

## ВВЕДЕНИЕ

---

Для промышленных предприятий, использующих процессы механической обработки деталей, актуальны задачи снижения трудоемкости операций и себестоимости изготовления деталей с сохранением заданных показателей качества. Поэтому технологическое бюро ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов обработки с учетом возможностей, предоставляемых новым высокопроизводительным инструментом и современным информационно-программным обеспечением.

Особенности современного этапа развития машиностроения характеризуются значительным распространением и использованием многофункциональных станков с ЧПУ. Применение такого типа оборудования позволяет значительно повысить производительность обработки и улучшить качество изготавливаемых деталей. Главная особенность этого оборудования состоит в том, что движение инструмента относительно обрабатываемой заготовки заранее программируется и записывается в числовой форме.

Создание систем числового программного управления (СЧПУ) явилось своеобразным переломным моментом в развитии станкостроения, ознаменовав начало качественно нового этапа. Сочетание высокой производительности, присущей специальным станкам, с гибкостью, свойственной универсальному оборудованию, сделало станки с числовым программным управлением главным средством автоматизации серийного и мелкосерийного производства.

Сегодня станки с числовым программным управлением распространены достаточно широко, начиная от малых предприятий и заканчивая предприятиями в больших промышленных зонах. Трудно найти область машиностроения, где не используются уникальные возможности такого оборудования. Поэтому каждый специалист в области машиностроения должен хорошо представлять, что дает производству использование этого высокотехнологического оборудования.

Так конструктору необходимо обладать знаниями о ЧПУ с целью применения более эффективной техники назначения размеров или допусков при проектировании деталей, поверхности которых будут обрабатываться на станках с ЧПУ. Технологу необходимо понимать сущность ЧПУ для оптимального проектирования оснастки и режущего инструмента. Инженеры, контролирующие качество изготовления, обязаны учитывать технологические возможности станков с ЧПУ в цеху для того, чтобы правильно планировать будущий процесс контроля качества, разработки плана загрузки оборудования. Наконец программисты, операторы-наладчики и другой персонал цехов обязаны иметь глубокий уровень знаний о CNC-оборудовании.

В учебном пособии рассматриваются основы теории ЧПУ, представлены наиболее важные аспекты использования данного интеллектуального оборудования. Главная цель заключается в том, чтобы студенты, аспиранты, инженеры и те, кто в будущем будет работать непосредственно на этих станках, ознакомились с каждой из функций ЧПУ и могли самостоятельно расширить знания об оборудовании с ЧПУ.

Также в учебном пособии рассматриваются основы программирования оборудования на примере систем с ЧПУ NC-201 и FANUC 21i и применения CAM-систем для написания управляющих программ, а также рассмотрены возможности разработки и применения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ, инструмента и приспособлений.

В учебном пособии также рассматриваются возможности современного металорежущего инструмента для станков с ЧПУ, часть материалов подготовлена с применением рекомендаций ведущего мирового производителя инструмента — фирмы «Сандвик».

# Глава 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

---

### 1.1. История развития металлорежущего оборудования с ЧПУ

Станки с ручным управлением — универсальные станки, где рабочий, пользуясь чертежом детали или эскизом, преобразует прочитанную им информацию в определенную последовательность движения рук и воздействует на органы управления станком. В этом случае человек задает и выполняет программу управления станком, т.е. управляет циклом работы и величиной перемещений исполнительных органов станка. Достоинством такой системы управления является ее универсальность и гибкость. Однако использование человека в качестве основного элемента системы управления станком сдерживает рост производительности этого оборудования.

Универсальные станки с ручным управлением стали оснащать системами ручного ввода данных и цифровой индикации (в обозначении отечественные модели станков отмечаются индексом Ф1). Рабочий на специальной панели задает численное значение координат, на которые должны выйти исполнительные органы станка после включения подачи. На подвижных органах таких станков устанавливаются датчики положения, которые подают сигналы в систему цифровой индикации. Числовые значения координат детали или инструмента непрерывно индицируются на световом табло (визуализаторе), что позволяет контролировать получаемые параметры в процессе обработки.

