

ТОП
50

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Учебник



В. Б. Мещерякова



**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ
НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
ПО СТАДИЯМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА**

В. Б. МЕЩЕРЯКОВА

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПО СТАДИЯМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

УЧЕБНИК

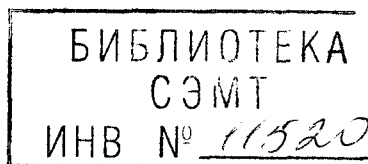
Рекомендовано

*Федеральным государственным бюджетным учреждением
«Федеральный институт развития образования» в качестве
учебника для использования в образовательном процессе
образовательных организаций, реализующих программы
среднего профессионального образования по профессии
«Оператор станков с программным управлением»*

*Регистрационный номер рецензии 139
от 28 июня 2018 г. ФГБУ «ФИРО»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2018



УДК 621.9(075.32)
ББК 34.630.2я722
М565

Рецензент —

преподаватель кафедры «Технология машиностроения»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный технологический
университет «Станкин» В. И. Левчук

Мещерякова В. Б.

М565 Изготовление деталей на металлорежущих станках с программным управлением по стадиям технологического процесса : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Б. Мещерякова. — М. : Издательский центр «Академия», 2018. — 320 с.

ISBN 978-5-4468-7320-3

Учебник подготовлен в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по профессии из списка ТОП-50 «Оператор станков с программным управлением».

Учебник предназначен для изучения профессионального модуля «Изготовление деталей на металлорежущих станках с программным управлением по стадиям технологического процесса».

Рассмотрены этапы автоматизации металлорежущих станков, структура и принципы построения станков с числовым программным управлением и станочных систем, классификация станков и систем управления, виды программного обеспечения, конструкция узлов станков с числовым программным управлением, этапы, задачи и методы подготовки управляющих программ. Приведены характеристики отдельных деталей и методика анализа их чертежей в целях выбора станка с числовым программным управлением для изготовления этих деталей, решаемые задачи и правила создания маршрутной и операционной технологий для станков с числовым программным управлением, применяемые режущие инструменты, инструментальная и технологическая оснастка. Освещены структура построения управляющей программы и функции программирования в коде ISO, методики действий оператора на этапах проведения настройки станков с числовым программным управлением, особенности их обслуживания и ремонта.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.9(075.32)
ББК 34.630.2я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Мещерякова В. Б., 2018
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2018
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2018

ISBN 978-5-4468-7320-3

Уважаемый читатель!

Вы держите в руках учебник, который был подготовлен Издательским центром «Академия» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) в рамках реализации комплексного проекта подготовки кадров по 50 наиболее востребованным на рынке труда, новым и перспективным профессиям и специальностям среднего профессионального образования.

Одной из задач проекта является обновление содержания профессионального образования с учетом профессиональных стандартов, современных методик и технологий. При разработке ФГОС также учитывались требования международных конкурсов профессионального мастерства, включая чемпионаты «Молодые профессионалы» (WorldSkills и WorldSkills Russia).

Издательский центр «Академия» является лидером по выпуску учебных материалов для СПО в Российской Федерации. Более двадцати лет наши издания помогают студентам овладевать знаниями, умениями и навыками по рабочим профессиям и специальностям. Стремясь идти в ногу со временем, издательство предлагает не только печатные издания, но и электронные учебники, электронные учебно-методические комплексы и виртуальные практикумы.

Интерактивная форма подачи информации с учетом последних методик и тенденций в преподавании — отличительная особенность и визитная карточка Издательского центра «Академия» на российском рынке.

Мы надеемся, что данный учебник будет полезен студентам, облегчит задачу преподавателей, а также поможет специалистам, которые стремятся расти и развиваться в выбранной ими области, достичь новых профессиональных вершин.

Предисловие

Перед современным машиностроением стоят задачи увеличения выпуска промышленных изделий и повышения производительности общественного труда в условиях усиления конкуренции при выходе на международный рынок. Решение этих задач осложняется факторами сокращения численности рабочих и снижения их квалификации при повышении стоимости рабочей силы и падении престижа ручного труда. Поэтому существует возрастающая необходимость автоматизации управления технологическим оборудованием, особенно в условиях среднесерийного и мелкосерийного производства.

Развитие электроники и вычислительной техники, внедрение в производство микропроцессорных систем привело к разработке и применению в промышленности металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Функциональные возможности современных систем ЧПУ позволили разработать станки с широкими технологическими возможностями и высоким уровнем автоматизации их управления.

Эксплуатация многокоординатных многоцелевых станков с ЧПУ, предназначенных для обработки высокоточных сложных изделий, позволяет сделать производство высокоэффективным при минимальных трудовых рабочих ресурсах.

Разработанные на базе многоцелевых станков с ЧПУ станочные системы, имеют наряду с высокой производительностью высокую мобильность, что позволяет автоматизировать среднесерийное и мелкосерийное производства и реализовать безлюдную технологию.

Применение станков с ЧПУ коренным образом изменило технологическую подготовку производства, которая стала сферой инженерного труда. Значительно возросли сложность технологических задач и трудоемкость их решения. Применение этих станков обусловило ряд особенностей при проектировании технологических процессов обработки заготовок.

Оператору доверяется очень сложный станок с ЧПУ высокой стоимости, поэтому он должен иметь соответствующую квалифи-

еще. Он следит не только за процессом обработки на станке, но и выполняет настройку станка с ЧПУ на изготовление конкретной детали. При этом он использует информацию современных измерительных систем, которыми оснащен станок, и осуществляет коррекцию управляющих программ.

Оператор станка с ЧПУ должен уметь разрабатывать технологический процесс изготовления несложных деталей и на его основе готовить управляющие программы. Для этого он обязан владеть навыками оперативного и диалогового программирования и уметь выполнять их непосредственно на станке при использовании пультового устройства числового программного управления (УЧПУ).

Хорошее знание инструментальной и технологической оснастки, применяемой на станке с ЧПУ, также необходимо для правильного проведения технологического процесса по управляющей программе. Поэтому подготовка квалифицированного специалиста-оператора является необходимой при эксплуатации станков с программным управлением.

I

РАЗДЕЛ

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 1. Основные понятия и определения

Глава 2. Основные виды обработки заготовок
и принципы построения
металлорежущих станков с числовым
программным управлением
и станочных систем

Глава 3. Система числового программного
управления

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ

Металлорежущие станки для обработки деталей методом резания являются основным видом технологического оборудования. Для автоматизации управления процессом изготовления деталей необходимы станки с автоматическим управлением, обладающие высокой производительностью и одновременно имеющие высокую мобильность (возможность быстрой переналадки при переходе на изготовление новых деталей).

Важной задачей при проектировании металлорежущих станков с автоматическим управлением является выбор и разработка соответствующей системы программного управления (ПУ) станками.

Эта задача решается исходя:

- из анализа функций, выполняемых оператором на станке;
- вида изготавливаемых деталей и их числа (массовое, крупносерийное, среднесерийное, мелкосерийное производство);
- типа станков (токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, многоцелевые и др.);
- технических и технологических возможностей применяемых станков (размеров обрабатываемых заготовок, их материала, типа и количества необходимых режущих инструментов, требований по точности обработки).

Ранее изготовление деталей в среднесерийном и особенно мелкосерийном производстве производилось в основном на универсальных станках, где управление осуществлялось оператором вручную с использованием большого количества различных руко-

яток и кнопок управления. При этом им выполнялся достаточно большой объем функций управления.

Осуществляя наладку станка, оператор на основе чертежа детали или технологической карты, разработанной технологом, подбирает и устанавливает необходимые режущие инструменты, приспособления для зажима заготовки, режимы обработки (частоту вращения шпинделя, величины подач), устанавливал и закреплял на рабочем органе станка заготовку.

В процессе обработки заготовки оператор включал и отключал станок, подводил перед обработкой и отводил после обработки с помощью рукояток рабочие органы станка, включал и отключал подачу смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), осуществлял рабочую подачу инструмента. При необходимости переключал режимы резания, вводил в работу другие режущие инструменты, а также проводил промежуточный контроль точности обработки заготовки.

После окончания обработки заготовки оператор отключал подачу СОЖ, останавливал станок, разжимал и снимал изготовленную деталь, проводил ее окончательный контроль, удалял стружку, проводил, если необходимо, регулировку и поднастройку узлов станка, их смазку и готовился к изготовлению следующей детали.

Главными недостатками управления станком вручную являются низкая производительность и нестабильное качество обработки заготовок.

В массовом и крупносерийном производстве выпускается множество одинаковых деталей (сотни тысяч и даже миллионы штук). Однако таких деталей в машиностроении относительно немного (20... 25 %).

Развитие и применение систем автоматического управления станками первоначально происходило в основном для изготовления деталей именно этих производств. Для достижения высокой производительности были разработаны высокопроизводительные полуавтоматы, автоматы, автоматические линии, цехи-автоматы и даже заводы-автоматы, которые без переналадки должны в течение длительного срока изготавливать одинаковые детали (рис. 1.1). Однако решить одновременно задачи — повышения производительности и мобильности — было невозможно.

Большая же часть деталей изготавливается в среднесерийном и мелкосерийном производстве (несколько сотен или даже несколько десятков штук). При этом номенклатура этих деталей (размеры, форма, материал, точность обработки) очень большая. Поэтому металлорежущие станки, на которых изготавливаются данные детали, должны быть широкоуниверсальными и иметь высо-

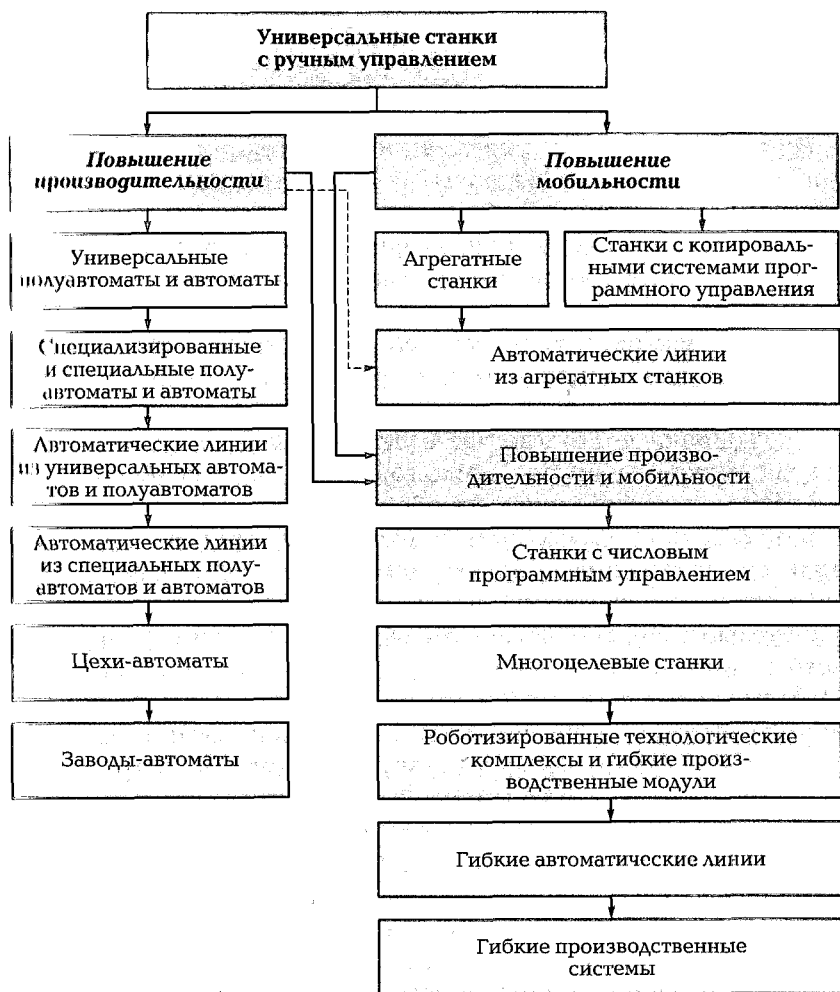


Рис. 1.1. Развитие систем автоматического управления станка

кую мобильность. Долгое время (до появления станков с ЧПУ) автоматизация управления такими станками была затруднена. Во многих случаях приходилось жертвовать производительностью этих станков в целях получения большей мобильности.

