B};$$

$$\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$$

Законы инверсии иллюстрируются следующим образом:

A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
\overline{A}	1	0	1	0
\overline{B}	1	1	0	0
$\overline{A+B}$	1	0	0	0
$\overline{A+B}$	1	1	1	0
\overline{AB}	1	1	1	0
\overline{AB}	1	0	0	0

При выполнении преобразований функций используются также соотношения: $A+1=1$; $A+\overline{A}=1$; $AA=A$; $A\overline{A}=0$.

Проектирование схемы автоматики начинается с составления для нее таблицы истинности, которая указывает, какие должны

Табл. 1.3. Таблица истинности

A	B	P_1	P_2
1	1	1	0
1	0	1	1
0	1	0	1
0	0	0	1

быть сигналы на выходах при определенных комбинациях сигналов на входах. Например, необходимо построить схему, условия работы которой описаны в табл. 1.3. Схема должна иметь два входа А и В и два выхода P_1 и P_2 . На основании табл. 1.3 можно записать:

$$P_1 = AB + \overline{A}\overline{B};$$

$$P_2 = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}B + A\overline{B}.$$

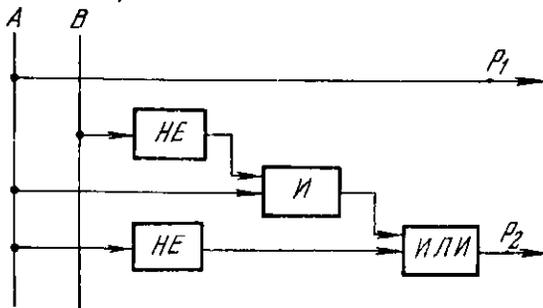


Рис. 1.9. Схема, реализующая табл. 1.3

Упрощаем эти функции:

$$P_1 = A(B + \overline{B}) = A \cdot 1 = A;$$

$$P_2 = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}(B + \overline{B}) = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}.$$

Схема, реализующая их, изображена на рис. 1.9.

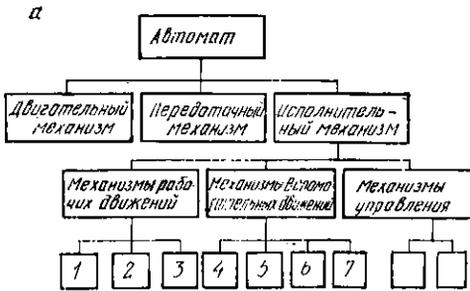
Применяются гидравлические, пневматические, полупроводниковые, магнитные и другие логические элементы. Промышленность выпускает логические элементы в виде серий, являющихся законченными системами.

ГЛАВА 2. ЦЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

2.1. Классификация механизмов

Если рассматривать станок-автомат как конструкцию, то в нем можно выделить следующие механизмы (рис. 2.1, а): двигательные, передаточные, исполнительные. Одни исполнительные механизмы предназначены для выполнения рабочих движений, другие — для вспомогательных. Для согласования их работы в автомате

те имеются устройства и механизмы системы управления, конструктивно принадлежащие станку или оформленные в самостоятельные агрегаты. В то время как в неавтоматизированном станке есть только механизмы рабочих движений, в состав каждого станка-автомата обязательно входят механизмы вспомогательных движений, а также устройства и механизмы системы



управления. В этом заключается принципиальное конструктивное отличие станка-автомата от станка с ручным управлением. Механизмы рабочих и вспомогательных движений, служащие для выполнения отдельных элементов рабочего цикла, называются *целевыми механизмами*.

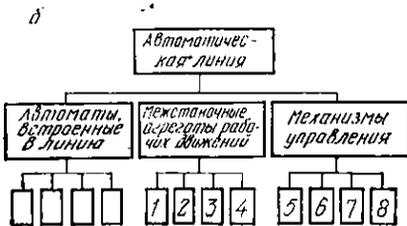


Рис. 2.1. Структурные схемы механизмов:

а — автомата; 1 — передний суппорт; 2 — задний суппорт; 3 — вертикальный суппорт; 4 — механизм подачи материала; 5 — механизм зажима материала; 6 — механизм поворота револьверной головки; 7 — механизм реверса шпинделя; 8 — автоматической линии; 1 — транспортеры; 2 — накопители заделов; 3 — кантователи заготовок; 4 — устройство возврата спутников; 5 — центральный пульт управления; 6 — контрольно-блокировочные устройства; 7 — командоаппарат; 8 — искатель отказов

Структура автоматической линии (рис. 2.1, б) подобна структуре отдельного автомата. Рабочие движения, необходимые для технологического воздействия на изготавливаемые объекты, выполняют автоматические станки, сборочные, контрольные и другие технологические агрегаты. В автоматических линиях большее развитие получают механизмы вспомогательных движений, осуществляющие межстаночное транспортирование деталей, их накопление, зажим на рабочих позициях и т. д. Работа всех агрегатов линии согласовывается системой управления, которая, кроме того, выполняет функции блокировки, сигнализации, отыскания неисправностей и др.

2.2. Механизмы загрузки заготовок

Механизмы загрузки предназначены для загрузки заготовок на станки-автоматы и снятия с них обработанных деталей. По типу загружаемых заготовок их можно разделить на три группы: механизмы подачи бунтового материала, пруткового материала, механизмы загрузки штучных заготовок.

Механизмы подачи бунтового материала выполняют следующие функции: подачу бунтового материала (проволоки, проката, ленты), правку его перед обработкой и зажим на время обработки.

Рычажный механизм (рис. 2.2, а) производит подачу материала вправо при заклинивании его между губками захвата 2. Неподвижный захват 1 служит для удержания материала при обратном ходе каретки.

Шариковый механизм (рис. 2.2, б) подает материал подвижной кареткой 4 при заклинивании его шариками правого захвата. Неподвижный захват 3 предназначен для удержания материала при возврате каретки.

Роликовый механизм (рис. 2.2, в) производит подачу материала при периодических поворотах прижатых к нему роликов 6. Ролики 5 предназначены для правки материала, которая в других случаях производится различными механизмами со штифтами и гребенками.

Механизмы подачи пруткового материала обычно производят подачу прутка до упора с помощью цанги, которая внутри шпинделя соединена с подающей трубой. Последняя получает перемещения от кулачка, пружины или груза. Подающие цанги могут быть цельными (рис. 2.3, а, б), что требует сложной технологии термообработки, или со вставными износостойкими вкладышами (рис. 2.3, в), благодаря которым легче достичь необходимой высокой долговечности цанги при хорошей упругости ее корпуса.

Механизмы загрузки штучных заготовок* выполняются в виде бункеров, магазинов, автооператоров и манипуляторов.

В бункерное загрузочное устройство засыпают неориентированные заготовки типа шайб, роликов, трубочек, штифтов и т. п. Это устройство поштучно захватывает заготовки из общей массы, ориентирует и посылает в лоток-накопитель, откуда с помощью автооператора они подаются в механизм зажима.

Представление о бункерном загрузочном устройстве дает рис. 2.4, на котором изображено крючковое устройство, предназначенное для загрузки заготовок типа колпачков. Загруженные в

* Здесь даны только понятия о механизмах загрузки штучных заготовок, а подробно они рассматриваются в курсе «Автоматика и автоматизация производственных процессов».

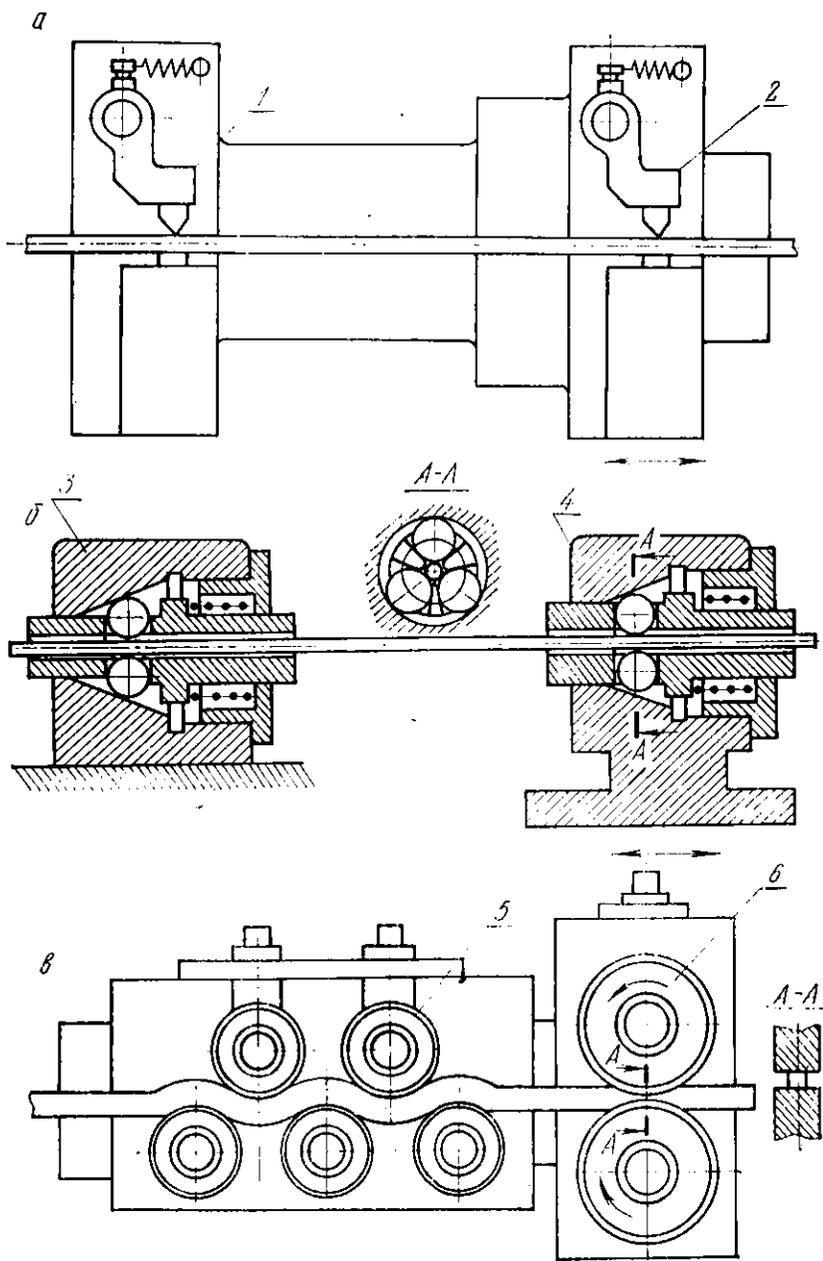


Рис. 2.2. Механизмы подачи бунтового материала

предбункер 1 заготовки попадают в бункер 3. При вращении диска 4 находящиеся на его периферии крючки 5 захватывают из общей массы по одной заготовке и переносят их в лоток-накопитель 6. Масса заготовок в бункере регулируется заслонкой 2.

Применяют бункерные устройства с захватными органами и без них. К последним относятся вибробункеры с прямолинейными или спиральными лотками, при колебании которых заготовки перемещаются силами инерции и трения. Колебания лотков создаются электромагнитными и другими вибраторами.

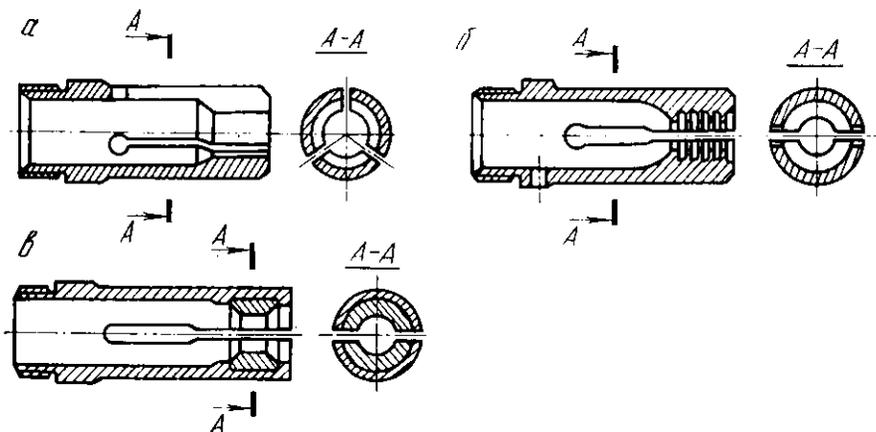


Рис. 2.3. Подающие цапги

В магазинное загрузочное устройство заготовки укладывают вручную в ориентированном положении. Через магазин они транспортируются к автооператору, который автоматически подает их к механизму зажима, а также снимает со станка обработанные детали. Магазин представляет лоток-накопитель, конструкция которого зависит от конфигурации заготовок и метода транспортирования (под собственным весом или принудительно). Шарики и цилиндрические заготовки можно подавать по трубчатым лоткам. Заготовки, имеющие форму дисков, колец, цилиндрическую, прямоугольную, перемещаются по прямоугольным лоткам.

Автооператор, как уже было отмечено, предназначен для загрузки ориентированных заготовок в механизм зажима, а также для снятия со станка обработанных деталей. Основными механизмами автооператора являются отсекатель, питатель, заталкиватель, съемник и отводящее устройство. Отсекателем отделяется столько заготовок от имеющихся в лотке, сколько их одновременно обрабатывается на станке. Питатель подает заготовки в определенном положении к шпинделю станка. Заталкиватель передает их из питателя в зажимное устройство, откуда съемник удаляет обработанные детали.

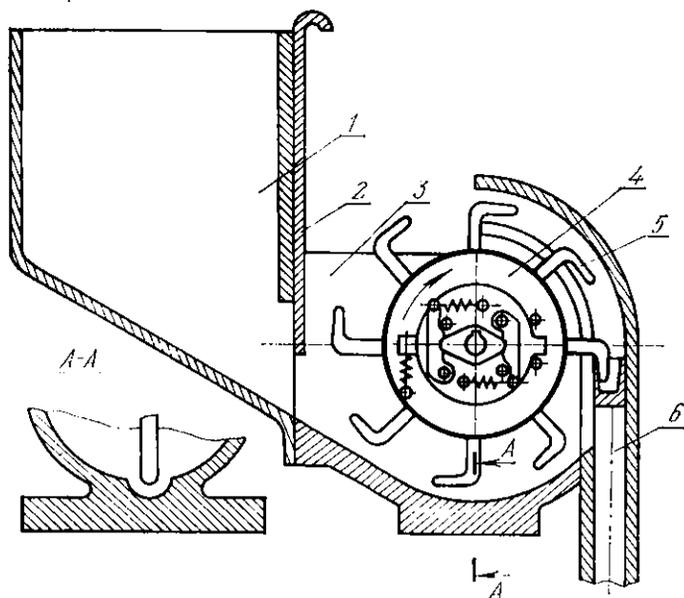


Рис. 2.4 Крючковое бункерное загрузочное устройство

2.3. Механизмы зажима заготовок

Классификация механизмов зажима. Механизмы зажима предназначены для закрепления заготовок на рабочих позициях станков и автоматических линий. Механизмы зажима симметричных заготовок (прутков, труб, штучных заготовок с поверхностями зажима в виде цилиндра, квадрата и т. д.) существенно отличаются от механизмов для зажима заготовок произвольной формы (корпусных, рычагов, кронштейнов и т. д.).

В станках применяются ручная, полуавтоматическая и автоматическая системы зажима. Ручная характеризуется наличием приспособления, зажим заготовки в котором производится вручную; она используется на полуавтоматах и станках с ручным управлением. Полуавтоматическая отличается тем, что команды на зажим подаются вручную, а зажим выполняется автоматически; она применяется в полуавтоматах. Автоматическая система характеризуется автоматической подачей команд на зажим и автоматическим выполнением их; она применяется в станках-автоматах и автоматических линиях.

Конструкция механизмов зажима существенно зависит от того, производится на рабочих позициях зажим самих заготовок или

приспособлений-спутников с заготовками. В первом случае на каждой рабочей позиции имеется приспособление с необходимыми элементами базирования и зажима. Во втором заготовки вне станков устанавливаются на приспособления-спутники, транспортируются вместе с ними между рабочими позициями, на которых производится зажим спутников. При этом устройства для зажима спутников на всех станках унифицированы.

На автоматических линиях благодаря спутникам удается автоматически транспортировать и зажимать детали неудобной формы (рычаги, кронштейны и т. п.), из мягких или хрупких материалов, что расширило область применения автоматических линий. На станках с ЧПУ и автоматизированных производственных участках приспособления-спутники позволяют сократить время, потребное на смену заготовок, так как закрепление их на спутниках может быть совмещено по времени с обработкой других заготовок или даже выполняться в нерабочую смену. В серийном производстве применяются переналаживаемые спутники.

Следует отметить, что спутники, будучи взаимозаменяемыми, должны иметь высокую точность, дороги, требуют применения устройств для их контроля и ухода.

Механизмы зажима симметричных заготовок. В зависимости от особенностей симметричных заготовок в качестве зажимных органов применяются цанги, кулачки, оправки, прихваты, мембраны. Необходимое усилие зажима создается гидро- или пневмоцилиндром, пружиной, механическим приводом. Для зажима симметричных заготовок и прутков диаметром от 0,5 до 100 мм широко используются цанговые зажимные механизмы разных типов.

Цанга с прямым конусом 2 (рис. 2.5, а) зажимает пруток при сжатии ее лепестков вследствие упора в гайку 3, навинченную на

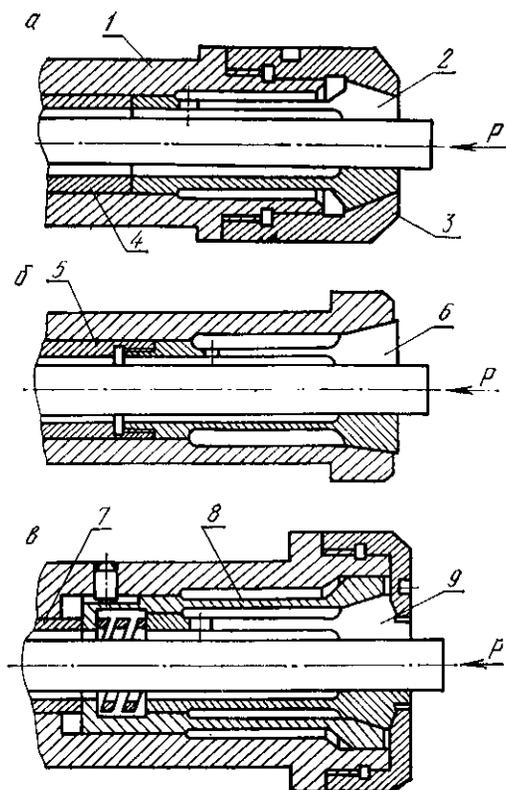


Рис 2.5. Типы цанговых механизмов зажима

шпиндель 1. Перемещение цапги производится зажимной трубой 4. Такой механизм прост по конструкции, но навинченная упорная гайка не обеспечивает хорошего центрирования цапги; осевая составляющая силы резания P ослабляет усилие зажима; возможное самозатягивание цапги при подаче прутка приводит к рассеянию величины расстояния, на которое подается пруток.

Цапга с обратным конусом 6 (рис. 2.5, б) зажимает пруток при перемещении ее влево вместе с зажимной трубой 5. По сравне-

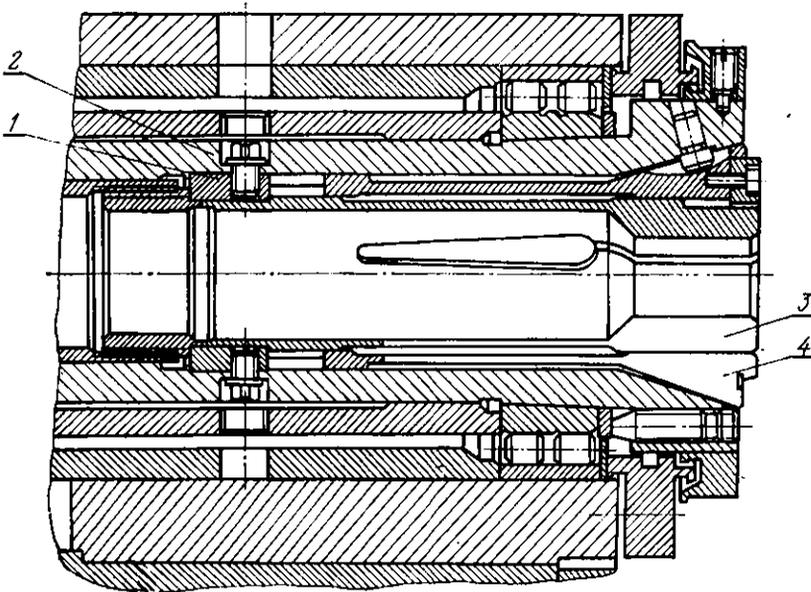


Рис. 2.6. Цапговый патрон с двойным зажимом

нию с описанным выше механизмом обеспечивается лучшее центрирование цапги, осевая составляющая силы резания P увеличивает усилие зажима, не может быть самозатягивания прутка при подаче. Недостатками этого механизма являются: наличие слабого резьбового соединения цапги с подающей трубой, возможность отхода прутка от упора при зажатии.

В цапговом механизме третьего типа (рис. 2.5, в) имеется цапга 9 с двойным конусом. Зажим происходит при перемещении вправо трубы 7 и стакана 8. Недостатком является большой диаметр. Механизм обеспечивает точную подачу прутка, имеет высокую прочность.

Хорошие эксплуатационные качества имеет цапговый патрон с двойным зажимом (рис. 2.6.). При перемещении влево конической цапги 4 пруток зажимается цилиндрической цапгой 3, соеди-

енной со шпинделем 2 с помощью сухарей 1. Благодаря тому что цилиндрическая цапга неподвижна в осевом направлении и имеет длинный участок закрепления, обеспечивается высокая точность положения прутка.

В качестве примера рассмотрим схему механизмов подачи и зажима прутка одношпиндельного токарного автомата (рис. 2.7), основными элементами которых являются находящиеся внутри шпинделя 7 подающая 9 и зажимная 11 цапги. Подающая цапга

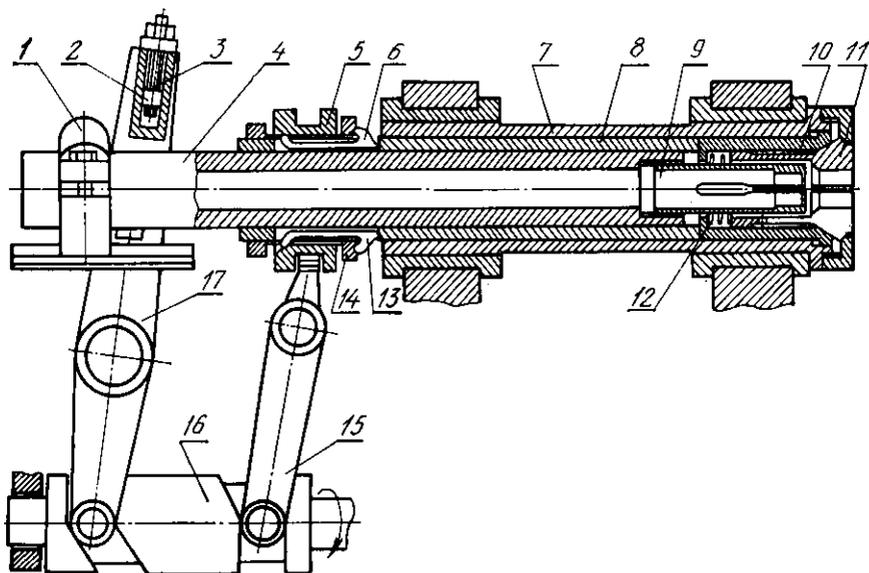


Рис. 2.7. Цапговые механизмы подачи и зажима прутка токарного автомата

ввинчена в трубу 4 и перемещается вместе с ней с помощью рычага 17 при повороте барабана 16. При этом обрабатываемый пруток подается вперед на требуемый размер благодаря силам трения между ним и цапгой. Зажим прутка производится, когда рычаг 15 перемещает влево втулку 5 и она нажимает на длинные концы рычагов 6 и 13. Последние опираются на неподвижное кольцо 14 и при воздействии втулки 5 поворачиваются относительно точек опоры, своими короткими плечами смещая вправо трубу 8 и зажимную втулку 10, которая внутренним конусом сжимает зажимную цапгу 11. При дальнейшем повороте барабана 16 втулка 5 рычагом 15 смещается вправо, а рычаги 13 устанавливаются в исходное положение с помощью пружины 12.

Подача и зажим прутка производятся после того, как отрезана готовая деталь. В этот момент упор, находящийся на распределительном валу, дает команду на соединение барабана 16 с непре-

рывно вращающимся управляющим валом, который сообщает барабану один оборот. Барабан при помощи канавок поворачивает рычаги 15 и 17 так, что образуется следующий цикл движений цанг: отвод подающей 9 (в это время прутки удерживаются зажимной цангой), разжим зажимной 11 (освобождение прутка), перемещение подающей вместе с прутком (подача прутка до упора), зажим прутка зажимной цангой. Ход каретки 1 и, следовательно, длина поданного для обработки прутка регулируются путем изме-

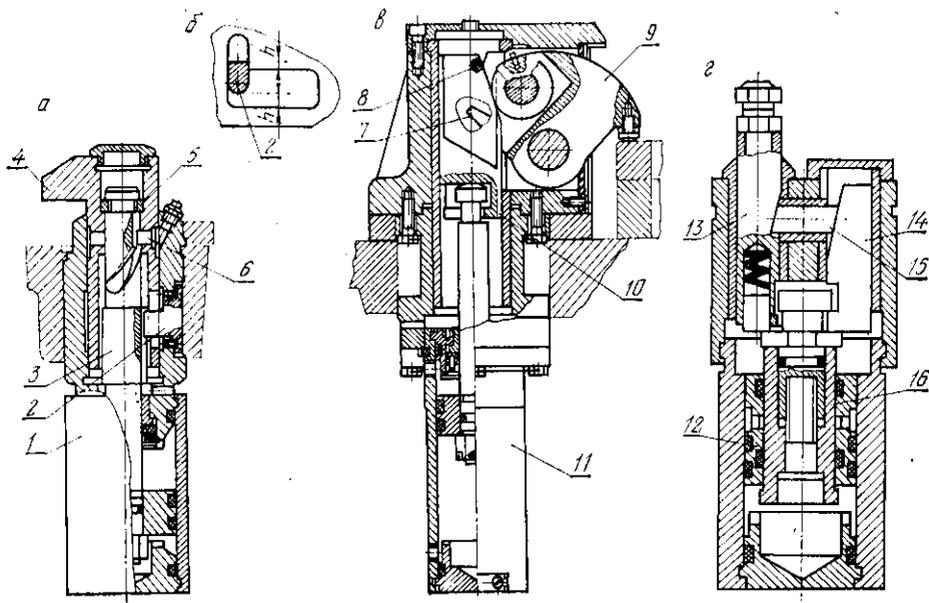


Рис. 2.8. Унифицированные узлы приспособлений агрегатных станков:

а — прихват; б — развертка Г — образного паза на прихвате; в — откидной прихват; г — подводимая опора

нения длины верхнего плеча рычага 17 с помощью винта 3 и гайки 2.

Механизмы зажима заготовок произвольной формы. Механизмы зажима заготовок, обрабатываемых на агрегатных станках, автоматических линиях, станках с ЧПУ, выполняют в виде зажимных приспособлений.

Зажимные приспособления агрегатных станков и автоматических линий являются их специальными узлами. Конструкция приспособления зависит от формы обрабатываемой детали, выполняемых данным станком операций, его производительности и компоновки. Прогрессивными направлениями в конструировании приспособлений являются унификация и агрегатирование их узлов и деталей.

Унифицированное зажимное устройство изображено на рис. 2.8, а, б. Когда масло подается в штоковую полость цилиндра 1, палец 6, входящий в винтовой паз штока 3, поворачивает Г-образный прихват 4 на 90°. При этом вертикальная часть паза, имеющегося на штоке, совмещается с направляющей шпонкой 2, а шайба 5 упирается в прихват 4. При дальнейшем опускании штока прихват перемещается вниз и зажимает заготовку. Благодаря тому что осевой ход прихвата при отжиге заготовки со-

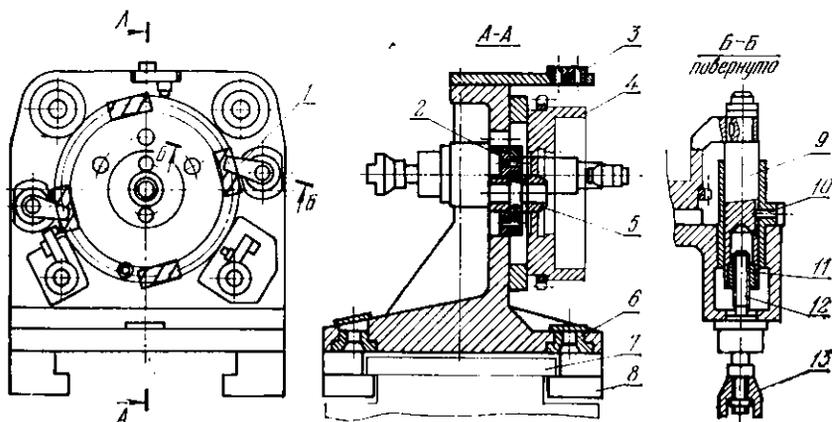


Рис. 2.9. Приспособление-спутник автоматической линии

ставляет всего несколько миллиметров, это зажимное устройство хорошо встраивается в приспособления агрегатных станков.

В приспособлениях агрегатных станков применяются также унифицированные откидные прихваты (рис. 2.8, в). Зажим заготовки происходит при подаче масла в бесштоковую полость цилиндра 11, когда шток через клин 10 поворачивает прихват 9. При подаче масла в штоковую полость цилиндра сначала происходит расклинивание прихвата, а затем отвод его от заготовки. Для этого на клине имеется упор 8, который при ходе вниз цепляет за выступ 7 прихвата.

Унифицированная подводимая опора показана на рис. 2.8, г. При поступлении масла в бесштоковую полость цилиндра поршень 12 и шток 16 перемещаются вверх независимо друг от друга. Шток заставляет перемещаться вверх подпружиненную опору 13 и клин 14. Одновременно толкатель 15 передвигается влево. После того как опора упрется в обрабатываемую заготовку, она будет заклинена толкателем и клином. Для отвода опоры масло подается в штоковую полость гидроцилиндра. Перемещаясь вниз, поршень ударяет по буртику штока, расклинивает опору и отводит ее от заготовки. Соотношением площадей поршня и штока обеспечивается

усилие расклинивания, в 1,5 раза превосходящее усилие заклинивания.

Приспособление-спутник представляет узел, в котором имеются элементы базирования и зажима как обрабатываемой детали, так и самого спутника на рабочих позициях линии или автоматизированного производственного участка.

На рис. 2.9 изображена конструкция приспособления-спутника для маховика. Корпус приспособления литой. Центральным отверстием маховик 4 базируется на втулке 5 и зажимается двумя прихватами 1, которые приводятся в действие от двухшпindelного электромеханического ключа, находящегося на загрузочной позиции линии. Крутящий момент от ключа передается кулачковой полууфте 13 и винту 12. Тяга 9 вместе с гайкой 11 перемещается в осевом направлении, в результате чего маховик зажимается прихватом 1.

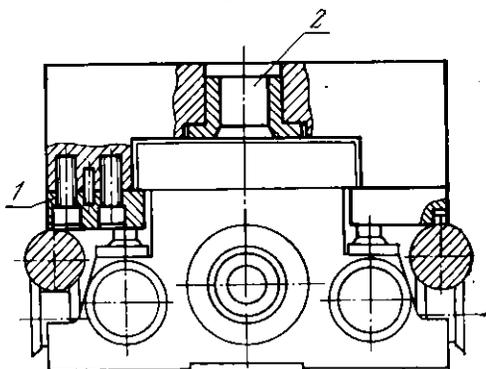


Рис. 2.10. Унифицированная спутниковая плита

На боковой поверхности тяги сделан винтовой паз, куда входит штифт 10. Этим обеспечивается разворот прихватов в конце их отвода от обрабатываемой детали и свободный съем ее с базирующей втулки. Кондукторные втулки 2 и 3 служат для направления режущих инструментов.

На рабочих позициях линии спутники базируются с помощью штырей, входящих в отверстия втулок 6, и зажимаются толкателями, которые, действуя снизу, прижимают планки 8 спутника к базовым планкам 7 станции фиксации и зажима. Использование верхних баз предохраняет базовые поверхности от попадания стружки и загрязнений.

Применяются разные способы базирования обрабатываемых деталей: по обработанной плоскости и двум отверстиям, выполненным точно по диаметру и координатам; по плоскости и центральному отверстию (маховики); по плоскости и наружной цилиндрической поверхности, в призмах (детали типа валов, поддерживающие ролики трактора); в самоцентрирующих патронах (тормозные барабаны); комбинированные (рычаги).

Усилия зажима на установленную в спутнике деталь передаются через встроенную в нем самотормозящую винтовую пару и дополнительные рычаги и прихваты.

Большинство приспособлений-спутников комплектуется из двух частей. Нижняя, называемая платформой или спутниковой плитой,

имеет стандартные размеры зеркала и стандартные базирующие и зажимные элементы, служащие для фиксации спутника на рабочих позициях линии. Верхняя часть представляет приспособление для базирования и зажима обрабатываемой детали. Она соединяется с нижней при помощи винтов. Жесткость такой конструкции по сравнению с монолитной незначительно снижается, зато появляются большие возможности для унификации элементов приспособлений-спутников.

На рис. 2.10 изображена унифицированная спутниковая плита конструкции СКБ АЛ, соответствующая обрабатываемым деталям средних и больших размеров. Спутник базируется при поджиме снизу по верхним плоскостям точно обработанных планок 1. Поджим производится после того, как он точно сориентирован на позиции с помощью двух цилиндрических фиксирующих пальцев, входящих во втулки 2. Погрешность изготовления компенсируется тем, что одна из втулок сделана овальной. При выходе спутника на позицию допускаются значительные погрешности его расположения, которые при фиксации устраняются благодаря тому, что на входе во втулки имеются большие фаски.

Применение спутниковых плит сопровождается увеличением высоты загрузки деталей, некоторым уменьшением жесткости технологической системы, ростом трудоемкости изготовления спутника. Поэтому часто спутники изготавливаются цельными. На них могут быть помещены втулки, по которым фиксируются кондукторные плиты, несомые силовыми столами.

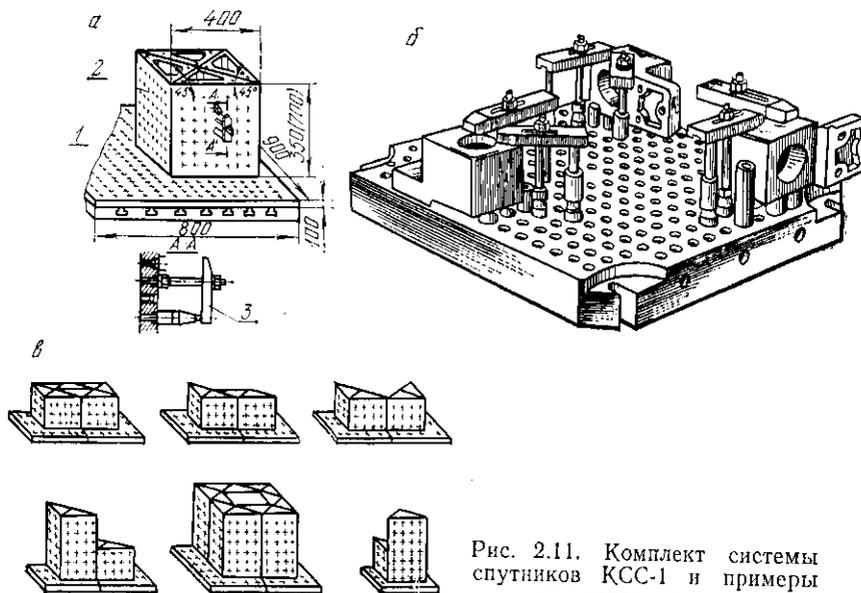


Рис. 2.11. Комплект системы спутников КСС-1 и примеры его использования

Все спутники являются взаимозаменяемыми. Для периодического контроля точности приспособлений-спутников линии снабжаются специальными стендами, настраиваемыми по эталонному спутнику.

Приспособления-спутники для станков с ЧПУ и автоматизированных производственных участков позволяют значительно сократить подготовительно-заключительное время при обработке небольших партий деталей. Примером таких зажимных устройств может служить комплект системы спутников КСС-1, состоящий из плит-спутников 1 (рис. 2.11, а), призмы-спутников 2, крепежных и фиксирующих элементов 3. На плитах-спутниках и призмах-спутниках имеются сетки пронумерованных отверстий, предназначенных для монтажа упорных и крепежных элементов. На плите-спутнике можно закреплять одну крупную или несколько мелких заготовок (рис. 2.11, б), а также устанавливать призмы-спутники в различных вариантах в соответствии с конфигурацией обрабатываемых деталей (рис. 2.11, в).

2.4. Механизмы поворота

В конструкциях автоматов и автоматических линий широкое применение находят поворотные устройства, предназначенные для периодического переноса обрабатываемых деталей или инструментов и фиксации поворачиваемого узла на позициях. К ним относятся револьверные головки, автоматизирующие смену режущих инструментов; шпиндельные блоки, карусели и барабаны многошпиндельных автоматов и полуавтоматов; поворотные-делительные столы агрегатных станков; устройства автоматических линий для поворота заготовок на 90 или 180° вокруг вертикальной, горизонтальной или наклонной осей и др.

Механизмы поворота должны поворачивать названные устройства быстро и плавно, без толчков и ударов, снижающих их точность и долговечность. Гидравлические механизмы поворота строят на основе гидроцилиндра в совокупности с зубчатой передачей и обгонной муфтой, в сочетании с мальтийским крестом или рычажно-храповым механизмом, а также на основе гидродвигателя или однополостного гидромотора. Аналогичные схемы имеют пневматические и пневмогидравлические механизмы поворота. В электрических механизмах применяют асинхронные или шаговые электродвигатели. Из механических механизмов поворота наиболее часто применяют рычажные, мальтийские, кулачковые и зубчатые.

Рычажные механизмы обеспечивают плавный безударный поворот тяжелых столов с большим числом позиций. Поворот стола 6 (рис. 2.12, а) выполняется в результате сложного плоского движения рычага 3, приводимого в действие пальцем 2 на диске 1. В один паз рычага входит неподвижный ролик 4, находящийся в центре стола, а другой захватывает ролик 5 на его периферии.

Мальтийские механизмы с прямыми пазами (рис. 2.12, б) состоят из мальтийского креста 7, непосредственно или кинематически связанного с поворачиваемым узлом, и кривошипа 9 с пальцем 8. После выхода пальца из зацепления крест может фиксироваться сектором 10. Недостатками таких механизмов являются переменность удельного давления между пальцем кривошипа и пазом креста, а также большие пики ускорения. Это приводит к значительным инерционным нагрузкам при быстром повороте

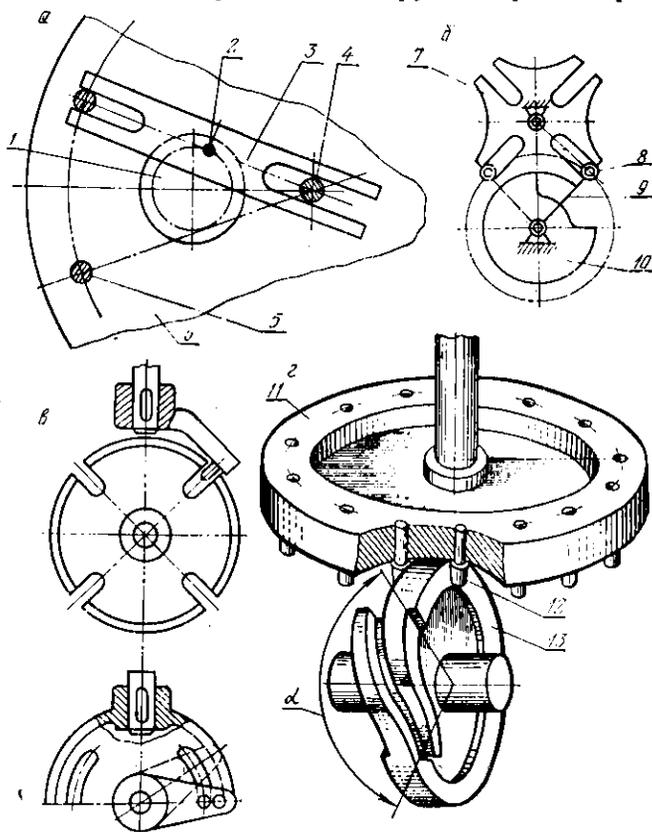


Рис. 2.12. Механизмы поворота

и к износу пазов креста. Для мальтийских механизмов с криволинейными пазами характерны постоянный угол давления и более благоприятные динамические свойства. В сферических механизмах (рис. 2.12, в) угол между валами креста и кривошипа может быть различным, но обычно принимается равным 90° . Благодаря этому применение сферических мальтийских крестов делает ненужной коническую зубчатую передачу. Кроме того, эти механизмы иногда

предпочтительны по сравнению с плоскими из-за меньших динамических нагрузок.

Мальтийские механизмы просты по конструкции, имеют небольшие габариты, надежны в работе, обеспечивают быстрый и плавный поворот узла. Однако они требуют точного изготовления и создают значительные инерционные нагрузки при большом моменте инерции поворачиваемого узла или слишком быстром повороте.

Кулачково-роликовые механизмы (рис. 2.12, з) могут быть построены на основе кулачка-улиты 13, имеющего криволинейный паз. При повороте кулачка на угол α ролики 12, перемещаясь по пазу, поворачивают карусель 11 на один шаг. При дальнейшем вращении кулачка его участок, выполненный в виде диска, фиксирует положение карусели.

Механизм поворота с кулачком-улитой прост по конструкции (не требуется специального механизма фиксации) и при соответствующем профиле улиты может иметь хорошие динамические характеристики. Однако изготовление кулачка-улиты довольно сложно, а точность фиксации сравнительно низка.

В качестве устройства, имеющего мальтийский механизм поворота, рассмотрим револьверный суппорт токарно-револьверного автомата. Револьверный суппорт (рис. 2.13) имеет следующий цикл движений: медленную рабочую подачу; быстрый отвод; поворот револьверной головки на следующую позицию, т. е. на 60° ; быстрый подвод.

Рабочую подачу суппорт получает от кулачка 12 через рычаг 14. Зубчатый сектор 13 перемещает влево рейку 15, шатун 16 и криво-

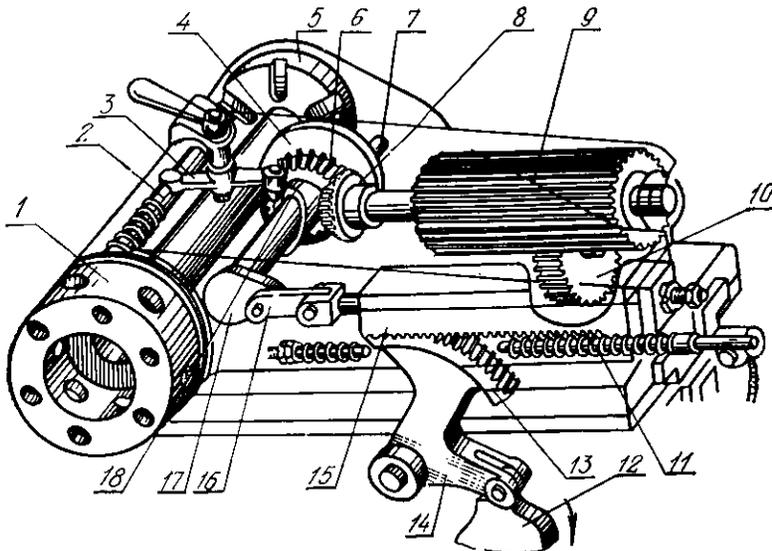


Рис. 2.13. Револьверный суппорт токарного автомата

шипный валик 17; при этом кривошипно-шатунный механизм находится в мертвом положении, показанном на рисунке. Валик 17 смонтирован в подшипниках, находящихся в корпусе суппорта. Поэтому при перемещении валика 17 движется весь револьверный суппорт. Ролик рычага прижимается к кулачку пружины 11.

Команду на быстрый отвод револьверного суппорта и последующий поворот револьверной головки 1 подает упор, находящийся на барабане распределительного вала. При этом включается однооборотная муфта, от вспомогательного вала через зубчатые колеса 10, 9 и пару конических колес 8, 6 движение передается кривошипному валику 17. Кривошип выходит из мертвого положения, рейка перестает быть опорой для суппорта, и под действием сжатой пружины 11 последний быстро перемещается вправо.

Когда суппорт еще не дошел до крайнего положения, начинается цикл поворота револьверной головки. Сначала торцевой кулачок 18 через двуплечий рычаг 3 выводит фиксатор 2 из гнезда головки 1. Затем палец 7, находящийся на диске 4, входит в паз мальтийского креста 5 и производит поворот головки. После этого она фиксируется. Повернувшись на 180°, кривошип отталкивается от неподвижной рейки, в результате чего происходит быстрый подвод суппорта, и кривошипно-шатунный механизм снова оказывается в положении, изображенном на рис. 2.13. В этот момент выключается однооборотная муфта на вспомогательном валу станка.

2.5. Механизмы фиксации

Механизмы фиксации предназначены для установки точного углового положения поворотных устройств и предотвращения их смещения во время обработки. (Последнему способствует зажим поворачиваемого узла после фиксации.) Применяют фиксацию следующих видов: одинарную, двойную и по многим одинаковым элементам.

В случае одинарной фиксации перед началом поворота узла 1 (рис. 2.14, а) фиксатор 3 выводится рычагом 4 из фиксаторного гнезда 2. В конце поворота, выполняемого против часовой стрелки с некоторым перебегом позиции, приводное устройство выключается, а фиксатор попадает в соседнее гнездо. Нижняя наклонная грань фиксатора действует на наклонную грань гнезда, в результате чего узел, поворачиваясь по часовой стрелке, доводится до точного положения, при котором верхняя грань гнезда упирается в верхнюю грань фиксатора. На точность фиксации значительно влияет износ направляющих и фиксирующих поверхностей, избежать которого в механизмах одинарной фиксации затруднительно. Уменьшить его удастся выбором материалов контактирующих деталей, рациональной термической обработкой, увеличением площади фиксирующих поверхностей.

В механизмах двойной фиксации имеются два фикси-

рующих элемента. Один из них является фиксатором-упором и занимает точное положение, а другой доводит узел до упора. Благодаря тому что в момент перемещения на упор действуют значительно меньшие силы, чем в механизмах одинарной фиксации, износ его направляющих снижается. На рис. 2.14, б изображена схема механизма двойной фиксации многошпиндельных токарных автоматов. Перед поворотом шпиндельного блока 7 рычаг 6 выводится кулачком 8 из гнезда, а в начале поворота из гнезда выжимается

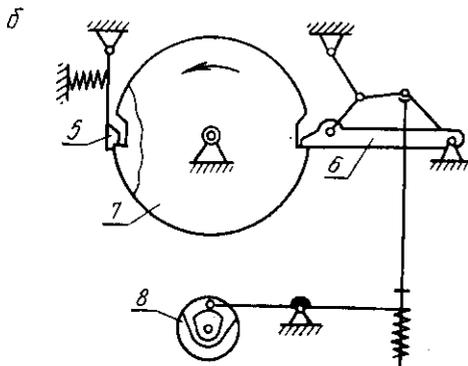
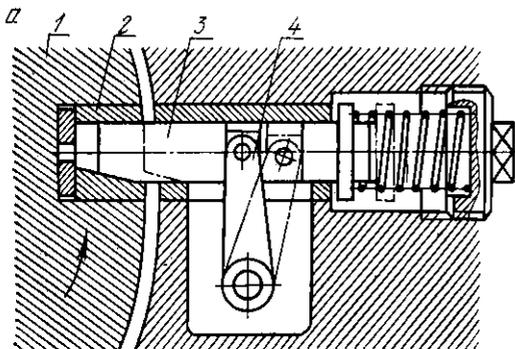


Рис. 2.14. Механизмы фиксации

упор 5. Когда после поворота шпиндельного блока рычаги 5 и 6 свободно вошли в его гнезда, рычаг 6, получая движение от кулачка, поворачивает шпиндельный блок в обратном направлении и прижимает его гнездо к фиксатору 5.

Для фиксации револьверных головок станков с ЧПУ часто применяются механизмы фиксации по многим элементам, в качестве которых используются круговые зубья плоских зубчатых колес. Одно колесо прикреплено к поворачиваемому узлу, другое — к неподвижному основанию. Перед поворотом узел отходит от основания так, что зубчатые колеса выходят из зацепления. Такой механизм обеспечивает точную фиксацию, так как

погрешность изготовления колес распределяется между всеми их зубьями.

В тех случаях, когда в качестве привода поворотного устройства применяется гидро- или электродвигатель, фиксатор служит элементом своеобразного командоаппарата, управляющего поворотом и фиксацией узла. На рис. 2.15 изображена схема узла фиксации поворотного стола агрегатного станка с приводом планшайбы 1 от гидродвигателя. При подходе к соседней позиции делительный упор 2 утапливает фиксатор 4, который через стержень 3 перемещает вниз плунжер 8 путевого дросселя 9, установленного на выхо-

де из гидродвигателя. Благодаря этому скорость планшайбы снижается, и на малой скорости она проходит позицию. При перемещении фиксатора вниз включается бесконтактный путевого переключатель 6, который дает команду на реверс гидродвигателя после перебега планшайбой позиции и последующего хода фиксатора вверх. Когда при обратном вращении упор вступает в контакт с фиксатором 4, он действует на скос стержня 3 и поворачивает его. Планка 7 преодолевает усилие пружины 10 и вводит лепесток в щель бесконтактного путевого переключателя 5. При этом включается реле времени, обеспечивающее необходимое усилие в контакте делительного упора и фиксатора. Выключение его приводит к выключению гидрозарядки и зажиму планшайбы.

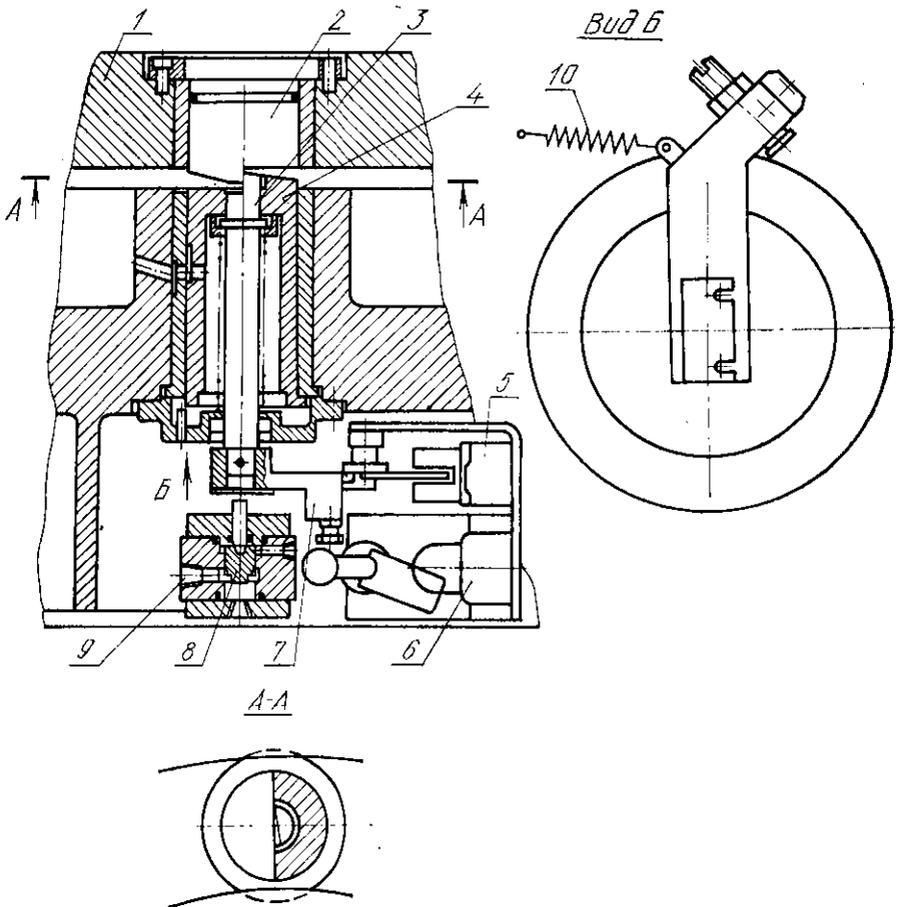


Рис. 2.15. Узел фиксации поворотного-делительного стола агрегатного станка

ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

3.1. Особенности технологических процессов и компоновки автоматического оборудования

Технологический процесс обработки есть совокупность действий, направленных на изменение формы и размеров деталей или их свойств. Законченные части технологического процесса, выполняемые на одном рабочем месте, называются *операциями*. Применительно к автоматизированному оборудованию операцией иногда называют часть технологического процесса, выполняемую одним целевым механизмом.

Область в пространстве, где инструмент оказывает воздействие на обрабатываемую деталь, называется *рабочей позицией машины*. В то время как станки с ручным управлением преимущественно однопозиционные, автоматы, полуавтоматы и автоматические линии строят с несколькими рабочими позициями. На однопозиционных станках может выполняться одно- или многоинструментальная обработка. При одноинструментальной обработке в каждый момент времени в работе участвует только один инструмент, что не может обеспечить достаточно высокой производительности.

Многоинструментальная обработка характеризуется тем, что в работе одновременно участвует несколько инструментов. При этом производительность повышается, но возможны затруднения в обеспечении хорошего отвода стружки, охлаждения инструментов, высокой жесткости системы, удобства для обслуживания и контроля работ инструментов.

Многопозиционная обработка бывает последовательной, параллельной и параллельно-последовательной. Для осуществления последовательной обработки в станке или автоматической линии предусматривается несколько стационарных рабочих позиций, расположенных в порядке выполнения технологического процесса. При прохождении обрабатываемой детали по позициям на каждой из них последовательно выполняется часть процесса, причем все части должны быть приблизительно одинаковой продолжительности. Рабочие позиции в малом или сравнительно большом количестве целесообразно располагать в линию (рис. 3.1, а). Среднее количество позиций размещают по окружности (рис. 3.1, б). На оборудовании последовательного действия целесообразна обработка сравнительно сложных деталей. Если же использовать этот метод для простых деталей, период рабочего цикла станет очень малым и в нем будет преобладать время на выполнение вспомогательных движений.

Для обработки несложных деталей более подходят простые по конструкции станки параллельного действия, в которых на всех позициях одновременно или со сдвигом по времени выполняется одна и та же операция. Позиции могут быть стационарными (рис. 3.2, а)

или подвижными (рис. 3.2, в). По первой схеме устроены, например, многошпиндельные фасонно-отрезные автоматы (рис. 3.2, б), имеющие на каждой позиции отдельный механизм подачи и зажима обрабатываемого материала. По второй схеме проектируются роторные станки (рис. 3.2, г), в которых рабочие позиции, образованные шпинделем *б* и суппортом *1*, помещены на карусели, состоящей из стола *5* и гильзы *4*. При непрерывном вращении карусели суппорты получают рабочие и вспомогательные перемещения от неподвижно-

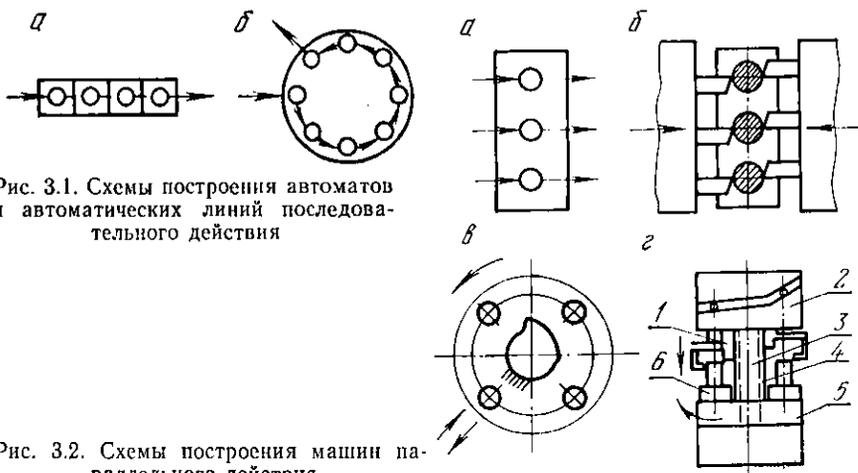


Рис. 3.1. Схемы построения автоматов и автоматических линий последовательного действия

Рис. 3.2. Схемы построения машин параллельного действия

го барабанного кулачка *2*, находящегося на колонне *3*. Полная обработка детали производится за время одного оборота карусели.

Автоматы и автоматические линии могут иметь компоновки, предназначенные для выполнения высокопроизводительной парал-

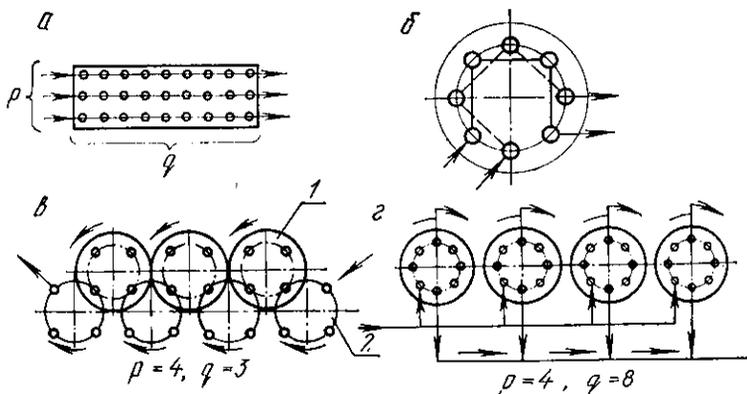


Рис. 3.3. Схемы построения автоматов и автоматических линий параллельно-последовательного действия

тельно-последовательной обработки. Многопоточные автоматические линии с линейным расположением позиций (рис. 3.3, а) предназначены для выполнения q операций в p параллельных потоках. На многопозиционных токарных автоматах и полуавтоматах параллельно-последовательного действия позиции располагают по окружности (рис. 3.3, б). Роторные автоматические линии строят из рабочих 1 и транспортных роторов 2 (рис. 3.3, в). На каждом рабочем роторе в p потоках выполняется одна операция. Автоматические линии из многопозиционных автоматов последовательного действия имеют компоновку, показанную на рис. 3.3, г.

3.2. Применение принципов стандартизации при проектировании

При зарождении автоматостроения каждый станок-автомат конструкторы создавали заново, т. е. соответственно поставленной задаче всякий раз проектировали приводы, исполнительные механизмы, элементы системы управления и т. д. При этом процесс проектирования был длительным, а разработанные конструкции иногда оказывались недостаточно работоспособными. С течением времени выработались принципы стандартизации при проектировании автоматического оборудования, в основе которых лежит использование стандартных и унифицированных деталей, узлов, систем. В настоящее время применение стандартизации при проектировании реализуется в виде принципов базовых моделей и агрегатирования.

Сущность принципа базовых моделей заключается в том, что на их основе создаются гаммы станков, одинаковых или близких по назначению. Путем изменения размеров узлов базовой модели и конструкции некоторых из них создают ряд станков с разной степенью автоматизации для обработки деталей различных размеров. По этому принципу спроектированы гаммы одношпиндельных токарно-револьверных автоматов, токарных гидрокопировальных полуавтоматов, автоматических линий для обработки деталей подшипников и др. Внутри каждой гаммы механизмы одинакового назначения обычно различаются только габаритами. При использовании базовых моделей сроки и стоимость проектирования значительно снижаются, а надежность станков и автоматических линий резко возрастает.

Особенно часто принцип базовых моделей используется при конструировании полуавтоматов. Например, Минским СКБ АЛ на основе базовой модели — вертикального токарного полуавтомата для патронных работ мод. 1734 (рис. 3.4, а) — создана гамма полуавтоматов: для центровых работ (рис. 3.4, б), с расточной головкой (рис. 3.4, в), с револьверной головкой (рис. 3.4, г), повышенной точности (рис. 3.4, д), с числовым программным управлением (рис. 3.4, е).

Сущность принципа агрегатирования состоит в том, что создаются гаммы унифицированных узлов, из которых komponуются станки и автоматические линии, различающиеся технологическим назначением, числом позиций, конструктивной слож-

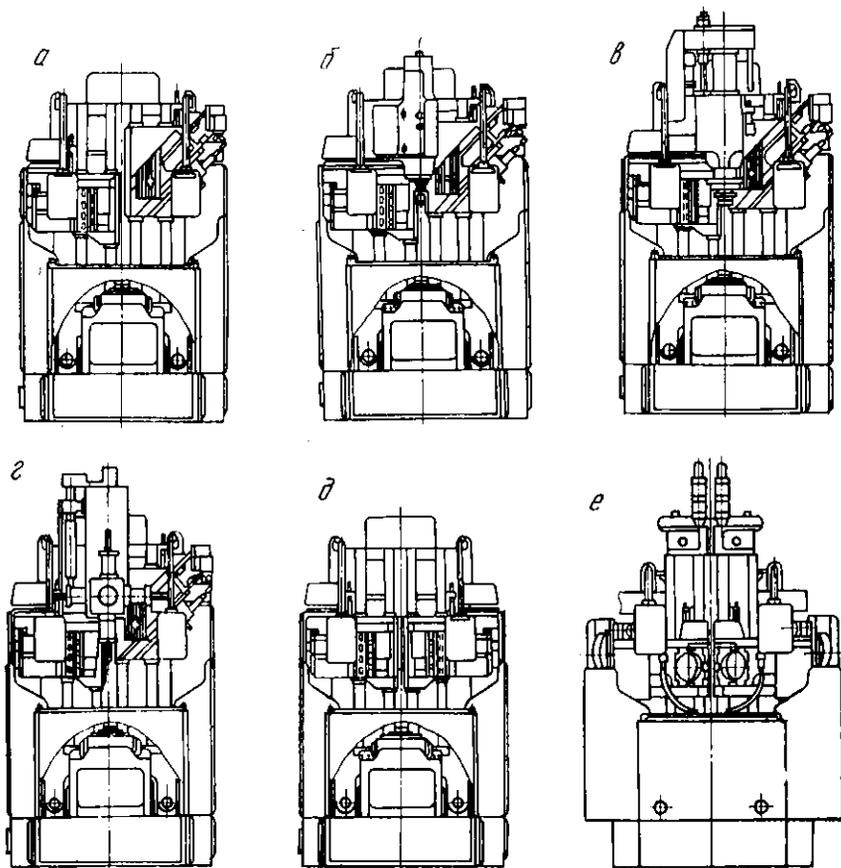


Рис. 3.4. Гамма вертикальных токарных полуавтоматов

ностью, архитектурой. Унифицированные узлы должны обладать следующими свойствами.

1. Автономностью, для чего они снабжаются индивидуальными приводами и в машине связываются друг с другом с помощью электрической схемы, а не кинематически. Благодаря кинематической независимости из унифицированных узлов можно создать большое число вариантов машин. Обычно в таких машинах осуществляется управление по упорам.

2. Стандартными присоединительными размерами, что обеспечивает возможность соединения узлов с соседними узлами.

3. Необходимой точностью взаимного положения.

Унифицированные узлы (агрегаты) разрабатываются заранее, испытываются в лабораторных и производственных условиях и доводятся таким образом до нужного уровня качества. Размерный ряд каждого унифицированного узла состоит из нескольких габаритов. При проектировании машины конструктор подбирает унифици-

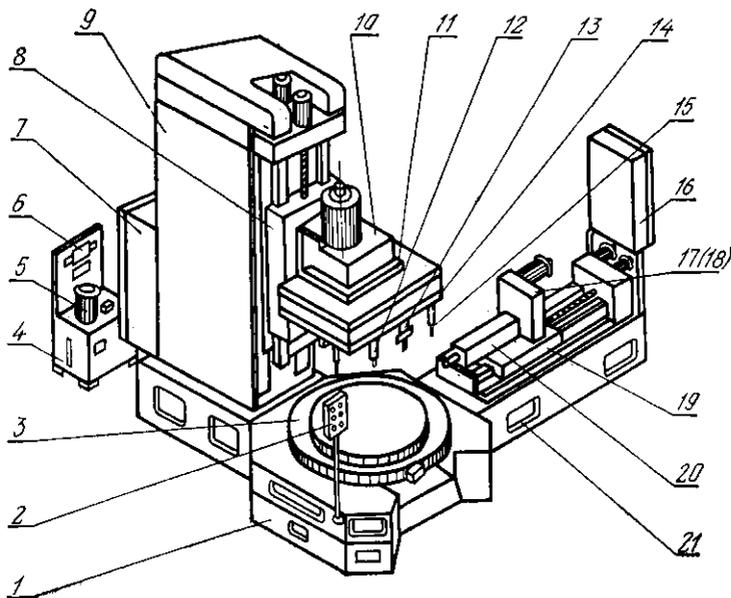


Рис. 3.5. Схема компоновки агрегатного станка с поворотным столом

рованные узлы по каталогу в зависимости от конфигурации и габаритов обрабатываемой детали, маршрута ее обработки, крутящего момента, мощности, силы резания и других факторов. Конструктору необходимо спроектировать несколько специальных узлов, конструкция которых определяется обрабатываемой деталью,— приспособление, инструментальную наладку и др.

В настоящее время по принципу агрегатирования строят гидравлические и электрические системы, агрегатные станки, автоматические линии из агрегатных станков, промышленные роботы, многоцелевые станки с ЧПУ, автоматизированные производственные участки с управлением от ЭВМ.

На рис. 3.5 изображена схема вертикального агрегатного станка с поворотным делительным столом. Основные узлы станка названы

Табл. 3.1. Основные узлы агрегатного станка

Вид узлов	Наименование	Обозначение по рис. 3.5	Число типов-размеров
Базовые	Многогранная станина	1	3
	Стойка с противовесом	9	3
	Боковая станина	21	8
Механизмы подачи Шпиндельные	Упорный угольник	11	6
	Силовой стол	8	6
	Шпиндельная коробка	14	24
	Расточная бабка	20	5
	Сверлильная бабка	10	3
Транспортирования	Поворотный делительный стол	3	3
	Двухпозиционный делительный стол прямолинейного перемещения	19	2
Главного движения	Коробка скоростей с зубчатыми колесами	17	5
	То же, с ременным приводом	18	3
Гидрооборудования	Гидробак	4	3
	Насосная установка	5	6
	Гидропанель	6	2
Электрооборудования	Центральный и палочный пульты	2	3
	Электрошкаф силовых узлов	16	3
	Электрошкаф станка	7	10
Вспомогательные	Удлинитель	15	8
	Резьбовой копир	13	5
	Расточная пиноль	12	8

в табл. 3.1, из них специальным узлом является шпиндельная коробка, остальные — унифицированные, имеющие несколько типов-размеров.

Минский завод автоматических линий на базе унифицированных узлов выпускает агрегатные станки, компоновки которых унифицированы (рис. 3.6). Для них разработаны типовые электрические, гидравлические и пневматические схемы, системы смазки и охлаждения.

Для обработки небольших деталей выпускаются малогабаритные агрегатные станки (рис. 3.7). Силовые головки 2 и 6 установлены на кронштейне 7 и угольниках 9, оснащены гидравлическими панелями управления 8. Головка может размещаться на подкатном столе 1 и работать в комплекте с многошпиндельной или фрезерной насадкой 3. При наладке станка головки вместе с кронштейнами могут перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях по граням станины 4, а также вдоль кронштейна или угольника. Обрабатываемые детали закрепляются в приспособлении на поворотно-делительном столе 5.

По сравнению с универсальными агрегатными станками имеют значительно большую производительность, так как для них характерны высокая концентрация операций (одновременно работают до 100—150 инструментов). Они занимают меньшую производствен-

ную площадь, потребность в квалифицированных рабочих сокращается.

Использование комплекта унифицированных узлов в пять и более раз сокращает объем конструкторских работ при проектировании, значительно уменьшает трудоемкость, стоимость и сроки изготовления станков. Производство унифицированных узлов является серийным, что позволяет применять передовую технологию при их изготовлении.

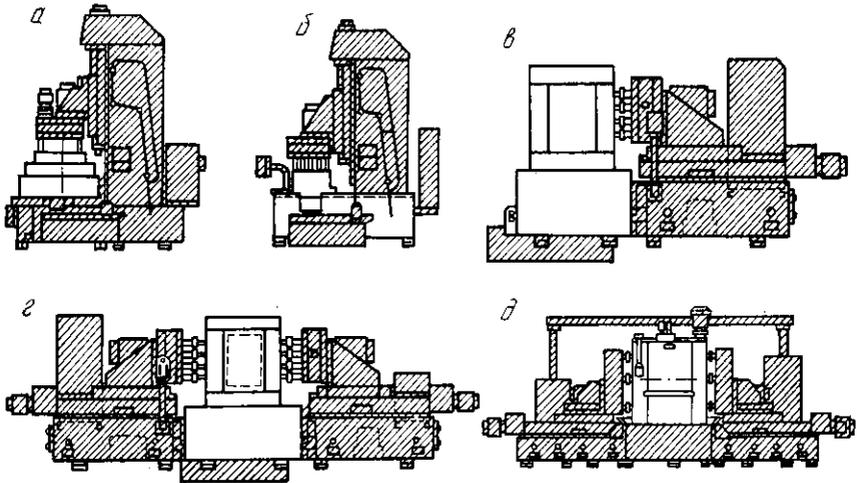


Рис. 3.6. Унифицированные компоновки агрегатных станков:

a — вертикальный одноколонный станок с поворотным делительным столом; *б* — вертикальный одноколонный станок со стационарным приспособлением; *в* — горизонтальный односторонний станок со стационарным приспособлением; *г* — горизонтальный двусторонний станок со стационарным приспособлением; *д* — горизонтальный двусторонний барабанный станок (унифицированные узлы заштрихованы)

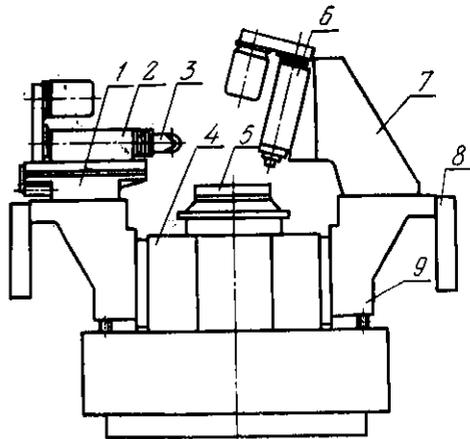


Рис. 3.7. Схема компоновки малогабаритного агрегатного станка

Агрегатные станки удобны в эксплуатации. Они надежны, ремонт выполняется узловым методом, унифицированные узлы после прекращения производства данной детали используются для компоновки новых станков. Агрегатные станки применяются для обработки разнообразных, в том числе сложных и ответственных, деталей в условиях массового и крупносерийного производства автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, моторов, аппаратов и приборов. Станки стабильно обеспечивают заданное качество обработки.

Годовой эффект от применения агрегатных станков в 3—10 раз выше по сравнению с производствами, использующими универсальные станки.

3.3. Особенности расчетов

Механические элементы автоматов используются более интенсивно по сравнению с элементами обычных станков. Основными причинами этого являются: двух-, трехсменная работа автоматов; больший (в 2—3 раза) по сравнению с универсальными станками удельный вес машинного времени и времени установочных перемещений; высокая их скорость (10 м/мин и выше); применение технологии обработки, требующей дополнительного пробега подвижных узлов (на станках с ЧПУ — предварительное расфрезерование отверстий вместо чернового растачивания, обработка всех одинаковых отверстий группы сначала одним инструментом, затем другим и т. д.). Все это ведет к необходимости обеспечивать высокую долговечность механических элементов автоматов. Большое значение приобретают расчеты на износостойкость поверхностей тех деталей, от которых зависит длительное сохранение точности станков, т. е. ходовых винтов, направляющих, опор и т. д. Следует подчеркнуть, что специфические требования к механическим элементам часто удовлетворяются только применением механизмов качения, гидростатических, гидродинамических.

В связи с повышенными требованиями к автоматическим устройствам в отношении быстродействия часто бывает необходимо оптимизировать их конструкции по критерию минимальной инерционности.

Автоматизация производства сопровождается ростом количества совместно работающих машин, приборов, аппаратов. Кроме того, увеличивается число элементов в машинах и повышается их нагруженность. Если не принять необходимых мер, надежность автоматических устройств, машин и особенно их систем становится неудовлетворительной. Поэтому их проектирование обязательно сопровождается рассмотрением вопросов надежности. К ним относятся, например, обоснование требований к надежности машины и ее элементов, расчет показателей надежности системы на основе показателей надежности ее элементов, расчет реальной производи-

тельности, выбор структуры автоматизированных комплексов, оптимизация технологического процесса обработки с учетом статистических свойств режущих инструментов и др.

ГЛАВА 4. НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СТАНКОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

4.1. Отказы станков и автоматических линий

В элементах металлорежущих станков и автоматических линий происходят сложные физико-химические процессы, приводящие к ухудшению выполнения заданных функций или, иначе, к нарушению работоспособности. События, состоящие в нарушении работоспособности, принято называть *отказами*.

Одни объекты (машины, аппараты, приборы, их части, узлы, агрегаты) отказывают чаще других, однотипных. На их ремонт тратится больше времени и средств. Поэтому объекты различаются по уровню надежности. *Надежность* есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Недостаточный уровень надежности большинства современных изделий породил проблему, которая состоит в необходимости разработки научно обоснованных методов и средств, резко повышающих надежность. Исходным пунктом в решении проблемы надежности является изучение причин отказов изделий.

Отказы станков и линий происходят по разным причинам. Во-первых, элементы механических, гидравлических, пневматических систем подвержены влиянию различных сил (резания, трения, веса, инерции, давления воздуха или масла), а электрических и электронных систем — влиянию напряжения. Во-вторых, окружающая среда является источником вредно действующих тепла, механических колебаний, электромагнитных волн. В-третьих, ее материалы вступают в химическое взаимодействие с материалом станочных элементов. В результате всех воздействий имеют место изнашивание, коробление, упругие и пластические деформации деталей, их поломки, старение рабочих жидкостей, смазочных масел, пластмассовых и резиновых деталей, элементов электронных и электрических схем, а также покрытий, окраски.

По скорости протекания процессы можно разделить на три группы. Первую составляют процессы, протекающие быстро. Они заканчиваются с окончанием рабочего цикла машины. К ним относятся упругие деформации и колебания (вибрации), изменения сил резания и трения. Ко второй группе относятся процессы, протекающие

со средней скоростью — в течение минут или часов. Это изнашивание режущих инструментов, изменение температуры элементов машины. Третья — медленно протекающие процессы: изнашивание деталей (абразивное, коррозионно-механическое, при заедании), коробление ответственных деталей, старение пластмасс, резины и др.

В результате всех процессов и появляются отказы станков и автоматических линий. Одни отказы вплоть до момента их устранения не дают возможности станку функционировать как машине. Его выключают, отыскивают отказавший элемент, ремонтируют или заменяют исправным (это называется восстановлением). Такие отказы появляются, например, при поломке вала, рычага переключения скоростей или зуба шестерни, при разрыве трубы в гидросистеме, перегорании обмотки электродвигателя, заклинивании золотника управления.

Отказы другого вида появляются при выходе какого-либо важного эксплуатационного параметра станка (обычно параметра точности) за допустимые пределы. Например, увеличившееся биение шпинделя при нарушении регулировки подшипников приводит к браку обрабатываемых деталей. Станок отказывает по параметру точности, хотя и продолжает функционировать.

Отказы станков складываются из отказов их элементов. Так как в современные станки входит большое количество элементов, металлорежущее оборудование отказывает часто, и на устранение и предупреждение отказов тратится много средств и времени. Особенно сложны автоматические линии. Например, линия ЛМ172 состоит из 15 станков, в которых работает 27 силовых узлов. Станки этой линии имеют 124 шпинделя, оснащенные 184 режущими инструментами. Все автоматические линии и сложные станки имеют системы управления, состоящие из большого числа аппаратов. В системе управления другой автоматической линии ЛМ150 работает 12 750 электрических аппаратов, в том числе 1387 путевых выключателей, 281 контактор, 1972 промежуточных реле, 515 сигнальных ламп. Если не принимать специальных мер для обеспечения необходимого уровня надежности, сложные автоматические системы могут оказаться практически неработоспособными.

Сложность конструкции современных машин и их систем — это только одна из причин появления проблемы надежности. Она порождена также ужесточением режима работы машин, повышением требований к изготавливаемым на них изделиям, высокими материальными потерями от простаивания машин и систем.

4.2. Закономерности функционирования автоматов и автоматических линий

Автоматические и полуавтоматические станки, автоматические линии являются восстанавливаемыми объектами. После каждого отказа их работоспособность восстанавливается путем ремонта или регулировки.

Схема функционирования автоматической машины или линии изображена на рис. 4.1, б. Обработка или сборка изделий производятся в промежутках времени $\tau'_1, \tau'_2, \dots, \tau'_n$.

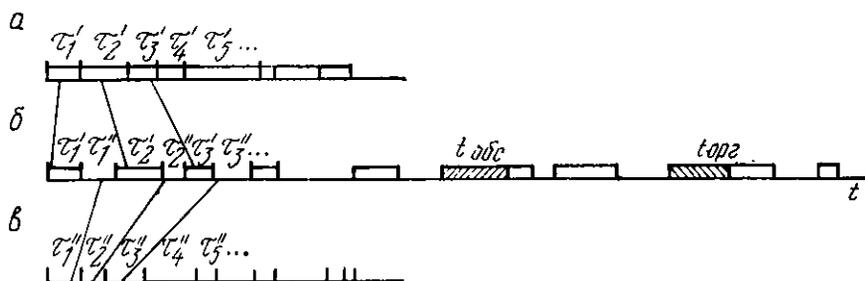


Рис. 4.1. Схема функционирования автоматического станка или линии

Длина каждого промежутка τ'_i называется *наработкой между отказами* или *временем безотказной работы*. В промежутках $\tau'_1, \tau'_2, \dots, \tau'_n$ обслуживающий персонал восстанавливает работоспособность оборудования, утраченную вследствие отказов. Длина каждого промежутка τ''_i называется *временем восстановления*.

Автоматические машины или линии требуют планового технического обслуживания (чистки, смазки, регулировки, заправки маслом) и плановых ремонтов, на которые затрачивается время $t_{обс}$. На многих предприятиях они часто простаивают по организационным причинам (из-за плохой организации производства). Имеют место простои из-за отсутствия наладчика, электроэнергии, заготовок, запасных частей, второго комплекта вспомогательных инструментов и т. д. На рисунке это время обозначено $t_{опр}$.

Рассмотрим закономерности отказов автоматических станков и линий.