Системы ручного ввода данных и цифровой индикации обеспечивают в некоторой степени повышение производительности и точности обработки, снижают утомляемость рабочего. Применяются чаще всего в станках токарной и сверлильно-расточочной групп. Однако эти

системы не автоматизируют рабочий цикл станка и не высвобождают рабочего.

Использование человека в качестве основного элемента системы управления станком сдерживает рост производительности. Поэтому дальнейшее развитие металлообрабатывающих станков связано с созданием высокопроизводительных станков-автоматов и полуавтоматов, программа управления которыми задается на програмноносителе. Рабочий цикл такого оборудования полностью автоматизирован.

В зависимости от способа задания на програмноносителе информации, необходимой для реализации рабочего цикла, системы управления металлообрабатывающими станками делятся на числовые и нечисловые.

В нечисловых системах управления информация физически материализована в виде модели-аналога, управляющей исполнительными органами станка. Рабочий цикл станков с нечисловыми системами управления формируется либо при разработке самой системы управления, либо при проектировании програмноносителя. В качестве програмноносителей в таких системах управления используются кулачки, копиры, шаблоны, путевые и временные командоаппараты. Гибкость такой системы управления обеспечивается за счет проектирования и изготовления новых програмноносителей, переналадки командоаппарата и самого станка.

Станки с програмноносителем в виде модели-аналога имеют важное достоинство, состоящее в том, что возможности увеличения производительности станков не ограничиваются субъективным фактором — участием человека в реализации рабочего цикла.

Основные недостатки аналоговых програмноносителей:

- невозможность быстрой переналадки станков на обработку заготовки другой детали;
- высокая стоимость переналадки;
- неудовлетворительная точность обработки вследствие повышенного износа програмноносителей, так как они передают не только закон перемещения исполнительных органов станка, но и усилия для его реализации.

В силу этих особенностей аналоговые програмноносители используются в станках для массового и крупносерийного производств с устойчивой во времени конструкцией выпускаемых изделий.

В серийном производстве применение нашли станки с цикловой системой программного управления (в обозначении модели станка отмечается индексом Ц). В этих станках в программноноситель вводится технологическая информация, а геометрическая информация задается расстановкой упоров на специальных линейках или барабанах.

Различают следующие виды систем циклового программного управления: кулачковые, аппаратные, микропрограммные и программируемые.

Функциональная схема цикловой системы кулачкового управления, выполненная на командоаппарате с шаговым приводом или на штекерной панели, приведена на рисунке 1.1. Устройство задания и ввода программы обеспечивает систему управления станком технологической информацией и осуществляет поэтапный ввод этой информации. Устройство задания программы чаще всего выполняют в виде штекерной или кнопочной панели, устройство поэтапного ввода — в виде шагового искателя или счетно-релейной схемы.

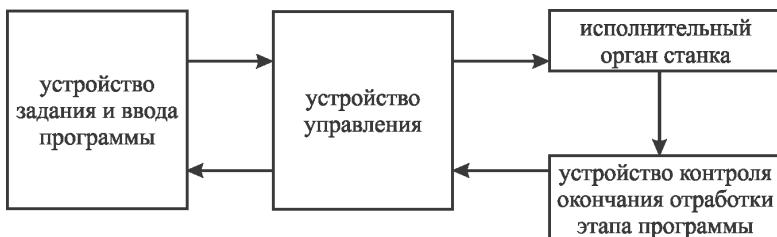


Рис. 1.1. Функциональная схема цикловой системы  
программного управления

Программа управления формируется расстановкой штекеров в соответствующие гнезда панели с тем, чтобы составить такие электрические схемы включения исполнительных органов станка, которые, сменяя друг друга, осуществляют последовательные этапы обработки.

При наличии стандартных циклов система управления иногда содержит дополнительную штекерную панель.

Для облегчения программирования станка используют трафареты, заготавливающиеся заранее. Их накладывают на панель, и в отверстия вставляют штекеры.

Штекерные панели могут быть выполнены также по типу функциональных программных полей. В этом случае все поле штекерной панели разделяется на функциональные участки. Программа задается путем соединения отдельных гнезд различных функциональных участков панели.