Ранее изготовление деталей в среднесерийном и особенно мелкосерийном производстве производилось в основном на универсальных станках с ручным управлением и только в ряде случаев применялись агрегатные станки с системами циклового програм-

много управления (ЦПУ) и станки со следящими копировальными системами управления (см. рис. 1.1). Считалось практически невозможным создать станок с системой ПУ, который обладал бы высокой производительностью и высокой мобильностью.

При автоматическом управлении все функции, выполняемые станком, или бóльшая их часть должны выполняться системой программного управления. Ее задачами при этом являются: получение информации о цели управления; анализ этой информации и выработка порядка управления; выполнение принятого порядка управления.

Поэтому **систему программного управления** можно определить как комплекс устройств и средств связи, обеспечивающих точное и согласованное во времени взаимодействие исполнительных механизмов в соответствии с управляющей программой (УП), разработанной на основе принятой технологической операции или технологического процесса обработки.

В любом металлорежущем станке с автоматическим управлением по назначению, характеристикам и принципам работы, а значит, и по управлению выделяют следующие группы его исполнительных механизмов: формообразующие, манипулирующие и вспомогательные.

Формообразующие механизмы — рабочие органы станка, связанные с формообразованием детали и с процессами позиционирования. Они перемещают заготовку или режущий инструмент по заданным координатам во время обработки или перед ней.

Манипулирующие механизмы — предназначены для выполнения постоянных команд, связанных с автоматическим циклом работы станка. Они изменяют режимы резания, направления и скорость перемещения рабочих органов, производят смену режущих инструментов, заготовок, охлаждение инструмента и др. Такие устройства имеют неизменную систему своего управления, однако момент ввода в действие и последовательность их работы могут быть различными. Это определяется программой работы цикловой автоматики станка.

Вспомогательные механизмы — обслуживают процесс обработки: уборка стружки, смазка, работа гидравлических схем и др.

Основой управления является план цикла обработки детали и перечень команд управления.

Управляющая программа — последовательность команд, обеспечивающая заданное функционирование рабочих органов станка. Она включает размерную, технологическую и вспомогательную информацию.

Программоноситель — элемент или комплекс элементов, несущих УП.

Для управления металлорежущими станками были разработаны следующие системы управления:

- механические и следящие копировальные системы управления;
- системы управления с распределительным валом (РВ) или кулачковые;
- системы циклового программного управления (ЦПУ);
- системы числового программного управления.

Первыми системами программного управления, позволившими автоматизировать работу только одного рабочего органа станка, несущего режущий инструмент, были **механические копировальные системы** (рис. 1.2). В качестве программноносителя, несущего на себе данные для управления, здесь применялся плоский кулачок, выполняющий роль копира 5.

При перемещении продольного суппорта 2 с продольной подачей $s_{пр}$ щуп 4, закрепленный как и резец на поперечном суппорте 3, скользит по поверхности копира 5. В результате происходит поперечная подача $s_{поп}$ суппорта 3 и обработка заготовки 1 аналогично профилю копира. Как видно из рисунка, копир в механических копировальных системах выполняет две функции: управления перемещением поперечного суппорта и его рабочую подачу.

Последнее являлось большим недостатком, так как копир воспринимал силу резания и в результате повышался его износ и снижалась точность обработки заготовки. Поэтому копир часто приходилось делать стальным и для снижения износа проводилась его термообработка. Изготовление копиров являлось трудоемким процессом. Другим недостатком этих систем являлась необходимость

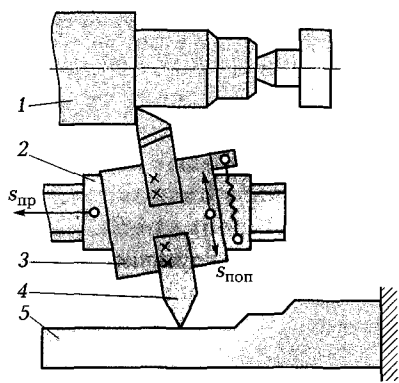


Рис. 1.2. Схема и принцип работы механической копировальной системы:
1 — заготовка; 2 — продольный суппорт;
3 — поперечный суппорт; 4 — щуп; 5 — копир

после каждого цикла обработки отводить копир или суппорт в исходное положение и снова подводить щуп к поверхности копира. Это перемещение являлось дополнительным холостым ходом и снижало производительность обработки.

Указанные системы управления были все же более высококомбинированными и производительными по сравнению с обычными универсальными станками.

Чтобы исключить недостатки, связанные с необходимостью возвратно-поступательного перемещения копира, и получить возможность управлять несколькими рабочими органами станка, было предложено свернуть плоский кулачок и установить его на вал (появился барабанный кулачок) (рис. 1.3, а). Барабанный кулачок 3, поворачиваясь на валу через башмак 2, перемещал суппорт 1. При выполнении одного оборота кулачок сразу готов для выполнения следующего цикла.

Барабанные кулачки получились не очень удобными из-за их больших осевых размеров, поэтому были разработаны и получили более широкое применение дисковые кулачки (рис. 1.3, б). Кулачок 1 через качающийся толкатель 2, зубчатый сектор 3 и рейку перемещает суппорт 4. Обратный ход обеспечивается пружиной 5.

Несколько кулачков (как барабанных, так и дисковых) в соответствии с разработанной циклограммой работы станка устанавли-

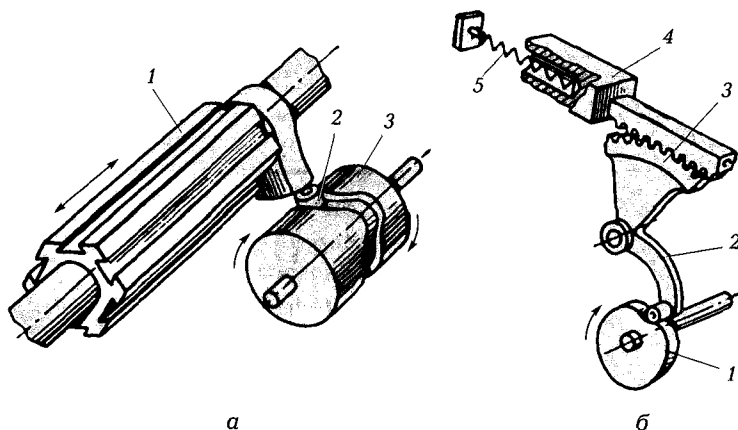


Рис. 1.3. Схемы кулачковых механизмов и принцип работы кулачковых систем ПУ:

а — с цилиндрическим (барабанным) кулачком: 1 — суппорт; 2 — башмак; 3 — барабанный кулачок; б — с дисковым кулачком и качающимся толкателем: 1 — кулачок; 2 — качающийся толкатель; 3 — зубчатый сектор; 4 — суппорт; 5 — пружина

линии на одном валу, который назвали распределительным. Количество кулачков могло быть более 10 штук. Такие системы управления называются **кулачковыми** или **системами с распределительным валом**.

В результате появилась возможность последовательно и одновременно управлять работой нескольких рабочих органов станка, что значительно повысило производительность станка и, как следствие, расширило его технологические возможности. Недостатком кулачковых систем ПУ является большая трудоемкость проектирования и изготовления кулачков и их последующей установки и наладки на автомате. Последнее выполняется непосредственно на автомате, который длительное время простаивает.

Кулачки в этих системах, так же как и копир в механических копировальных системах, воспринимают силы резания, что требует их соответствующего изготовления и учета этого при эксплуатации автомата.

Кулачковые системы ПУ получили широкое применение для автоматизации самого разнообразного технологического оборудования в разных отраслях промышленности. Для механической обработки резанием до сих пор эффективно применяются автоматы продольного точения, токарно-револьверные автоматы, многошпиндельные полуавтоматы и автоматы и др. Автоматы с этими системами ПУ достаточно просты и надежны, имеют низкую стоимость. Особенно эффективно полуавтоматы и автоматы с кулачковыми системами ПУ применяются в массовом и крупносерийном производстве, где их переналадка производится очень редко. На базе этих станков были построены автоматические линии и даже цехи.

Учитывая большую трудоемкость изготовления кулачков и необходимость их наладки непосредственно на автомате, была сделана попытка разработать системы ПУ, в которых программноноситель состоит из двух частей. Первоначально эти системы управления назывались системами управления упорами. В настоящее время они называются **системами циклового программного управления**.

Размерная информация в этих системах задается путевыми упорами 1, устанавливаемыми в пазах специальной линейки 2, закрепленной на каждом рабочем органе 3 станка (рис. 1.4, а). Упоры определяют начало и конец холостого и рабочего ходов, воздействуя на конечные выключатели, собранные в блоке 4.