Последовательность наработок между отказами $\tau'_1, \tau'_2, \dots, \tau'_n$ называется *поток отказов* (рис. 4.1, а), а последовательность, образованная промежутками времени восстановления $\tau''_1, \tau''_2, \dots, \tau''_n$ — *поток восстановления* (рис. 4.1, в). Среднее число отказов в единицу времени представляет параметр потока отказов ω .

Поток отказов станков и автоматических линий обладает следующими свойствами: 1) ординарности, что означает практическую

невозможность одновременного появления двух отказов; 2) отсутствия последствия, т. е. на вероятность появления отказов на данном интервале времени не влияет наличие их на каком-либо предыдущем интервале.

Параметр потока отказов изменяется в зависимости от времени эксплуатации машины (рис. 4.2). В начале периода отладки он большой, что объясняется наличием дефектных элементов в составе машины, плохой регулировкой ее систем, недостаточным знаком-

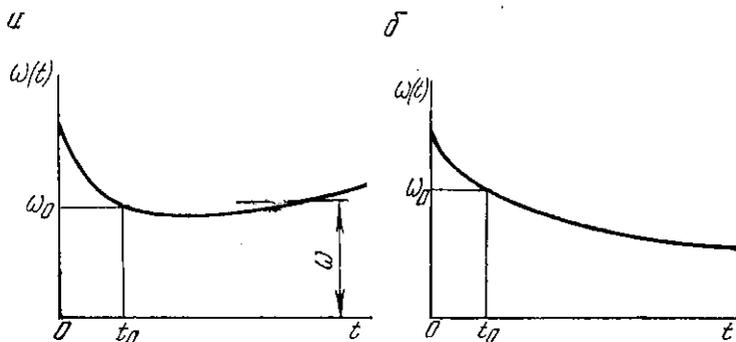


Рис. 4.2. Изменение параметра потока отказов во времени

ством обслуживающего персонала с новой конструкцией. В период отладки t_0 дефектные элементы выходят из строя и заменяются исправными, производится регулировка всех систем, оборудование осваивается наладчиками и ремонтниками. Следствием является относительно быстрое снижение параметра потока отказов до некоторого уровня ω_0 , который обусловлен конструктивно-технологическими решениями, заложенными в данном экземпляре машины.

Относительно изменения параметра потока отказов после окончания периода отладки пока нет единого мнения. Что касается автоматических линий, в одних исследованиях отмечается, что их параметр потока отказов медленно возрастает (рис. 4.2, а). Объясняется это тем, что, несмотря на плановые ремонты, выполняемые в соответствии с системой планово-предупредительного ремонта, с течением времени их износ и старение накапливаются. Другие наблюдения показали, что во время эксплуатации автоматических линий улучшаются методы их обслуживания, повышается квалификация обслуживающего персонала и как результат параметр потока отказов снижается (рис. 4.2, б).

При решении многих практических задач величину параметра потока отказов в период нормальной эксплуатации можно считать постоянной, а поток отказов стационарным. При выполнении условий ординарности, стационарности и отсутствия последствия поток отказов является простейшим пуассоновским. Он характерен для автоматических линий и станков. В этом случае распределе-

ние наработок между отказами является экспоненциальным, а вероятность безотказной работы $P(t)$ в интервале, которой начинается в момент пуска станка или линии и заканчивается в случайный момент t , выражается уравнением

$$P(t) = e^{-\omega t},$$

где e — основание натуральных логарифмов;

ω — параметр потока отказов станка или линии.

При постоянном ω среднее значение T паработок между двумя соседними отказами, называемое *наработкой на отказ*, определяется по формуле

$$T = \frac{1}{\omega}.$$

4.3. Показатели надежности станков и автоматических линий

Надежность станков и автоматических линий, как и других объектов, проявляется через их безотказность, ремонтпригодность и долговечность.

Безотказность есть свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. Основными ее показателями (количественными характеристиками) являются параметр потока отказов $\omega(t)$, наработка на отказ T , вероятность $P(t)$ безотказной работы до момента t . Чем меньше для изделия $\omega(t)$, тем выше T и $P(t)$ и тем выше уровень безотказности изделия.

Станок или автоматическая линия, обладающие высокой безотказностью, выходят из строя редко. Однако их надежность не может быть охарактеризована только показателями безотказности. Дело в том, что некоторые машины отказывают редко, но каждый раз подолгу простаивают, так как на отыскание места отказа и на устранение его тратится много времени. Поэтому надежность станков и автоматических линий проявляется также через их ремонтпригодность.

Ремонтпригодность есть свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Основным показателем ремонтпригодности является среднее время восстановления T_B (см. рис. 4.1):

$$T_B = \frac{\tau_1'' + \tau_2'' + \dots + \tau_n''}{n},$$

где τ_i'' ($i = 1, 2, \dots, n$) — время, затрачиваемое на восстановление работоспособности объекта после i -го отказа;

n — число отказов за рассматриваемый период времени.

Другим показателем ремонтпригодности является вероятность восстановления в заданное время.

Имеются два показателя, которыми можно охарактеризовать одновременно безотказность и ремонтпригодность. Это коэффициенты готовности k_r и технического использования $k_{т.и.}$. Если в течение некоторого времени суммарная наработка станка или линии $t_p = \tau'_1 + \tau'_2 + \dots + \tau'_n$ (см. рис. 4.1), суммарные простои из-за устранения отказов составляют $t_n = \tau''_1 + \tau''_2 + \dots + \tau''_n$, а вызванные техническим обслуживанием равны $t_{обс}$, то k_r и $k_{т.и.}$ определяются следующим образом:

$$k_r = \frac{t_p}{t_p + t_n}, \quad (4.1)$$

$$k_{т.и.} = \frac{t_p}{t_p + t_n + t_{обс}}. \quad (4.2)$$

Чем ниже для машины T_B и выше k_r , $k_{т.и.}$, тем выше уровень ее надежности.

Показатели безотказности и ремонтпригодности характеризуют надежность станка на сравнительно коротких интервалах эксплуатации. Необходимы еще показатели для оценки долговечности.

Под *долговечностью* подразумевают свойство сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. (Предельное состояние станка наступает тогда, когда он устарел физически или морально.) Показателями долговечности станков являются межремонтный срок службы, срок службы до первого капитального ремонта, межремонтный ресурс, ресурс до первого капитального ремонта. (Срок службы — это календарная продолжительность эксплуатации изделия, а ресурс — наработка изделия.)

Показатели надежности эксплуатирующихся станков и автоматических линий определяют на основе записей времени их работы и простоев, выполненных автоматически с помощью приборов, присоединяемых к их системам управления. Определяют их также по данным ремонтных служб предприятия. По величине показателей надежности судят о влиянии конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на уровень надежности и принимают решения о необходимости тех или иных усовершенствований.

Некоторые показатели надежности станков и автоматических линий можно оценить на стадии их проектирования с использованием специальных методик и данных, полученных в ходе эксплуатационных наблюдений за работой аналогичных машин. Расчетные величины показателей надежности заносят в проектные документы

и используют при определении фактической производительности машин, необходимого числа наладчиков, выборе оптимальной конструкции.

4.4. Показатели надежности элементов станков

При анализе надежности станков и автоматических линий их делят на элементы. В качестве элементов принимают такие части, которые с точки зрения надежности рассматриваются как отдельные объекты. Элементы выступают как самостоятельное целое при испытаниях на надежность и анализе машины в отношении надежности. Поэтому в одних случаях за них принимают отдельные детали и мелкие узлы машины — подшипник качения, зубчатую пару, муфту, насос, реле давления, золотник, конечный переключатель, а в других — большие узлы, например силовой и поворотно-делительный столы, станцию смазки, транспортное устройство автоматической линии и т. д. Сложный узел, принимаемый за элемент, может быть представлен в виде системы более мелких элементов, т. е. микроэлементов.

Надежность каждого элемента оценивают совокупностью показателей надежности. Состав совокупности зависит от того, к ремонтируемому или неремонтируемому относится элемент. Работоспособность ремонтируемых элементов после отказа восстанавливается путем ремонта. Неремонтируемые отказывают не более одного раза, после чего они не подлежат восстановлению и должны быть заменены другими. Ремонтируемыми элементами являются, например, силовые и поворотно-делительные столы, коробки скоростей и подачи, неремонтируемыми — клиновые ремни, электронные лампы, подшипники качения.

Надежность ремонтируемых элементов характеризуется показателями безотказности, ремонтпригодности, долговечности. Они формулируются и вычисляются так же, как и показатели надежности машин, рассмотренные в предыдущем параграфе.

Надежность неремонтируемых элементов машины характеризуется одними лишь показателями безотказности, которые из-за рассеяния наработки до отказа имеют вероятностный характер. Такими являются: $t_{\text{ср}}$ — средняя наработка до отказа; $P(t)$ — вероятность безотказной работы на интервале времени, который начинается в момент включения элемента в работу и заканчивается в некоторый фиксированный момент t ; $Q(t)$ — вероятность отказа на этом интервале; $\lambda(t)$ — интенсивность отказов в момент t . Под интенсивностью отказов $\lambda(t)$ понимают вероятность того, что объект, не отказавший до момента t , откажет в последующую единицу времени. Можно показать, что

$$\lambda(t) = -\frac{P'(t)}{P(t)}.$$

Интегрируя это выражение, получаем зависимость между интенсивностью отказов и вероятностью безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

При постоянной интенсивности отказов из последней зависимости следует экспоненциальное распределение наработок до отказа

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

которое характеризует надежность элементов, подверженных внезапным отказам (рис. 4.3, а).

Отказы от износа, усталости, старения, коррозии (износные отказы) обычно хорошо подчиняются нормальному распределению (рис. 4.3, б)

4.5. Определение надежности систем по надежности элементов

Разновидности элементов. В составе станка или автоматической линии можно выделить группы элементов, в разной степени влияющих на надежность. Работоспособность одних элементов совсем не сказывается на надежности станка, а работоспособность других остается практически постоянной весь срок его службы. Некоторые элементы поддаются ремонту или регулировке на работающем станке. Наконец, имеются элементы, отказы которых приводят к частным или длительным остановкам. Естественно, при проектировании, изготовлении и эксплуатации станка элементам последней группы уделяется наибольшее внимание.

Расчет изделий на надежность так же важен, как и расчеты на прочность, жесткость, виброустойчивость и др. Надежность системы можно определить по надежности ее элементов (если систему удалось разделить на элементы, определить ее структуру), показатели надежности которых известны по экспериментам или эксплуатационным наблюдениям. С позиций надежности можно выделить последовательное, параллельное и смешанное соединение элементов.

Последовательные соединения. *Последовательным* называют такое соединение элементов, отказ которого следует при выходе из строя хотя бы одного элемента (рис. 4.4, а). Такими, например, являются любое последовательное соединение элементов в пространстве, приводы главного движения и подачи токарного станка, станок в целом, если в качестве его элементов рассматривать коробку скоростей, коробку подач, фартук, суппорт и т. д.

Безотказная работа последовательного соединения равна произведению событий, состоящих в безотказной работе элементов. Веро-

ятность безотказной работы такой системы $P(t)$ равна произведению вероятностей безотказной работы всех n элементов:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)\dots P_n(t). \quad (4.3)$$

Если элементы подчиняются экспоненциальному распределению, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — интенсивность отказов соответственно 1-го, 2-го, ..., n -го элементов, λ — интенсивность отказов системы, то

$$e^{-\lambda t} = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t}$$

$$\text{и } \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n. \quad (4.4)$$

Значит, интенсивность отказов системы последовательно соединенных независимых элементов равна сумме интенсивностей отказов этих элементов.

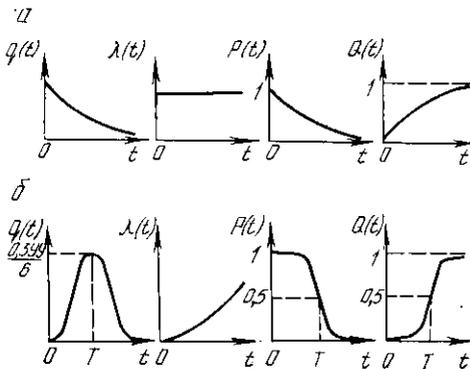


Рис. 4.3. Распределения наработки до отказа

Если система представляет последовательное соединение ремонтируемых элементов, параметр ее потока отказов ω равен сумме параметров потоков отказов $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ входящих в нее n элементов:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n. \quad (4.5)$$

Это равенство следует из того, что ω и ω_i равны среднему числу отказов в единицу времени соответственно системы и i -го элемента.

Преобразуем выражение (4.1) коэффициента готовности системы:

$$k_r = \frac{t_p}{t_p + t_n} = \frac{1}{1 + \frac{t_n}{t_p}} = \frac{1}{1 + B}. \quad (4.6)$$

Отношение $B = t_n : t_p$ называется *удельной длительностью восстановления* системы и равно времени простоев из-за восстановления работоспособности, приходящемуся на одну минуту бесперебойной работы. Удельная длительность восстановления последовательной системы B равна сумме удельных длительностей восстановления B_1, B_2, \dots, B_n всех n входящих в нее элементов:

$$B = B_1 + B_2 + \dots + B_n. \quad (4.7)$$

Из зависимостей (4.3) и (4.4) следует, что в том случае, когда отказ одного или некоторой группы элементов никак не влияет на вероятность безотказной работы остальных (элементы независимы), последовательная система при большом числе элементов может обладать низкой надежностью.

Если система представляет последовательное соединение ремонтируемых элементов, параметр ее

Зависимости (4.5) — (4.7) служат для определения показателей надежности последовательных систем, состоящих из ремонтируемых элементов.

Если последовательное соединение состоит из i ремонтируемых и j неремонтируемых элементов, для определения параметра потока отказов можно воспользоваться соотношением

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_i + \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_j,$$

где $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i$ — параметры потока отказов ремонтируемых элементов;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j$ — интенсивности отказов неремонтируемых элементов.

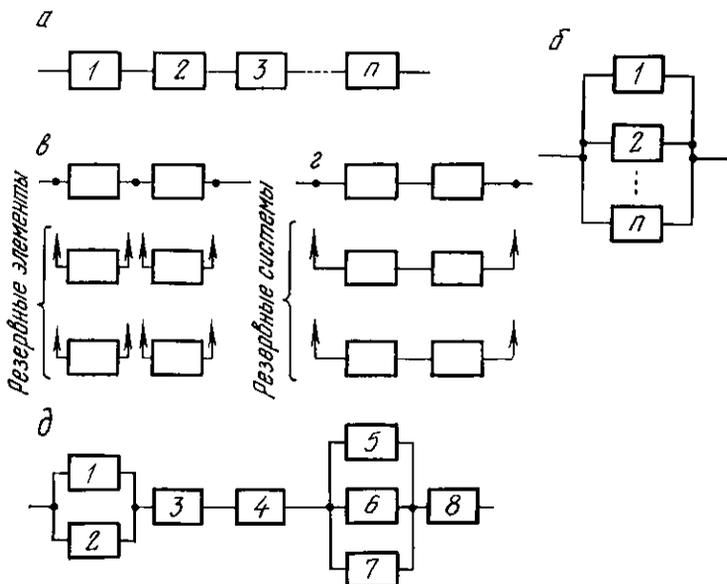


Рис. 4.4. Соединения элементов

Приведенные зависимости применяют, когда систему удается разделить на независимые элементы. А это возможно, если она состоит из самостоятельных конструктивных единиц (автоматических целевых узлов, гидроаппаратов и т. д.) или представляет большой комплекс станков и агрегатов, которые могут функционировать самостоятельно. К системам второго типа относятся робототехнологические комплексы, автоматические линии. Однако чаще всего в сложных механических системах элементы находятся во взаимной связи и в отношении надежности их нельзя считать независимыми.

Основными путями совершенствования последовательного соединения являются: ограничение количества элементов в нем; введение в структуру элементов, предназначенных для повышения

безотказности других элементов. К ним относятся фильтры, автоподиладчики, устройства для контроля целостности инструментов автоматических линий и т. д.

Параллельные соединения. *Параллельным* называют такое соединение элементов, отказ которого наступает только в случае отказа всех его элементов (рис. 4.4, б). Отказ параллельного соединения независимых элементов равен произведению событий, состоящих в отказе его элементов. Вероятность отказа такого соединения равна произведению вероятностей отказа элементов. Отсюда следует, что вероятность безотказной работы параллельного соединения n независимых элементов

$$P(t) = 1 - [1 - P_1(t)] \cdot [1 - P_2(t)] \dots [1 - P_n(t)],$$

где $P_1(t)$, $P_2(t)$, ..., $P_n(t)$ — вероятности безотказной работы элементов системы.

С увеличением числа элементов надежность параллельного соединения возрастает. Этим обусловлен метод повышения надежности путем введения резервных частей, которые являются избыточными по отношению к структуре изделия, необходимой и достаточной для выполнения им заданных функций. Этот метод называется *резервированием*.

Резервирование ненадежных элементов по схеме рис. 4.4, б, когда все они работают в одинаковом режиме, является постоянным. Применяется также *ненагруженное резервирование* (рис. 4.4, в), при котором резервный элемент включается в работу только после отказа основного.

Наряду с резервированием элементов возможно резервирование систем. Общее резервирование системы (рис. 4.4, г) характеризуется тем, что при отказе какого-либо элемента вместо нее начинает работать резервная система. Раздельное резервирование системы (см. рис. 4.4, в) состоит в том, что при отказе одного из элементов к ней присоединяется такой же резервный.

Резервные элементы вводят в электрические и гидравлические схемы. На автоматах и автоматических линиях иногда применяется автоматическая смена затупившихся инструментов, что представляет ненагруженное резервирование. Надежность автоматических линий значительно повышается, когда в них имеются резервные потоки или рабочие позиции. Работоспособность таких линий можно восстанавливать по частям. Однако из-за удорожания изделий резервирование в станкостроении применяется сравнительно редко.

Смешанные соединения. Вероятность безотказной работы смешанного соединения равна произведению вероятностей безотказной работы входящих в него последовательных и параллельных соединений. Например, для схемы по рис. 4.4, д

$$P(t) = \{1 - [1 - P_1(t)] \cdot [1 - P_2(t)]\} P_3(t) P_4(t) \{1 - [1 - P_5(t)] \cdot [1 - P_6(t)] \cdot [1 - P_7(t)]\} \cdot P_8(t).$$

4.6. Основные пути обеспечения надежности станков и автоматических линий

В комплексе мероприятий, направленных на обеспечение надежности станков и автоматических линий, можно выделить следующие основные направления [17].

1. Повышение сопротивляемости станков и агрегатов автоматических линий внешним воздействиям. Достижению этой цели служат методы создания износостойких, прочных, жестких, теплостойких, виброустойчивых конструкций на основе выбора рациональных схем механизмов, применения соответствующих материалов, упрочняющей технологии и т. д. Современными технологией и конструированием эти задачи решаются одновременно с обеспечением производительности, снижением металлоемкости и достижением других технических характеристик станков и агрегатов.

Повышению их сопротивляемости внешним воздействиям служит часто применяемый принцип избыточности, согласно которому в станках создают избыточные по отношению к функциональным потребностям запасы прочности, износостойкости, жесткости, теплостойкости и т. п.

2. Изоляция станков и агрегатов автоматических линий от внешних воздействий. Эта задача решается методами, направленными на создание благоприятных условий для работы оборудования. Прежде всего в цехе должна поддерживаться необходимая температура: $20 \pm 3^\circ\text{C}$ для станков классов Н и П, $20 \pm 1^\circ\text{C}$ для класса В, $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ для классов А и С. Кроме того, необходимо соблюдать нормы влажности и запыленности атмосферы цеха. Станок должен быть установлен на заданные техническими условиями опоры или фундамент.

3. Изоляция функциональных систем станка от вредных воздействий. Повышению надежности гидравлической системы способствуют установленные в ней фильтр и устройство для поддержания температуры рабочей жидкости. Безотказность механической системы намного возрастает при наличии в ней упругих и предохранительных муфт, срезных штифтов и т. д.

4. Обеспечение хорошей ремонтпригодности. С этой целью в автоматах и автоматических линиях применяются быстросменные узлы, режущие инструменты, элементы систем управления. Использование быстросменных агрегатных узлов позволяет выполнять ремонт узловым методом; в этом случае отказавший узел снимается и ремонтируется, а вместо него устанавливается исправный.

5. Использование средств автоматики для повышения надежности. Автоматические линии и автоматы, как правило, сложнее неавтоматизированных станков. Поиск неисправностей в их функциональных системах занимает очень много

времени — обычно больше, чем операции по их устранению. Поэтому обеспечение надежности автоматов и автоматических линий названными выше путями приобретает еще более важное значение, чем для неавтоматизированных станков.

Для повышения надежности автоматов и автоматических линий имеется еще одно эффективное направление, а именно использование средств автоматики оборудования. Это направление реализуется при оснащении его устройствами диагностики неисправностей, шаговыми искателями поврежденных, системами световой сигнализации. Особенно эффективны диагностические системы, построенные на основе ЭВМ. Наряду с выполнением функций, связанных с управлением оборудованием, ЭВМ выдает информацию о местах возникновения отказов и их причинах, о продолжительности работы и простоев оборудования.

Станки с адаптивными системами не только наилучшим образом выполняют свои функции, но и защищены от ряда внешних и внутренних вредных воздействий.

4.7. Производительность автоматов и автоматических линий

Производительность характеризует способность станка или автоматической линии обрабатывать определенное количество деталей в единицу времени.

Технологический метод, на основе которого построена машина, определяет ее технологическую производительность, величина которой K обратно пропорциональна продолжительности рабочих движений t_p :

$$K = 1/t_p.$$

Если за цикл изготавливается m изделий, технологическая производительность повышается в m раз. Она характеризует прогрессивность заложенного в машине технологического метода.

Затраты времени на вспомогательные движения рабочего цикла, называемые цикловыми потерями времени, снижают технологическую производительность до величины Q , называемой штучной (цикловой) производительностью:

$$Q = \frac{1}{t_{\Sigma}} = \frac{1}{t_p + t_n} = \frac{K}{1 + Kt_n}.$$

Штучная производительность зависит от совершенства использованного технологического метода и конструктивного совершенства механизмов станка.

Вследствие простоев оборудования из-за случайных отказов техническая производительность ниже штучной:

$$Q_r = \frac{1}{t_{\Sigma} + t_n} = \frac{1}{t_{\Sigma}} \cdot \frac{t_{\Sigma}}{t_{\Sigma} + t_n} = Qk_r, \quad (4.8)$$

где t_n — продолжительность простоев оборудования из-за отказов;

$k_r = \frac{t_{ц}}{t_{ц} + t_n}$ — коэффициент готовности оборудования.

Техническая производительность Q_T характеризует в основном техническое совершенство оборудования.

С учетом затрат времени на плановое техническое обслуживание $t_{обс}$ и простоев по организационным причинам $t_{орг}$ определяется фактическая производительность

$$Q_{ф} = \frac{1}{t_{ц} + t_n + t_{обс} + t_{орг}} = \frac{Q_T t_{ц}}{t_{ц} + t_n + t_{обс} + t_{орг}}.$$

ГЛАВА 5. СТАНКИ С УПРАВЛЕНИЕМ КУЛАЧКАМИ

5.1. Системы управления кулачками

Обычно все кулачки помещают на общий распределительный вал. Дисковый кулачок 2 (рис. 5.1, а) сообщает суппорту 1 движения в направлении, перпендикулярном к оси распределительного вала 3. На кулачке имеются участки быстрого подвода AB , рабочей подачи BC , быстрого отвода CD и очерченный дугой окружности участок DA , обеспечивающий простояние исполнительного узла во время выполнения движений другими механизмами.

Участки быстрого подвода и быстрого отвода образованы дугой параболы, которая создает равноускоренное и равнозамедленное движения исполнительного узла за минимальное время при отсутствии ударов. Участок рабочей подачи очерчен дугой спирали Архимеда:

$$R = R_0 + k\varphi,$$

где R и R_0 — радиус-вектор соответственно текущей и начальной точек спирали;

k — коэффициент пропорциональности, постоянный для данного кулачка;

φ — угол между радиусами R и R_0 .

При постоянном передаточном отношении i передаточного механизма перемещение суппорта 1 пропорционально углу поворота кулачка:

$$l = (R - R_0)i = k\varphi i.$$

При применении зубчато-рычажного передаточного механизма с длинами плеч рычага a и b передаточное отношение $i = a : b$ и рабочая подача суппорта постоянны.

При необходимости вести последовательную обработку несколькими инструментами на кулачке 6 (рис. 5.1, б) предусматривается несколько участков рабочей подачи, а на суппорте 5 устанавливается револьверная головка 4.

Цилиндрический кулачок 8 (рис. 5.1, в) обычно сообщает суппорту 7 движения в направлении, параллельном оси распределительного вала 9, и имеет участки быстрого подвода AB (рис. 5.1, г), рабочей подачи BC , остановки суппорта для зачистки обработанных поверхностей CD (предусматривается при необходимости), быстрого отвода DE и участок EA , обеспечивающий остановку суппорта в исходном положении на время выполнения движений другими механизмами. Участки профиля AB и DE , на развертке представляющие дуги синусоиды, не создают больших инерционных сил при быстрых перемещениях исполнительного узла. Участок рабочей по-

дачи BC профилируется по винтовой поверхности, обеспечивающей постоянство рабочей подачи.

В приводах суппортов кулачок создает движение толкателя по закону постоянной скорости (рис. 5.2, *a*). При управлении исполни-

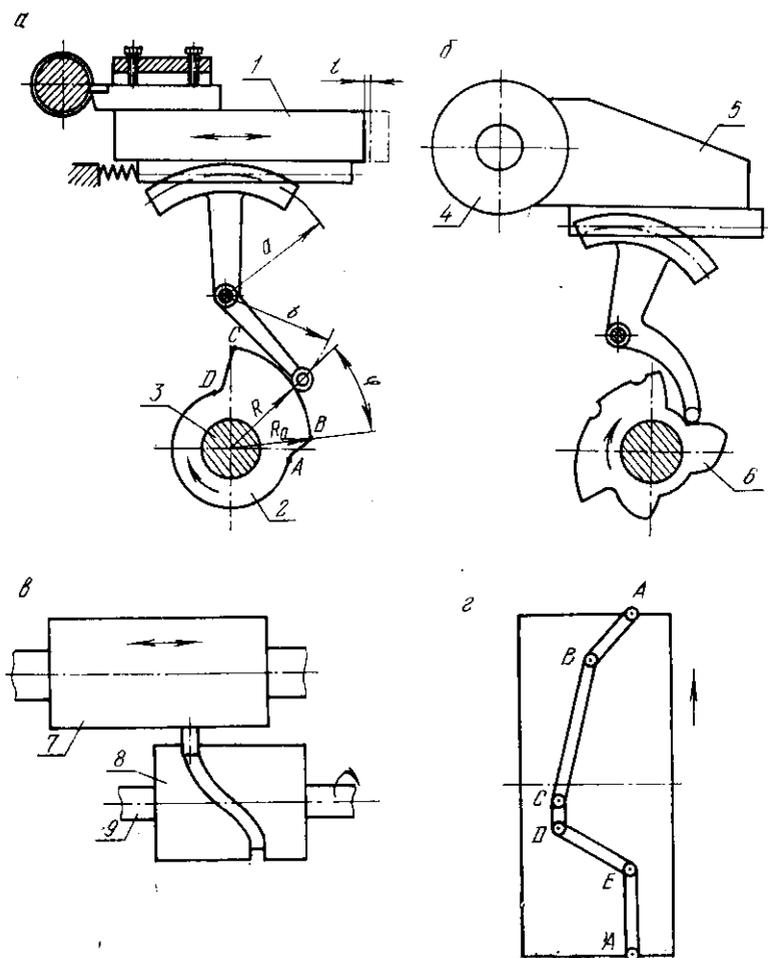


Рис. 5.1. Кулачковые механизмы

тельными узлами используются также законы движения толкателя с постоянным ускорением (рис. 5.2, *б*), синусоидальный (рис. 5.2, *в*), косинусоидальный (рис. 5.2, *г*).

Расчеты кулачковых механизмов производятся методами теории механизмов и машин. Когда угол наклона профиля мало отличается от угла трения толкателя и кулачка, необходимо проверять возможность заклинивания толкателя. Для предотвращения этого

явления угол подъема профиля кулачка с кинематической связью на участках быстрых перемещений выбирается в интервале $45\text{--}55^\circ$.

Механизмы передачи движения исполнительному узлу должны быть точными, жесткими, долговечными. Кроме того, в данной наладке при повороте кулачка их передаточное отношение не должно заметно изменяться. Этим требованиям удовлетворяет зубчато-рычажный передаточный механизм (см. рис. 5.1, а, б).

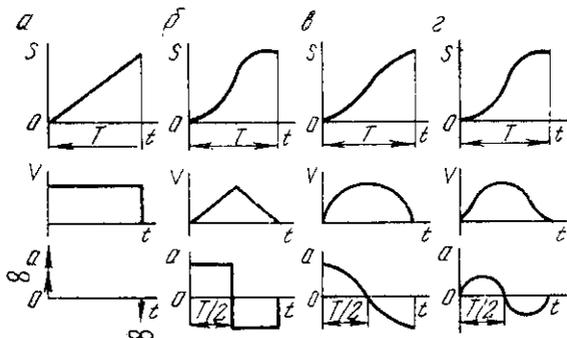


Рис. 5.2. Законы движения толкателя:

s — путь; v — скорость; a — ускорение; t — время; T — продолжительность цикла

Рычажные механизмы (рис. 5.3) позволяют передавать движения на значительные расстояния, но их передаточное отношение при повороте рычагов изменяется. Для ограничения соответствующего колебания рабочей подачи рычажную систему 1 надо проектировать так, чтобы при среднем положении исполнительного узла 2 рычаги были взаимно перпендикулярны и его требуемые перемещения получались при повороте рычагов на угол, не превышающий $15\text{--}20^\circ$.

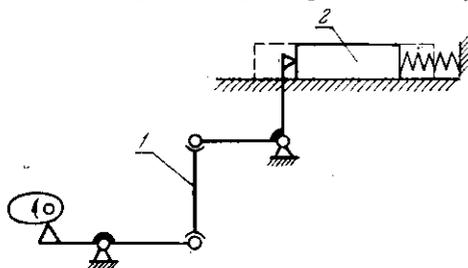


Рис. 5.3. Рычажный передаточный механизм

В станках находит применение шариковый механизм, передающий движение от кулачка к исполнительному узлу через контактирующие друг с другом шарiki и сферические шайбы, помещенные в заполненную маслом калиброванную трубку. Конфигурация таких механизмов может быть легко приспособлена к взаимно-

му положению распределительного вала и исполнительных узлов.

Механизмы передачи движения с передаточным отношением $i > 1$ позволяют получать большие перемещения от сравнительно небольших кулачков, чем уменьшают габариты станка. Но при этом погрешности профиля кулачка переносятся на обработанную

деталь увеличенными в i раз, что допустимо в станках для грубой обработки. При $i < 1$ влияние погрешностей рабочего профиля кулачка на точность обрабатываемых деталей уменьшается, что целесообразно для обработки точных деталей. Преимущественно применяют передачи с $i = 1$.

Регулирование величины перемещения исполнительных узлов может осуществляться следующими способами: 1) применением сменных кулачков, что при наладке станка требует разборки рас-

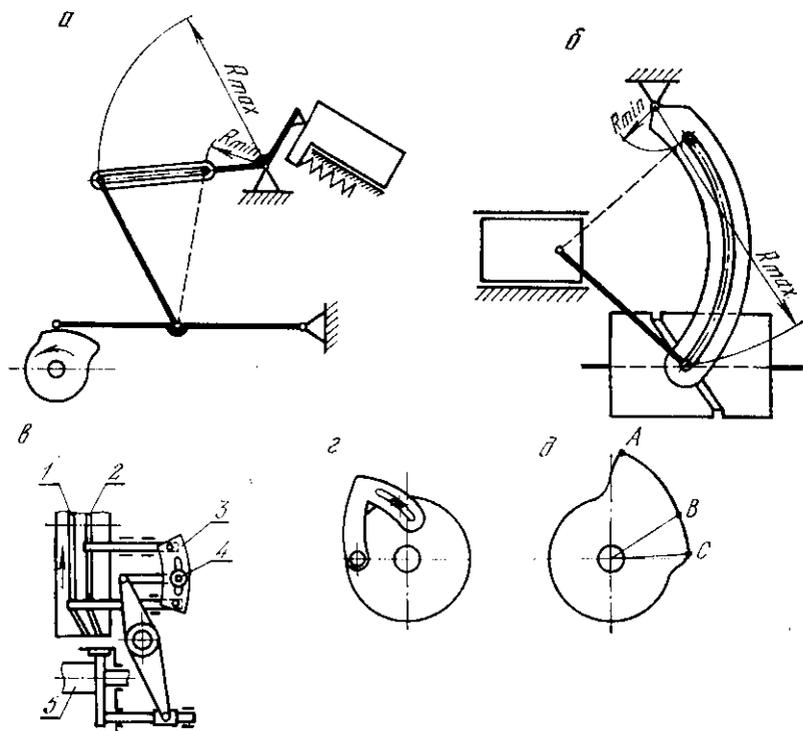


Рис. 5.4. Способы регулирования длины хода исполнительного узла

пределительного вала и изготовления комплекта кулачков; 2) изменением передаточного отношения механизма передачи движения от кулачка к исполнительному узлу, что достигается регулированием длины плеч рычагов, пригодно при применении как дисковых (рис. 5.4, а), так и цилиндрических кулачков (рис. 5.4, б) и используется наиболее часто; 3) применением спаренных кулачков 1 и 2 (рис. 5.4, в) и изменением длины хода исполнительного узла 5 путем перестановки шарнира 4 в пазу рычага 3; 4) применением регулируемых кулачков (рис. 5.4, г), используемых редко из-за жесткости и нарушения закона движения толкателя; 5) исполь-

зованием большей или меньшей части BC (рис. 5.4, δ) участка профиля рабочей подачи AC для выполнения быстрого подвода, что возможно, если распределительный вал имеет две скорости вращения.

5.2. Структуры систем управления с распределительным валом

Первая структура (рис. 5.5, a) характеризуется постоянной частотой вращения распределительного вала при выполнении как рабочих, так и вспомогательных движений. При этом доля времени на последние в циклах разной длительности приблизительно постоянна. При очень длительных обработках вспомогательные движения продолжались бы неоправданно долго. Поэтому первую структуру применяют только в высокопроизводительных автоматах с продолжительностью цикла до 20—30 с, предназначенных для обработки мелких и простых деталей.

Вторая структура (рис. 5.5, b) характеризуется тем, что распределительный вал получает быстрое вращение на время выполнения вспомогательных движений и медленное — в период выполнения рабочих. При этом в циклах разной длительности затраты времени на вспомогательные движения приблизительно постоянны, благодаря чему при выполнении длительной обработки они значительно меньше, чем в станках с системой управления первой структуры. Частота медленного вращения распределительного вала

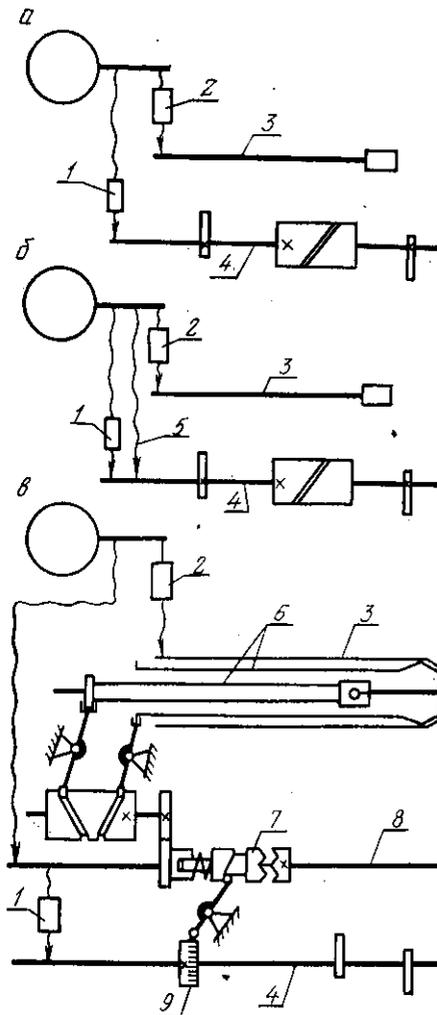


Рис. 5.5. Структуры систем управления с распределительным валом:

1 — звено настройки частоты вращения распределительного вала; 2 — звено настройки частоты вращения шпинделя; 3 — шпиндель; 4 — распределительный вал; 5 — цепь ускоренного вращения распределительного вала; 6 — механизмы подачи и зажима прутка; 7 — однооборотная муфта; 8 — вспомогательный вал; 9 — барабан управления

тельного вала обуславливается технологическим процессом обработки детали, быстрого вращения — инерционными усилиями, допускаемыми механизмами станка. Обгонная муфта в приводе распределительного вала позволяет включать его быстрое вращение без выключения привода рабочей подачи.

Третья структура (рис. 5.5, в) имеет два управляющих вала — распределительный и вспомогательный. Распределительный вал управляет всеми рабочими движениями, и поэтому частота его вращения определяется их продолжительностью. Вспомогательный вращается во много раз быстрее. По командам распределительного вала в заранее установленные моменты цикла к вспомогательному присоединяются исполнительные механизмы вспомогательных движений. После выполнения соответствующих элементов цикла эти механизмы отключаются от вспомогательного вала.

На рис. 5.5, в показана часть схемы автомата, в котором по команде сидящего на распределительном валу барабана управления 9 замыкается муфта 7 и к вспомогательному валу 8 присоединяется механизм 6 подачи и зажима прутка. В этот механизм входят подающая и зажимная цанги.

Систему управления третьей структуры целесообразно применять, когда какой-либо механизм вспомогательных движений, например револьверную головку, за время цикла приходится включать несколько раз. Более совершенной является такая разновидность третьей структуры системы управления, в которой в период подвода и отвода суппортов распределительный вал совершает быстрое вращение. В современных станках вспомогательный вал имеет собственный привод.

Подключение механизмов вспомогательных движений к вспомогательному валу производится через однооборотные муфты (рис. 5.6) при одном и том же угловом положении вспомогательного вала, благодаря чему не нарушается кинематическая согласованность распределительного и вспомогательного валов. Полумуфта 1 жестко соединена со вспомогательным валом 9. Полумуфта 2 и зубчатое колесо 5, предназначенное для передачи движения механизму вспомогательных движений, сидят на вспомогательном валу свободно. Перемещению полумуфты 2 влево под действием пружины 4 препятствует палец 6. При вращении распределительного вала упор, находящийся на барабане управления, в заданный момент опускает

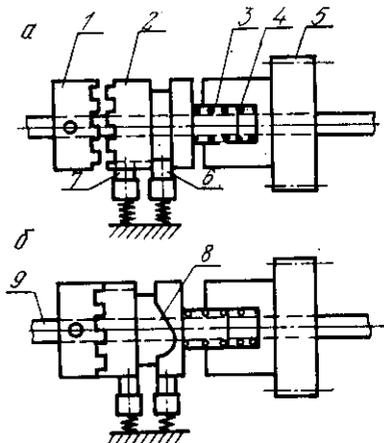


Рис. 5.6. Однооборотная муфта:

а — муфта выключена; б — муфта включена

конец рычага, действующего на палец 6. Полумуфта 1 соединяется с полумуфтой 2, которая через торцевой паз 3 и колесо 5 передает движение на механизм подачи и зажима прутка.

Под действием кулачка конец названного рычага продолжает находиться в нижнем положении больше, чем в течение одного оборота вспомогательного вала. Потом пружина поднимает этот рычаг так, что палец 6 начинает скользить по цилиндрической поверхности полумуфты 2, а затем заскакивает в фигурный паз 8 и выключает муфту. Описанный цикл движений выполняется за два оборота вспомогательного вала.¹

Подпружиненный палец 7 своим заостренным концом входит в полумуфту 2 и удерживает ее от вращения, когда она отсоединена от полумуфты 1. В начале поворота полумуфта 2 выжимает палец 7 из паза.

5.3. Одношпиндельные прутковые токарные автоматы

Фасонно-отрезные автоматы. На фасонно-отрезных автоматах из прутка или проволоки обрабатываются простые детали, не требующие высокой точности. Детали из проволоки, свернутой в бунт, обрабатываются вращающейся резцовой головкой, причем сообщается резцам независимая радиальная подача. Некоторые автоматы имеют устройства для дополнительного продольного точения, а также агрегатные головки для сверления, нарезания резьбы, фрезерования, которые производятся до фасонной обточки и отрезки детали.

Фасонно-отрезные автоматы, имеющие несколько рабочих позиций, могут обрабатывать детали с помощью различных дополнительных устройств. Параллельность обработки дает возможность получать детали сложной конфигурации с очень высокой производительностью.

Фасонно-отрезной автомат модели 1Б032 предназначен для обработки деталей из проволоки, свернутой в бунт. Наибольший диаметр стальной проволоки — 8 мм, латунной — 10 мм, наибольшая длина обрабатываемых деталей — 100 мм. Автомат производит очистку и правку проволоки, фасонное точение (без продольной подачи), продольное точение, отрезку деталей. Станок может также обрабатывать детали из прутка, поддерживаемого специальной стойкой.

Резцовая головка изображена на рис. 5.7. На торце вращающегося корпуса 1 находятся три резцедержателя 4, в которых закрепляются тангенциальные резцы. Резцедержатели совершают качание на осях 2. Движение они получают от кулачков распределительного вала через рычаги с регулируемым передаточным отношением, три вращающиеся втулки 8 и рычаги 7, находящиеся на осях 6. Втулки 8 имеют на переднем конце конические выступы, которые в сборе образуют общий конус. Внутри неподвижной трубы 9 устанавливается люнет со сменной направляющей втулкой 5. Переднее положение

ние резцов ограничивается упорными винтами 10. Регулировка резцедержателей в осевом направлении производится винтами 3. По центру резцы устанавливаются с помощью центрирующего микроскопа.

Резцовая головка 4 (рис. 5.8) получает вращение от электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 со сменными шкивами и зубчатую ременную передачу 3. От электродвигателя 29 с помощью зубчатой ременной передачи 30 вращение передается на

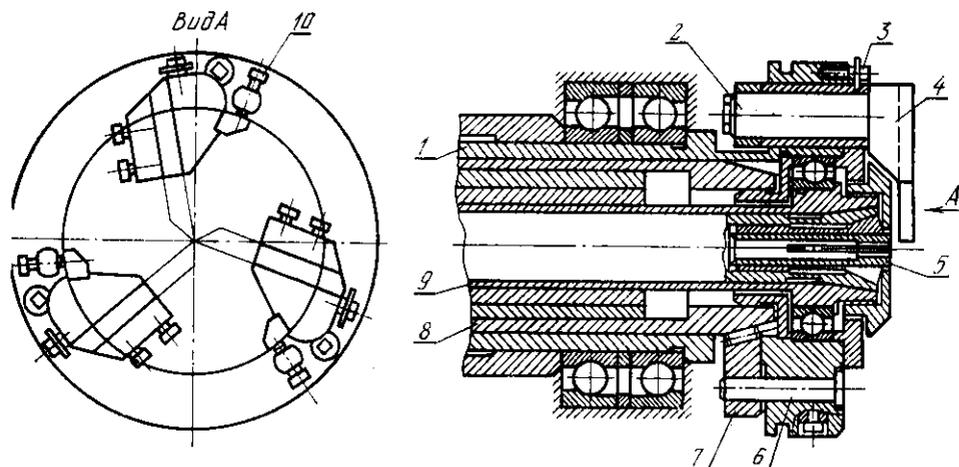


Рис. 5.7. Резцовая головка фасонно-отрезного автомата 1Б032

ротор 31 механизма правки круглой проволоки. Его каретка 17 перемещается по шариковым направляющим. В роторе находятся пять правильных губок, средняя из них через систему рычагов получает осевое перемещение и прогибает проволоку во время правки. Положение губок регулируется в зависимости от диаметра обрабатываемой проволоки. Для ее закрепления служат два зажима: передний 28 и задний 20. В каждом из них имеется цанга, сжимаемая пакетом тарельчатых пружин. Освобождение проволоки производится барабанами распределительного вала, которые посредством рычагов в нужный момент сжимают пакеты тарельчатых пружин.

Перемещение проволоки с ускоренной или рабочей подачей производится цангой, которая зажимается специальным механизмом 22 с пакетом тарельчатых пружин.

Всеми исполнительными механизмами автомата управляет распределительный вал 10, получающий вращение от электродвигателя 1 через ременную передачу 5, предохранительную муфту 6, червячную пару 7, сменные колеса $a-b$, $c-d$, ременную передачу 8 и червячную пару 9. От распределительного вала 10 движение передается кулачковому валу 15, который управляет механизмом правки и задним зажимом. В случае, когда производительность станка пре-

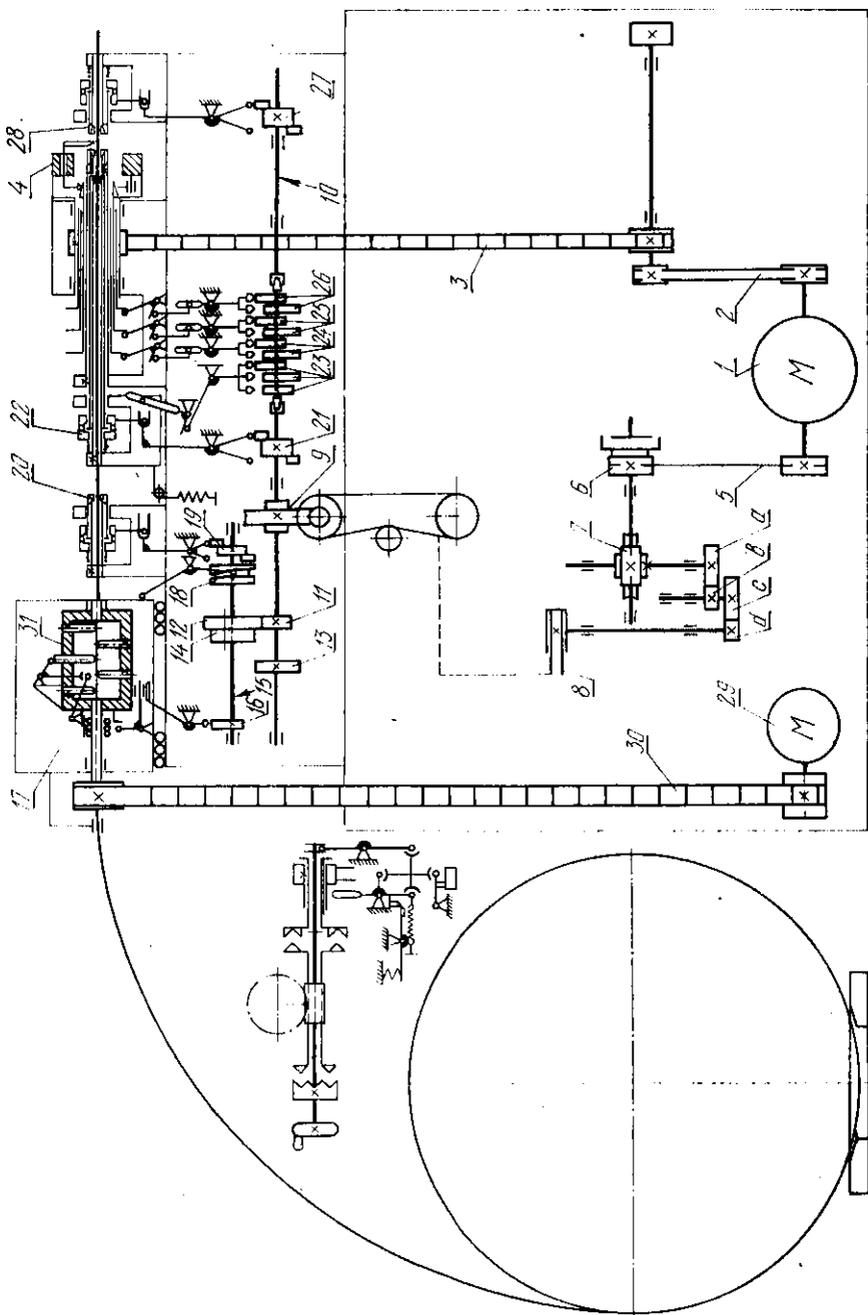


Рис 5.8 Кинематическая схема двигателя с вращающимся валом

В шпиндельной бабке 7 находится шпиндель со встроенным цанговым механизмом зажима прутка. Она получает подачу от кулачков 18 через рычаги с регулируемым передаточным отношением; в исходное положение отводится пружиной. Освобожденный от зажима пруток удерживается на упоре (отрезном резце) с помощью прижатого к его правому торцу толкателя, через тросик, связанный с грузом.

На распределительном валу находятся кулачки 17 для подачи поперечных суппортов, 16 для привода балансира и барабаны для

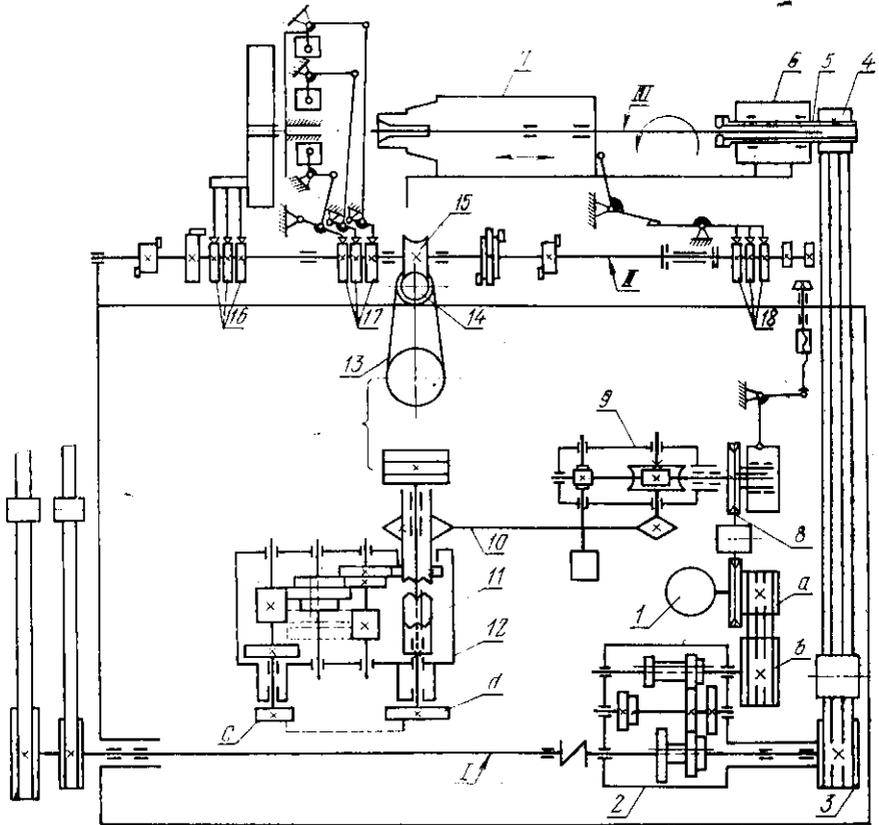


Рис. 5.11. Кинематическая схема автомата продольного точения 1Д25В

управления цанговым зажимным и дополнительными механизмами.

Токарно-револьверные автоматы. Предназначены токарно-револьверные автоматы для обработки из прутка деталей сложной формы, имеют три поперечных суппорта и продольный суппорт с шестипозиционной револьверной головкой. В ее гнездах помещают

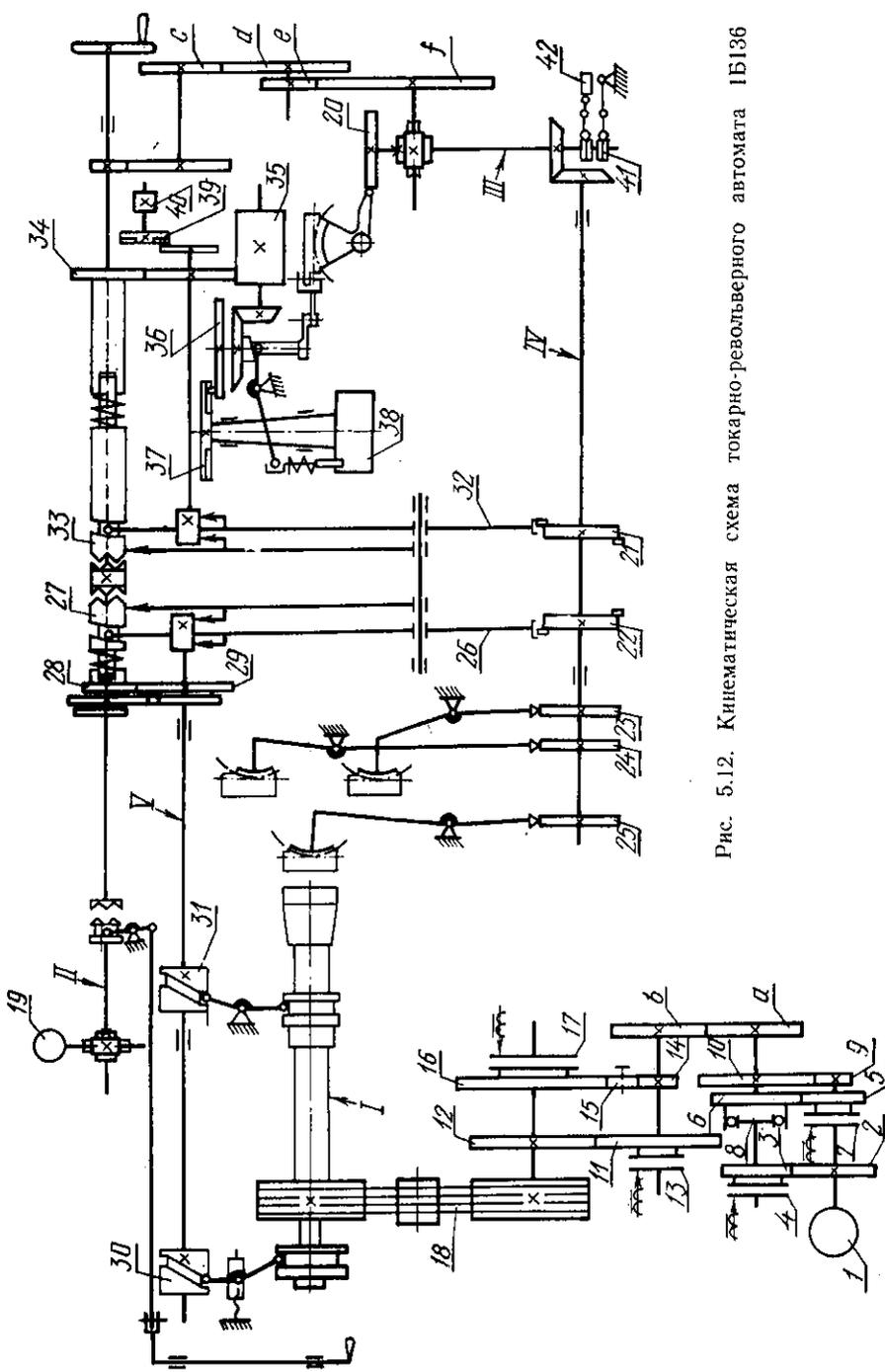


Рис. 5.12. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата 1Б136

наладки со сверлами, зенкерами, развертками, резцами, резьбонарезными инструментами. Передний поперечный суппорт является отрезным, а на заднем и вертикальном устанавливаются резцы для обработки фасок, канавок, фасонных поверхностей, накатные и другие инструменты.

Гамма современных токарно-револьверных автоматов охватывает станки с наибольшим диаметром обработки 10, 16, 25, 40 и 65 мм. Сюда входят, например, станки 1Е125П, 1Е140П, 1Е165П, оснащенные дополнительными устройствами для сверления отверстий, перпендикулярных к оси шпинделя, для глубокого сверления с выводами сверла без поворота револьверной головки, для гидрокopировальной обработки.

Принципиальная особенность токарно-револьверных автоматов состоит в том, что они имеют кулачковую систему управления третьей структуры, т. е. состоящую из распределительного и вспомогательного валов. На новейших станках для вращения распределительного вала применяется регулируемый привод. С помощью своих кулачков вал управляет всеми рабочими движениями (подачей суппортов) и частью вспомогательных (подводом и отводом суппортов). Кроме того, упорами установленных на нем барабанов управления распределительный вал дает команды на подключение к вспомогательному валу механизмов вспомогательных движений: подачи и зажима прутка, переключения револьверной головки и др.

На рис. 5.12 показана кинематическая схема токарно-револьверного автомата 1Б136, в которой имеются две кинематические цепи — главного движения и привода подач. В первой установлена коробка скоростей с электромагнитными муфтами и сменными колесами *a* и *b*. От электродвигателя *1* через одну из передач 2—3, 5—6 и 9—10, включаемых электромагнитными муфтами 4, 7 и обгонной 8, движение передается на реверсивное устройство, в состав которого входят передачи 11—12, 14—15—16 и электромагнитные муфты 13 и 17. При каждой настройке через ременную передачу 18 шпиндель *1* получает по три ступени частоты вращения вправо и влево.

В приводе подач имеется индивидуальный двигатель *19*, который приводит во вращение вспомогательный вал *II*, а также через ряд передач, в том числе сменные колеса *c* — *d*, *e* — *f*, — распределительный вал, состоящий из двух валов *III* и *IV*. Установленные на них кулачки служат для привода суппортов: 20 — продольного, 23 — переднего, 24 — заднего, 25 — вертикального.

В результате действия на рычаг 26 упора, закрепленного на барабане управления 22, включается однооборотная муфта 27. Через зубчатые колеса 28 и 29 она передает вращение на вал *V* с кулачками 30 и 31. Первым из них производится подача прутка до упора, вторым — его зажим. Упорами барабана управления 21 через рычаг 32 шесть раз за цикл обработки включается однооборотная муфта 33, которая от вспомогательного вала через зубчатые колеса 34—35

передает вращение кривошипному диску 36 мальтийского механизма. При одном обороте диска происходит поворот мальтийского креста 37 и револьверной головки 38 на $1/6$ оборота.

Синхронно с револьверной головкой с помощью мальтийского креста 39 поворачивается переключатель частоты вращения шпинделя 40. Кулачками 41 через конечные переключатели 42 производится переключение электромагнитных муфт в коробке скоростей, необходимое для реверса шпинделя при нарезании резьбы.

5.4. Многошпиндельные прутковые токарные автоматы

На горизонтальных многошпиндельных прутковых автоматах детали изготавливаются из прутков и труб, на полуавтоматах — из штучных заготовок. С применением специальных устройств на

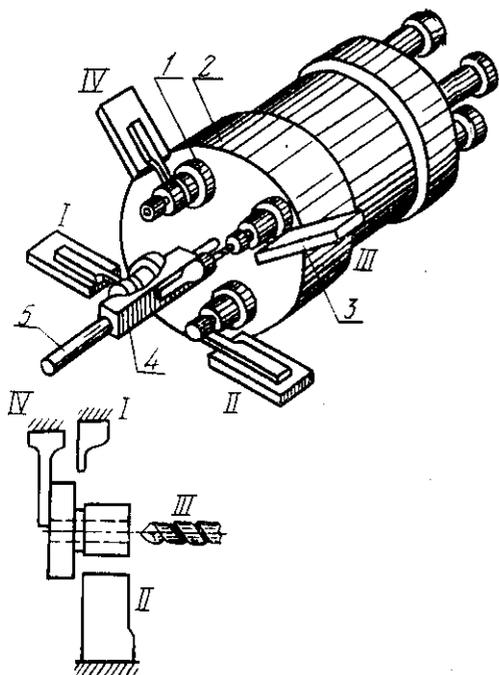


Рис. 5.13. Принцип обработки на горизонтальных многошпиндельных прутковых автоматах

многих автоматах можно обрабатывать штучные заготовки. На станках производят обтачивание, растачивание, сверление, развертывание, фасонное обтачивание, нарезание резьбы. Специальные устройства позволяют обрабатывать из круглого прутка многогранные элементы деталей, фрезеровать шлицы на торце, обрабатывать торец детали со стороны отрезки.

Рис. 5.13 поясняет принцип обработки на горизонтальных многошпиндельных прутковых автоматах последовательного действия. Четыре шпинделя 1 автомата равномерно расположены в шпиндельном блоке 2 (горизонтальные автоматы или полуавтоматы могут иметь 4, 6 или 8 шпинделей). Они оснащены цанговыми механизмами подачи и зажима прутка, получают вращение от центрального вала 5. Шпиндели вращаются в одну и ту же сторону с одинаковыми скоростями. Все прутки обрабатываются одновременно. После каждого поворота шпиндельного блока на 90° шпиндели изменяют свое положение относительно режущих ин-

струментов. После каждого поворота шпиндельного блока на 90° шпиндели изменяют свое положение относительно режущих ин-

струментов. При периодических его поворотах каждый шпиндель бывает в позициях I—IV.

На каждой позиции имеется отдельный поперечный суппорт 3, для обработки на всех позициях используется один общий продольный суппорт 4. На его гранях установлены инструменты, необходимые для выполнения обработки, запроектированной для соответствующих позиций. Инструменты продольного суппорта, в том числе сверла, зенкеры, развертки, не вращаются, за исключением двух случаев. Первый имеет место при сверлении отверстий малого диаметра, когда сверлу сообщается вращение в сторону, противоположную вращению прутка, чтобы обеспечить оптимальную скорость резания и высокую производительность. Второй — при нарезании резьб методом обгона. При этом прутки и инструмент вращаются в одном направлении. Резание производится в то время, когда скорость инструмента меньше скорости прутка. По окончании резания вращение инструмента ускоряется так, что его угловая скорость становится больше скорости прутка и инструмент вывинчивается.

Все инструменты продольного суппорта имеют одинаковую подачу, равную его скорости. Только быстросверлильный и резьбонарезной шпиндели получают подачу, не зависящую от него.

Многошпиндельные горизонтальные автоматы последовательно действия выполняют целый ряд вспомогательных движений: подвод суппортов к шпинделям; отвод суппортов и фиксатора шпиндельного блока; поворот шпиндельного блока; подачу и зажим прутка. Характерной особенностью этих станков является то, что все вспомогательные движения выполняются друг за другом и в цикле не чередуются с рабочими. При выполнении рабочих движений распределительный вал вращается медленно, при выполнении вспомогательных — быстро. Тем самым обеспечиваются относительно малые затраты времени на вспомогательные движения.

Рассмотрим кинематическую схему четырехшпиндельного пруткового автомата модели 1265-4 (рис. 5.14). Техническая характеристика станка: наибольший диаметр обрабатываемого круглого прутка 80 мм, количество шпинделей 4, число ступеней частоты вращения шпинделя 26, наибольшая длина обрабатываемой детали 175 мм.

Шпиндели V получают вращение от электродвигателя I через ременную передачу 2—3, пару цилиндрических колес 4—5, сменные $a—b$, $c—d$, центральное 6. Быстросверлильному шпинделю VI, находящемуся на продольном суппорте, оно передается от колеса 7, закрепленного на центральном валу IV. Колесо 8, являясь паразитным, обеспечивает вращение быстросверлильного шпинделя в сторону, противоположную вращению основного. Колесо e — сменное.

Медленное вращение резьбонарезной шпиндель X получает от центрального вала IV через зубчатую пару 9—10, сменные колеса $f—g$, включенную электромагнитную муфту 11, зубчатую пару 15—16. На быстрое вращение он переходит при включении электро-

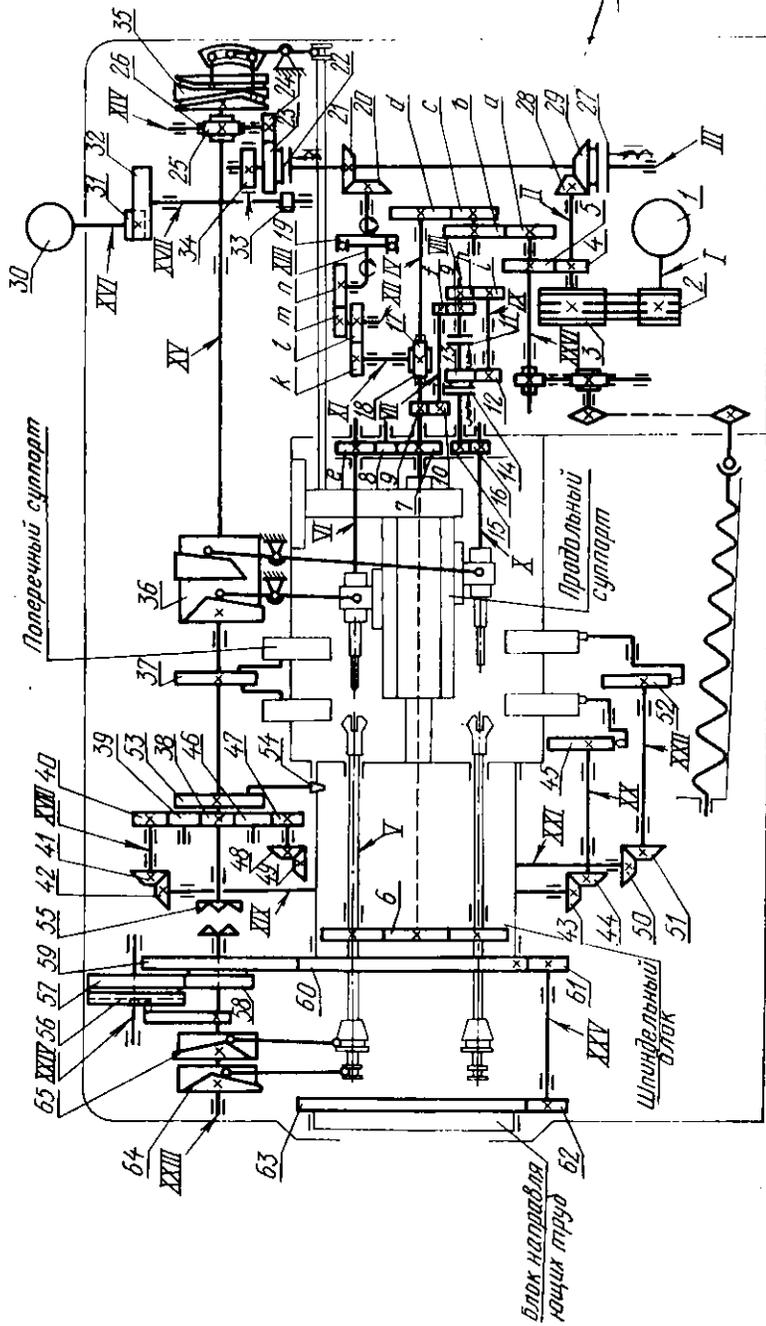


Рис. 5.14. Кинематическая схема четырехцилиндрового пруткового автомата 1265-4

магнитной муфты 14 (и одновременном выключении муфты 11). Движение передается от центрального вала IV цилиндрическими колесами 9—10, сменными колесами $f - g$, $h - i$, колесами 12—13, муфтой 14 и колесами 15—16.

В период выполнения рабочих движений распределительный вал XV вращается медленно — от центрального вала IV через червячную пару 17—18, сменные колеса $k-l$, $m-n$, муфту обгона 19, колеса 20—21, электромагнитную муфту 22, колеса 23—24 и червячную пару 25—26. Быстрое вращение на период вспомогательных движений он получает от электродвигателя 1 через клиноремennую передачу 2—3, конические колеса 28—29, электромагнитную муфту 27, муфту 22, колеса 23—24 и червячную пару 25—26. Обгонная муфта 19 позволяет включить цепь быстрого вращения распределительного вала, не отключая цепи его медленного вращения. В момент переключения распределительного вала с быстрого на медленное вращение его привод притормаживается с помощью тормоза 34.

Быстрые перемещения и рабочую подачу продольный суппорт получает от спаренного барабанного кулачка 35, находящегося на распределительном валу. Ползушки на продольном суппорте получают независимые продольные перемещения от цилиндрических кулачков 36. Привод поперечных суппортов осуществляется кулачками 37, сидящими на распределительном валу, а также 45 и 52, связанными с ним с помощью шестерен 38—39—40, 41—42, 43—44 и 38—46—47, 48—49, 50—51.

Кулачок 53 выводит фиксатор 54 из шпиндельного блока, поворот которого производится мальтийским механизмом 56 через зубчатые колеса 57—58, 59—60 при автоматическом включении кулачковой муфты 55. Одновременно с помощью зубчатых колес 60—61, 62—63 поворачивается блок направляющих труб.

Механизмы подачи и зажима прутка приводятся в действие цилиндрическими кулачками 64 и 65. Привод от электродвигателя 30, в который входят зубчатая пара 31—32 с внутренним зацеплением и подвижное колесо 33, включается во время наладки станка.

Благодаря тому что на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах одновременно обрабатывается несколько заготовок, эти станки отличаются высокой производительностью.

ГЛАВА 6. АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ

6.1. Унифицированные узлы агрегатных станков

Силовые головки. Режущему инструменту главное движение (вращение), подачу и ускоренные перемещения (быстрые подвод и отвод) сообщают силовые головки. Они выполняют сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, фрезерование, нарезание резьбы.

Силовая головка может иметь подвижный корпус 1 (рис. 6.1, а) или подвижную пиноль 3 (рис. 6.1, б). Второй тип применяется для выполнения сравнительно легких работ. Если привод подачи подвижного элемента находится вне головки, она называется *несамодействующей*, если внутри — *самодействующей*.

В силовых головках используются гидравлический, электромеханический (винтовой, кулачковый и др.), пневматический, пневмогидравлический и другие приводы подачи. Гидравлический и

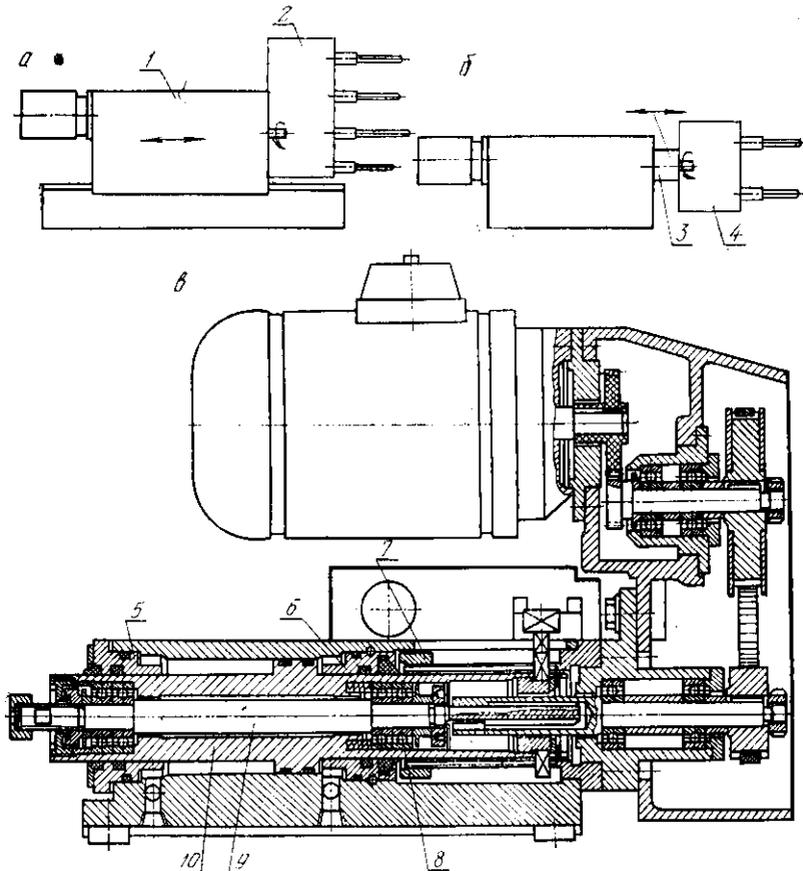


Рис. 6.1. Силовые головки

электромеханический винтовой приводы обеспечивают большие усилия подачи и, следовательно, возможность высокой концентрации операций. Значительным недостатком гидравлического и пневмогидравлического приводов является нестабильность подачи с изменением температуры масла.

К переднему торцу подвижного корпуса силовой головки крепится многошпиндельная коробка 2 (рис. 6.1, а), передающая вращение нескольким шпинделям. Многошпиндельная коробка, применяемая вместе с пинольной силовой головкой, называется *многошпиндельной насадкой 4* (рис. 6.1, б).

Рассмотрим в виде примера малогабаритную силовую головку с гидравлическим приводом подачи (рис. 6.1, в), допускающую максимальное усилие подачи 2000 Н. Шпиндель 9 получает вращение от асинхронного электродвигателя через зубчатую ремennую передачу. В каждой его опоре установлены с предварительным натягом по два радиально-упорных подшипника 8. Шпиндель получает подачу с помощью штока-поршня 10, который является пинолью головки. Направляющие втулки 5 и 6 служат опорами пиноли. Высокая точность глубины обрабатываемых отверстий обеспечивается регулируемой гайкой 7. Управление движениями пиноли производится при помощи гидропанели. Цикл ее движений состоит из быстрого подвода, рабочей подачи, выдержки в конце хода на жестком упоре и быстрого отвода в исходное положение.

В настоящее время силовые головки применяются преимущественно в компоновках малых агрегатных станков. Силовые головки позволяют эффективно выполнять сверлильно-резьбонарезные и легкие фрезерные операции. Однако для тяжелых фрезерных операций, растачивания жесткими шпинделями более удобной является другая схема компоновки подвижных элементов станка, основой которой служит силовой стол. Поэтому применение силовых столов создает более широкие технологические возможности при проектировании агрегатных станков.

Силовые столы. Силовой стол (рис. 6.2) состоит из собственно стола (подвижной плиты) 15, салазок 16 и редуктора. На столе устанавливается приспособление с заготовкой или узлы, сообщающие инструментам главное вращательное движение (бабки сверлильные, расточные, фрезерные и др.). Стол сообщает заготовке или бабке быстрый подвод, рабочую подачу и быстрый отвод. Рабочую подачу он получает от электродвигателя 1 при включенной электромагнитной муфте 10 через зубчатые колеса 2—3, 4—5, сменные а—б и зубчатые 7—8, 9—11, 12—13. Максимальное усилие, подачи регулируется фрикционной муфтой 6. В цикле может быть одна или две рабочие подачи в зависимости от того, одну или две скорости имеет электродвигатель 1. Когда необходимо обеспечить перпендикулярность оси отверстия и его торца, обработка последнего производится на жестком упоре. При этом стол упирается в отрегулированный винт, а предохранительная муфта 6 проскальзывает. Быстрый подвод и отвод стола сообщает электродвигатель 14 через зубчатые колеса 12—13 при выключенной электромагнитной муфте 10.

Управление циклом движений стола производится переставными упорами и бесконтактными путевыми переключателями. На столах

Минского СКБ АЛ устанавливаются бесконтактные путевые переключатели серии БВК, имеющие высокую надежность работы. Выпускаются столы нескольких размеров и двух разновидностей: с коротким и длинным ходом. Они могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях; обеспечивают агрегатным станкам широкие технологические возможности и гибкость при проектировании.

Широко применяются силовые столы с винтовым приводом подачи. Наряду с винтовыми парами скольжения в силовых столах

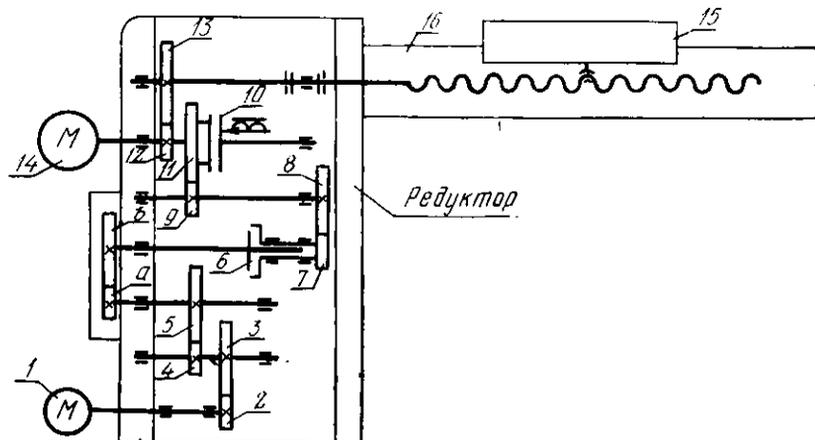


Рис. 6.2. Кинематическая схема силового стола

используются винтовые пары качения, которые отличаются высокой долговечностью и в результате равномерного перемещения стола обеспечивают высокую стойкость режущих инструментов. Многие агрегатные станки komponуются на базе гидравлических силовых столов. Стол перемещается по направляющей плите с помощью прикрепленного к нему гидроцилиндра.

В настоящее время силовые столы используются в качестве механизмов подачи агрегатных станков для обработки средних и крупных деталей.

Подкатные столы. На подкатной стол устанавливают приспособление с обрабатываемой деталью, а также подрезно-расточную, резбонарезную и другие бабки, сообщающие инструменту вращение и рабочую подачу. Подкатной стол обеспечивает установленной на нем детали или инструменту установочные перемещения.

Малогабаритный подкатной стол (рис. 6.3) может быть использован и как силовой. Основными элементами подкатного стола являются основание 3 и плита 1, которая получает перемещение от гидроцилиндра 4 через серьгу 5. С целью его наладки верхняя плита может быть передвинута с помощью съемной рукоятки, валика 2, промежуточных шестерен и рейки.

Поворотные делительные столы. Электромеханический поворотный делительный стол состоит из собственно стола (планшайбы), основания и редуктора (рис. 6.4). На столе устанавливается приспособление с закрепленными в нем заготовками. Стол совершает периодический круговой перенос обрабатываемых деталей из одной позиции в другую и точную фиксацию относительно режущих инструментов. Нижней плоскостью он устанавливается на привалочную плоскость средней станины. От кнопки «пуск» на пульте управления станком включается электродвигатель 1, который через червячную пару 2—3 и зубчатые колеса 4—5 вращает планшайбу стола. При этом ротор отключенного двигателя 7 получает свободное вращение через шестерни 10—9—8. Планшайба центрируется на коническом роликоподшипнике, насаженном на неподвижную центральную ось 6. В планшайбе запрессовано столько делительных пальцев 11, сколько фиксированных позиций должен иметь стол, т. е. 2, 3, ..., 12.