Кроме штекерных панелей, применяются кулачковые командоаппараты, представляющие собой цилиндрические барабаны с рядами гнезд. Число гнезд по окружности барабана определяет количество возможных этапов программы, а число гнезд вдоль образующей — возможное число программируемых параметров. В гнезда барабана закладывают шарики или штифты, воздействующие на электрические контакты, включая цепи соответствующих исполнительных органов станка. Устройство управления, усиливая и размножая команды, обеспечивает управление элементами, перемещающими исполнительные органы станка. Принцип работы аппаратного управления основан на формировании необходимых электрических схем включения исполнительных органов станка с использованием контактной или бесконтактной аппаратуры.

В микропрограммных системах весь набор необходимых циклов программного управления хранится в запоминающих устройствах. За последнее время широкое применение получило программируемое цикловое управление, основанное на использовании бесконтактных устройств программируемой логики, получивших название программируемых контроллеров. В качестве элементной базы программируемых контроллеров используются микроэлектронные интегральные схемы. Программу обработки задают нажатием клавиш с обозначениями логических элементов. По сравнению с релейно-контактной аппаратурой бесконтактные электронные блоки имеют высокую надежность в работе и малые габариты.

Для задания геометрической информации часто используют групповые путевые переключатели, состоящие из упоров и блоков переключателей. Упоры устанавливают на панели или барабане с пазами в соответствии с размерами, заданными на эскизе обработки. Панели обычно выполняются съемными, что позволяет проводить их настройку вне станка. Упоры бывают нерегулируемые (грубые) и регулируемые (точные) с микрометрическими винтами. В качестве упоров могут использоваться штрихи из ферромагнитного материала

на латунном барабане (в качестве групповых переключателей). Магнитная головка, встречая такой штрих, дает сигнал об окончании перемещения. Окончание отработки этапа программы может контролировать реле времени, реле давления и т.п.

Цикловая система программного управления отличается высокой надежностью в работе и простотой составления программы обработки. Однако наладка и переналадка станков с цикловой системой управления требует значительного времени, поэтому эти станки используют в средне- и крупносерийном производстве при относительно больших партиях запуска заготовок, обеспечивающих работу станка без переналадки в течение не менее одной смены.

В силу ограниченных технологических возможностей системы циклового программного управления позволяют проводить обработку деталей простой геометрической формы и сравнительно невысокой точности. Эти системы наиболее широко используют в токарно-револьверных станках.

Отличие станков с ЧПУ от станков с нечисловыми системами управления заключается не только в принципе построения программного управления. Реализация идеи ЧПУ выдвинула ряд требований к конструкции самого станка, без выполнения которых применение системы ЧПУ остается малоэффективным. Так система ЧПУ позволяет обеспечить высокую точность перемещения исполнительных органов станка (до 10 нм). Для создания возможности получения высокой точности размеров детали при обработке необходимо, чтобы механические узлы станка удовлетворяли соответствующим требованиям. Поэтому оснащение станков системами ЧПУ потребовало пересмотреть требования к их конструкции.

Рабочий цикл станка с ЧПУ осуществляется автоматически от управляющей программы. Управляющая программа — это совокупность команд на языке программирования, соответствующих заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки. Управляющая программа содержит как геометрическую, так и технологическую информацию.

В качестве программоносителя используют перфоленты, магнитные ленты, гибкие магнитные диски, постоянные запоминающие устройства, Flash — накопители или подключение к компьютерной локальной сети предприятия.

## 1.2. Основные преимущества использования станков с ЧПУ

Основная функция любого оборудования с ЧПУ — автоматическое и точное управление движением рабочих органов. Рабочие органы любого станка с ЧПУ имеют два или более направления для движения, которые называются осями. Причем движение по этим осям осуществляется автоматически и с заданной точностью.

У ряда станков используются две линейные оси, движение по которым осуществляется по прямому пути, и оси вращения, движение по которым выполняется по кругу. На универсальном станке движение заготовки детали или инструмента осуществляется путем ручных операций, выполняемых станочником (например, вращением рукояток).