Технологическая информация (направление вращения шпинделя, подача смазочно-охлаждающих технологических средств

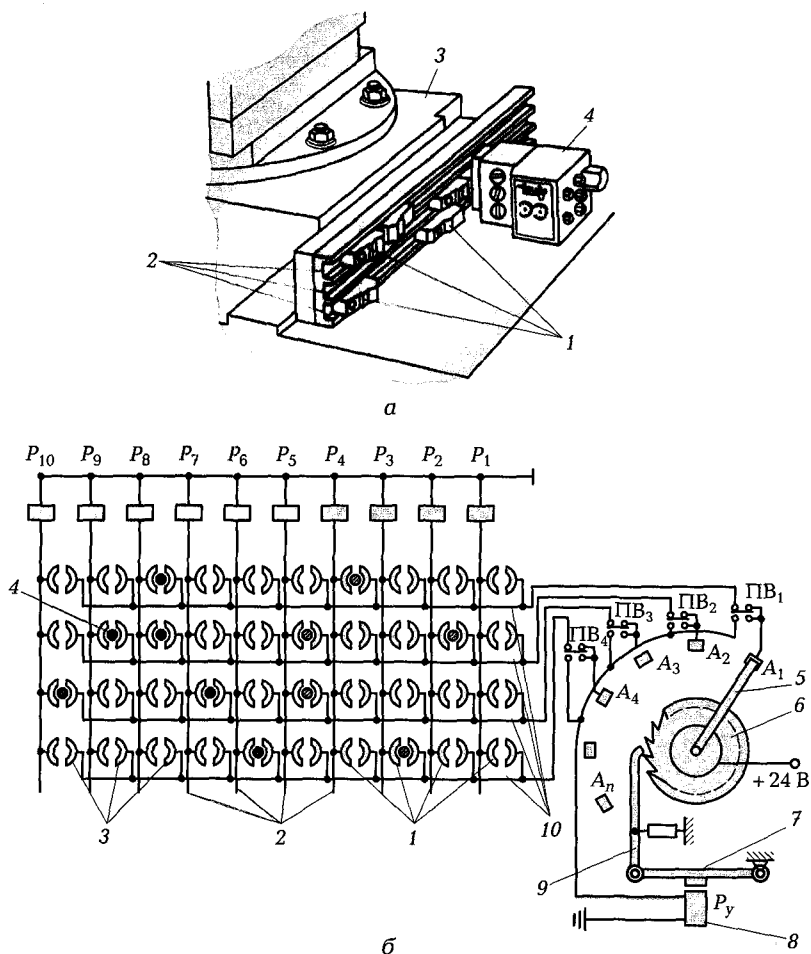


Рис. 1.4. Система циклового программного управления:

a — линейка с путевыми упорами: 1 — путевые упоры; 2 — линейка; 3 — рабочий орган станка; 4 — блок конечных выключателей; *б* — штекерная панель и шаговый искатель: 1 — левые половинки гнезд; 2 — столбцы; 3 — правые половинки гнезд; 4 — штекеры; 5 — щетка; 6 — храповое колесо; 7 — якорь; 8 — электромагнит; 9 — собачка; 10 — строки

(СОТС), частота вращения шпинделя, рабочая подача и др.) задается на второй части программноносителя в виде пульта с переключателями или штекерами с 10 гнездами (рис. 1.4, б).

Цепи питания гнезд составляют столбцы 2 и строки 10 штекерной панели. Левые половинки 1 гнезд присоединены к реле

$P_{10} \dots P_1$, правые половинки 3 — к контактам $A_1 \dots A_n$ шагового искателя. При касании щетки 5 шагового искателя одного из контактов А, правые половинки гнезд соединяются с источником питания 24 В, но под напряжением окажутся реле, связанные с гнездами, в которые вставлены штекеры 4. При положении щетки 5, показанном на схеме, включены реле P_4 и P_8 . Реле дают команды на включение электромагнитных муфт или других исполнительных элементов, а они приводят в движение рабочие органы станка.

Рабочие органы перемещаются, и упор нажимает на путевой выключатель ПВ₁. При этом разомкнется цепь питания реле P_4 и P_8 и замкнется цепь электромагнита 8, который, притягивая якорь 7, через собачку 9 повернет храповое колесо 6, и щетка 5 перейдет на контакт A_2 шагового искателя. Под напряжением окажутся гнезда, присоединенные к реле P_9, P_8, P_5, P_2 второй строки штекерной панели, и будут осуществляться другие технологические функции станка.

Преимущество систем ЦПУ по сравнению с другими в том, что не требуется для каждой детали изготавливать новые кулачки и копиры, а нужно переставить те же упоры в новое положение на линейках. Для того чтобы не делать этого непосредственно на станке, линейки с упорами выполняют съемными и их настройка делается заранее вне станка. Установка новой технологической информации на пульте управления производится достаточно быстро.

Недостатком системы является то, что обработку заготовок на станках с этими системами можно производить только по прямоугольному циклу перемещений, поэтому можно обрабатывать сравнительно простые детали. Кроме того, сложно совмещать рабочие и холостые ходы рабочих органов станка, что снижает производительность обработки.

До появления станков с ЧПУ этими системами оснащались токарные, фрезерные и ряд других станков. В настоящее время они применяются в основном на агрегатных станках и на автоматических линиях из агрегатных станков.

После того как был предложен и разработан принцип работы следящей системы, в станкостроении получили широкое применение **следящие копировальные системы программного управления** станками (рис. 1.5). При их использовании можно автоматизировать обработку более сложных деталей. В отличие от механических копировальных систем ПУ (см. рис. 1.2) копир 5 в этих системах выполняет только функцию управления. Функцию рабочей подачи режущего инструмента выполняет специальный силовой

следящий привод (электродвигатель) 3, который может быть электрическим и гидравлическим. Это позволило значительно упростить изготовление копира даже для управления обработкой сложных объемных деталей.

Копир 8 и заготовка 1 в показанной на рис. 1.5 схеме установлены на рабочем столе 9, имеющем постоянную задающую подачу $s_{зад}$. На рисунке показано согласованное положение щупа 7 и фрезы со шпиндельной бабкой 2.

При перемещении стола на величину Δl щуп 7, скользя по поверхности копира 8, поднимается вверх относительно копировальной головки 6 на величину Δh . В результате в ней возникает сигнал рассогласования 4, который подается на силовой следящий привод 3. Он начинает перемещать шпиндельную бабку 2 с фрезой, обеспечивая рабочую подачу $s_{сч}$. Вместе со шпиндельной бабкой перемещается и копировальная головка 6, связанная со шпиндельной бабкой жесткой механической обратной связью 5. Как только копировальная головка установится в первоначальное согласованное положение со щупом 7, сигнал рассогласования становится равным 0 и электродвигатель 3 останавливается.

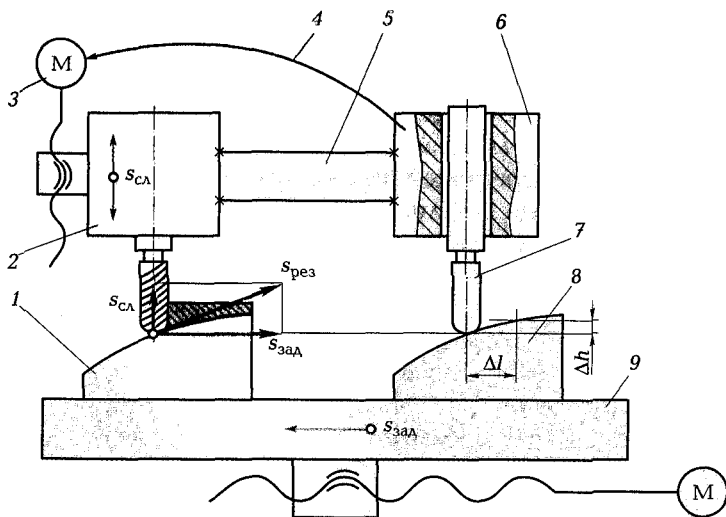


Рис. 1.5. Принцип работы следящей копировальной системы фрезерного станка:

1 — заготовка; 2 — шпиндельная бабка; 3 — привод (электродвигатель); 4 — сигнал рассогласования; 5 — механическая обратная связь; 6 — копировальная головка; 7 — щуп; 8 — копир; 9 — рабочий стол

При последующем перемещении стола еще на величину Δl цикл работы повторяется, т. е. фреза хотя и с небольшим отставанием, определяется чувствительностью системы управления, следует за перемещением шпула.

Следящие копировальные системы ПУ благодаря указанным преимуществам были до появления систем ЧПУ наиболее мобильными. На их основе строились токарно-копировальные и копировально-фрезерные станки, широко применяемые в машиностроении.

Однако после разработки систем ЧПУ выпуск станков со следящими копировальными системами практически прекратился из-за указанных ранее недостатков этих систем.

Анализ рассмотренных систем ПУ показывает, что их главный недостаток — необходимость преобразования информации чертежа детали в аналоговый вид на физически изготавливаемых программноносителях. Это приводит к погрешности обработки (из-за погрешности при изготовлении кулачков, копира, расстановки шпоров и их последующего износа) и затрудняет автоматизацию всего цикла процесса обработки.



МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Развитие электроники и вычислительной техники, внедрение в производство микропроцессорных систем привело к разработке и широкому применению в промышленности металлорежущих станков с ЧПУ и построенных на их основе многоцелевых станков, роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС), имеющих при достаточно высокой производительности высокую мобильность.

Основной фактор, обусловивший необходимость применения станков с ЧПУ, — это потребность автоматизации металлообработки в средне- и мелкосерийном производствах. Наряду с этим использование в промышленности высокопрочных, труднообрабатываемых сталей, требующих оптимальных режимов работы станков и новых режущих материалов, позволяющих получать высокие скорости резания, также являлось фактором, оказавшим существенное влияние на развитие ЧПУ.

Числовым программным управлением станком в соответствии с ГОСТ 20523—80 «Устройства числового программного

БИБЛИОТЕКА
СЭМТ 17

управления станками. Термины и определения» называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

Под **системой числового программного управления (СЧПУ)** понимают совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станком.

Основой системы ЧПУ является **устройство числового программного управления**, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта, получаемой с помощью измерительных систем.

Структура построения станка с ЧПУ показана на рис. 1.6.

Под **управляющей программой** понимается совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

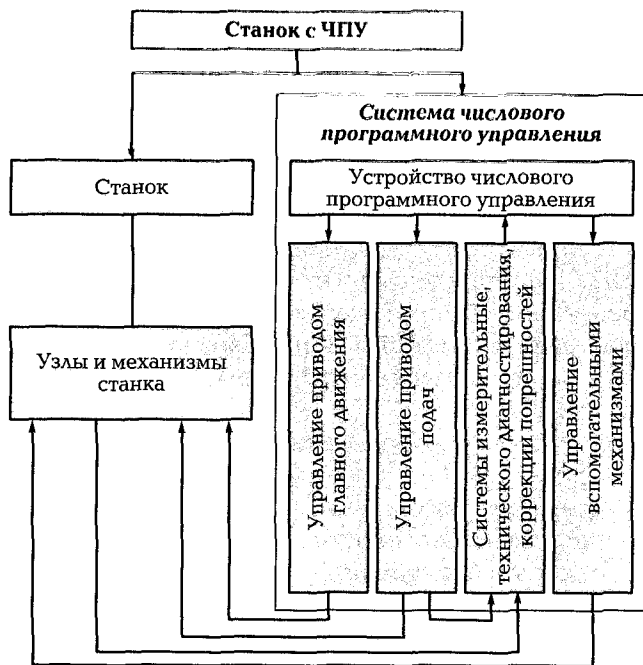


Рис. 1.6. Структура построения станка с числовым программным управлением

Управляющая программа записывается и вводится в систему ЧПУ с помощью программносителя, в качестве которого могут применяться перфолента, магнитная лента, магнитный диск и записывающие устройства разных типов. В ряде случаев УП может составляться оператором непосредственно на пульте устройства ЧПУ.