При повороте планшайбы из данной позиции в соседнюю делительный палец, соответствующий этой соседней позиции, от-

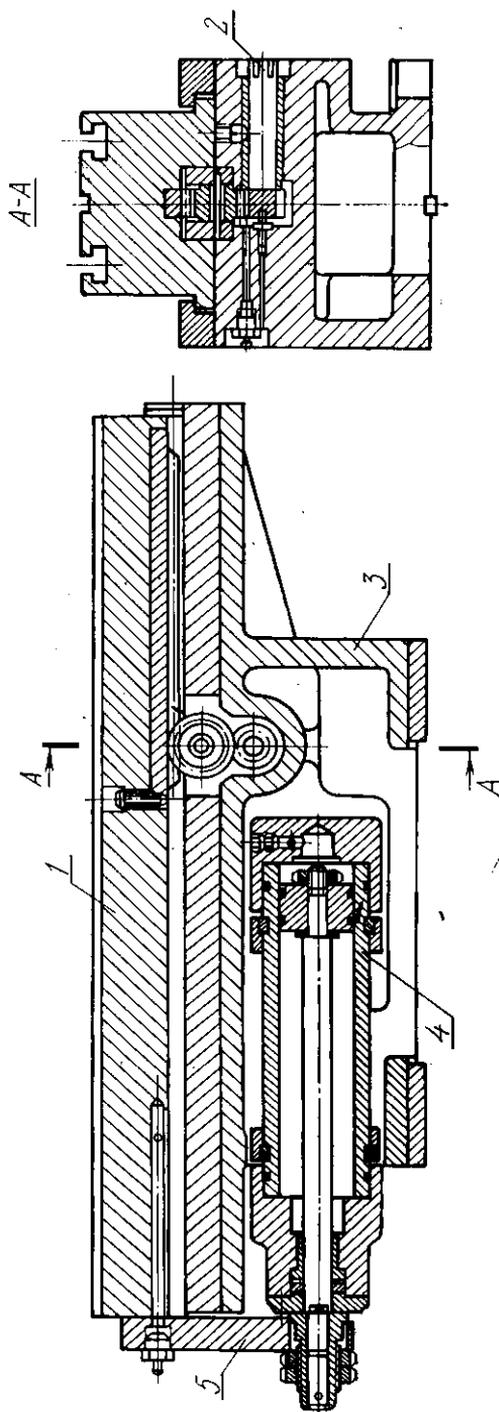


Рис. 6.3. Подкатной стол

Планшайба поворачивается до того момента, пока фиксирующий упор 12 не окажется прижатым своим посадочным местом к делительному пальцу. После этого дается команда на начало цикла сплюхвых узлов агрегатного станка.

Особенность стола состоит в том, что он имеет две скорости вращения — высокую при повороте и низкую (в обратном направлении) во время фиксации. Этим обеспечивается нужная точность деления.

Базовые узлы Минского СКБ АЛ. К базовым узлам относятся станина 3 (рис. 6.5), стойка 2, боковая станина 1, упорный угольник 4.

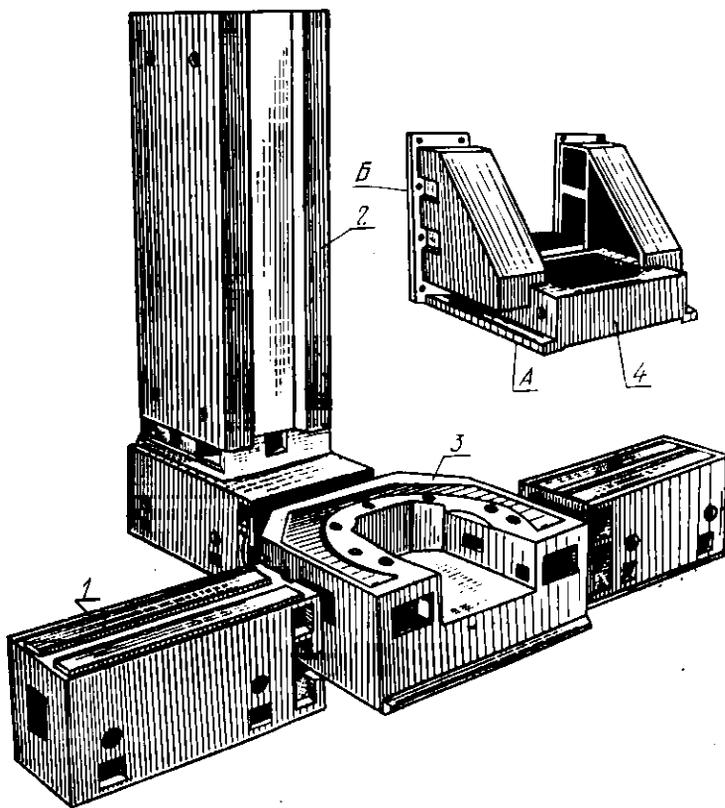


Рис. 6.5. Базовые узлы

На станину 3 устанавливают поворотный делительный стол. К боковым ее граням присоединяются боковые станины. У передней грани организуется загрузочная позиция, а одна из боковых используется для уборки стружки.

На стойке 2 в вертикальном положении помещают силовой стол. В стойке имеется противовес, служащий для уравнивания подвижных узлов: стола, шпиндельной коробки с упорным угольником и инструментальной наладкой, а также кондукторной плиты.

На боковых станинах 1 устанавливаются силовые столы, силовые головки или вертикальные стойки. Сверху на боковой станине имеются два платика для базирования этих узлов. Вокруг них есть желоб для сбора смазочно-охлаждающей жидкости. С помощью фланца боковая станина крепится к средней.

Упорные угольники 4 служат для установки многошпиндельных коробок. Угольник изготавливается в виде литого кронштейна. Плоскостью А он сопрягается с зеркалом силового стола. Другая, перпендикулярная к ней, плоскость В служит для крепления шпиндельной коробки.

6.2. Многошпиндельные коробки

Многошпиндельные коробки позволяют обрабатывать с помощью одного силового узла большое количество отверстий с параллельными осями. Для этого коробка передает вращение от своего входного вала на все шпиндели, размещенные на требуемом расстоянии друг от друга. В последних находятся одинаковые или различные как по наименованию, так и по размерам инструменты. Каждый шпиндель получает вращение в нужную сторону с заданной скоростью и передает на инструмент требуемый крутящий момент.

Многошпиндельная коробка является специальным узлом агрегатного станка. Ее кинематика, расположение шпинделей и габариты определяются выполняемыми на станке переходами, формой, размерами и материалом обрабатываемой детали, компоновкой станка, в частности тем, перекрывает коробка одну или несколько обрабатываемых деталей. Являясь специальным узлом, многошпиндельная коробка в то же время состоит в основном из унифицированных деталей. Типовые конструкции узлов многошпиндельных коробок УМ 3224 изображены на рис. 6.6. и 6.7.

В Минском СКБ АЛ и других организациях разработана система автоматизированного проектирования и изготовления многошпиндельных коробок.

На первом этапе конструктор выполняет эскизный проект шпиндельной коробки, состоящий в разработке ее кинематической схемы. Данные (сведения о размерах шпинделей и нагрузках на них, модули и числа зубьев колес, увязка валов между собой и шпинделями и др.); которые он заносит в бланк исходной информации, переносятся на перфоленгу, а затем вводятся в ЭВМ. Используя эту информацию и логические связи, являющиеся сущностью метода проектирования, ЭВМ выполняет кинематический и силовой расчеты, контролирует пространственную совместимость деталей и узлов,

в алфавитно-цифровом виде выдает документацию, необходимую для вычерчивания шпиндельной коробки и изготовления ее корпусных деталей — передней и задней крышек, корпуса. Документация состоит из таблицы сборок шпинделей и валов, спецификации коробки, сводной таблицы унифицированных комплектов, таблицы расточек и подрезок в корпусных деталях. ЭВМ выдает также перфоленту, в соответствии с которой чертежный автомат «Итекан-2М» изготавливает сборочный чертеж шпиндельной коробки. Геометрическая информация, выдаваемая ЭВМ, и некоторые постоянные данные используются при автоматической разработке управляющих программ для станков с ЧПУ, на которых будут обрабатываться корпусные детали шпиндельной коробки. Таким образом удалось объединить автоматическое проектирование с автоматическим изготовлением в комплексную систему «АВТОПРИЗ». Такое объединение вполне целесообразно, так как в ходе машинного проектирования получается информация, которую можно легко преобразовать в управляющую программу для станков с ЧПУ. Этим исключается трудоемкая подготовка исходных данных для расчета управляющих программ.

Комплексная система автоматизированного проектирования и изготовления шпиндельных коробок в условиях Минского СКБ АЛ и Минского завода автоматических линий позволяет снизить трудоемкость конструкторских работ при проектировании одной условной шпиндельной коробки на 25—30 ч, или в 2—2,5 раза. Кроме того, трудоемкость технологической подготовки производства одной шпиндельной коробки при автоматическом изготовлении управляющих программ снижается на 3—4 ч.

6.3. Компоновки агрегатных станков

Из применяемой на данном предприятии гаммы унифицированных узлов и проектируемых заново специальных можно построить агрегатные станки самых разных компоновок. Все компоновки условно делятся на четыре группы.

На станках первой группы нет устройства для периодического транспортирования обрабатываемых деталей, т. е. детали остаются неподвижными в течение всего цикла обработки (см. рис. 3.6, б—г). При одной установке можно обрабатывать на разных сторонах детали поверхности, точно связанные друг с другом, например отверстия в корпусе редуктора или в чашке дифференциала, цапфы крестовины карданного вала. Благодаря тому что приспособление неподвижно, можно достичь относительно высокой точности обработки.

Агрегатные станки второй группы имеют поворотный делительный стол (см. рис. 3.6, а). Обычно на нем помещается многопозиционное приспособление; последовательная обработка детали

производится несколькими инструментами. Иногда в центре поворотного стола устанавливается одна крупногабаритная заготовка.

Станки третьей группы имеют барабан с горизонтальной осью вращения, на гранях которого находятся приспособления для закрепления обрабатываемых деталей (см. рис. 3.6, *д*). На барабанных станках обычно обрабатываются детали с двух противоположных сторон, т. е. типа валов, труб, корпусных. Небольшие подвесные головки позволяют распространить обработку на большее число сторон.

Станки четвертой группы имеют многопозиционный стол с линейным перемещением и предназначены для обработки деталей с большим количеством повторяющихся элементов или крупногабаритных. Для загрузки и съема заготовок служат одна позиция или две на противоположных сторонах станка.

ГЛАВА 7. КОПИРОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

7.1. Способы копирования

Для получения фасонных деталей токарные, фрезерные, шлифовальные, строгальные и другие станки оснащают копировальными системами. Информация о профиле обрабатываемой детали задается конфигурацией плоского копира, эталонной деталью (например, валом), объемной моделью или контуром чертежа, выполняющего роль копира. Копировальные системы можно разделить на две группы: прямого и непрямого копирования.

При использовании систем прямого копирования (рис. 7.1, *а*) профиль копира 1 воздействует на щуп 2, жестко связанный с рабочим органом 3, и вызывает необходимые перемещения последнего. В этом случае большая сила в контакте между щупом и копиром приводит к быстрому износу копира, изготовленного из прочного и термически обработанного материала.

В системах непрямого копирования (рис. 7.1, *б*) копир 4 через щуп 7 оказывает воздействие на измерительный преобразователь перемещений (копировальный прибор) 6, который вырабатывает команды управления для привода рабочего органа 5. При отсутствии жесткой связи между щупом и рабочим органом последний перемещается по траектории, практически одинаковой с профилем копира. В этом случае сила резания не воспринимается копиром, а щуп оказывает на него очень небольшое давление. Копир изнашивается медленно. Непрямое копирование обеспечивает высокую точность обработки.

Непрямое копирование осуществляется: 1) методом слежения, когда при обходе контура копира, эталонной детали или чертежа происходит непрерывное регулирование соотношения скоростей подачи по разным координатам (рис. 7.2, *а*); 2) методом «включено —

выключено», когда при обходе программносителя на короткие промежутки времени периодически включаются электромагнитные муфты в приводах подачи по координатам, и требуемая форма детали получается в результате дискретного перемещения несущего ее стола (рис. 7.2, б). В станках нашли применение копировальные системы, в которых отсутствует механический контакт между копиром и копировальным прибором. При этом прибор вырабатывает управляющий сигнал в зависимости от изменения зазора между

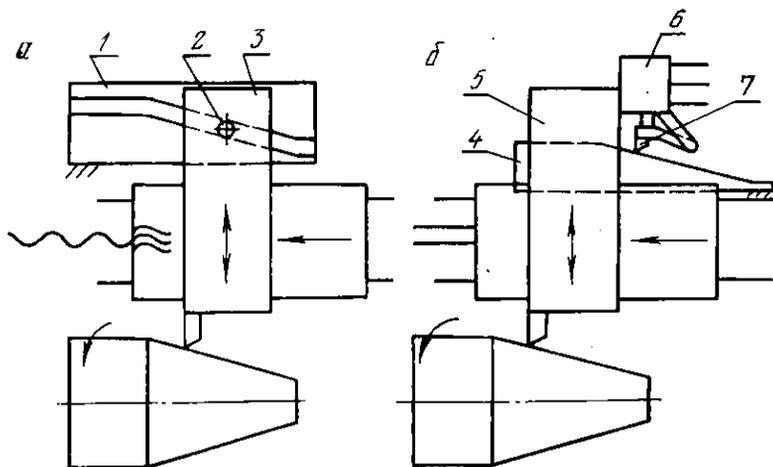


Рис. 7.1. Системы копирования

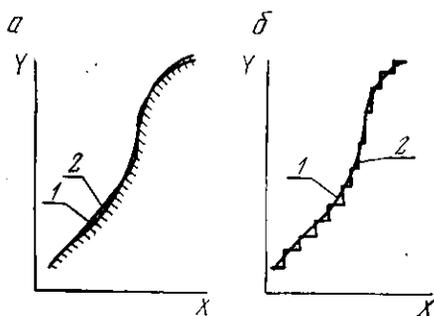


Рис. 7.2. Траектории движения при копировании:

1 — заданная; 2 — рабочего органа

шупом и профилем копира или в соответствии с изменением освещенности контура чертежа, который используется в качестве копира в фотокопировальных станках.

Благодаря быстрой смене программносителя копировальные станки применяются в серийном производстве; их недостатком является высокая стоимость копиров.

7.2. Токарный гидроконтролируемый полуавтомат 1722

Станок предназначен для обработки деталей типа валов с цилиндрическими, коническими и фасонными поверхностями. Основной профиль детали обрабатывается одним резцом, установленным на копировальном суппорте. С помощью гидравлического следящего устройства он воспроизводит профиль установленного на станке копира или эталонной детали. Подрезной суппорт служит для получения глубоких канавок малой ширины, подрезки торцевых поверхностей, т. е. тех элементов профиля детали, которые не могут

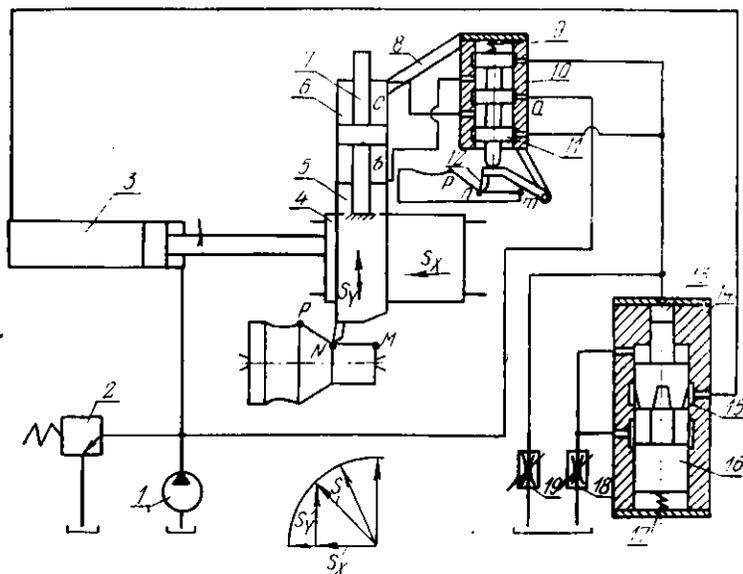


Рис. 7.3. Функциональная схема копировальной системы станка 1722

быть воспроизведены копировальным суппортом главным образом из-за формы резца.

Станок может работать в двух режимах: полуавтоматическом и наладочном.

Обработка деталей производится по методу слежения при непрерывном копировании. Гидравлическая схема копировальной системы станка изображена на рис 7.3. От насоса 1 масло с давлением, настроенным золотником 2, подводится в цилиндр 3, в результате чего салазки 4 суппорта получают продольную подачу s_x , которая называется задающей. Одновременно масло подводится в копировальный золотник. Когда щуп 12 скользит по горизонтальному участку mn профиля копира, золотник 11 устанавливается так, как показано на схеме. В результате масло не поступает в цилиндр 6 попе-

речного перемещения резца. Обрабатывается цилиндрический участок детали. В этот момент положение резца относительно детали и положение щупа на копире согласованы.

Как только щуп переходит на наклонный участок копира *пр*, он под действием последнего немного смещается вверх, передвигая золотник *11* и сжимая пружину *9*. Но резец в течение некоторого мгновения остается в том же горизонтальном положении из-за инерции и наличия трения в направляющих поперечных салазок. В результате этого появляется некоторое несоответствие между положением щупа на копире и резца на детали. Оно называется рассогласованием следящей системы или ошибкой слежения. Для данной системы рассогласование — это отставание движения резца от движения щупа в поперечном направлении. Численно оно равно ширине щелей между кромками золотника *11* и корпуса *10*.

Принцип работы данной и всех других следящих систем состоит в использовании рассогласования в качестве управляющего сигнала. Как только появилось рассогласование, система стремится ликвидировать его. В процессе приведения рассогласования к возможному минимуму следящая система выполняет полезную работу. Как уже было отмечено, когда щуп перемещается чуть левее точки *n*, золотник *11* смещается вверх. В результате открывается отверстие *a* и масло идет в полость *c* цилиндра *b*, а из полости *b* сливается в бак. Так как шток *7* закреплен на продольных салазках, цилиндр *b* и поперечный суппорт *5* перемещаются вверх с подачей s_y , которая называется следящей. Следовательно, чтобы ликвидировать возникшее рассогласование, система создает следящую подачу. Но первоначально возникшее рассогласование не может быть ликвидировано в течение всего времени скольжения щупа по наклонному участку профиля копира. Значит, все это время будет обеспечиваться следящая подача.

Главной особенностью следящих систем является автоматическое сравнение действительного значения регулируемой величины (в нашем случае — вертикального перемещения резца) с ее желаемым значением (с перемещением щупа в том же направлении). Сравнение осуществляется с помощью обратной связи, которая связывает выход системы (резец) со входом (щупом). В рассматриваемом случае роль обратной связи играет жесткая механическая связь *8* между суппортом и корпусом *10* копировального золотника. Через связь *8* суппорт перемещает вверх корпус *10*. Как только перемещение суппорта и корпуса *10* станет равным перемещению золотника *11* (подъему профиля на копире), отверстие *a* закроется и следящая подача прекратится. Рассмотренная обратная связь называется отрицательной, так как она ослабляет командный сигнал (рассогласование), создаваемый в копировальном золотнике. Обратная связь повышает точность работы следящей системы, ввиду того что она обеспечивает соответствие между входным воздейст-

вием (перемещением шупа) и действием исполнительного органа (перемещением резца). Дросселями 18 и 19 регулируется продольная и поперечная подачи.

Когда обтачивается цилиндрическая шейка MN на детали (рис. 7.3) и поперечная подача отсутствует, золотник 16 автоматического регулятора отжат пружиной 17 вверх. Масло свободно сливается из цилиндра 3 через щель 15 между лысками золотника и корпусом 14 автоматического регулятора. При появлении поперечной подачи (обточка конической шейки NP) давление перед дросселем 19 увеличивается, действует из полости 13 на торец золотника 16, сжимает пружину 17 и смещает золотник. Это вызывает уменьшение проходного сечения между лысками золотника и корпусом автоматического регулятора, создавая дополнительное дросселирование. Скорость продольной подачи соответственно уменьшается. Когда поперечная подача и давление перед дросселем 19 становятся максимальными, золотник 16 смещается вниз настолько, что щель 15 закрывается, слив масла из цилиндра 3 прекращается, продольная подача исчезает.

Таким образом, путем регулирования s_x при изменении s_y , определяемом профилем копира, автоматический регулятор сохраняет постоянной результирующую подачу s , равную геометрической сумме продольной и поперечной подач (см. рис. 7,3 внизу). Этим обеспечивается одинаковое качество всей обработанной поверхности.

Управление процессом автоматического копирования производится гидравлической панелью, которая обеспечивает следующий цикл движений суппорта: быстрый продольный и поперечный подвод; копирование на рабочей подаче; быстрый отвод в поперечном и продольном направлениях; останов.

Управление переходами от одного элемента цикла к другому осуществляется с помощью реле давления и конечных переключателей. На них воздействуют упоры, установленные на планке, которая жестко связана с продольными салазками копировального суппорта. Команды поступают на электромагниты золотников, находящихся в панели управления. Положение упоров регулируется в соответствии с размерами обрабатываемой детали.

Кинематическая схема станка представлена на рис. 7.4. Шпиндель 2 получает вращение от электродвигателя 1 через коробку скоростей со сменными колесами $a - b$ и двумя передвигными зубчатыми блоками. С помощью прижимных планок и упоров подрезной суппорт 15 закрепляется в любом месте между передней бабкой и гидроцилиндром 12, приводящим его в движение. Суппорт состоит из неподвижной каретки и ползуна. Шток цилиндра с помощью резьбовой тяги 13 и упорных гаек перемещает копир 14, который через ролик приводит в движение ползун, связанный с верхней частью суппорта. По окончании обработки шток цилиндра отводится в исходное положение, а верхняя часть суппорта усилием сжатых пружин возвращается назад. Управление движениями подрезного

суппорта также осуществляется упорами и конечными переключателями.

Задняя бабка установлена на специальных направляющих. Ее пиноль перемещается гидравлическим цилиндром 11 и после того, как ее центр войдет в центровое отверстие изделия, автоматически зажимается двумя цилиндрами. Копир обеспечивает правильную форму образующей детали, но для получения необходимых ее диаметров следует отрегулировать расстояние между наконечником шупа и резцом. Это достигается перемещением корпуса 4 следящего золотника относительно цилиндра 3 с помощью маховика 5.

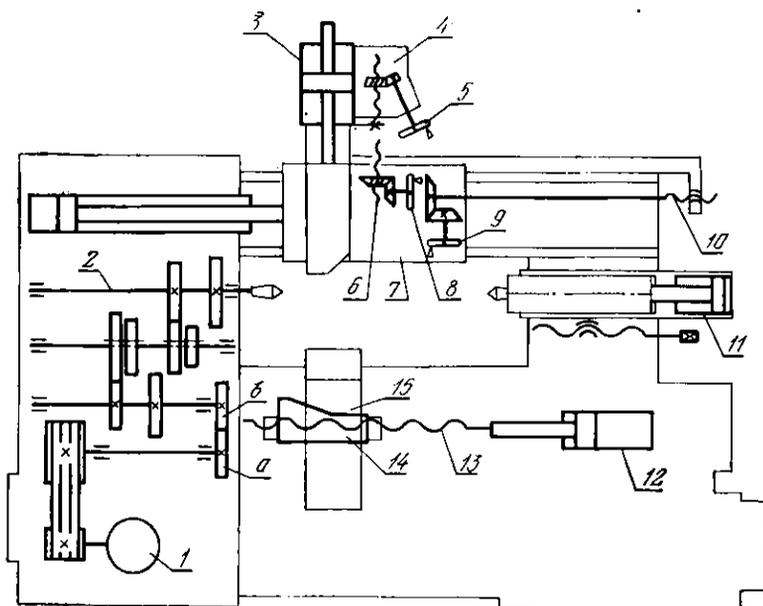


Рис. 7.4. Кинематическая схема станка 1722

Для правильной взаимной установки резца и копира по длине служат маховичок 9 и винт 10, входящий в гайку, закрепленную на кронштейне копира.

Для обработки детали в несколько проходов (без изменения расстояния между наконечником шупа и резцом) применяется упор шупа 6. Маховичком 8 он первоначально устанавливается так, чтобы на участке профиля детали, который должен быть обработан в несколько проходов, наконечник шупа не касался копира, а резец снимал часть припуска. После каждого прохода на этом участке упор шупа опускается с помощью маховичка 8. Перед последним проходом упор опускается настолько, чтобы наконечник шупа касался копира на всем пути перемещения суппорта. Таким образом,

окончательная обработка детали производится по копиру. Упор щупа также позволяет вести обработку цилиндрических деталей с помощью копировального суппорта 7 без шаблона или эталонной детали.

7.3. Фрезерный электрокопировальный станок ГФ 730

Станок предназначен для фрезерования фасонных деталей типа кулачков, штампов, пресс-форм путем копирования объемных моделей или плоских копиров.

Основными элементами электрической копировальной системы являются электрический копировальный прибор 9 (рис. 7.5, а), электрическая схема 1, реверсивные приводы подачи по координатным осям 17—19, содержащие по две электромагнитные муфты. Профиль детали образуется фрезой 6 по принципу «включено — выключено», сущность которого рассмотрим на примере копирования окружности в плоскости XU (рис. 7.5, в) при обходе контура против часовой стрелки, начиная с точки А. В исходном положении щуп 16 (см. рис. 7.5, а, б) не касается копира 15, и с помощью пружины 10 замкнут контакт 13, в результате чего замыкается реле 3. В момент пуска станка включается электромагнитная муфта в приводе салазок 18, и они получают перемещение вперед («салазки вперед»).

При соприкосновении копира со щупом последний наклоняется в опоре 7 и поворачивает рычаг 8, в результате чего замыкается контакт 12 реле 4, по команде которого включается электромагнитная муфта в приводе подачи стола 19. Он получает движение вправо («стол вправо»). Сложение движений «салазки вперед» и «стол вправо» приводит к врезанию фрезы в деталь под углом 45° .

При движении копира под углом 45° растет давление на щуп, он отклоняется все больше и дополнительно поворачивает рычаг 8 копировального прибора. Это приводит к размыканию контакта 13 и реле 3, к прекращению подачи «салазки вперед». Остается только движение «стол вправо».

При движении стола вправо наступает момент, когда щуп теряет контакт с копиром, в результате чего при замкнутом контакте 12 замыкается контакт 13 и фреза снова перемещается под углом 45° . Следовательно, дуга АВ (рис. 7.5, в) копируется при постоянно замкнутом контакте 12 и периодически замыкающемся 13, т. е. на этом участке к непрерывному движению «стол вправо» периодически прибавляется движение «салазки вперед».

На дуге ВС непрерывным становится движение «салазки вперед», а периодически включается движение «стол вправо». Дуга CD обрабатывается аналогично, только здесь к непрерывному движению «салазки вперед» периодически прибавляется движение «стол влево». Изменение направления движения стола производится вручную или автоматическим шаговым искателем.

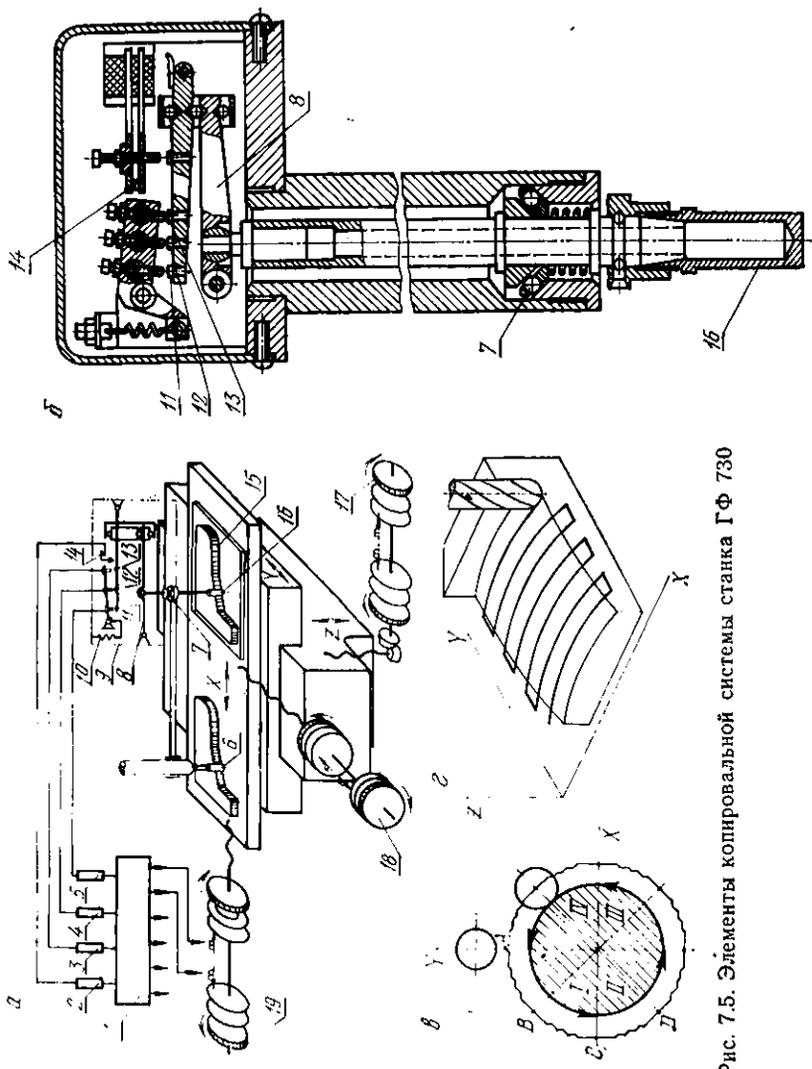


Рис. 7.5. Элементы копировальной системы станка ГФ 730.

Окружность состоит из четырех секторов копирования — *I*, *II*, *III* и *IV*; под ними понимаются дуги, при копировании которых не требуется реверсировать хотя бы одну подачу. Любой контур можно разделить на участки, каждый из которых относится к тому или иному сектору копирования.

Строчки при обработке объемных фасонных деталей (рис. 7.6, *г*) образуются при перемещениях стола в направлении *X* и консоли в направлении *Z*. Последнее движение включается с помощью реле 5 при замыкании контакта *11* (см. рис. 7.4, *а*, *б*). Контакт *14* и реле 2 служат для выключения станка при перегрузке.

ГЛАВА 8. СТАНКИ С ЦИКЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

8.1. Назначение циклового программного управления

Система циклового программного управления (ЦПУ) предназначена для того, чтобы управлять станком по быстро сменяемой программе. При такой системе частично или полностью программируются цикл работы станка и режимы обработки. Величины перемещений рабочих органов не программируются, а задаются с помощью кулачков-упоров. Этим системы циклового программного управления принципиально отличаются от более сложных систем числового программного управления (ЧПУ), в программе работы которых информация о размерах обрабатываемых деталей обязательна.

Станки с системами ЦПУ являются полуавтоматами и предназначены для обработки деталей, требующих небольшого количества переходов при прямолинейных перемещениях инструментов. Системы ЦПУ обычно оснащаются станки токарной группы (токарно-револьверные, токарно-копировальные, карусельные, лоботокарные), фрезерной (вертикальные и горизонтальные фрезерные, копировально-фрезерные) и сравнительно редко станки сверлильно-расточной группы (сверлильные с револьверной головкой, алмазно- и координатно-расточные). По сравнению с универсальными станки с системами ЦПУ обеспечивают повышение производительности труда в результате обслуживания одним рабочим двух-трех станков и сокращения доли вспомогательного времени в цикле. Они требуют рабочих более низкой квалификации и обеспечивают высокое качество обработки. Кроме того, снижается потребность в специальной технологической оснастке.

Схема токарного станка с системой ЦПУ изображена на рис. 8.1. Программа циклов и режимов обработки задается с помощью штеккерной панели *1* — составной части устройства задания программы, которое осуществляет также поэтапный ввод программы. Устройство автоматики *3* управляет циклом работы станка, т. е. усиливает и размножает поступающие на него команды, выполняет заданные элементарные

циклы, вырабатывает команды на окончание обработки этапов программы. По его команде включаются электромагнитные муфты в редукторе 4 привода суппорта 5. Редуктор представляет и сплннительное устройство. Величины перемещений суппорта задаются панелью с упорами 7, которая расположена на неподвижной части станка и имеет несколько ручьев. На суппорте 5 находится такое же количество конечных переключателей 6. Вместе

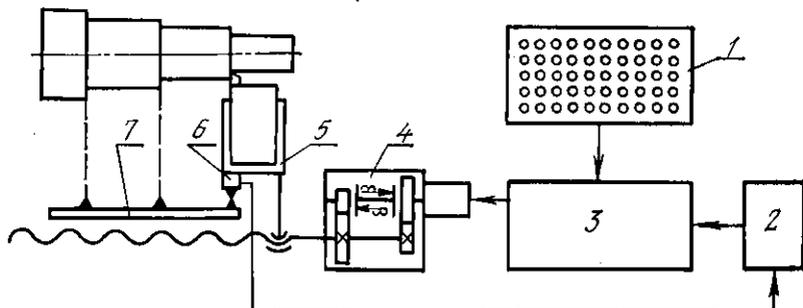


Рис. 8.1. Схема токарного станка с ЦПУ

с набором упоров они образуют устройство задания и контроля перемещений. Система работает следующим образом. В соответствии с программой, набранной на штеккерной панели, в устройстве автоматики происходят переключения, необходимые для обработки первого этапа программы. Рабочий орган станка перемещается. Когда конечный переключатель, выбранный с помощью штеккерной панели для первого этапа, вступает в контакт с соответствующим упором, по команде устройства 2 перемещение суппорта выключается, а к устройству автоматики подключается следующая строка штеккерной панели.

8.2. Основные узлы системы циклового программного управления

Структурная схема системы ЦПУ изображена на рис. 8.2. Стрелками показано взаимодействие между ее основными устройствами.

Устройство задания программы предназначено для запоминания полной программы обработки детали. В качестве его применяются панели со штеккерами, переключателями, кнопками. В этом случае этапы программы вводятся в систему шаговым искателем. Схема штеккерной панели с шаговым искателем (ШИ) изображена на рис. 8.3. Верхняя часть схемы отведена для задания 26 этапов программы (ЭП). Каждому из них соответствует один вертикальный ряд штеккерных гнезд. Строками задаются позиции револьверной головки (ПРГ). Например, если на третьем этапе обработки должна быть выполнена инструментами, установленными

в первой, второй и шестой позициях револьверной головки, то в гнезда третьего вертикального ряда, находящиеся в первой, второй и шестой строках, необходимо вставить штекеры. Тогда на третьем этапе отработки программы включаются реле $РГ_1$, $РГ_2$ и $РГ_6$, катушки которых получают питание через упомянутые штекеры.

Элементарные циклы сверления (Св), цекования (Цек), нарезания резьбы (НР), глубокого сверления (Гл. св) обеспечиваются схемой управления. Они программируются путем задания на штек-

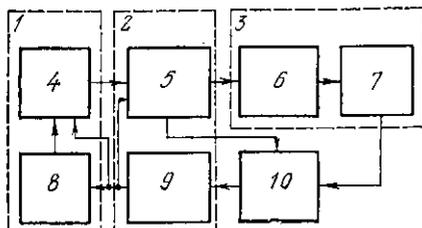


Рис. 8.2. Структурная схема системы циклового программного управления:

1 — устройство задания и ввода программы; 2 — устройство автоматике; 3 — исполнительное устройство; 4 — устройство задания программы; 5 — схема управления циклом работы станка; 6 — исполнительные элементы; 7 — рабочие органы станка; 8 — устройство поэтапного ввода программы; 9 — схема преобразования сигналов контроля; 10 — устройство контроля окончания отработки этапа программы

керной панели позиций револьверной головки. Точно так же задаются 12 скоростей шпинделя (СШ) и 9 подач суппорта (ПС).

Когда необходимо вводить большой объем информации, штекерные панели становятся громоздкими. В таком случае целесообразно применять автоматические устройства с программноносителями в виде перфоленты или перфокарты. Программа задается комбинацией пробитых отверстий. В отличие от систем числового программного управления, для систем ЦПУ в одной строке ленты или карты задается не одна команда, а несколько. Часто перфокарта накладывается на гладкий контактный барабан, находящийся под напряжением, и программа вводится при контактировании с ним щеток через пробитые в перфокарте отверстия. Иногда применяется более надежное бесконтактное считывание.

Многие станки имеют командоаппарат в виде барабана 3 с кулачками (рис. 8.4), в качестве которых применяются штифты 5, шарики или специальные шайбы. С помощью электродвигателя 4 и механизма 2 с микропереключателем 1 барабан периодически поворачивается на шаг. При воздействии кулачков на микропереключатели 6 программа поэтапно вводится в устройство автоматике.

Устройства задания и контроля перемещений узлов относятся к устройствам контроля окончания отработки этапа программы и обычно состоят из блока путевых переключателей (рис. 8.5, а) и блока упоров (рис. 8.5, б). Один из них расположен на неподвижном узле станка, другой — на контролируемом подвижном. Блок упоров представляет панель 6 с Т-образными пазами и кулачками: грубыми 1, точными 5 и регулируемыми 4. Планка 3 служит для настройки кулачков. Для точной установки регулируемых кулачков применяются микрометрические винты 2. Упоры,

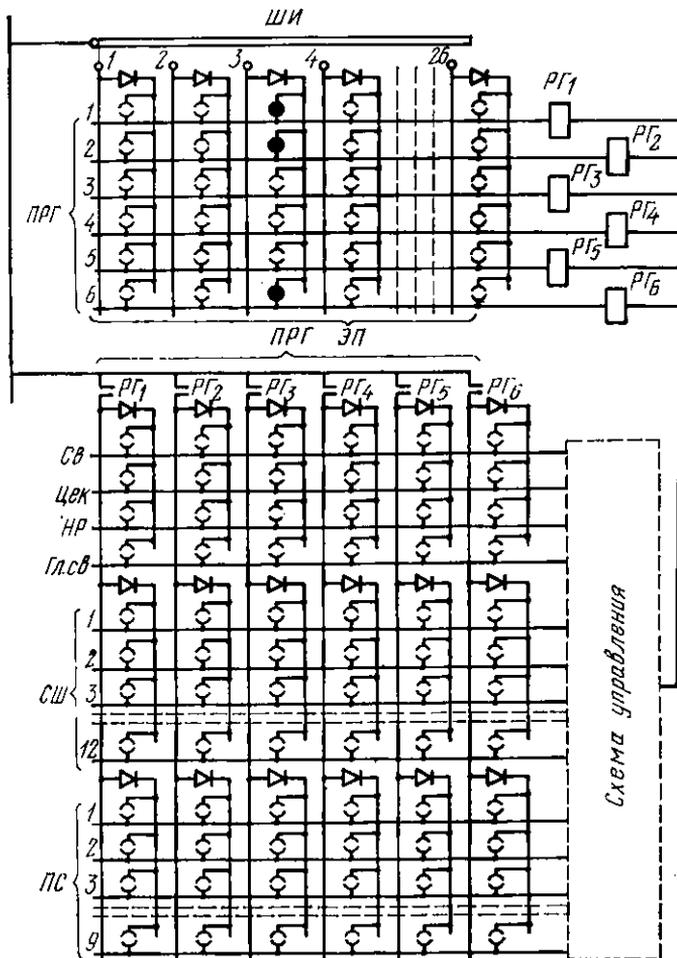


Рис. 8.3. Задание программы с помощью штекерной панели

расставленные в соответствии с размерами обрабатываемой детали, при их достижении действуют на переключатели и таким образом подают команды о выполнении этапов программы. Так как в процессе достижения заданного размера на переключатели могут действовать несколько упоров, выбор переключателей обеспечивается установкой штеккеров в специальные гнезда штекерной панели. Применяются переключатели контактного и бесконтактного типов. Бесконтактные сложнее и дороже контактных, но намного надежнее. Последнее часто бывает определяющим при выборе их типа. Наиболее часто применяются индуктивные и фотоэлектрические бесконтактные переключатели. В последнем случае «блок упоров» представляет ленту с отверстиями.

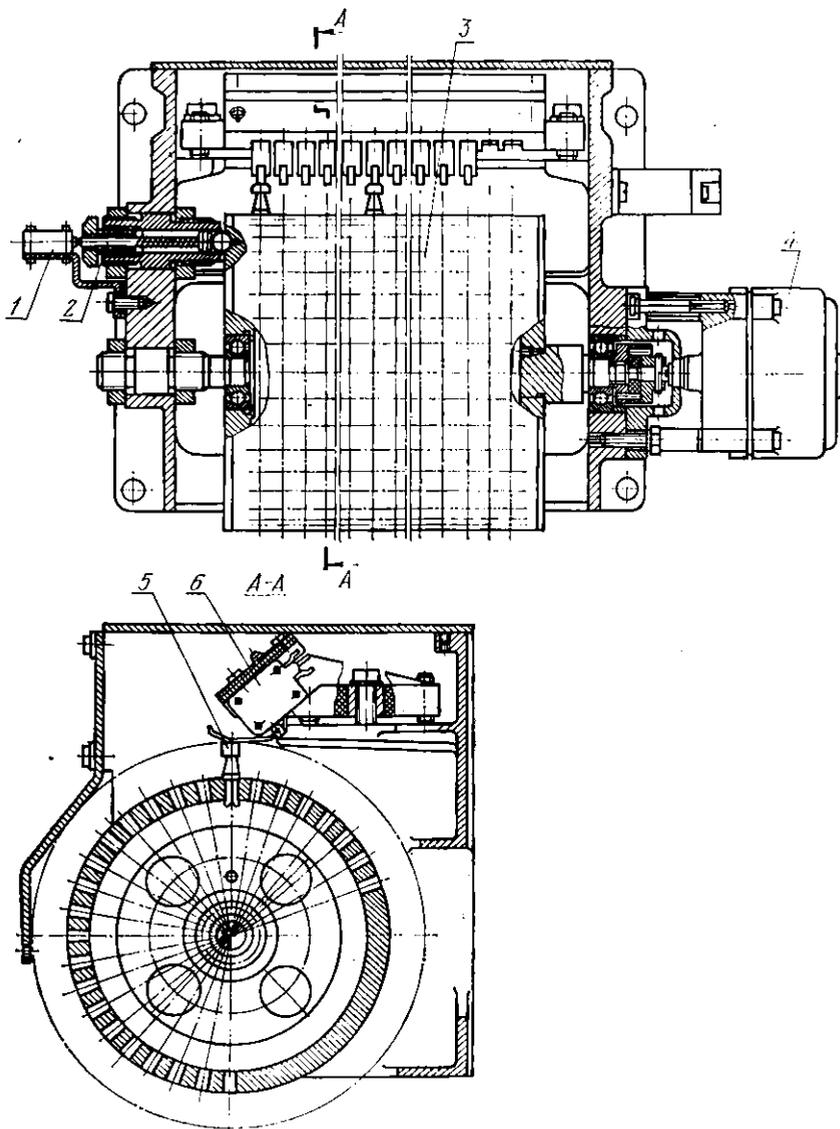


Рис. 8.4. Барабанное устройство задания и ввода программы

На станках с системами ЦПУ смена инструмента производится вручную или автоматически. Ручная смена выполняется в моменты запрограммированных перерывов цикла обработки. Время на пес значительно сокращается, если инструменты данной палочки раз-

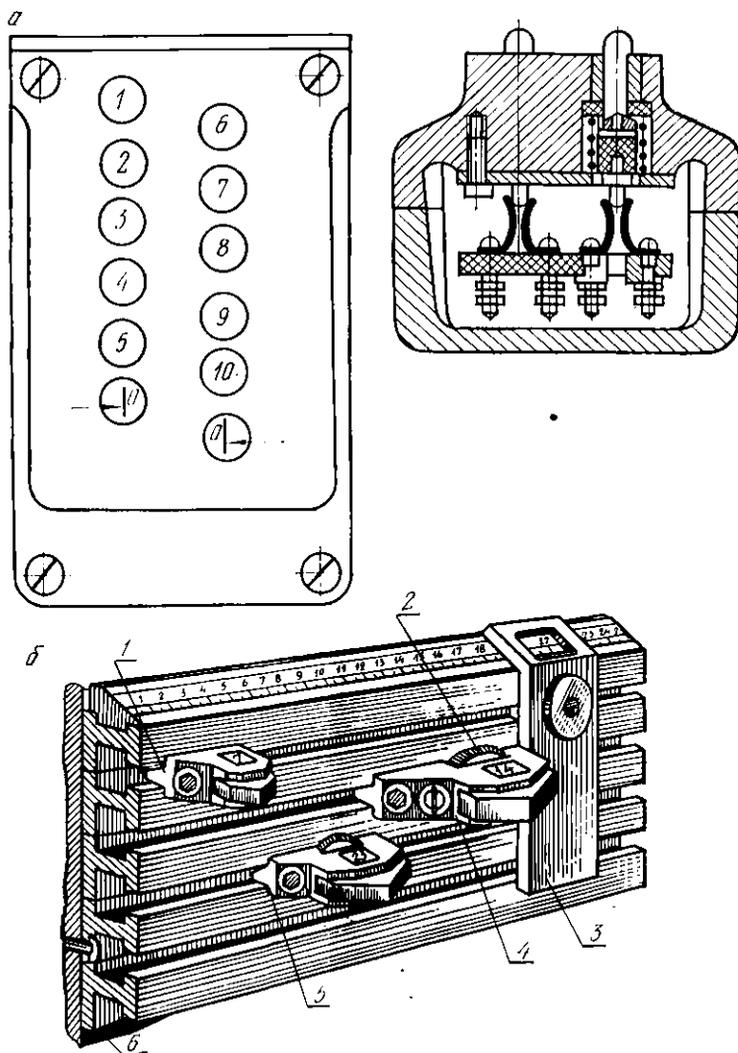


Рис. 8.5. Элементы устройства задания и контроля перемещений узлов

мещаются в специальном стеллаже, каждое гнездо которого имеет световой номер. Для выполнения следующего этапа программы рабочий устанавливает в шпиндель или на суппорт тот инструмент, номер которого высвечивается после выполнения предыдущего этапа. Автоматическая смена инструментов производится с помощью револьверной головки.

ГЛАВА 9. СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

9.1. Назначение станков с числовым программным управлением

Системами числового программного управления (системами ЧПУ) называются такие системы, которые осуществляют необходимое для обработки автоматическое управление станком в соответствии с программой обработки, обычно фиксируемой на перфоленте в цифровом виде. Перфолента является таким программно-носителем, который может быть быстро изготовлен и заменен. Благодаря этому технологическое оборудование, оснащенное системами ЧПУ (металлорежущие станки, автоматические линии, контрольные машины, координатографы и др.), становится основой автоматизации мелкосерийного и индивидуального производств, где производимые объекты сменяются очень часто.

Металлорежущие станки с ЧПУ применяются как для выполнения простых операций (сверления отверстий в корпусных деталях, обтачивания валов и т. д.), так и для обработки сложных фасонных деталей. Системы ЧПУ обеспечивают высокий уровень автоматизации станков, включая автоматическую смену режущих инструментов и заготовок, изменение режимов резания, получение размеров детали. Благодаря этому станки с ЧПУ имеют производительность, значительно превышающую производительность обычных универсальных станков.

Станки с ЧПУ могут обслуживаться операторами более низкой квалификации, чем квалификация станочников, работающих на универсальных станках. Оператор с общим образованием за один-два месяца может быть подготовлен для работы на станке с ЧПУ, а станочник-универсал на приобретение необходимой квалификации затрачивает несколько лет.

Благодаря автоматическому получению размеров при обработке деталей на станках с ЧПУ снижается брак из-за ошибок оператора, повышается точность обработанных деталей и уменьшается стоимость сборочных операций. Их применение приводит к снижению затрат на подготовку производства и длительности производственного цикла, что имеет первостепенное значение при изготовлении опытных образцов машин.

Станки с ЧПУ эффективны при обработке деталей: 1) сложных по конфигурации; 2) с большим числом обрабатываемых элементов; 3) особо высокой точности, а также с требуемой повторяемостью размеров в строгих пределах; 4) с частым изменением конструкции; 5) для которых время подготовки операции и налаживания обычного станка значительно больше машинного времени.

В связи с тем что станки с ЧПУ значительно дороже обычных (в 3—5 раз), требуют для эксплуатации специалистов высокой квалификации (электронщиков, математиков, технологов-програм-

местов, наладчиков) и сложного дорогостоящего оборудования для подготовки управляющих программ, целесообразность их применения в каждом случае должна быть экономически обоснована.

9.2. Структура системы ЧПУ

Система ЧПУ в широком смысле состоит из двух частей: системы подготовки программ для управления станками и устройства числового программного управления (рис. 9.1). Система подготовки программ служит для обработки исходных данных о геометрии заготовок и деталей, о параметрах станков и их систем ЧПУ, о раз-

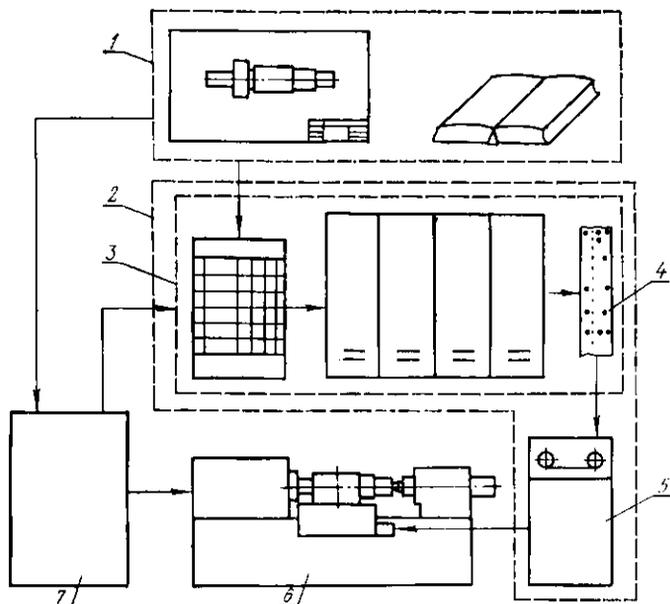


Рис. 9.1. Структура системы числового программного управления:

1 — исходные данные для подготовки программы; 2 — система ЧПУ в широком смысле; 3 — система подготовки программ для управления станком; 4 — управляющая программа; 5 — устройство ЧПУ; 6 — станок; 7 — система технологической подготовки

личных технологических параметрах. В результате их обработки появляется управляющая программа, которая представляет последовательность зафиксированных на программноносителе команд, обеспечивающую заданное функционирование рабочих органов станка. Ручная подготовка программ и подготовка, основанная на применении ЭВМ, существенно отличаются друг от друга. Управляющая программа вводится в устройство числового программного

управления, которое в соответствии с ней выдает на станок управляющие воздействия.

Устройство ЧПУ состоит из электронного пульта, обособленного от станка, двигателей и измерительных преобразователей (датчиков) перемещений, находящихся на станке. Оно является системой ЧПУ в узком смысле. Станком с ЧПУ называют станок вместе с устройством ЧПУ.

Систему подготовки программ для управления станками можно рассматривать как систему внешней обработки информации, устройство ЧПУ — как систему внутренней ее обработки, а станок — как систему реализации программ. В систему подготовки программ включаются система технологической подготовки, электронная вычислительная или клавишные машины, устройство для нанесения программ на перфоленту или магнитную ленту, устройства для контроля программ. Система технологической подготовки состоит из методов и средств для подготовки исходных технологических данных, для настройки станка, выбора инструментов, базирования заготовки и т. д.

Из этого краткого обзора следует, что в отличие от ранее рассмотренных систем управления станками система числового программного управления вызывает значительные изменения в организации производства.

9.3. Классификация систем ЧПУ

По технологическому назначению системы ЧПУ можно разделить на позиционные, контурные и комбинированные.

Позиционная система ЧПУ предназначена для последовательных выводов координатного стола с установленной на нем заготовкой на каждую позицию обработки. Позиционными системами оснащают вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, координатно-расточные станки.

Контурные системы используются для автоматизации токарных, фрезерных, электроэрозионных и других станков, на которых обрабатывают валы, кулачки, штампы, шаблоны, гребные винты и другие детали.

По виду отработки геометрической информации, заданной в управляющей программе и реализуемой в процессе управления исполнительными органами станков, контурные системы можно разделить на прямоугольные, прямолинейные и криволинейные.

Прямоугольные системы применяются для автоматизации токарных и фрезерных станков. Например, при обработке профиля ступенчатого валика резец получает перемещения поочередно по осям X и Y как с рабочей подачей, так и ускоренные (в отличие от позиционных систем, где рабочая подача инструмента происходит только по одной оси Z).

При обработке фасонного профиля кулачка I (рис. 9.2) на вер-

тикально-фрезерном станке стол с установленной на нем заготовкой должен был бы перемещаться так, чтобы ось фрезы 2 прошла по линии 5. Эта линия представляет геометрическое место точек, расположенных на одинаковых расстояниях от точек обрабатываемого профиля, и называется *эквидистантой*. Эквидистанта образуется в результате взаимосвязанных перемещений стола по координатам, но ради удобства терминологии назовем ее траекторией оси фрезы. Системы управления современных станков с ЧПУ обеспечивают перемещение оси фрезы (или вершины резца, электрода-инструмента) только по траекториям, состоящим из отрезков прямых и дуг определенных кривых.

Одни системы могут перемещать инструмент по траекториям, состоящим из прямолинейных отрезков, другие позволяют получать эквидистанту, образованную прямолинейными отрезками и дугами окружностей. Существуют системы программного управления, заставляющие перемещаться стол так, что эквидистанта состоит только из дуг квадратных парабол. Как поступить, когда на станке требуется обработать контур с эквидистантой, отличающейся от той, которую можно получить с помощью системы ЧПУ этого станка?

В таком случае необходимо заменить теоретическую эквидистанту приближенной, состоящей только из прямолинейных отрезков, или из отрезков прямой и дуг окружностей, или из дуг квадратичной параболы, в зависимости от того, какой системой ЧПУ оснащен станок (прямолинейной или криволинейной соответствующего типа). Приближенная замена эквидистанты называется аппроксимацией.

На рис. 9.2 изображена дуга эквидистанты кулачка, аппроксимированная ломаной 6. Замена эквидистанты ломаной линией приводит к отклонениям обработанного профиля 4 от теоретического 3. Однако они не должны выходить за пределы допуска δ . Это основное условие, соблюдаемое при выполнении аппроксимации. Точки приближенной эквидистанты A, B, C, D, E , лежащие также на теоретической эквидистанте, называются *опорными точками*.

Спросим: как аппроксимировать отрезок L аппроксимирующей ломаной на оси координат. Проекции ΔX и ΔY представляют приращения координат опорных точек, являющихся концами отрезка L .

В процессе отработки программы система ЧПУ вырабатывает командные импульсы по координатам X и Y в количествах, пропор-

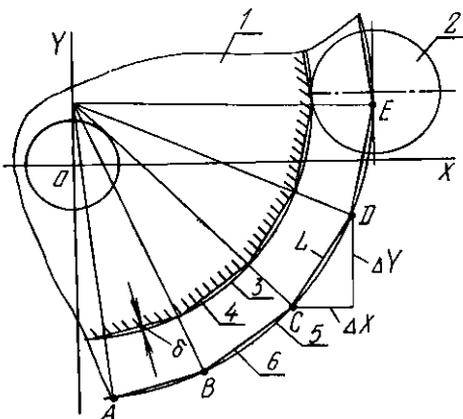


Рис. 9.2. Схема обработки кулачка на станке с контурной системой ЧПУ

циональных приращениям ΔX и ΔY , и посылают их в независимые приводы подач по обеим координатам. За одно и то же время стол с заготовкой передвигается в направлении X на величину ΔX , а в направлении Y на величину ΔY . В результате ось фрезы перемещается из опорной точки C в опорную точку D по линии, близкой к прямой. В процессе выполнения программы ось фрезы пройдет через все опорные точки. Это означает, что ее траектория образуется по правилам интерполирования (интерполяции).

На этапах подготовки управляющих программ и их реализации применяются специальные вычислительные устройства, выполняющие интерполяцию заданной эквидистанты. Они называются *интерполяторами*. Как следует из сказанного ранее, в системах ЧПУ производится линейная, линейно-круговая и другие интерполяции.

Важным признаком систем ЧПУ является число потоков информации. По этому признаку системы ЧПУ делят на разомкнутые, замкнутые и адаптивные.

9.4. Средства программного управления

Упрощенные устройства. Эти устройства предназначены для управления станками, выполняющими прямоугольную и прямолинейную обработку. Они имеют жесткую структуру, автономны для каждого станка. В упрощенных устройствах ЧПУ отсутствуют блоки стандартных циклов, цифровой индикации, коррекции преднабора, буферная память. Программа обработки детали вводится с помощью клавиш и штеккеров, имеющих на панели управления. Станки с упрощенными устройствами ЧПУ применяются на небольших предприятиях.

Устройства класса NC. Они также имеют жесткую структуру и автономны. Программа задается в коде ISO-7bit. Устройствами класса NC оснащаются токарные, фрезерные, сверлильные и другие станки основного типажа.

В зависимости от типов станков, объемов выполняемых функций и элементной базы создано большое число типов систем ЧПУ. Большинство их построено по принципу цифровой модели. Сущность его в том, что все операции, из которых складывается работа системы, выполняются отдельными ее устройствами параллельно. Некоторые системы построены по принципу универсальной цифровой машины. В этом случае все операции выполняются последовательно с помощью центрального арифметического устройства. Такие системы сложнее построенных по принципу цифровой модели, но зато более успешно решают самые сложные задачи программного управления. В последнее время системы ЧПУ строят из отдельных унифицированных устройств (агрегатов) исходя их функций, выполняемых станком, типа его приводов, уровня автоматизации.

Основными являются следующие устройства систем ЧПУ: ввода программы с перфоленты (или с магнитной ленты) и с панели

управления; ввода технологических команд (о номере инструмента, скорости вращения шпинделя, величине подачи и т. д.); ввода коррекций; буквенно-цифровой или цифровой индикации; интерpolator или устройство позиционирования (позиционер); управления приводами и т. д. Все устройства системы ЧПУ и ее структура строятся на основе методов и средств вычислительной техники.

Алгоритм работы агрегатной системы программного управления (АСПУ), построенной по принципу цифровой модели, показан

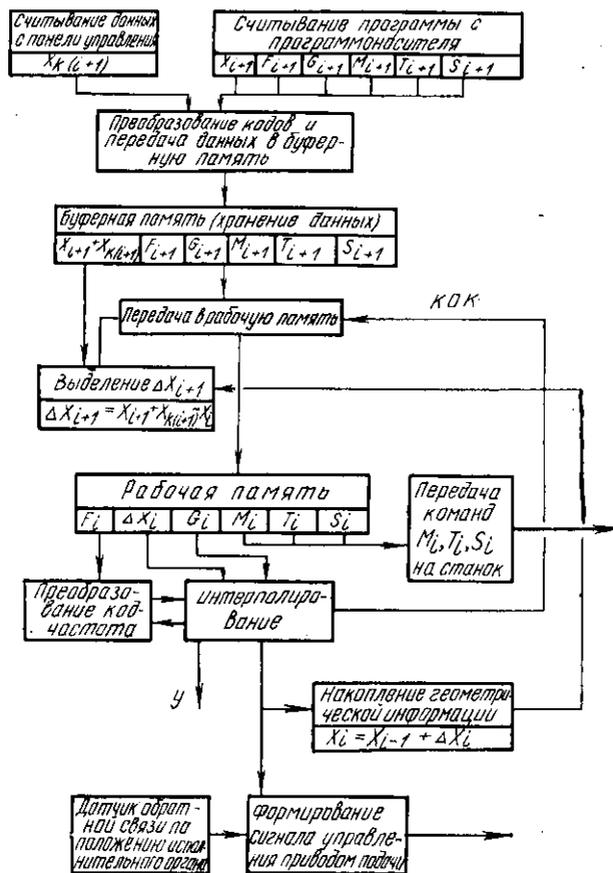


Рис. 9.3. Алгоритм работы агрегатной системы программного управления

на рис. 9.3. С перфоленты в систему вводится программа, задающая обработку последующего участка детали (с номером $i+1$). В общем случае она включает в себя величины перемещения по

координатам: X_{i+1} , Y_{i+1} и другие; код F_{i+1} величины результирующей подачи; код G_{i+1} подготовительной команды (он определяет режим работы интерполятора — обработка окружности, прямой и т. д.); код S_{i+1} скорости главного движения; код T_{i+1} номера режущего инструмента; код M_{i+1} вспомогательных команд (включение охлаждения и быстрого перемещения, смена заготовки, зажим стола и т. д.). Кроме того, в систему вводятся данные $X_{h(i+1)}$ с панели управления, предназначенные для корректирования программы, введенной с перфоленты.

Информация, поступившая от двух источников (перфоленты и панели управления), преобразуется во внутренний код системы и передается в буферную память, предназначенную для ее хранения до того момента, пока не будет закончена обработка предыдущего участка профиля (с номером i). По сигналу «Конец отработки кадра» (КОК), выдаваемому интерполятором, она из буферной поступает в рабочую память. При этом размеры, заданные в виде приращений, передаются из буферной памяти в рабочую непосредственно, так что в системе не нужны накопители геометрической информации, и она упрощается. Если в программе заданы абсолютные размеры, все равно в рабочую память передаются приращения координат ΔX_{i+1} , ΔY_{i+1} и др. При этом величины приращений определяются по введенным в буферную память данным X_{i+1} , Y_{i+1} , ..., и числам X_i , Y_i , ..., которые являются абсолютными координатами положения исполнительного органа. Эти числа появляются в накопителе геометрической информации после обработки участка детали с номером i .

Команды S , T и M передаются для выполнения в систему силового электрооборудования станка. По команде G интерполятор переключается на заданный режим работы (линейная интерполяция, круговая интерполяция, переход с быстрого хода на рабочую подачу и др.) По каждой координате (X , Y и др.) он вырабатывает определенное количество импульсов, пропорциональное приращениям ΔX_{i+1} , ΔY_{i+1} . Частотой импульсов регулируется результирующая скорость подачи исполнительного органа. Поэтому с интерполятором связан узел задания скорости, осуществляющий преобразование «код — частота», т. е. преобразование частоты вырабатываемых интерполятором импульсов в соответствии с введенным от программносителя кодом скорости подачи F_{i+1} .

Если станок имеет шаговые приводы подачи, импульсы с выходов интерполятора поступают непосредственно на коммутатор, который переключает фазы шагового двигателя. В случае других приводов они с выходов интерполятора поступают на устройства связи с приводами.

Системы класса CNC. Основой этих систем является мини-ЭВМ со свободным программированием (рис. 9.4). В то время, как обычная система NC воспринимает на входе только определенную последовательность цифровой информации, система CNC может рабо-

тать с цифровой информацией, поступающей в произвольной последовательности, и способна к изменению функций, что достигается вводом в нее нового алгоритма работы.

Вводимый в память ЭВМ алгоритм работы определяет тип интерполяции, способ коррекции размеров, подпрограмму расчета эквидистанты, адаптацию к условиям обработки и т. д. После того как с помощью программируемого алгоритма система CNC приспособлена к станку данной модели, вводятся управляющие програм-

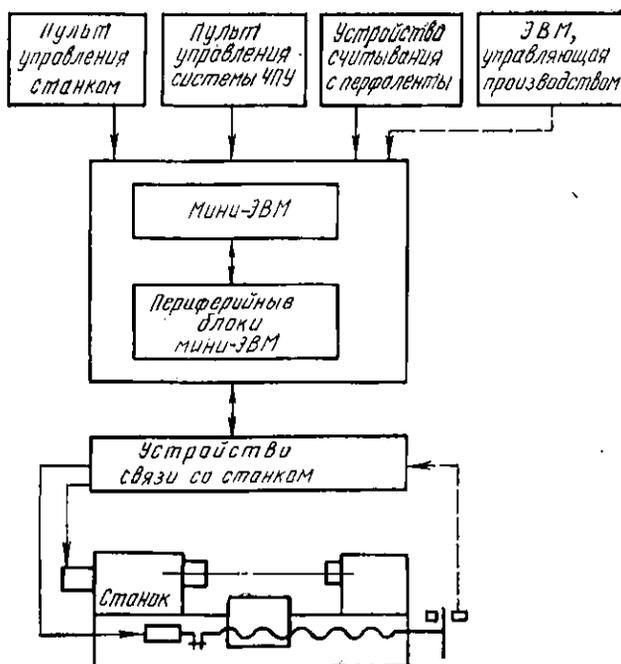


Рис. 9.4. Блок-схема систем класса CNC

мы в коде ISO-7 bit, составленные для конкретных обрабатываемых деталей. Управляющая программа считывается с перфоленты только один раз и сохраняется в памяти ЭВМ. Она может быть введена вручную с пульта устройства CNC, а после отладки записана на перфоленту, которая используется при последующей обработке таких же деталей. При наличии дисплея система CNC обладает свойством диалогового общения с оператором. Клавиатура, имеющаяся на панели устройства, позволяет непосредственно у станка выполнять контроль, отладку и редактирование программ.

Система класса CNC осуществляет все функции программного управления: позиционирование, интерполяцию, управление стандартными циклами, коррекцию режима резания и размера инстру-

мента, а также ряд дополнительных функций. К ним относятся адаптивное управление процессом обработки, диагностика неисправностей и др. В ряде систем CNC предусмотрена программа, которая дает оператору возможность следить за состоянием инструмента. Некоторые системы CNC обладают способностью накапливать информацию о погрешностях кинематических цепей станка и компенсировать их.

Благодаря широким функциональным возможностям системы CNC предназначены для управления сложными многоцелевыми

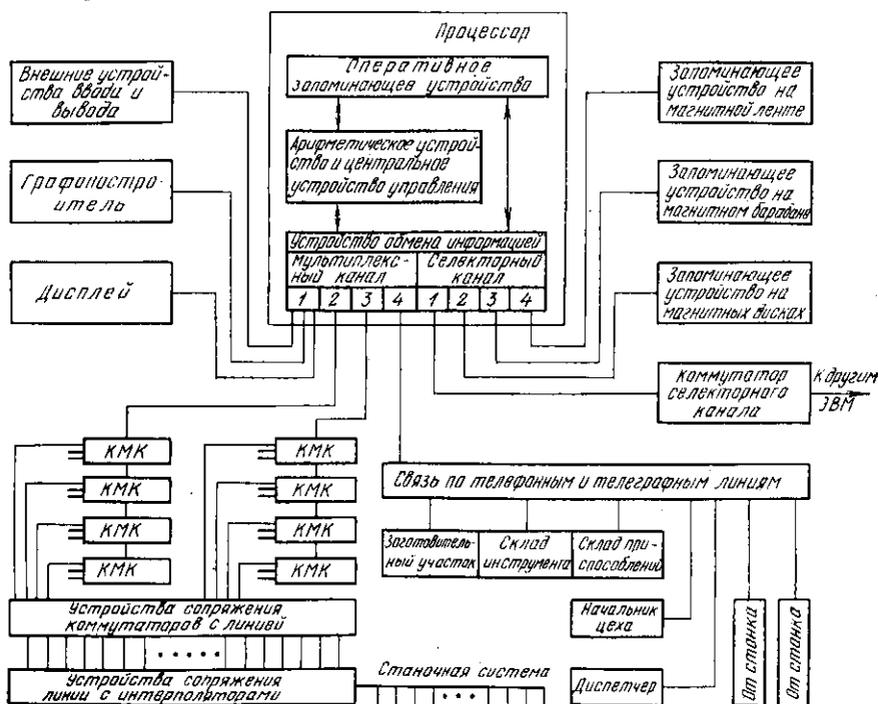


Рис. 9.5. Блок-схема систем класса DNC

станками, а также работающими в комплексе с ними промышленными роботами, измерительными машинами и другими автоматическими устройствами.

Системы класса DNC. Они относятся (рис. 9.5) к системам непосредственного управления от ЭВМ группой станков с ЧПУ (под непосредственным управлением подразумевается система, в которой передача информации от ЭВМ к станку выполняется по каналам связи). Программы обработки деталей хранятся на магнитных дисках и вызываются с пульта управления станком.

Управление группой или участком станков от одной ЭВМ харак-

теризуется тем, что достигается автоматизация не только процесса непосредственной обработки деталей, но и подготовки программ, управление транспортировкой заготовок, деталей и инструментов, диспетчеризация работы участка и др.

В зависимости от структуры системы DNC можно разделить на три группы. В системе первой группы ЭВМ управляет станками с обычными системами ЧПУ, в которых имеются блоки для приема информации от ЭВМ. Такие системы просты по исполнению и сконструированы в основном из серийно выпускаемых устройств. Несмотря на это, их надежность обеспечить затруднительно, что объясняется большим количеством электронного оборудования и его разбросанностью на большой площади.

Вторую группу образуют системы DNC, в которых устройства ЧПУ отсутствуют, а управление станками производится с помощью многопрограммных интерполяторов. В таких системах на каждый станок приходится значительно меньше электронного оборудования. Они надежны в работе, но из-за необходимости разработки специальных сложных интерполяторов сроки их проектирования увеличиваются.

В системах DNC третьей группы интерполяция выполняется мини-ЭВМ.

С целью лучшего использования ЭВМ их функции распределяют между несколькими ЭВМ разных уровней. Например, расчет управляющих программ выполняется ЭВМ высшего уровня. Функции хранения и распределения программ могут быть возложены на ЭВМ среднего уровня. Распределение информации между устройствами ЧПУ производится ЭВМ низшего уровня.

9.5. Кодирование информации

Запись программы фразами и кадрами. На перфоленте программа может быть записана фразами и кадрами. Фраза представляет команду для рабочих органов станка, которая обеспечивает обработку элементарного участка детали (одного отверстия в корпусной детали, одной шейки вала, элементарного участка фасонного контура). Фраза состоит из слов, и длина ее зависит от их числа (рис. 9.6, а). Каждое слово определяет работу того или иного органа станка: приводов по осям X , Y , Z , механизма смены инструментов и др. Один из способов записи фразами характеризуется тем, что последовательность информации во фразе фиксирована, а вместо слов, повторяющихся из предыдущей фразы, ставится знак табуляции (ТАВ). При другом способе записи каждое слово содержит определенный адрес, поэтому слова можно записывать в любом порядке.

Кадр программы представляет фразу постоянной длины, в которой длина слов и их порядок строго постоянны (рис. 9.6, б). В том случае, когда в данном кадре не требуется задать информацию для

какого-либо рабочего органа, в соответствующем его месте фиксируется слово, состоящее из нулей.

Представление программы в коде ISO-7bit. Код ISO-7bit (рис. 9.7) служит для записи программы на восьмидорожечной перфоленте. Его символами являются цифры 0, 1, ..., 9, буквы латинского алфавита A, B, C, ..., Z, некоторые знаки (+, -, %) и др. Код ISO-7 bit позволяет задавать значительно больше команд управления по сравнению с кодом БЦК-5 и поэтому используется для программирования обработки на сложных станках с ЧПУ, в частности на многоцелевых.

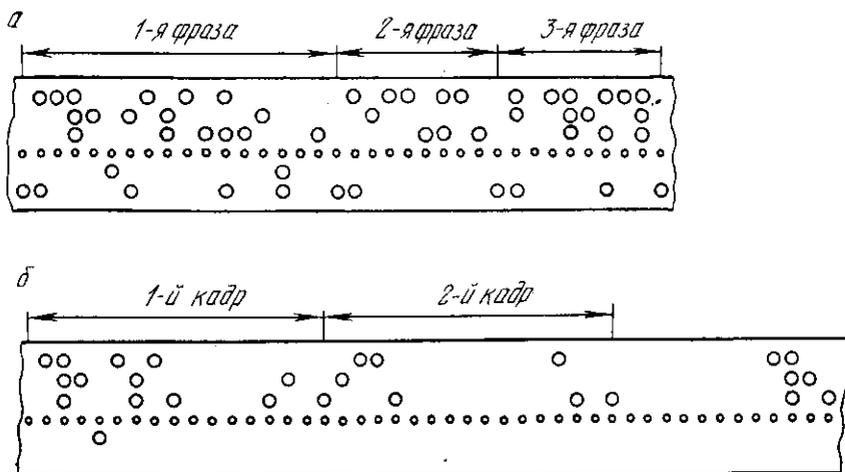


Рис. 9.6. Схемы записи программы:
а — фразами; б — кадрами

Подача s кодируется буквой F и двумя цифрами (00, 01, 02, ..., 99), которые представляют $\log_{1,12} s$. Кодом F00 задается остановка, кодом F99 — быстрый ход. Аналогично кодируется частота вращения шпинделя, причем его остановка задается кодом S00.

Вспомогательные команды задаются буквой M и двумя последующими цифрами (табл. 9.1). Эти команды определяют действия, производимые станком. Выполнение команды должно быть подтверждено станком. Каждый станок способен выполнять определенную совокупность команд группы M.

Режимы работы системы ЧПУ задаются буквой G и двумя последующими цифрами (табл. 9.2). В группе G имеется 100 команд, которые могут быть разделены на следующие группы:

- G00—G09 — команды общего порядка;
- G10—G39 — команды, определяющие особенности непрерывной обработки;
- G40—G59 — коррекция размеров инструментов;
- G60—G79 — вид работы;

Дорожки							Позиция цифры	Наименование
8	7	6	5	4	3	2		
●								0 Цифра 0
●	●	●	●	●	●	●	●	1 Цифра 1
●	●	●	●	●	●	●	●	2 Цифра 2
●	●	●	●	●	●	●	●	3 Цифра 3
●	●	●	●	●	●	●	●	4 Цифра 4
●	●	●	●	●	●	●	●	5 Цифра 5
●	●	●	●	●	●	●	●	6 Цифра 6
●	●	●	●	●	●	●	●	7 Цифра 7
●	●	●	●	●	●	●	●	8 Цифра 8
●	●	●	●	●	●	●	●	9 Цифра 9
●	●	●	●	●	●	●	●	A Угловой размер относительно оси X
●	●	●	●	●	●	●	●	B Угловой размер относительно оси Y
●	●	●	●	●	●	●	●	C Угловой размер относительно оси Z
●	●	●	●	●	●	●	●	D Угловой размер относительно специальной оси или третья подача
●	●	●	●	●	●	●	●	E Угловой размер относительно специальной оси или вторая подача
●	●	●	●	●	●	●	●	F Подача
●	●	●	●	●	●	●	●	G подготовительная операция (режим работы ЧПУ)
●	●	●	●	●	●	●	●	H команда постоянно не закреплена (резерв)
●	●	●	●	●	●	●	●	I не закреплена
●	●	●	●	●	●	●	●	J не закреплена
●	●	●	●	●	●	●	●	K не закреплена
●	●	●	●	●	●	●	●	L команда постоянно не закреплена (резерв)
●	●	●	●	●	●	●	●	M вспомогательная операция
●	●	●	●	●	●	●	●	N порядковый номер
●	●	●	●	●	●	●	●	O не используется
●	●	●	●	●	●	●	●	P Размер третичного движения, параллельного оси X
●	●	●	●	●	●	●	●	Q Размер третичного движения, параллельного оси Y
●	●	●	●	●	●	●	●	R Размер быстрого перемещения по оси Z или размер третичного движения, параллельного оси Z
●	●	●	●	●	●	●	●	S Скорость шпинделя (обороты)
●	●	●	●	●	●	●	●	T Смена инструмента (его номер)
●	●	●	●	●	●	●	●	U Размер вторичного движения, параллельного оси X
●	●	●	●	●	●	●	●	V Размер вторичного движения, параллельного оси Y
●	●	●	●	●	●	●	●	W Размер вторичного движения, параллельного оси Z
●	●	●	●	●	●	●	●	X Размер первичного движения по оси X
●	●	●	●	●	●	●	●	Y Размер первичного движения по оси Y
●	●	●	●	●	●	●	●	Z Размер первичного движения по оси Z
●	●	●	●	●	●	●	●	· Установка в исходную точку (восстановление информации, например, установка обратной перемотки до заданного положения на ленте)
●	●	●	●	●	●	●	●	+ Плюс
●	●	●	●	●	●	●	●	- Минус
●	●	●	●	●	●	●	●	±ab Табуляция (горизонтальная - вдоль строки GT)
●	●	●	●	●	●	●	●	/ Произвольный пропуск блока, фразы
●	●	●	●	●	●	●	●	% Начало программы
●	●	●	●	●	●	●	●	LF Конец блока, фразы или кадра (первой строки ПС)
●	●	●	●	●	●	●	●	(Не для управления
●	●	●	●	●	●	●	●) Относится к воспрямителю команды ленты системой ЧПУ
●	●	●	●	●	●	●	●	Del Строка не читается (забой 3б)

Рис. 9.7. Код ISO-7 bit

Табл. 9.1. Вспомогательные функции M

Код команды	Наименование функции	Примечание
1	2	3
M00	Запрограммированный стоп	Останов шпинделя, охлажденный после завершения отработки фразы. Действие команды прекращается нажатием соответствующей кнопки
M01	Останов с подтверждением	То же, что и M00, но при подтверждении путем нажатия соответствующей кнопки
M02	Конец программы	
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке	
M04	То же, против часовой стрелки	
M05	Останов шпинделя	
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента не включает выбор инструмента по его коду, который задается адресом T
M07	Включение охлаждения № 2	Охлаждение туманом
M08	Включение охлаждения № 1	Охлаждение жидкостью
M09	Выключение охлаждения	
M10	Зажим	Может относиться к инструменту, столам, заготовке, зажимному приспособлению, шпинделю и т. п.
M11	Отжим	Может относиться к инструменту, столам, заготовке, зажимному приспособлению, шпинделю и т. п.
M12	Резерв	
M13	Вращение шпинделя по часовой стрелке и включение охлаждения	
M14	То же, но против часовой стрелки	
M15	Быстрое перемещение в направлении «плюс»	
M16	То же, в направлении «минус»	
M17—M18	Резерв	
M19	Останов шпинделя в определенном угловом положении	
M20—M29	Резерв	
M30	Конец ленты	То же, что и M02, но с переходом на работу со вторичным считывающим устройством
M31	Обход блокировки	Временный обход блокировки, имеющийся в системе управления

Окончание

1	2	3
M32—M35 M36	Резерв Диапазон подач №1	Включение соответствующих механических приборов
M37 M38	Диапазон подач № 2 Диапазон скорости № 1	То же
M39	Диапазон скорости № 2	Включение соответствующих механических приборов
M40—M45	Резерв	Используется при необходимости для дополнительных переключений коробки передач
M46—M49 M50	Резерв Включение охлаждения № 3	Включение дополнительного охлаждения или других аналогичных функций
M52—M54 M55	Резерв Линейное смещение инструмента в фиксированное положение № 1	Положение определяется жесткими механическими или другими упорами
M56 M57—M59	То же, в положение № 2 Резерв	То же
M60 M61	Смена заготовки Линейное смещение заготовки в фиксированное положение № 1	Положение определяется электрическими, механическими или другими упорами
M62 M63—M67	То же, в положение № 2 Резерв	То же
M68 M69 M70 M71	Зажим заготовки Отжим заготовки Резерв Угловое смещение заготовки в фиксированное положение № 1	Положение определяется электрическим, механическим или другим упором
M72 M73—M77	То же, в положение № 2 Резерв	То же
M78 M79 M80—M99	Зажим стола Отжим стола Резерв	

G80—G99 — стандартные автоматические циклы.

Каждая система ЧПУ может выполнять лишь некоторую часть из списка команд группы G.