Станки с ЧПУ оснащены сервомоторами, которые приводятся в действие системой ЧПУ, а та, в свою очередь, в точности исполняет команды управляющей программы. Обобщая, можно сказать, что тип движения (ускоренный, линейный или круговой), оси перемещений, величина и скорость перемещения программируются во всех типах систем с ЧПУ.

Система ЧПУ, исполняя команды управляющей программы, посылает необходимое количество импульсов шаговому двигателю. Его вращение передается оси, с которой, как правило, через шарико-винтовую пару связан рабочий стол. Стол линейно перемещается. Устройство обратной связи, расположенное в противоположном конце оси, позволяет системе ЧПУ подсчитать, на сколько градусов повернулась ось, т.е. какое число импульсов реально отработал шаговый двигатель.

В условиях нормальной эксплуатации один станок с ЧПУ позволяет заменить от 2 до 6 единиц универсального оборудования, кроме того, значительно сокращается срок подготовки производства и длительность цикла изготовления продукции, возрастает гибкость.

Экономическая целесообразность использования станков с ЧПУ оправдывается, как правило, при обработке заготовок серийным партиями. С целью увеличения эффективности использования дорогостоящих станков с ЧПУ, особенно обрабатывающих центров (ОЦ), рекомендуется их эксплуатировать в режиме двух-, трех- и четырехсменной работы.

Первое преимущество использования станков с ЧПУ заключается в более высоком уровне автоматизации. Случаи вмешательства станочника или оператора в процесс изготовления детали могут быть исключены или сведены к минимуму. Процесс технологической подготовки производства полностью управляется инженером-технологом. Большинство станков с ЧПУ могут работать автономно в течение всего процесса обработки заготовки детали, поэтому оператор-станочник может выполнять другие задачи. Предприятия, применяющие станки с ЧПУ, получают дополнительные преимущества: уменьшение числа ошибок оператора-станочника, предсказуемость времени обработки и более полная загрузка оборудования. Поскольку станок управляется при помощи программы, квалификация оператора станка с ЧПУ может быть значительно ниже по сравнению с образованием станочника, работающего на универсальном оборудовании.

Второе преимущество использования технологии ЧПУ заключается в более точном изготовлении детали. Сегодня производители станков с ЧПУ говорят о высочайшей точности и надежности оборудования. Это означает, что однажды отлаженная управляющая программа может быть использована на станке с ЧПУ для производства двух, десяти или тысячи абсолютно идентичных деталей, причем при полном соблюдении требований к точности.

Третьим преимуществом применения любого оборудования с ЧПУ является гибкость и возможность быстрой переналадки оборудования. На оборудовании с программным управлением изготовление разных деталей сводится к простой замене управляющей программы и в некоторых случаях режущего инструмента. Проверенная управляющая программа может быть использована любое число раз и через любые промежутки времени.

### 1.3. Основные технические характеристики станков с ЧПУ

Основными техническими характеристиками являются следующие [25]:

1. Класс точности (отечественное оборудование). Обозначается следующими буквами: П — повышенной точности; В — высокой точ-

ности; А — особо высокой точности, С — особо точные (прецизионные). По каждому классу точности и группе станков нормируется допустимая величина погрешности.

2. Вид устройства ЧПУ (УЧПУ) обозначается индексами (отечественное оборудование), входящими в наименование модели станка: Ф1 — станки с цифровой индикацией (в том числе с предварительным набором координат); Ф2 — станки с позиционными и прямоугольными системами управления; Ф3 — станки с контурными прямолинейными и криволинейными системами управления; Ф4 — станки с универсальной системой управления для позиционно-контурной обработки; Ц — станки с цикловым программным управлением.

3. Основные параметры станка: наибольший диаметр обрабатываемого изделия (для токарных станков); наибольший диаметр сверления (для сверлильных станков); диаметр расточного шпинделя (для расточных станков); размеры стола (для фрезерных станков) и т.д.

4. Наличие инструментального магазина.
5. Наличие устройства автоматической загрузки заготовок.
6. Габаритные размеры станка и его масса.
7. Число управляемых координат и число одновременно управляемых координат (число одновременно управляемых координат определяет траекторию движения инструмента относительно заготовки).