Таким образом, *системы ЧПУ* имеют следующие *особенности*:

- вся информация (размерная, технологическая, вспомогательная) вводится в УЧПУ в цифровом виде;
- указанная информация УП вводится автоматически, поэтому она должна быть полностью определена и с помощью программносителя введена в память УЧПУ;
- преобразование данных УП в управляющие команды и контроль выполнения этих команд выполняет УЧПУ.

Применение станков с ЧПУ коренным образом изменило технологическую подготовку производства, которая стала сферой инженерного труда. Значительно возросли сложность технологических задач и трудоемкость их решения. Применение этих станков обусловило ряд особенностей при проектировании технологических процессов обработки заготовок на этих станках (см. разд. IV).

Важной отличительной особенностью систем ЧПУ является отсутствие необходимости преобразования цифровой информации чертежа детали в другой вид при проектировании программносителя и необходимости его изготовления в виде физического аналога. Это позволяет полностью автоматизировать процесс изготовления детали с возможностью быстрого перехода станка с одной детали на другую.

В общем виде процесс подготовки и работы станка с ЧПУ можно представить, рассматривая его как процесс передачи и преобразования информации в системе «чертеж детали — готовая деталь» (рис. 1.7).

Технолог-программист на основании чертежа детали, а также информации из нормалей, ТУ, РТМ, ГОСТ, характеристик станков с ЧПУ проводит подготовку исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления заданной детали с разработкой маршрутной и операционной технологий, расчетом траекторий перемещений рабочих органов станка с режущим инструментом и заготовкой, кодирование полученной информации и ее запись на программноситель, оформление расчетно-технологической карты.

В процессе разработки технологического процесса обработки производится выбор и последующая наладка на станке режущих

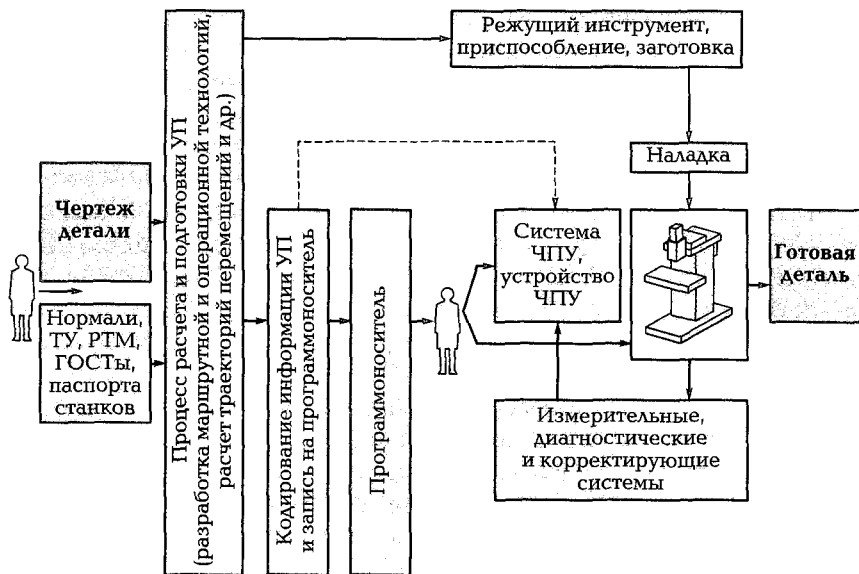


Рис. 1.7. Схема процесса передачи преобразования информации в системе «чертеж детали — готовая деталь»

инструментов и приспособлений. После этого проводятся отладка и контроль УП и разработанного технологического процесса с последующей обработкой на станке контрольных деталей.

Система ЧПУ на основе разработанной УП управляет станком при обработке всей партии изготавливаемых деталей. Современные системы ЧПУ обеспечивают широкий круг функциональных возможностей станка с ЧПУ. Система производит управление формообразующими, манипулирующими и вспомогательными механизмами станка. В процессе управления могут осуществляться:

- техническое диагностирование системы управления;
- техническое диагностирование узлов станка, режущего инструмента;
- измерение обрабатываемых деталей непосредственно на станке;
- измерение действительного положения режущего инструмента;
- измерение погрешностей станка с целью их последующей коррекции, адаптивное управление.

Для предотвращения поломок и безопасной работы оператора на станке с ЧПУ применяются различные системы контроля и блокировок (например, контроль правильности зажима заготовки или оправки с инструментом, ограничения максимального

ходы рабочих органов станка, закрытия щитка рабочей зоны станка и др.).

Однако при этом оператору доверяется очень сложный станок с ЧПУ высокой стоимости. Функции оператора заключаются в подборе требуемых режущих инструментов и приспособлений для проведения соответствующего управляющей программе технологического процесса, проведения настройки станка на изготовление конкретной детали согласно расчетно-технологической карте, на ввод данных в УЧПУ и проведение коррекции, установки заготовки и съема готовой детали, наблюдении за работой станка.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое система программного управления станком и какие факторы влияют на ее разработку?
2. Какие системы ПУ использовались для управления станками?
3. Какая первая система ПУ была разработана для управления станками? Расскажите о ее достоинствах и недостатках.
4. Какие виды кулачков использовались в системах с РВ?
5. Что такое шаговый искатель? В какой системе ПУ он использовался и для чего?
6. Какая система ПУ является самой производительной и мобильной? Дайте ее определение.
7. Что такое числовое программное управление станком и какие особенности систем ЧПУ вы знаете?

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ

2.1. РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Применение систем ЧПУ оказало влияние на дальнейшее совершенствование и развитие компоновки станков, конструктивных решений их узлов и механизмов.

Широкие функциональные возможности систем ЧПУ позволили разработать станки с широкими технологическими возможностями и высоким уровнем автоматизации их управления. Практически одновременно с единичными станками были разработаны различные станочные системы, имеющие наряду с высокой производительностью высокую мобильность, что позволило эффективно применять их для автоматизации обработки заготовок в среднесерийном и мелкосерийном производстве.

Опыт освоения станков с ЧПУ можно характеризовать выпуском станков следующих поколений.

Первое поколение — металлорежущие станки общего назначения, переоборудованные под оснащение их устройствами ЧПУ, но с ограниченными технологическими возможностями (отсутствие автоматической смены инструмента, коррекции и др.).

Второе поколение — станки, спроектированные с учетом специфических требований ЧПУ к конструкции станка, в которых предусматривают возможность комплексной обработки детали, коррекцию износа инструмента, автоматическую смену инструмента и др.

Третье поколение — станки, предназначенные для встраивания их в автоматизированные участки. В конструкции станков предусматривается возможность автоматической загрузки, раз-

гружки и транспортирования заготовок, быстрой смены программ, перепроладок станка и др.

В зависимости от степени автоматизации выполнения всего процесса обработки детали станки с ЧПУ можно объединить в следующие группы:

- **станки с ЧПУ** — автоматизация управления отдельной операцией;
- **многоцелевые станки с ЧПУ** — автоматизация управления рядом операций;
- **станочные системы** (гибкие производственные модули, роботизированные технологические комплексы, гибкие производственные ячейки и др.) — автоматизация управления процессом полной механической обработки детали.

Первоначально были разработаны и применялись станки с ЧПУ разного типа (токарные, сверлильные, расточные, шлифовальные и др.), структура которых была показана на рис. 1.6.

2.2. ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

Предназначены в основном для обработки поверхностей вращения: цилиндрических, конических, фасонных, винтовых, торцевых.

Формообразование поверхностей заготовок точением осуществляется двумя движениями: вращательным движением D_r (рис. 2.1) заготовки (главное движение резания) и поступательным движением резца (движение продольной $D_{s_{пр}}$ или поперечной $D_{s_{п}}$ подачи). Данная обработка производится на токарных станках с ЧПУ, которые могут быть токарно-револьверные, токарно-карусельные и др. (рис. 2.2).

Заготовка на этих станках устанавливается в патроне (или в цанге) на шпинделе 1 (см. рис. 2.2, а) станка и получает вращательное движение с заданной частотой $+C'$, определяемой выбранной скоростью резания; в токарно-карусельных станках заготовка устанавливается на вращающемся столе-карусели 1 (см. рис. 2.2, б). Режущие инструменты устанавливаются на суппортах 2 или в револьверной головке и получают движение подачи параллельно оси вращения заготовки (продольная подача по координате $+Z$), перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная подача по координате $+X$).

Токарные станки по технологическому назначению и типам обрабатываемых заготовок подразделяют на патронные, патронно-центровые (центровые), карусельные, прутковые.