Расположение информации в кадре программы называется *форматом кадра*. Например, для системы ЧПУ «Размер-2М» формат кадра имеет вид

N3. G2. X+33. Y+33. Z+32. B32. F2. S2. T2. M2. LF,

где N3 — номер кадра из трех цифр (001, 002 и т.д.);

G2 — код режима работы системы ЧПУ, записанный двумя цифрами (G00, G01, G02 и т. д.);

Табл. 9.2. Подготовительные функции G

Код команды	Наименование функции	Примечание
1	2	3
G00	Позиционирование	
G01	Линейная интерполяция	
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке	
G03	То же, против часовой стрелки	
G04	Задержка в отработке на определенное время	Длительность времени задержки задается с пульта управления или от программы
G05	Временный стоп	Длительность остановки не ограничена. Снова в работу включается нажатием кнопки
G06—G07	Резерв	
G08	Разгон	Плавное увеличение скорости до запрограммированного значения
G09	Замедление в конце кадра	То же, замедление
G10	Линейная интерполяция (удлиненный размер)	
G11	То же (укороченный размер)	
G12	Трехкоординатная интерполяция	
G13—G16	Выбор осей координат	Обеспечивает подключение СЧПУ к соответствующим координатам перемещения, указанным в программе
G17	Плоскость круговой интерполяции XY	
G18	Плоскость круговой интерполяции XZ	
G19	Плоскость круговой интерполяции YZ	
G20—G24	Резерв	
G25	Начало отсчета координат	Установка «нуля» в любой точке координатного перемещения
G26—G29	Резерв	
G30—G32	Резерв	
G33	Нарезание резьбы с постоянным шагом	Используется при нарезании резьбы резцом
G34	То же, с увеличивающимся шагом	То же
G35	То же, с уменьшающимся шагом	«
G36—G39	Резерв	
G40	Отмена коррекции размера режущего инструмента	
G41	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при контурном управлении (левая)	Инструмент находится слева от обрабатываемого контура
G42	То же, правая	То же, справа

Окончание

1	2	3
G43	Коррекция диаметра или радиуса инструмента положительная	Используется при прямоугольном формообразовании
G44	То же, отрицательная	То же
G45—G52	Коррекция размера инструмента	Используется при прямоугольном управлении для указания о прибавлении или вычитании по осям координат установленных величин. Например, G45 соответствует $+/-/+$, G46 соответствует $-/-/-$ и т. д.
G53	Отмена линейного сдвига G54—G59	
G54	Линейный сдвиг по X	
G55	Линейный сдвиг по Y	
G56	Линейный сдвиг по Z	
G57	Линейный сдвиг в плоскости XY	
G58	Линейный сдвиг в плоскости XZ	
G59	Линейный сдвиг в плоскости YZ	
G60	Точное позиционирование № 1	
G61	Точное позиционирование № 2	
G62	Быстрое позиционирование (грубое)	
G63	Нарезание резьбы метчиком	
G64	Переход с быстрого хода на рабочую подачу или наоборот	
G65—G69	Резерв (только для позиционирования)	
G70—G79	Резерв	
G80	Отмена постоянного цикла	
G81—G89	Постоянные циклы	
G90	Абсолютный размер	
G91	Размер в приращениях	
G92	Установка абсолютных накопителей положения	
G93	Резерв	
G94	Подача, мм/мин	
G95	Подача, мм/об	
G96	Скорость резания	
G97	Обороты в минуту (шпиндель)	
G98—G99	Резерв	

X — перемещение вдоль оси X;

+ (или —) — знак направления перемещения;

33 — величина координаты X, записанная шестью цифрами (три цифры выражают сотни, десятки и единицы миллиметров, три другие цифры — десятые, сотые и тысячные доли миллиметра);

Y — перемещение вдоль оси Y;

- 33 — величина координаты Y , записанная шестью цифрами (аналогично записи координаты X);
 Z — перемещение вдоль оси Z ;
 32 — величина координаты Z , записанная пятью цифрами (три цифры выражают сотни, десятки и единицы миллиметров, две цифры — десятые и сотые доли миллиметра);
 B — поворот стола с деталью вокруг оси Y ;
 32 — величина угловой координаты, записанная пятью цифрами (три цифры выражают сотни, десятки и единицы градусов, две цифры — десятые и сотые доли градуса);
 $F 2$ — код скорости подачи, записанный двумя цифрами ($F00$, $F01$, $F02$ и т. д.);
 $S 2$ — код скорости главного движения, содержащий две цифры ($S00$, $S01$, $S02$ и т. д.);
 $T 2$ — код (шифр) режущего инструмента, содержащий две цифры ($T01$, $T02$ и т. д.);
 $M 2$ — код вспомогательной команды, содержащий две цифры ($M00$, $M01$, $M02$ и т. д.);
 LF — конец фразы, кадра, перевод или перенос строки.

9.6. Устройства ввода информации

Устройство ввода информации систем ЧПУ представляет функционально замкнутую часть. Оно выполняет следующие функции: ввод информации от перфоленты и ручных переключателей; ввод коррекции на геометрическую информацию; дешифрация вводимой информации; контроль вводимой информации и индикация сбоя;

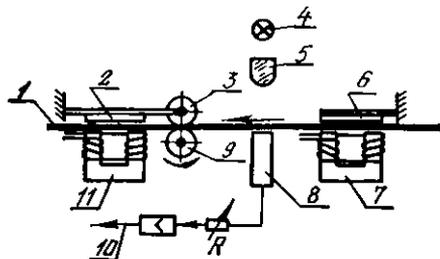


Рис. 9.8. Фотосчитывающее устройство

преобразование геометрической информации из двоично-десятичного кода в двоичный; память скорости главного движения, вспомогательных функций, номера кадра, номера коррекции и др.

Для считывания информации с перфоленты обычно используется фотоэлектрическое считывающее устройство ФСУ (рис. 9.8.). Протягивание перфоленты 1 производится роликами — транспортным 9 и прижимным 3 . Первый из них получает непрерывное вращение от электродвигателя (на схеме не показанного), а второй прижимается к ленте 2 электромагнита 11 после получения команды на протягивание. В конце цикла протягивания при включении магнита 7 производится ее торможение якорем 6 . Считывание информации осуществляется фотоэлектрическим способом при освещении

щенни ленты полоской света от лампочки 4 и линзы 5. Сигналы, вырабатываемые фотодиодами 8, после усиления и формирования поступают на информационный выход 10.

Фотосчитывающее устройство может работать в следующих режимах: 1) покадрового считывания, когда по сигналу на протягивание лента перемещается на длину одного кадра; 2) построчного считывания, когда по сигналу лента перемещается на одну строку и останавливается; этот режим используется при наладке станка; 3) перемотки, при которой лента непрерывно перемещается в обратном направлении до знака начала программы.

9.7. Устройства интерполяции

Линейная интерполяция и линейный интерполятор. Предположим, что произведена линейная аппроксимация криволинейного контура, т. е. он заменен ломаным, состоящим из линейных отрезков (рис. 9.9, а). При подготовке управляющей программы линейные отрезки заменяют приращениями координат ΔX и ΔY . Последние выражают количеством электрических импульсов N_X и N_Y , которые должны быть поданы в приводы станка для получения перемещений ΔX и ΔY :

$$N_X = \frac{\Delta X}{\delta X};$$

$$N_Y = \frac{\Delta Y}{\delta Y},$$

где δX и δY —цена импульсов по координатам X и Y соответственно.

Величины N_X и N_Y записываются двоичным или двоично-десятичным кодом на перфоленте. Интерполятор вырабатывает электрические импульсы для управления приводами станка. При этом за одно и то же время по координате X будет выдано N_X импульсов, по координате Y — N_Y импульсов. В результате инструмент будет перемещаться по ступенчатой траектории, близкой к линейному отрезку. Начальная и конечная точки ступенчатой траектории обязательно совпадают с соответствующими точками линейного отрезка.

Двухкоординатный линейный интерполятор работает следующим образом (рис. 9.9, б). Генератор импульсов Γ заполняет до переполнения делитель частоты, состоящий из трех триггеров T_1 , T_2 , T_3 . На T_3 поступает восемь импульсов, на T_2 — четыре, на T_1 — два. Импульс, снимаемый с выхода триггера T_1 , отключает генератор. На элементы I_{4X} и I_{4Y} поступает по восемь импульсов, на I_{3X} и I_{3Y} — по четыре, на I_{2X} и I_{2Y} — по два, на I_{1X} и I_{1Y} — по одному импульсу. На их входы поступают сигналы, вырабатываемые в соответствии с информацией, записанной на программоносителе.

Предположим, что на перфоленте записано: $N_X = 9$, $N_Y = 12$. При вводе программы напряжение будет подано на вторые входы эле-

ментов I_{4X} и I_{1X} , I_{4Y} и I_{3Y} . В результате на схему сложения ИЛИ_X поступят восемь импульсов с элемента I_{4X} и один с элемента I_{1X} , а всего $8 + 1 = 9 = N_X$ импульсов. На схему ИЛИ_Y поступят восемь импульсов с I_{4Y} и четыре с I_{3Y} , а всего $8 + 4 = 12 = N_Y$ импульсов.

Частота импульсов на выходах интерполятора определяется частотой генератора, которая задается при программировании. Интер-

а

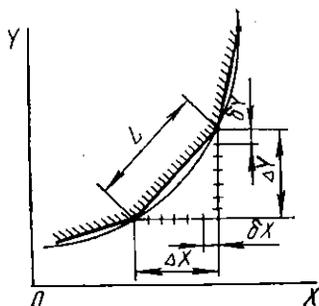
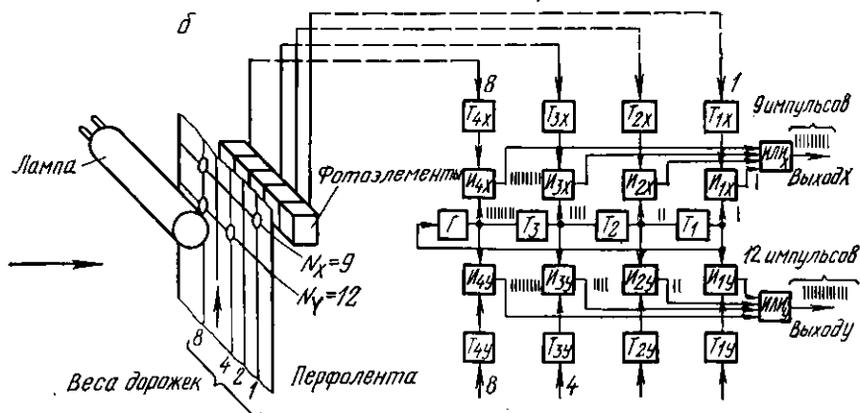


Рис. 9.9. Принцип линейной интерполяции:
а — схема линейной аппроксимации фасонного контура детали; б — линейный интерполятор



поляторы могут вырабатывать импульсы одновременно по двум, трем, четырем и пяти координатам.

Линейно-круговая интерполяция. Линейная аппроксимация эквидистанты позволяет применять для управления станком линейный интерполятор. Так как большинство деталей машин очерчены прямыми и дугами окружностей, объем работы программиста при ручном программировании может быть уменьшен, если производить аппроксимацию эквидистанты отрезками прямой и дугами окружностей. В этом случае каждая дуга окружности задается всего лишь одним кадром, программа занимает меньше строк на перфоленте, напряженность работы считывающего устройства ниже.

Кроме того, при линейно-круговой аппроксимации снижается шероховатость обработанной поверхности.

Заменив эквидистанту отрезками прямой и дугами окружности, необходимо в систему ЧПУ ввести линейно-круговой интерполятор. Во многие устройства ЧПУ включен линейно-круговой интерполятор, работающий по методу оценочной функции.

Имеются два метода интерполяции с оценочной функцией: 1) с раздельными шагами по координатам; 2) с прогнозирующим шагом.

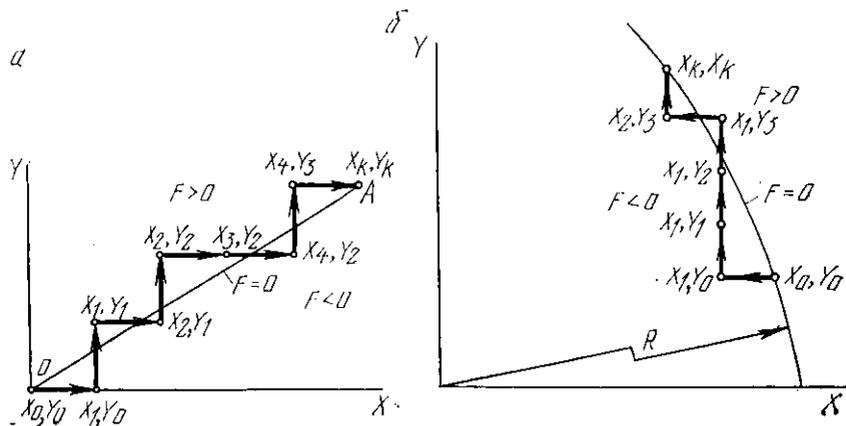


Рис. 9.10. Интерполяция по методу оценочной функции

Рассмотрим линейную интерполяцию с раздельными шагами по координатам. Пусть в относительной системе координат начало интерполируемого отрезка OA (рис. 9.10, а) и начальная точка траектории интерполяции находятся в начале координат. Если координаты промежуточной точки траектории интерполяции обозначить X_i, Y_j , то оценочная функция для отрезка OA определяется по формуле

$$F_{ij} = Y_j X_k - X_i Y_k.$$

Выше интерполируемой прямой $F = F_{ij} > 0$, ниже $F < 0$, на самом интерполируемом отрезке $F = 0$.

После каждого шага величиной в одну дискрету интерполятор вычисляет значение оценочной функции и выдает импульс по той из осей, движение по которой приближает инструмент к интерполируемому отрезку. Следовательно, если промежуточная точка с координатами X_i, Y_j находится в области $F \geq 0$, шаг на одну дискрету дается по оси X ; если же эта точка находится в области $F < 0$, импульс дается по оси Y . Интерполяция продолжается до тех пор, пока траектория инструмента в виде дискретных шагов не достигнет конца интерполируемого отрезка.

При шаге по оси X из точки X_i, Y_j ее абсцисса увеличивается на единицу:

$$X_{i+1} = X_i + 1$$

и

$$F_{i+1,j} = Y_j X_h - X_{i+1} Y_h = Y_j X_h - (X_i + 1) Y_h = Y_j X_h - X_i Y_h - Y_h = F_{ij} - Y_h. \quad (9.1)$$

При шаге по оси Y ордината точки увеличивается на единицу:

$$Y_{j+1} = Y_j + 1$$

и

$$F_{i,j+1} = Y_{j+1} X_h - X_i Y_h = (Y_j + 1) X_h - X_i Y_h = Y_j X_h - X_i Y_h + X_h = F_{ij} + X_h. \quad (9.2)$$

Так как начальное значение оценочной функции равно нулю, из зависимостей (9.1) и (9.2) следует, что во всех промежуточных точках ее значения определяются величинами X_h и Y_h .

Круговую интерполяцию с раздельными шагами по координатам рассмотрим на примере обработки дуги окружности радиуса R (рис. 9.10, б) с центром в начале координат, расположенной в первом квадранте. Интерполяция производится в направлении против часовой стрелки от начала отрезка с координатами X_0, Y_0 к конечной точке с координатами X_h, Y_h . Если координаты промежуточной точки обозначить X_i, Y_j , оценочная функция для дуги окружности определяется по формуле

$$F_{ij} = X_i^2 + Y_j^2 - R^2.$$

Вне окружности $F = F_{ij} > 0$, внутри $F < 0$, на самой окружности $F = 0$.

Из точки X_0, Y_0 первый шаг дается по оси X в направлении «минус», следующий — по оси Y . Если в дальнейшем промежуточная точка с координатами X_i, Y_j находится в области $F \geq 0$, следующий шаг выдается по оси X , в области $F < 0$ — по оси Y .

При шаге по оси X абсцисса точки уменьшается на единицу, по оси Y — ордината увеличивается на единицу:

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i - 1; \\ Y_{j+1} &= Y_j + 1. \end{aligned}$$

При этом

$$\begin{aligned} F_{i+1,j} &= X_{i+1}^2 + Y_j^2 - R^2 = (X_i - 1)^2 + Y_j^2 - R^2 = \\ &= X_i^2 - 2X_i + 1 + Y_j^2 - R^2 = F_{ij} - 2X_i + 1; \end{aligned} \quad (9.3)$$

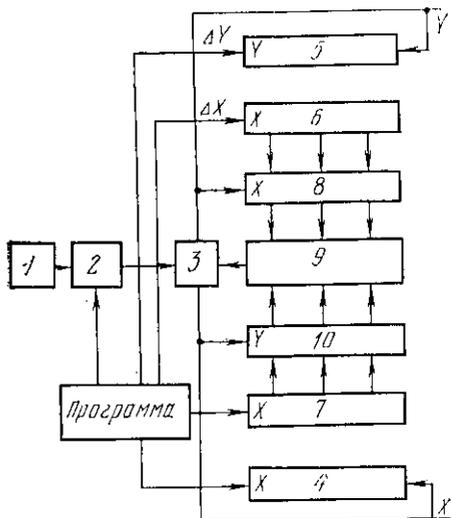
$$\begin{aligned} F_{i,j+1} &= X_i^2 + Y_{j+1}^2 - R^2 = X_i^2 + (Y_j + 1)^2 - R^2 = \\ &= X_i^2 + Y_j^2 + 2Y_j + 1 - R^2 = F_{ij} + 2Y_j + 1. \end{aligned} \quad (9.4)$$

Так как начальное значение оценочной функции равно нулю, из зависимостей (9.3) и (9.4) следует, что во всех промежуточных точках

как ее значения определяются текущими значениями траектории интерполяции.

Принципиальная схема интерполятора, работающего по методу оценочной функции, изображена на рис. 9.11. В начале отработки элементарного перемещения значения ΔX и ΔY вводятся в счетчики 6 и 7. Импульсы от генератора 1 через блок задания скорости 2 поступают на блок 3, предназначенный для определения знака оценочной функции. При неотрицательном ее значении импульс идет на выход X, открывая клапаны 10. При этом из накопителя 9 вычитается значение ΔY . При отрицательном значении оценочной функции импульс следует на выход Y, открывая клапаны 8. При этом в накопителе прибавляется значение ΔX . Конец отработки кадра определяется счетчиками 4 и 5.

Интерполяция по методу оценочной функции с прогнозирующим шагом (рис. 9.12) состоит в том, что из точки в соответствии со знаком оценочной функции в ней сначала делается теоретический шаг, называемый прогнозирующим (двойные стрелки), определяется знак оценочной функции в предполагаемой точке, а затем по ее знаку дается действительный шаг (одинарные стрелки). Па-



9.11. Схема интерполятора, работающего по методу оценочной функции

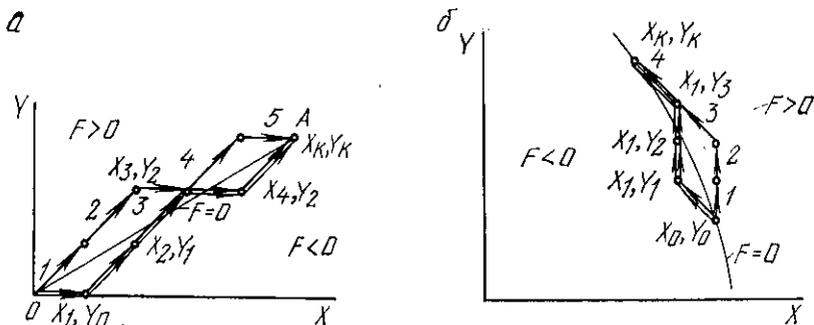


Рис. 9.12. Схемы интерполяции по методу оценочной функции с прогнозирующим шагом:

а — линейной; б — круговой

пример, при линейной интерполяции наибольшая координата выбирается в качестве ведущей, остальные являются ведомыми. По ведущей координате прогнозирующий шаг производится в каждом вычислительном периоде, а при $F_{ij} < 0$ одновременно дается шаг и по меньшей координате, т. е. по диагонали. Преимущество метода прогнозирующего шага заключается в отсутствии накопленной ошибки при интерполяции прямой, расположенной под углом 45° , а также малой по длине дуги окружности большого радиуса.

9.8. Разомкнутые приводы подачи

Электрический шаговый двигатель. Основой разомкнутого привода подачи является электрический шаговый двигатель (рис. 9.13, а), его ротор 1 вращается прерывисто. Один импульс тока, поступающий в обмотку статора 2, вызывает поворот ротора на небольшой угол, называемый *шагом*. Например, шаг может быть равным $1,5^\circ$.

Полюса 3 статора представляют электромагниты и вдоль оси двигателя разделены на три секции — I, II, III. Напряжение может

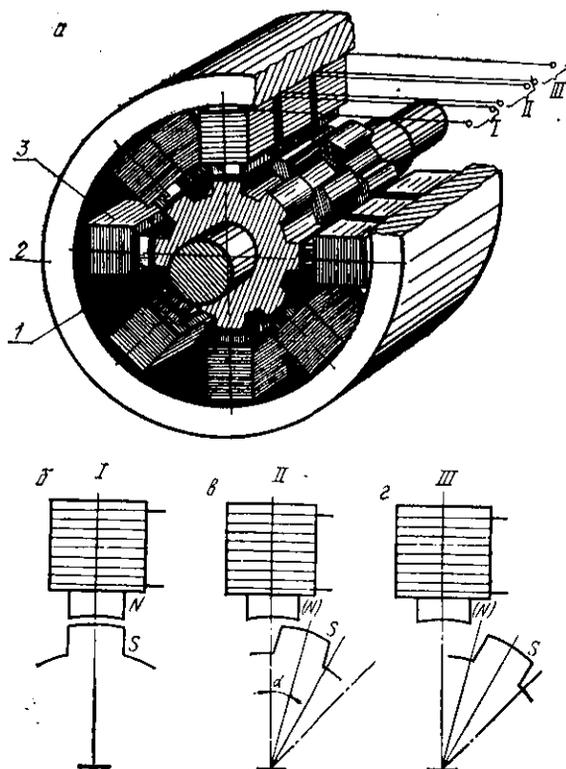


Рис. 9.13. Электрический шаговый двигатель

быть подано на обмотку одной секции при выключенных остальных. При этом полярность полюсов в ней чередуется: $N - S - N - S$ и т. д.

Ротор двигателя также состоит из трех секций полюсов, которые являются постоянными магнитами. Внутри секции полярность полюсов чередуется. Вторая секция повернута относительно первой, а третья относительно второй на $1/3$ полюсного угла.

Допустим, что в начальный момент через обмотку первой секции статора протекает постоянный ток, т. е. ток с нулевой частотой. Магнитным полем, создаваемым этим током, ротор двигателя удерживается в покое, и против полюсов первой секции статора точно устанавливаются полюса ротора, имеющие противоположную полярность (рис. 9.13, б). В этот момент полюса второй и третьей секций ротора расположены так, как показано на рис. 9.13, в, г. Если снять напряжение с первой секции статора и подать его на вторую, вследствие отталкивания одноименных полюсов магнитов и притяжения противоположных ротор повернется на шаг α , равный $1/3$ полюсного угла. Полюса вторых секций ротора и статора окажутся точно друг под другом. Если теперь отключить вторую секцию и включить третью, ротор совершит еще один шаговый поворот.

При переключениях с первой секции на вторую, со второй на третью, с третьей снова на первую и так далее ротор вращается против часовой стрелки. Если переключение происходит с первой секции на третью, а затем на вторую, он вращается в противоположном направлении. Скорость вращения ротора определяется частотой поступающих в двигатель импульсов тока. Общий угол его поворота задается количеством импульсов, входящих в серию, и определяет величину перемещения рабочего органа станка в ответ на эту серию.

Для шагового двигателя характерны импульсное возбуждение обмоток статора, неравномерное вращение магнитного поля, а вследствие этого возможность резонансных режимов работы, которые сопровождаются увеличением амплитуды колебаний ротора, ухудшением качества обработанной поверхности и снижением точности обработки.

При малых возмущениях состояния устойчивого равновесия частота собственных колебаний ротора шагового двигателя (рад/с).

$$\omega_c = \sqrt{\frac{M_{\max} z_p}{I_p + I_n}}$$

где M_{\max} — максимальный крутящий момент на валу шагового двигателя;

z_p — число зубцов его ротора;

I_p — момент инерции ротора двигателя;

I_n — момент инерции нагрузки, приведенный к валу двигателя.

Величина ω_c соответствует частоте управляющего воздействия $f_c = \omega_c / 2\pi \approx 0,135\omega_c$.

Когда ротор шагового двигателя находится в установившемся движении и частота управляющих импульсов f_y небольшая, поворот ротора на шаг сопровождается свободными колебаниями, а при больших величинах f_y ($f_y > 2f_c$) — вынужденными колебаниями. При $f_y = kf_c$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) возникает электромеханический резонанс. Для сглаживания качаний ротора шаговые двигатели снабжаются демпферами сухого или вязкого трения.

При изменении частоты управляющих импульсов (пуск, внезапное торможение, внезапный реверс) наступает переходный режим работы шагового двигателя. Переходные режимы должны отрабатываться без потери информации. Однако при определенных условиях такая потеря возможна. Например, при пуске, когда частота управляющих импульсов скачкообразно возрастает от нуля, часть первых импульсов может быть не обработана двигателем. Вследствие этого часть информации будет потеряна. Важной характеристикой шагового двигателя является присместость, которая представляет начальную частоту управляющих импульсов, обрабатываемых двигателем при пуске без потери информации. Присместость уменьшается с ростом крутящего момента на валу двигателя.

Схемы шаговых приводов. При небольшом тяговом усилии в приводе подачи применяют шаговый двигатель без дополнительного усиления крутящего момента. В этом случае шаговый двигатель играет роль силового, а шаговый привод называется силовым.

В средних и крупных станках, когда тяговое усилие становится значительным, используются шаговые двигатели вместе с гидроусилителем крутящего момента. Такой привод, называемый шаговым электрогидравлическим, обеспечивает достаточно большой крутящий момент и одновременно обладает хорошими динамическими свойствами.

Наряду с поворотными применяются и линейные электрогидравлические шаговые приводы, в которых вращение шагового двигателя с помощью винтовой передачи преобразуется в поступательное перемещение следящего золотника, управляющего гидроцилиндром подачи рабочего органа. Благодаря исключению из привода гидродвигателя, редуктора, силовой шариковой винтовой пары его надежность значительно повышается.

Основными элементами электрогидравлического шагового привода являются электрический шаговый двигатель, гидроусилитель крутящих моментов, насосная установка. Гидроусилитель типа Э32Г18-23, работающий в паре с высокочастотным двигателем ШД5-Д1, имеет осевой золотник, узел сравнения которого состоит из винта 9 и гайки 8 (рис. 9.14). Винт может поворачиваться относительно золотника 10 (для этого служат подшипники), но не может перемещаться относительно него в осевом направлении. Напрессованное на золотник кольцо подшипника 5 имеет выступ, вхо-

дящий в шпоночный паз детали 6, благодаря чему золотник не может вращаться в гильзе.

В начальный момент, когда ротор шагового двигателя 7 находится в покое, золотник установлен в среднем положении относительно гильзы 4 и масло под давлением поступает в обе полости гидродвигателя 1, в результате чего его ротор 2 не может вращаться. При поступлении в шаговый двигатель электрического импульса ротор поворачивается и поворачивает гайку 8. В результате винт вместе с золотником перемещается в осевом направлении, и только одна полость гидродвигателя оказывается соединенной с линией нагнетания. Вал гидродвигателя поворачивается в том же направлении, куда повернулись ротор шагового двигателя и гайка. При этом он через шлицевую втулку 3 и штифт передает вращение на винт 9, в результате чего последний ввинчивается в гайку 8 или вывинчивается из нее, т. е. перемещается в осевом направлении. Если в шаговый двигатель поступил только один импульс тока и его ротор остановился, золотник будет перемещаться в осевом направлении до тех пор, пока не окажется в среднем положении, что приведет к остановке вала двигателя. Следовательно, последний также вращается шагами. При частоте

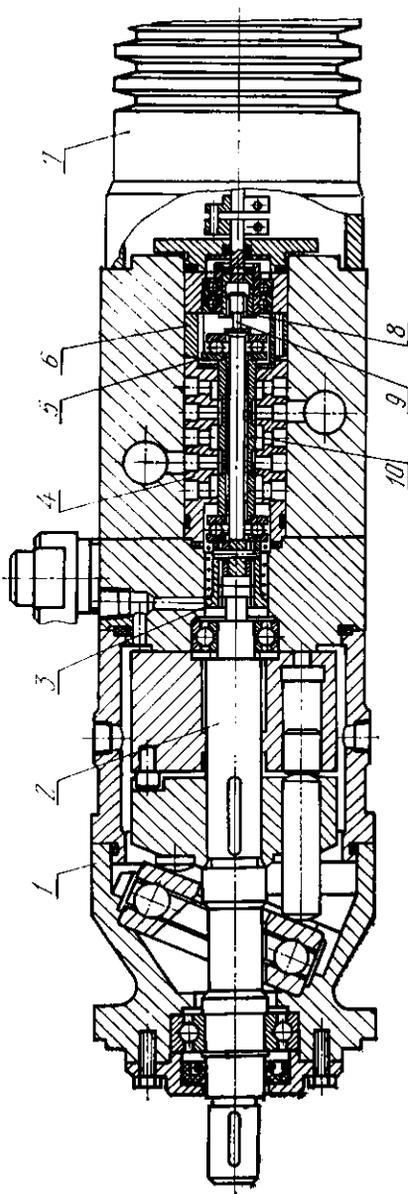


Рис. 9.14. Электрогидравлический шаговый двигатель

управляющих импульсов выше 10 Гц вал гидроусилителя вращается непрерывно. При частоте импульсов 8000 Гц угол отставания вала гидродвигателя от вала шагового двигателя обычно равен $90\text{--}100^\circ$, но может достигать 360° .

Насосная установка Г48-44, питающая электрогидравлический шаговый привод Э32Г18-23 (с шаговым двигателем ШД5-Д1), состоит из автоматически регулируемого аксиально-поршневого гидронасоса, масляного резервуара, систем подпитки, фильтрации и охлаждения рабочей жидкости, устройства для предварительного разогрева масла и контрольно-регулирующей аппаратуры.

Электрогидравлические шаговые приводы применяются для формообразования на токарных, карусельных, фрезерных, электрофизических станках, а также для позиционирования на вертикально-сверлильных и координатно-расточных, на станках типа «обрабатывающий центр». Иногда шаговые приводы используются для того, чтобы обеспечить нужные соотношения скоростей исполнительных механизмов станка, например зуборезного.

9.9. Замкнутые приводы подачи и позиционирования

Структуры замкнутых приводов. Замкнутая система ЧПУ характеризуется тем, что перемещения исполнительных органов станка контролируются специальными измерительными системами. В замкнутых системах применяются приводы с регулированием ступенчатым и бесступенчатым, а также следующие.

Приводы со ступенчатым регулированием служат для осуществления позиционирования и включают в себя асинхронный двигатель, редуктор с электромагнитными муфтами, ходовой винт, измерительный преобразователь. В начале отработки кадра программы по команде системы ЧПУ в редукторе включается муфта, сообщающая столу быстрое перемещение. При подходе стола к заданной точке включается муфта, сообщающая ему медленную подачу. Измерительный преобразователь информирует систему ЧПУ о действительном положении стола. Если применен импульсный преобразователь, обратная связь осуществляется вырабатываемыми им электрическими импульсами. Когда поступившее в систему ЧПУ число импульсов обратной связи n будет соответствовать заданному перемещению l ($n=l/\delta$, где δ — цена импульса или дискрета), по команде системы ЧПУ производится отключение привода.

В позиционных системах ЧПУ применяются также приводы подачи с бесступенчатым регулированием на основе двигателей постоянного тока, описанных ниже.

Следящий привод выполняется по той же схеме, что и регулируемый, однако значительно отличается от последнего принципом действия. В следящем приводе осуществляется постоянное сравнение перемещений, одно из которых задано программой, другое измерено. В результате этого на двигатель привода подается сигнал.

Его уровень определяется заданной по программе скоростью подачи и рассогласованием между заданным и фактическим перемещениями. Следящие приводы могут применяться как в позиционных, так и в контурных системах ЧПУ. Они реализуются на основе двигателя постоянного тока, маломощного электродвигателя в сочетании с гидроусилителем, гидродвигателя в сочетании с электромеханическим золотником.

Структурная схема замкнутого следящего привода с двигателем постоянного тока изображена на рис. 9.15. Измерительный преобразователь перемещения 10, связанный с рабочим органом станка, вырабатывает сигнал обратной связи 11, который сравнивается с сигналом 1, соответствующим заданному перемещению. Разностью между ними определяется сигнал 2 обратной связи по положению. После его усиления услителем 3 возникает скоростной сигнал 4. Таким образом, сигнал ошибки по положению определяет перемещение рабочего органа станка.

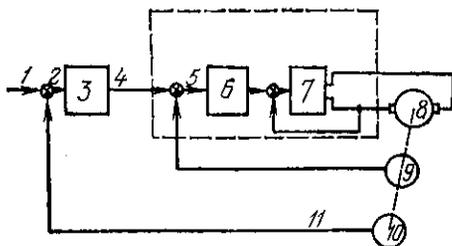


Рис. 9.15. Блок-схема замкнутого следящего привода

С ротором электродвигателя 8 соединен тахогенератор 9, с которого непрерывно снимается напряжение и сравнивается с сигналом 4. Разность между ними представляет сигнал 5 скоростной ошибки. После прохождения через предварительный усилитель 6 он поступает на усилитель мощности 7, непосредственно управляющий якорным током двигателя 8. Изменение тока приводит к уменьшению или увеличению скорости двигателя.

Двигатели постоянного тока в приводах подачи и позиционирования. Наиболее перспективно применение в замкнутых приводах двигателей постоянного тока, которые могут быть разделены на три группы.

Первую группу составляют широко применяемые двигатели с пазовым якорем и электромагнитным возбуждением. Они бывают высокооборотными и низкооборотными. Для снижения габарита высокооборотных двигателей их применяют в совокупности с редукторами. Так как момент инерции ротора двигателя намного выше приведенного момента инерции механической части привода, привод подачи с высокооборотным двигателем имеет малое быстродействие, но характеризуется небольшой чувствительностью к изменению нагрузки и пониженными требованиями к качеству механической системы.

Низкооборотные двигатели с пазовым ротором соединяются с ходовым винтом непосредственно, благодаря чему упрощается конструкция привода подачи и обеспечивается его более высокое

быстродействию, но из-за увеличенного габарита таких двигателей (по сравнению с высокооборотными) возрастает масса привода.

Ко второй группе относятся двигатели с гладким или дисковым печатным якорем, обладающие малым моментом инерции, сравнимым с приведенным к ходовому винту моментом инерции механической части привода. Благодаря малой инерционности двигатели с гладким или дисковым печатным ротором делают высокооборотными. Большие кратковременные ускорения (порядка 2000 рад/с²), обеспечиваемые двигателями, могут сопровождаться динамическими перегрузками в механической системе. Приводы чувствительны к колебаниям нагрузки. Соизмеримость моментов инерции двигателя и привода может явиться причиной неустойчивости последнего. Для устранения отмеченных явлений повышают требования к стабилизирующим устройствам и к качеству механической системы (жесткости, величине зазоров, собственной частоте).

Третью группу образуют низкооборотные высокомоментные двигатели. Они отличаются тем, что возбуждение производится постоянными магнитами, изготовленными из сплавов типа альнико, металлокерамических сплавов, феррита бария и других, а не электромагнитами, как это имеет место в обычных двигателях. Двигатели способны кратковременно развивать 10—20-кратный крутящий момент, т. е. характеризуются высоким быстродействием. Они соединяются с ходовым винтом непосредственно и обладают относительно высоким собственным моментом инерции. Перечисленными свойствами обуславливается хорошее качество регулирования привода. В низкооборотный высокомоментный двигатель встраивают тормоз и измерительный преобразователь перемещений — резольвер, благодаря чему значительно упрощается применение приводов с такими двигателями.

9.10. Измерение перемещений исполнительных органов

Схемы измерения перемещений. Перемещения исполнительного органа измеряются прямо или косвенно. В первом случае производится отсчет перемещений самого исполнительного органа, во втором — какого-либо элемента привода, кинематически связанного с ним.

На рис. 9.16, *a* изображена схема прямого измерения линейного перемещения исполнительного органа 2 с помощью измерительного преобразователя поворотного типа 3. Связь между ними осуществляется с помощью специального механизма связи, который состоит из двух элементов. Один из них служит для преобразования поступательного перемещения исполнительного органа станка во вращение ротора измерительного преобразователя перемещений и представляет прецизионную реечно-зубчатую пару 5. Другим элементом является мультипликатор 4, предназначенный для уменьшения цены импульса обратной связи. С помощью специаль-

ной схемы сигнал преобразователя усиливается и иногда преобразуется в другой вид, а затем поступает в схему управления.

Для прямого измерения линейного перемещения линейный преобразователь 7 (рис. 9.16, б) соединяется непосредственно с испол-

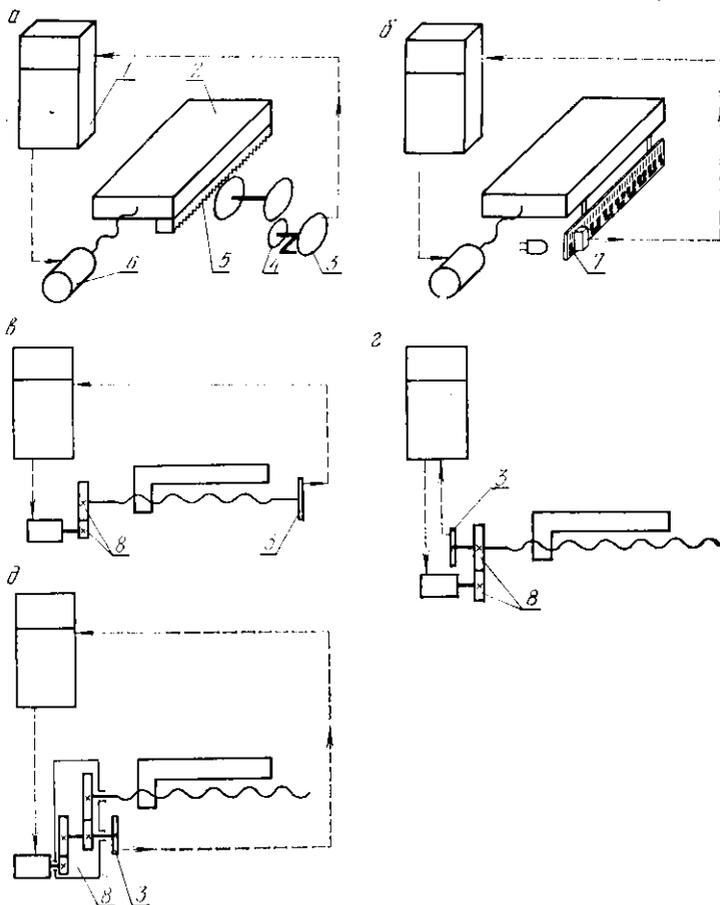


Рис. 9.16. Схемы измерения перемещений в станках с ЧПУ:

1 — устройство ЧПУ; 2 — исполнительный орган станка; 3 — измерительный преобразователь поворотного типа; 4 — мультипликатор; 5 — преобразователь поступательного перемещения во вращательное; 6 — двигатель; 7 — линейный измерительный преобразователь; 8 — редуктор

нительным органом. В результате устраняются ошибки измерения, вносимые узлом связи, но повышаются требования к защите преобразователя от загрязнений.

На рис. 9.16, в—г изображены три схемы косвенного измерения перемещений с помощью преобразователя поворотного типа 3. В первом случае он установлен на ходовом винте со стороны, про-

типоволожной приводе, во втором — со стороны привода, в третьем — связан с валом редуктора 8. Самой точной является первая схема. Во втором случае появляются погрешности измерения вследствие закручивания ходового винта на участке от измерительного преобразователя до гайки. В третьем точность измерения перемещений снижается из-за наличия люфтов в редукторе, деформаций его элементов, а также вследствие закручивания ходового винта.

Общая характеристика измерительных преобразователей перемещений. Все измерительные преобразователи можно разделить на преобразователи круговых и линейных перемещений. К первым относятся вращающийся трансформатор, круговой индуктосин, кодовый преобразователь КП-3, ко вторым — преобразователь ДЛМ-11, линейный индуктосин.

Различают измерительные преобразователи шкального и бесшкального типов. Особенностью первых является наличие шкалы, несущей физический параметр, величина которого периодически изменяется. К ним принадлежат индуктосин, преобразователь ДЛМ-11 и др. Начинают применяться бесшкальные преобразователи. Некоторые из них основаны на явлении лазерной интерференции.

По виду выходного сигнала измерительные преобразователи можно разделить на две группы: аналоговые и кодовые. Аналоговые преобразователи характеризуются тем, что величина параметра их выходного сигнала зависит от перемещения рабочего узла или соответствующего ему угла поворота некоторого вала. К ним относятся вращающийся трансформатор, индуктосин, линейный преобразователь ДЛМ-11. Импульсные преобразователи являются аналоговыми, так как импульсы формируются из аналогового сигнала. Кодовые измерительные преобразователи характеризуются тем, что от линейного перемещения или от угла поворота зависит комбинация сигналов на их выходе.

В зависимости от того, как выходной сигнал преобразователей связан с длиной перемещения, их можно разделить на циклические и абсолютные. На длине перемещения циклический преобразователь выдает ряд одинаковых сигналов. Циклическими являются индуктосин, вращающийся трансформатор и другие преобразователи, у которых длина перемещения больше зоны однозначности. Абсолютный преобразователь характеризуется тем, что каждому положению рабочего органа в пределах всей длины его хода соответствует единственное значение выходного сигнала. Таким, например, является преобразователь «угол — десятичный код» типа КП-3. Абсолютный преобразователь обычно имеет несколько каналов, представляющих циклические преобразователи. Такая конструкция позволяет с высокой точностью измерять большие перемещения. Например, цена импульса наиболее точного канала преобразователя КП-3 равна 0,01 мм, более грубого — 0,1 мм и т. д.

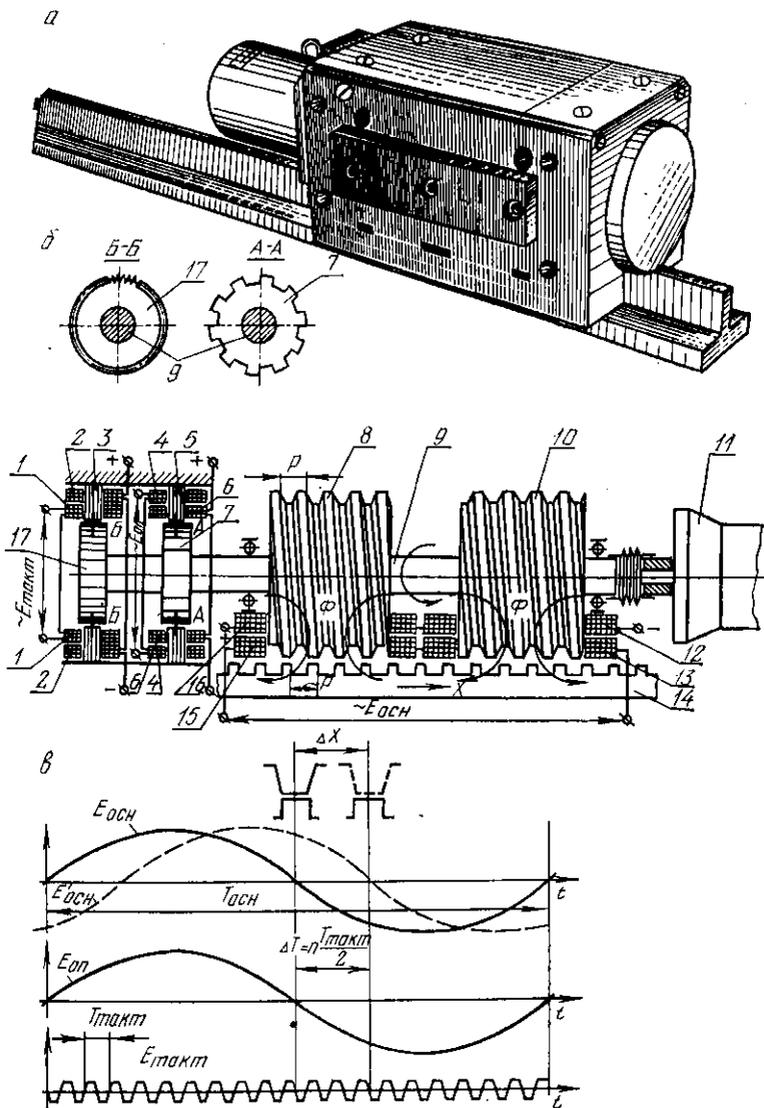


Рис. 9.17. Линейный измерительный преобразователь типа ДЛМ-11:
 а — общий вид; б — конструктивная схема; в — принцип действия

Линейный измерительный преобразователь ДЛМ-11. Преобразователь ДЛМ-11 (рис. 9.17) используется в станках классов точности И, П и В. Он включает корпус, в котором от двигателя 11 на подшипниках качения вращается вал 9 с насаженными на нем винтами 8, 10 и роторами 7, 17. В корпусе находится ряд обмоток: 12, 13 и др. В качестве шкалы в преобразователь входит угольная рейка 14 (для предохранения шкалы от загрязнения ее впадины залиты эпоксидной смолой). Рейка и корпус могут перемещаться друг относительно друга в направлении оси X. Для получения значительной длины рейки можно стыковать.

В обмотки 16 и 12, включенные последовательно и охватывающие винты 8 и 10, подается постоянный ток, создающий магнитные потоки Φ . Поток Φ проходит через соответствующие участки винтов и рейки, а также через зазор между ними. Когда вал не вращается, а корпус не смещается относительно рейки, поток будет постоянным. Если вал вращается, а корпус и рейка остаются неподвижными, величина и проводимость упомянутого зазора периодически изменяются. В результате поток Φ модулируется, в обмотках 15 и 13 наводится э. д. с. $E_{осн}$, изменяющаяся практически по синусоиде и называемая основным сигналом. Э. д. с. становится равной нулю, когда зубцы винта оказываются точно над зубцами рейки (рис. 9.17, в). Для взаимного гашения э. д. с., наведенных в обмотках 16 и 12 при вращении винтов, эти обмотки включены встречно по потоку, а нарезки винтов 8 и 10 смещены относительно рейки на полшага. Для того чтобы основной сигнал был равен сумме сигналов в обеих обмотках 15 и 13, они включены встречно.

Представим теперь, что при вращении вала 9 шкала-рейка сдвинута по оси X на величину ΔX . Тогда зубцы винта окажутся над зубцами рейки позже или раньше на время ΔT . Это значит, что при относительно перемещении корпуса и рейки наблюдается сдвиг основного сигнала. На рис. 9.17, в сдвинутый основной сигнал обозначен $E'_{осн}$. Величина сдвига фазы ΔT пропорциональна перемещению ΔX :

$$\Delta T = \frac{T_{осн}}{p} \Delta X,$$

где $T_{осн}$ — период основного сигнала;

p — шаг винта.

Зубчатый датчик, состоящий из ротора 7, статора 5, первичной 6 и вторичной 4 обмоток, вырабатывает опорный сигнал $E_{оп}$. Частота его равна частоте основного, а фаза постоянна, поэтому сравнение опорного и основного сигналов даст величину сдвига последнего, а следовательно, и перемещение исполнительного узла станка.

Магнитный зубчатый датчик, включающий в себя ротор 17, статор 3, первичную 1 и вторичную 2 обмотки, вырабатывает тактирующий сигнал $E_{такт}$ с периодом $T_{такт}$, небольшим по сравнению с

$T_{\text{осн}}$. Сдвиг фазы основного сигнала относительно опорного измеряется числом полупериодов n тактирующего сигнала за время ΔT (рис. 9.17, в).

Дискретность измерения равна 0,1, или 0,02, или 0,002 мм, внутришаговая погрешность составляет 4...6 мкм, накопленная погрешность 12 мкм/м.

Линейный индуктосин. Этот преобразователь состоит из двух стеклянных линеек (рис. 9.18). Одна из них прикрепляется к не-

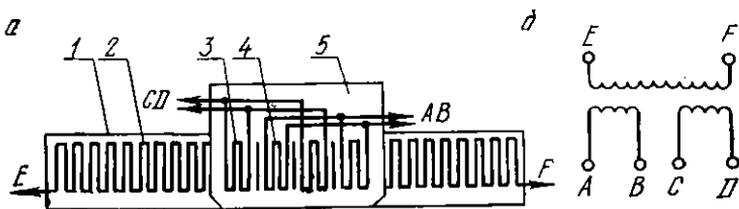


Рис. 9.18. Линейный индуктосин:

a — конструктивная схема; *б* — электрическая схема

подвижному узлу станка, другая перемещается вместе с контролируемым узлом. На неподвижной линейке 1 напечатана одна обмотка 2, на подвижной 5 две обмотки 3 и 4. Обмотки подвижной линейки являются первичными. Они питаются напряжениями, сдвинутыми по фазе на 90° . При перемещении линейки 5 в обмотке 2 индуцируются импульсы напряжения, имеющие длину волны, равную полюсному расстоянию в обмотках.

Круговой индуктосин состоит из двух дисков, один из которых служит статором, другой ротором. На роторе напечатана одна обмотка, на статоре — две. Линии обмоток расположены в радиальном направлении.

Фотоэлектрический кодовый преобразователь. Основными элементами фотоэлектрического кодового преобразователя являются кодовый диск 2 и считывающие элементы 1 (рис. 9.19). На торце диска имеется несколько концентрических колец, образованных светлыми и темными участками. Каждое кольцо соответствует одному разряду числа — двоичного или десятичного. Если диск закодирован в двоичной системе, светлые участки соответствуют 1, темные — 0.

Диск соединяется с ходовым винтом 3 или с валом привода контролируемого узла. Некоторое положение этого узла принимается за нулевое, и ему соответствует набор на всех кодовых кольцах только темных участков, находящихся против щели диафрагмы 5 и освещаемых лампой 4. В результате все ячейки фотоэлемента 1 не вырабатывают электрических импульсов.

После ввода в задающее устройство координаты нового положения контролируемый узел перемещается и изменяется кодовая

структура полосы, освещаемой на диске. Как только код *б* действительного перемещения узла, введенный в устройство совпадения, окажется одинаковым с кодом требуемого перемещения, внесенным туда же с помощью перфоленты, устройство совпадения отключает привод. Последнее осуществляется с помощью электро-

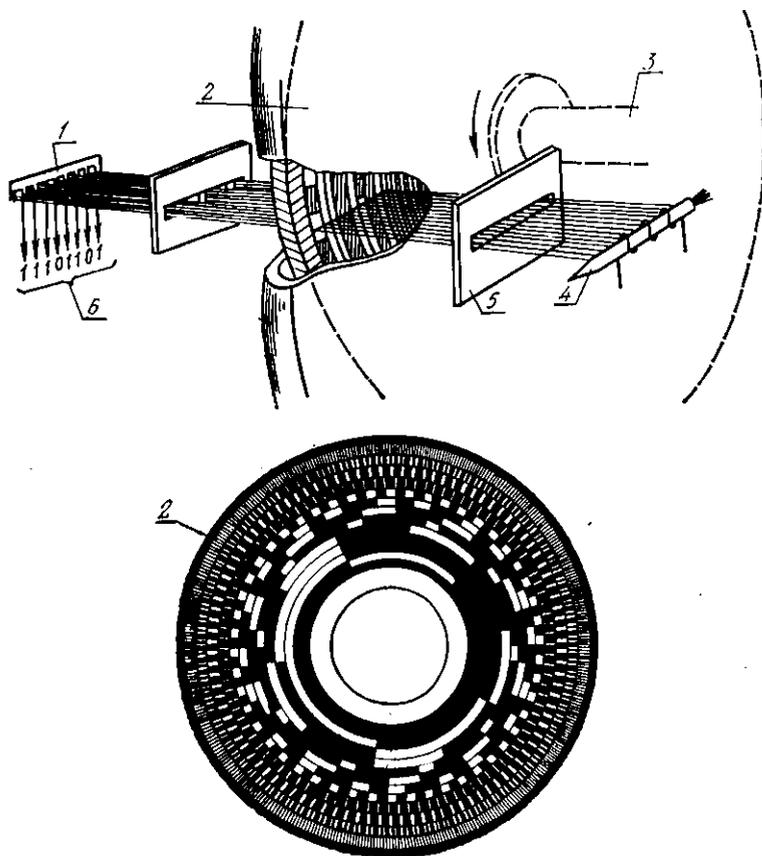


Рис. 9.19. Фотоэлектрический кодовый преобразователь

магнитной муфты, имеющейся в редукторе. По команде устройства совпадения при подходе контролируемого узла к заданному положению его скорость снижается.

Преобразователь «угол — десятичный код» типа КП-3. Преобразователь (рис. 9.20) переводит угол поворота входного вала в электрический сигнал, выражающий этот угол в десятичном коде. Входной вал *1* преобразователя соединен с ходовым винтом исполнительного узла. Каждая из четырех червячных пар *2* имеет пере-

даточное отношение $1 : 10$. Следовательно, за то время, пока вал I делает один оборот, каждый из валов II, III, IV, V сделает соответственно $0,1; 0,01; 0,001; 0,0001$ оборота. С каждым валом соединены щетки электрического контактного датчика 3 , представляющие подпружиненные шарики, которые при вращении вала катятся по не-

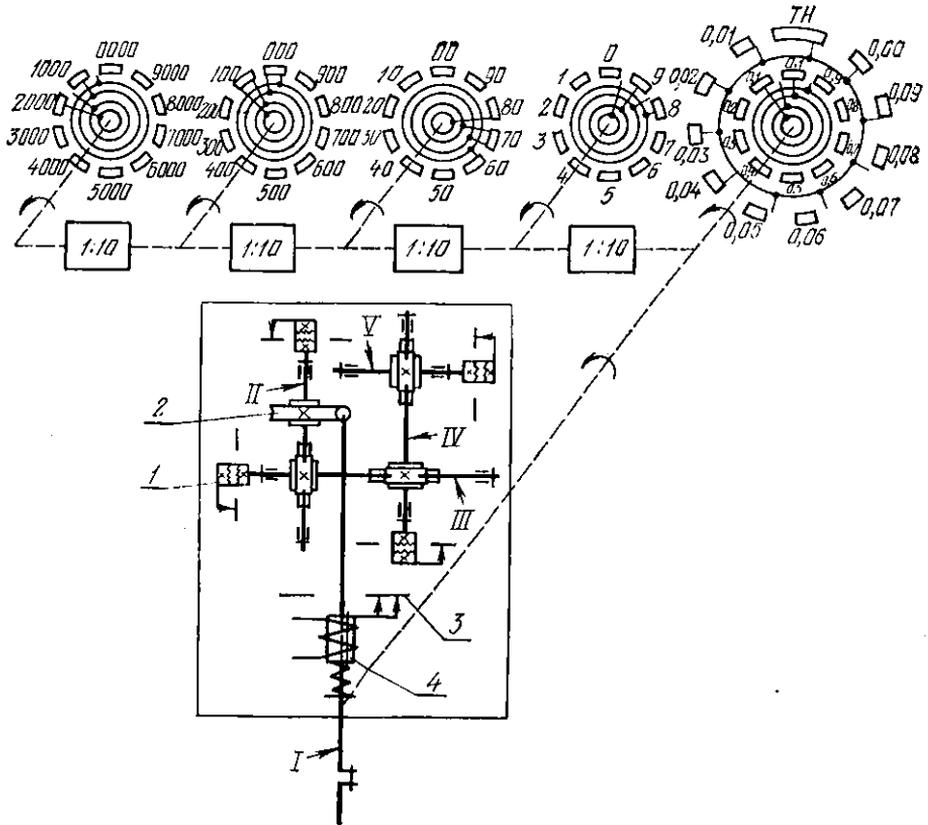


Рис. 9.20. Преобразователь типа КП-3

подвижной кодовой маске и последовательно замыкают имеющиеся на ней контакты. Если один оборот входного вала I соответствует перемещению исполнительного узла на 1 мм, цена одного оборота каждого из валов II, III, IV, V равна $10, 100, 1000, 10\ 000$ мм и преобразователь измеряет перемещения до $10\ 000$ мм, выражаемые шестиразрядными числами. При этом первым разрядом числа, например $5839,76$, будем называть сотые доли, вторым — десятые и т. д. Щетки первого и второго разрядов находятся на валу I , третьего — на валу II и т. д.

Контакты первого разряда (0,00—0,09) расположены с шагом $32,4^\circ$, по ним скользят 10 щеток с шагом 36° . Вследствие того что разность шагов щеток и контактов составляет $3,6^\circ$, за 1/10 оборота вала I все 10 контактов первого разряда последовательно замыкаются. При этом напряжение, подводимое к щеткам через контакт ТН, подается с них на кодовые контакты и далее в систему ЧПУ. Следовательно, при цене оборота вала I , равной 1 мм, цена импульса датчика первого разряда составляет 0,01 мм.

На кодовой маске второго разряда имеется 10 контактов, расположенных с шагом 36° . По ним скользят четыре щетки. Угол между соседними щетками равен 18° . К каждой из них ток подводится отдельно. При названных выше условиях цена импульса датчика второго разряда равна 0,1 мм. Четыре щетки в этом и старших разрядах необходимы для того, чтобы устранить неоднозначность отсчета, а также в схеме установки начала отсчета.

Контактные датчики остальных разрядов похожи на датчик второго разряда. При ускоренных перемещениях щетки первого и второго разрядов с помощью электромагнита 4 отводятся от кодовых масок. Дифференциальные зубчатые муфты I служат для согласования разрядов при регулировании щеток. С целью обеспечения нужной дискретности измерения (0,1, 0,01 или 0,001 мм) между ходовым винтом станка и кодовым преобразователем устанавливают мультимпликатор. Основные технические данные преобразователя: разрешающая способность — 0,01 оборота входного вала; при дискретности 0,01 мм наибольшая скорость перемещения исполнительного узла — 4—6 м/мин; наибольшая погрешность преобразователя на всей длине измерения — 0,003 мм.

Преобразователь КП-3 используется в измерительных устройствах позиционных систем ЧПУ, а также в системах цифровой индикации действительного положения исполнительных органов станка.

9.11. Устройства цифровой индикации

Эффективность станков с числовым программным управлением значительно повышается при наличии в системе ЧПУ средств отображения информации о положении исполнительных органов и состоянии системы. Применяются два типа средств отображения: аналоговые и цифровые или буквенно-цифровые.

Средство отображения аналогового типа может быть выполнено в виде телевизионного экрана, на котором оператор наблюдает автоматически возникающее изображение траектории вершины резца или центра фрезы в прямоугольной системе координат. Визуальное наблюдение траектории перед обработкой позволяет избежать ошибки в выборе перфоленты при переходе к обработке детали нового типоразмера. Кроме того, могут быть выявлены геометрические ошибки в программе и таким образом предотвращены поломки станка и инструмента, а также брак при обработке.

Однако чаще системы ЧПУ имеют устройство цифровой или буквенно-цифровой индикации, позволяющее выводить на панель с катодно-лучевой трубкой или с неоновыми лампами буквы, цифры, знаки (+, -). Применяется индикация направления и величины координатных перемещений, номеров кадра, инструмента, ступени скорости и подачи. На экран катодно-лучевой трубки можно вывести 150 и более знаков, что позволяет одновременно оценить всю введенную программу, положения подвижных органов и вспомогательную контрольную информацию. Панель индикации может

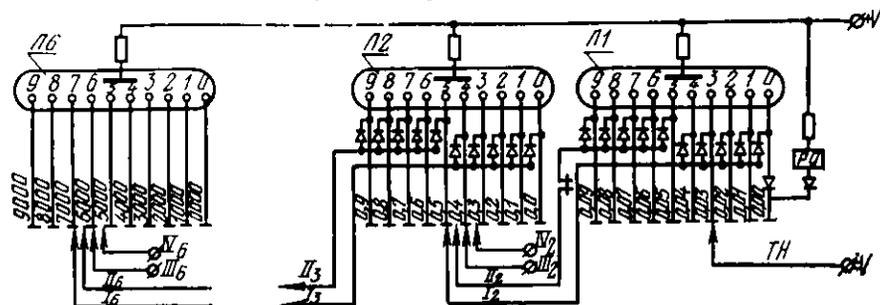


Рис. 9.21. Устройство цифровой индикации

быть переключена на получение информации с того или иного регистра.

Устройства цифровой и буквенно-цифровой индикации отличаются от аналоговых более высокими точностью и быстродействием. Они используются при наладке станка (совмещение выбранного начала координат с осью шпинделя, настройка глубины обработки и т. д.), в процессе контроля точности отработки программы, при поиске неисправностей в станке.

Рассмотрим устройство цифровой индикации системы ЧПУ «Координата С-68» (рис. 9.21). Оно включает в себя кодовый преобразователь КП-3, имеющий в данном случае дискретность измерения 0,01 мм. Отсчет перемещений производится по индикаторным газоразрядным лампам типа ИН. На схеме лампы обозначены: Л1, Л2, ..., Л6 и соответствуют первому, второму, ..., шестому разрядам числа, выражающего перемещение по координате. Их катоды выполнены в виде цифр и соединены с контактами кодовых масок преобразователя КП-3.

Контакт ТН преобразователя КП-3 соединен с минусом источника питания. При вращении щеток первого разряда последовательно замыкаются его контакты с номерами 0,00...0,09 (см. рис. 9.20) и последовательно зажигаются цифровые катоды 0...9 лампы Л1. Через диоды, подключенные к контактам 0,00...0,04, напряжение подается к опережающей щетке I2 второго разряда. Точно так же от контактов 0,05...0,09 первого разряда напряжение через соответствующие диоды поступает на отстающую щетку I1 второго разряда.

Такое подключение щеток второго и старших разрядов предотвращает ошибки отсчета.

В первом разряде контакты кодовой маски перекрываются. Следовательно, при одновременном подключении контактов 0,00 и 0,09 к катодам индикаторной лампы напряжение подается сразу на обе щетки I_2 и II_2 второго разряда. Для предотвращения неоднозначности отсчета в схеме имеется реле РО. Нормально закрытый контакт этого реле размыкается и не пропускает ток на щетку II_2 , когда в первом разряде она касается контакта 0,00.

В последние годы автономными устройствами цифровой индикации стали оснащать универсальные станки, не имеющие программного управления. При этом благодаря облегчению работы оператора, ускорению отсчета размеров и перемещений производительность труда повышается на 30% и более.

9.12. Устройства коррекции

Программирование обработки на станках с ЧПУ производится для некоторых постоянных условий: определенных размеров инструмента, припуска, свойств обрабатываемого металла, жесткости технологической системы и т. д. Однако в процессе работы из-за износа размеры инструмента уменьшаются, остальные условия могут не соответствовать расчетным. Поэтому возникает потребность в коррекции размера инструмента и режима обработки без изменения программы.

Знак (+ или -) и величины коррекции с помощью клавиш или переключателей задаются на пульте устройства ЧПУ и вводятся в систему ЧПУ по командам, зафиксированным в соответствующих

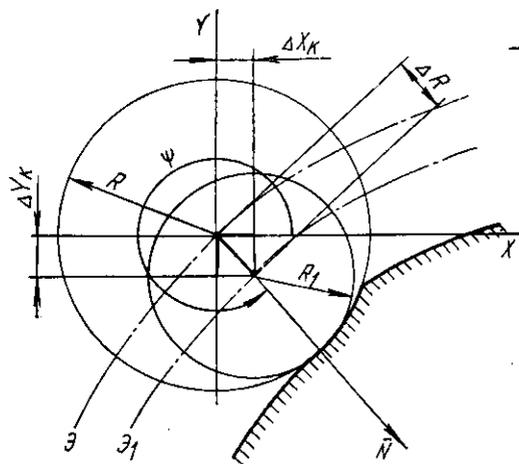


Рис. 9.22. Схема фрезерования с коррекцией радиуса фрезы

кадрах перфоленды или на определенных дорожках магнитной ленты.

При применении в качестве программоносителя перфоленды скорость подачи исполнительного органа может быть скорректирована при изменении частоты импульсов задающего генератора. В случае записи программы унитарным кодом на магнитной ленте скорость подачи исполнительного органа корректируется с помощью изменения скорости протягивания ленты. Коррекция подачи исполь-

зается при отклонении фактической обрабатываемости металла от принятой в расчетах, при чрезмерном припуске на заготовке, при возникновении вибраций технологической системы.

Способ ввода поправки на размер инструмента определяется особенностями системы ЧПУ.

При обработке деталей на вертикально-фрезерном станке модели 9ФСП, имеющем систему ЧПУ типа ФС-2, производится интерполяция эквидистанты, которая является траекторией перемещения оси фрезы. На рис. 9.22 изображена схема обработки одного и того же контура фрезой расчетного радиуса R и меньшего R_1 . Первая фреза перемещается по расчетной эквидистанте \mathcal{E} , а траекторией второй должна быть скорректированная эквидистанта \mathcal{E}_1 . Коррекция достигается тем, что центр фрезы радиуса R_1 в каждой точке расчетной эквидистанты \mathcal{E} получает дополнительные перемещения (поправки) по координатам:

$$\begin{aligned}\Delta X_R &= \Delta R \cos \psi; \\ \Delta Y_R &= \Delta R \sin \psi,\end{aligned}$$

где $\Delta R = R - R_1$ — разница между расчетным и фактическим радиусами фрезы;

ψ — угол между осью X и нормалью \bar{N} к контуру в данной точке.

При применении системы ЧПУ типа ФС-2 значение поправки ΔR вводится оператором на ее пульте. Для этого поворачивается ротор потенциометра, шкала которого проградуирована в миллиметрах. Система ФС-2 позволяет вносить коррекцию $\Delta R = \pm 0,5$ мм с дискретностью 0,02 мм. Угол ψ , а следовательно, $\cos \psi$ и $\sin \psi$ изменяются вдоль контура и не могут быть скорректированы вручную, а поэтому вычисляются для каждого участка эквидистанты. Считая, что вектор коррекции перпендикулярен к линейному участку аппроксимирующей ломаной, имеем

$$\begin{aligned}|\cos \psi| &= \frac{|\Delta Y|}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}; \\ |\sin \psi| &= \frac{|\Delta X|}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}},\end{aligned}$$

где ΔX и ΔY — координатные приращения данного участка эквидистанты.

Бывают устройства ЧПУ, для которых программирование производится по точкам профиля детали, а устройство ЧПУ выполняет затем расчет эквидистанты. Такое программирование называется безэквидистантным. В этом случае разница ΔR между радиусами фрез компенсируется тем, что в систему ЧПУ с ее пульта вводится действительный радиус фрезы. Благодаря этому упрощается программирование.

9.13. Токарные станки с ЧПУ

Особенности токарных станков. Системами числового программного управления оснащают центровые, патронные, патронно-центровые и карусельные токарные станки. Они имеют горизонтальное или вертикальное расположение оси шпинделя. Как правило, вращение шпинделю передается от автоматической коробки скоростей с электромагнитными муфтами через ремennую передачу и редуктор шпиндельной бабки.

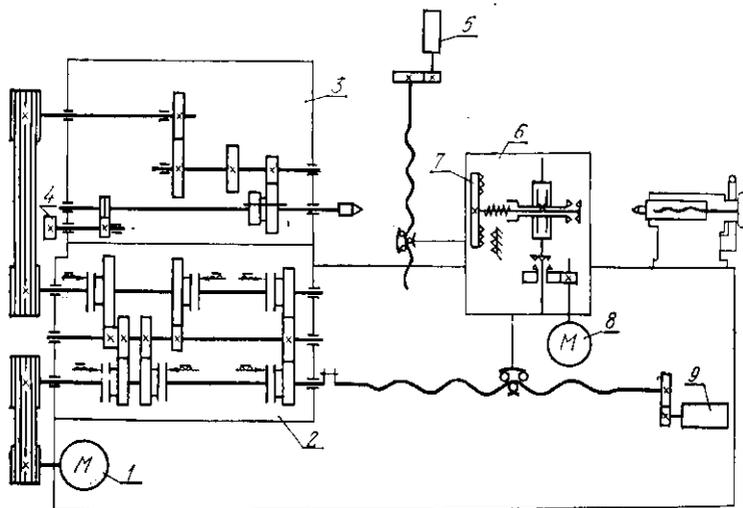


Рис. 9.23. Кинематическая схема токарного станка с ЧПУ модели 16K20ФЗС4

Станки имеют один или два суппорта, на каждом из которых установлена одна или две револьверные головки. Суппорт получает необходимые перемещения от шагового электрогидравлического, шагового силового или замкнутого привода с регулируемым электродвигателем. Для снижения цены импульса в приводах подачи применяются редукторы с беззачерными зубчатыми передачами. Устанавливаются шариковые винтовые пары.

Токарный станок с ЧПУ модели 16K20ФЗС4. Станок предназначен для обработки в один или несколько проходов наружных, внутренних и торцевых поверхностей со ступенчатым или криволинейным профилем, а также для нарезания резьбы.

От электродвигателя 1 (рис. 9.23) через автоматическую коробку скоростей 2 и клиноременную передачу движение передается на шпиндельную бабку 3. Продольную подачу с дискретой 0,01 мм суппорту 6 сообщает электрогидравлический шаговой привод 9. Поперечную подачу с дискретой 0,005 мм суппорт получает от элек-

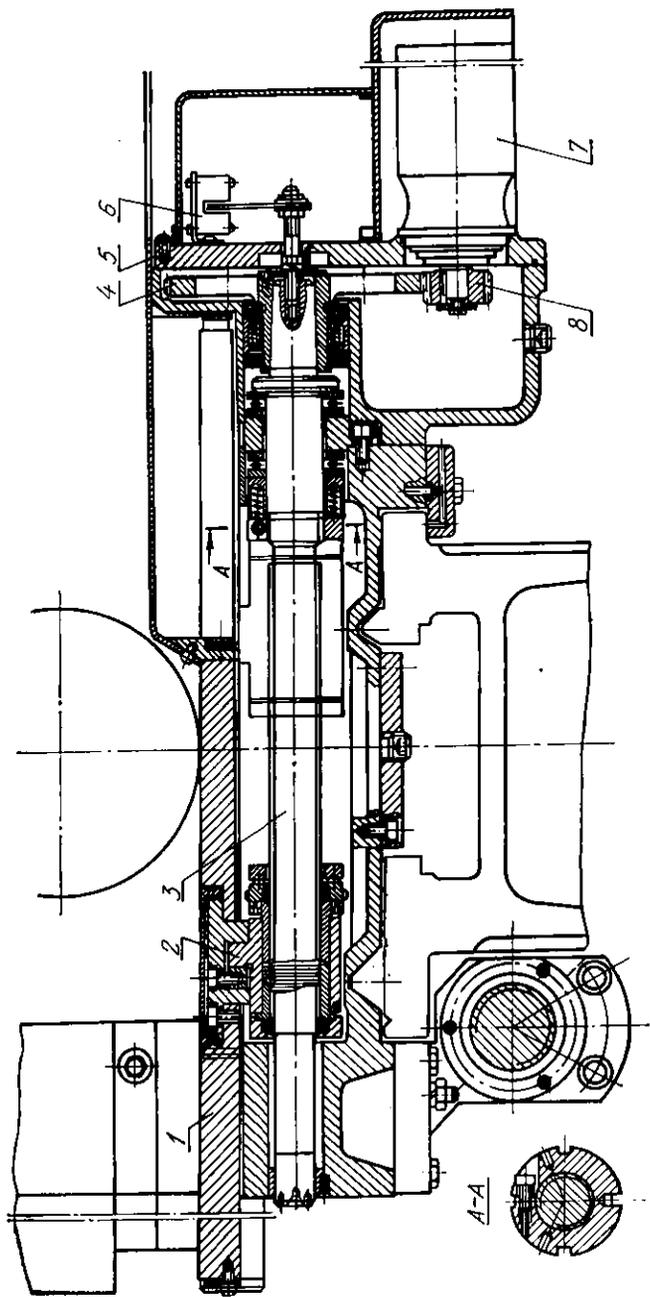


Рис. 9.24. Привод поперечной подачи токарного станка модели 16К20Ф3С4

трогидравлического шагового привода 5. Измерительный преобразователь 4 служит для согласования перемещения суппорта с вращением шпинделя, что необходимо для нарезания резьбы. Инструментальная револьверная головка 7 получает периодические повороты вокруг горизонтальной оси от электродвигателя 8.

Приводы продольной и поперечной подачи аналогичны по конструкции. Поперечные салазки 1 (рис. 9.24) получают перемещение от шагового электрогидродвигателя 7 через зубчатую пару 8—4, зазор в который регулируется радиальным перемещением шестерни 8 относительно зубчатого колеса 4 при повороте крышки 5. Зазор между гайкой 2 и винтом 3 шариковой винтовой пары регули-

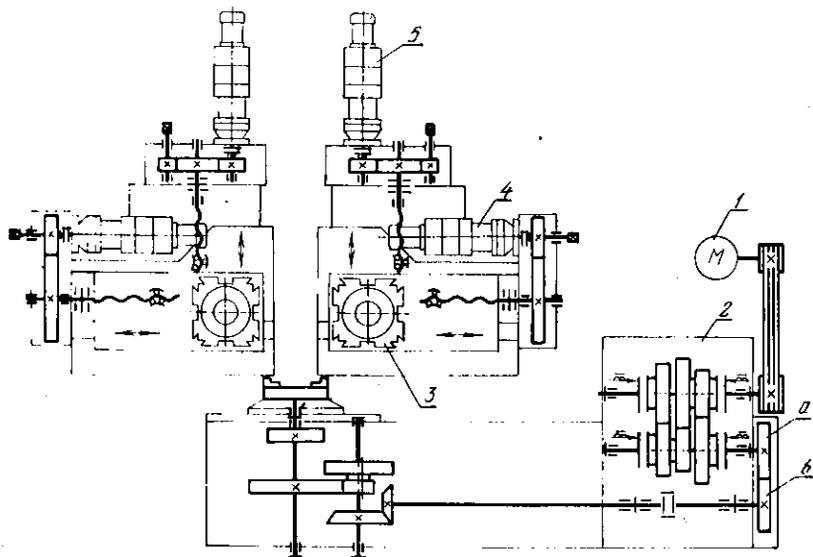


Рис. 9.25. Кинематическая схема токарного полуавтомата с ЧПУ модели 1734Ф3

руется путем поворота одной полугайки относительно второй. Это выполняется при изготовлении станка. Бесконтактный конечный переключатель 6 предназначен для подачи предварительного сигнала выхода на «ноль».

Токарный полуавтомат с ЧПУ модели 1734Ф3. Станок (рис. 9.25) предназначен для черновой и чистовой обработки в патроне деталей типа дисков, фланцев, шестерен, чашек с наибольшим устанавливаемым диаметром 320 мм и высотой до 200 мм. В несколько проходов на нем может выполняться обработка наружных и внутренних поверхностей с криволинейными и ступенчатыми образующими.

Станок 1734Ф3 оснащен разомкнутой системой числового программного управления типа Н55-1, имеющей линейно-круговой ин-

терполятор. Программоносителем является восьмидорожечная перфолента, программа задается в коде ISO-7bit.

Шпиндель станка получает вращение от двухскоростного электродвигателя 1 через клиноременную передачу и четырехскоростную коробку скоростей 2 с электромагнитными муфтами и сменными зубчатыми колесами *a* и *b*. В любом из четырех диапазонов можно получать по шесть автоматически переключаемых ступеней частоты вращения шпинделя. На каждом из двух суппортов находится четырехпозиционная револьверная головка 3. Правый получает вертикальную подачу от электрогидравлического шагового привода 5, в состав которого входят электрический шаговый двигатель ШД5-Д1 и гидроусилитель крутящего момента с аксиально-поршневым гидродвигателем. Движение на суппорт передается через безазорную зубчатую передачу и шариковую винтовую пару. Горизонтальное перемещение он получает от электрогидравлического шагового привода 4 через редуктор. Такую же конструкцию имеет левый суппорт. Величина перемещения суппортов на один импульс в вертикальном направлении равна 0,01 мм, в горизонтальном — 0,005 мм.

9.14. Сверлильные станки с ЧПУ

Особенности станков с ЧПУ сверлильно-расточной группы. К сверлильно-расточной группе относятся вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, горизонтально-расточные и координатно-расточные станки.

На вертикально-сверлильных станках в серийном и мелкосерийном производствах обрабатывают крепежные отверстия в крышках, плитах, планках, фланцах, корпусных деталях. Радиально-сверлильные предназначены для обработки отверстий в крупных деталях. На вертикально-сверлильных и радиально-сверлильных станках имеется координатный стол, выполняющий позиционирование по программе. Первые оснащаются револьверной головкой или цепным инструментальным магазином.

На горизонтально-расточных и координатно-расточных станках выполняется обработка точно расположенных отверстий в деталях кондукторов, приспособлений, а координатно-расточные к тому же позволяют производить разметку, измерять линейные размеры.

Вертикально-сверлильный станок 2P135Ф2. Станок (рис. 9.26) имеет шестипозиционную револьверную головку 2, в шпинделях которой могут находиться до шести инструментов. Сверление, расверливание, зенкерование, развертывание, растачивание выполняются в цикле «быстрый подвод револьверной головки — рабочая подача — быстрый отвод в исходное положение». Цекование и зенкерование могут производиться с выдержкой без подачи в конце рабочего хода. Резьба нарезается по сменному резьбовому копиру.

Резьбонарезная головка устанавливается в любой позиции револьверной головки. Обрабатываемые детали закрепляются на крестовом столе *1*, который набирает заданные координаты, перемещаясь последовательно в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Главное движение, движение подачи револьверной головки и координатные перемещения крестового стола обеспечиваются электромеханическими приводами.

Все узлы позиционной системы числового программного управления «Координата С-68», за исключением измерительных преобразователей перемещений, находятся в шкафу *6*. Система управляет

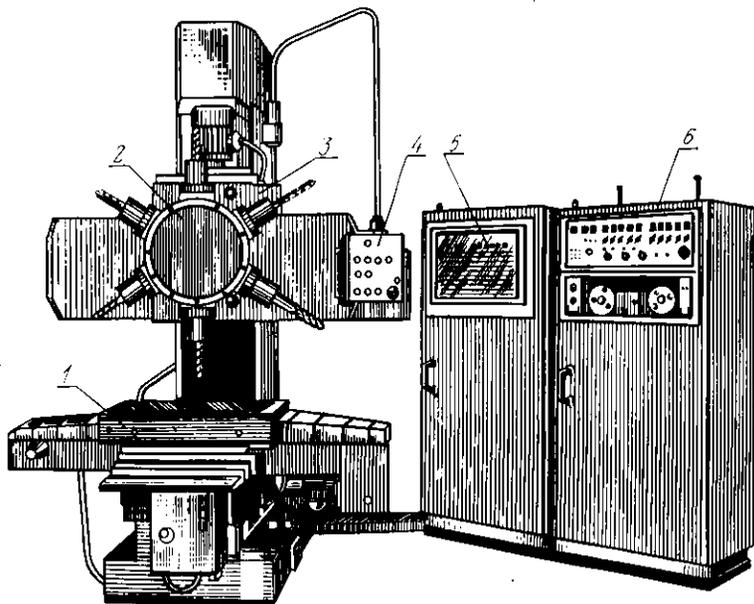


Рис. 9.26. Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ 2Р135Ф2

координатными перемещениями стола. Измерительные преобразователи перемещений, в качестве которых применены круговые электроконтактные преобразователи КП-3, находятся на управляемых органах и связаны с ходовыми винтами продольного и поперечного перемещений стола. Программоносителем служит пятидорожечная перфолента. Программа работы крестового стола может также вводиться с помощью декадных переключателей системы «Координата С-68» (преднабор).