При сложной обработке на фрезерных, токарных и многоцелевых станках используют УЧПУ с непрерывным (контурным) управлением одновременно по нескольким координатам. Существуют УЧПУ с управлением одновременно по трем, четырем и пяти координатам. Последние используются в станках со сложной траекторией инструмента. В токарных станках обычно применяются УЧПУ с одновременным управлением по двум координатам, а в токарно-револьверных и токарно-карусельных — по трем координатам.

## 1.4. Основные требования к конструкции станков с ЧПУ

Для точной обработки заготовки деталей на станках с ЧПУ необходима высокая точность изготовления всех его деталей, узлов и станка в целом. Точность станка определяется точностью изготовле-

ния его деталей и узлов (особенно направляющих корпусных деталей, несущих инструмент и заготовку), точностью изготовления приводов механизмов, качеством сборки станка, жесткостью его элементов, зазорами в сопрягаемых деталях, условиями трения в направляющих при перемещении рабочих органов и др. Жесткость шпинделя и других ответственных узлов станка должна превосходить жесткость аналогичных узлов, предназначенных для традиционных станков.

При трогании с места исполнительный орган начинает движение не одновременно с действием управляющего сигнала, а только после того, как будут выбраны зазоры в передачах, произойдет некоторая упругая деформация элементов, а усилие, действующее на управляемый орган, превзойдет сопротивление сил трения и сил резания. Действие указанных факторов особенно важно учитывать при конструировании ходовых винтов — важнейших звеньев передачи к исполнительным органам команды на перемещение. Именно поэтому в станках с ЧПУ используют шарико-винтовые пары, отличающиеся высокими точностью, износостойкостью и жесткостью благодаря применению гаек с предварительным натягом и большему диаметру ходового винта. Последний жестко крепится в осевом направлении, для чего используют упорные подшипники с предварительным натягом.

В станках с ЧПУ по сравнению с традиционными станками кинематические цепи, передающие движение от двигателя к исполнительному механизму, значительно короче благодаря применению автономных приводов для всех рабочих движений. Эти конструктивные особенности позволяют значительно увеличить статическую и динамическую жесткость привода.

Точность перемещения рабочих органов также зависит от точности срабатывания по времени механизмов останова: электромагнитных муфт, электродвигателей, тормозных устройств. Для уменьшения времени торможения и пуска конструкторы стремятся уменьшить маховые массы вращающихся деталей и электромеханическую постоянную времени привода.

Дискретность (цена импульса) — это перемещение механизма, соответствующее одному импульсу управляющей программы. Дискретность перемещения определяет значение ошибки, обусловленной представлением траектории движения в цифровой форме. Чтобы снизить эту погрешность, целесообразно уменьшить дискретность.

Однако это приводит к увеличению управляющей частоты для обеспечения требуемой скорости перемещения. При возрастании частоты усложняются УЧПУ, привод подач и измерительные преобразователи обратной связи. Кроме того, снижение дискретности не везде является оправданным, так как система станок — деталь может вносить существенно большие погрешности. Исходя из требований точности и производительности в станках фрезерной и сверлильной групп, в большинстве случаев принимается дискретность 10 мкм, для многоцелевых, координатно-расточных, шлифовальных, электроэрозионных вырезных станков — 0,5—1 мкм. В токарных и фрезерных станках повышенной точности дискретность не должна превышать 1 мкм.

## 1.5. Классификация устройств ЧПУ станков

Термины и определения основных понятий в области числового программного управления металлообрабатывающим оборудованием устанавливает ГОСТ 20523-80.

Числовое программное управление станком — это управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

По характеру движения исполнительных органов системы ЧПУ классифицируются на: позиционные, контурные, универсальные, синхронные [25].