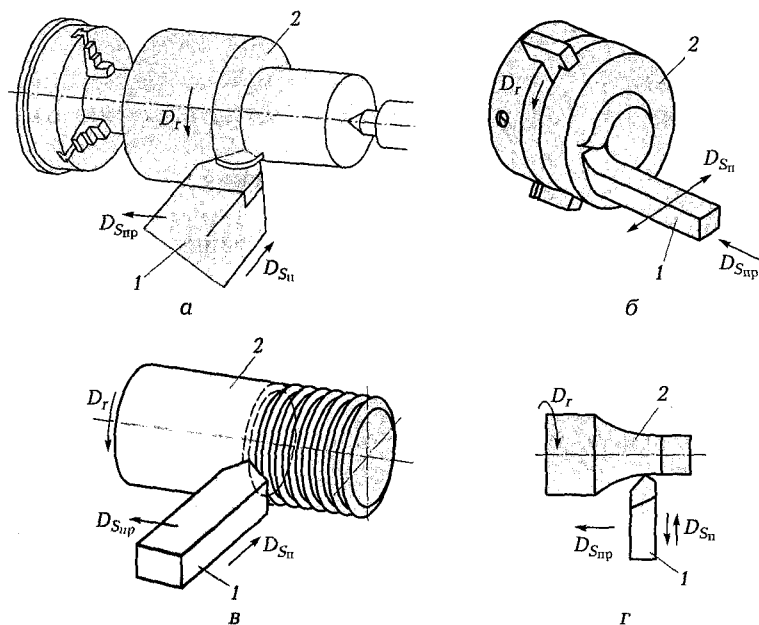


Рис. 2.1. Схемы формообразования поверхностей резанием на токарных станках:

a — продольная обработка; *б* — поперечная обработка; *в* — нарезание резьбы; *г* — обточка фасонной поверхности; 1 — инструмент; 2 — заготовка

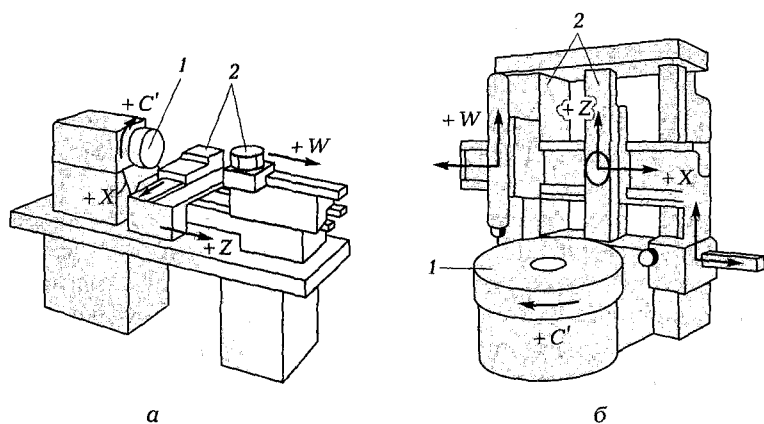


Рис. 2.2. Примеры токарных станков:

a — токарно-револьверный; 1 — шпиндель; 2 — суппорт; *б* — токарно-карусельный; 1 — вращающийся стол-карусель; 2 — суппорт

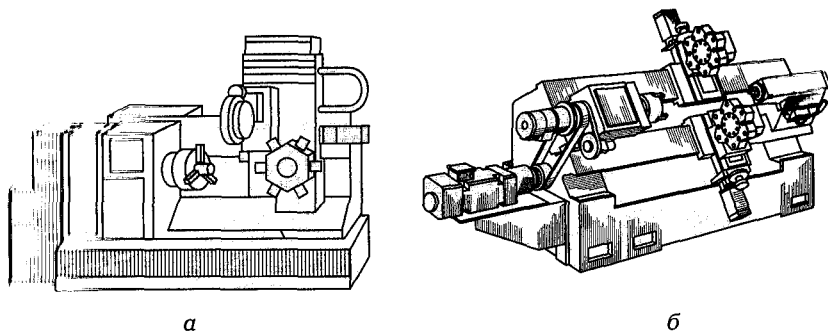


Рис. 2.3. Компоновки станков с числовым программным управлением токарной группы:

а — патронный станок; *б* — патронно-центровой (центровой) станок

В зависимости от отношения длины обработки L к диаметру D различают: при $L/D = 0,25 \dots 1,0$ патронные станки (рис. 2.3, *а*), а при $L/D = 1 \dots 10$ и более — патронно-центровые (центровые) станки (рис. 2.3, *б*).

Патронные станки служат для обработки заготовок типа зубчатых колес, фланцев, шкивов. Обрабатываются как наружные, так и внутренние поверхности.

Центровые станки служат для обработки заготовок типа валов с прямолинейными и криволинейными контурами. Обрабатываются только наружные поверхности заготовок. Для поддержания правого конца изготавливаемого вала и снижения его прогиба на станке применяется задняя бабка, а при значительной длине применяется люнет.

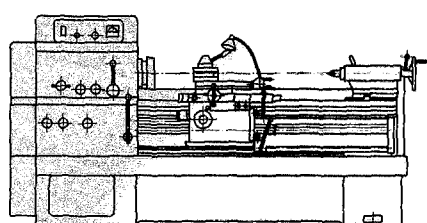
Токарно-карусельные станки (см. рис. 2.2, *б*) предназначены для обработки крупных тяжелых заготовок, у которых отношение длины (высоты) заготовки к диаметру составляет $0,3 \dots 0,5$. Это заготовки рабочих колес водяных и газовых турбин, зубчатых колес, маховиков. Особенностью станков является наличие вращающегося стола-карусели *1* с вертикальной осью вращения и с закрепленной на ней заготовкой.

В прутковых токарных станках с ЧПУ в качестве заготовки применяются прутки длиной порядка 3 м.

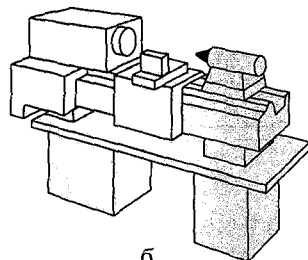
В составе токарной группы станков с ЧПУ можно выделить следующие подгруппы.

1. *Токарные станки с диаметром устанавливаемой детали на станиной 320...1 000 мм* (рис. 2.4, *а*). Предназначены для обработки деталей типа валов, дисков, которые закрепляются в центре,

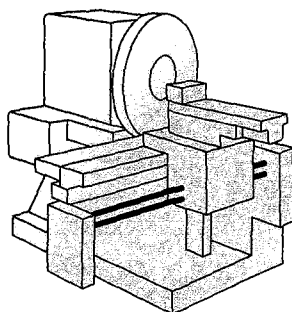
патроне или планшайбе. На этих станках можно выполнять продольное и поперечное точение, прорезку, обработку конусов, фасонное точение и нарезание резьбы.



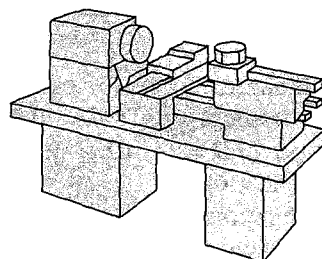
a



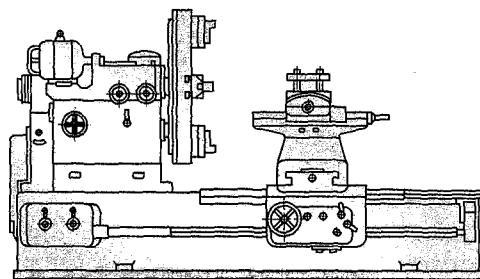
б



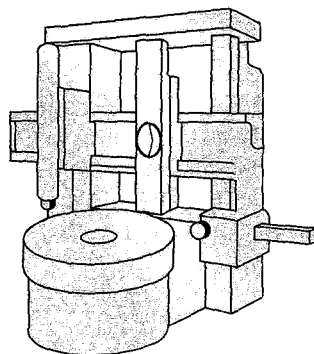
в



г



г



е

Рис. 2.4. Токарные станки с числовым программным управлением:

a — с диаметром устанавливаемой детали над станиной 320...1 000 мм; *б* — патронные и центровые полуавтоматы с диаметром обрабатываемой детали над суппортом 160...400 мм; *в* — патронные полуавтоматы с диаметром обрабатываемой детали над станиной 200...630 мм; *г* — токарно-револьверные с диаметром обрабатываемого прутка 16...40 и 25...65 мм; *г* — лоботокарные с диаметром устанавливаемой детали над станиной 1 000...1 250 мм; *е* — токарные с диаметром обрабатываемой детали над станиной 1 250...8 000 мм

2. *Токарные автоматы и полуавтоматы.* Служат для изготовления деталей из пруткового и трубчатого материала или из предварительно обработанных заготовок. Здесь можно выделить:

- токарные патронные и центровые полуавтоматы с диаметром обрабатываемой детали над суппортом 160...400 мм (рис. 2.4, б);
- токарные патронные полуавтоматы с диаметром обрабатываемой детали над станиной 200...630 мм (рис. 2.4, в).

3. *Токарно-револьверные (прутково-патронные) станки и автоматы.* Используются для обработки заготовок, где отношение L/D во много раз больше 1:1 и имеется большой объем обработки внутренних поверхностей, требующих нескольких технологических переходов. Станки оснащаются револьверными головками и дополнительными боковыми суппортами, несущими инструмент. Как правило, конструкции этой подгруппы не имеют задней бабки, необходимой для обработки в центрах. Широко распространены токарно-револьверные прутково-патронные станки с диаметром обрабатываемого прутка 16...40 и 25...65 мм (рис. 2.4, г).

4. *Лоботокарные станки (фронтальные).* Применяются для обработки наружных и внутренних поверхностей заготовок типа дисков. Типовыми технологическими задачами являются: черновое, чистовое, отделочное точение; продольная и поперечная копировальная обработка, наружное и внутреннее точение фасонными резцами, нарезание резьб. В данной подгруппе можно выделить лоботокарные полуавтоматы с диаметром устанавливаемой детали над станиной 1 000...1 250 мм (рис. 2.4, г).

5. *Специализированные токарные станки.* Предназначены для обработки специальных деталей, например, обточки у коленчатых валов шеек осей, обработки труб с фланцами. Различают отрезные, затыловочные, резьбонарезные станки для обработки особо громоздких деталей, например тяжелые токарные станки с диаметром обрабатываемой детали над суппортом 800...3 000 мм.

6. *Токарно-карусельные станки* с диаметром обрабатываемой детали над станиной 1 250...8 000 мм (рис. 2.4, е).



СВЕРЛИЛЬНЫЕ СТАНКИ

Различные виды обработки отверстий на заготовках осуществляются вращающимся режущим инструментом (сверла, зенкеры, зенковки, развертки, расточные головки, метчики и др.), установленным в шпинделе станка и имеющим вращательное движение D_r и вертикальную подачу D_{S_B} (рис. 2.5).

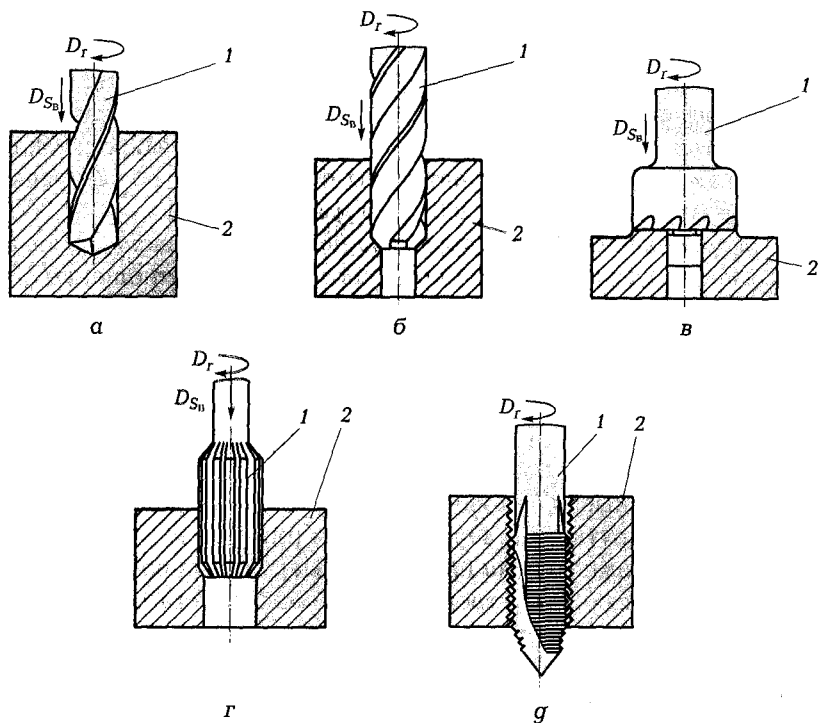


Рис. 2.5. Схемы обработки отверстий:

а — сверлом; б — зенкером; в — цековкой; г — цилиндрической разверткой; г — метчиком; 1 — инструмент; 2 — заготовка

На станках сверлильной группы кроме обычных операций обработки отверстий (сверления, зенкерования, снятия фасок и развертывания) подрезают торцы, растачивают отверстия и канавки, обтачивают наружные цилиндрические и конические поверхности, нарезают и накатывают резьбы, обкатывают и раскатывают поверхности.