Программа работы револьверной головки *2* и ее суппорта *3* набирается штеккерами на панели *5*. Здесь задается информация о последовательности обработки, а также для каждой позиции револьверной головки: глубина обработки, режимы резания, направление вращения шпинделя при резьбонарезании и др. Для отсчета

вертикальных перемещений револьверного суппорта использован измерительный преобразователь КП-3.

Информация измерительных преобразователей перемещений выводится на панель цифровой индикации, что дает возможность наблюдать за положением крестового стола и револьверной головки. Цифровая индикация используется при контроле правильности записанной на перфоленте программы и в ходе настройки станка. Подвесной пульт 4 является операционным: на нем находятся органы управления станком.

Кинематическая схема. Главное движение инструмента осуществляется от электродвигателя 1 (рис. 9.27) через коробку скоростей, коническую зубчатую передачу 22—23, скользящую по валу VI шестерню 24 и шестерни 25, 26—27—28—29. При этом получает вращение шпиндель, находящийся в рабочей позиции револьверной головки.

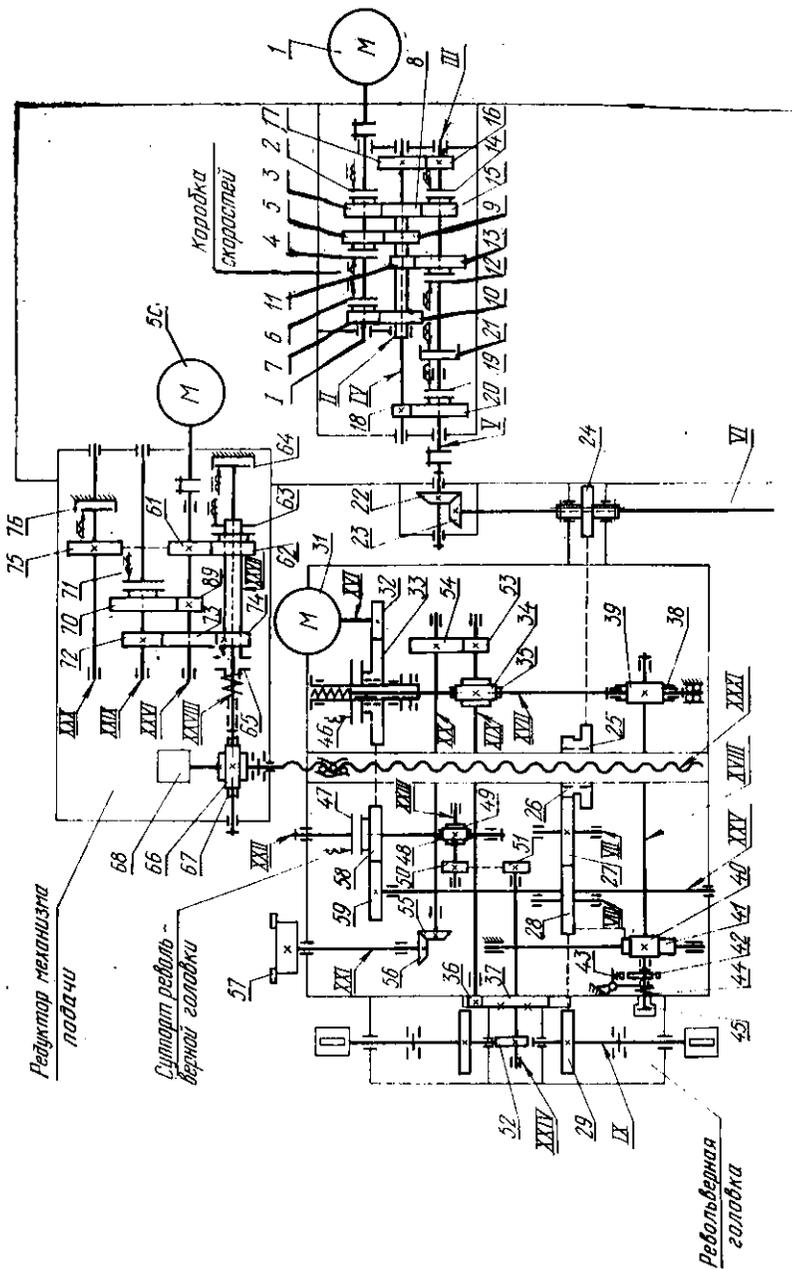
Шесть скоростей верхнего диапазона частоты вращения шпиндель получает через передачи 3—8, 5—9, 7—10, 8—15, 11—13, переключаемые с помощью электромагнитных муфт, когда включена электромагнитная муфта 21, связывающая валы III и V. Шесть скоростей нижнего диапазона передаются на шпиндель с вала III коробки скоростей через понижающую передачу 16—17, вал IV, свободно вращающийся внутри полого II, понижающую передачу 18—20 при включении электромагнитной муфты 19.

Суппорт револьверной головки получает быстрое движение и подачу от электродвигателя 60 через редуктор механизма подачи и передачу винт — гайка качения. Быстрое его движение осуществляется через зубчатую передачу 61—62 при включении электромагнитной муфты 63, вал XXVII, предохранительную дисковую муфту 65, вал XXVIII, червячную пару 66—67 и ходовой винт XXXI. Вал XXVIII проходит свободно внутри полого XXVII и связывается с ним только с помощью фрикционной муфты 65. Электромагнитная муфта 63 находится на полом валу XXVII.

Рабочая подача суппорта заимствуется от вала XXVI через понижающую зубчатую передачу 69—70 при включении электромагнитной муфты 71 (при этом муфта 63 выключена). Движение передается на ходовой винт XXXI через шестерни 72—73—74, фрикционную муфту 65, вал XXVIII и червячную пару 66—67. Перемещение револьверного суппорта контролируется кодовым преобразователем 68 типа КП-3.

Шестерня 75 служит для разбрызгивания масла. Электромагнитный тормоз 76 осуществляет торможение ротора электродвигателя при переключении с прямого вращения на обратное. Электромагнитный тормоз 64 предназначен для торможения ходового винта XXXI.

Движение на поворот револьверной головки передается на зубчатые колеса 36—37 от двухскоростного асинхронного электродвигателя 31 через зубчатые колеса 32—33 и червячную пару 34—35.



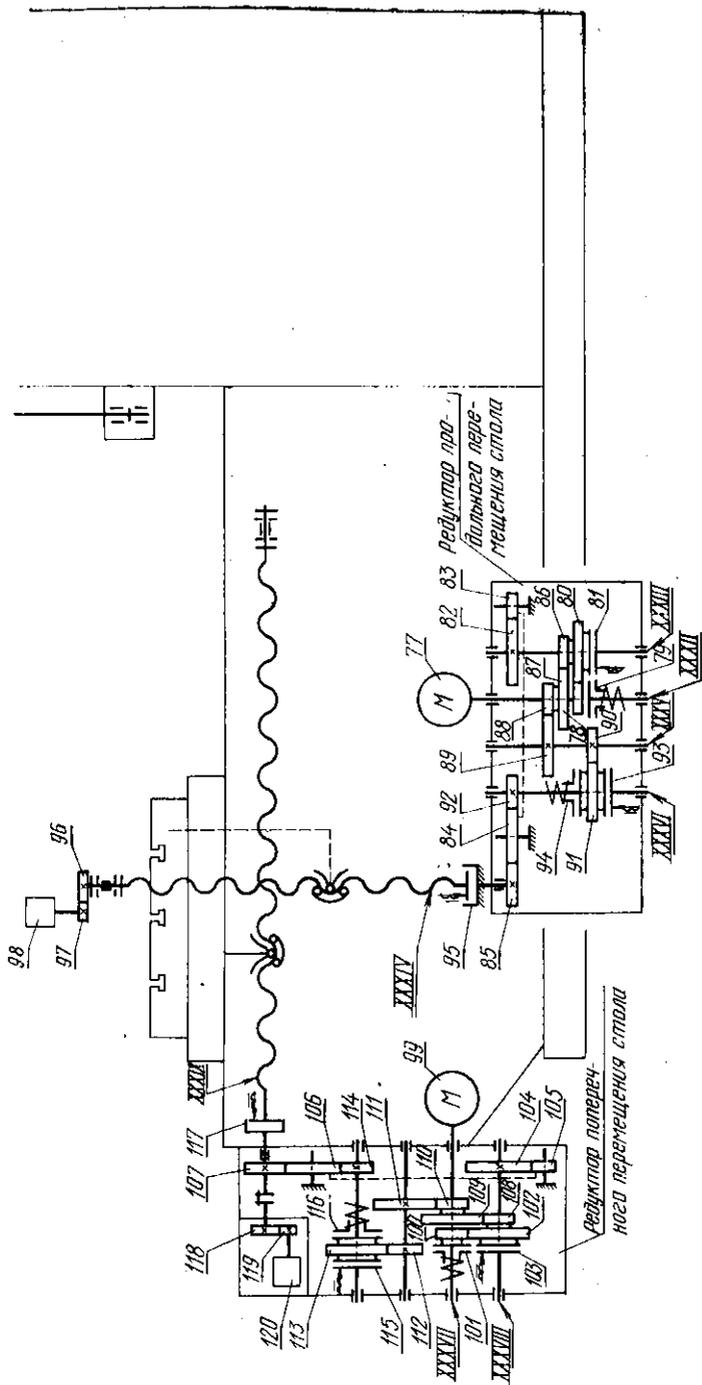


Рис. 9.27. Кинематическая схема станка 2P135Ф2

Когда револьверная головка находится на рабочей позиции, она прижата к суппорту подпружиненной тягой 45, которая входит в Т-образный паз корпуса головки. Поэтому в начале цикла поворота головка должна быть освобождена. Происходит это следующим образом. При включении двигателя крутящий момент через колеса 32—33 передается на червяк 34. Вследствие того что револьверная головка прижата к своему суппорту, вал XIX вместе с червячным колесом 35 вращаться не может. Поэтому червяк 34 выворачивается из червячного колеса и вместе с валом XVII перемещается вниз. При этом через реечную пару 38—39 получает вращение вал XVIII. С помощью реечного колеса 40 и рейки 41 он выводит колесо 28 из зацепления с колесом 27 (находящийся на рабочей позиции шпиндель перестает вращаться), а кулачком 42 через рычаг 43 сжимает пружину 44 так, что револьверная головка освобождается. В этот момент вал XVII доходит до жесткого упора, и осевое перемещение червяка 34 прекращается. Он получает возможность быстро поворачивать револьверную головку в нужную позицию. Цикл предусматривает перебег нужной позиции при этом быстром вращении в так называемом прямом направлении и последующий выход на позицию при медленном довороте головки в обратном направлении. Доворот производится тем же электродвигателем, который переключается на медленное обратное вращение командоаппаратом 57. Последний вращается одновременно с револьверной головкой, получая движение от вала XIX через зубчатые колеса 53—54, 55—56. В конце доворота револьверная головка доходит до жесткого упора, находящегося на суппорте, и останавливается в заданной позиции.

В это время червяк 34 выворачивается из остановившегося червячного колеса 35 и перемещается вверх. Соединенный с червяком вал XVII через реечную пару 38—39 поворачивает вал XVIII. Кулачок 42 с помощью пружины зажимает револьверную головку. Перемещением рейки 41 колесо 28 вводится в зацепление с одним из колес 29, так что выведенный на рабочую позицию шпиндель получает вращение. На этом цикл поворота револьверной головки заканчивается.

Выпрессовка инструментов предусмотрена для ускорения их смены. Ее производит кулачок 52. При включении электромагнитной муфты 47 кулачок получает вращение через шестерни 33—58, червячную пару 48—49 и шестерни 50—51.

Редукторы перемещений салазок и стола похожи по конструкции. Цикл перемещений салазок и стола включает быстрое и медленное перемещения. Быстрое продольное перемещение передается на стол от электродвигателя 77 через вал XXII, шестерни 78—80 при включенной электромагнитной муфте 81, шестерни 82—83—84—85 и ходовой винт XXIV пары винт — гайка качества.

Медленное продольное перемещение стола осуществляется от того же электродвигателя через шестерни 78—80, 86—87, 88—89,

90—91, 92—84—85, когда электромагнитная муфта 81 выключена, а 93 включена.

В редукторе имеются шариковые предохранительные муфты 79 и 94.

Продольное перемещение стола контролируется кодовым преобразователем 98 типа КП-3. Тормоз 95 предназначен для торможения стола.

Структурная схема системы управления. Станок модели 2Р135Ф2 оснащен устройством программного управления 4 (рис. 9.28) типа «Координата С-68», которое предназначено для управления приводами перемещений координатного стола. Режим работы станка 5 выбирается на пульте 1 устройства. Для включения автоматического режима необходимо нажать кнопку «Цикл», находящуюся на пульте 9. Посредством блока ввода программы 2 осуществляется ввод первого кадра. При этом производится контроль его по модулю. Если кадр введен правильно, его обрабатывает цикловой блок 3 и выдаст информацию на перемещение стола 7.

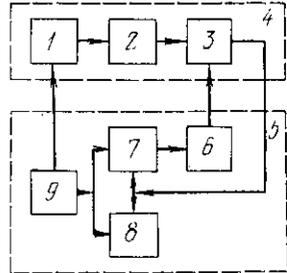


Рис. 9.28. Структурная схема системы управления «Координата С-68»

В процессе перемещения стола и салазок устройство ЧПУ получает информацию о величине перемещения. При совпадении величины действительного перемещения, измеренного кодовым преобразователем 6, с величиной, заданной по программе и введенной в цикловой блок 3, последний выдает команду на отключение привода.

После отработки координатных перемещений цикловой блок выдает команду на выполнение цикла движений револьверной головки 8. Окончанием этого цикла разрешается ввод следующего кадра программы.

9.15. Фрезерные станки с ЧПУ

Особенности фрезерных станков с ЧПУ. Фрезерные станки с ЧПУ предназначены для обработки плоских и объемных фасонных деталей (кулачков, шаблонов, штампов и т. п.). Они имеют компоновку консольных, бесконсольных, продольных и оснащаются контурными или прямоугольными системами ЧПУ.

Станки, изготавливаемые на базе обычных серийных, имеют коробку скоростей с передвигными зубчатыми блоками. Новейшие конструкции оснащаются бесступенчатым приводом главного движения или автоматической коробкой скоростей с электромагнитными муфтами. Привод подачи бывает разомкнутым шаговым электрогидравлическим, замкнутым следящим электрическим и замкнутым гидравлическим.

Большинство фрезерных станков являются одноинструментными. На многоинструментных имеется револьверная головка на 5—6 инструментов или цепной магазин емкостью до 30 инструментов.

Вертикально-фрезерный станок 6Р13ФЗ. Привод главного движения станка (рис. 9.29) выполнен на основе коробки скоростей 2

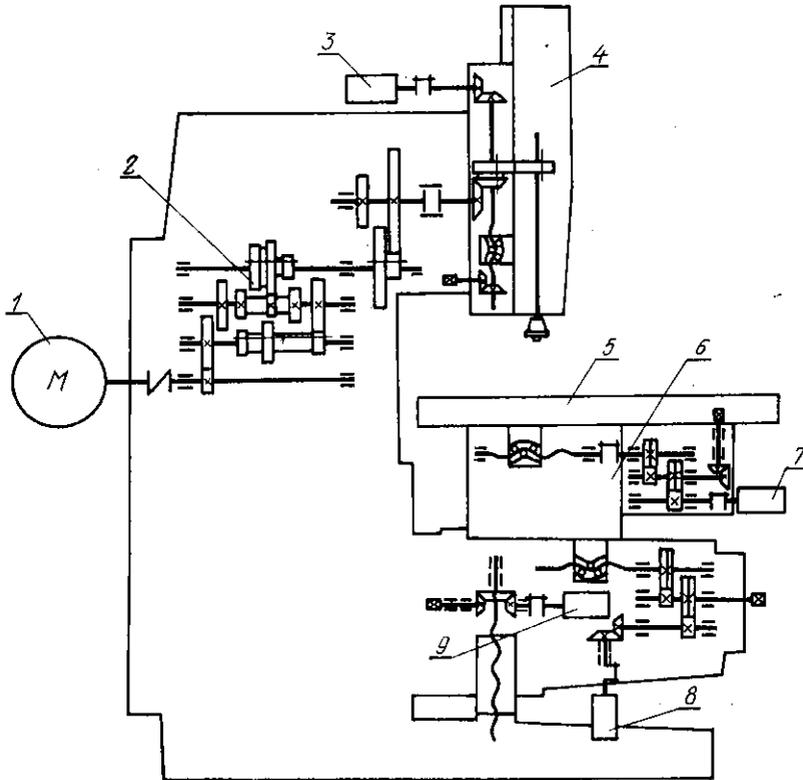


Рис. 9.29. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка 6Р13ФЗ

с электродвигателем 1 и передвижными блоками колес. Шпиндель получает 18 ступеней частоты вращения. Шпиндельная бабка 4, стол 5 и салазки 6 перемещаются с рабочими подачами по координатам Z , X и Y соответственно, получая движение от электрогидравлических шаговых приводов 3, 7 и 8. Поддачи изменяются бесступенчато. Цена импульса подачи составляет 0,01 мм. Для установочных перемещений консоли предназначен гидродвигатель 9.

9.16. Многоцелевые станки типа «обрабатывающий центр»

Особенности многоцелевых станков. Наряду со станками для отдельных операций, появились станки с ЧПУ, способные выполнять несколько операций: фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы. На многоцелевом станке, называемом «обрабатывающий центр», имеются автоматический инструментальный магазин и иногда устройство для автоматической смены обрабатываемых деталей, а также развитая система ЧПУ, что позволяет автоматизировать весь цикл обработки: формообразование, изменение режимов резания, смену режущих инструментов, повороты и смену обрабатываемых деталей, выполнение вспомогательных команд. Одной из особенностей этих станков является тенденция к максимальному выполнению обработки одним инструментом. Например, одной концевой фрезой обрабатывают бобышки, окна, отверстия; одним резцом, установленным в расточной головке на радиально перемещающемся суппорте, растачивают отверстия разных диаметров, снимают фаски, подрезают торцы. Перечисленные качества многоцелевых станков обуславливают значительное повышение точности и производительности обработки по сравнению с обычными станками.

Многоцелевые станки с вертикальной осью шпинделя не имеют поворотного стола и могут обрабатывать с одной стороны плоские детали: крышки, планки, кондукторные плиты, литые детали шпиндельных коробок и т. п. На многоцелевых станках с горизонтальной осью шпинделя можно обрабатывать с четырех сторон детали (обычно корпусные), устанавливаемые на столе с вертикальной осью поворота.

Применяются столы поворотные накладные, возвышающиеся над координатным, и поворотные утопленные. Рабочая поверхность утопленного стола находится на одном уровне с плоскостью координатного, что дает возможность обрабатывать крупногабаритные детали с одной стороны и небольшие с разных сторон. Число индексаций столов равно 4,8 и более (например, через 5 или 15°). Полная обработка деталей на станках с горизонтальной осью шпинделя возможна при их оснащении кантователями или дополнительным вертикальным шпинделем.

По компоновке многоцелевые станки (рис. 9.30) напоминают горизонтально-расточные, продольно-фрезерные, вертикально-фрезерные, но по конструкции почти всех узлов значительно отличаются от них. Появились многоцелевые станки оригинальных компоновок, обусловленных функциональным их назначением.

Привод главного движения многоцелевых станков делают бесступенчатым с регулированием частоты вращения шпинделя в широком диапазоне, что необходимо для высокопроизводительной обработки как при высокой частоте вращения (расточивание малых

отверстий), так и при низкой (нарезание резьбы, развертывание отверстий большого диаметра). Шпиндель, участвующий в выполнении черновой и чистовой обработки, отличается повышенной точностью и жесткостью. На некоторых станках имеются два шпинделя. Один из них предназначен для черновой обработки, другой — для чистовой. Оба шпинделя могут быть использованы иначе: в легком поочередно работают сменяемые инструменты, а в более жестком постоянно закреплена фреза, благодаря чему можно уменьшить шаг между гнездами в инструментальном магазине и соответственно увеличить его объем.

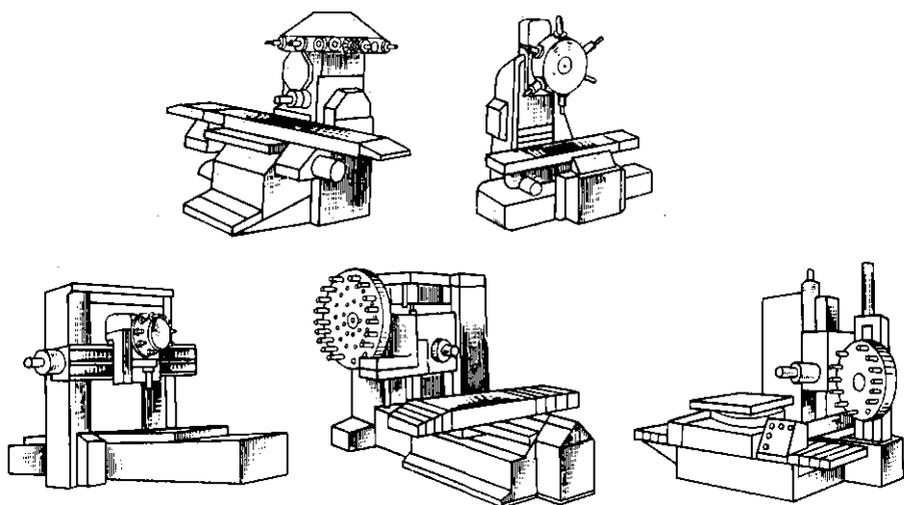


Рис. 9.30. Некоторые компоновки многоцелевых станков

С целью повышения точности и долговечности многоцелевых станков в приводах подачи и позиционирования устанавливаются беззазорные редукторы, шариковые и гидростатические винтовые пары, а также используются гидростатические направляющие или направляющие качения.

Устройства для смены заготовок. Заготовки, обрабатываемые на многоцелевом станке, устанавливаются непосредственно на его столе и закрепляются в приспособлении, в частности приспособлении-спутнике. На станках типа «обрабатывающий центр» применяются простые приспособления, обычно собранные из универсальных элементов, а время, затрачиваемое на смену заготовок, сокращается путем совмещения их смены с работой станка. Это достигается следующими способами.

1. На столе предусматривается загрузочная позиция. Например, во время обработки заготовки, установленной на одном поворотном столе, следующую заготовку закрепляют на другом

(рис. 9.31, *а*), который в нужный момент сдвигается на рабочую позицию. Этот способ обработки называется маятниковым или челночным.

2. Применяется двухпозиционный поворотный стол (рис. 9.31, *б*) или многопозиционный барабан с загрузочной позицией.

3. Во время обработки одной заготовки следующая закрепляется на плите-спутнике. По окончании цикла плита-спутник быстро зажимается в простейшем приспособлении на столе станка. Этот способ применяется при обработке небольших заготовок. Плиты с крупногабаритными заготовками перемещаются краном.

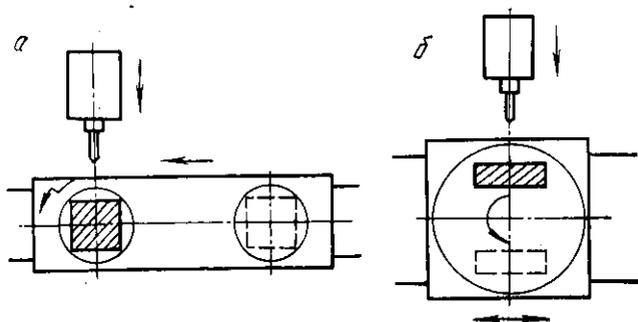


Рис. 9.31. Способы смены заготовок с помощью стола

4. Быстрая смена плит-спутников 1 (рис. 9.32) производится путем их сдвига с рабочего стола 2 на вспомогательные 3 или 4. Там обработанную деталь снимают, закрепляют новую заготовку, а в это время на рабочей позиции производится обработка.

Компоновки *а, б, в* на рис. 9.32 отличаются удобством, так как позиции загрузки и разгрузки или совмещены, или расположены близко друг от друга. Плиты-спутники перемещаются по рольгангам или на воздушной подушке вручную, а также с помощью гидравлических толкателей. Сменные плиты могут быть применены при невысоких требованиях к точности обработки.

Системы инструментальной оснастки. Инструментом для многоцелевого станка называют комплект из собственно режущего инструмента и инструментальной оправки. Последняя, как правило, центрируется в шпинделе станка по конической поверхности и редко — по цилиндрической. Обычно в качестве хвостовика применяется несамотормозящий конус 7 : 24.

С целью организации автоматической смены инструментов разрабатываются единые системы инструментальной оснастки. Схема такой системы для станков фрезерно-расточной группы показана на рис. 9.33. Переходные оправки разнообразных конструкций дают возможность использовать на станке инструменты различных типов и размеров. Все оправки данного станка должны иметь одина-

ковые элементы для базирования, зажима и восприятия крутящего момента.

Крутящий момент от шпинделя на инструментальную оправку может быть передан торцевыми шпонками, но при этом требуется ориентировать шпиндель и переходную оправку. Чтобы не применять специального механизма ориентации, оправку и шпиндель снабжают зубчатыми венцами, которые сцепляются при любом положении шпинделя. Оправка затягивается в шпиндель проходящим через него штоком, имеющим на конце захватное устройство.

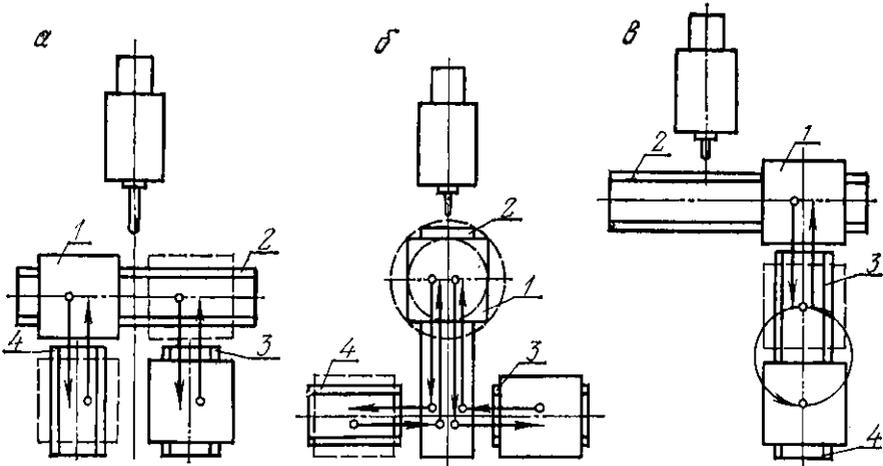


Рис. 9.32. Планировки многоцелевых станков со сдвигающимися плитами-спутниками

Ему соответствует определенная конструкция конца оправки (рис. 9.34).

Кодирование инструментов. Смена режущего инструмента начинается с поиска инструмента, требуемого по программе. Автоматический поиск возможен благодаря тому, что каждому инструменту присваивается индивидуальный номер, называемый кодом.

Имеются два способа кодирования инструментов: 1) кодируются инструментальные оправки; 2) кодируются гнезда в инструментальном магазине.

Рис. 9.33. Система инструментальной оснастки станков фрезерно-расточной группы:

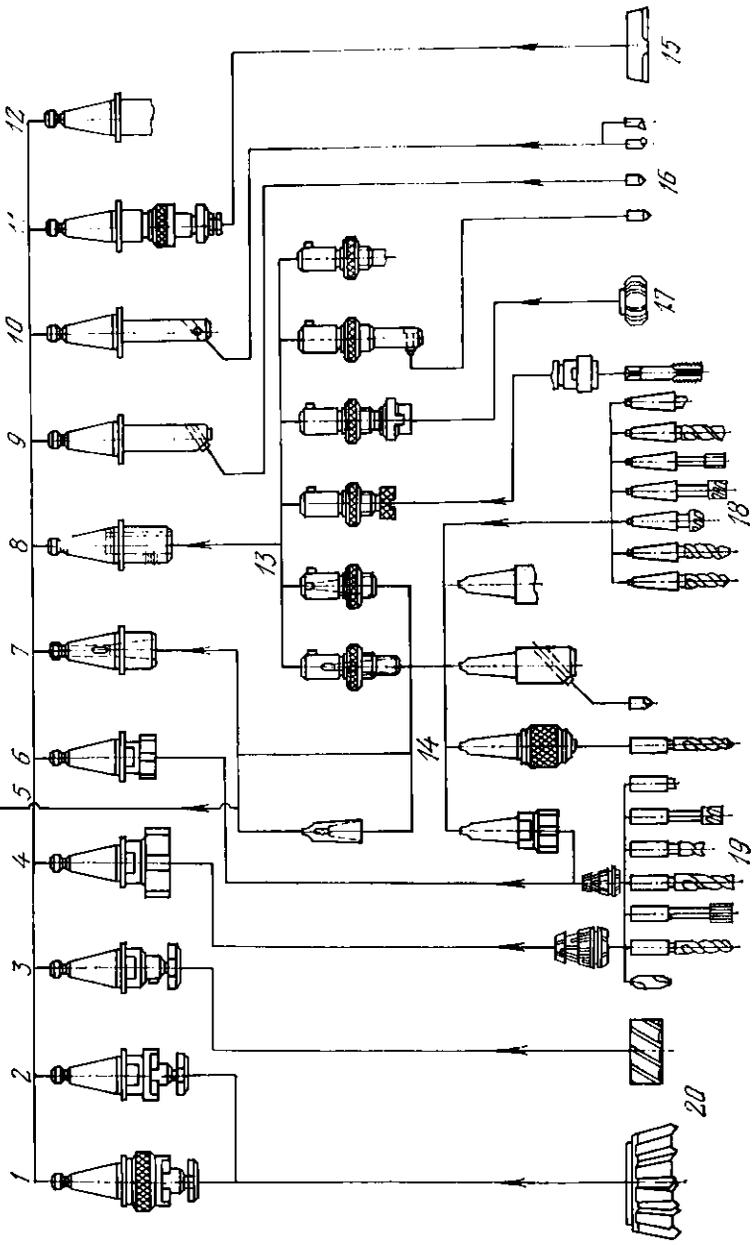
1—3 — оправки для насадных фрез; 4—6 — цапговые патроны; 7 — переходная втулка; 8 — переходная державка; 9, 10 — расточные оправки; 11 — оправка для подрезки торцов; 12 — другие оправки; 13 — оправки регулируемые и с цилиндрическим хвостовиком; 14 — патроны и оправки с коническим хвостовиком; 15 — пластинчатые резцы; 16 — расточные и державочные резцы; 17 — насадные зенкеры и развертки; 18 — инструменты с коническим хвостовиком; 19 — инструменты с цилиндрическим хвостовиком; 20 — насадные фрезы

Шлифдоль
станка

Шлифдоль
станка

Конус Морзе

$\approx 7:24$



Инструментальные оправки кодируют кольцами, помещаемыми на их цилиндрической части, или протачиваемыми на ней канавками. Наиболее просто кодирование производится в двоичной системе, когда единице соответствует кольцо, а нулю — его отсутствие. Каждый инструмент имеет отдельную комбинацию колец.

Инструменты с закодированными оправками помещают в магазин в произвольной последовательности. Отработавший инструмент может быть установлен в любое свободное гнездо. Нужный по программе отыскивается следующим образом. Во время отработки

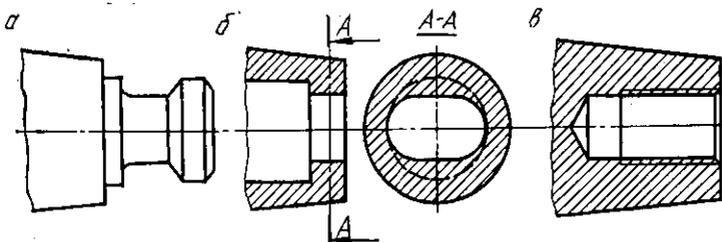


Рис. 9.34. Концы инструментальных оправок:

a — захват за пояс; *б* — захват за уступ с поворотом штока на 90°; *в* — захват с ввинчиванием штока

станком данного кадра программы в систему ЧПУ вводится следующий кадр, содержащий код инструмента. Инструментальный магазин 1 (рис. 9.35) приводится в движение, и кодовые кольца 2 действуют на набор ощупывающих их конечных выключателей 3. Каждому кодовому разряду соответствует конечный выключатель. Когда сигнал, выданный набором выключателей, совпадет с кодом инструмента, заданным программоносителем, магазин остановится, а затем будет заменен инструмент в шпинделе станка. Имеются случаи кодирования инструментальных оправок комбинацией магнитов. Тогда нужный инструмент опознается с помощью магнитной головки.

Вместо инструментальных оправок часто кодируют гнезда магазина. Для этого на него устанавливают кулачки или штифты, которые во время его движения действуют на конечные переключатели. Такой способ кодирования не допускает произвольного размещения инструментов в магазине.

Следует различать две разновидности кодирования гнезд: постоянное и переменное. В первом случае каждому гнезду присваивается постоянный код, а инструменты расставляются в магазине так, чтобы их номера совпадали с номерами гнезд. При этом возможны ошибки при загрузке магазина инструментами. Кроме того, при смене инструмента не может быть помещен в свободное, но не «его» гнездо. Поэтому сначала должно быть найдено гнездо для отработавшего инструмента, а затем гнездо с последующим инструментом. В результате удлиняется цикл их смены. Переменное

кодирование характеризуется тем, что код каждого гнезда задается штифтами, кулачками, ключом (похожим на ключи для дверных замков) в соответствии с номерами, заранее присвоенными инструментам.

Если сравнивать кодирование инструментальных оправок с кодированием гнезд, в первую очередь необходимо отметить, что кодирование оправок исключает возможность аварийных ситуаций во время работы станка, так как невозможно ошибочное размещение инструментов в магазине. Станки с кодированием гнезд магазина обладают названным свойством только при наличии специальных блокировок на случай ошибок при размещении инструментов. Кодирование оправок дает возможность быстрее загружать инструменты в магазин при наладке станка, однако обладает одним существенным недостатком. Оно сопровождается усложнением инструментов, удлинением их оправок и, следовательно, некоторым снижением их жесткости. Очевидно, поэтому в настоящее время преобладает кодирование инструментальных гнезд.

Заметим, что кодирование инструментальных оправок делает возможным автоматический поиск инструментов на автоматизированном складе, адресование их на станки, переключение станков на режим работы, соответствующий коду инструмента.

Когда инструменты размещаются в магазине в порядке их применения в цикле или устанавливаются в револьверной головке, нет необходимости присваивать им номера (коды). Первый случай встречается редко, так как связан со значительным усложнением обслуживания станка.

Револьверные головки и инструментальные магазины. На сравнительно простых многоцелевых станках автоматическая смена инструментов осуществляется с помощью револьверных головок, которые могут нести на себе 6—10 инструментов. Головки имеют горизонтальную или наклонную ось вращения. Недостаточная их жесткость не позволяет осуществлять тяжелые режимы работы. Револьверные головки применяют на станках, имеющих компоновку вертикально-сверлильных, вертикально-фрезерных и продольно-фрезерных, а также на токарных станках.

Большой запас инструментов — до 100 и более — обеспечивается при применении инструментальных магазинов.

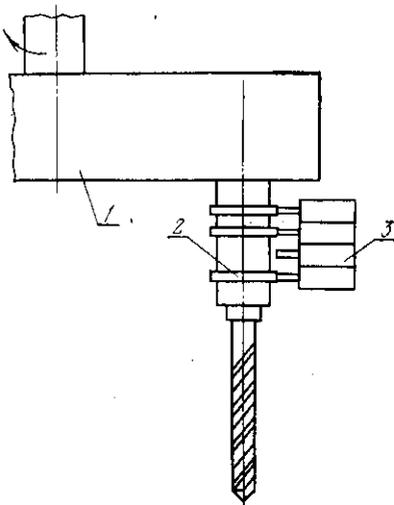


Рис. 9.35. Схема поиска инструмента в магазине

Широко применяются барабанные магазины с вертикальной осью вращения. Инструменты в них располагаются радиально, параллельно оси барабана или по образующим конуса (рис. 9.36, *а—в*). Находят применение магазины с горизонтальной или наклонной осью (рис. 9.36, *г, д*). С использованием барабанов строят многосекционные магазины, вмещающие до 100 инструментов (рис. 9.36, *е, ж*). Большой объем (30—100 инструментов) характерен для цепных инструментальных магазинов (рис. 9.36, *з, и*). Они выполняются в виде цепи, на звеньях которой закрепляют гнезда для инструментов, и удобны тем, что их конфигурация легко приспособляется к станку.

Одна из конструкций инструментального гнезда показана на рис. 9.37. От выпадания из него оправка 9 удерживается с помощью защелки 7 и пружин 3. Для ее освобождения утапливается палец 6, который через рычаг 5 выводит планку 4 из щели между втулкой 8 и защелкой 7. Втулка защищает конус оправки от загрязнения и повреждения. Поверхности 1 служат для фиксации гнезда в магазине цепного типа, а поверхностями 2 она фиксируется в гнезде транспортного автооператора.

Инструментальный магазин станка 243ВМФ4 с инструментальными гнездами другой конструкции изображен на рис. 9.38. Инструментальная оправка 3 (рис. 9.38, *а*) удерживается в магазине 2 пружиной 6. Грибок 7 на оправке служит для закрепления в шпинделе станка, кольцевой паз 1 — для ее захвата рукой автооператора. Втулки 4 и 5 предохраняют хвостовик оправки от загрязнения.

Поворот инструментального магазина 15 (рис. 9.38, *б*) производится от электродвигателя 1 через червячную пару 2—3, вал 4, зубчатые колеса 9—10, червячную пару 11—12 и колеса 13—14. Опоры червячного колеса 3 находятся в корпусе. Оно имеет внутреннюю трапецидальную резьбу, а на каждом торце по кулачку.

В начале поиска инструмента от электродвигателя 1 получает вращение червячное колесо 3. Вал 4 удерживается от вращения фиксатором 8, входящим в паз диска 7, и поэтому при вращении колеса-гайки 3 вал-винт 4 перемещается вверх или вниз. В тот момент, когда диск 7 выходит из контакта с фиксатором 8, верхний или нижний торцевой кулачок червячного колеса 3 вступает во взаимодействие с кулачком дисков 5 или 6, которые жестко закреплены на валу 4. В результате вал получает вращение, а от него и магазин 15. С магазином кинематически связаны кодовые диски, а на корпусе станка закреплены бесконтактные конечные переключатели. Лепестки кодовых дисков входят в прорези переключателей, и на выходе появляются двоично-десятичные кодовые сигналы номеров инструментальных гнезд. Как только полученный сигнал совпадает с номером гнезда, заданным по программе, происходит реверс электродвигателя. К этому моменту заданное гнездо магазина перебегаёт позицию смены инструмента. Вал 4, начавший вращаться в обратном направлении, некоторое время не может сдвинуться

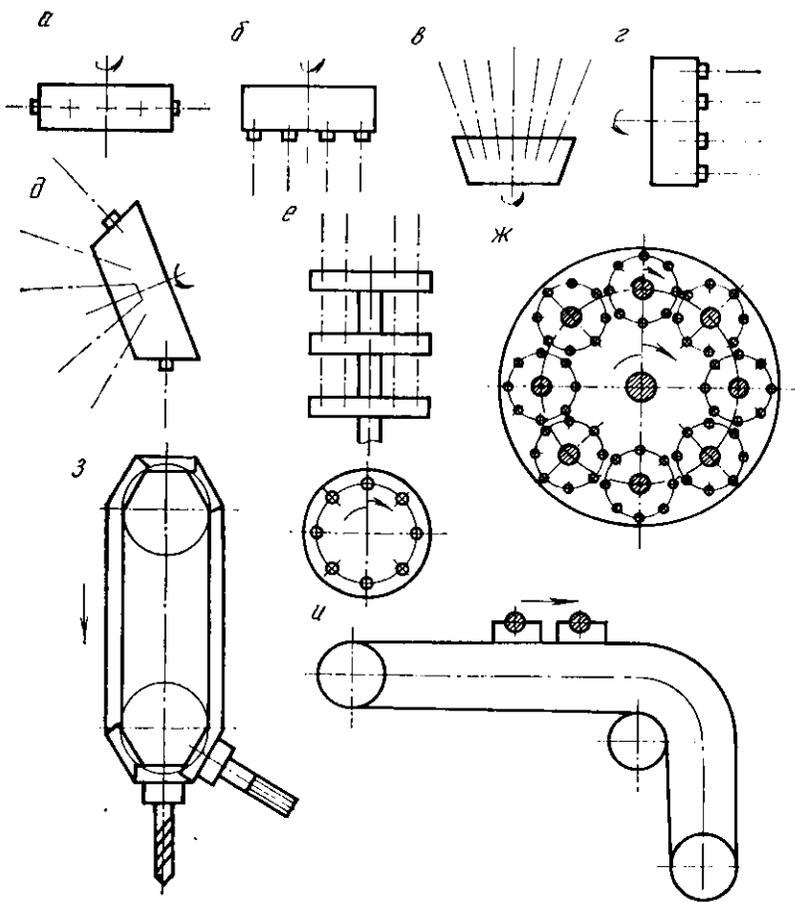


Рис. 9.36. Инструментальные магазины

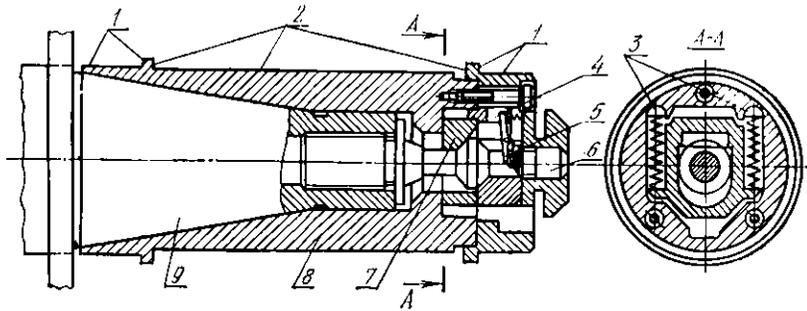


Рис. 9.37. Инструментальное гнездо

вдоль оси, так как фиксатор 8 упирается в торец диска 7. Когда же наконечник фиксатора попадает в паз диска 7 и вал-винт 4 получает осевое перемещение, кулачок 16 нажимает конечный переключатель 17 и двигатель 1 останавливается. В результате всех этих движений заданное гнездо магазина оказывается в позиции смены инструмента.

Инструментальный магазин может быть расположен на шпиндельной бабке, на колонне, станине или столе станка, а также рядом с ним. Последнее целесообразно для больших магазинов, так как позволяет избежать переменной для различных наладок нагрузки на станину. При расположении инструментального магазина

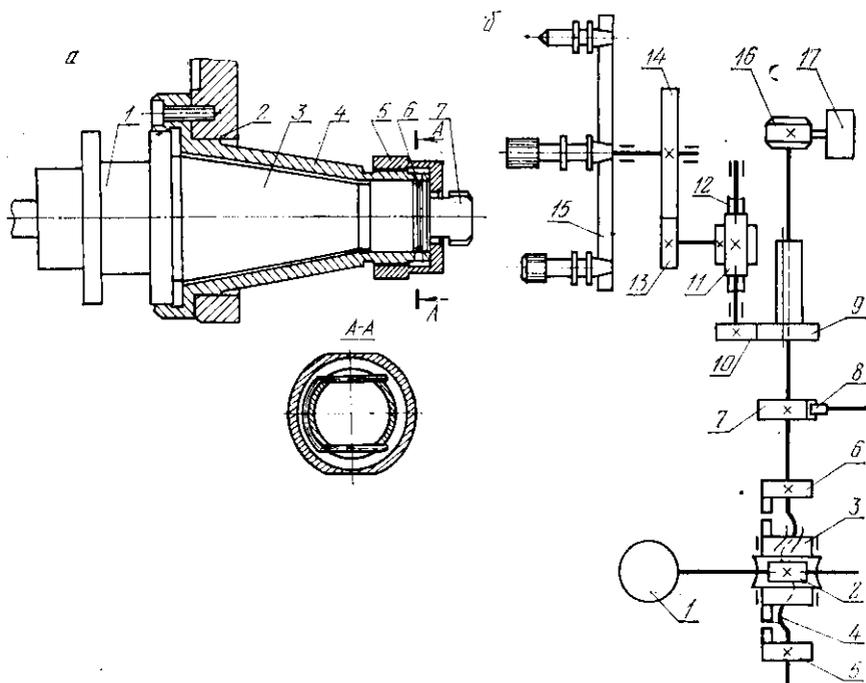


Рис. 9.38. Инструментальный магазин станка 243ВМФ4

на шпиндельной бабке сокращаются затраты времени на смену инструментов и упрощается конструкция автооператора. Однако из-за недопустимости большого веса магазина его емкость может быть сравнительно малой, кроме того, возможно загрязнение рабочих конусов оправок, затрудняются наблюдение за состоянием инструментов и обслуживание магазина.

Автооператоры. Замену инструмента в шпинделе станка по окончании каждой операции производят автооператоры. Если инструментальный магазин расположен далеко от шпинделя, автооператор

работает в сочетании с дополнительным транспортным автооператором.

По числу захватов автооператоры делятся на одно-, двух- и многозахватные; по виду их движения — на автооператоры, выполняющие вращательное движение вокруг оси, параллельной или перпендикулярной к оси инструмента, или поступательное движение в плоскости, перпендикулярной к оси.

Применяют механизмы захвата, работающие по принципу радиального зажима с подпружиненным элементом (рис. 9.39, *а*), клещевые (рис. 9.39, *б*), тисочные (рис. 9.39, *в*), а также клещевые, работающие по принципу осевого зажима (рис. 9.39, *г*, *д*).

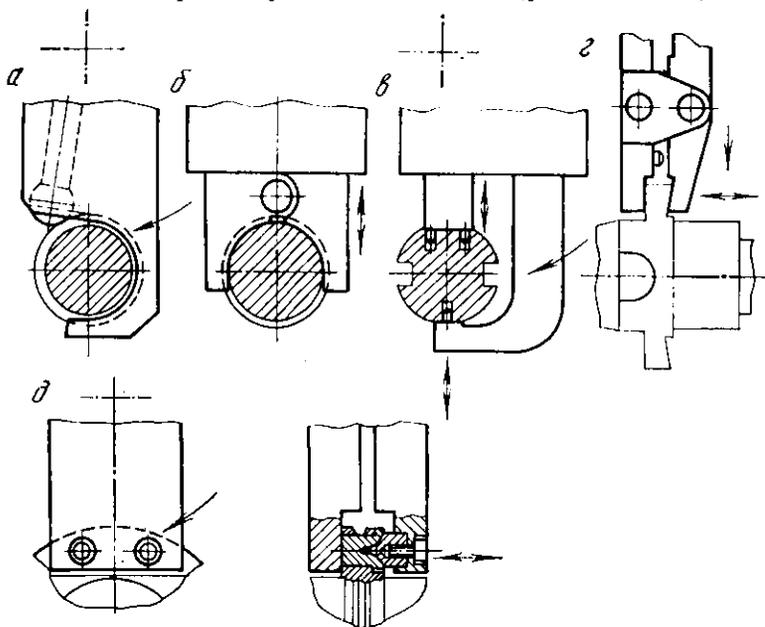


Рис. 9.39. Механизмы захвата инструмента

Однозахватные автооператоры (рис. 9.40, *а*, *б*) отличаются простотой конструкции, но производят замену инструмента за достаточно длительное время (до 10 с), которое можно сократить применением автооператора в комбинации с револьверной головкой.

Двухзахватные автооператоры с поступательным движением захвата (рис. 9.40, *в*, *г*), способные выполнять функцию транспортирования инструмента, используются в случае расположения инструментального магазина вне станка. При этом сокращается количество механизмов в устройстве смены инструментов и упрощается система управления. Широкое распространение получили двухзахватные автооператоры с вращательным движением захватов. Из

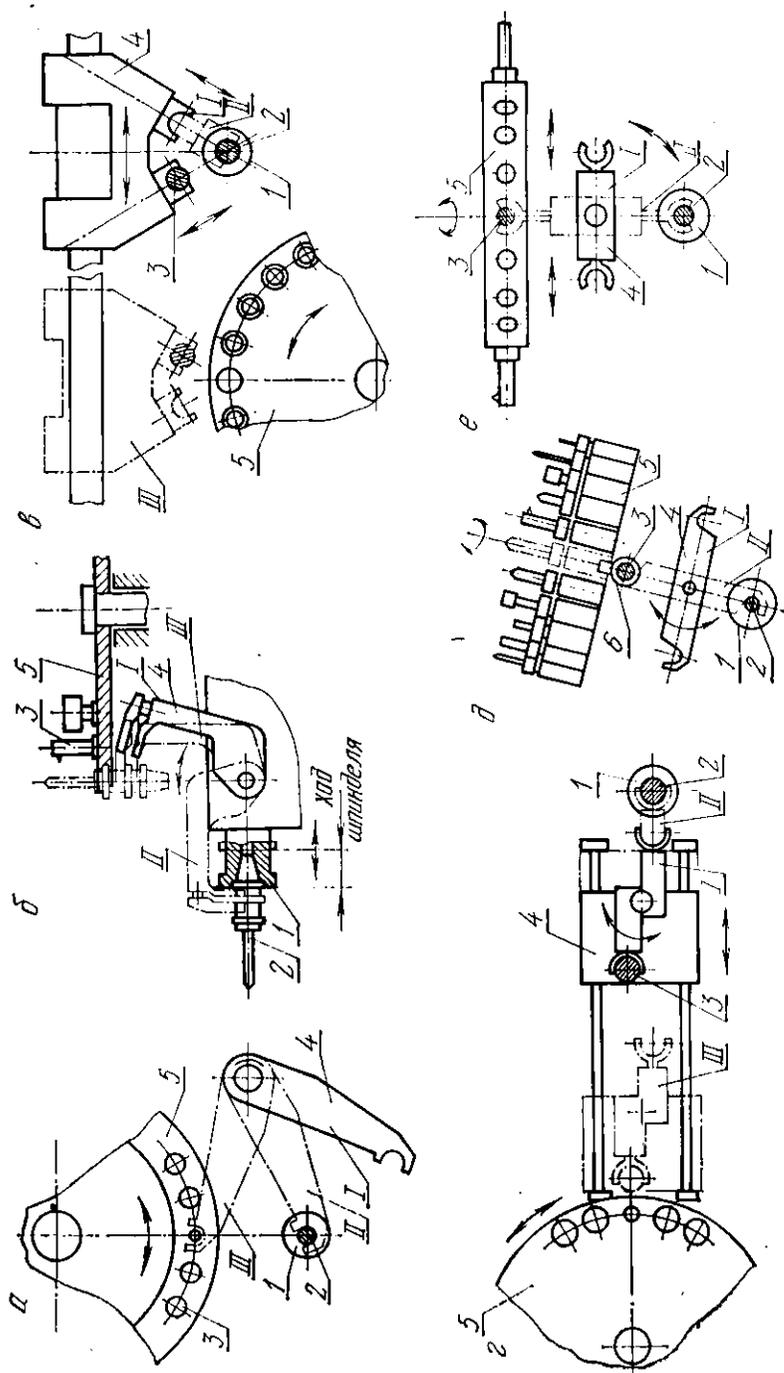


Рис. 9.40. Схемы инструментальных автооператоров:
 3 — новый инструмент; 4 — корпус автооператора; 5 — инструментальный магазин; 6 — захват; I, II, III — последовательные положения автооператора

них наиболее просты по конструкции автооператоры с радиальным зажимом инструментов (рис. 9.40, *д*), но движение захвата по дуге окружности не позволяет располагать инструменты близко друг от друга. Когда инструментальный магазин находится близко от шпинделя, целесообразно применять автооператоры с комбинированным движением захвата (рис. 9.40, *е*). Для извлечения из шпинделя отработавшего инструмента и загрузки нового в направлении оси шпинделя может перемещаться как он сам (рис. 9.40, *б*), так и автооператор (рис. 9.40, *а, д*). В некоторых случаях (рис. 9.40, *д*) в необходимое для смены инструмента положение поворачивается инструментальная оправка.

С целью ускорения смены инструментов в сочетании с инструментальным магазином работает двухшпиндельная револьверная головка. Во время работы одного шпинделя в другом меняется режущий инструмент. По окончании технологической операции револьверная головка поворачивается на 180° и в течение 1—2 с в работу вступает новый инструмент. Инструменты точные и ответственные, тяжелые и крупногабаритные (все неудобные для размещения в магазине), а также многошпиндельные головки на некоторых станках меняют вручную по команде программиста.

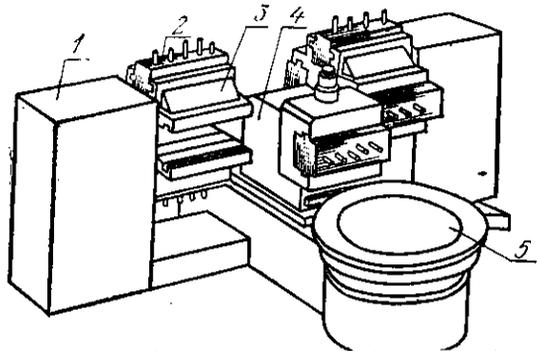


Рис. 9.41. Компоновка станка фирмы Hille — Henschel

Многоцелевые станки, производящие последовательную обработку одним инструментом, недостаточно производительны. В связи с этим разрабатываются конструкции быстропереналаживаемых станков с автоматической сменой многошпиндельных головок. Они эффективны в мелкосерийном и серийном производствах при изготовлении корпусных деталей. Небольшие многошпиндельные головки с 6—8 инструментами устанавливаются в обычном магазине. Крупные помещают в отдельном магазине. Например, на станке фирмы Hille—Henschel (рис. 9.41) многошпиндельные головки 2 хранятся на барабанах 3, расположенных с обеих сторон силового стола 4, а также на верхних плоскостях стоек 1. Приспособления для обрабатываемых деталей размещают на поворотно-делительном столе 5. Отработавшая головка автоматически сдвигается на свободную позицию магазина, а очередная перемещается на направляющие силовой бабки. Время смены головки составляет 8 с.

Механизмы зажима инструментов в шпинделе станка. Для зажима фрезерных и расточных оправок может применяться меха-

низм, показанный на рис. 9.42, а. Оправка 1 вставляется в шпindel 16, имеющий возможность перемещаться вместе с гильзой 15 в осевом направлении, затягивается навинченной на стержень 6 цангой 4, которая действует на головку винта 14 усилием пакета тарельчатых пружин 5, опирающихся на гайку 7. От самопроизвольного раскрытия цанга предохраняется втулкой 2. Если оправка в шпинделе отсутствует, чашка 12 доводится пружинами до упора во фланец 8.

Для освобождения инструмента служит гидроцилиндр, корпус 10 которого получает осевое перемещение вместе со шпинделем и пред-

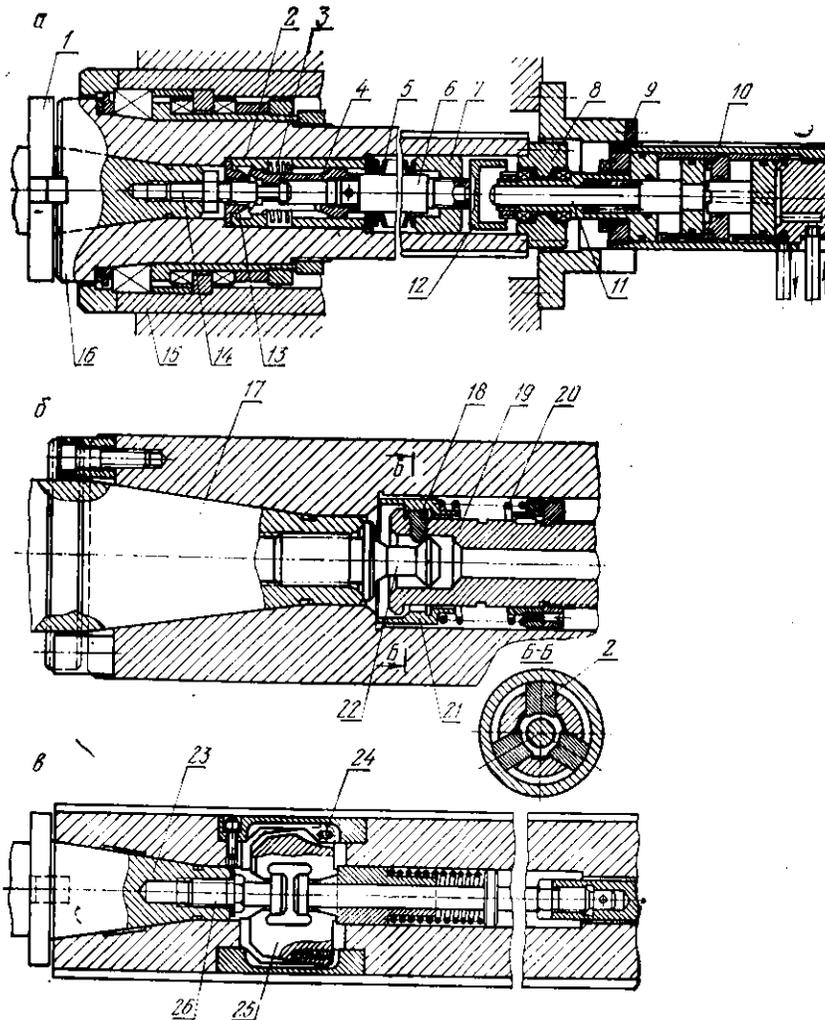


Рис. 9.42. Механизмы зажима инструментов в шпинделе станка

охраняется от вращения шпонкой 9, прикрепленной к корпусу шпиндельной бабки. Масло, поступающее в правый гидроцилиндр, проходит по его штоку в левый. Шток 11 с усилием, развиваемым обоими цилиндрами, через чашку 12 действует на пакет тарельчатых пружин. При этом цанга 4 перемещается влево и раскрывается конической втулкой 13, которая удерживается в нужном положении пружиной 3. При последующем ходе влево цанга 4, действуя своим торцом на головку винта 14, выталкивает оправку из шпинделя.

Механизм с тремя радиально расположенными сухарями 18 (рис. 9.42, б) применяется при больших усилиях резания. Затягивание оправки 17 в коническое отверстие шпинделя происходит при контакте сухарей с головкой винта 22, когда тяга 19 под действием пакета тарельчатых пружин перемещается вправо, а втулка 21 при этом утапливает сухари. Пружина 20 прижимает втулку 21 к торцу расточки в шпинделе. Для очистки его конуса через осевое отверстие в тяге 19 периодически продувается воздух.

При больших усилиях зажима применяется механизм с двумя скобами 25 (рис. 9.42, в), качающимися на осях 24. Скобы захватывают головку вставленного в оправку 23 винта 26.

Требуемое усилие зажима оправки в коническом гнезде шпинделя определяется по формуле

$$Q = 1,57p(\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \rho)(D + d)L \pm P,$$

где p — удельное давление на поверхности контакта, принимаемое при чистовой обработке равным 200 Н/см^2 , при черновой — $300 - 400 \text{ Н/см}^2$;

φ — угол между осью конуса и образующей;

ρ — угол трения в соединении при зажатии оправки;

D и d — наибольший и наименьший диаметры соединения;

L — длина конического соединения;

P — осевое усилие резания (когда выталкивает оправку, учитывается со знаком плюс, когда вытягивает — со знаком минус).

При наличии выточки посередине (рис. 9.42, в) приведенная формула должна быть соответствующим образом скорректирована.

ГЛАВА 10. СТАНКИ С АДАПТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

10.1. Станки с системами предельного управления

Адаптивные системы управления делятся на две большие группы: 1) предельного управления; 2) оптимального управления. Адаптивные системы предельного управления можно разделить на технологические и геометрические.

Принцип действия технологических систем предельного управления состоит в том, что регулируемый параметр (мощ-

ность, сила резания, крутящий момент на шпинделе и т. д.) поддерживается на заданном предельном уровне. Для этого при изменении условий обработки обычно автоматически изменяется подача. В результате повышается производительность и снижается себестоимость обработки, обеспечивается защита инструмента и станка от поломок, происходит автоматическое деление припуска на проходы.

Геометрические системы предельного управления предназначены для повышения точности обработки путем поддер-

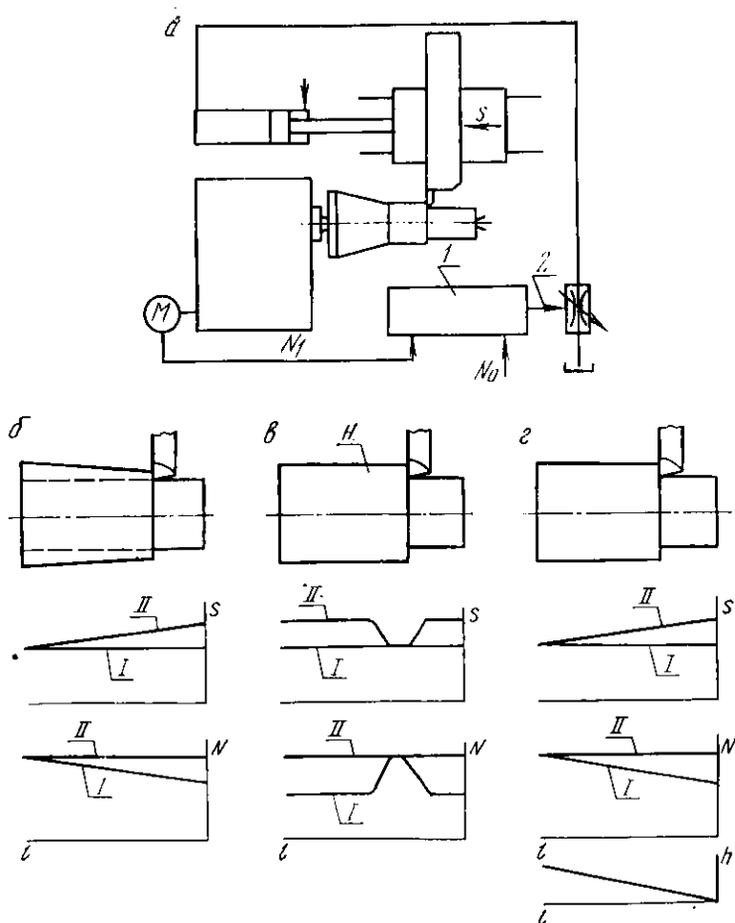


Рис. 10.1. Принципиальная схема адаптивной системы предельного управления и его влияние на работу токарного станка:

I — работа без адаптивного управления; *II* — работа при наличии адаптивного управления; *l* — перемещение инструмента; *s* — подача; *N* — мощность резания

жания регулируемого параметра (обычно силового) на предельном уровне.

Адаптивная система предельного управления, изображенная на рис. 10.1, а, предназначена для поддержания мощности резания на предельном уровне путем регулирования подачи s . В систему управления I вручную или программно вводится предельное значение мощности резания N_0 . Измерительным преобразователем непрерывно определяется фактическое значение мощности резания N_1 . В результате сравнения N_1 и N_0 вырабатывается сигнал 2, на основе которого производится изменение рабочей подачи. Благодаря этому снижается время обработки в случае переменного припуска на детали (рис. 10.1, б), колебания ее твердости H (рис. 10.1, в), нарастания износа инструмента h (рис. 10.1, з).

В адаптивных системах предельного управления обычно измеряются силовые параметры процесса резания (мощность или крутящий момент на шпинделе, та или другая составляющая силы резания) или связанные с ними величины (сила тока в фазе электродвигателя, давление масла в гидроцилиндре, отжим шпинделя станка). Такой приоритет силовых параметров объясняется, во-первых, тем, что они тесно коррелированы с износом инструмента, твердостью заготовок, сечением среза и благодаря этому дают необходимую информацию о состоянии процесса резания и, во-вторых, являются ограничениями на производительность этого процесса.

Обычно производится регулирование подачи, что объясняется ее значительным влиянием на силовые параметры процесса резания и относительно слабым воздействием на стойкость инструмента. Глубина резания принимается в качестве регулируемой переменной в том случае, когда адаптивная система предназначена для автоматического деления припуска на проходы. Скорость резания регулируется, если станок оснащен устройством для измерения износа инструмента.

К измерительным преобразователям силовых параметров процесса резания предъявляются требования высокой точности, чувствительности, быстродействия, долговечности, небольших габаритов. Для обеспечения высокой точности измерений измерительные преобразователи необходимо располагать как можно ближе к зоне резания, по этому препятствует неизбежное снижение жесткости инструмента или приспособления, а также нагрев преобразователя выделяемым при резании теплом.

Индуктивный измерительный преобразователь крутящего момента при сверлении (рис. 10.2) устанавливается на шпинделе II станка, от которого через штифт 1 , втулку 2 , торсион 8 и цапгу 10 крутящий момент передается на сверло 9 . В неподвижном корпусе имеются две магнитные катушки 4 и 6 . Магнитный поток катушки 4 замыкается через втулки 3 , 5 и боковую щель между ними. Точно так же замыкание магнитного потока катушки 6 осуществляется через втулки 5 , 7 и щель между ними. При нагружении сверла кру-

тящим моментом происходит закручивание торсиона 8, поворот связанной с цапгой втулки 5 относительно 3 и 7, изменение ширины щелей между их торцами. В результате этого изменяются магнитные сопротивления в цепях катушки, соединенных по дифференциальной схеме, которая и выдает сигнал, пропорциональный величине крутящего момента.

Бесконтактный магнитоупругий преобразователь крутящего момента (рис. 10.3, а) представляет кольцевую схему с двумя группами катушек. При отсутствии анизотропии материала и остаточных напряжений в шпинделе 3, а также крутящего момента на нем век-

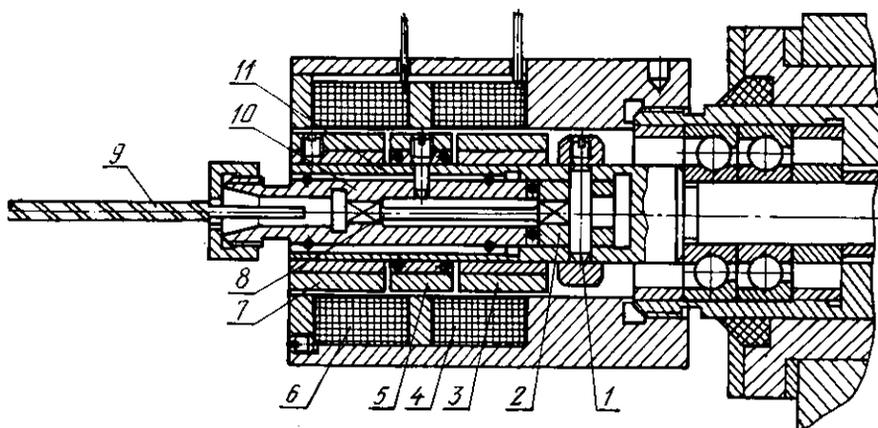


Рис. 10.2. Индуктивный измерительный преобразователь крутящего момента при сверлении

тор Φ_1 магнитного поля, создаваемого катушками возбуждения 2, перпендикулярен к оси шпинделя. При этом напряжений на выходах измерительных катушек 1 отсутствует. При нагружении шпинделя крутящим моментом магнитная проводимость его материала в направлении растягивающих напряжений увеличивается, а в направлении сжимающих — снижается. Вследствие этого вектор Φ_1 поворачивается (рис. 10.3, б) и его составляющая Φ_2 наводит электродвижущую силу в измерительных катушках 1, пропорциональную величине крутящего момента.

При применении описанных магнитоупругих преобразователей крутящего момента конструкция шпиндельного узла изменяется незначительно (рис. 10.3, в). Преобразователи 4 измеряют крутящий момент, передаваемый на шпиндель 9 через зубчатые колеса 5 или 8. Для повышения точности измерений корпус, в котором находятся измерительные преобразователи, устанавливается на подшипниках качения 6, а крутящий момент передается на шпиндель через чувствительный элемент 7.

Измерительные преобразователи составляющих сил резания выполняются в виде однокомпонентных и реже двухкомпонентных динамометрических устройств, в которых измеряемый силовой параметр сначала преобразуется в перемещение или деформацию чувствительного элемента, а затем — в электрический сигнал. Хотя снижение жесткости чувствительного элемента и способствует повышению чувствительности измерительного преобразователя, оно допустимо лишь до определенного предела, который еще не сказывается заметно на жесткости системы СПИД. Обычно жесткость упругой системы измерительного преобразователя должна быть на

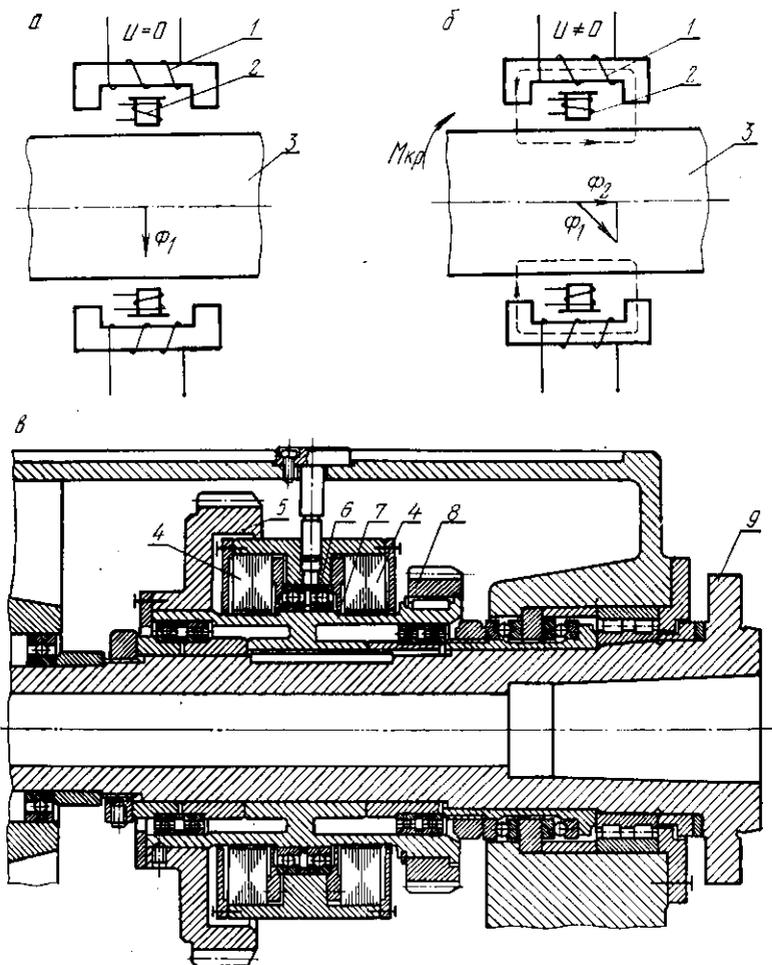


Рис. 10.3. Схема измерения крутящего момента бесконтактным магнитоупругим измерительным преобразователем

порядок выше жесткости самых податливых элементов системы СПИД.

Для получения информации о величине силы резания можно использовать индуктивные, емкостные, пьезоэлектрические и другие преобразователи, а также измерять давление масла в гидроцилиндре подачи, в гидростатических направляющих и подшипниках. В последнем случае (рис. 10.4) измерительный преобразователь соединяется с карманами 1 гидростатического подшипника, давление в которых перераспределяется при незначительном смещении шпинделя 2 под действием силы резания. В результате этого деформируется

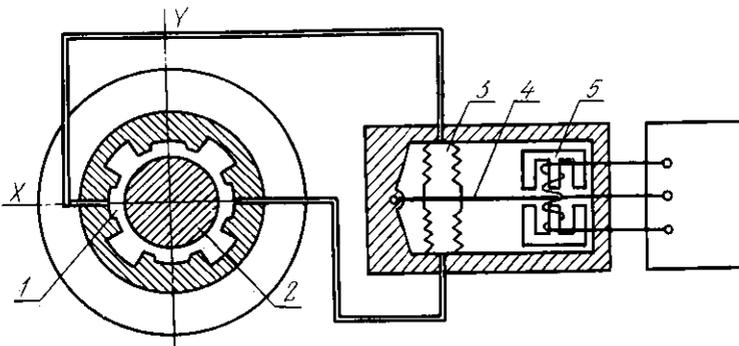


Рис. 10.4. Схема измерения составляющих силы резания по осям X и Y с использованием гидростатического подшипника

сильфон 3, поворачивается рычаг 4 и электромагнитная дифференциальная система 5 выдает сигнал, пропорциональный составляющей силы резания.

10.2. Станки с системами оптимального управления

Адаптивные системы оптимального управления предназначены для автоматической оптимизации режима резания при изменении условий обработки. В качестве критериев оптимальности используются критерии максимальной производительности, минимальной технологической себестоимости обработки, минимальных приведенных затрат на съем единицы объема припуска. Принцип действия адаптивных систем оптимального управления основан на использовании информации об износе режущего инструмента. Так как данные системы специально создаются для отыскания оптимального режима резания, они в этом смысле более эффективны по сравнению с системами предельного управления.

Оптимизация режима резания по критерию минимальных приведенных затрат $\tau_y(n, s)$ производится на основе оценочной функции

$$\tau_y(n, s) = \frac{a_1 + \frac{a_n}{T(n, s)}}{qns}, \quad (10.1)$$

где n — частота вращения шпинделя, об/мин;

s — подача, мм/об;

a_1 — стоимость станко-минуты основного оборудования, руб./мин;

a_n — затраты на инструмент за период стойкости, руб.;

$T(n, s)$ — период стойкости инструмента при данном режиме резания и принятом критерии затупления, мин;

q — перемещающаяся в направлении подачи площадь удаляемого металла, называемая параметром резания (например, при сверлении $q = \pi D^2/4$, где D — диаметр отверстия).

Здесь

$$a_n = a_1 t_{см} + \frac{a_2 t_n z}{z+1} + \frac{b}{z+1},$$

где $t_{см}$ — время смены инструмента, мин;

a_2 — стоимость станко-минуты заточного оборудования, руб.;

t_n — время переточки инструмента, мин;

z — число переточек инструмента до его полного израсходования;

b — стоимость нового инструмента с учетом реализации его остатка.

Адаптивная система управления вычисляет величину $\tau_y(n, s)$ и на основании ее так регулирует режим резания n, s , чтобы эта величина сводилась к минимуму. При этом требуется иметь информацию об износе или стойкости инструмента $T(n, s)$ в любое время. Ее можно получить двумя путями, которыми определяются два класса систем оптимального управления: беспойсковые и поисковые.

Беспойсковые системы строят на основе заранее установленных связей между износом $h(n, s)$ или стойкостью инструмента $T(n, s)$ и параметрами режима резания n, s . Если такая связь интерпретируется зависимостью

$$T = \frac{C}{n^{\mu_1} s^{\mu_2}} \quad (10.2)$$

(C, μ_1, μ_2 — постоянные величины), то из выражений (10.1) и (10.2) получается следующая оценочная функция:

$$\tau_y(n, s) = \frac{a_1 + \frac{a_n}{C} n^{\mu_1} s^{\mu_2}}{qns}. \quad (10.3)$$

На основе этой функции и информации о величинах C и q , получаемой системой адаптивного управления, ее адаптивный блок

вычисляет такие значения n и s , при которых удельные приведенные затраты $\tau_y(n, s)$ сводятся к минимуму. Поиск оптимального сочетания n и s ведется в ограниченной области их изменения. Конструктивные и технологические ограничения на n и s обусловлены возможностями технологической системы и поставленной технологической задачей. Например, при продольном точении необходимо учитывать ограничения по мощности привода главного движения, по наибольшему крутящему моменту, по прочности инструмента, по жесткости обрабатываемой детали, по шероховатости обработанной поверхности и др. Так, первое из названных ограничений имеет вид

$$N = C_N n^{\alpha_1} s^{\alpha_2} \leq N_{\text{ст}},$$

где C_N , α_1 , α_2 — постоянные величины;

$N_{\text{ст}}$ — мощность, допускаемая приводом главного движения станка.

Каждое ограничение можно выразить в виде

$$n \leq C_i s^{\beta_i}, \quad (10.4)$$

где i — порядковый номер ограничения;

C_i , β_i — постоянные величины.

После логарифмирования выражения (10.4) получаем

$$\lg n \leq \lg C_i + \beta_i \lg s. \quad (10.5)$$

Обозначаем $\lg n = x_1$, $\lg C_i = b_i$, $\beta_i = -a_i$, $\lg s = x_2$ и замечаем, что неравенства (10.5) имеют линейную форму

$$x_1 + a_i x_2 \leq b_i.$$

В двойных логарифмических координатах каждому из неравенств (10.5) соответствует прямая. Совокупность неравенств определяет область допускаемых режимов резания, представляющую многоугольник.

В том случае, когда стойкостная зависимость удовлетворительно интерпретируется функцией (10.2), поверхность $\tau_y(n, s)$ особых точек не имеет и приобретает минимум на кривой $s(n)$ ограничения по подаче. Когда в логарифмических координатах функция $T(n, s)$ экстремальная, то и функция (10.3) становится экстремальной.

Стойкостными зависимостями вида (10.2) не отражаются весьма существенные стороны процесса резания: случайный характер изнашивания, выкрошивание и поломки режущих инструментов, а также соответствующее рассеяние их стойкости. Кроме того, в существующих стойкостных зависимостях не отражается влияние на стойкость переходных и переменных режимов резания, характерных для станков с адаптивными системами управления. В результате всего этого фактическая стойкость инструмента может значительно отличаться от расчетной (10.2) и беспойсковые адаптивные системы могут приводить к решениям, не совпадающим с оптимальным.

Поисковые системы оптимального управления функционируют на основе информации о текущем износе инструмента, измераемом в процессе резания. Они оптимизируют процесс резания в соответствии с заранее установленной целевой функцией, значения которой периодически вычисляются адаптивным блоком по результатам измерения износа инструмента. На основе этой информации и определенной стратегии поиска оптимума система находит такое сочетание параметров режима резания, которое обеспечивает экстремум целевой функции. Функциями системы являются: 1) определение величины износа инструмента; 2) вычисление скорости изнашивания и стойкости инструмента как функции n и s ; 3) определение параметров функции оптимальности (10.1) на основе предсказываемой стойкости инструмента и конкретных для данного производства стоимости станко-минуты основного a_1 и точного a_2 станка, стоимости нового инструмента b , времени смены $t_{см}$ и переточки $t_{п}$ инструмента, числа переточек z ; 4) установление оптимального сочетания n и s на основе топографии функции оптимальности и заложенной в системе управления стратегии оптимизации; 5) управление следящими приводами станка через цифроаналоговые преобразователи; 6) вывод оптимальных режимов резания на устройстве отображения.