При позиционном управлении перемещение рабочих органов станка происходит в заданные точки, причем траектория перемещения не задается. Позиционные устройства ЧПУ обеспечивают автоматическое перемещение рабочего органа станка в координату, заданную программой, без обработки в процессе перемещения рабочего органа. Эти устройства применяют в сверлильно-расточных и других станках. Перемещение инструмента от одной точки (координаты) обработки к другой выполняется на ускоренных ходах. Специфичным для этого класса УЧПУ является требование обеспечения точности только при остановке в заданной координате. Вид траектории при перемещении из одной координаты в другую не задается. Однако время перемещения должно быть минимальным. Учитывая значительный процент холостых ходов в станках с позиционными систе-

мами ЧПУ, к приводу подач предъявляются требования высокого быстродействия и обеспечения значительных скоростей перемещения при малой дискретности.

Контурное управление характеризуется перемещением органов станка по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура детали. Контурное управление подразделяется на контурные прямоугольные системы ЧПУ, контурные криволинейные системы ЧПУ и синхронные системы ЧПУ.

Контурные прямоугольные системы ЧПУ используют в станках, у которых обработка проводится лишь при движении по одной координате и обрабатываемая поверхность параллельна направляющим данной координаты. В большинстве станков применяют прямоугольные координаты, поэтому такие системы получили название прямоугольных. В этих системах, как и в позиционных, программируются конечные координаты перемещения. Однако в программе задается скорость движения в соответствии с требуемым режимом резания, и перемещение выполняется поочередно по каждой из координатных осей. В этих системах отставание или опережение (рассогласование) по скорости относительно запрограммированного значения непосредственно не вызывает погрешности обработки, так как инструмент продолжает движение по заданной траектории. Возникает лишь нарушение расчетного режима резания и связанное с этим незначительное изменение шероховатости обрабатываемой поверхности и упругих деформаций системы станок — деталь. Прямоугольные системы управления используют в станках фрезерной, токарной и шлифовальной групп.

Контурные криволинейные системы ЧПУ применяют в станках многих групп. Они обеспечивают формообразование при обработке в результате одновременного согласованного движения по нескольким управляемым координатам. Программу движения исполняемых органов по отдельным координатам при контурной и объемной обработках рассчитывают, исходя из заданной формы обрабатываемой поверхности детали и результирующей скорости движения, определяемой режимом резания. Рассогласование привода подач может привести к ошибке обработки контура. Контурные системы являются наиболее сложными как с точки зрения алгоритма работы УЧПУ, так и с точки зрения требований, предъявляемых к приводу подач.

Разновидностью контурных систем ЧПУ являются синхронные системы, применяемые в основном в зубообрабатывающих станках. УЧПУ задает постоянное соотношение скоростей по двум или большему числу координатных осей станка, а формообразование обеспечивается благодаря конфигурации инструмента. Соотношение скоростей движения по осям задается программой и сохраняется на все время обработки заготовки данной детали. В большинстве случаев требуется не только обеспечить определенное соотношение средних скоростей движения по координатам, но и сохранить определенное рассогласование в приводах координат. Одна из координат станка (обычно главный привод) служит задающей и на ней устанавливают измерительный преобразователь (датчик). Такая система входит как составной элемент в УЧПУ токарно-винторезных станков для обеспечения режима нарезания резьбы.

Универсальное управление сочетает в себе принципы позиционного и контурного, позволяет осуществлять позиционирование и движение рабочих органов станка по заданной траектории. Такое управление наиболее эффективно для многооперационных и многоцелевых станков.

По числу потоков информации системы могут быть [25]:

1. Разомкнутые (один поток от ЧПУ к станку). Основное преимущество такой системы — простота.
2. Замкнутые (два потока от ЧПУ к станку) и наоборот (датчики положения скорости). Основное преимущество — более точное перемещение исполнительных органов.
3. Адаптивные (самонастраивающиеся) системы. Представляют собой управление, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям. Они помимо основного потока информации имеют дополнительные, позволяющие корректировать процесс обработки с учетом деформации технологической системы, затупления режущего инструмента, колебания припуска и твердости заготовок и др.

По способу реализации системы ЧПУ укрупненно можно классифицировать следующим образом: системы с аппаратной реализацией алгоритмов управления; системы, построенные на основе микроконтроллеров; системы, построенные на основе ПЭВМ.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)