В состав сверлильной группы входят следующие подгруппы:

- вертикально-сверлильные станки с габаритами стола 220... 350 мм на 630... 1 120 мм и наибольшим диаметром сверления 2,5; 18 и 35 мм (рис. 2.6, а);
- сверлильные станки, оснащенные револьверной головкой (рис. 2.6, б). Применяются при многоступенчатой обработке, требующей частой смены инструмента с прерыванием технологического процесса и значительной продолжительностью ручных операций;

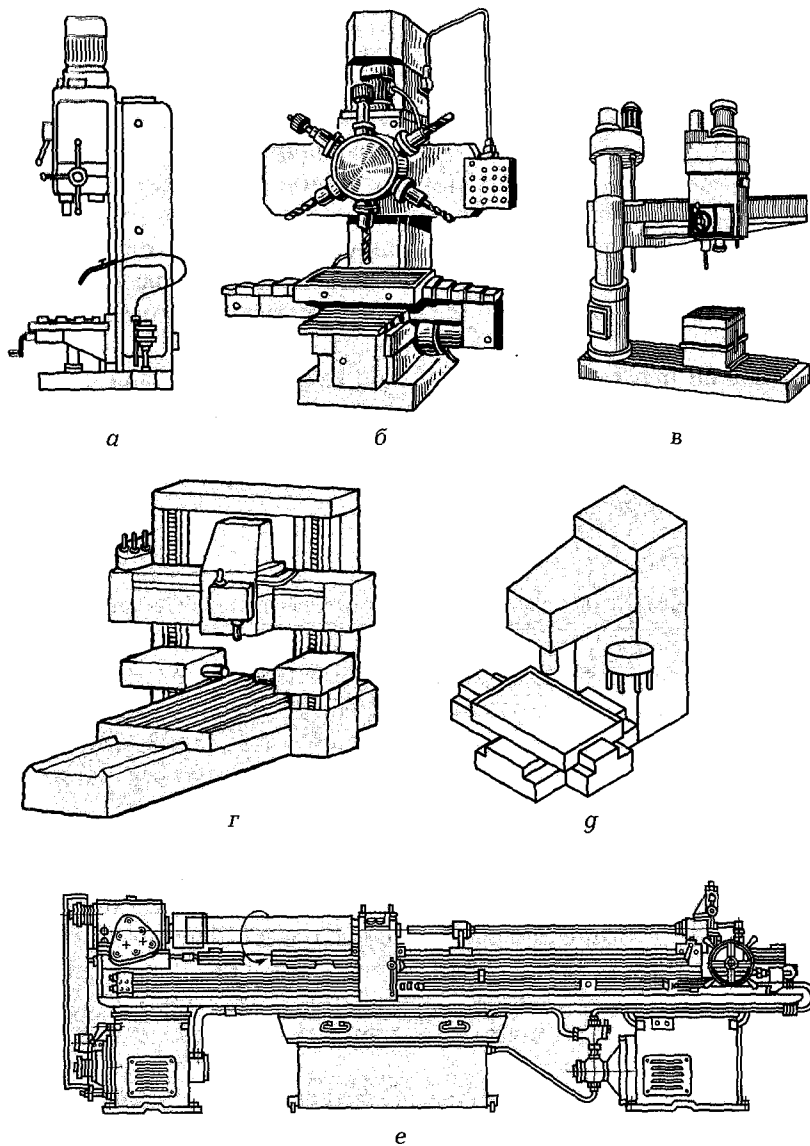


Рис. 2.6. Сверлильные станки с числовым программным управлением:
а — вертикально-сверлильные; *б* — оснащенные револьверной головкой; *в* — радиально-сверлильные; *г* — порталные сверлильные с продольным столом; *г* — вертикально-сверлильно-расточные; *е* — для глубокого сверления

- ▣ *радиально-сверлильные станки* с габаритами стола 630 ... 800 мм (рис. 2.6, в). Служат для обработки спиральными сверлами, зенкерами с направляющей цапфой, коническими зенковками, развертками и метчиками;
- ▣ *портальные сверлильные станки с продольным столом*. Имеют габариты стола 1 000 × 1 600 и 1 400 × 2 000 мм и наибольший диаметр сверления — до 50 мм (рис. 2.6, г);
- ▣ *сверлильные станки на базе унифицированных узлов агрегатных станков*. В конструкции станков предусмотрены жестко закрепленные многшпиндельные сверлильные головки. В зависимости от компоновки шпиндельного узла станки данной подгруппы подразделяют на вертикально-сверлильно-расточные станки (рис. 2.6, г) и горизонтально-сверлильно-фрезерные;
- *станки для глубокого сверления*. Используются для обработки отверстий, длина которых намного превышает их диаметр. Выпускают горизонтально-расточные станки для получения отверстий диаметром до 75 мм и номинальной глубиной сверления 15 000 мм (рис. 2.6, е).

2.4. КООРДИНАТНО-РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

Эти станки предназначены для обработки отверстий с малыми допусками на размер, отклонение формы, расположение поверхностей и для получения высокой чистоты поверхности, а также для обработки группы отверстий с малыми допусками на их межосевое расстояние.

В целях достижения высокой степени точности узлы станков имеют высокую статическую и динамическую жесткость, большую демпфирующую способность и минимальный температурный режим работы. Для высокоточного определения позиций подвижных узлов станки оснащаются специальными измерительными системами.

В зависимости от конструктивного исполнения выделяют следующие подгруппы:

- ▣ *одностоечные вертикальные станки* с габаритами стола 320 × 560 и 630 × 1 120 мм;
- ▣ *одностоечные горизонтальные станки* с габаритами стола 1 000 × 1 250 мм (рис. 2.7, а);
- ▣ *двухстоечные портальные станки* с габаритами стола 630 × 900 и 1 000 × 1 600 мм (рис. 2.7, б);

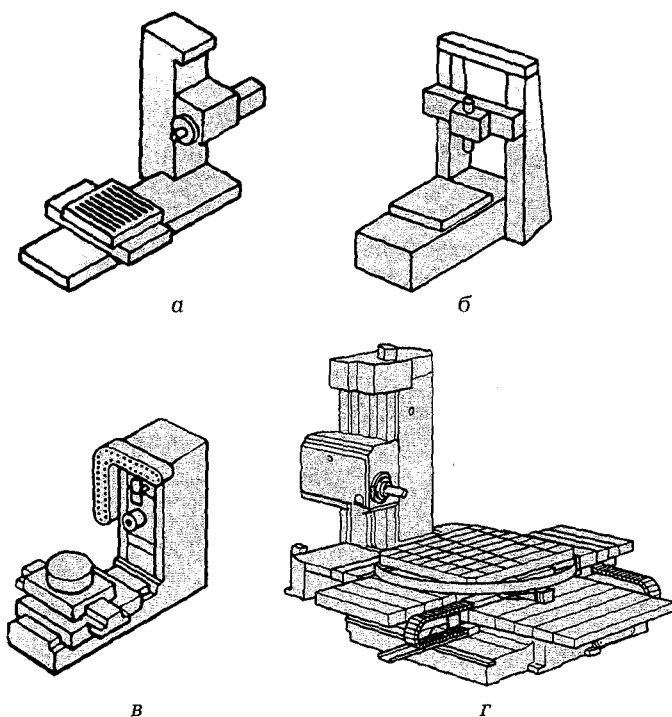


Рис. 2.7. Координатно-расточные станки с числовым программным управлением:

а — одноэтажные горизонтальные; *б* — двухэтажные порталные; *в* — горизонтально-расточные с инструментальным магазином; *г* — тяжелые горизонтально-расточные

- горизонтально-расточные станки с инструментальным магазином с диаметром шпинделя 160 мм и габаритами стола 2250×2500 мм (рис. 2.7, в);
- тяжелые горизонтально-расточные станки с диаметром шпинделя 220 мм и 320 мм (рис. 2.7, г).

2.5. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Предназначены для обработки резанием с помощью вращающегося инструмента с одной или несколькими режущими кромками.

Типовые схемы обработки поверхностей заготовок фрезерованием показаны на рис. 2.8.

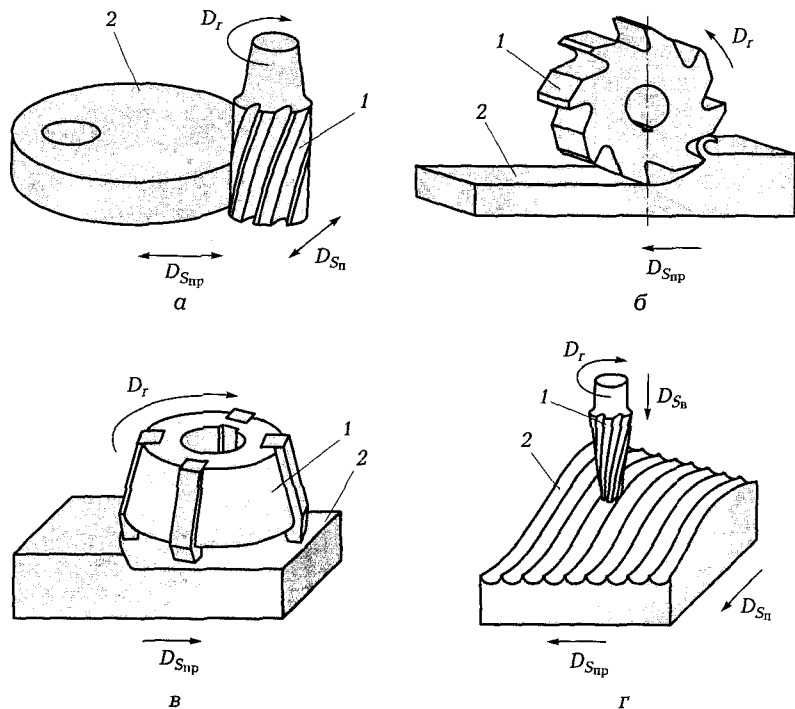


Рис. 2.8. Схемы формообразования поверхностей фрезерованием: а — концевой фрезой; б — цилиндрической фрезой; в — торцевой фрезой; г — фасонной концевой фрезой; 1 — инструмент; 2 — заготовка

Режущий инструмент (фреза) устанавливается в шпинделе станка и получает вращательное D_r движение, а заготовка устанавливается на столе станка и получает продольное $D_{S_{np}}$ и поперечное D_{S_n} перемещения. Вертикальное перемещение D_{S_b} получает шпиндельная бабка или консольный стол.