Поисковые системы оптимального управления требуют для функционирования небольшого объема априорной информации, благодаря чему по сравнению с беспонсковыми точнее поддерживают экстремум критерия оптимальности. Однако в ряде случаев на его отыскание требуется довольно много времени. Быстрота и точность достижения экстремума связаны со стратегией его поиска. В зависимости от алгоритма поиска оптимума поисковые адаптивные системы бывают экстраполяционными, градиентными, работающими на основе алгоритма наискорейшего спуска и др.

При построении поисковых адаптивных систем одним из самых сложных вопросов является разработка способа оценки износа инструмента. Имеется несколько способов прямого его измерения. Один из них основан на пропорциональном износу инструмента U (рис. 10.5, а) изменении давления в пневматической сети в результате того, что с увеличением износа U уменьшается расстояние l между обработанной поверхностью детали 1 и соплом, выполненным в режущем инструменте 2 . Для измерения износа резцов применяют также контактную головку (рис. 10.5, б), в состав которой входит закрепленный на упругой опоре 3 щуп 4 с твердосплавным наконечником и дифференциальная измерительная схема 5 . Этот преобразователь 7 (рис. 10.5, в) устанавливается на резцедержатель токарного станка так, что щуп упирается в поверхность резания 6 . Износ резца сопровождается смещением поверхности резания по направлению к преобразователю. Сигнал о величине смещения вырабатывается дифференциальной измерительной схемой. В показания контактной головки необходимо вносить поправ-

ки, которые компенсировали бы тепловое удлинение резца, упругую деформацию и вибрации технологической системы, что значительно усложняет систему управления станка.

Оптические и оптико-электронные устройства предназначены для автоматического измерения износа инструментов, режущие лезвия которых периодически вступают в контакт с заготовкой. Принцип их действия основан на том, что ленточки износа отражают лучи света лучше, чем остальная поверхность. Схема одного из оптико-электронных устройств изображена на рис. 10.5, а. Свет от

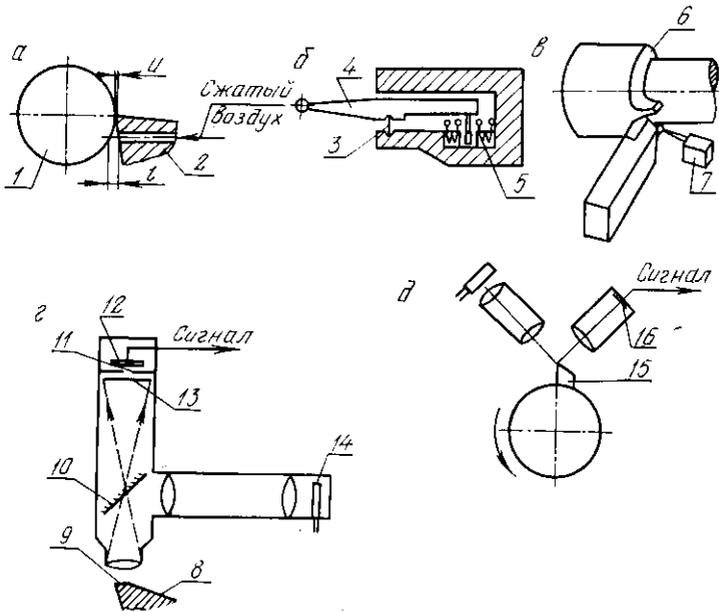


Рис. 10.5. Устройства для измерения износа инструментов

источника 14 с помощью полупрозрачного зеркала 10 направляется на инструмент 8. Увеличенное изображение 13 ленточки износа 9 фокусируется на оптическую щель 11. За ней находится катод фотоусилителя 12. Величина износа инструмента пропорциональна числу высокочастотных импульсов, вырабатываемых преобразователем за определенное время.

Как на движущихся, так и на неподвижных инструментах износ может быть измерен оптико-электронным преобразователем (рис. 10.5, б), в котором фотодиод 16 освещается отраженным от инструмента 15 лучом и вырабатывает сигнал, зависящий от ширины ленточки износа.

Разработаны измерительные преобразователи, работа которых основана на том, что по мере увеличения износа инструмента сни-

жаются сопротивлением контакта между ним и обрабатываемой деталью. Устройства для измерения износа должны обладать малой инерционностью, быть достаточно жесткими и хорошо защищенными от попадания охлаждающей жидкости.

Следует отметить, что все существующие способы прямого измерения износа в процессе резания требуют применения сложных систем управления и пока недостаточно надежны. Поэтому наряду с ними разрабатываются и исследуются способы оценки износа по косвенным показателям, в качестве которых используют величину составляющих силы резания, их соотношение, величину температуры резания, уровень или спектр колебаний инструмента и т. д. Связь между косвенными показателями и износом инструмента выражается одномерными или более точными многомерными корреляционными зависимостями. Установлено, что при работе на режимах, при которых износ появляется преимущественно на передней или задней поверхности инструмента, приращение сил P_x или P_z тесно коррелировано с величиной износа. При одновременном износе по обеим поверхностям по изменению составляющих сил резания невозможно судить о его величине. Связь между температурой резания и износом инструмента в одних случаях существует, в других не наблюдается.

Алгоритмы работы ряда адаптивных систем управления построены на многомерных корреляционных зависимостях. Например, установлена тесная связь износа фрезы с температурой резания, крутящим моментом на шпинделе и уровнем его вибраций.

10.3. Методика проектирования адаптивных систем управления

Этапы проектирования. Известно, что главными целями технологического процесса являются повышение производительности, обеспечение заданного качества, снижение себестоимости. Обычно одна из них выступает главной, а две другие — в качестве ограничений. Те задачи, которые должны быть решены для достижения главной цели, называются технологическими.

Постановка технологической задачи является первым этапом разработки адаптивной системы управления. Она выдвигается на основе детального анализа процесса обработки и исходных данных об оборудовании, инструменте и заготовках. Например, основной технологической задачей может быть сокращение основного технологического и вспомогательного времени, затрат времени на настройку системы СПИД.

На втором этапе выбирают способ адаптивного управления, который включает способы получения информации и внесения поправки, а также закон управления, выражающий связь между измеренной величиной и вносимой поправкой. Способ адаптивного управления выбирают экспериментальным путем или в результате

математического моделирования процесса обработки на ЭВМ, для чего необходимо предварительно установить математическую модель процесса обработки.

Выбор источника информации. Источник информации о процессе резания выбирают исходя из решаемой технологической задачи, эквивалентом которой является определенный контролируемый параметр. Например, в качестве информации о размере динамической настройки (в данном случае это контролируемый параметр) могут выступать упругое перемещение звеньев системы СПИД, си-

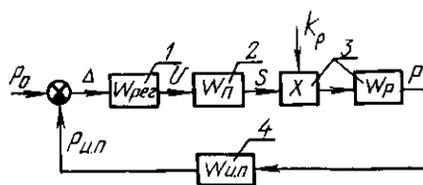


Рис. 10.6. Структурная схема системы стабилизации силового параметра:

1 — регулятор; 2 — привод; 3 — процесс резания; 4 — измерительный преобразователь силового параметра; Δ — сигнал рассогласования между заданной величиной P_0 силового параметра и $P_{изп}$ измерительного преобразователя; U — сигнал, управляющий приводом подачи; S — подача; k_p — коэффициент усиления процесса резания; P — текущая величина силового параметра

ла резания и ее составляющие, потребляемая приводным электродвигателем мощность, сила тока в его обмотке, крутящий момент на шпинделе и т. д. Разные источники неравноценны в отношении главного — устойчивости зависимости между измеряемой физической величиной и контролируемым параметром. Предпочтительным следует считать тот источник информации, который находится ближе к месту протекания контролируемого процесса. С его удаленностью связано время запаздывания обработки рассогласования.

Выбор способа внесения поправки. В каждом случае имеются несколько способов внесения поправки в процесс обработки. Если с помощью адаптивной системы управления решается задача повышения точности обработки, в ответ на отклонение размера динамической настройки вносится поправка в размер статической настройки, для чего инструмент получает смещение в соответствующем направлении. При этом поправка должна несколько превышать первоначальное отклонение размера динамической настройки, что необходимо для компенсации дополнительного отклонения, связанного с изменением глубины резания.

Синтез системы управления [4]. Методику синтеза рассмотрим на примере проектирования адаптивной системы, работающей по принципу стабилизации силового параметра (рис. 10.6). Задачей синтеза является определение структуры и параметров системы управления, обеспечивающих заданные требования.

Сначала выбираются регулируемый привод подачи и измерительный преобразователь силового параметра. В качестве их математических моделей в первом приближении могут быть приняты линейные дифференциальные уравнения первого порядка.

Применяемые в станках регулируемые приводы подачи (элек-

трогидравлический шаговый или непрерывный электрический тиристорный и др.) представляют колебательные звенья с передаточной функцией

$$W_n = \frac{s(p)}{u(p)} = \frac{k_n}{T_n^2 p^2 + 2\zeta T_n p + 1},$$

где $s(p)$ — лапласово изображение скорости подачи;
 $u(p)$ — лапласово изображение управляющего напряжения;
 k_n — коэффициент передачи (усиления) привода;
 T_n — постоянная времени привода;
 p — оператор дифференцирования;
 ζ — коэффициент демпфирования.

Коэффициент k_n обратно пропорционален частоте вращения выходного вала привода подачи, а величины T_n и ζ определяются расчетом или экспериментальным путем.

Передаточная функция процесса резания в области частот более низких, чем частота вращения шпинделя n , может быть записана следующим образом:

$$W_p = \frac{P(p)}{s(p)} = \frac{k_p}{T_p p + 1},$$

где $P(p)$ — лапласово изображение силового параметра;
 k_p — коэффициент передачи процесса резания, зависящий от вида стабилизируемого силового параметра, материала заготовки и инструмента, геометрии последнего (при обработке на токарных станках k_p может изменяться примерно в 10 раз);
 $T_p = 1/n$ — постоянная времени процесса резания.

Передаточная функция измерительного преобразователя силового параметра

$$W_{и.п} = \frac{P_{и.п}(p)}{P(p)} = \frac{k_{и.п}}{T_{и.п} p + 1},$$

где $P_{и.п}(p)$ — лапласово изображение выходного сигнала преобразователя;
 $k_{и.п}$ и $T_{и.п}$ — коэффициент передачи и постоянная времени преобразователя.

Далее определяют структуру и параметры регулятора. Для этого задаются видом желаемых логарифмических амплитудно-частотных (ЛАЧХ) и фазочастотных (ЛФЧХ) характеристик разомкнутой системы, а потом производят геометрическое вычитание из них одноименных характеристик уже выбранных элементов системы и процесса резания. Полученными результирующими характеристиками определяются структура и параметры регулятора. Общепринятыми методами достигают необходимой статической точности, быстродействия и устойчивости системы.

ГЛАВА 11. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

11.1. Классификация автоматических линий

Автоматическая линия представляет систему автоматических станков и агрегатов, которые устанавливаются в порядке технологического процесса и объединяются общими системами транспортирования заготовок, удаления стружки и управления. Автоматические линии создаются на основе типовых автоматов (токарных многошпиндельных, гидрокопировальных и т. д.), агрегатных или уникальных станков.

По характеру транспортной связи агрегатов автоматические линии можно разделить на две группы — жесткие (синхронные) и гибкие (несинхронные).

Жесткие линии характеризуются тем, что на всех рабочих позициях детали обрабатываются одновременно, а по окончании операций перемещаются транспортером на соседние позиции; на последней снимается готовая деталь, а на первой устанавливается новая заготовка. Отказ хотя бы одного элемента жесткой линии приводит к ее остановке. Так как в жесткую линию включается огромное количество элементов, ее простой из-за отказов весьма часты и значительно снижают производительность. Чтобы коэффициент готовности жестких линий не стал слишком мал, в нее соединяют относительно немного станков.

Жесткие линии на 70—90% можно компоновать из унифицированных узлов и агрегатов. Это обеспечивает относительно низкую их стоимость, короткие сроки проектирования, изготовления и как результат — широкое распространение.

Простой автоматической линии можно значительно сократить, если разорвать жесткую связь между ее агрегатами и этим допустить возможность одним из них работать, а другим в это время простаивать в наладке. Линии, обладающие этим свойством, являются гибкими. Имеется несколько компоновок таких линий: многосекционные, многопоточные, с гибкой транспортной системой.

Вторым важнейшим классификационным признаком автоматических линий является способ перемещения обрабатываемых деталей с позиции на позицию. По этому признаку все линии можно разделить на спутниковые и беспутниковые.

На спутниковых линиях детали базируются, обрабатываются и в период всего технологического процесса транспортируются на приспособлениях, называемых *спутниками*. Необходимость в приспособлении-спутнике появляется при обработке детали сложной формы, не имеющей хороших поверхностей для базирова-

ния во время транспортирования (не на спутнике) и закрепления в стационарных приспособлениях на рабочих позициях. Такая деталь (или несколько деталей) устанавливается и закрепляется в приспособлении-спутнике. Спутник транспортируется через все позиции линии. На рабочих позициях спутники базируются относительно станков и закрепляются. После выполнения операций они освобождаются и перемещаются дальше. В конце линии детали снимаются со спутников, и они свободные возвращаются к началу линии. Иногда спутники возвращаются вместе с обработанными деталями.

На беспутниковых линиях обрабатываемые детали с позиции на позицию транспортируются без спутников, свободно, с помощью штанг, грейферов и других механизмов. На каждой позиции они базируются и закрепляются в приспособлении.

Способы транспортирования имеют определенные преимущества и недостатки. Применение спутников позволяет точно базировать на позициях даже неудобные для транспортирования детали, что расширяет номенклатуру деталей, которые целесообразно обрабатывать на автоматических линиях. Однако при этом затраты увеличиваются, так как сами спутники дорогие, требуются специальный транспортер для возвращения их на позицию загрузки и устройства для их очистки от стружки и загрязнений. Свободное транспортирование заготовок освобождает от названных затрат и, кроме того, позволяет легко изменять ориентацию деталей. Однако далеко не все детали пригодны для свободного транспортирования.

По способу транспортирования обрабатываемых деталей линии можно разделить на сквозные и несквозные. Сквозное транспортирование отличается тем, что транспортное устройство проходит через рабочие зоны всех станков. Несквозное транспортирование состоит из двух этапов: на первом — обрабатываемая деталь переносится транспортером между станками вне их рабочих зон, на втором — в зону обработки.

По числу потоков линии делят на однопоточные и многопоточные; по признаку совмещения обработки с транспортным движением — на стационарные, роторные и цепные; по планировке — на линейные, прямоугольные, кольцевые, зигзагообразные; по расположению оборудования относительно направления потока — на линии с поперечным, продольным и угловым расположением станков. В зависимости от количества деталей, одновременно обрабатываемых на каждой позиции, линии можно разделить на одноместные и многоместные; в зависимости от количества одновременно обрабатываемых предметов (по наименованию или типоразмерам) — на однопредметные и многопредметные; в зависимости от возможности переналадки — на переналаживаемые и переналаживаемые.

11.2. Автоматические линии для обработки валов

На автоматических линиях обрабатывают заготовки из прутка или из периодического профильного проката. Выполняются следующие операции: подрезка торцов, центрование, обтачивание, шлифование, обработка пазов, шлицев, осевых и радиальных отверстий, внутренних и наружных резьб и др.

Подрезка торцов производится тогда, когда заготовительные операции не обеспечивают их необходимого качества. Центровые отверстия можно получать тремя способами: комбинированным центровочным сверлом, цилиндрическим сверлом с последующей зенковкой, выдавливанием. Третий способ наиболее прогрессивный. Для подрезки торцов и центрования в автоматические линии встраиваются многопозиционные и двухпозиционные фрезерно-центровальные станки, выполняющие обработку на двух концах вала. Кроме того, на многопозиционных станках производятся обтачивание концов вала, растачивание, сверление.

Токарная обработка выполняется чаще всего на токарных гидрокопировальных станках (рис. 11.1). На копировальном суппорте помещаются один или несколько резцов или револьверная головка. Некоторые станки имеют два копировальных суппорта, один или два подрезных.

Шпоночные пазы обрабатываются концевыми или дисковыми мерными фрезами. Однако при этом вследствие износа последних трудно обеспечить ширину паза. Поэтому пазы получают и другими методами: шлифованием; рамочным фрезерованием, при котором фреза в конце паза получает смещение в поперечном направлении, а затем совершает второй проход; фрезерованием за один проход с дополнительным осциллирующим движением фрезы в направлении, перпендикулярном к направлению подачи.

Шлифование валов производится как бесцентровым способом, так и в центрах. В первом случае выполняется врезное шлифование. На центровых станках обработка осуществляется по разным схемам (рис. 11.1). Автоматическое получение размеров обеспечивается приборами активного контроля или измерительными устройствами, расположенными вне станков.

Осевые отверстия в валах обрабатываются на многопозиционных агрегатных станках.

Одни автоматические линии создаются для комплексной обработки валов (центрование, токарные, шлифовальные, сверлильные, балансировочные и другие операции), другие komponуются из однотипных станков (только токарных, только шлифовальных и т. д.).

В зависимости от расположения станков относительно транспортера заготовки автоматические линии для обработки валов могут быть разделены на четыре группы.

К первой группе относятся автоматические линии с фронтальным расположением оборудования. Они характеризуются тем,

что лотковый транспортер заготовок расположен параллельно линиям центров станков, чаще всего с передней их стороны на уровне центров. Валы при транспортировании размещаются в продольном направлении.

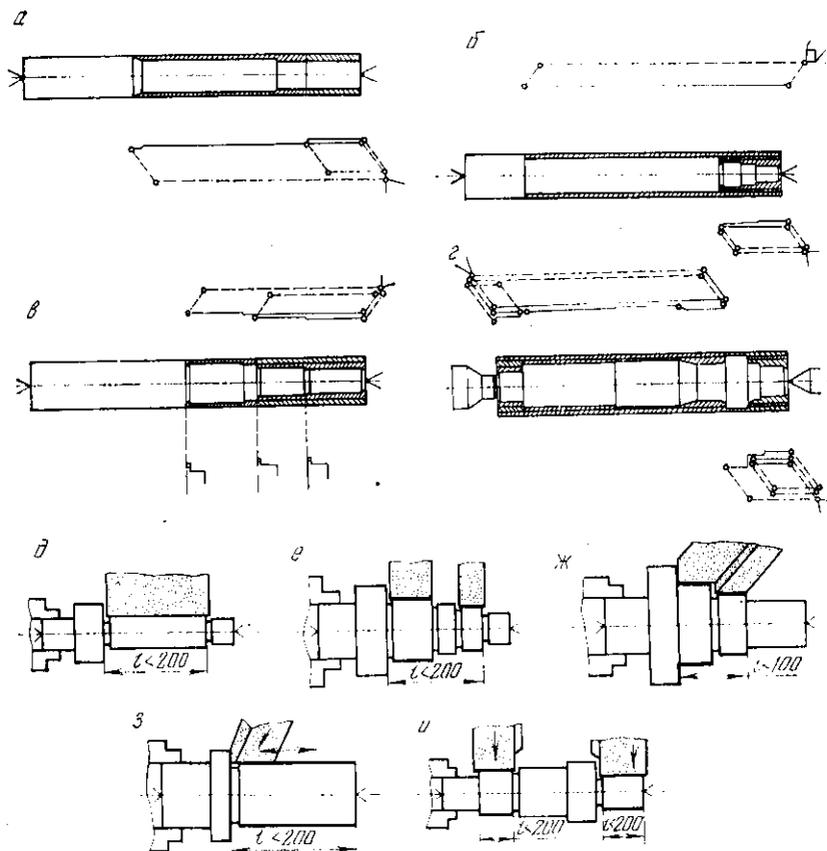


Рис. 11.1. Схемы обработки валов на автоматических линиях:

а — токарная одним копировальным суппортом; б — двумя копировальными суппортами; в — копировальным и подрезным суппортами; г — двусторонняя двумя копировальными суппортами; д—и — на центровых круглошлифовальных станках

Автоматическая линия фронтальной компоновки изображена на рис. 11.2. Она включает фрезерно-центровальный станок 3 и два гидрокopировальных токарных полуавтомата 4 и 6. Заготовки валов из магазина 1 передаются на станки с помощью штангового транспортера 8 и автооператоров 9. Между гидрокopировальными полуавтоматами имеется кантователь 5. В конце линии размещается накопитель 7. Стружка отводится шнековым транспортером 2.

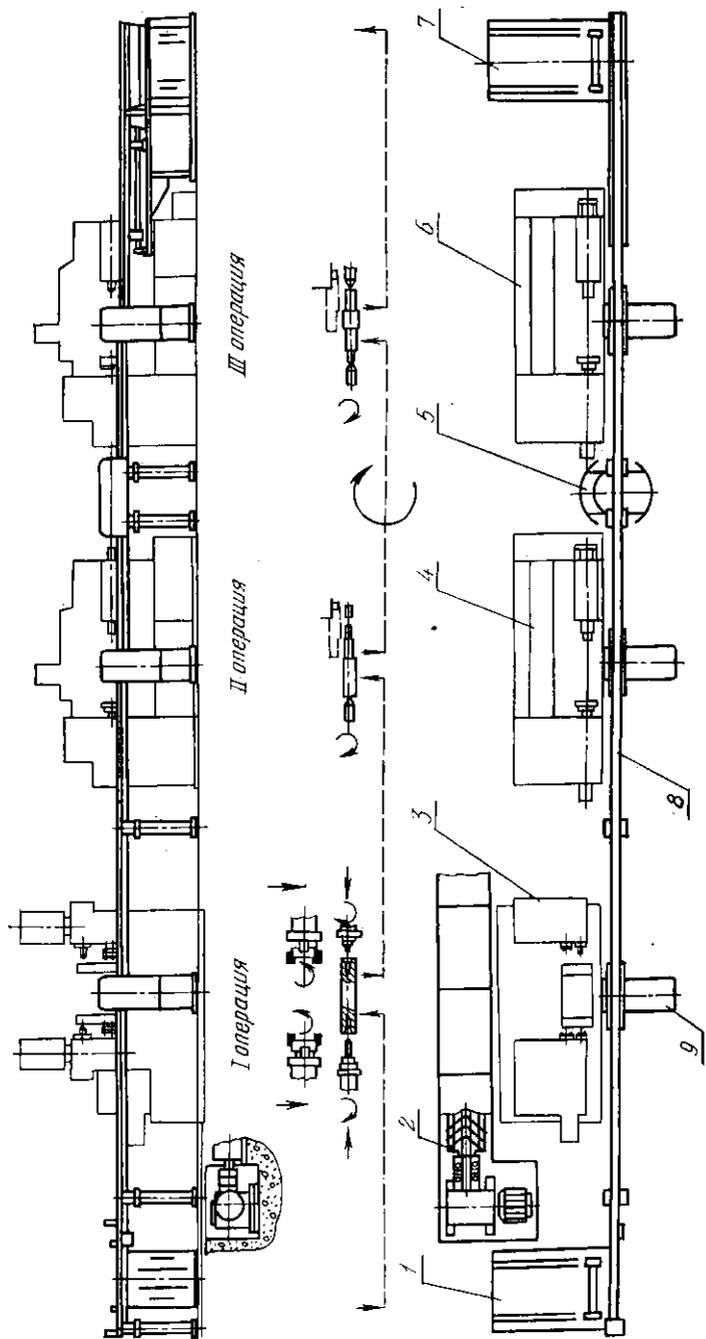


Рис. 11.2. Автоматическая линия для обработки валов с фронтальным расположением оборудования

Транспортные системы линий с фронтальным расположением оборудования компонуются из унифицированных узлов (рис. 11.3).

Конструкция двухзахватного автооператора изображена на рис. 11.4. По команде на съем деталей захваты 5 кривошипно-шатунного механизма 7 снимают заготовку с транспортера 6 и переносят ее на призмы верхней руки 2. В это время нижняя рука 8 снимает обработанную деталь со станка 1 и переносит ее на лоток транспортера 6, а верхняя рука 2 подает заготовку на станок. Руки перемещаются от пневмоцилиндров 3 и 4.

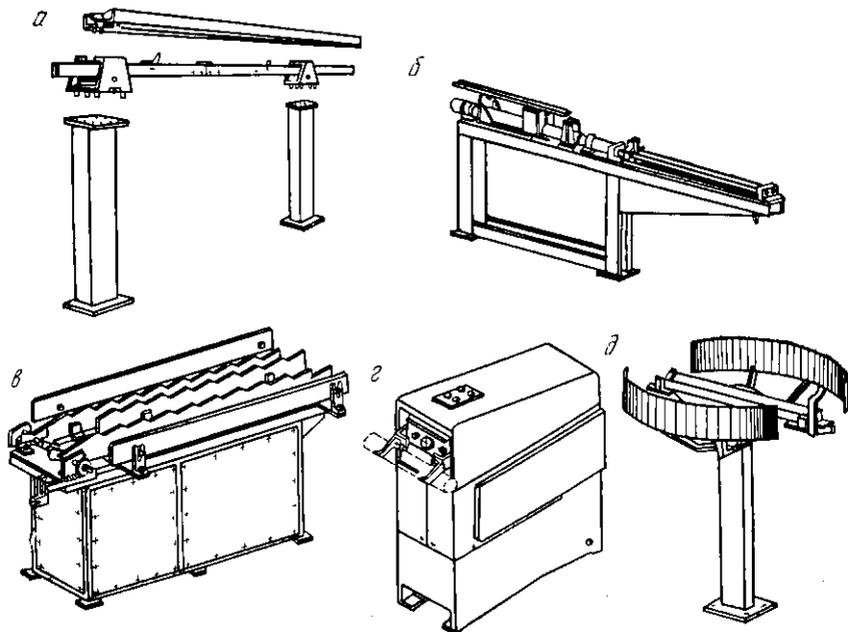


Рис. 11.3. Унифицированные узлы транспортной системы автоматических линий для обработки валов:

а — узлы лотково-штанговой транспортной системы; б — привод штанги; в — магазин; г — однозахватный автооператор; д — кантователь

Однозахватный автооператор (рис. 11.5) подает заготовки следующим образом. При движении ползушки 6 влево призмы 1, установленные на рычаге 5, снимают заготовку с лотка транспортера. Правый конец рычага 5 скользит по криволинейному профилю копира 4, в результате чего призмы с удерживаемой заготовкой перемещаются по криволинейной траектории, обходя препятствия. В конце хода ползушки 6 заготовка оказывается ниже лунета. Она помещается в лунет, когда шток цилиндра 2 опускает подвижную часть 3 копира.

Ко второй группе компоновок относятся автоматические линии с поперечным расположением станков относительно жесткого транспортера заготовок, который проходит над станками или через их рабочие зоны.

Линии рассмотренных двух групп имеют существенные недостатки. Главный недостаток состоит в том, что линии строятся на

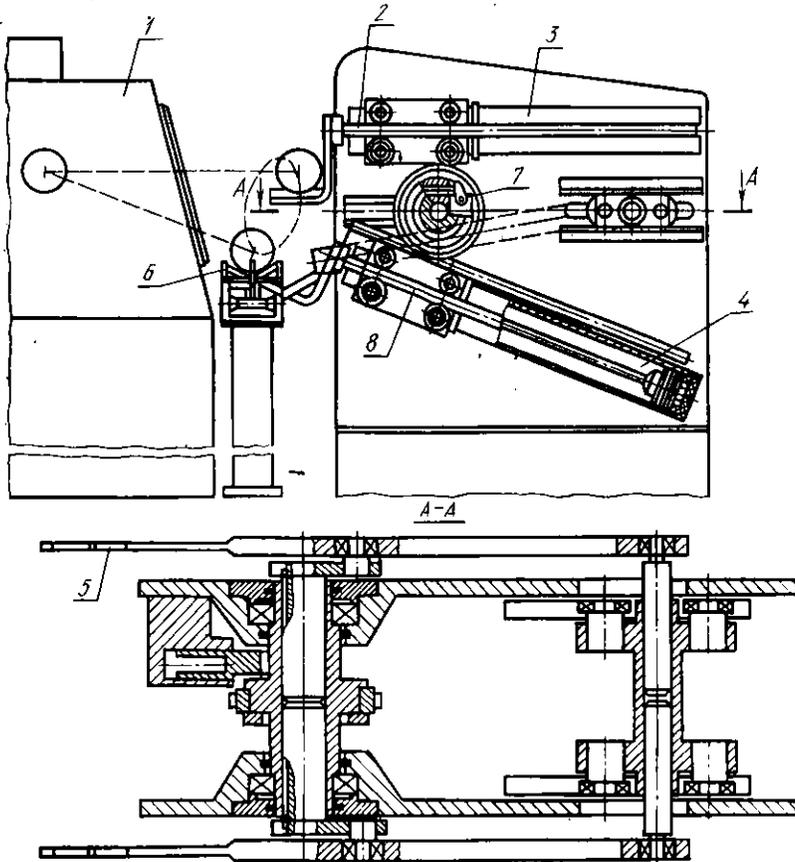


Рис. 11.4. Двухзахватный автооператор

основѣ жесткой транспортной связи между станками и останавливаются при отказе хотя бы одного из них. Кроме того, на линиях фронтальной компоновки с лотковым транспортером неудобно транспортировать и загружать детали сложной формы. Линии со сквозным транспортом характеризуются неудобными доступом к рабочей зоне станков и отводом стружки.

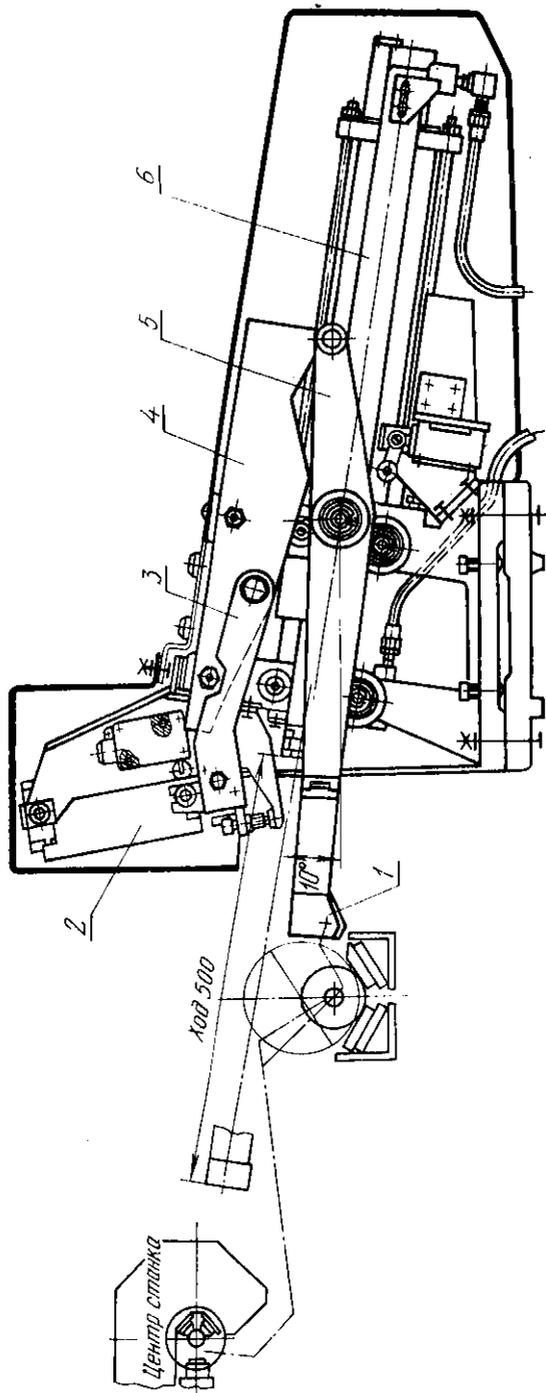


Рис. 11.5. Однозахватный гидрооператор

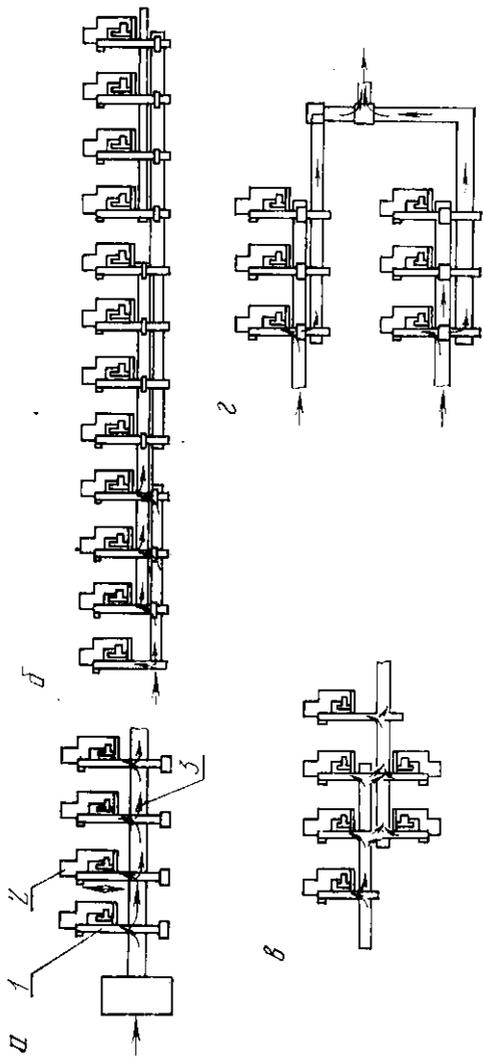


Рис. 11.6. Компоновки автоматических линий с поперечным расположением станков и транспортером, находящимся с их торца.

1 — портальное грузочное устройство; 2 — станок; 3 — транспортер

Большие возможности для обеспечения комплексности обработки валов, в том числе и сложной формы, для повышения надежности и производительности имеют автоматические линии третьей группы — с поперечным к технологическому потоку размещением станков и транспортером, расположенным с их торца, с порталными загрузочными устройствами. Некоторые варианты компоновок таких линий изображены на рис. 11.6.

С одним транспортным устройством (рис. 11.6, а) компонуют автоматические линии только при последовательной работе станков. В компоновке на рис. 11.6, б есть как последовательно, так и парал-

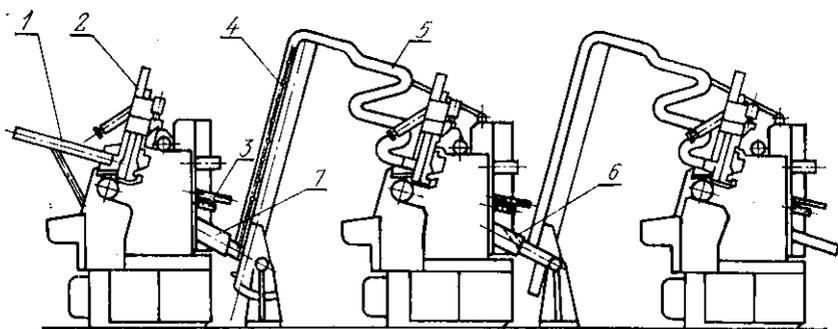


Рис. 11.7. Схема автоматической линии для токарной обработки ведущей шестерни автомобиля

ельно работающие станки. На участках с последовательными станками имеется один транспортер, с параллельными — два рядом расположенных транспортера: первый — для заготовок, второй — для обработанных деталей. Автооператоры параллельно работающих станков снимают заготовку с одного транспортера, а обработанную деталь переносят со станка на другой транспортер. Благодаря этому параллельные станки работают независимо друг от друга, линия имеет высокую надежность.

На рис. 11.6, в показана автоматическая линия, также имеющая участки последовательных и параллельных станков. Параллельные находятся по обе стороны от транспортера, благодаря чему уменьшается длина линии, требуется меньше автооператоров, но они становятся более сложными. При большом числе параллельно работающих станков целесообразно применять компоновку с двумя потоками (рис. 11.6, г).

К четвертой группе относятся автоматические линии с поперечным расположением станков и гибкой транспортной системой, имеющей накопителя деталей 5 между станками (рис. 11.7). Из магазина 1 подавателем 2 заготовка опускается на линию центров первого гидрокопировального станка. По окончании обработки

съемник 3 выводит ее из зоны обработки и сбрасывает на лоток 7. Шаговым транспортером 4 заготовки подаются в накопитель 5. В линию встроены кантователь 6. Независимая работа каждого станка гарантирует высокую надежность линии.

11.3. Автоматические линии для обработки колец подшипников

В подшипниковой промышленности работают сотни автоматических линий. Производятся полная механическая и термическая обработка, контроль, сборка, консервация и упаковка колец шариковых подшипников. Линии механической обработки комплектуют из типовых токарных и шлифовальных станков [10].

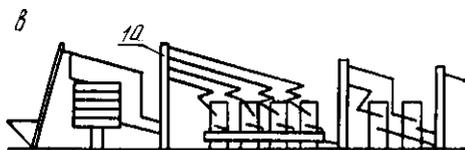
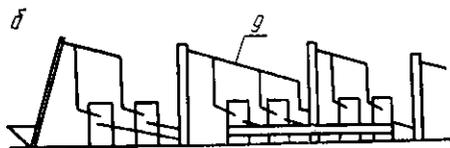
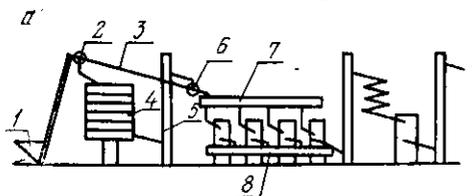


Рис. 11.8. Структурные схемы транспортной системы автоматических линий для обработки колец подшипников:

1 — бункер; 2 — узел разделения потоков; 3 — лоток; 4 — магазин; 5 — цепной подъемник; 6 — узел слияния потоков; 7 — транспортер-распределитель; 8 — отводящий транспортер; 9 — лоток-распределитель; 10 — подъемник-распределитель

Типовые автоматические линии строят по трем структурным схемам (рис. 11.8). Транспортные устройства их унифицированы. При большом числе параллельно работающих станков, что обусловлено программой выпуска подшипников, линию проектируют по схеме на рис. 11.8, а. В этом случае детали распределяются по станкам с помощью транспортера - распределителя. Для небольших и средних программ выпуска и соответственно при небольшом числе параллельно работающих станков линии следует проектировать или с лотками-распределителями (рис. 11.8, б), или с подъемниками-распределителями (рис. 11.8, в).

Оператор засыпает заготовки в приемную чашу бункера 1 (рис. 11.9). На двух цепях закреплены траки 2, с помощью которых детали ориентируются и поднимаются вверх, где поступают в лоток 3. В зависимости от положения траков они могут быть выданы вправо, влево или в обе стороны. Детали, не пошедшие в лоток, попадают позже в лоток 4,

который отводит их в бункер 1. Производительность бункера регулируется сменными колесами в приводе его цепей.

После заполнения лотка часть деталей идет в магазин, конструкция которого представлена на рис. 11.10. Магазин состоит из дисков 3 с установленными на них лотками 2, образующими спираль Архимеда. Над каждым диском постоянно вращаются капроновые щетки 1. Детали поступают на верхний диск, смещаются щетками к его центру и через гибкий лоток 4 попадают на периферию следующего диска. Таким образом детали заполняют весь магазин, а из него попадают в цепной подъемник.

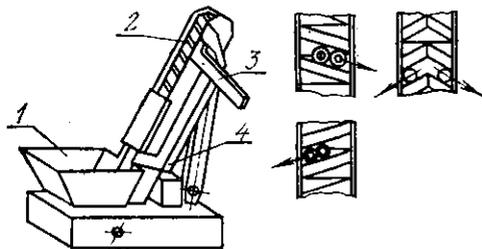


Рис. 11.9. Бункер

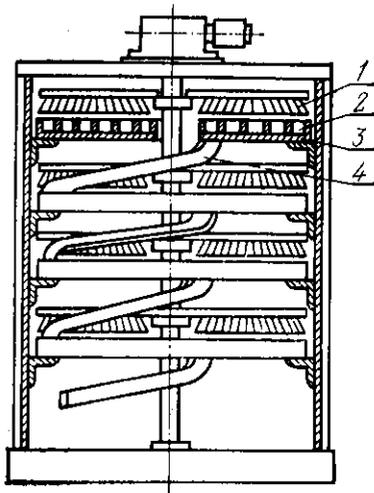


Рис. 11.10. Магазин

Транспортная система автоматической линии со структурой, приведенной на рис. 11.8, а, изображена на рис. 11.11. Цепной подъемник 2 принимает детали из лотка 1, с помощью опор 3 поднимает вверх и выдает в лоток 4. Специальный механизм дает возможность попасть между соседними ведущими штырями 5 транспортера-распределителя 6 только одному кольцу. Благодаря этому предотвращается заклинивание колец. Через лотки 7 они распределяются между параллельно работающими станками. От станков детали собираются отводящим транспортером 8, с него поступают на цепной подъемник 9 и далее — на соседнюю группу параллельно работающих станков.

Цепной подъемник, применяемый в качестве распределителя деталей в автоматических линиях, имеющих структуру в соответствии с рис. 11.8, в, может выдавать детали в один или несколько лотков (рис. 11.12, а). В верхней его части находится механизм (рис. 11.12, б), направляющий кольца 2 в тот или иной лоток при повороте по часовой стрелке одного из рычагов 1. Поворот производится электромагнитами по командам, поступающим от станков. Упорами 3 (рис. 11.12, в) подъемник можно переналадить на транспортирова-

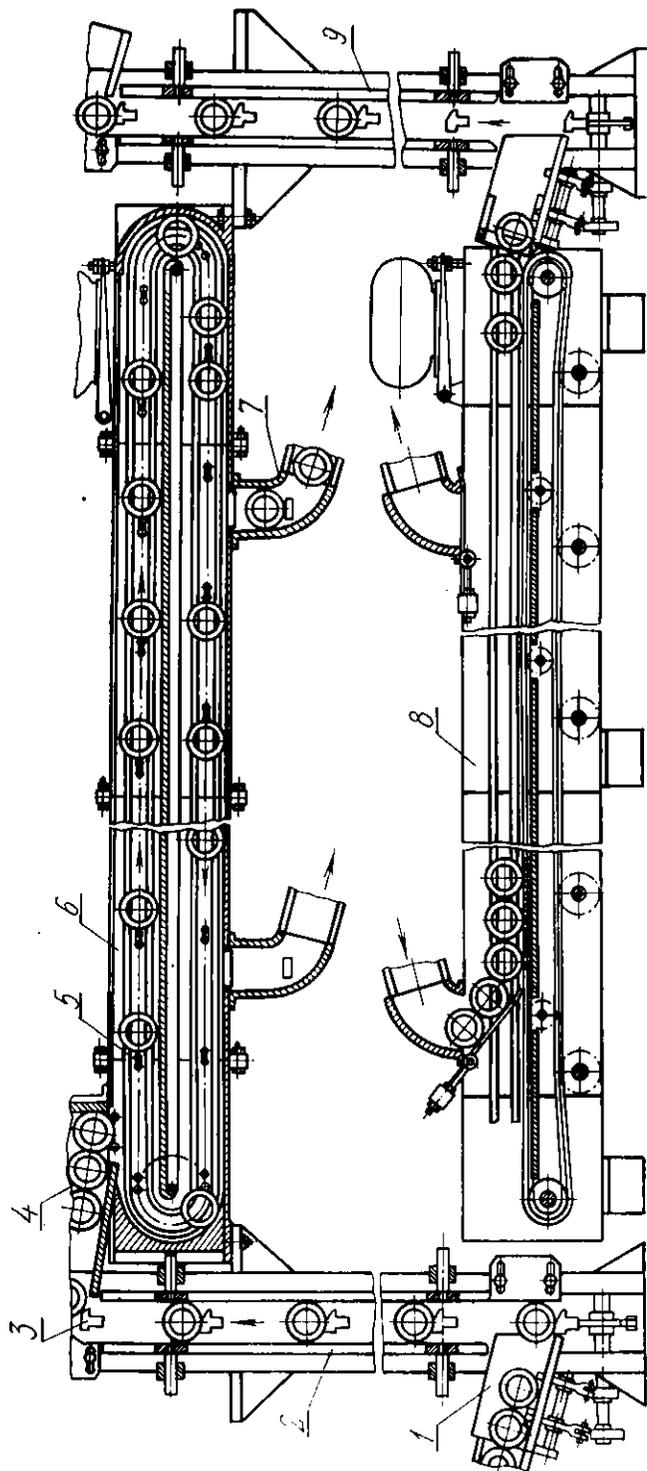


Рис. 11.11. Участок транспортной системы типовой автоматической линии

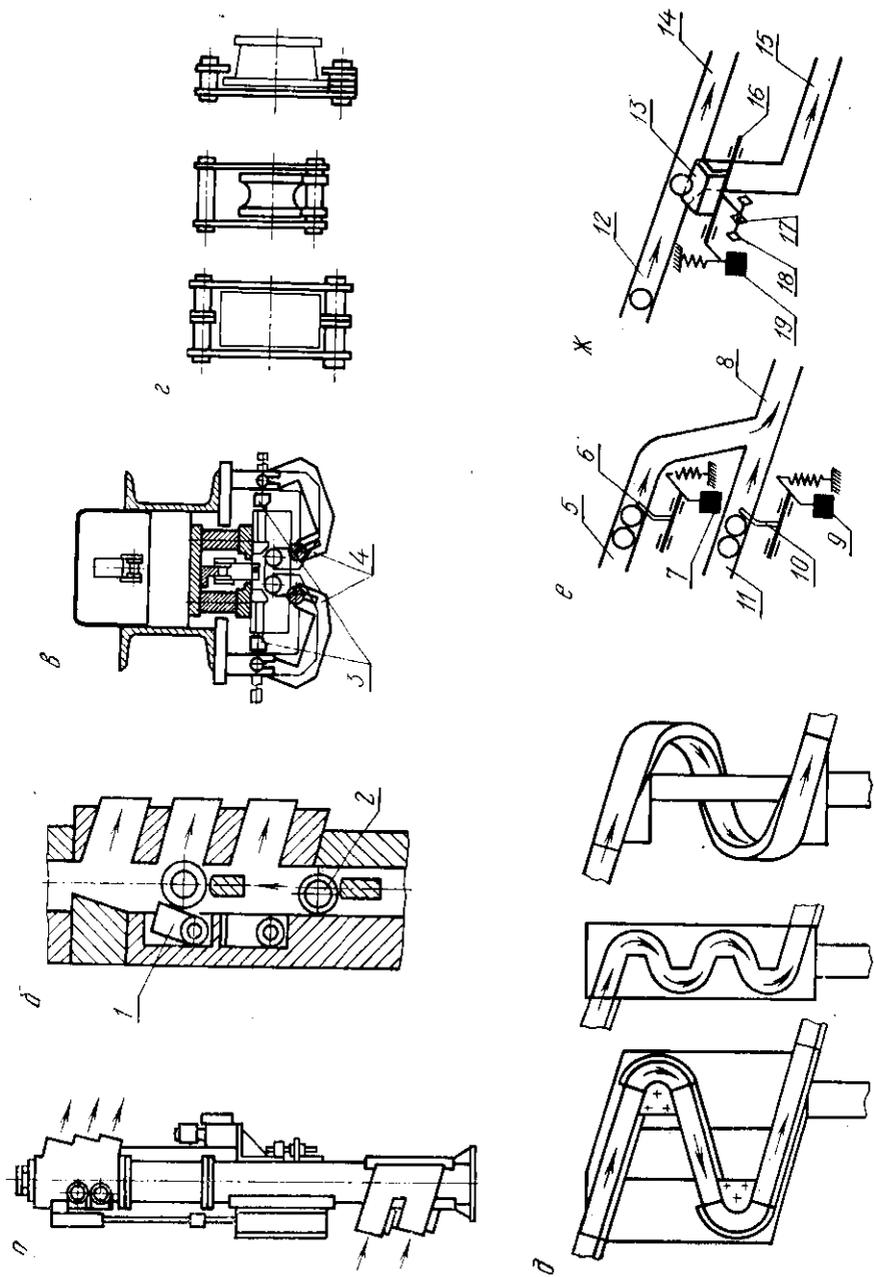
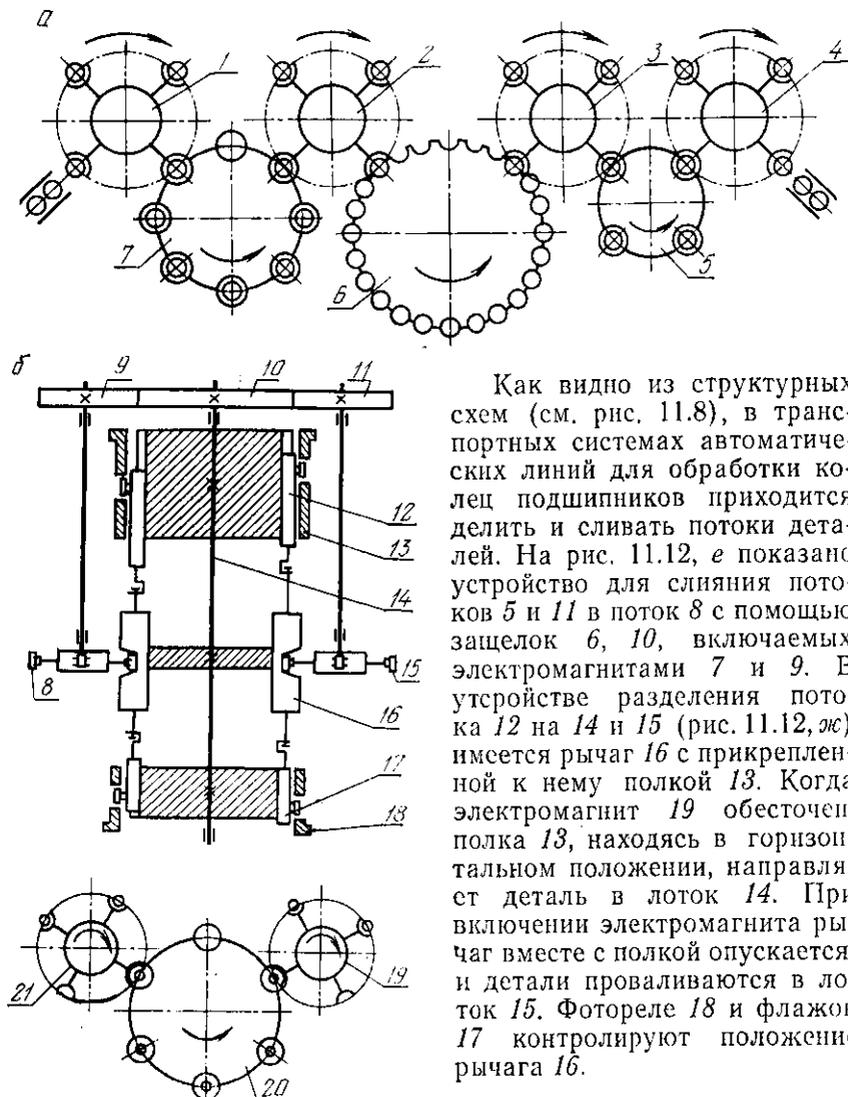


Рис. 11.12. Элементы транспортной системы типовой автоматической линии

ние колец другого диаметра, а рычагами 4 — на подъем колец другой ширины.

Станки соединяют с транспортными агрегатами посредством гибких лотков (рис. 11.12, *з*). С целью предотвращения забоин на кольцах их инерцию гасят с помощью фигурных лотков (рис. 11.12, *д*).



Как видно из структурных схем (см. рис. 11.8), в транспортных системах автоматических линий для обработки колец подшипников приходится делить и сливать потоки деталей. На рис. 11.12, *е* показано устройство для сливания потоков 5 и 11 в поток 8 с помощью защелок 6, 10, включаемых электромагнитами 7 и 9. В устройстве разделения потока 12 на 14 и 15 (рис. 11.12, *ж*) имеется рычаг 16 с прикрепленной к нему полкой 13. Когда электромагнит 19 обесточен, полка 13, находясь в горизонтальном положении, направляет деталь в лоток 14. При включении электромагнита рычаг вместе с полкой опускается, и детали проваливаются в лоток 15. Фотореле 18 и флажок 17 контролируют положение рычага 16.

Рис. 11.13. Схема роторной автоматической линии

11.4. Роторные автоматические линии

Роторная автоматическая линия (рис. 11.13, а) состоит из рабочих 5—7 и транспортных роторов 1—4. Заготовки, прошедшие обработку на предыдущих ее станках, захватами 8 (рис. 11.13, б) транспортного ротора 21 переносятся на рабочий 20. Инструментальные наладки 16, установленные на ползунах 12 и 17, при вращении ротора вокруг центральной оси 14 получают перемещения от кулачков 13 и 18. Заготовки на нем также вращаются вокруг оси 14. Главное движение могут совершать заготовки или инструментальные наладки. Следовательно, на роторной автоматической линии обработка выполняется во время транспортного перемещения заготовок.

Обработанные на станке заготовки захватами 15 транспортного ротора 19 передаются на следующий рабочий. Роторы связаны зубчатыми колесами 9—10 и 10—11.

На роторных автоматических линиях целесообразно выполнять механическую обработку простых мелких деталей, допускающих несколько перебазирования, а также штамповку, сборку несложных изделий. Возможны одновременная обработка разных деталей, а также операции различной длительности. При этом более продолжительные операции выполняются на роторах с большим количеством шпинделей.

11.5. Автоматические линии из агрегатных станков

Особенности автоматических линий из агрегатных станков. На автоматических линиях из агрегатных станков обычно обрабатываются детали, которые в момент снятия стружки остаются неподвижными. Главное движение и подачу получают режущие инструменты, благодаря чему появляется возможность производить обработку детали многими инструментами одновременно с нескольких сторон.

На линиях из агрегатных станков обрабатывают блоки цилиндров автомобильных и тракторных двигателей, головки блоков цилиндров, картеры коробок передач и сцепления, корпуса тракторных трансмиссий, крышки, шатуны, коленчатые валы двигателей, станины электродвигателей, а также многие другие детали типа корпусных. На этих линиях выполняются следующие операции: сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы, фрезерование, протягивание, растачивание, протачивание канавок, подрезание торцов.

Автоматические линии из агрегатных станков обладают многими преимуществами. По сравнению с линиями из специальных станков они намного дешевле. Как и агрегатные станки, могут быть спроектированы и изготовлены в минимальные сроки; имеют пре-

нмущества в отношении надежности работы. На линиях, сконструированных из агрегатных станков, можно больше сконцентрировать операции по сравнению с линиями из универсальных станков и, следовательно, достигнуть более высокой производительности.

Можно привести целый ряд соображений о требованиях к конструкции деталей, обрабатываемых на автоматических линиях. Так, базовые поверхности должны позволять надежную автоматическую фиксацию деталей и быть надежно защищенными от попадания стружки. При использовании выбранных баз не должно быть ощутимых деформаций детали от сил закрепления и резания. Желательно, чтобы обрабатываемые детали имели минимальный припуск, высокую жесткость, обрабатываемые элементы простой формы и на минимальном числе сторон, а также чтобы межосевые расстояния допускали обработку инструментами одной шпиндельной коробки.

Длительности операций на различных станках должны быть приближенно одинаковыми, равными продолжительности цикла линии $t_{ц}$. Операции, длительность которых превосходит $t_{ц}$, должны выполняться по частям на нескольких последующих станках. Например, глубокое отверстие на одном станке сверлится на половину длины, на последующем — до конца. Если расчленить операцию невозможно, она выполняется на нескольких параллельных станках.

Из-за возможного снижения точности обработки не следует производить черновые и чистовые операции на одном станке. Финишные операции выполняют в конце обработки.

Стараются производить заданную обработку на возможно меньшем числе позиций, так как более короткая линия занимает меньшую площадь, надежнее, имеет более высокие технико-экономические показатели. Сконцентрировать обработку на минимальном числе позиций помогают различные методы: применение многоместных приспособлений, увеличение числа шпинделей в одном рабочем узле, использование комбинированных инструментов и наборов инструментов.

Число деталей, помещаемых на одном спутнике, определяется габаритами их, спутника и шпиндельной коробки, а также требуемой производительностью линии.

Число шпинделей в одном силовом узле ограничивается требованиями отделять чистовые операции от черновых, обеспечивать хороший доступ ко всем инструментам с целью их быстрой смены, а также необходимостью размещать на шпинделях подшипники и шестерни.

Автоматические линии komponуются на основе как однопозиционных, так и многопозиционных агрегатных станков. Линии из однопозиционных станков строят в основном для обработки сравнительно крупных деталей. Линии из многопозиционных станков производительнее прямоточных из однопозиционных станков благодаря уменьшению вспомогательного времени за счет совмещения транс-

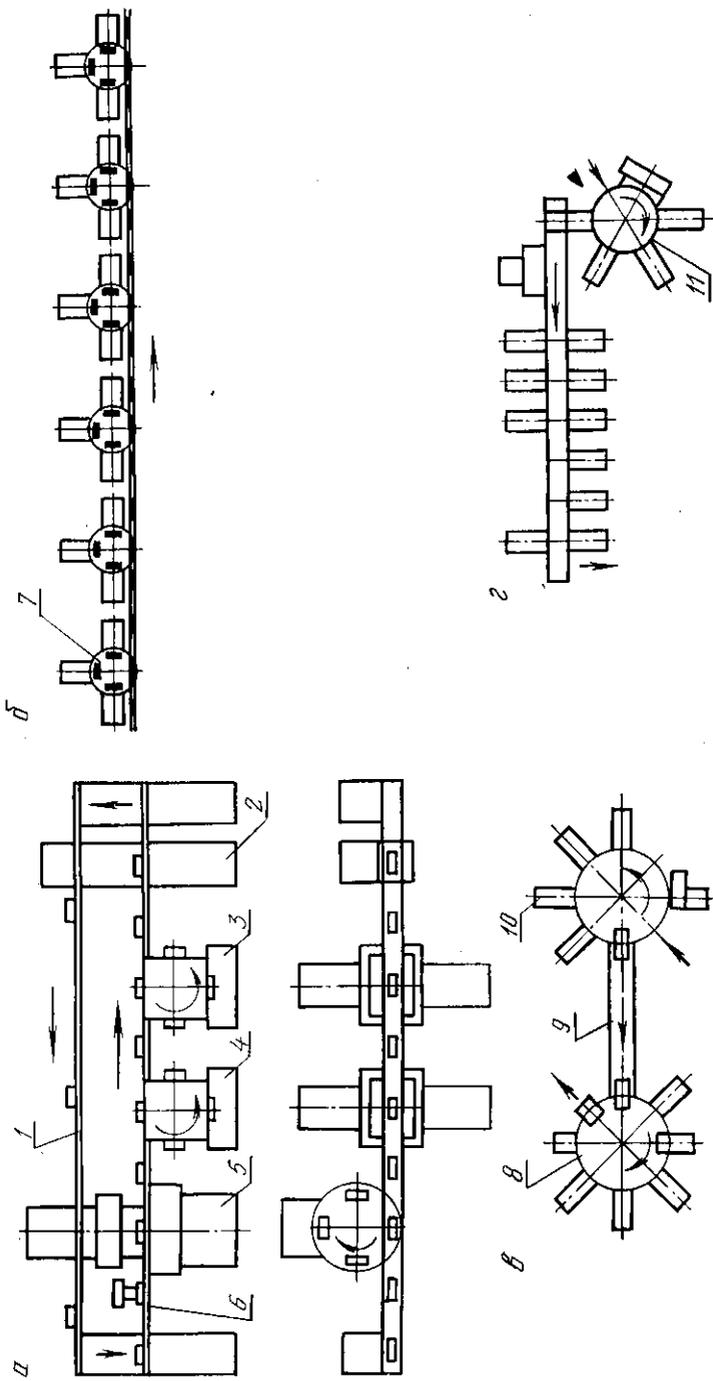


Рис. 11.18. Компонки автоматических линий из многопозиционных агрегатных станков

одним-двумя встроенными многопозиционными станками. Например, в автоматической линии, изображенной на рис. 11.18, з, на многопозиционном станке *II* обрабатываются базовые поверхности детали.

11.6. Комплексы автоматических линий

В настоящее время совершается переход от выпуска отдельных автоматических линий к изготовлению крупных комплексов из них. В таких комплексах на автоматических линиях выполняются почти вся механическая обработка, промежуточная сборка, автоматический контроль размеров. Созданы комплексы для изготовления шатунов, картеров средних и задних мостов, ступиц с тормозными барабанами в сборе и др.

Комплексность отдельных автоматических линий повышается в результате встраивания в них станков для динамической балансировки, термического оборудования, моечных машин, унифицированных элементов сборочного оборудования, установок для консервации деталей и т. д. Благодаря этому сокращаются сроки проектирования комплекта оборудования, снижаются межоперационные заделы заготовок, экономится рабочая сила. Однако проектирование и эксплуатация таких линий усложняются вследствие того, что необходимо преодолеть трудности, связанные с вибрациями, загрязнениями, нагревом, которые создаются прессовым и термическим оборудованием.

На рис. 11.19 показан комплекс автоматических линий для обработки V-образных блоков цилиндров двигателя. На двух станках вне линий обрабатываются предварительные базовые поверхности, которые служат базами на двух параллельных линиях 1Л296А. На них выполняются: черновое и получистовое фрезерование торцов блока, плоскостей под головки блока и нижней плоскости, черновое растачивание отверстий под гильзы, окончательная обработка нижней плоскости и двух базовых отверстий на ней и ряд других получистовых операций. Затем детали собираются на один транспортер и поступают на линию ЛМ394. Здесь и дальше базами служат нижняя плоскость блока и два технологических отверстия. На линиях ЛМ394 и ЛМ404 производятся получистовая и окончательная обработка поверхностей под крышки коренных подшипников. Линии 1Л296Б — 1Л296Е служат для обработки поверхностей невысокой точности: торцов коренных опор, масляных каналов, отверстий для крепления головок блока и других. На отдельной автоматической линии производится сборка блоков цилиндров с крышками коренных подшипников. Поверхности высокой точности — отверстия под распределительный и коленчатый вал, плоскости под головки блока и другие обрабатываются на линиях 1Л296Ж — 1Л296Л. На линиях 1Л296Ж и 1Л296И обработка производится в два потока, а на 1Л296К и 1Л296Л — в три потока. Количество

потоков определяется длительностью операций и качеством режущих инструментов. Для повышения надежности комплекса между линиями установлены проходные и тупиковые накопители деталей.

Всего в комплексе работает 17 автоматических линий из 123 станков. На станках установлено 349 силовых узлов с 1233 шпинделями.

11.7. Транспортные системы автоматических линий

Жесткие транспортные системы. Жесткое транспортное устройство линий спутникового типа состоит из транспортера, перемещающего от станка к станку обрабатываемые детали (межстаночного), транспортера возврата спутников к началу линии (возвратного), поворотных устройств для изменения ориентации деталей (кантователей). Используются кантователи с горизонтальной осью поворота, параллельной направлению транспортирования деталей; с горизонтальной осью поворота, перпендикулярной к направлению транспортирования (перекладчики); с наклонной осью поворота (перекладчики); с вертикальной осью поворота (столы).

Схемы межстаночных транспортеров изображены на рис. 11.20. Широко применяется транспортер, основой которого являются две круглые поворотные штанги 1 с флажками 2 (рис. 11.20, а). Штанги проходят через все позиции линии. Во время хода вперед они повернуты так, что спутники 3 оказываются между флажками. Это позволяет переносить спутники с помощью штанг на высокой скорости (20 м/мин, с замедлением ее до 3 м/мин в начале и в конце цикла перемещения). Флажки препятствуют скольжению спутников по штангам в моменты их разгона и торможения. После фиксации спутников, прижима их к верхним базам 4 и отвода от них флажков штанги возвращаются назад. Кроме высокой скорости транспортирования, эта схема обеспечивает сохранность баз и требует небольшого усилия для перемещения спутников.

Транспортер с круглыми поворотными штангами, снабженными флажками, при перемещении спутников непосредственно по базовым планкам 5 (рис. 11.20, б) не имеет преимуществ предыдущего транспортера.

Штанговый транспортер с подпружиненными утопающими собачками 6 (рис. 11.20, в) отличается простотой конструкции. Однако для него характерны: относительно низкая скорость транспортирования из-за возможного перебега спутниками заданных позиций; частые отказы, возникающие в результате засорения стружкой.

Толкающий транспортер (рис. 11.20, г) работает следующим образом. На первый спутник 8 действует шток толкающего гидроцилиндра 7. Этот спутник действует на второй, второй — на третий и т. д. Цилиндр 9 предназначен для замедления всей колонны спутников при подходе к заданным позициям.

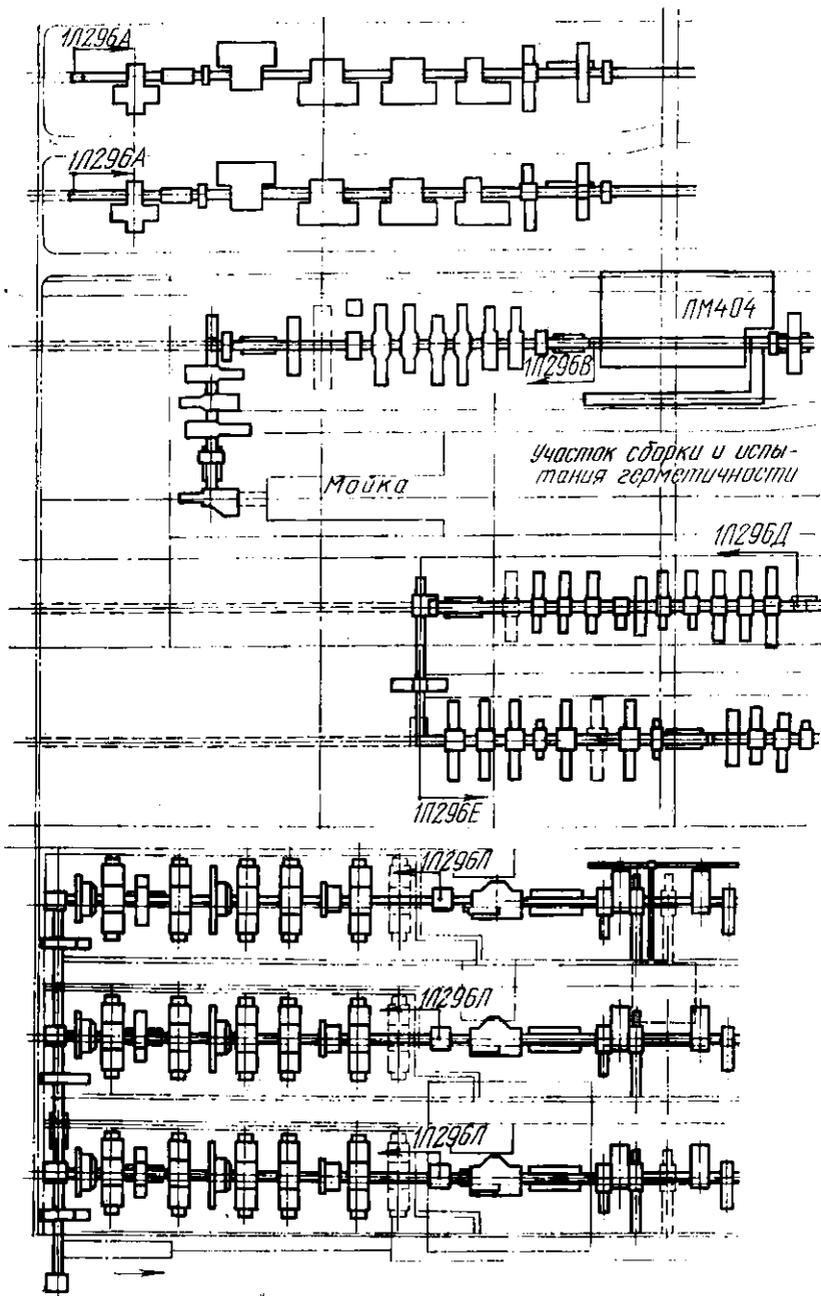
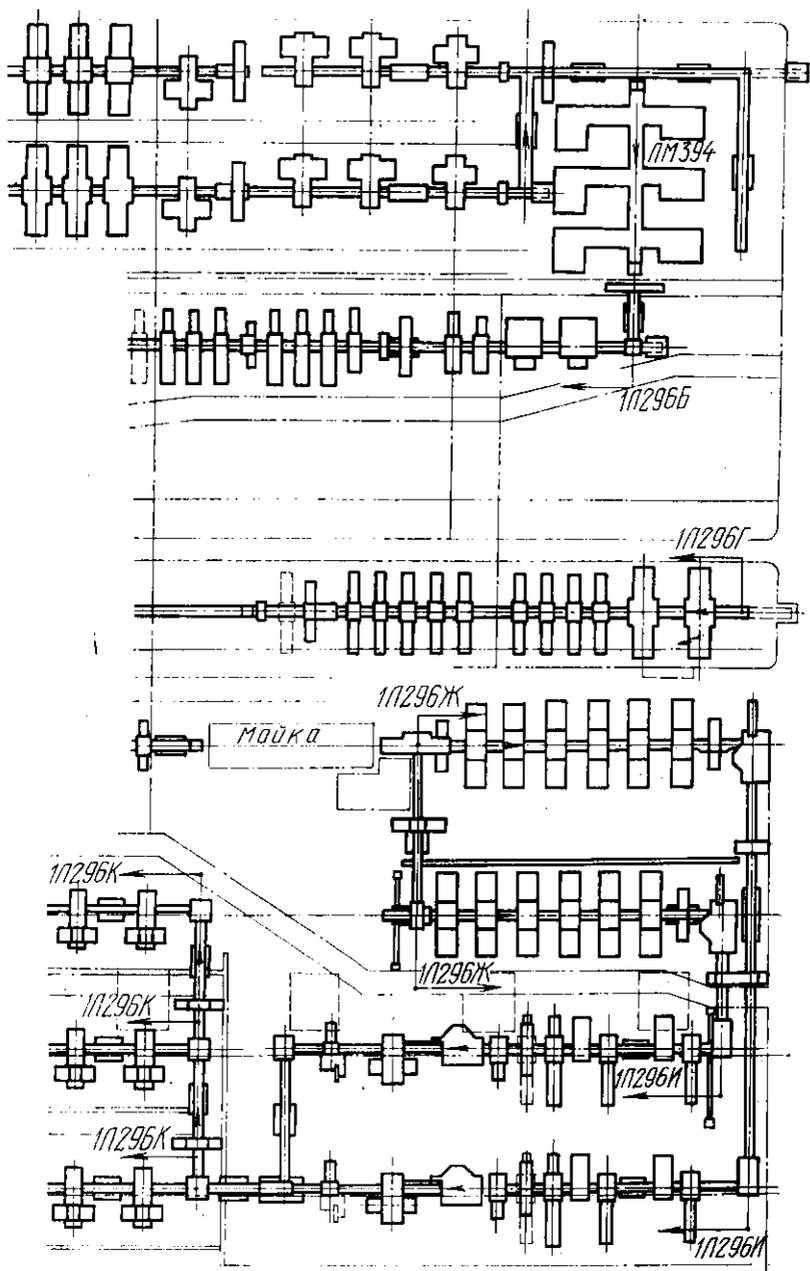


Рис. 11.19. Схема расположения оборудования комплекса



для обработки блоков цилиндра двигателя

Рассмотренные транспортеры работают циклично. Новый цикл перемещения начинается после выполнения обработки на всех станках, расположенных вдоль данного транспортера.

Спутники возвращаются к началу автоматической линии с обработанными деталями или без них. В первом случае один оператор устанавливает на спутники заготовки и снимает обработанные детали. При этом затрудняется очистка спутников от стружки и загрязнений, поэтому такая схема применяется редко. Обычно разгрузочная позиция находится в конце линии. Пустые спутники, возвра-

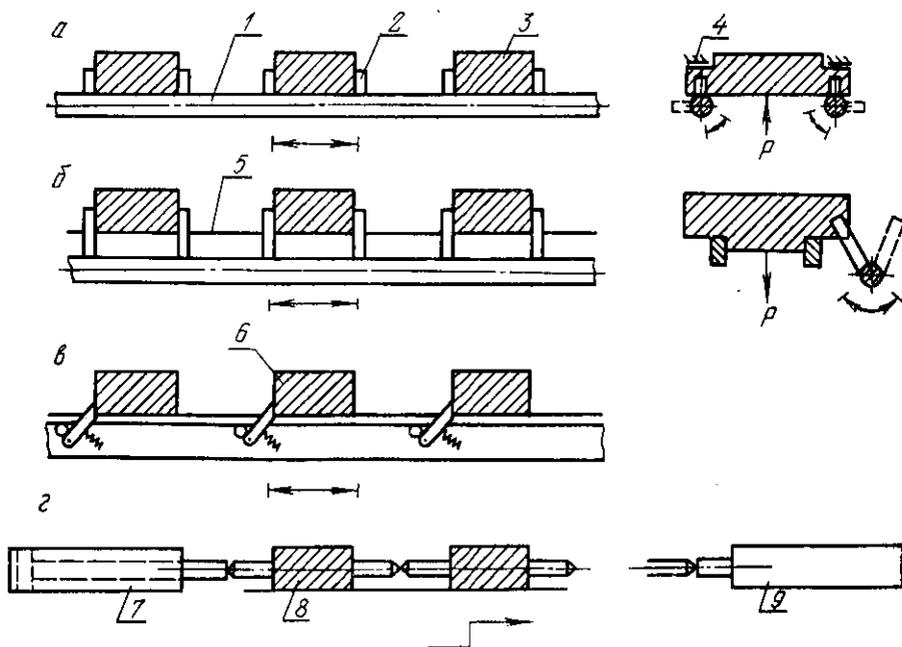


Рис. 11.20. Схемы транспортеров

щающиеся к началу линии по специальному возвратному транспортеру, проходят через моечную станцию, где хорошо очищаются от стружки и загрязнений.

Лучшим в отношении обслуживания и ремонта является возвратный транспортер, расположенный сбоку от основного на одном с ним уровне. Размещать возвратный транспортер над или под основным почти всегда нецелесообразно из-за ухудшения отвода стружки с линии, затрудненного доступа к спутникам. Значительное распространение получили линии с возвратным транспортером, находящимся сбоку и выше основного. Такая компоновка приводит к эко-

номии производственной площади, но характеризуется повышенным расходом металла и затрудненным обслуживанием возвратного транспортера.

Гибкие транспортные системы. Как уже было отмечено, жесткие автоматические линии останавливаются при отказе любого их элемента. Поэтому с целью снижения простоев создают гибкие транспортные системы, допускающие наладку некоторой части линии в то время, как остальные участки продолжают функционировать. Кроме того, обеспечивается независимость работы оборудования (с разным временем цикла, в различной последовательности).

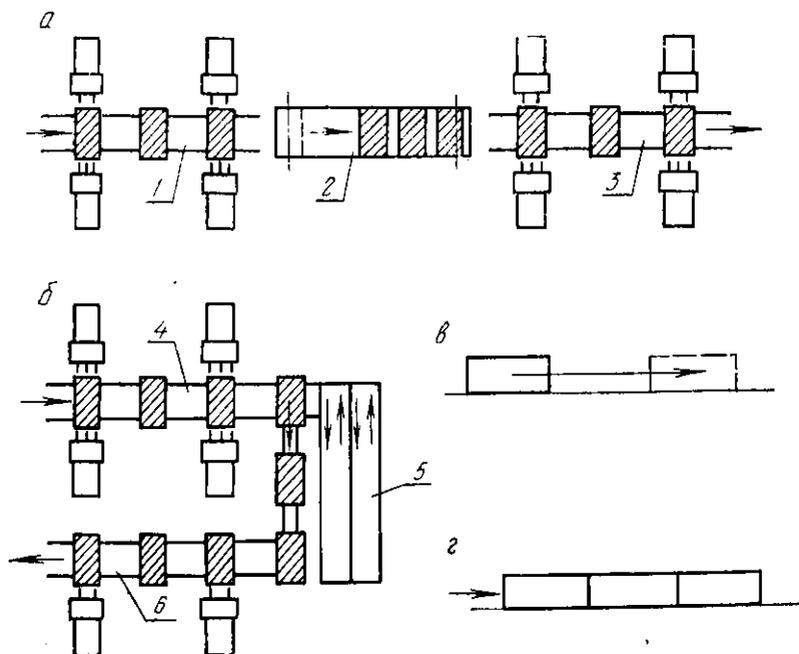


Рис. 11.21. Схемы транспортных систем с накопителями

Гибкость межагрегатных связей в линии может быть достигнута с помощью накопителей деталей между отдельными ее участками или их обработкой в параллельных потоках, а также созданием линий со сложной структурой.

Примеры транспортных систем с накопителями деталей. На рис. 11.21, а изображена схема линии, состоящей из двух участков 1, 3 и накопителя деталей 2 между ними. При отказе участка 3 заготовки частично обрабатываются на участке 1 и поступают в накопитель 2. При выходе из строя первого участка станки следующего имеют возможность обрабатывать детали, поступаю-

шне из накопителя. Таким образом, накопителем обеспечивается гибкость транспортной системы линии. Несмотря на отказы накопителей при соответствующем их объеме фактическая производительность многоучастковых линий выше по сравнению с жесткими линиями, предназначенными для той же обработки с такой же номинальной производительностью.

В рассмотренной схеме использован так называемый *проходной накопитель*. Из него изделия расходуются последовательно, в порядке поступления. При применении *тупиковых накопителей* дета-

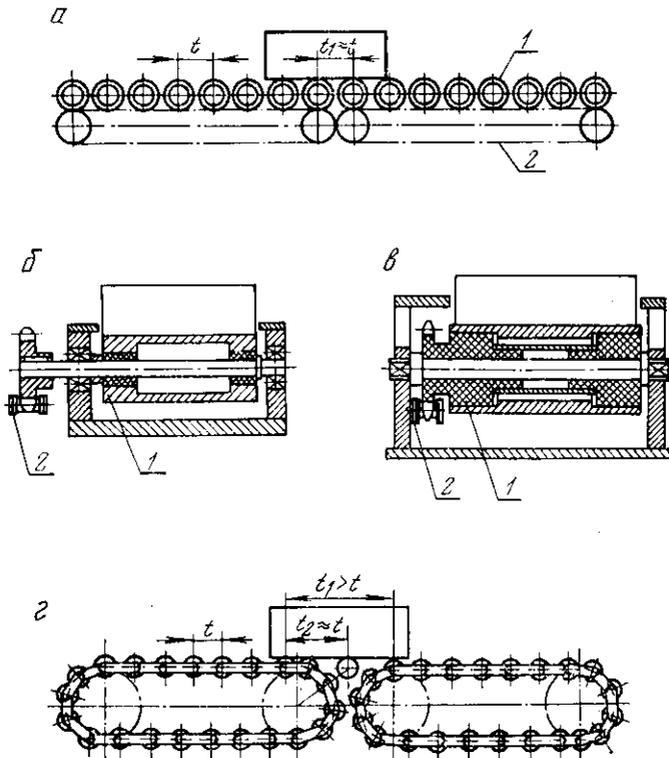


Рис. 11.22. Проходные транспортеры-накопители с приводными роликами

ли накапливаются в тупиковой емкости 5 (рис. 11.21, б) или поступают с предыдущего участка 4 непосредственно на последующий 6. Недостаток таких накопителей состоит в том, что в них надолго может задерживаться часть деталей.

Проходные транспортеры-накопители обеспечивают ряд дополнительных удобств по сравнению с тупиковыми. Например, более удобное обслуживание и сокращение времени на восстановление работоспособности линии благодаря свободному доступу к станкам, а также меньшую вероятность порчи изделия из-за сокращения времени его пребывания в накопителе.

Детали поступают в накопители и выдаются из них или под действием собственного веса, или принудительно. Во втором случае имеются два различных способа транспортирования деталей внутри накопителя. Один из них состоит в том, что каждая деталь транспортируется до места выдачи (рис. 11.21, *в*), благодаря чему в необходимых случаях все детали могут быть взяты из накопителя. Это транспортирование с дожатием. При другом способе транспортирования (с проталкиванием) (рис. 11.21, *г*) каждая деталь, поступая в накопитель, проталкивает остальные, находящиеся в нем. Поэтому невозможно выбрать из накопителя в автоматическом режиме весь его запас.

На рис. 11.22, *а* изображена схема проходного транспортера-накопителя с приводными роликами 1 [3], получающими вращение от втулочно-роликовых цепей 2. Приводные ролики выполняются по схемам на рис. 11.22, *б*, *в*. Такой накопитель обеспечивает более плавное перемещение деталей и удобную загрузку и выгрузку их в направлении, перпендикулярном к транспортированию, по сравнению с накопителем, сконструированным из роликовых цепей (рис. 11.22, *г*). Накопители обеих конструкций дают накопление вплотную, что по сравнению с шаговыми увеличивает их емкость, упрощает загрузку и выгрузку деталей.

Шаговые транспортеры-накопители с толкающими собачками (рис. 11.23) применяют для перемещения и накопления деталей, не удобных для транспортирования без спутников по роликам или с помощью роликовой цепи. Основными элементами этого транспортера являются: две неподвижные планки 2, на которых лежат транспортируемые детали; транспортная штанга 9; рычаги 3, удерживаемые деталями в горизонтальном положении или повернутые вокруг оси 4 при отсутствии деталей на позициях (см. свободную позицию *СП*); управляемые толкающие собачки 5, которые могут поворачиваться на осях 10, закрепленных в штангах 9 (горизонтальное положение собачек — нерабочее, вертикальное — рабочее). С собачками 5 при помощи планки 7 связаны рычаги 8, так что детали 5, 7, 8, 9 образуют параллелограммы.

Когда штанга 9 занимает исходное положение, планка 7 упирается в упор 1, все собачки находятся в нерабочем горизонтальном положении, а закрепленные на них ролики 6 — в верхнем положении (рис. 11.23, *а*). В самом начале перемещения транспортной штанги 9 вперед (вправо) ролик, находящийся на собачке 5 *СП*, которая расположена позади свободной позиции *СП*, упирается

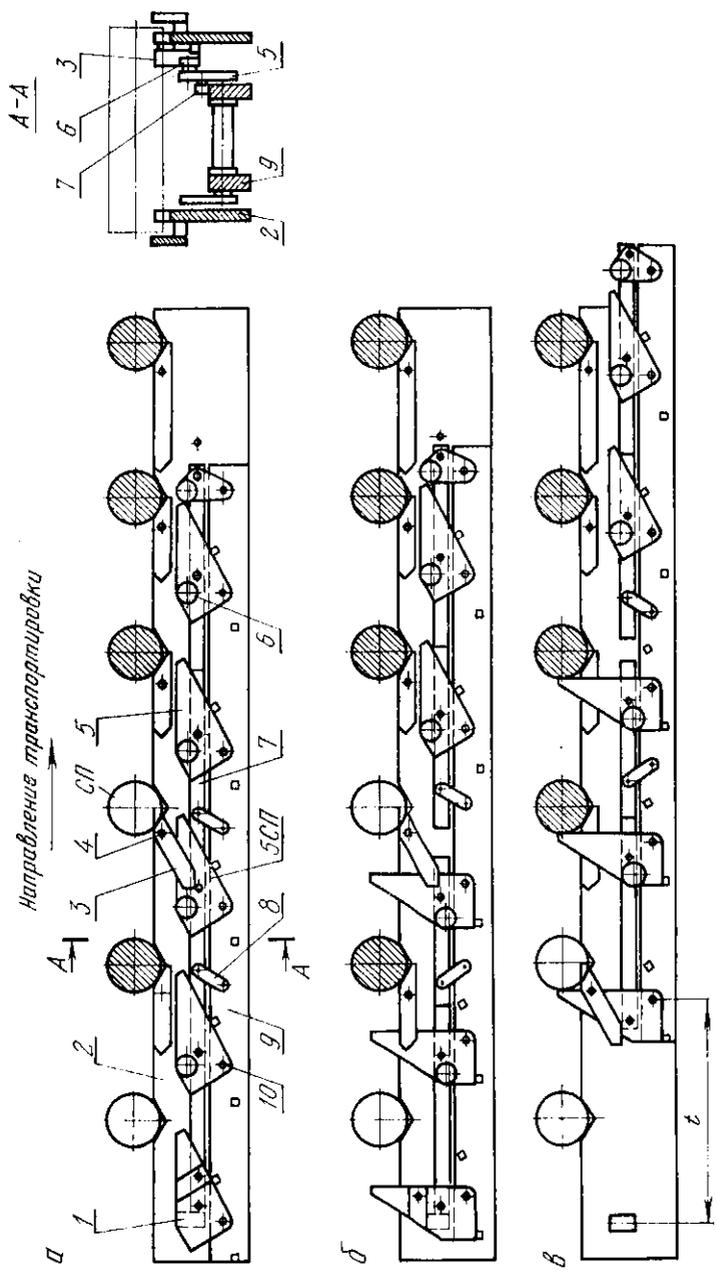


Рис. 11.23. Шатовый транспортер-накопитель с управляемыми толкающими собачками:
а — исходное положение; *б* — начало хода вперед; *в* — конец хода вперед

в рычаг 3. В результате все собачки слева от свободной позиции устанавливаются в рабочее вертикальное положение (рис. 11.23, б). При дальнейшем движении штанги 9 вправо детали слева от позиции СП перемещаются на шаг t . После нескольких циклов заполняются все пустые позиции в конце накопителя (рис. 11.23, в).

Проходные транспортеры-накопители применяют как загрузочные и разгрузочные устройства, для соединения автоматических линий, потоков многопоточных линий и т. д. Эти накопители длиной 5—10 м обеспечивают задел на 10—20 мин работы.

На рис. 11.24 представлено транспортное устройство, которое имеют многие линии для обработки шатунов. Последние транспор-

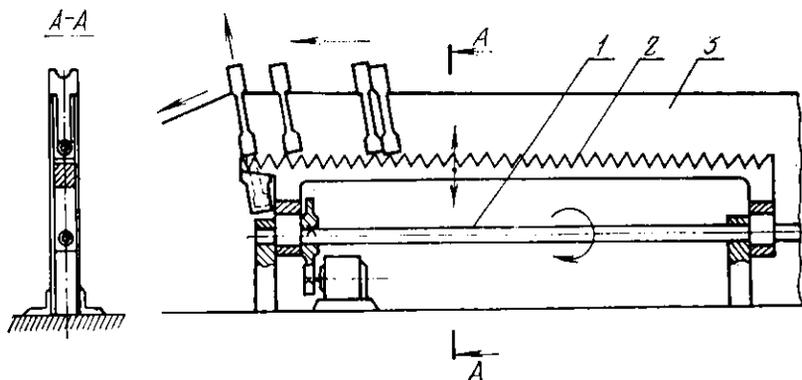


Рис. 11.24. Транспортер автоматической линии для обработки шатунов

тируются, будучи отклоненными от вертикали на 10° в направлении перемещения. Верхней головкой они опираются на боковые пластины 3 лотка, нижней — на рейку 2. С помощью эксцентрикового вала 1 нижняя головка получает перемещения в вертикальной плоскости. Ход рейки вверх сопровождается движением вперед верхней головки шатуна, при ходе рейки вниз перемещается вперед его нижняя головка. Таким образом шатун постепенно передвигается вдоль транспортера. Дойдя до упора, он останавливается. В нужный момент толкатель перебрасывает шатун через упор.

Этот же принцип транспортирования использован в накопителях автоматических линий. Они выполнены в виде винтовых лотков и винтовой зубчатой рейки, которая получает вертикальные перемещения.

Компоновки транспортных систем многопоточных линий показаны на рис. 11.25. На двухпоточной линии (рис. 11.25, а) заготовки с подающего транспортера 1 поступают на два рабочих потока 2, 4, в которых установлено одинаковое технологическое оборудование. Обработанные детали выдаются на транспортер 3.

Линия на рис. 11.25, б включает два потока, каждый из которых состоит из двух секций; она функционирует нормально, когда детали с секции 5 поступают на секцию 6, а с секции 9 на секцию 8. При отказе одной или даже двух секций линия продолжает действовать и обеспечивает половину нормальной производительности. Например, при отказе секции 6 принудительно останавливается секция 5, но секции 9 и 8 продолжают работать. В случае появления отказов секций 9 и 6 с помощью реверсивного транспортера 7 заготовки передаются с секции 5 первого потока на 8 второго потока.

В автоматической линии, изображенной на рис. 11.25, в, детали с двух одинаковых параллельных потоков 15 и 16 с помощью транспортеров 10, 11 и 12 передаются для дальнейшей обработки на потоки 13 и 14. Один из потоков 15 и 16 может работать совместно с одним из потоков 13, 14.

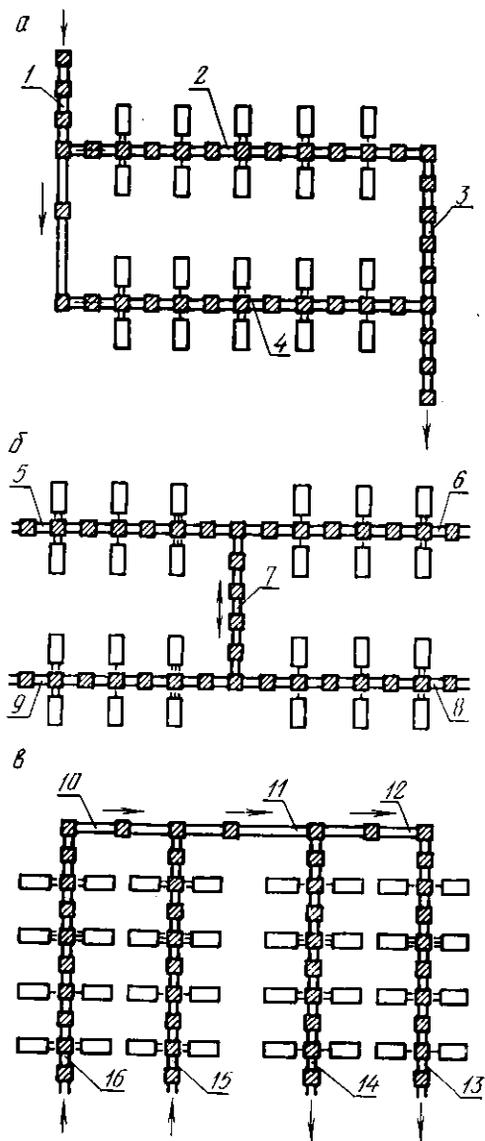


Рис. 11.25. Многопоточные автоматические линии

11.8. Инструментальная оснастка автоматических линий

Инструментальной оснасткой (инструментом) автоматических линий называют комплекс режущих и вспомогательных инструментов, а также приспособлений для их настройки.

На автоматических линиях рекомендуется применять стандартные режущие инструменты, отличающиеся высокими эксплуатационными качествами при относительно низкой стоимости. Инструменты снабжаются регулировочными узлами, которые позволяют настраивать их на размер вне станков. Вспомогательными инструментами обеспечивается быстрое закрепление режущих инструментов на станках. Для гарантированного получения деталей заданного качества инструменты должны иметь повышенную точность диаметральных размеров и незначительное биение режущих лезвий.

Комбинированные инструменты целесообразно применять для достижения точного взаимного положения обработанных поверхностей или значительного упрощения и удешевления линии. Они позволяют высокую концентрацию операций, но дороже стандартных и сложны для заточки.

Часто используются наборы фрез или резцов (расточных, фасочных) на общей оправке, что позволяет на одной позиции обработать несколько поверхностей.

На каждой автоматической линии обычно установлено большое количество режущих инструментов. Выход из строя любого из них сопровождается остановкой соответствующего станка или всей линии. Параллельно на отказ инструмента значительно ниже параболки на отказ других элементов линии. Все эти обстоятельства приводят к тому, что из-за отказов режущих инструментов автоматические линии часто останавливаются. Хотя отказы быстро устраняются, суммарные простои очень велики. Из-за смены и подналадки инструментов простои автоматических линий составляют до 15% общего фонда времени работы или около половины всего времени простоев. Поэтому повышенную стойкость режущих инструментов и улучшение их эксплуатации уделяется большое внимание.

Снижению простоев линии способствуют следующие мероприятия: применение быстросменных инструментальных наладок; принудительная смена инструментов, настройка их на размер вне станков; обеспечение простоты и удобства наладки на станке и вне станка; использование устройств, контролирующих целостность инструментов.

Быстрота смены инструментов обеспечивается различными способами. В частности, для крепления стержневых инструментов применяются быстросменные патроны, один из которых изображен на рис. 11.26. Переходная втулка 2, несущая инструмент 10, вставляется в шпиндель 3 станка. Инструмент в сборе с втулкой отрегулирован на размер до установки в шпиндель. При этом регулиро-

вочная гайка 9 установлена в такое положение, чтобы расстояние A от вершины инструмента до ее торца было равно запроектированному. На шпинделе с помощью винта закреплена втулка 1. В ее радиальных отверстиях помещены шарики 8, а в продольных — пружины 7 и штифты 6. Соединенная с кольцом 4 втулка 5 прижимает шарики к скосу регулировочной гайки 9. Благодаря этому торец гайки прижимается к торцу шпинделя, инструмент надежно закрепляется в нем. Чтобы извлечь инструмент из шпинделя, втулку 5 необходимо переместить влево.

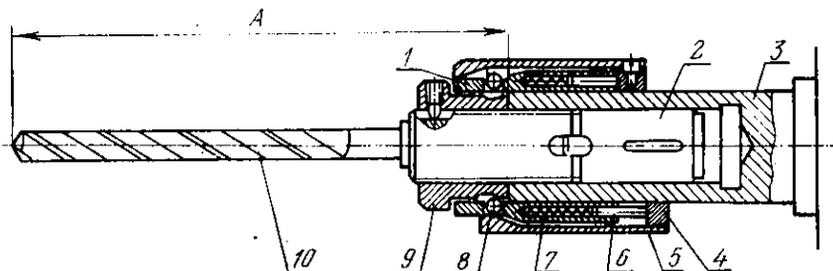


Рис. 11.26. Быстросменный патрон

Быстрая смена резцовых вставок, используемых для оправок, борштанг, фрез, достигается настройкой вставок вне станка. Например, фреза (рис. 11.27) комплектуется резцовыми вставками 2, осевое положение которых настраивается винтами 3, радиальное — винтами 1. Крепятся вставки клиньями 4, предварительно поджатыми пружинами 5, а после проверки положения фиксируются винтами 6.

Концевые инструменты настраивают на размер A (рис. 11.28), пользуясь барабанными приспособлениями. При этом оправку вместе с настраиваемым инструментом вставляют во втулку 7, поворачивают барабан 3, и упор 2 вступает в контакт с инструментом. При вращении гайки 6 в вертикальном направлении перемещаются инструмент и упор. Заданный наладочный размер A достигается, когда верхний торец упора совпадает с торцом втулки 1. На правом кронштейне этого приспособления установлен индикатор 4. С его помощью, а также с помощью регулировочного винта 5 инструмента обеспечивается заданный наладочный размер A .

Как известно, своевременная смена инструментов — необходимое условие эффективной работы металлорежущего оборудования. Чрезмерное затупление инструментов ведет на черновых операциях к их выкрошиванию и поломкам, а на чистовых — к браку. Менять их при слишком малом износе не следует, так как это повысит их расход и приведет к частым остановкам линии. Поэтому производится принудительная смена инструментов, т. е. смена после обработки определенного количества деталей.

При принудительной смене все инструменты, установленные на линии, разделяют на группы так, чтобы в одной оказались инструменты, которыми между переточками можно обработать приблизительно одинаковое число деталей n . Величина n вычисляется по формуле

$$n = \frac{T}{\lambda t_m},$$

где T — стойкость данного инструмента в минутах фактического резания;

λ — отношение времени фактического резания к машинному;

t_m — машинное время, т. е. время перемещения инструмента со скоростью рабочей подачи.

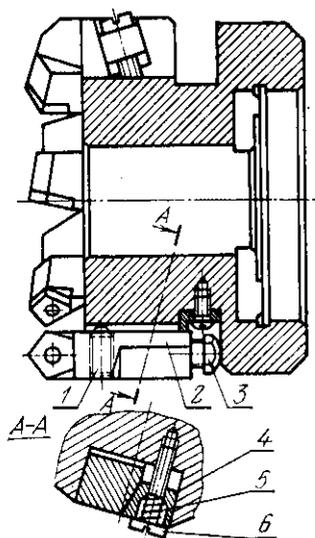


Рис. 11.27. Торцевая фреза, настраиваемая на размер вне станка

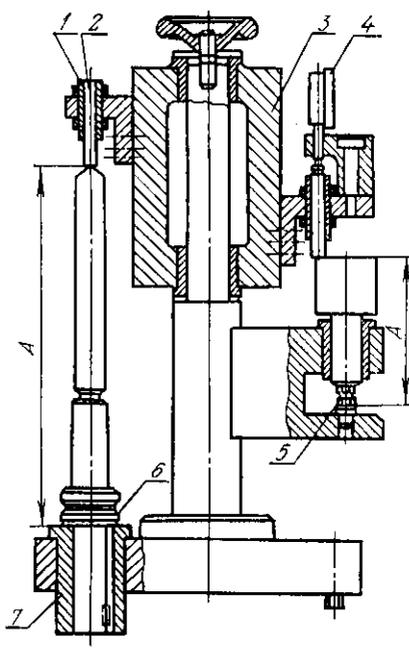


Рис. 11.28. Приспособление для настройки концевых инструментов

Значения T обычно определяют по справочникам и уточняют по результатам наблюдений за работающими инструментами.

В комплект автоматической линии входит инструментальный стенд, помогающий организовать принудительную смену инструментов (рис. 11.29). Заточенные и настроенные инструменты вместе с переходными державками хранятся в гнездах, армированных резиновыми втулками. На табличках, находящихся рядом с гнезда-

ми, помечены индексы и наладочные размеры инструментов. Размещаются инструменты группами в зависимости от числа обрабатываемых деталей. К каждой группе относится отдельный счетчик циклов, которые обрабатывает автоматическая линия после установки на станки данной группы инструментов. Счетчик подает звуковой или световой сигнал о необходимости их смены. На стенде находятся также приспособления для настройки режущих инстру-

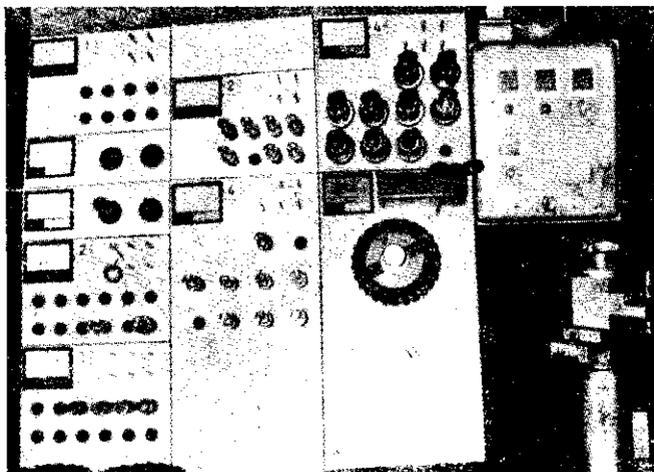


Рис. 11.29. Инструментальный стенд

ментов на размер и различные вспомогательные инструменты. Все это способствует быстрой настройке, а следовательно, снижению затрат времени на смену режущих инструментов.

11.9. Устройства для удаления стружки

Гарантированный отвод образующейся при резании стружки — одно из условий надежного функционирования автоматических линий. Возникают две задачи: 1) удалить стружку из зоны резания, с поверхностей обрабатываемых деталей и узлов; 2) удалить стружку с автоматической линии.

Для решения первой задачи необходимо поверхности приспособлений, торцы втулок, бобышек делать наклонными; предусматривать в приспособлениях достаточно большие окна для ссыпания стружки на транспортер; в некоторых случаях смывать стружку из зоны резания струей смазочно-охлаждающей жидкости; встраивать в линию агрегаты для отсоса мелкой стружки и пыли, образующихся при фрезеровании чугуновых и алюминиевых заготовок; сдувать стружку сжатым воздухом с базовых планок приспособлений; об-

мывать или обдуть приспособления-спутники, возвращающиеся на позицию загрузки. Кроме того, перед нарезанием резьбы стружка сжатым воздухом выдувается из глухих отверстий; перед чистовым растачиванием, сборкой, поступлением деталей в накопитель она удаляется с их поверхностей в результате обмывания смазочно-охлаждающей жидкостью, поворачивания деталей, встряхивания их.

Сливная стружка уносится с автоматической линии шнековым транспортером (рис. 11.30, а). Его шнек 4 получает вращение от

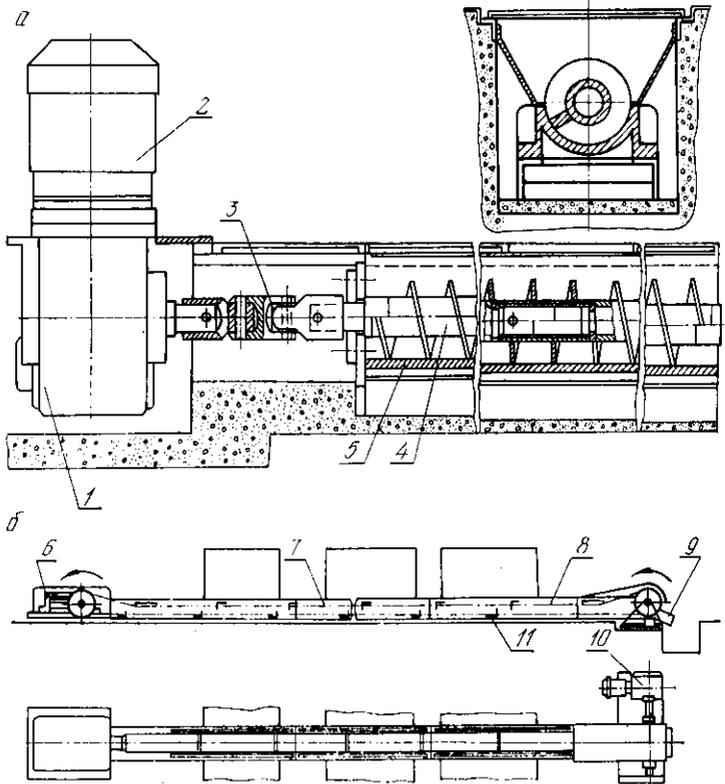


Рис. 11.30. Транспортеры для удаления стружки

электродвигателя 2 через редуктор 1 и универсальную шарнирную муфту 3. Он лежит в герметичном корыте 5, расположенном под станками. Для удаления мелкой стружки применяется установленный в корыте 7 скребковый транспортер (рис. 11.30, б), в состав которого входят привод 10, цепь 8 со скребками 11, натяжной механизм 6, лоток 9 для сыпания стружки. Кроме того, иногда применяются ленточный транспортер для перемещения чугунной стружки и вибрационный для перемещения стальной и чугунной стружки на небольшие расстояния.

11.10. Оценка показателей надежности и производительности

Методика расчета показателей надежности и производительности. Автоматическая линия — сложная система, состоящая из десятков станков и агрегатов. Число инструментов, установленных на ней, может достигать нескольких сотен. Все эти элементы подвержены отказам, а режущие инструменты — весьма частым.

Исследования показали, что автоматические линии значительно отличаются от универсальных станков причинами отказов, большинство из которых (80—90%) появляется в результате несрабатывания элементов систем управления, устройств и механизмов. Это в значительной степени определяется нестабильностью нагрузок и параметров внешней среды: температурой воздуха и рабочих жидкостей, коэффициентов трения; параметров заготовок и режущих инструментов и т. д. В автоматических линиях на долю поломок и износа деталей приходится всего 1—3% общего числа отказов. В противоположность этому поломки и износ деталей являются основными причинами отказов универсальных станков. Для линий характерны большая частота отказов и малая длительность среднего времени восстановления. Среднее значение параболки между отказами обычно составляет 7—10 мин, а среднее время восстановления — 2—3 мин.

Так как современными техническими средствами не удастся достичь достаточно высокого уровня безотказности автоматических линий, идут по пути обеспечения хорошей ремонтпригодности их элементов. Особенно высокие требования в отношении надежности предъявляются к режущим инструментам, отказы которых занимают значительное место (иногда первое) в общем количестве.

Особенности функционирования автоматических линий приводят к тому, что важнейшим расчетом при их проектировании является расчет на надежность. Основные показатели надежности автоматических линий — параметр потока отказов ω и коэффициент готовности k_r . Имеется несколько методик их оценки на стадии проектирования. В данном параграфе излагается методика определения ω и k_r , разработанная Минским СКБ АЛ [15]. При этом коэффициент готовности вычисляют по формуле (4.6) через определенную расчетом удельную длительность восстановления B .

Для оценки ω и B автоматическую линию разделяют на элементы, в качестве которых приняты крупные узлы (табл. 11.1), аппараты, режущие инструменты. Одни элементы работают непрерывно, другие — циклически. Путем анализа частоты их отказов и длительности простоев в условиях эксплуатации для каждого были определены средние величины параметра потока отказов ω_i (фактически — средняя частота отказов) и удельной длительности восстановления B_i . Для циклически действующих узлов эти показатели отнесли к одному циклу (табл. 11.1), для действующих

Табл. 11.1. Показатели надежности циклически действующих узлов автоматических линий МЗАЛ

Наименование узла	Значение показателей надежности	
	$\alpha \cdot 10^3, \frac{1}{\text{цикл}}$	$B \cdot 10^3, \frac{\text{мин}}{\text{цикл}}$
Силовой или подкатной стол вместе с многошпиндельной коробкой	0,143	0,300
Силовой или подкатной стол вместе с подрезно-расточной или фрезерной бабкой	0,200	0,800
Приспособление для фиксации и зажима заготовок средней сложности	0,139	1,000
Приспособление для фиксации и зажима заготовок со сложными механизмами или для точной обработки	0,278	2,000
Приспособление для фиксации и зажима приспособлений-спутников (типовое)	0,100	0,500
Привод транспортного устройства с механизмом поворота штанг	0,588	4,000
Приспособление-спутник без зажимного устройства	0,010	0,100
Приспособление-спутник с зажимным устройством	0,100	0,500
Станция зажима или отжима заготовок в приспособлениях-спутниках (механический ключ)	0,286	1,429
Станция автоматической загрузки или разгрузки заготовок	2,000	0,400
Устройство для автоматической запрессовки колец или втулок в заготовки	0,100	0,100
Контрольные плиты подвижные	0,010	0,050
Устройство для контроля наличия отверстий в заготовках	0,200	2,000
Быстросменный патрон с удлинителем для крепления сверл, зенкеров, разверток, метчиков	0,001	0,002
Подрезная головка со скользящей втулкой (пинольная) и с плавающим патроном	0,010	0,100
Борштанга во вращающейся втулке или со скользящей втулкой и с плавающим патроном	0,040	0,010
Станция для поворота заготовок или приспособлений-спутников, кантователь	0,100	1,000
Электрооборудование линии из 10 станков	1,000	7,500
Гидрооборудование линии из 10 станков (без насосных установок)	2,000	17,400
Возвратный транспортер	1,667	20,000
Мощная станция	0,100	1,000

непрерывно — к одной минуте бесперебойной работы линии (табл. 11.2).

При расчете показателей надежности необходимо знать требуемую фактическую производительность линии Q_{ϕ} и количество деталей m , выдаваемых ею за один цикл, а также интервал (0,65—0,80), в котором изменяется так называемый коэффициент обще-

Табл. 11. 2. Показатели надежности непрерывно действующих узлов автоматических линий МЗАЛ

Наименование узла	Значения показателей надежности	
	$\omega \cdot 10^3, \frac{1}{\text{мин}}$	$B \cdot 10^3, \frac{\text{мин}}{\text{мин}}$
Система охлаждения режущего инструмента без резервной насосной установки	0,400	0,200
Система охлаждения режущего инструмента при наличии резервной насосной установки	0,200	0,600
Насосная установка гидростанции	0,010	0,100

го использования линии k_o , учитывающий все потери рабочего времени:

$$k_o = \frac{t_p}{t_p + t_o},$$

где t_p — суммарная наработка линии за некоторый период;

t_o — суммарное время простоев линии за тот же период по причине ее отказов, планового технического обслуживания и по организационным причинам.

Расчет показателей надежности и производительности выполняется в следующей последовательности.

1. В зависимости от сложности проектируемой линии принимаем для нее некоторое значение k_o из интервала 0,65 — 0,80 и устанавливаем приближенное значение $t'_ц$ времени цикла линии (в минутах):

$$t'_ц = \frac{60 m k_o}{Q_\phi}.$$

2. Определяем режимы резания на всех рабочих позициях.

3. Строим циклограмму работы линии, уточняем режимы резания на лимитирующей позиции и корректируем величину времени цикла $t_ц$:

$$t_ц = t_M + t_B,$$

где t_M — машинное время на лимитирующей позиции;

t_B — затраты времени на быстрый подвод и отвод силового стола на лимитирующей позиции, а также на срабатывание вспомогательных агрегатов линии (определяются по циклограмме).

4. Узнаем цикловую производительность линии Q , т. е. такую производительность, которую имела бы линия при отсутствии всяких потерь рабочего времени:

$$Q = \frac{60m}{t_ц}.$$

5. Вычисляем параметр потока отказов ω и удельную длительность восстановления линии B . При этом учитываем, что жесткая линия выходит из строя при отказе любого ее элемента и простаивает столько времени, сколько требуется на восстановление работоспособности каждого элемента. Отсюда следует, что параметр потока отказов жесткой линии ω равен сумме параметров потока отказов ее элементов, а удельная длительность восстановления линии B равна сумме удельных длительностей восстановления составляющих ее элементов:

$$\omega = \frac{1}{t_{ц}} \sum_i \omega_i + \sum_j \omega_j;$$

$$B = \frac{1}{t_{ц}} \sum_i B_i + \sum_j B_j.$$

В каждой из этих формул первая сумма относится к циклически действующим узлам, вторая — к узлам, работающим непрерывно, $t_{ц}$ — средняя длительность цикла линии.

6. Определяем наработку на отказ T , коэффициент готовности k_r , техническую производительность Q_T .

7. Расчетные время цикла $t_{ц}$, параметр потока отказов ω , наработка на отказ T , коэффициент готовности k_r , цикловая Q и техническая производительность Q_T вносятся в технические условия на поставку линии.

Контроль надежности на заводе-изготовителе. Автоматическая линия проверяется сначала на холостом ходу, затем под нагрузкой. Ее работа и простои фиксируются самопишущим прибором на бумажной ленте. Прибор присоединяется к контактам реле, которое включено в течение цикла линии и выключено в момент ее простоя. В ходе испытаний определяют длительность цикла, величину машинного времени, коэффициент готовности и сопоставляют их с расчетными.

По методу последовательных испытаний устанавливают, отвечает ли безотказность линии требуемому уровню. В соответствии с их результатами могут потребоваться работы для повышения безотказности линий. Сущность метода последовательных испытаний рассмотрим более подробно.

Пусть T_1 — минимальное значение наработки на отказ, при котором автоматическую линию можно принять; T_0 — среднее обеспечиваемое изготовителем значение наработки на отказ автоматических линий, подобных изготовленной; T — истинное значение наработки на отказ изготовленной линии.

Так как на заводе-изготовителе испытания кратковременны, нельзя определить истинное значение наработки на отказ T . В результате потребитель (заказчик) может принять такую линию, для которой наработка на отказ случайно оказалась большой, а в действительности $T < T_1$. Точно так же в результате случайности может

быть забракована линия, для которой наработка оказалась малой, а на самом деле $T > T_1$. Вероятность β приемки линии, для которой $T < T_1$, называют *риском потребителя*. Вероятность α забракования линии, для которой $T > T_1$, называют *риском изготовителя*.

При организации последовательных испытаний изделия принимают некоторые конкретные уровни α и β . Чем они меньше, тем более продолжительными становятся испытания. С увеличением α и β возрастает вероятность принятия ошибочного решения. При испытаниях автоматических линий полагают $\alpha = \beta = 0,1$.

Результаты испытаний наносим на график (рис. 11.31), где по оси абсцисс откладываем время испытаний t , выраженное в циклах линии, а по оси ординат — число отказов n . На график наносим еще две параллельные прямые 1 и 3. Их положение определяется типом распределения, которому подчиняются наработки между отказами испытываемого объекта. Это распределение мож-

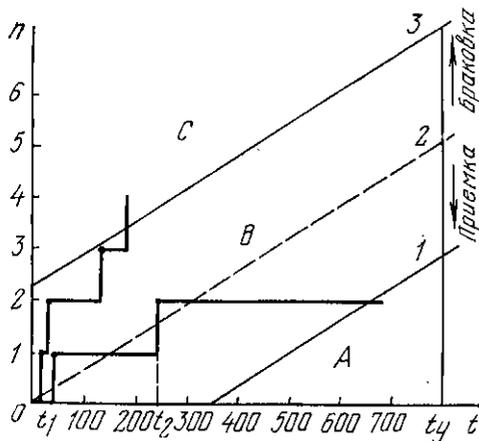


Рис. 11.31. Схема последовательных испытаний автоматической линии

но считать экспоненциальным. В таком случае прямая 1 соответствует уравнению

$$n = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{T_0}{T_1}} + \frac{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}}{\ln \frac{T_0}{T_1}} t;$$

а прямая 3 — уравнению

$$n = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{T_0}{T_1}} + \frac{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}}{\ln \frac{T_0}{T_1}} t.$$

При испытании конкретной автоматической линии величина T_0 может быть неизвестной, тем более что почти всегда линия является единичным объектом, подобные ей не существуют. Тогда для определения прямых 1 и 3 следует принять некоторое отношение $T_0 : T_1$. Например, СКБ АЛ разработало методику испытаний при $T_1 = T_0 : 2,718$, $\alpha = \beta = 0,1$.

Прямые I и 3 делят первый квадрант на три зоны: A — приемки объекта, B — продолжения испытаний, C — браковки объекта. Точки, выражающие результаты испытаний, наносим на график и соединяем их ступенчатой линией. Возможны три случая: 1) после некоторой продолжительности испытаний график пересекает прямую I и выходит в зону приемки A ; 2) пересекает прямую 3 и выходит в зону браковки C ; 3) очень долго остается в зоне B . В первом случае испытания следует прекратить и линию принять, считая, что с вероятностью не меньшей $1 - \beta$ наработка на отказ не ниже допустимого уровня T_1 . Во втором испытание также надо прекратить и линию забраковать, так как с вероятностью не меньшей $1 - \alpha$ ее наработка на отказ ниже допустимого уровня T_1 . В третьем случае их следует прекратить при достижении ступенчатым графиком вертикальной линии $t = t_y$, называемой *линией усечения испытаний*. Величина t_y оговорена в технических условиях на поставку.

Если ступенчатый график пересекает прямую $t = t_y$ ниже штриховой прямой 2, параллельной I и 3 , линию необходимо принять. Если точка пересечения оказывается выше штриховой прямой или на ней, линию следует забраковать. Метод последовательных испытаний позволяет решить вопрос об уровне безотказности линий быстро, за три-четыре рабочие смены.

Контроль на заводе-заказчике. К автоматической линии подключаются самопишущие приборы. По выдаваемым ими записям определяют: t_p — суммарную наработку линии; t_n — суммарные простои из-за устранения отказов оборудования (без учета режущих инструментов); $t_{из}$ — суммарные простои по причине замены и подналадки режущих инструментов; $t_{обс}$ — суммарные простои, вызванные работами по техническому обслуживанию линии (осмотр в начале смены, уборка стружки, смазка и т. д.).

По формулам (4.1), (4.2) и (4.8) вычисляют точечные оценки коэффициента готовности k_r , коэффициента технического использования $k_{т.и}$ и технической производительности Q_T . Если они получены не ниже расчетных величин, указанных в проекте, линию принимают. В противном случае выявляют и устраняют причины повышенных простоев линии, а затем повторяют испытания. При доверительной вероятности 0,8 интервальные оценки коэффициента готовности k_r , коэффициента технического использования $k_{т.и}$ и технической производительности Q_T определяются неравенствами:

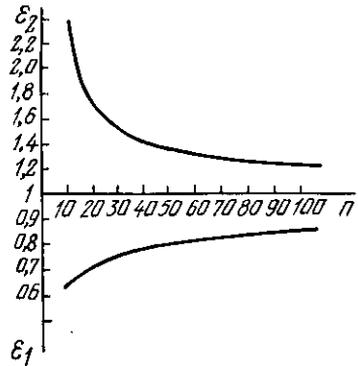


Рис. 11.32. Номограмма для определения коэффициентов ϵ_1 и ϵ_2

$$\frac{t_p}{t_p + \varepsilon_1 t_n} \leq k_p \leq \frac{t_p}{t_p + \varepsilon_2 t_n};$$

$$\frac{t_p}{t_p + \varepsilon'_1 (t_n + t_n + t_{обс})} \leq k_{г.н} \leq \frac{t_p}{t_p + \varepsilon'_2 (t_n + t_n + t_{обс})};$$

$$\frac{60m}{t_{ц}} \cdot \frac{t_p}{t_p + \varepsilon_1 t_n} \leq Q_{г} \leq \frac{60m}{t_{ц}} \cdot \frac{t_p}{t_p + \varepsilon_2 t_n},$$

где ε_1 и ε_2 — коэффициенты, определяемые по графику (рис. 11.32) в зависимости от числа n зарегистрированных отказов оборудования (без учета отказов по вине режущих инструментов и по организационным причинам);

ε'_1 и ε'_2 — коэффициенты, определяемые по тому же графику в зависимости от суммарного числа отказов линии по вине оборудования и режущих инструментов;

m — число деталей, обрабатываемых за один цикл действия автоматической линии;

$t_{ц}$ — длительность цикла линии, мин.

ГЛАВА 12. РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ УЧАСТКИ

12.1. Промышленные роботы

Назначение промышленных роботов. Промышленный робот — это автоматический манипулятор с программным управлением, предназначенный для приближенного воспроизведения некоторых двигательных функций человека, которые необходимы для выполнения производственных функций. Универсальный промышленный робот характеризуется хорошей приспособляемостью к выполнению разнообразных операций. Это обусловлено высокой подвижностью его исполнительного органа (руки) и возможностью быстрой переналадки траектории и режима движения. С течением времени появились роботы трех поколений.

Роботы первого поколения (рука) работают по жесткой программе, содержащей данные о координатах расположения объекта манипулирования. Не имея органов чувств, они не получают информации о состоянии окружающей среды и не могут приспособиться к обстановке. Такие роботы способны манипулировать только точно сориентированными и находящимися в покое объектами.

Роботы второго поколения (глаз — рука) получают определенную информацию об окружающей среде, например с помощью тактильных преобразователей. Эта информация используется при реализации программы манипулирования, в которую вклю-

чают алгоритмы поиска объектов, а не их координаты. Основные функции этих роботов заключаются в распознавании объекта, определении его положения и переносе в заданное положение.

Роботы второго поколения имеют повышенную маневренность (6—7 степеней свободы), иногда несколько рабочих рук. Они способны заменить операторов средней квалификации; будут работать на участках, где предусмотрено их применение, и смогут взаимодействовать с внешней ЭВМ.

Роботы третьего поколения (глаз — мозг — рука, «разумные роботы») способны самостоятельно вырабатывать программу конкретных действий на основе информации, поступающей от их органов чувств. Они оснащаются системой искусственного зрения и искусственного интеллекта, под которой понимают развитое программное обеспечение управляющих ими ЭВМ. Например, робот третьего поколения, рассмотрев чертеж, способен определить последовательность сборки, найти соответствующие детали и собрать узел.

Можно отметить два главных направления развития промышленных роботов. Первое состоит в разработке максимально простых и дешевых роботов для выполнения многочисленных простых работ. Второе заключается в увеличении возможностей роботов в отношении точности позиционирования, маневренности, надежности, что позволит им успешно работать в автоматизированных системах.

На рис. 12.1 изображены некоторые схемы применения промышленных роботов.

Роботы могут выполнять операции сборки и окраски, обслуживать испытательные стенды. Они успешно используются на работах, связанных с упаковкой, погрузкой и складированием изделий. Их применение может быть выгодным как в серийном, так и в массовом производствах. На базе роботов иногда целесообразно создавать переналаживаемые автоматические линии и участки станков.

Технологическое качество промышленных роботов может быть охарактеризовано системой показателей. К важнейшим из них относятся технологическая универсальность, надежность функционирования, способность к переналадке, быстродействие. Мера технологической универсальности — отношение числа позиций в цехе, на которых могут быть применены роботы, к общему числу рабочих позиций. С повышением технологической универсальности растет стоимость робота. Поэтому необходимо отыскивать ее оптимальный уровень. Быстродействие робота должно быть не ниже быстродействия человека.

Структура и движения промышленного робота. Структурная схема промышленного робота представлена на рис. 12.2. Его механическая система предназначена для отработки программы и состоит из базовых узлов (основания, станины), приводов, передаточных механизмов и захвата. Последний помещается на руке и служит

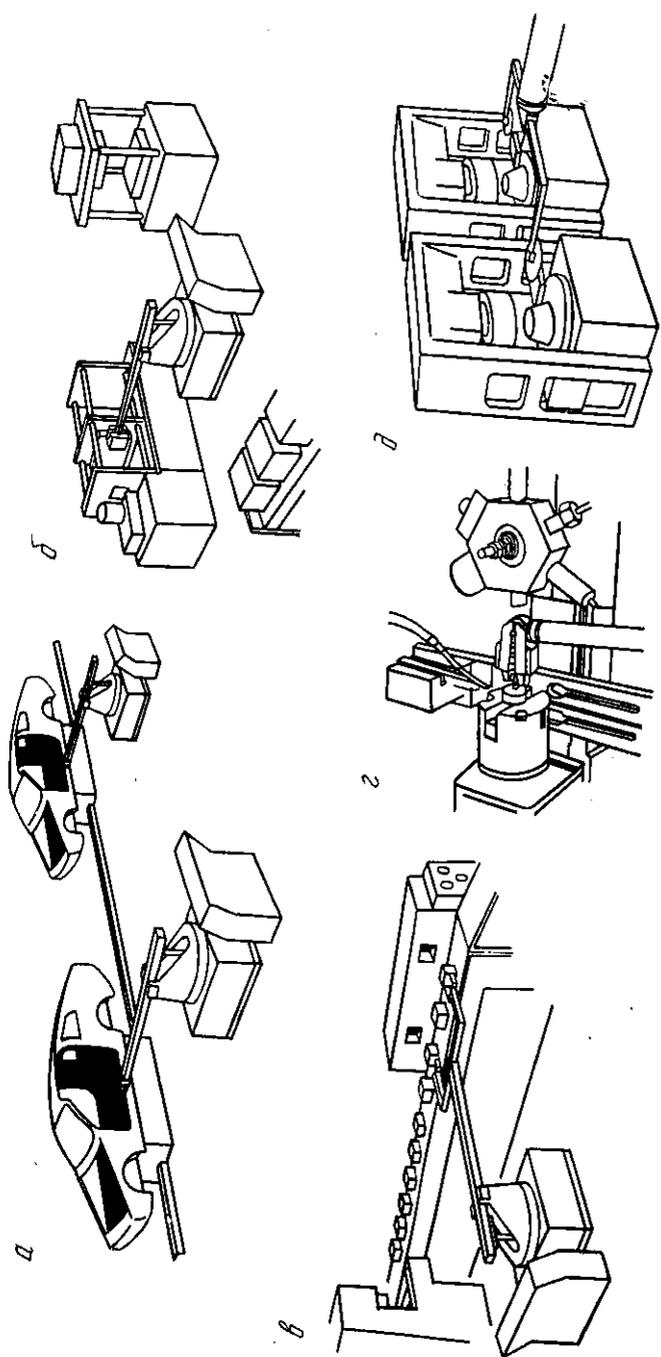


Рис. 12.1. Схемы применения промышленных роботов:

а — точечная сварка кузовов автомобиля; б — удаление деталей из пресс-форм; в — загрузка печи; г — обслуживание металлоразжужающего станка; д — передача деталей от станка к станку

для захватывания и удержания объектов. Система программного управления обеспечивает подготовку и воспроизведение программы. Информационная система предназначена для сбора данных о внешней среде, необходимых для приспособления робота к ее состоянию.

Для выполнения заданных функций роботы, как и люди, совершают движения трех типов: глобальные, региональные и локальные. К глобальным относятся перемещения на расстояния, превышающие размеры робота, т. е. между различными обслуживаемыми им позициями. Для выполнения таких движений робот снабжают осно-

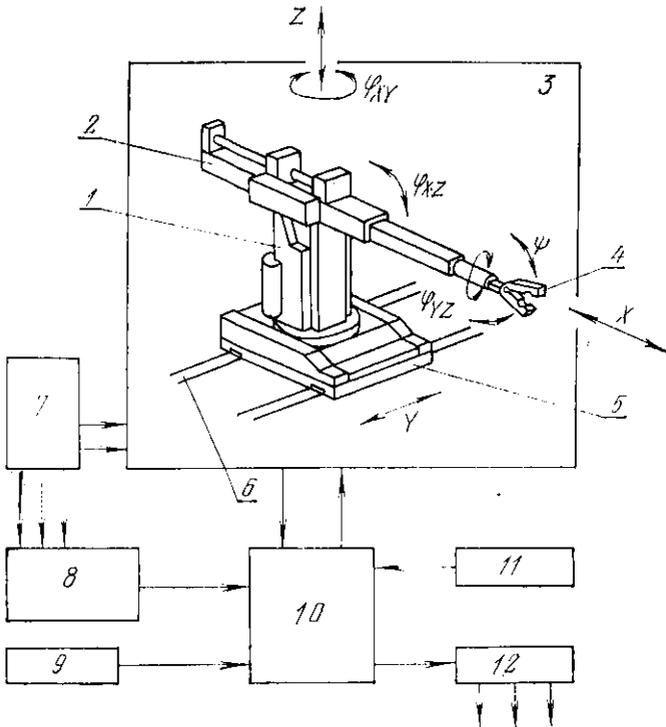


Рис. 12.2. Структурная схема промышленного робота:

1 — станция; 2 — рука; 3 — механическая система; 4 — захват;
5 — основание; 6 — путьпровод; 7 — внешняя среда; 8 — информационная система; 9 — ввод программы; 10 — система программного управления; 11 — ручное управление; 12 — каналы управления технологическим оборудованием; ψ , φ_{YZ} — локальные движения;
 X , Z , φ_{XZ} , φ_{XY} — региональные; Y — глобальные

ваннем, которое может передвигаться по направляющим. Наряду с мобильными применяют и стационарные роботы, которые не способны выполнять глобальных движений. Региональными движениями называют перемещения захвата в пределах рабочего пространства, конфигурация и размеры которого определяются кинематикой и размерами руки робота. Локальные движения — это перемещения

0

Сочетание пар		Кинематическая структура				
Последовательность частей						
Три вращательные	ВВВ					
	Две вращательные и одна поступательная	ВВП				
		ПВВ				
		ВВП				
Одна вращательная и две поступательные	ПВП					
	ВПП					
	ППВ					
Три поступательные	ППП					

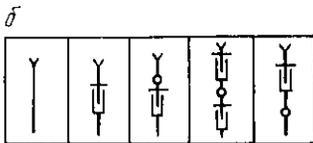


Рис. 12.3. Структурные кинематические схемы руки и кисти роботов

захвата на расстояния, близкие к его размерам. К ним относятся небольшие установочные перемещения, движения его губок. Региональные движения совершаются собственно рукой, а локальные — ее кистью, несущей захват. Кисть с захватом присоединяется к руке.

Ряд возможных структурных кинематических схем руки изображен на рис. 12.3, а. Каждая схема состоит из трех кинематических пар. Тонкими линиями показано рабочее пространство, в котором теоретически возможны региональные перемещения точки присоединения кисти к руке. Конструктивные особенности механизмов руки создают запреты на перемещения кисти в определенные области рабочего пространства. Для того чтобы механизм руки, состоящей из трех или более пар второго класса, создавал пространственные перемещения кисти, должно соблюдаться хотя бы одно из следующих условий: 1) механизм имеет две вращательные пары с непараллельными осями; 2) имеются две вращательные пары, оси которых параллельны, и одна поступательная с осью, перпендикулярной к осям вращательных пар; 3) механизм имеет две поступательные пары с непараллельными осями, лежащими в одной плоскости, и одну вращательную, ось которой наклонна к этой плоскости; 4) имеются две поступательные пары с непараллельными осями, находящимися в одной плоскости, и поступательная, ось которой непараллельна этой плоскости.

Объемное движение кисти создает еще один механизм, состоящий из трех вращательных пар. Их оси пересекаются в одной точке. Во всех остальных случаях получаются перемещения по поверхности, а такие структуры непригодны для руки робота.

Структурные схемы кисти приведены на рис. 12.3, б. Чаще всего применяются первые три.

Конструктивные элементы роботов. Приводные устройства предназначены для перемещений захвата. В роботах небольшой грузоподъемности они располагаются в каждом шарнире или на звеньях руки, что обеспечивает высокий коэффициент полезного действия приводов, возможность легко создавать желаемые кинематические схемы и варианты крепления руки к корпусу. В роботах большой грузоподъемности с целью облегчения звеньев руки применяется один моторный блок, размещенный на станции, движения от которого передаются к шарнирам тросовыми, речными или сельсинными передачами.

Наиболее простые промышленные роботы первого поколения оснащаются приводами на основе пневмо- или гидроцилиндра, а также лопастного гидроцилиндра. На основе пневматических приводов обычно изготавливают мелкие роботы грузоподъемностью до 50 Н, а более мощные оснащают компактными гидравлическими приводами, отличающимися высоким быстродействием, малой инерционностью, большим диапазоном регулирования скорости. Исполнительные узлы с гидро- или пневмоприводами перемещаются из одного крайнего положения в другое со скоростью до 1 м/с без про-

межуточных остановок. Величины перемещений задаются упорами. Эти роботы способны брать только неподвижные детали в определенной месте и положении. Движение захвата производится по ломаной, состоящей из ряда прямолинейных отрезков и дуг окружностей. Каждый последующий шаг выполняется после отработки предыдущего, что позволяет роботам загружать приспособления-спутники, станки, прессы, литейные машины, нагревательные печи, переносить детали со станка на станок при обслуживании автоматических линий, производить точечную сварку и некоторые сборочные работы.

Более сложные роботы первого поколения, а также второго и третьего строят на основе электрических приводов. Широкий диапазон регулирования при небольших потерях энергии обеспечивают высокомоментные электродвигатели постоянного тока, включенные в замкнутые приводы с линейными или круговыми кодовыми, а также импульсными преобразователями. В разомкнутых приводах применяются шаговые электрические или электрогидравлические двигатели.

Захваты предназначены для захватывания и удержания объектов, перемещаемых роботами. Захваты — специальные или универсальные элементы роботов. Их конструкция определяется формой детали, которой манипулирует робот, ее свойствами (шероховатостью поверхности, жесткостью и др.), особенностями станка и технологической оснастки. Чтобы компенсировать погрешности взаимного положения детали и захвата, его элементы делают податливыми.

При разработке конструкции захватов необходимо исходить из основных требований к ним: стабильности базирования, надежности зажима, недопустимости повреждения объекта и минимального веса. По принципу действия их можно разделить на механические, магнитные, вакуумные, с эластичными камерами.

В механических захватах (рис. 12.4, *а—в*) губки 1 получают перемещение от пневматического, гидравлического или электромеханического привода 3 через рычажный 2, реечный 4 или клиновой передаточный механизм.

Вакуумные захваты с чашкой-присоской 5 (рис. 12.4, *г*) обычно применяются для манипулирования плоскими деталями с гладкими поверхностями. Роботы с вакуумными насосами сложны по конструкции. Более простые роботы, имеющие вакуумные захваты с эжекторами, работающими от заводской сети (рис. 12.4, *д*). Захваты с электромагнитами (рис. 12.4, *е*) и постоянными магнитами используются при работе с круглыми, фасонными, решетчатыми и другими деталями, изготовленными из намагничивающихся материалов.

Захваты могут нести на себе клещи для точечной сварки, газовую горелку, пистолет для нанесения краски или покрытий и другие устройства для выполнения основных производственных операций.

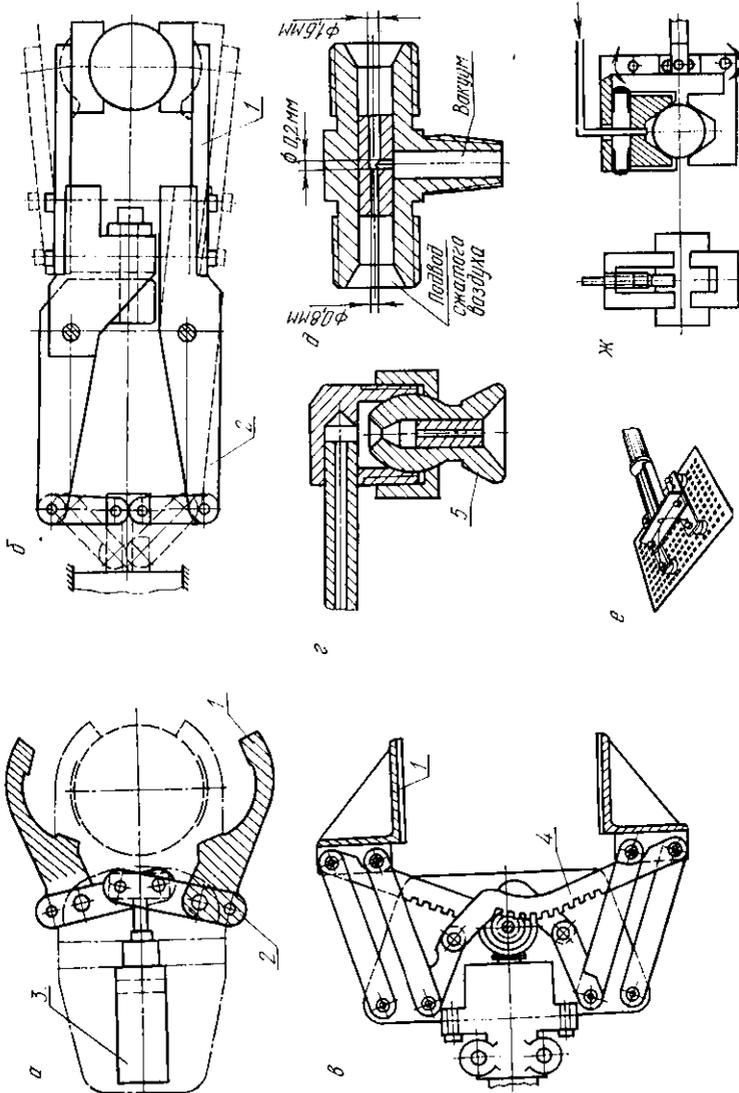


Рис. 12.4. Захваты роботов

Имеются случаи использования захватов для выполнения вспомогательных операций. С этой целью в них встраивают сопла, через которые подается сжатый воздух для очистки станка и детали, оснащают преобразователями системы автоматического определения размеров детали (рис. 12.4, *ж*), приспособлениями для обрезки литниковых систем и т. д. Целесообразно применение сменных губок (рис. 12.4, *б*), присосок, устанавливаемых на унифицированный захват.

Смена захватов обычно производится вручную при переналадке на манипулирование другими объектами. Если робот обслуживает несколько станков, обрабатывающих детали разной конфигурации, смена захватов производится автоматически, например с помощью другого робота.

Системы управления. Здесь кратко рассматриваются особенности цикловых и числовых систем управления роботов первого поколения. Цикл работы роботов с цикловым программным управлением задается штеккерной панелью или барабаном с упорами. Величины линейных и угловых перемещений исполнительных узлов настраиваются упорами. В приводе с пневмоцилиндром жесткий упор гасит кинетическую энергию перемещающегося узла за счет вытеснения жидкости через имеющиеся в нем щели. Роботы с цикловым программным управлением целесообразно применять для выполнения сравнительно простых циклов при небольшом числе точек обхода (до 50—80) и редкой переналадке.

Роботы с позиционными и контурными системами ЧПУ способны выполнять более сложные циклы, а число точек обхода может достигать нескольких тысяч. Программа работы кодируется на перфоленте или магнитной ленте. Созданы роботы с управлением от средних ЭВМ и встроенных мини-ЭВМ. В отличие от станков они в большинстве случаев программируются при ручном управлении в процессе наладки. Программирование состоит в том, что оператор перемещает руку робота по заданной траектории. Робот запоминает траекторию перемещения, координаты позиций, последовательность действий («обучается») и в дальнейшем действует самостоятельно. При таком программировании автоматически учитываются зазоры в приводах исполнительных узлов и податливость их звеньев.

Роботы с ЧПУ целесообразно применять при частой смене операций в условиях мелкосерийного производства. Программируемая траектория захвата соответствует выполняемой работе. Роботы с контурными системами ЧПУ производят перемещение захвата по плавным криволинейным траекториям. Координаты промежуточных точек траектории определяются интерполятором, имеющимся в системе ЧПУ. Такие роботы способны производить дуговую электросварку, окраску распылением. Программа движений может быть записана на магнитной ленте или магнитном диске при выполнении цикла движений в режиме ручного управления.

Роботы с позиционными системами ЧПУ способны перемещать захват по следующим траекториям: все точки находятся в заданной плоскости; при объемном программировании все конечные точки перемещений не выходят за пределы заданного объема; при координатно-точечном программировании захват останавливается в определенные моменты в строго заданных позициях, а от одной позиции к другой перемещается по любому кратчайшему пути.

Классификация и примеры промышленных роботов. Промышленные роботы можно классифицировать следующим образом.

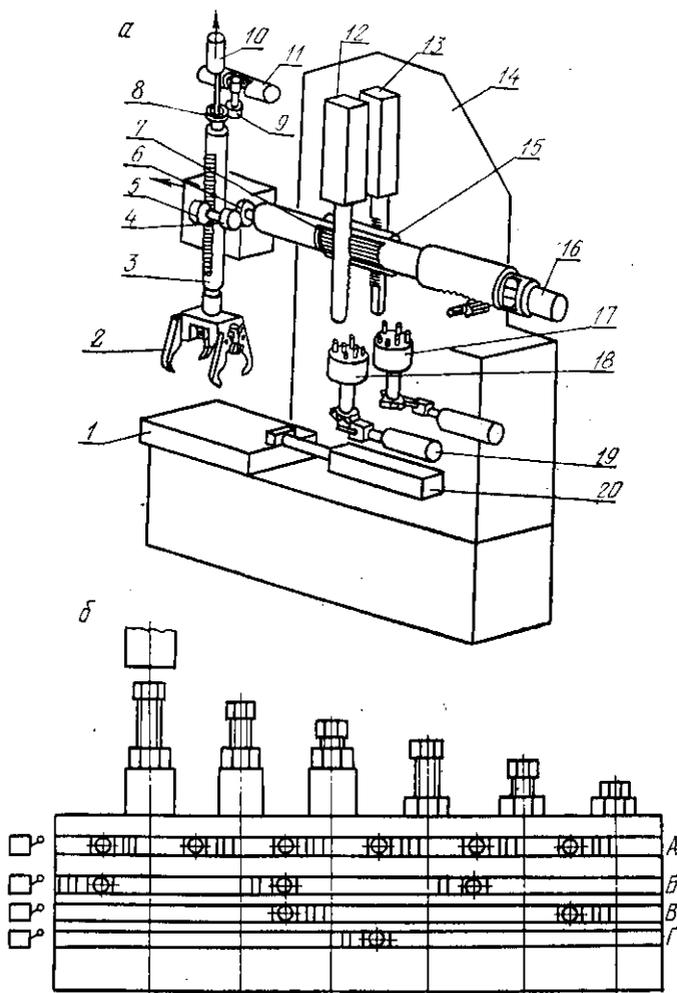


Рис. 12.5. Принципиальная схема промышленного робота РВ-50

1. В зависимости от характера выполняемых операций — на производственные и подъемно-транспортные. Производственные выполняют основные технологические операции: сварку, окраску, сборку, контроль, гибку и т. д. Подъемно-транспортные роботы производят операции типа «взять — положить» и применяются для установки заготовок на станки и снятия обработанных деталей, смены инструментов и оснастки на станках с ЧПУ и т. д.

2. По назначению — на универсальные и специальные. Специальные роботы выпускают для литейного, сварочного, термического, кузнечно-прессового, механообрабатывающего, сборочного производств.

3. По типу приводов движений — на гидравлические, пневматические, электрические и смешанные.

4. В зависимости от возможности передвижения — на напольные и подвесные подвижные, напольные и подвесные неподвижные.

На рис. 12.5 изображена принципиальная схема специального неподвижного робота напольной конструкции модели РВ-50, предназначенного для загрузки — разгрузки станков-полуавтоматов с горизонтальной осью шпинделя, обрабатывающих детали типа тел вращения. Робот (рис. 12.5, а) имеет смонтированную на колонне 14 руку 3 с быстросменным захватом 2. На тактовый столик 1 устанавливается тара с размещенными в определенном порядке заготовками. При обслуживании станка совершаются следующие движения: перемещение руки с захватом вдоль оси Z ; перемещение руки вдоль оси X , параллельной оси центров станка; вращение руки относительно оси X ; вращение пиноли руки относительно оси Z (кантование заготовок). Робот оснащен системой циклового программного управления.

При включении робота шток цилиндра 12 передвигается вниз, с помощью зубчатых колес 7, 6, 4, 5 и реек опускает руку с раскрытым захватом на заготовку, находящуюся в таре. Перемещение руки выключается при воздействии на конечный выключатель одного из упоров барабана 18. Зажим заготовки производится при подаче масла в гидроцилиндр 10.

После этого по команде реле давления цилиндр 12 поднимает руку в крайнее верхнее положение. После срабатывания находящегося там конечного переключателя цилиндром 19 поворачивается барабан упоров 18, а цилиндром 13 через зубчатое колесо 15 рука с зажатой заготовкой поворачивается относительно оси X и переносит заготовку на станок. В конце хода, определяемого барабаном упоров 17, срабатывает гидроцилиндр 12, в результате чего заготовка выносится на линию центров станка. Гидроцилиндром 16 рука перемещается вдоль оси X , и заготовка попадает в патрон. После зажима заготовки захват раскрывается, рука уходит из рабочей зоны. По окончании обработки заготовки цикл работы робота продолжается.

Кантование заготовок производится при повороте руки вокруг оси Z , осуществляемом гидроцилиндром 11 через зубчатые колеса 9 и 8. Гидроцилиндр 20 служит для периодического смещения стола 1 с тарой.

На торцевой поверхности барабана упоров, управляющего поворотом руки (рис. 12.5, б), имеются разновысокие упоры, с помощью которых настраивается величина угла ее поворота. На боковой поверхности установлены четыре ряда упоров: с шестью (ряд А), тремя (ряд Б), двумя (ряд В) и одним упором (ряд Г), работающие при паличии в таре соответствующего количества рядов заготовок.

Специальный подвесной промышленный робот модели ЦРВ-50 (рис. 12.6) предназначен для обслуживания токарных и фрезерных станков. Он оснащен системой числового программного управления и может работать в составе участка станков с управлением от мини-ЭВМ.

Коретка 1 робота перемещается вдоль группы станков по монорельсу с помощью электрогидравлического шагового двигателя 3, зубчатого редуктора 2 и зубчато-реечной передачи. Плечо 10 руки получает вращение относительно оси 9, закрепленной в корпусе 1 коретки, от электрогидравлического шагового двигателя 4 через редуктор 5, винт 8 и гайку 7 шариковой винтовой пары. Локоть 16 руки качается на оси 15, получая движение от электрогидравлического шагового двигателя 13 через редуктор 17 и шариковую винтовую пару 11—12.

Электромагнитные муфты 6 и 14 служат в качестве тормозов. Гидроцилиндры 18 и 19 предназначены соответственно для зажима захвата 20 и его поворота вокруг собственной оси.

В настоящее время наметилась тенденция построения промышленных роботов из унифицированных агрегатных узлов. Это по-

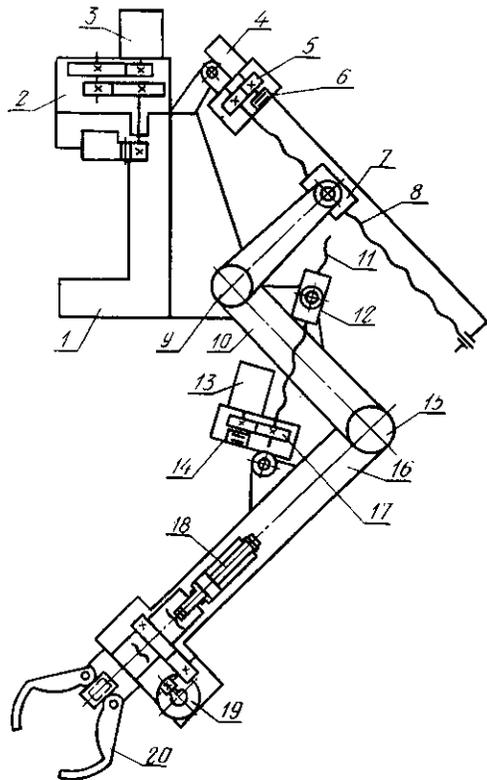


Рис. 12.6. Кинематическая схема робота ЦРВ-50

звояет из определенного набора узлов нескольких размеров компоновать ряд конструкций роботов различного назначения и сложности, а также повышать их надежность при снижении стоимости.

12.2. Автоматизированные технологические ячейки

Автоматизированная технологическая ячейка представляет законченную унифицированную единицу оборудования, в состав которой входят подсистемы формообразования или сборки, манипулирования, накопления и хранения изделий и инструмента, контроля и управления. Автоматизированные технологические ячейки предназначены для автоматической обработки геометрически подобных деталей.

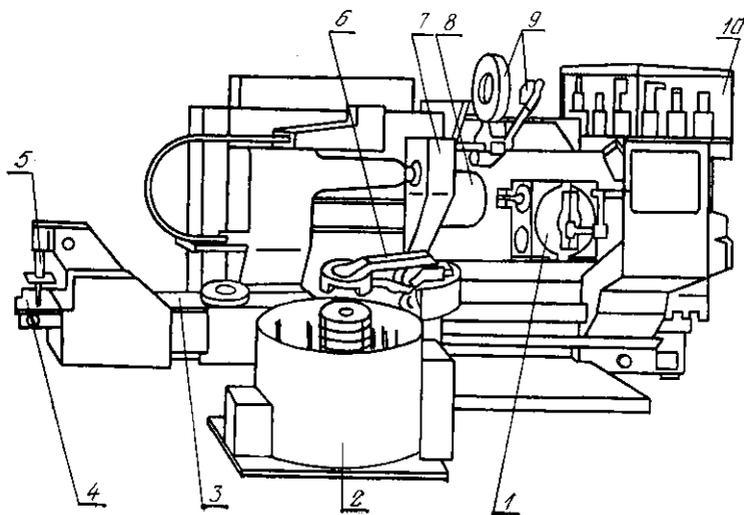


Рис. 12.7. Автоматизированная технологическая ячейка фирмы Okuma Machinery Works

Подсистема формообразования или сборки выполняет одну из следующих операций: обработку резанием, обработку давлением, преобразование свойств материала, нанесение покрытий, сборку и т. д. Она состоит из привода инструмента, привода изделия, кинематических цепей, узла для преобразования энергии и др.

Подсистема манипулирования представляет систему внутреннего транспорта, осуществляет позиционирование и ориентирование обрабатываемых изделий, инструментов, а также измерительных, вспомогательных, зажимных и других устройств. В ней также имеются устройства для складирования и накопления межоперационных задслов.

Подсистема контроля предназначена для измерения размеров обработанных деталей, определения усилия запрессовки, контроля

узлов самой ячейки и т. д. Подсистема управления служит для согласования работы подсистем формообразования, манипулирования и контроля.

Кроме того, в автоматизированной технологической ячейке имеется подсистема для выполнения вспомогательных функций: удаления стружки, нагревания или охлаждения изделий и т. д.

На рис. 12.7 показана автоматизированная технологическая ячейка фирмы Okuma Machinery Works (Япония) для мелкосерийной обработки деталей типа дисков. Ее основными узлами являются носитель изделий 1, зажимной патрон с электроприводом 8, устройство для съема обработанных деталей 9, транспортер обработанных деталей 3, устройство для автоматической смены деталей 7, накопитель деталей 2, загрузочное устройство 6, центрирующее устройство 4, подъемное устройство 5, инструментальный магазин 10.

Наметилась тенденция создания автоматизированных технологических ячеек в составе двух-четырех станков и одного обслуживающего их промышленного робота, который производит межстаночное транспортирование деталей и загрузку их на станки. Ячейки имеют параллельное, линейное или смешанное расположение станков (рис. 12.8, а—в соответственно).

Наконец, возможна компоновка автоматизированных технологических ячеек из модулей, которые представляют комплексы, состоящие из станка и промышленного робота.

Автоматизированные технологические ячейки характеризуются очень высоким уровнем автоматизации. Они могут функционировать автономно (как «островки автоматизации»), независимо друг от друга и от оборудования; могут быть связаны транспортными системами друг с другом и с автоматизированными складами, а также являться структурными единицами сложных автоматизированных систем.

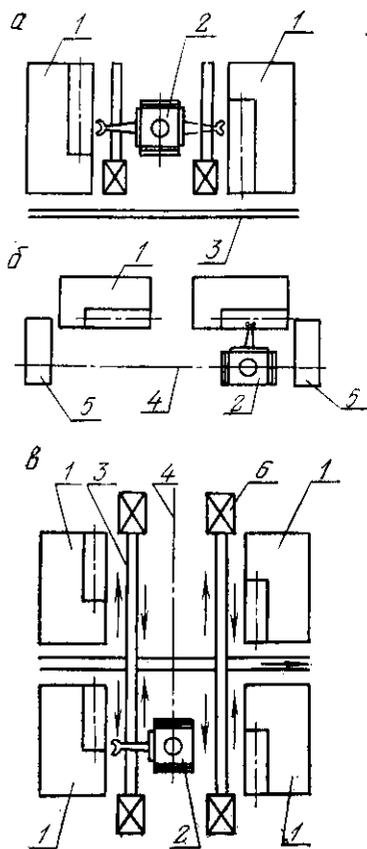


Рис. 12.8. Автоматизированные технологические ячейки на основе промышленного робота:

1 — станок; 2 — робот; 3 — транспортер; 4 — монорельс; 5 — накопитель; 6 — тара с деталями

12.3. Робототехнологические комплексы

Варианты применения промышленных роботов в комплексе со станками. Робототехнологическим комплексом назовем отдельную производственную ячейку, образованную некоторым количеством единиц технологического оборудования (металлорежущих станков, прессов, нагревательных устройств и т. д.) и несколькими промышленными роботами. Организующим звеном в робототехнологическом комплексе является промышленный робот, который может производить манипулирование заготовками, инструментами, оснасткой, а также выполнять вспомогательные функции. Соединение роботов со станками создает качественно новые возможности.

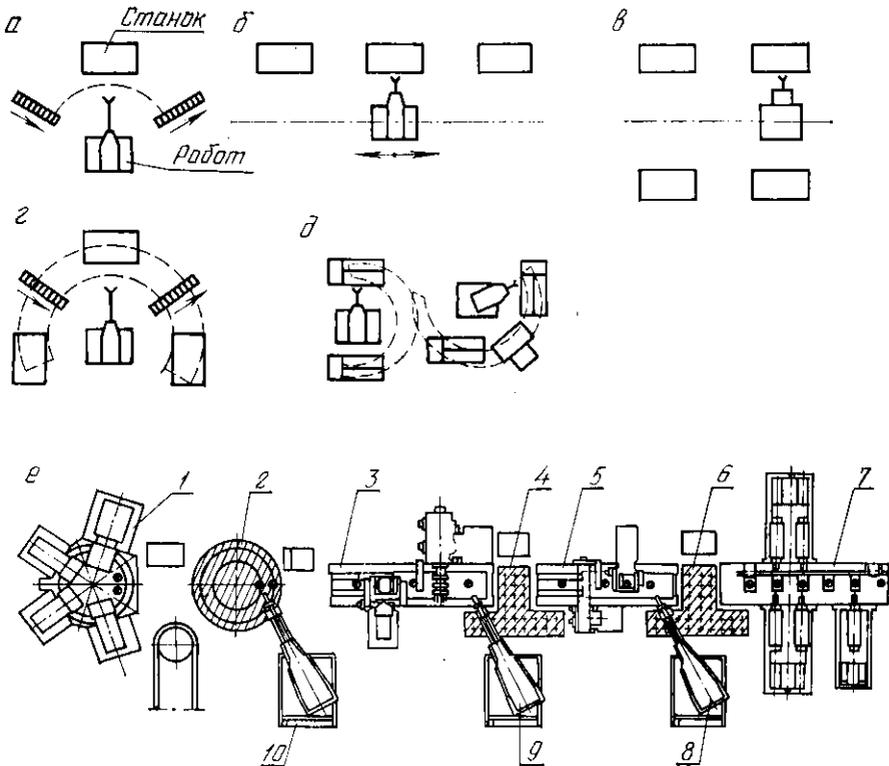


Рис. 12.9. Схемы робототехнологических комплексов

Например, смена роботами инструментов и оснастки позволяет упростить станки с ЧПУ, уменьшить их габариты.

Производственный опыт показывает, что для обслуживания станков следует применять целевые роботы, так как технические возможности универсальных при этом недоиспользуются. Возможен ряд вариантов применения промышленных роботов.

1. Робот обслуживает один станок или единицу другого технологического оборудования, что наиболее часто применяется в массовом и крупносерийном производствах. В этом случае он располагается около станка (рис. 12.9, *a*) или встраивается в него.

2. Робот обслуживает 2—4 станка, осуществляя установку деталей и их транспортирование между станками. Таким образом обеспечивается определенная последовательность обработки. Станки могут быть расположены в линию, линейно-параллельно или по окружности (рис. 12.9, *b*—*г* соответственно). Планировка первого типа целесообразна при использовании подвижного промышленного робота, второго — при маятниковой схеме движения руки, третьего — при применении роботов с поворотом руки вокруг вертикальной оси. В последнем случае обслуживание более трех станков затруднительно.

3. Несколько роботов обслуживают группу станков в количестве, превышающем количество роботов, что позволяет получать ряд вариантов обработки. Например, двумя роботами могут обслуживаться пять станков (рис. 12.9, *д*).

4. Роботы работают в составе автоматизированных технологических ячеек, автоматических линий, автоматизированных производственных участков и других производственных систем, имеющих единую систему управления. В составе автоматизированного производственного участка одним роботом могут обслуживаться один или несколько станков.

На автоматических линиях с гибкими транспортными системами на основе промышленных роботов удастся транспортировать «неудобные» детали без приспособлений-спутников и применять накопители простой формы. С использованием промышленных роботов иногда целесообразно создавать переналаживаемые линии для массового и крупносерийного производства деталей.

Например, на основе роботов скомпонована транспортная система автоматической линии для обработки поворотных кулаков автомобиля (рис. 12.9, *e*). Оператор переносит заготовки с предлиннейного станка 1 в накопитель 2. Затем робот 10 берет заготовку из накопителя и помещает ее в приспособление, находящееся на линейном столе 3. После обработки робот 9 снимает заготовку и переносит ее или в накопитель 4 или на участок 5. Перенос заготовок на участок 7 или в накопитель 6 производится роботом 8.

Требования к обрабатываемым деталям. Большинство деталей, обрабатываемых на станках, имеют простую геометрическую форму. Это диски, втулки, гладкие и ступенчатые валы, плоские и прямоугольные детали (планки, крышки), коробчатые детали (простейшие корпуса). Автоматизация манипулирования с помощью промышленных роботов существенно облегчается, если детали удобны для организации группового производства и имеют: 1) массу в пределах 10—500 кг (загрузка более мелких целесообразна с

помощью вибробункеров или других традиционных средств, а также часто вручную; для загрузки более крупных необходимы специальные средства); 2) удобные поверхности для базирования и захвата; 3) ясные признаки ориентации, благодаря которым их можно транспортировать в ориентированном виде с применением стандартизованной тары. Вопрос о загрузке роботами деталей сложной конфигурации (вилки, рычагов и т. п.) пока еще не решен.

Требования к станкам, работающим в комплексе с промышленными роботами. Применение роботов для автоматизации загрузки деталей станет более успешным, когда станки приспособят к обслуживанию их роботами. С этой целью, в частности, необходимо: 1) предусматривать связь между системами управления робота и станка; 2) автоматизировать поджим заготовки к торцу патрона, а также зажим деталей в патроне, в центрах и т. д.; 3) оснащать токарные станки устройствами остановки шпинделя в определенном угловом положении, что позволит автоматизировать загрузку некруглых и тонкостенных деталей; 4) оснащать станки автоматически открывающимися и закрывающимися щитками ограждения; 5) предусматривать хороший доступ к рабочей зоне сверху или с тыльной стороны станка, что позволит оператору вести удобное и безопасное наблюдение за работой станка и промышленного робота.

Надежная работа робототехнологических комплексов обеспечивается решениями ряда специфических задач. Необходимо гарантировать дробление стружки и отвод ее от станка. Перед установкой заготовок на станок их базовые поверхности должны быть очищены. Правильность установки должна контролироваться специальными устройствами. Необходимо обеспечить безопасную работу персонала, обслуживающего комплекс.

12.4. Автоматизированные производственные участки

Состав технологического оборудования. Автоматизированный производственный участок — это группа технологического оборудования, связанная общими системами транспортирования и управления, предназначенная для изготовления в полном автоматическом цикле разных деталей (в пределах определенной совокупности типоразмеров) без потерь времени на переналадку.

Автоматизированные производственные участки, как и автоматические линии, благодаря последовательной обработке деталей имеют высокую производительность. В то же время, как и многоцелевые станки типа «обрабатывающий центр», они хорошо приспособлены к переналадке на обработку разных деталей. Таким образом, автоматизированные производственные участки предназначены для высокопроизводительной обработки деталей в мелкосерийном производстве. По сравнению со станками с ЧПУ они

имеют более высокий коэффициент загрузки и освобождают оператора от тяжелого физического труда.