На фрезерных станках отрезают заготовки, фрезеруют плоские поверхности, пазы, уступы, криволинейные и винтовые поверхности, тела вращения, резьбы. Фрезерные станки разделяют на следующие подгруппы:

- *фрезерные станки с консольным столом.* Габариты стола: 250×1 000, 320×1 250 и 400×1 600 мм (рис. 2.9, а);
- *вертикально-фрезерные станки бесконсольного типа.* Имеют ширину стола 250, 400, 500, 630 и 1 000 мм. Компоновка фрезерных станков бесконсольного типа обеспечивает повышение жесткости и точности обработки. Наиболее распространенным

вертикально-фрезерным станком бесконсольного типа является станок с размерами стола 250×630 мм с револьверной головкой (рис. 2.9, б);

- фрезерные станки с горизонтальным расположением шпинделя (продольно-фрезерные станки) с инструментальным магазином (рис. 2.9, в);
- горизонтально-фрезерные станки с подвижно-поперечным столом и продольно-подвижной стойкой (рис. 2.9, г).

Фрезерные станки с ЧПУ выпускаются специализированными (в том числе и с револьверной головкой) для обработки деталей в инструментальном производстве (типа штампов), деталей в авиационной промышленности и др.

К специализированным станкам относятся шпоночно-фрезерные, шлице-фрезерные, карусельно-фрезерные станки. Обработка поверхностей фрезерованием чаще применяется в многоцелевых станках с ЧПУ совместно с обработкой отверстий.

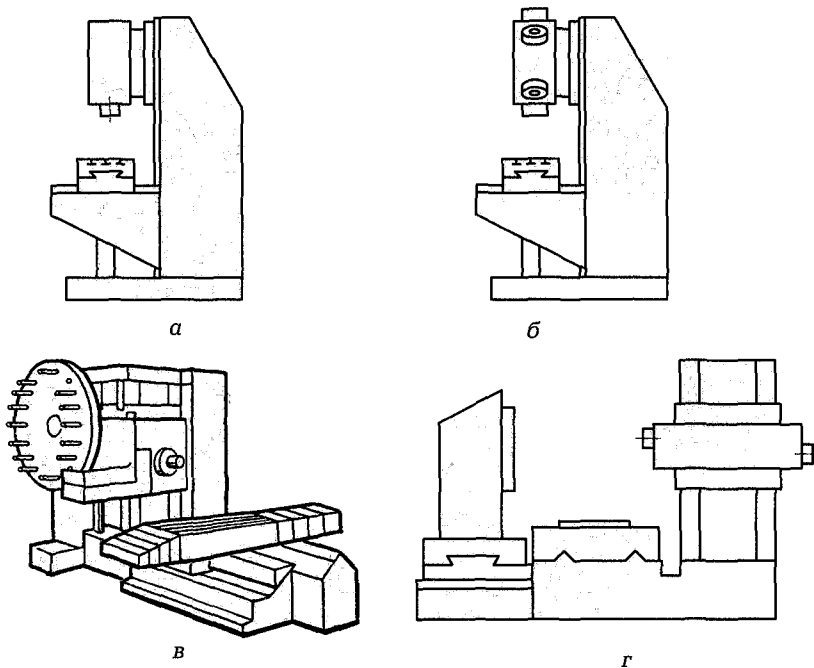


Рис. 2.9. Фрезерные станки с числовым программным управлением:
а — с консольным столом; б — вертикально-фрезерные бесконсольного типа; в — фрезерные с горизонтальным расположением шпинделя; г — горизонтально-фрезерные с подвижно-поперечным столом и продольно-подвижной стойкой

2.6. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Шлифовальные станки предназначены для обработки заготовок абразивными кругами и получения высокой точности размеров, формы, а также малой шероховатости поверхности.

Шлифование является одним из видов обработки резанием, осуществляемым абразивным инструментом — шлифовальным кругом. Его применяют для чистовой и отделочной обработки заготовок с высокой точностью. Для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов окончательного формообразования (рис. 2.10).

Станки подразделяются на *круглошлифовальные* — для обработки тел вращения (рис. 2.11, а) и *плоскошлифовальные* — для обработки плоских и призматических деталей (рис. 2.11, б). Бывают также *торцевкруглошлифовальные*, *вальцешлифовальные*, *резь-*

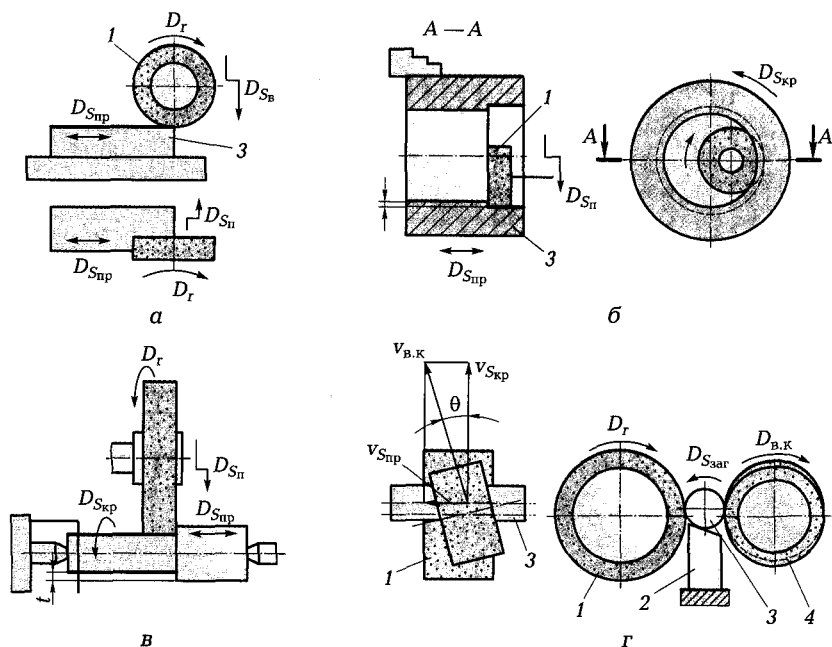


Рис. 2.10. Схемы обработки на шлифовальных станках:

а — плоскошлифовальный; б — внутришлифовальный; в — круглошлифовальный; г — бесцентровошлифовальный; 1 — шлифовальный круг; 2 — нож; 3 — заготовка; 4 — ведущий круг

пошлифовальные и продольно-шлифовальные станки (для шлифовальных направляющих станков).

При плоском шлифовании (см. рис. 2.10, а) возвратно-поступательное перемещение заготовки 3 относительно шлифовального круга 1 необходимо для обеспечения продольной подачи $D_{спр}$. Для шлифовки поверхности на всю ширину заготовка или круг должны иметь движение поперечной подачи $D_{сп}$. Периодически происходит и движение подачи $D_{св}$ на глубину резания.

Движения, осуществляемые при внутреннем шлифовании, показаны на рис. 2.10, б.

На некоторых внутришлифовальных станках с ЧПУ применяются револьверная головка с несколькими кругами.

При круглом шлифовании (см. рис. 2.10, в) движение продольной подачи обеспечивается возвратно-поступательным перемещением заготовки. Вращение заготовки является движением круговой подачи.

При бесцентровом шлифовании (см. рис. 2.10, г) заготовка 3 обрабатывается в незакрепленном состоянии. Ее устанавливают на нож 2 между двумя кругами шлифовальным 1 и ведущим 4. Эти круги вращаются в одном направлении, но с разными скоростями. Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между ней и рабочим кругом. Вследствие этого заготовка увлекается во вращение со скоростью, близкой к окружной скорости ведущего круга.

Перед шлифованием ведущий круг устанавливают наклонно под углом Θ ($1 \dots 7^\circ$) к оси вращения заготовки. Вектор $v_{в,к}$ скорости этого круга разлагается на составляющие, и возникает скорость движения подачи $v_{спр}$. Поэтому заготовка перемещается по ножу вдоль своей оси и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол Θ , тем больше подача.

На рис. 2.11 показаны кругло- и плоскошлифовальные станки и основные движения в них. Круглошлифовальный станок состоит из следующих основных узлов (см. рис. 2.11, а): станины 2, стола 3, передней 4 бабки с коробкой скоростей, шлифовальной бабки 5, бабки задней 1.

Наибольшее распространение получили методы шлифования на центрах (см. рис. 2.10, в). Возможно консольное закрепление заготовок в кулачковых патронах.

На плоскошлифовальном станке (см. рис. 2.11, б) заготовка устанавливается на столе 2, который имеет возвратно-поступательное движение по направляющим станины 1. Шлифовальный круг установлен в шпиндельной бабке 3, имеющей вертикальное

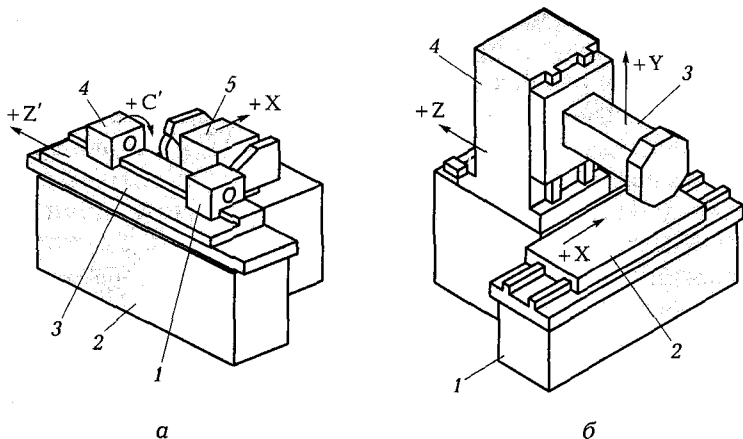


Рис. 2.11. Примеры шлифовальных станков:

а — круглошлифовальный: 1 — задняя бабка; 2 — станина; 3 — стол; 4 — передняя бабка; 5 — шлифовальная бабка; *б* — плоскошлифовальный с горизонтальным шпинделем: 1 — станина; 2 — стол; 3 — шпиндельная бабка; 4 — стойка

перемещение на стойке 4, которая в свою очередь имеет поперечное перемещение по направляющим станины 1.