Автоматизированные производственные участки компонуют из технологического оборудования следующих типов: 1) отдельных станков с ЧПУ (в том числе многоцелевых), в этом случае возникают сложности при согласовании циклов работы разных станков, а при выходе из строя одного из них иногда приходится останавливать весь участок; 2) автоматизированных технологических ячеек, что позволяет сократить сроки проектирования, изготовления и освоения участков; облегчает их перестройку при изменении изделий; расширяет возможности станкостроительных предприятий по выпуску автоматизированных производственных участков; на рис. 12.10, а—в показаны автоматизированные производственные участки, скомпонованные из технологических ячеек, представленных на рис. 12.8, а—в.

Позиции обработки на участке можно разделить на заменяемые и незаменимые. На заменяемых выполняется несколько различных операций, допускаемых типажом и количеством инструментов в инструментальном магазине. При этом нет необходимости жестко регламентировать последовательность пребывания обрабатываемых деталей на позициях, что способствует повышению надежности и производительности участка. Незаменяемые позиции являются специализированными, и обрабатываемая деталь проходит их в заданной последовательности. В этом случае станки по своим возможностям дополняют друг друга и при выходе одного из них из строя его функции выполняются другими с помощью дополнительных программ, но

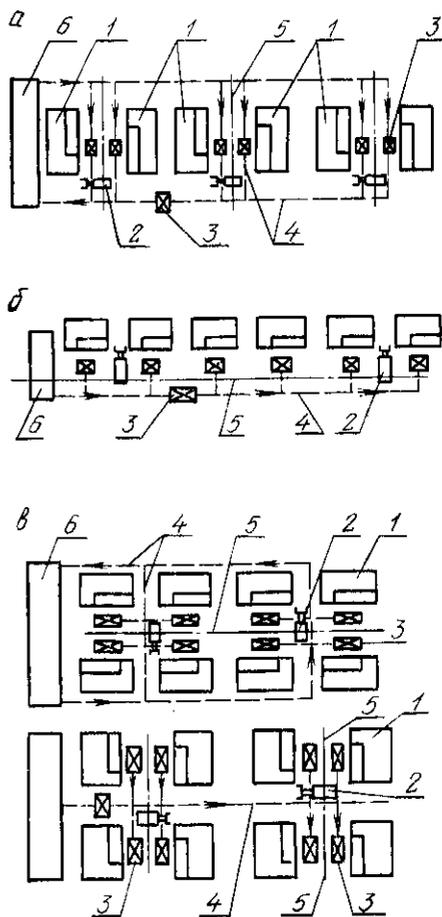


Рис. 12.10. Автоматизированные производственные участки на основе автоматизированных технологических ячеек:

1 — станок; 2 — робот; 3 — тара с деталями; 4 — транспортер; 5 — монорельс; 6 — склад

при этом удлиняется цикл обработки. В этой же ситуации на участке, скомпонованном из заменяемых станков, цикл обработки остается прежним, но несколько увеличивается стоимость участка.

Системы смены обрабатываемых деталей. Эти системы состоят из двух компонентов: системы зажима деталей и транспортной системы.

Система зажима обрабатываемых деталей должна быть универсальной, так как в одних и тех же приспособлениях закрепляются детали разной конфигурации. Возможны два решения базирования и закрепления обрабатываемых деталей на технологическом оборудовании. Первое основано на применении свободно позиционируемой системы крепления, второе — на использовании приспособлений-спутников. Установка заготовок на приспособления-спутники способствует более быстрому базированию и закреплению их на рабочих позициях, а также повышению точности обработки.

Имеются разные способы распознавания деталей. Один из них состоит в том, что на спутнике закрепляется маршрутная магнитная табличка с номером детали, зафиксированным кодом. Номер автоматически считывается с таблички и вводится в ЭВМ, определяющую, через какие станки участка должна пройти обрабатываемая деталь.

Транспортные системы автоматизированного производственного участка имеют линейную или замкнутую компоновку. В линейных компоновках используются одна (рис. 12.11, а—в) или две транспортные линии (рис. 12.11, г) с односторонним движением заготовок (рис. 12.11, а, б) или двусторонним (рис. 12.11, в, г).

Рабочие позиции располагаются на линии транспортирования (рис. 12.11, а, в) или сбоку от нее (рис. 12.11, б). В последнем случае спутники не проносятся через рабочие зоны станков, а проходят вдоль линии. В нужном месте спутник переносится с транспортера на станок. Ответвления, которыми связаны рабочие позиции с главным транспортером, играют роль накопителей. Такая структура обладает хорошей гиб-

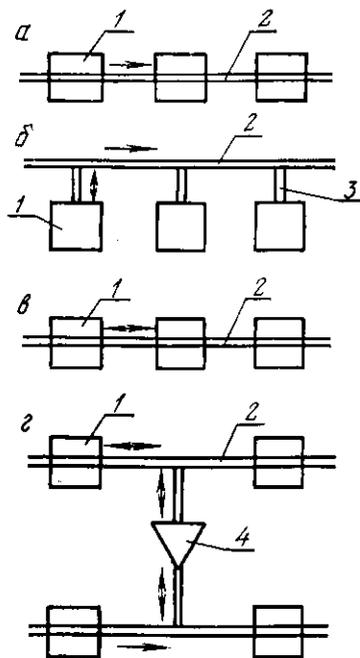


Рис. 12.11. Схемы линейных транспортных систем автоматизированных производственных участков:

1 — рабочая позиция; 2 — транспортер; 3 — ответвления, связывающие рабочие позиции с транспортером; 4 — накопитель

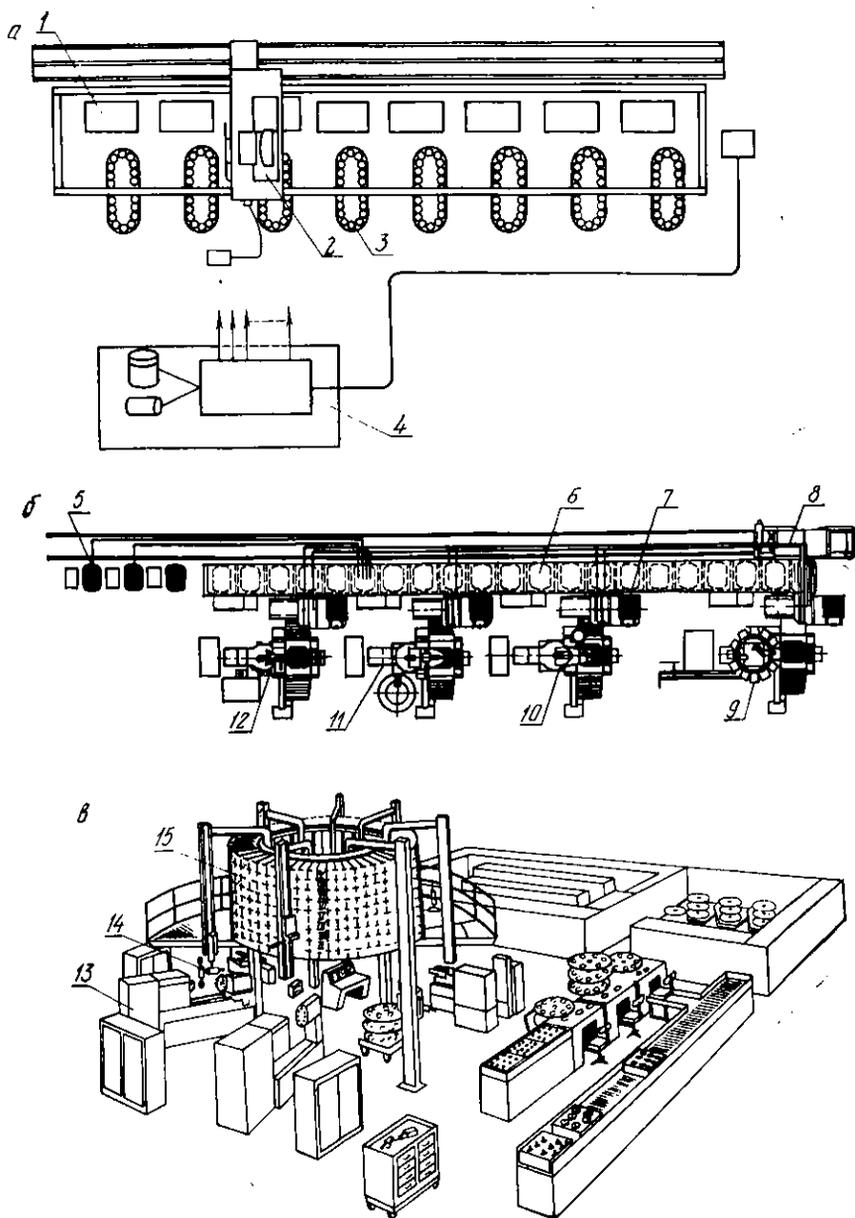


Рис. 12.12. Автоматизированные производственные участки

костью, так как спутник может миновать станки, на которых данная деталь обрабатываться не должна.

Замкнутые транспортные системы имеют вид прямоугольника или окружности, их разгрузочная позиция совпадает с загрузочной, что избавляет от необходимости устанавливать транспортную линию для возврата спутников. Замкнутая компоновка при одностороннем движении деталей позволяет производить обработку на станках в любой последовательности. Например, непрерывно перемещающиеся по кругу спутники могут быть сняты на требуемых позициях. Недостаток замкнутой компоновки транспортной системы — затрудненный доступ к агрегатам, если они расположены внутри зоны, ограниченной транспортом.

В качестве транспортных средств в замкнутых компоновках используются конвейеры замкнутого типа, напольные колесные тележки, приводимые в движение непрерывно движущимися цепями. Вследствие того что одновременно перемещается множество деталей, допускается относительно небольшая скорость их транспортирования.

По способу накопления обрабатываемых деталей транспортные системы делятся на системы без центрального магазина и с центральным магазином. В первом случае между рабочими позициями устанавливаются местные накопители, которыми создается гибкая связь между позициями и транспортной системой. Иногда местные накопители выполняются в виде позиции ожидания, расположенной у станка.

Примеры автоматизированных производственных участков. На автоматизированном производственном участке фирмы Fujitsu Fanuc (рис. 12.12, а) обслуживание восьми станков 1 производится подвесным роботом 2. Обрабатываются детали типа тел вращения. Робот снимает заготовки с расположенных на полу накопителей 3 и подает в рабочие зоны станков. Управляет участком система 4 на основе ЭВМ типа Fanuc T10.

Автоматизированный производственный участок фирмы Heller (рис. 12.12, б) устроен следующим образом. На загрузочно-разгрузочной позиции 5 оператор устанавливает заготовки на приспособления-спутники, которые затем поступают на центральный склад 6. С его стеллажей спутники подаются на позиции смены деталей 7 станков 9—12. Склад обслуживается автоматическим манипулятором 8.

Изготовленный в ГДР автоматизированный производственный участок типа Rota F125NC (рис. 12.12, в) обрабатывает детали типа тел вращения. Заготовки накапливаются в круглом башенном магазине 15, выполненном в виде девяти колец, уложенных друг на друга и вращающихся независимо. В каждом кольце с помощью автоматического манипулятора 14 и других уложена партия заготовок. В строго определенной последовательности через лотки они поступают на станок 13, затем на другой и т. д.

Раздел IV. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНКАХ

ГЛАВА 13. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С УПРАВЛЕНИЕМ КУЛАЧКАМИ

13.1. Проектирование рабочего цикла станка

Программирование обработки на станках состоит из двух этапов: 1) проектирования рабочего цикла; 2) проектирования программносителей. Первый этап включает следующие работы: составление схемы обработки; составление карты настройки; построение циклограммы.

В данном параграфе рассматривается составление схемы обработки и карты настройки для токарно-револьверного автомата модели 1Б136. При составлении схемы обработки учитывают особенности технологии применительно к соответствующему станку. На любом станке-автомате необходимо в первую очередь выполнять черновую обработку, а затем чистовую; производить одновременную обработку несколькими инструментами, установленными на разных суппортах; расстановкой инструментов стараться уравновесить силы резания.

Кроме того, высокопроизводительная обработка деталей из прутка обеспечивается при соблюдении следующих рекомендаций: обработку ступенчатого отверстия начинать с поверхности большего диаметра, а обтачивание ступенчатой детали — с поверхности меньшего диаметра; для предупреждения увода сверл диаметром до 10 мм перед сверлением производить центровку коротким жестким сверлом; для сокращения времени на трудоемкую отрезку увеличивать путь подачи при сквозном сверлении и обтачивании на ширину отрезного реза.

Исходя из рабочего чертежа обрабатываемой детали (рис. 13.1, а) и особенностей технологии, составлены эскизы переходов при обработке (рис. 13.1, б).

При заполнении графы 4 карты настройки (табл. 13.1) длина рабочего хода l_i для i -го перехода определяется с учетом зазоров на безударную работу и перебега инструмента (при отрезке). Подача s_i , скорость резания v_i (и частота вращения шпинделя n_i) выбираются по соответствующим нормативам с учетом того, что некоторые переходы выполняются более чем одним инструментом.

В графе 6 записывается количество оборотов шпинделя при выполнении каждого рабочего перехода

$$n_{pi} = \frac{l_i}{s_i} + \Delta n_i.$$

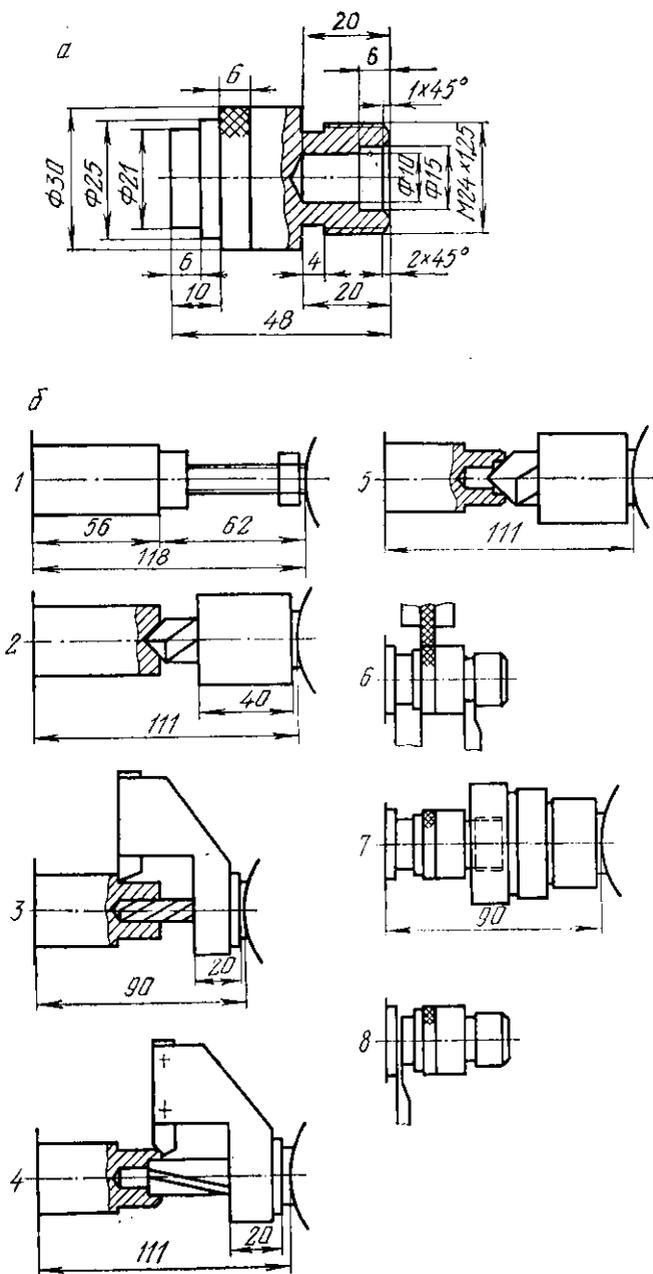


Рис. 13.1. Рабочий чертёж пробки и схема ее обработки

Табл. 13.1. Карта настройки автомата 1Б136

Суппорты	Номер перехода	Наименование перехода	Рабочий ход инструмента, мм	Подача, мм/об.	Обороты шпинделя			Деление кулачка					Радиус кулачка, мм	
					для рабочего хода	для раската	для рабочего хода	сотые доли		от	до	в начале	в конце	
								$C_{\Sigma j}$	$C_{\Sigma i}$					перехода
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Револьверный	1	Подача прутка до упора	—	—	—	—	1,5	—	0	1,5	92	92		
		Переключение револьверной головки	—	—	—	—	3,5	—	1,5	5	92	99		
	2	Центрование	7	0,1	70	35	—	3	6	11	14	99		
	3	Переключение револьверной головки	21	—	—	—	—	—	18	14	32	99		
		Обтачивание до $\varnothing 24$ мм	—	0,2	105	105	—	—	—	—	—	120		
		Сверление отверстия $\varnothing 10$ мм	—	—	—	—	—	—	—	32	35	99		
	4	Переключение револьверной головки	7	0,25	28	28	—	3	4,5	35	39,5	92		
	Зенкерование отверстия $\varnothing 15$ мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	Снятие фаски $2 \times 45^\circ$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
5	Переключение револьверной головки	2	—	—	—	—	3	—	39,5	42,5	99			
	Снятие фаски $1 \times 45^\circ$ в отверстии	—	0,2	10	10	—	—	1,5	42,5	44	101			
	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	—	(3)	—	44	47	—			
7	Нарезание резьбы М24Х1,25	19	1,25	15	38	—	—	6	74,5	80,5	101			
	Переключение частоты и направления вращения шпинделя (перекрывается)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	120			
Передний	6а	Свинчивание пластики	19	1,25	15	15	—	—	2,5	80,5	83	—		
		Переключение револьверной головки	—	—	—	—	(3)	—	30,5	44	74,5	—		
		Протачивание шеек $\varnothing 21$ мм,	5,5	0,03	183	183	—	—	—	—	—	—		
Задний	6б	$\varnothing 25$ мм и канавки шириной 4 мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	8	Накачивание рифлений	1,5	0,12	13	(13)	—	—	(2)	47	49	—		
Верхний		Отрезка детали	11,5	0,15	77	77	—	—	14	83	97	—		
		Отвод отрезного резца	—	—	—	—	—	—	—	97	100	—		
	Итого				491		17	83						

$$t_p = \frac{60n_p}{n_o} = \frac{60 \cdot 491}{315} = 93,5 \text{ с}$$

и время цикла $t_{\text{ц}} = 103,5$ с учетом следующих затрат времени: 1 с — на подачу и зажим прутка, 1 с — на каждый поворот револьверной головки, 3 с — на отвод отрезного резца.

Время цикла делится на 100 частей и распределяется между его элементами. Соответствующее деление кулачка револьверного суппорта производится дугами окружностей 2 (рис. 13.2, а), которые являются траекториями ролика на передаточном рычаге. Их центры расположены на окружности 3, проходящей через его ось.

Так как число сотых на переключение револьверной головки зависит от положения ролика на кулачке, определим радиусы $R_{\text{ки}}$ и $R_{\text{ни}}$, соответствующие концу и началу каждого рабочего хода. Для проектируемой наладки сумма A радиуса кулачка R и соответствующего расстояния L от револьверной головки до торца 1 зажимной цанги есть величина постоянная. В частности $A = R_{\text{max}} + L_{\text{min}}$ (рис. 13.2, а). В нашем случае $R_{\text{max}} = 120$ мм, $L_{\text{min}} = L_3 = 90$ мм. Зная расстояния L_i между револьверной головкой и торцом зажимной цанги в конце каждого рабочего хода, а также соответствующие значения пути подачи l_i , определяем

$$\begin{aligned} R_{\text{ки}} &= A - L_i; \\ R_{\text{ни}} &= R_{\text{ки}} - l_i \end{aligned}$$

и заносим их значения в графы 12 и 13 табл. 13.1.

Исходя из величин времени цикла $t_{\text{ц}}$ и радиусов $R_{\text{ки}}$, на которых находится ролик в конце рабочего хода, рассчитываем число сотых C_{vj} , приходящихся на каждый j -й вспомогательный ход (графа 8 табл. 13.1), а также сумму сотых на выполнение этих непрерываемых ходов:

$$C_v = \sum C_{vj} = 17.$$

Определив сумму сотых на все рабочие движения $C_p = 100 - C_v$ и число оборотов шпинделя n' , приходящееся на одну сотую оборота кулачка $n' = n_p : C_p$, найдем число сотых на каждый рабочий ход $C_{pi} = n_{pi} : n'$ (графа 9).

Таким образом, время цикла, будучи разделенным на 100 частей, распределено между его отдельными элементами.

13.2. Проектирование кулачков

Рабочий профиль кулачка револьверного суппорта состоит из участков рабочей подачи, нарезания резьбы, отвода резьбонарезного инструмента, подвода и отвода суппорта, переключения револьверной головки и др. Участок рабочей подачи между дугами m и n (рис. 13.2, б), как известно, очерчивается по спирали Архимеда с начальным радиусом $R_{\text{ни}}$ и конечным $R_{\text{ки}}$. Для построения отрезка

спирали Архимеда на несколько равных частей делим $l_i = R_{ki} - R_{ni}$ и дугу mn , а через точки деления последней проводим дуги окружностей, являющиеся траекториями оси ролика. Дальнейшее построение отрезка спирали Архимеда поясняется рис. 13.2, б.

Опережающее движение инструмента по отношению к суппорту при нарезании резьбы и отставание при свинчивании получаются благодаря тому, что соответствующие участки кулачка AB и BC занижаются относительно отрезков AB' и $B'C$ спирали Архимеда ($BB' = 1-2$ мм).

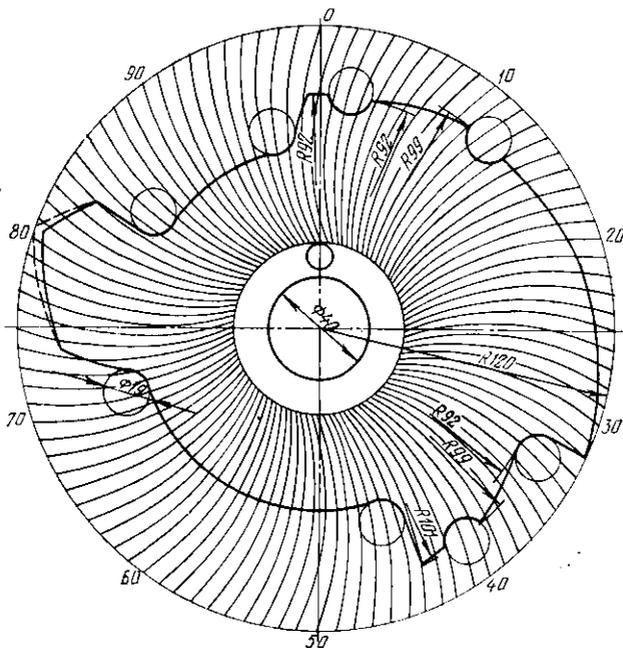


Рис. 13.3. Кулачок револьверного суппорта

Построив по данным табл. 13.1 для каждого рабочего хода отрезок спирали Архимеда (рис. 13.3), с помощью шаблона (рис. 13.2, в) вычерчиваем участки быстрого подвода и отвода суппорта (3 — кривая подвода, 4 — кривая отвода). (Верхняя часть шаблона используется при проектировании кулачка револьверного суппорта, нижняя — при проектировании кулачков поперечных суппортов.) Как уже было отмечено, эти участки образуются дугами параболы, создающими равноускоренное и равнозамедленное движения.

Участок отвода суппорта по окончании предыдущего перехода и участок подвода для следующего перехода сопрягаются дугой окружности, диаметр которой равен диаметру ролика.

14.1. Этапы ручного программирования

Применение станков с числовым программным управлением требует подготовки управляющих программ, которая представляет переработку исходной информации и нанесение на программноноситель информации, необходимой для обработки детали. Исходная информация включает сведения о геометрии обрабатываемой детали и технических требованиях к ней, о режущих инструментах и технологической оснастке, данные о станках с ЧПУ и аппаратуре для подготовки управляющих программ.

К конструкции деталей, отобранных для обработки на станках с ЧПУ, предъявляется ряд специфических требований.

1. Стенки наружных и внутренних фрезеруемых контуров должны быть сопряжены дугами одного и того же радиуса R , причем для обеспечения жесткости инструмента рекомендуется $R > \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{6} \right) H$ (здесь H — наибольшая высота стенок обрабатываемого контура).

2. Стенки должны сопрягаться с полкой дугами одинакового радиуса r , причем $r \neq R$.

3. Диаметры отверстий, размеры резьб, канавок, фасок по возможности должны быть унифицированы.

4. Целесообразно строить детали из простых элементов, используя повторения, отражения, симметрию, повороты. Такое проектирование ведет к значительному упрощению программирования с помощью ЭВМ.

5. Правая и левая детали не должны отличаться размерами поверхностей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Это условие позволяет изготавливать их по одной программе.

6. В чертежи деталей необходимо вносить некоторую специфическую информацию, которая облегчит процесс программирования и при этом уменьшит вероятность появления ошибок. Простановка размеров детали зависит от способа программирования и обработки. При ручном программировании их необходимо наносить от постоянных баз, если система ЧПУ позволяет абсолютное задание координат. Размеры ставят цепочками, если система ЧПУ требует их задания в приращениях.

Ручное программирование характеризуется тем, что технолог вручную или с помощью настольных клавишных машин проектирует технологический процесс обработки детали и производит все расчеты, необходимые для составления управляющей программы. Оно экономически целесообразно при небольшой длине управляю-

щих программ, что имеет место при обработке на станках с ЧПУ простых деталей.

Процесс программирования состоит из следующих этапов: технологической подготовки, геометрического расчета, кодирования информации, нанесения ее на программноситель, контроля программносителя, отладки программы на станке.

Технологическая подготовка отличается от обычной более тщательной проработкой технологии и учетом особенностей станков с ЧПУ: бесступенчатого регулирования подач, возможности одновременного перемещения по нескольким координатам и др. Технологическая информация (частота вращения шпинделя, подача, номер инструмента и др.) задается для каждого перехода. Геометрический расчет дает траекторию инструмента относительно детали в процессе обработки. Решение геометрических задач требует большого объема вычислений. Геометрическая информация — обязательная составная часть управляющей программы. Кодирование заключается в переводе результатов математического расчета в код конкретной системы ЧПУ. Информация фиксируется на программносителе в последовательности, соответствующей технологии обработки детали.

Для записи программы на перфолентах служит устройство подготовки данных на перфоленте (УПДЛ) типа «Брест-1Т», в состав которого входят пишущая машинка «Консул-254», перфоратор ПЛ-80, считывающее устройство и электронный шкаф с пультом управления. Это устройство производит автоматическую пробивку отверстий в пяти- или восьмидорожечных лентах. Одновременно пишущей машинкой печатается контрольный текст в соответствующих строках карты программирования (режим «подготовка данных»). УПДЛ выполняет также размножение перфолент путем считывания информации с готовой ленты и автоматического нанесения ее на новую; при этом с помощью пишущей машинки в новую ленту можно внести команды, отсутствующие на копируемой (режим «распечатка»). УПДЛ типа «Брест-1Т» позволяет производить контроль несколькими способами: автоматически сравнивать готовую перфоленту с информацией, набранной пишущей машинкой при подготовке этой перфоленты (режим «сравнение с клавиатурой»); автоматически сравнивать две перфоленты с одинаковой программой и подавать сигнал о номере дорожек, на которых информация не совпадает.

14.2. Методика подготовки программ для сверлильных станков

Подготовка операционного эскиза. На первом этапе технолог-программист знакомится с чертежом обрабатываемой детали. В результате он выявляет способ задания размеров, требуемую точность

обработки и выделяет те конструктивные элементы детали, которые будут обрабатываться в данной операции.

Затем программист дополняет чертеж детали: наносит начало и оси координат, а также размеры в принятой системе. Направления координатных осей для обрабатываемой детали определяются с учетом ее расположения на столе станка. Начало координат рекомендуется выбирать так, чтобы все подлежащие обработке отверстия имели неотрицательные координаты. Это делает ненужными вычисления перемещений стола.

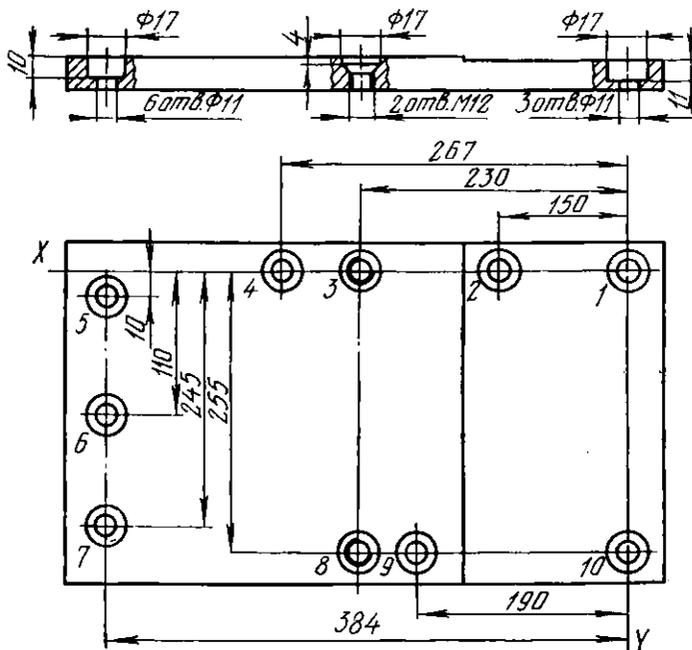


Рис. 14.1. Эскиз детали к примеру программирования обработки на станке 2P135Ф2

Технолог нумерует отверстия в порядке их обработки, составляет маршрут обработки, выбирает режущие инструменты, назначает режимы резания, формирует циклы, заполняет карту программирования.

Проектирование маршрута обработки на вертикально-сверлильном станке 2P135Ф2. Эскиз крышки, которая должна быть обработана на станке 2P135Ф2, представлен на рис. 14.1. Отверстия пронумерованы в порядке выполнения переходов. Нанесена система координат с началом в центре верхнего правого отверстия. В выбранной координатной системе записаны координаты всех отверстий.

Табл. 14.2. Циклы при обработке крышки

Номер шпинделя револьверной головки	Наименование инструмента	Номера циклов					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Сверло $\varnothing 11$	+	+				
2	Зенкер	+					
3	Зенкер		+				
4	Сверло $\varnothing 10,2$			+			
5	Сверло $\varnothing 17$			+			
6	Метчик $M12 \times 1,75$			+			

Маршрут обработки записываем в графах 1—3 карты программирования (табл. 14.1). (В реальной карте программирования имеются еще графы для необходимой сопроводительной информации.) Для выполнения всех переходов требуется пять различных инструментов (см. графу 4), их можно разместить в шестипозиционной револьверной головке станка. Если бы потребовалось более шести инструментов, их следовало бы разделить на группы, в каждой из которых не более шести инструментов. К одной группе можно отнести инструменты для выполнения черновой обработки, к другой — для получистовых работ. Используются и другие принципы группирования. Например, в одну группу сводятся инструменты, предназначенные для полной обработки какой-либо совокупности отверстий.

Каждое отверстие может быть обработано от одного до шести различными инструментами, которые находятся в револьверной головке не обязательно рядом. Последовательность участия шпинделей револьверной головки в обработке отверстий одного типоразмера называется циклом. Технолог формирует циклы из имеющегося набора инструментов, причем из шести инструментов для станка 2Р135Ф2 может быть сформировано не более шести различных циклов. Инструменты так размещаются в шпинделях револьверной головки, чтобы они участвовали в цикле в порядке возрастания номеров 1, 2, 3, 4, 5, 6. Так, возможны циклы 1—2, 1—3—5, 2—4—5, а 2—1, 1—5—4 не осуществимы.

Сформированные циклы для нашей наладки зафиксированы в табл. 14.2. На позициях 2 и 3 использованы два одинаковых зенкера, так как эти позиции различаются длинами ходов. Цикл I обозначается С1, цикл II — С2 и т. д. Их номера заносятся в графы 27 и 28 карты программирования и не зависят от порядка, в котором должны выполняться на станке. В графах 29 и 30 для каждого перехода записываются частота вращения шпинделя и минутная подача.

Программировании перемещений по координатам X и Y на станке 2Р135Ф2. Заготовка, находящаяся на крестовом столе, перемещается по осям X и Y , благодаря чему набираются координаты обрабатываемых отверстий. Перемещениями стола управляет пульт

ЧПУ «Координата С-68». Программа на перемещения вводится перфоленой или декадными переключателями.

Перемещения крестового стола фиксируются на перфоленте в коде БЦК-5. Обработке одного отверстия соответствует один кадр программы, который начинается адресом *N*. Затем (в графе 8) буквой *E* обозначается адрес перемещения по координате *X*, а в графах 9—13 фиксируется величина перемещения по *X*, задаваемая от принятого начала координат. Она совпадает с координатой *X* обрабатываемого отверстия. В графах 9—11 фиксируются соответственно сотни, десятки и единицы миллиметров, а в 12 и 13 — десятые и сотые доли. Например, перемещению 53,75 мм соответствует 05375.

В графе 14 кодируется направление перемещения. При этом цифрой 0 обозначается перемещение в положительном направлении, т. е. в сторону увеличения координаты, а цифрой 1 — в отрицательном направлении.

В графе 15 записывается контрольное число, полученное при контроле по модулю 9 информации, содержащейся в графах 9—12. Такой контроль необходим для того, чтобы в процессе воспроизведения программы система ЧПУ имела возможность автоматически обнаруживать ложные сигналы, которые появляются из-за дефектов перфоленты (местных разрывов, замазливания, загрязнения, неоднородностей основы), а также вследствие неисправностейчитающего устройства и лентопротяжного механизма.

Имеется несколько разновидностей контроля по модулю. Одна из них состоит в том, что в процессе заполнения карты программирования технолог складывает числа a_i и значения букв b_j , относящихся к контролируемому кадру. Полученную величину $\sum a_i + \sum b_j$, он делит на некоторое натуральное число m , называемое модулем, и получает остаток q . Разность $\Delta = m - q$ называют контрольным числом. Контрольные числа, найденные для каждого кадра, заносят в карту программирования. Алгоритм контроля по модулю имеет вид

$$\sum a_i + \sum b_j + \Delta \equiv 0 \pmod{m}.$$

Эта запись означает, что сумма, стоящая в левой части выражения, делится на модуль m без остатка.

Рис. 14.2. Штеккерная панель станка модели 2P135Ф2:

1 — индикаторная лампа номера рабочей позиции револьверной головки; 2 — регулятор времени выдержки при цековании; 3 — переключатель направления вращения шпинделя при резьбонарезании; 4 — панель цифровой индикации положения револьверной головки и размера, который задан по программе; 5 — тумблер, включающий индикацию программы и/или положения револьверной головки; 6 — тумблер, отключающий датчик револьверной головки; 7 — гнезда для хранения штеккеров; 8 — штеккерное поле для задания подачи револьверной головки; 9 — штеккерное поле для задания частоты вращения шпинделя; 10 — штеккерное поле для задания режима цекования и резьбонарезания; 11 — штеккерная панель для задания циклов работы шпинделя; 12 — штеккерное поле для настройки величины быстрого подвода и рабочего хода револьверной головки

При появлении на перфоленте разрывов, масляных пятен (т. е. при прохождении света не только через пробитые отверстия), при загрязнении фотодиодов, неисправностях лентопротяжного механизма для соответствующего кадра записанное выше соотношение не выполняется. Это обнаруживает система ЧПУ после прочтения кадра. По ее команде выполнение программы прерывается.

При программировании в коде ISO-7 bit ложные сигналы обнаруживаются при контроле информации на четность.

В графе 16 буквой D задается адрес перемещения по координате Y, а в последующих 17—23 величина и направление перемещения по этой координате, а также соответствующее контрольное число. Эта информация кодируется точно так же, как и для координаты X.

В графах 24—26 задаются порядковые номера кадров: K01, K02, ..., K15, ..., а в графах 27 и 28 — номера циклов: C1, C2, ..., C6.

Когда одна из координат последующего отверстия совпадает с соответствующей координатой предыдущего, для последующего она не программируется.

Записав последний кадр программы, ставим букву H. При ее отсутствии последний кадр не будет обработан системой ЧПУ. Этой букве присваивается номер очередного кадра. Последней в программе является буква B, обозначающая ее конец.

Программирование работы револьверной головки на станке 2P135Ф2. Вертикальные перемещения револьверной головки и другие элементы ее цикла задаются на штеккерной панели (рис. 14.2). Цифрами 1, 2, ..., 6, находящимися на левой стороне, отмечены номера шпинделей револьверной головки, а соответствующие одна или две строки гнезд служат для задания работы шпинделя с данным номером. Закрашенное гнездо — гнездо со вставленным в него штеккером. Легко убедиться, что на панели набраны циклы, величины частоты вращения шпинделей и подачи, записанные в табл. 14.1.

Величины вертикальных перемещений револьверной головки задаются для каждой ее позиции в двух строках штеккерной панели. Настройка на размер производится в следующем порядке. Наладчик устанавливает на столе приспособление и закрепляет в нем обрабатываемую деталь. Затем, управляя с подвесного пульта, он подводит невращающийся инструмент к детали и замечает размер на панели цифровой индикации. Из этого размера вычитается несколько миллиметров, необходимых для создания зазора, который предотвращает удар инструмента о заготовку при ускоренном подводе. Полученный размер округляется до целых миллиметров и набирается на верхней строке, соответствующей инструменту, для которого настраивается величина быстрого подвода. На нижней строке набирается размер, который получается, если к только что отложенному на верхней строке прибавить величину рабочего хода этого инструмента. Таким образом, каждая верхняя из двоек

строк задает величину быстрого подвода инструмента, а нижняя — величину рабочего хода.

Например, на панели, изображенной на рис. 14.2, для находящегося в шпинделе 1 сверла $\varnothing 11$ заданы размеры: в верхней строке 351 мм, а в нижней 368,4 мм.

Кодирование информации. Информация о перемещениях координатного стола, номерах кадров и циклов переносится на перфоленту. При этом в одном кадре фиксируются положение крестового стола и номер соответствующего цикла.

14.3. Методика подготовки программ для фрезерных станков

Типы обрабатываемых деталей. Все детали, обрабатываемые на фрезерных станках с ЧПУ, можно разделить на плоские, разновысокие и объемные. Плоские характеризуются тем, что для их обработки требуется перемещение стола с установленной заготовкой только в одной плоскости. У разновысоких деталей обрабатываемые контуры располагаются в нескольких параллельных плоскостях, переход фрезы от контура к контуру производится по оси Z . Для обработки объемных деталей требуются перемещения стола по двум координатам и фрезы по оси Z .

Обработка плоских и разновысоких деталей. Фрезерная обработка может быть представлена как совокупность обработок элементарных поверхностей: наружного контура 3 (рис. 14.3), плоскости 2, колодца 1 и кармана 4. Для построения траектории инструмента на чертеж обрабатываемой детали наносим систему координат XOY . Ее оси должны быть параллельны осям координат станка, а направления задаются согласно паспорту станка. Начало координат выбирается из соображения более удобного расчета тра-

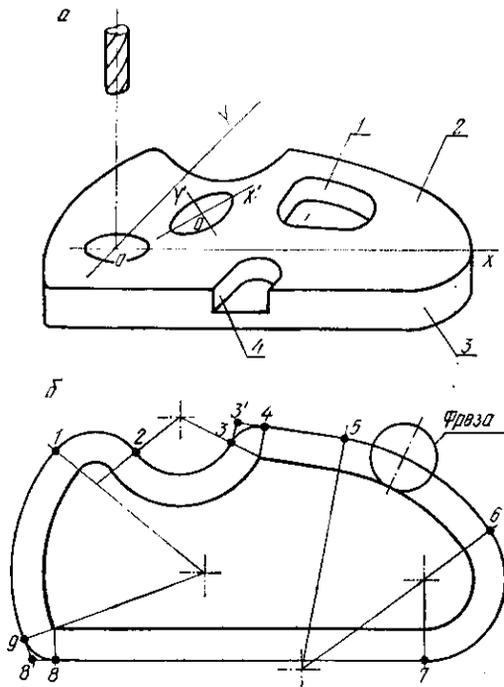


Рис. 14.3. Схема обработки детали на фрезерном станке:

a — элементы детали; b — эквидистанта оси фрезы

а — элементы детали; б — эквидистанта оси фрезы

ектории. Например, его следует совмещать с центром круглых деталей или располагать на оси симметрии детали, параллельной одной из осей координат системы XOY .

Система XOY определяет положение детали в целом и называется *основной*. Отдельные элементы детали могут быть заданы в так называемых *местных системах координат*. Например, расчет траектории инструмента при обработке колодца в виде эллипса удобнее выполнять с использованием системы координат $X'O'Y'$ (рис. 14.3, а). Связь основных и местных координат осуществляется с помощью формул аналитической геометрии.

Выбираем положение исходной (нулевой) точки, в которой должен находиться фреза (точнее — точка оси фрезы, лежащая на ее торце) в начале движения по траектории. Выбирается она в таком месте, чтобы в исходном положении фреза не мешала установке и снятию детали, удалению стружки, перестановке прихватов. Кроме того, величины перемещения инструмента из исходной точки в зону обработки должны быть небольшими. Удобно совмещать исходную точку с центром имеющегося в детали обработанного отверстия.

Траектория перемещения фрезы состоит из участков подхода инструмента к заготовке, врезания, рабочих перемещений в зоне элементарных поверхностей (колодца, кармана и т. д.), выхода инструмента из зоны обработки, перемещения его из одной зоны обработки в другую, а затем в исходную точку. В цикле обработки могут быть запланированы технологические остановки, во время которых рабочий контролирует размеры детали, сменяет инструмент, переставляет прихваты. Останов необходимо производить в том положении, при котором не происходит резания.

Если обрабатываемый контур не замкнут, точки начала и конца рабочего участка траектории легко определяются по чертежу детали. При замкнутом контуре обработка может начинаться и заканчиваться в любой его точке. Однако с целью предотвращения дополнительных погрешностей детали рекомендуется начинать обход контура в точке, которая является началом какой-либо дуги (лучше наибольшего радиуса и наибольшей длины) или линейного отрезка (желательно параллельного одной из осей координат).

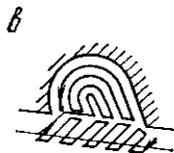
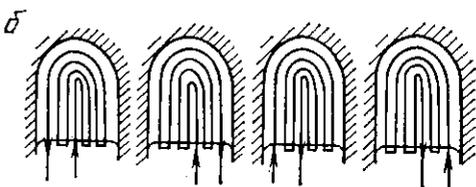
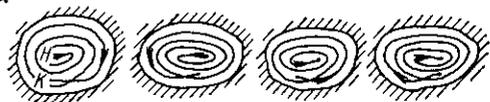
Контур обрабатываемой детали образуется дугами и отрезками, которые сопрягаются или соединяются (не сопрягаются) друг с другом (рис. 14.3, б). При переходе фрезой точки соединения ее ось перемещается по дуге, радиус которой равен радиусу фрезы (участки 3—4 и 8—9 на рис. 14.3, б). Во всех остальных случаях участки траектории оси фрезы эквидистантны соответствующим участкам контура детали.

Инструмент подходит к детали на ускоренном ходу. Участок подхода должен быть прямолинейным отрезком, являющимся или продолжением линейного отрезка эквидистанты или касательной какой-либо ее дуги. Ускоренный подход фрезы заканчивается за

5—10 мм до встречи с контуром детали, затем на рабочей подаче она подходит к контуру и плавно врезается в заготовку. В случае обработки внутреннего замкнутого контура врезание осуществляется с помощью вертикальной подачи.

Установились определенные формы траектории фрезы при образовании «колодцев» и «карманов». При обработке «колодцев» целесообразно использовать спираль типа Архимедовой с проходами, эквидистантными контуру выступов (рис. 14.4, а). Применяются спирали левая и правая с началом движения фрезы как в их полюсе, так и у периферии. а

Они позволяют снимать металл равномерно, сохраняют способ фрезерования (встречное или попутное) и во многих случаях требуют минимального числа кадров программы. Однако спираль типа Архимедовой может быть применена при обработке только односвязных плоскостей, ограниченных выступами выпуклой или слабовогнутой формы.



При обработке «карманов» фрезе сообщают движение по ленточной спирали с проходами, эквидистантными выступам (рис. 14.4, б). Она имеет те же разновидности и свойства, что и спираль типа Архимедовой. Однако ленточная характеризуется изменением способа фрезерования при каждом новом проходе.

Рис. 14.4. Типы траекторий фрезы

Ленточная спираль типа «строка» с проходами, неэквидистантными выступам, применяется при обработке как односвязных, так и многосвязных поверхностей. Эта траектория целесообразна, если обеспечивается минимум кадров для линейного интерполятора при обработке многосвязной фигуры.

Часто бывает необходимо комбинировать траекторию фрезы из описанных выше нормализованных траекторий (рис. 14.4, в).

Пример программирования обработки на вертикально-фрезерном станке 6Р13Ф3 с системой ЧПУ НЗЗ-1М. Программа обработки записывается фразами переменной длины с помощью символов кода ISO-7 bit. Максимальная фраза содержит следующую информацию: номер кадра N; режим работы системы ЧПУ G; перемещение по координатам X и Y; перемещение по координате Z или задание круговой интерполяции в одной из плоскостей; вспомогательную функцию M; скорость подачи F; признак коррекции L; конец кад-

ра LF. Слово в кадре повторять нельзя, любое слово может быть пропущено, если в нем нет необходимости.

Геометрическая информация задается в приращениях. При программировании каждого участка интерполяции используется местная правая прямоугольная система координат. При этом для дуги окружности начало координат совмещается с ее центром, а для линейного отрезка — с его начальной точкой.

Возможно одновременное перемещение инструмента по одной, двум (в любых комбинациях) и трем координатам. Перемещение по координате задается соответствующим адресом X, Y, Z, знаком

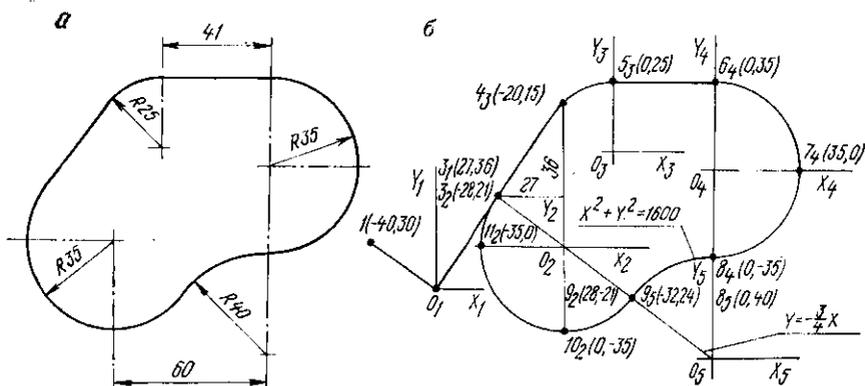


Рис. 14.5. Эскиз кулачка (а) и расчетная схема его обработки (б)

направления движения («плюс» или «минус») и шестью цифрами, выражающими число дискрет в приращении координаты (по всем координатам дискрета равна 0,01 мм). Линейная интерполяция указывается кодом G01.

Так как в кадре может быть запрограммирована дуга окружности, находящаяся только в одном квадранте, то дугу, выходящую за его пределы, необходимо разбить на несколько участков. При круговой интерполяции задаются: плоскость обработки; направление кругового движения (G02 — по часовой стрелке, G03 — против нее); координаты начальной точки дуги относительно ее центра (со знаком «плюс»), кодируемые адресами I, J, K (нулевая начальная координата не указывается); приращения координат конечной точки дуги.

Скорость подачи кодируется адресом F и четырьмя цифрами после него, например F 0675. Первой цифрой 0 задается нормальный режим изменения подачи, а цифрой 4 — торможение в конце отработки кадра. Последующими тремя цифрами определяется величина подачи, которая равна числу сотых, заданных последними двумя цифрами, умноженному на 10 в степени, которая на 3 меньше второй цифры.

Величина коррекции траектории инструмента до $\pm 99,99$ мм набирается на 18 переключателях (корректорах). Коррекция вызывается с перфоленты словом, состоящим из адреса L и трех цифр. Второй и третьей цифрами кодируется номер переключателя коррекции, а первой — ее вид. При этом 0 используется при подходе к внешнему эквидистантному контуру или его коррекции, 1 — при коррекции по оси X, 2 — по Y, 3 — по X и Y, 4 — по Z, 5 — по X и Z, 6 — по Y и Z, 7 — по X, Y и Z, 8 — при подходе к внутреннему эквидистантному контуру или его коррекции. Подход к внешнему контуру отличается от подхода к внутреннему тем, что в первом случае при увеличении диаметра фрезы ее перемещение необходимо увеличить, во втором — уменьшить.

Рассмотрим пример фрезерования по контуру детали типа кулачка (рис. 14.5, а). Программируется траектория, соответствующая контуру реальной детали, а величина радиуса инструмента набирается на переключателе коррекции (в нашем случае с номером 11). Исходной является точка I (рис. 14.5, б). Координаты ряда опорных точек определены методами аналитической геометрии.

Программа обработки кулачка

%	Начало программы
N001G17	Задание плоскости интерполяции XY
N002G01X+004000Y-003000F 0630L811LF	Перемещение из точки I в точку O_1 (выход к внутреннему эквидистантному контуру) со скоростью подачи 300 мм/мин
N003X+002800Y+003600LF	Перемещение из точки O_1 в точку Z_1 с той же подачей
N004X+002700Y+003600 F0580LF	Перемещение из точки Z_2 в точку Z_3 с подачей 80 мм/мин
N005G02I+002000J+ +001500X+	Круговая интерполяция по часовой стрелке дуги Z_3-5_3 с коррекцией этого внешнего контура
+002000Y+001000L011LF	Перемещение по оси X из точки 5_3 в точку 6_4
N006G01X+004100LF	Круговая интерполяция дуги 6_4-7_4
N007G02J+003500X+ +003500Y-003500L011LF	Интерполяция дуги 7_4-8_4
N008I+003500X-003500Y- -003500L011LF	Круговая интерполяция против часовой стрелки дуги 8_5-9_5 с коррекцией этого внутреннего контура
N009G03J+004000X- -003200Y-001600L811LF	Интерполяция дуги 9_2-10_2
N010G02I+002800J- -002100X-002800Y-001400 L011LF	

N011J+003500X-003500Y+ +003500L011LF	Интерполяция дуги 10_2-11_2
N012I+003500X+000700Y+ +002100L011LF	Интерполяция дуги 11_2-3_2
N013G50X-002700Y-003600LF	Перемещение из точки 3_1 в точку 0_1 с отменой коррекции при работе на эквидистантном контуре
N014X-004000Y+003000 L811LF	Перемещение из точки 0_1 в точку 1
N015F0630 FE ₀	Конец программы

ГЛАВА 15. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

15.1. Этапы автоматизированного программирования

Ручное программирование, рассмотренное в предыдущей главе, отличается большими затратами труда, особенно в случае контурной обработки, когда объем арифметических расчетов может стать огромным. Кроме того, при ручном программировании возможны ошибки. Поэтому приходится тратить время на контроль управляющей программы, включающий пробную проверку на самом станке. Несмотря на это при составлении коротких программ ручное программирование экономически эффективно.

Большое значение приобретает программирование с использованием ЭВМ. При полуавтоматическом программировании вычислительная машина производит только геометрические расчеты, а на долю технолога остаются разработка маршрутной технологии и операционного технологического процесса, выбор режущих инструментов, расчет режимов резания, проектирование траектории движения инструментов, т. е. принятие всех технологических решений.

При автоматическом программировании ЭВМ решает все геометрические и технологические задачи. В нее вводится информация, которую можно разделить на две группы. К первой относятся данные, повторяющиеся при обработке разных деталей: об обрабатываемых материалах, станках, инструментах, системах ЧПУ. Эти данные поступают в ЭВМ один раз и используются многократно и автоматически. Вторая группа включает индивидуальную информацию для каждой обрабатываемой детали. Например, при обработке на станках сверлично-расточной группы для каждой детали должны быть заданы: 1) общие и сопроводительные данные; 2) данные о геометрическом расположении отверстий на плоскости обработки; 3) размеры, формы и качество обрабатываемых отверстий (диаметр, форма дна глухого отверстия, класс шероховатости отверстия и торца, точность положения оси, размеры цековок, канавок и т. д.); 4) подробная технология обработки некоторых отверстий в тех случаях, когда технологический процесс, автоматически назначенный в соответствии с данными предыдущего пункта, по каким-либо причинам не удовлетворяет технолога.

Чтобы облегчить процесс кодирования и обработки информации второй группы, созданы системы автоматизации программирования (САП). Каждая такая система состоит из языка программирования (ввода исходных данных) и комплекса вычислительных программ. Символами языка технолог-программист записывает исходные данные и необходимые алгоритмы (поэтому язык автоматического программирования называется символическим или алгоритмическим), которые затем наносятся на перфоленгу или перфокарты и с их помощью вводятся в ЭВМ.

Многие системы автоматизированного программирования имеют язык программирования в виде набора специальных таблиц, в которые заносятся параметры или коды, и правил их заполнения. Табличное задание исходных данных отличается простотой, краткостью и наглядностью, так как смысл информации определяется местом, занимаемым ею в таблице. Из-за ограниченности формата таблицы пригодны для задания обработки конструктивно похожих деталей: только ступенчатых валов, только плоских деталей с фасонными пазами, только совокупностей отверстий в корпусных деталях.

По другому принципу построены так называемые текстовые языки без определенной формы записи исходных данных, или, иначе, со свободным форматом записи. В этом случае отсутствуют таблицы для записи исходных данных, но каждая фраза строится по вполне определенным правилам. Частично регламентирована последовательность фраз.

Программа, записанная на символическом языке САП, переводится в ЭВМ на машинный язык с помощью специальной программы — транслятора. Автоматическое программирование с помощью ЭВМ можно разделить на два этапа: процессор и постпроцессор.

Процессор есть часть вычислительной программы, которая обеспечивает переработку данных чертежа. Полученная в результате процессора информация еще не учитывает специальных требований управления станком. Например, при автоматической подготовке управляющих программ для станков сверлильно-расточной группы процессор решает следующие задачи: расчет координат X и Y осей отверстий; выбор технологических переходов для обработки отдельных отверстий; подбор режущих инструментов; определение последовательности обхода отверстий; расчет режимов резания; расчет перемещений по оси Z ; формирование единого цикла обработки.

Постпроцессор согласует выходную информацию процессора с технологическими возможностями конкретного станка и системы ЧПУ. Он устанавливает, можно ли на данном станке выполнить ту или иную операцию, корректирует режимы резания в соответствии с паспортными данными станка, учитывает исходную точку, расположение осей станка, систему отсчета размеров (абсо-

лютная или в приращениях). В результате постпроцессор кодирует информацию на языке конкретной системы ЧПУ, выдает перфоленту, предназначенную для управления станком, а также бланк сопроводительной информации. Постпроцессор подразделяется на две части. Первая из них пригодна для группы станков с однородным управлением. Вторая часть, специальная, учитывает особенности отдельных станков этой группы.

15.2. Система автоматизированного программирования САПП для фрезерных станков

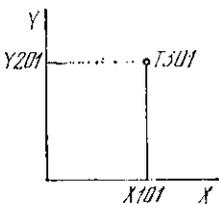
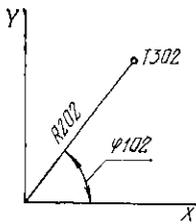
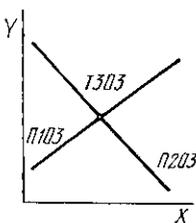
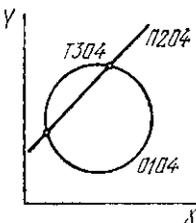
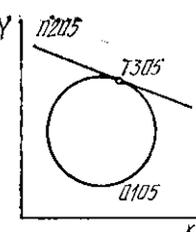
Система автоматизированного программирования САПП позволяет выполнять подготовку управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ. Она ориентирована на ЭВМ «Минск-32» или БЭСМ-4. Система дает возможность программировать перемещение фрезы по любой прямой в пространстве; по окружности, лежащей в горизонтальной плоскости; по цилиндрической винтовой линии с вертикальной осью. Она позволяет вводить коррекцию радиуса фрезы.

Исходные данные об обрабатываемой поверхности берутся из чертежа детали. Необходимая для изготовления детали информация состоит из трех групп: геометрической, числовой и технологической. Она задается в виде таблиц.

Геометрическая информация определяет положение элементов траектории центра фрезы, т. е. точек, прямых и дуг окружностей. Точка обозначается символом T , прямая — P , окружность — O , радиус — R , угол — ϕ . Геометрическая информация используется при расчете с помощью ЭВМ координат опорных точек на траектории центра фрезы. Подпрограммы, имеющиеся в САПП, позволяют задавать положение точки на плоскости одиннадцатью способами, представленными в табл. 15.1. Точка определяется с помощью двух заданных элементов, т. е. определенных ранее или записанных в таблице числовой информации. Чтобы избежать неоднозначности решения, которое могло бы появиться в ряде случаев, в графы 3 и 4 заносится дополнительная информация. Символ X/Y обозначает X или Y (эти замечания касаются также способов задания прямых и окружностей). Прямая может быть определена семью способами (табл. 15.2), а окружность — одиннадцатью (табл. 15.3).

Числовая информация — это совокупность чисел, характеризующих траекторию центра фрезы и технологический процесс обработки детали. Числа определяют координаты точек, радиусы окружностей, длины отрезков, величины углов, радиус фрезы, скорости подач, цену импульса в приводах станка, значения времени. Длины измеряются в миллиметрах, время — в секундах, скорости в мм/мин, величины углов в градусах, минутах, секундах. Строки таблицы числовой информации имеют десятичную нумера-

Табл. 15.1. Способы определения точки в САПП

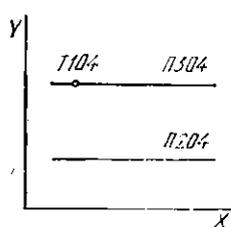
Рисунок	Определяемая точка	±	X или Y	Заданные элементы		Пояснения
				элемент 1	элемент 2	
1	2	3	4	5	6	7
	T 301		X или Y	X 101 Y 201		Точка Т 301 задается декартовыми координатами X 101 и Y 201
	T 302			φ 102 R 202		Точка Т 302 задается полярными координатами φ 102 и R 202
	T 303			Π 103 Π 203		Точка Т 303 определяется пересечением прямых Π 103 и Π 203
	T 304	±	X/Y	O 104 Π 204		Точка Т 304 определяется пересечением окружностью O 104 и прямой Π 204. Из двух возможных точек определяемая имеет большее или меньшее значение X или Y, что указывается как ± X/Y соответственно
	T 305			O 105 Π 205		Точка Т 305 определяется как точка касания окружности O 105 и прямой Π 205

Продолжение

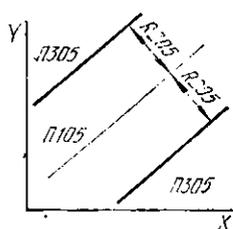
1	2	3	4	5	6	7
	T 306	\pm X/Y O 106 O 206	Точка Т 306 определяется двумя пересекающимися окружностями O 106 и O 206. Единственность задания точки обеспечивается символом X/Y			
	T 307	O 107 O 207	Точка Т 307 определяется как точка касания двух окружностей O 107 и O 207			
	T 308	\pm X/Y T 108 R 208	Точка Т 308 получается путем смещения точки Т 108 на расстояние R 208 параллельно осям координат в положительном (+) или отрицательном (-) направлении			
	T 309	\pm T 109 φ 209	Точка Т 309 получается путем поворота точки Т 109 относительно начала координат на угол φ 209 против часовой стрелки (+) или по часовой стрелке (-)			
	T 310	T 110 П 210	Точка Т 310 симметрична точке Т 110 относительно прямой П 210			

Окончание

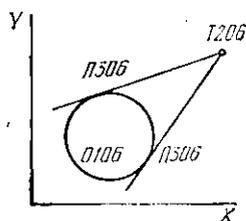
1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---



П 304 — Т 104 П 204 Прямая П 304 проходит через точку Т 104 параллельно прямой П 204

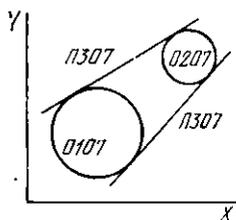


П 305 \pm X/Y П 105 R 205 Прямая П 305 получается путем параллельного смещения прямой П 105 на расстояние R 205 в положительном (+) или отрицательном (-) направлении



П 306 \pm X/Y O 106 T 206 Прямая П 306 определяется как прямая, касательная к окружности O 106 и проходящая через точку Т 206, которая не лежит на данной окружности.

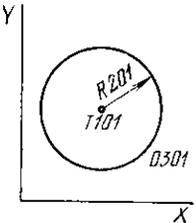
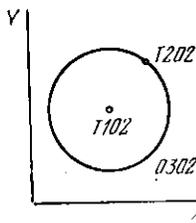
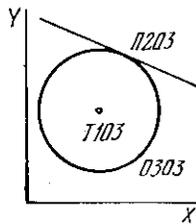
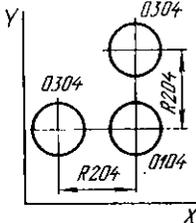
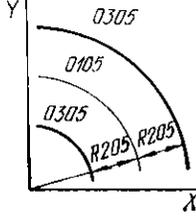
Знак плюс обозначает, что точка касания имеет большее значение X/Y. Знак минус соответствует меньшему значению X/Y



П 307 \pm X/Y O 107 O 207 Прямая П 307 определяется как общая касательная двух окружностей O 107 и O 207.

Единственность определения прямой обеспечивается тем, что в таблице фиксируется плюс или минус, когда прямая касается данных окружностей в точках с большими или меньшими значениями X/Y

Табл. 15.3. Способы определения окружности в САПП

Рисунок	Определяемая окружность	±	X или Y	Заданные элементы		Пояснения
				элемент 1	элемент 2	
1	2	3	4	5	6	7
	О 301			T 101 R 201		Определяемая окружность О 301 имеет центр Т 101 и радиус R 201
	О 302			T 102 T 202		Окружность О 302 имеет центр Т 102 и проходит через точку Т 202
	О 303			T 103 П 203		Окружность О 303 имеет центр Т 103 и касается прямой П 203
	О 304 ±	X/Y		О 104 R 204		Окружность О 304 получается путем смещения окружности О 104
	О 305 ±			О 105 R 205		Окружность О 305 получается путем концентрического расширения (+) или сжатия (-) окружности О 105 с изменением ее радиуса на величину R 205

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
	O 306 ±	O 106 φ 206		<p>Окружность O 306 получается путем поворота окружности O 106 относительно начала координат на угол φ 206 против часовой стрелки (+) или по часовой стрелке (—)</p>		
	O 307	O 107 П 207		<p>Окружность O 307 симметрична окружности O 107 относительно прямой П 207</p>		
	O 308	O 108 T 208		<p>Окружность O 308 симметрична окружности O 108 относительно точки T 208</p>		
	O 309 ± ±	<p>X/Y П 109 П 209 X/Y R 409 R 409</p>		<p>Окружность O 309 касается двух прямых П 109 и П 209 и имеет радиус R 409.</p>		
				<p>Окружность задается записью в двух строках. Символ ± X/Y в верхней строке указывает положение центра определяемой окружности относительно первой прямой: выше (+Y), ниже (-Y), правее (+X), левее (-X). Символ ± X/Y в нижней строке указывает положение центра определяемой окружности относительно второй прямой</p>		

цию. Количество разрядов для записи целой части чисел, выражающих линейные размеры и рабочую подачу, устанавливается программистом. Величины радиуса фрезы могут быть записаны в любой строке таблицы. Величины углов не должны превосходить 360° . О способе их кодирования можно судить по следующему примеру: углу $53^\circ 20' 15''$ соответствует запись 053201500. В записи времени технологических остановов под целую часть отводятся три разряда. Цена импульса станка записывается в последней строке таблицы. Перед каждым числом должен быть поставлен знак + или -.

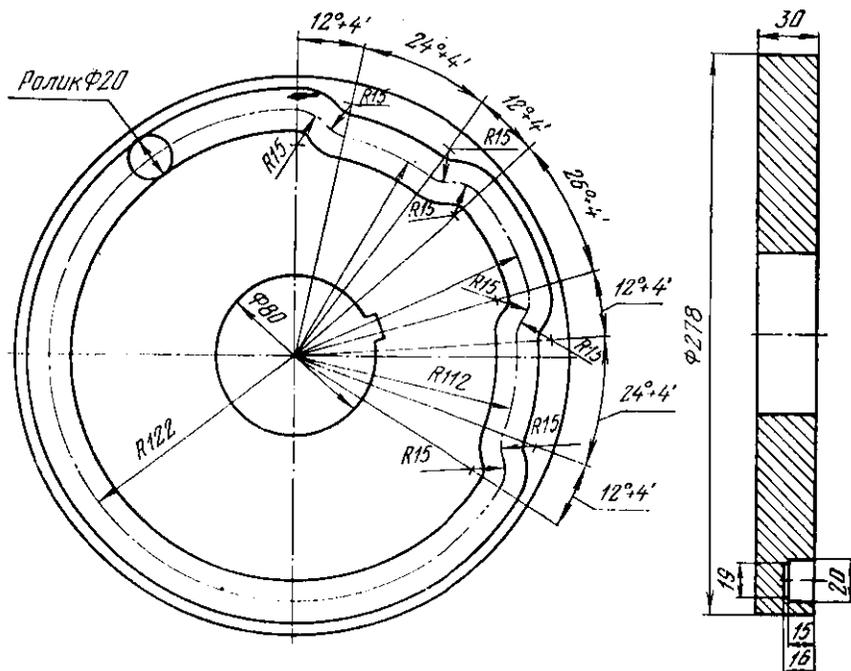


Рис. 15.1. Эскиз детали к примеру программирования в системе САПП

В таблицах геометрической или технологической информации величины могут задаваться тем порядковым номером, который они имеют в таблице числовой информации.

Технологическая информация определяет последовательность и характер перемещений фрезы, а также режимы обработки. Она заносится в специальную таблицу.

Для примера на языке системы САПП зададим обработку паза на кулачке (рис. 15.1). Она должна выполняться на вертикаль-

но-фрезерном станке модели 9ФСП без коррекции радиуса фрезы. Подготовка программы производится с помощью ЭВМ «Минск-32». Задача технолога-программиста состоит, в частности, в записи информации на языке САПП.

Траектория центра фрезы при обработке паза на кулаке изображена на рис. 15.2. В исходном положении ось фрезы совме-

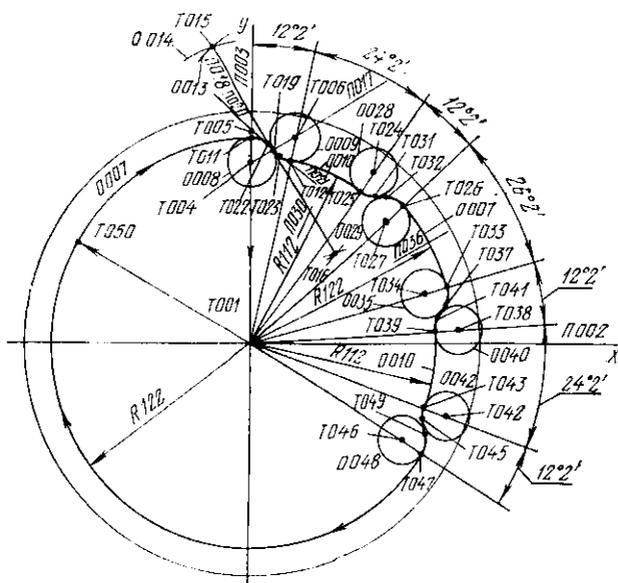


Рис. 15.2. Траектория центра фрезы при обработке паза на кулаке

на с осью отверстия $\varnothing 80$, т. е. с точкой T001. Центр фрезы должен последовательно пройти через точки 1, 50, 11, 19, 22, 23, 12, 25, 31, 32, 26, 33, 37, 41, 39, 43, 45, 49, 47, 50, 11, 1. В точке 50 фреза опускается по Z, а в конце траектории, т. е. в точке 11, происходит ее подъем по той же оси.

Геометрическая информация для рассматриваемого примера занесена в табл. 15.4. В каждой строке (инструкции) кодируется положение одного геометрического элемента. При этом в графах 5 и 6 указаны два элемента, при помощи которых определяют элемент, записанный в графе 2 (определяемый элемент). Элементы могут обозначаться соответствующими символами (O, T и т. д.) или кодом ЭВМ: окружность — 0 (нуль), точка — 1, прямая — 2, угол — 3, радиус, расстояние — 4, абсцисса — 5, ордината — 6. В начале строки обязательно должен стоять знак плюс. В графе 3 (между кодами определяемого и определяющих элементов) ставится знак плюс или минус. В графе 4 необходимо записать X или Y.

Табл. 15.4. Геометрическая информация для САПП

+	Определя- емый эле- мент	+	X или Y	Элемент 1	Элемент 2	Пояснения
1	2	3	4	5	6	7
+	T 001	+		X 001	Y 001	
+	П 002	+		T 001	Ф 001	Ось X
+	П 003	+		T 001	П 002	Ось Y
+	T 004	+		X 001	Y 002	
+	T 005	+		X 001	Y 003	
+	T 006	—		T 005	Ф 004	
+	O 007	+		T 001	R 005	
+	O 008	+		T 004	R 006	
+	O 009	+		T 006	R 007	
+	O 010	+		T 001	O 008	
+	T 011	+		O 007	O 009	
+	T 012	+		O 010	R 007	
+	O 013	+		T 006	R 007	
+	O 014	+		T 004	O 014	
+	T 015	+	Y	O 013	O 014	
+	T 016	—	Y	O 013	O 014	
+	П 017	+		T 004	T 006	Вспомогательная прямая
+	П 018	+		T 015	T 016	То же
+	T 019	+		П 017	П 018	
+	П 020	+		T 019	O 008	
+	П 021	—	Y	T 019	O 009	
+	T 022	+		O 008	П 020	
+	T 023	+		O 009	П 021	
+	T 024	—		T 006	Ф 008	
+	T 025	+		T 034	Ф 008	
+	T 026	+		T 001	Ф 009	
+	T 027	+		T 032	Ф 009	
+	O 028	+		T 024	T 025	
+	O 029	+		T 025	T 026	
+	П 030	+		T 001	Ф 010	Вспомогательная прямая
+	T 031	+		T 023	П 030	
+	T 032	+		T 022	П 030	
+	T 033	+		T 026	Ф 011	
+	T 034	+		T 027	Ф 011	
+	O 035	+		T 034	T 033	
+	П 036	+		T 001	Ф 012	Вспомогательная прямая
+	T 037	+		T 032	П 036	
+	T 038	—		T 024	Ф 013	
+	T 039	—		T 025	Ф 013	
+	O 040	+		T 038	T 039	
+	T 041	+		T 031	П 036	
+	T 042	—		T 038	Ф 008	
+	T 043	—		T 039	Ф 008	
+	O 044	+		T 042	T 043	
+	T 045	+		T 023	П 036	
+	T 046	—		T 034	Ф 009	
+	T 047	—		T 033	Ф 009	
+	O 048	+		T 046	T 047	
+	T 049	+		T 022	П 036	
+	T 050	+		T 047	П 030	

Табл. 15.5. Числовая информация для САПП

Номер кода	+	-	Значение	Пояснения
001	+		000 000 000	Ордината точки Т 001
002	+		107 000 000	Радиус-вектор точки Т 004
003	+		127 000 000	Радиус-вектор точки Т 006
004	+		012 020 000	Угол 12°2'
005	+		122 000 000	Радиус окружности О 007
006	+		015 000 000	Радиус окружности О 008
007	+		112 000 000	Радиус окружности О 010
008	+		024 020 000	Угол 24°2'
009	+		048 060 000	Угол 48°6'
010	+		026 020 000	Угол 26°2'
011	+		400 000 000	Величина подачи, мм/мин
012	+		200 000 000	Величина подачи, мм/мин
013	+		010 000 000	Радиус фрезы, мм
014	+		000 020 000	Цена импульса

Табл. 15.6. Технологическая информация для САПП

+	-	Номер точки	Код перемещения по Z	Код или s	Характеристика движения	Направление обработки окружности	Номер окружности	Точность аппроксимации	Свободные	Пояснения
+		001	000	00	О					
+		050	001	11	П					
+		011	000	12	О	—	007	016	000	Опускание по вертикали. Перемещение с рабочей подачей
+		022	000	00	О	—	008	016	000	
+		023	000	00	П					
+		012	000	00	О	+	009	016	000	
+		025	000	00	О	—	010	016	000	
+		031	000	00	О	+	028	016	000	
+		032	000	00	П					
+		026	000	00	О	—	029	016	000	
+		033	000	00	О	—	007	016	000	
+		037	000	00	О	—	035	016	000	
+		041	000	00	П					
+		039	000	00	О	+	040	016	000	
+		043	000	00	О	—	010	016	000	
+		045	000	00	О	+	044	016	000	
+		049	000	00	П					
+		047	000	00	О	—	048	016	000	
+		011	000	00	О	—	007	016	000	
+		011	001	11	П					Подъем по вертикали
-		001	000	00	О					

тикали

Числовая информация для кулачка занесена в табл. 15.5. В первой строке таблицы технологической информации (табл. 15.6) записывается номер точки, лежащей в горизонтальной плоскости, над которой находится фреза перед началом обработки; номер координаты Z торца фрезы; номер кода подачи s или времени t ; характеристика движения — по прямой (П), по окружности (О), находится в точке (Т).

В каждой следующей строке таблицы фиксируется информация об одном участке траектории инструмента или задается команда на ввод или сброс коррекции. В строке, характеризующей участок траектории фрезы, записываются: в первой графе — знаки плюс или минус, характеризующие положение фрезы относительно детали при обработке данного ее участка (знак плюс (минус) ставится при положении фрезы справа (слева) от детали, если смотреть по направлению движения фрезы); во второй графе — номер конечной точки участка; в третьей — номер координаты Z этой точки; в четвертой — номер подачи s или времени технологического останова t (номерами s и t являются числа от 00 до 99); в пятой — характер движения (по окружности — О, по прямой — П, технологический останов — Т). Если участком траектории является дуга окружности, необходимо заполнить дальнейшие графы таблицы. В шестой графе записываются знаки плюс или минус, характеризующие направление движения по окружности (плюс соответствует движению против часовой стрелки, минус — по часовой стрелке); в седьмой — номер окружности (числами от 001 до 999); в восьмой — номер величины точности аппроксимации δ (числами от 001 до 999); в девятой — три нуля, так как три разряда остаются неиспользованными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрегатное построение унифицированных систем программного управления машинами. М., «Наука», 1973.
2. Базров Б. М., Салатов Б. Х. Разработка систем адаптивного управления металлорежущими станками. М., ГОСИНТИ, 1977.
3. Барзам Р. Б., Прунис Л. М. Проходные транспортеры-накопители.— «Станки и инструмент», 1974, № 10.
4. Бейлин Л. П., Левин А. И. Расчет систем стабилизации силового параметра процесса резания.— «Станки и инструмент», 1974, № 8.
5. Белянин П. Н. Промышленные роботы. М., «Машиностроение», 1975.
6. Волчкович Л. И., Кузнецов М. М., Усов Б. А. Автоматы и автоматические линии. Ч. I и II. М., «Высшая школа», 1976.
7. Вороничев Н. М., Генин В. Б., Тартаковский Ж. Э. Автоматические линии из агрегатных станков. М., «Машиностроение», 1979.
8. Гиндин С. С., Марков В. М., Плашей Г. И., Тукаев Е. С. Машинное проектирование узлов агрегатных станков. М., ИИИМАШ, 1974.
9. Зусман В. Г., Шраго Л. К., Михна Г. К., Срибнер Л. А., Левин Л. М., Полякова Н. С., Чубуков А. С. Цикловое программное управление металлорежущими станками. М., «Машиностроение», 1971.
10. Калинин В. И., Лисица Б. Б. Транспортные системы типовых автоматических линий для подшипниковой промышленности.— «Станки и инструмент», 1975, № 4.
11. Камышный Н. И., Стародубов В. С. Конструкции и наладка токарных автоматов и полуавтоматов. М., «Высшая школа», 1971.
12. Киселев В. М. Фазовые системы числового программного управления станками. М., «Машиностроение», 1976.
13. Кобринский А. Е., Корендясев А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. Автоматические манипуляторы с программным управлением (промышленные роботы). Состояние, перспективы, проблемы.— «Станки и инструмент», 1974, № 11.
14. Кобринский А. Е., Левсковский Е. И., Серков Н. А. Классификация систем управления станками по информационным признакам.— «Станки и инструмент», 1971, № 1.
15. Конох А. И., Плашей Г. И., Марголин Н. У., Израильский М. М. Справочник по наладке агрегатных станков и автоматических линий. Минск, «Беларусь», 1977.
16. Кузнецов М. М., Волчкович Л. И., Замчалов Ю. П. Автоматизация производственных процессов. М., «Высшая школа», 1978.
17. Проников А. С. Надежность машин. М., «Машиностроение», 1978.
18. Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1977.
19. Станки с программным управлением. Справочник. М., «Машиностроение», 1975.
20. Телншевский Б. Х. Электрокопировальные станки. М., «Машиностроение», 1972.
21. Лещенко В. А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. М., «Машиностроение», 1975.

22. Маталин А. А., Дашевский Т. Б., Княжицкий И. И. Многооперационные станки. М., «Машиностроение», 1974.
23. Металлорежущие станки. Под ред. проф. В. К. Теплякичева. М., «Машиностроение», 1973.
24. Михеев Ю. Е., Сосонкин В. Л. Системы автоматического управления станками. М., «Машиностроение», 1978.
25. Надежность в технике. Термины ГОСТ 13377—75. М., Издательство стандартов, 1975.
26. Никитенко В. Д. Подготовка программы для станков с числовым программным управлением. М., «Машиностроение», 1973.
27. Никифоров В. Н. Комплексная автоматизация производства подшипников качения. — «Станки и инструмент», 1975, № 4.
28. Устройство автоматизации станков с программным управлением. М., «Высшая школа», 1976.
29. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1973.

АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ КОЧЕРГИН

АВТОМАТЫ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Редактор *Э. Н. Капрова*
Мл. редактор *Н. Н. Ленькова*
Обложка *Н. С. Волкова*
Худож. редактор *Ю. С. Сергачев*
Техн. редактор *М. Н. Кислякова*
Корректор *Л. А. Шлыкович*

ИБ № 420

Сдано в набор 08.08.79. Подписано в печать 26.06.80. АТ 08592. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 18. Уч.-изд. л. 20. Тираж 8000 экз. Изд. № 76-185. Зак. 2463. Цена 85 коп.

Издательство «Высшая школа» Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220048, Минск, Парковая магистраль, 11. Полиграфический комбинат им. Я. Коласа. 220005, Минск, ул. Красная, 23.