2.7 МНОГОЦЕЛЕВЫЕ СТАНКИ

Конструкции многоцелевых станков разрабатываются на основе фрезерных, расточных, сверлильных и токарных станков. Станки оснащаются инструментальными магазинами, имеют широкие технологические возможности и высокую степень автоматизации. Многоцелевые станки позволяют выполнять большое число технологических переходов различными инструментами с одной установки детали на столе станка (рис. 2.12). Первоначально они назывались сверлильно-фрезерно-расточными станками, затем обрабатывающими центрами, многооперационными станками.

Структурная схема многоцелевого станка показана на рис. 2.13, а общий вид — на рис. 2.14.

По технологическому признаку многоцелевые станки подразделяют на подгруппы:

1) многоцелевые станки с горизонтальным расположением шпинделя и поворотным столом (рис. 2.15, *а*) применяются для обработки корпусных деталей с четырех сторон;

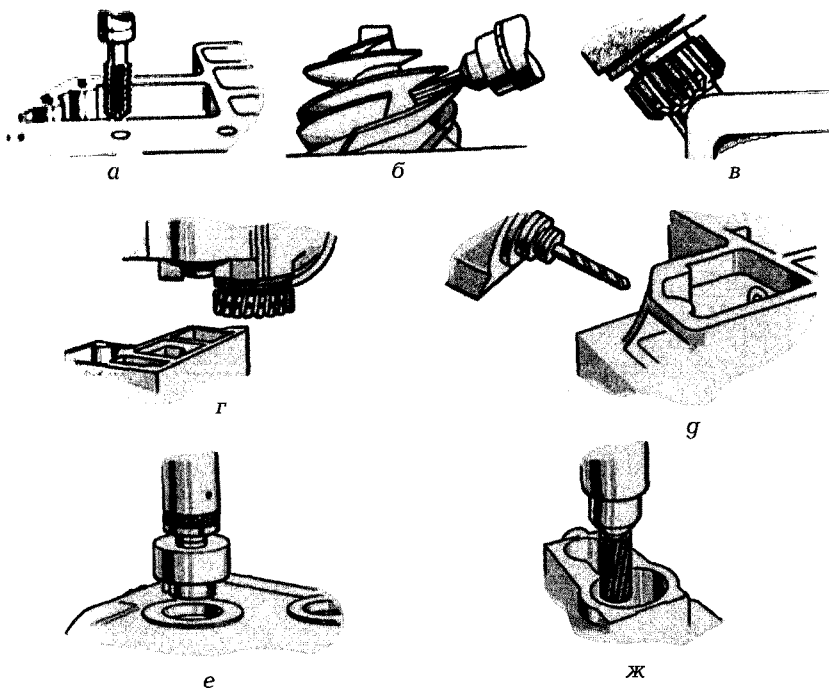


Рис. 2.12. Технологические переходы, выполняемые на многоцелевом станке:

а — нарезание резьбы; б — контурное объемное фрезерование; в — фрезерование поверхности, расположенной под любым углом; г — фрезерование торцевой фрезой горизонтальной поверхности; д — сверление под любым углом; е — расточка; ж — фрезерование концевой фрезой

2) многоцелевые станки с вертикальным расположением шпинделя (рис. 2.15, б). Служат для комплексной обработки плоских деталей;

3) многоцелевые станки с продольным столом шириной 400... 2500 мм (рис. 2.15, в). Используются для обработки длинномерных деталей;

4) токарные многоцелевые станки (рис. 2.15, г) применяются для обработки деталей типа штуцера, которые имеют поверхности, требующие как операций точения, так и операций фрезерования, сверления, растачивания, нарезания резьб и др.

Для обработки корпусных заготовок широко применяются многоцелевые станки с горизонтальной компоновкой шпинделя, с поворотным столом, с управлением по четырем координатам



Рис. 2.13. Структурная схема многоцелевого станка

(X , Y , Z , B) и с автоматической сменой большого количества различных режущих инструментов. В этом случае станок имеет широкие технологические возможности для обработки заготовки с четырех боковых сторон (рис. 2.16).

Для обработки с верхней (пятой) стороны заготовки могут применяться станки с поворотной шпиндельной головкой. В этом случае шпиндель, расположенный в головке, может при повороте на 180° занимать горизонтальное и вертикальное положение. Расфиг-

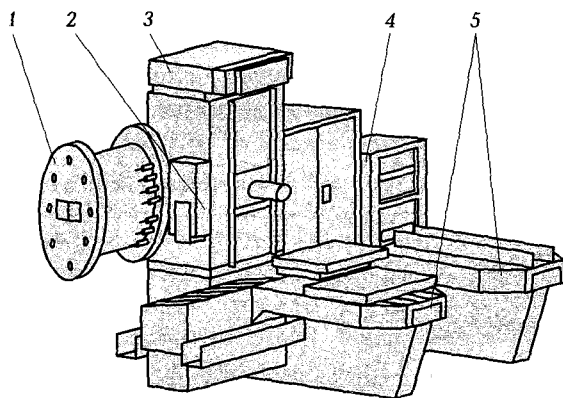


Рис. 2.14. Общий вид и компоновка многоцелевого станка:

1 — инструментальный магазин; 2 — автоматическая рука смены режущего инструмента; 3 — станок; 4 — устройство ЧПУ; 5 — устройство автоматической смены инструментов и готовых деталей

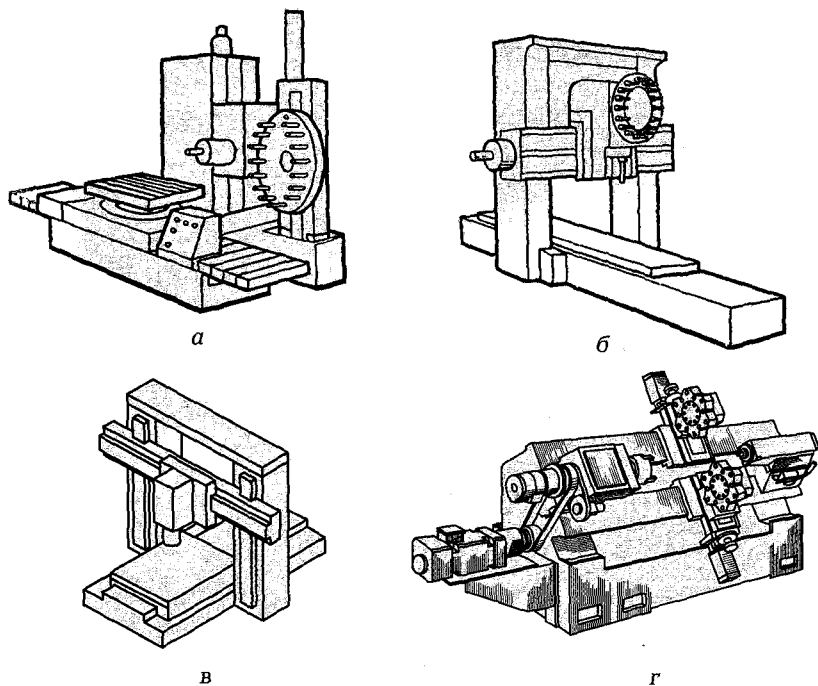


Рис. 2.15. Многоцелевые станки с числовым программным управлением:

а — с горизонтальным расположением шпинделя; б — с вертикальным расположением шпинделя; в — с продольным столом; г — токарный

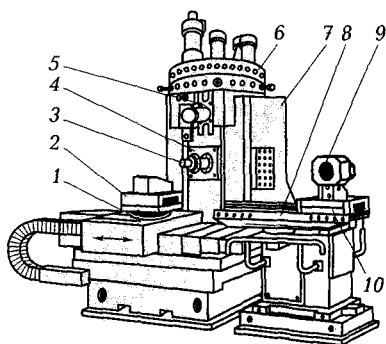


Рис. 2.16. Многоцелевой станок с числовым программным управлением для обработки корпусных деталей: 1 — поворотный стол; 2 — зажимное приспособление; 3 — шпиндель; 4 — шпиндельная бабка; 5 — автооператор; 6 — инструментальный магазин; 7 — подвижная стойка; 8 — перегрузочное устройство; 9 — заготовка; 10 — паллета

сация и последующая фиксация шпиндельной головки производится специальной зубчатой муфтой.

Многоцелевые станки с вертикальной компоновкой шпинделя имеют, как правило, меньшие технологические возможности (управление по трем координатам X , Y , Z), чем предыдущие, и применяются для обработки плоских заготовок типа плит и фланцев. Здесь обработка производится в основном с одной стороны заготовки.

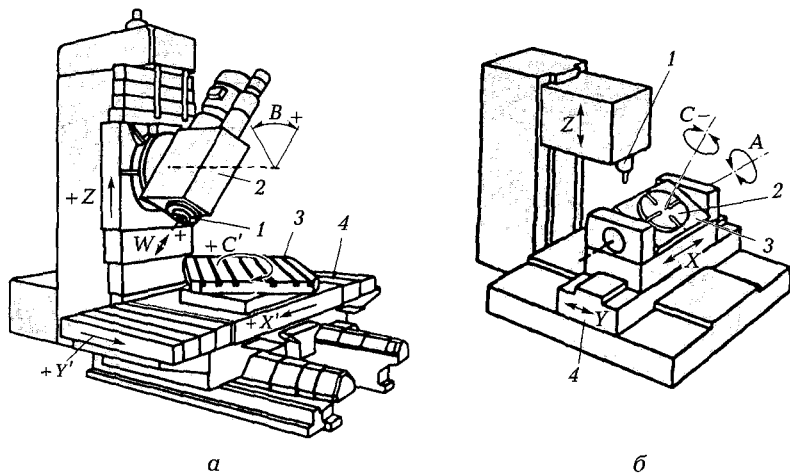


Рис. 2.17. Многоцелевые станки для обработки сложных объемных заготовок:

a — с поворотной шпиндельной головкой: 1 — шпиндель; 2 — шпиндельная головка; 3 — поворотный стол; 4 — стол; b — с поворотным столом: 1 — шпиндель; 2 — планшайба; 3 — поворотный стол; 4 — салазки

Расширение технологических возможностей многоцелевых станков с ЧПУ проводилось не только за счет большего количества выполняемых технологических переходов различными инструментами (см. рис. 2.12), но и за счет увеличения количества управляемых координат и особенно количества одновременно управляемых координат (см. подразд. 2.8).

Такие станки необходимы в основном для обработки сложных объемных заготовок с криволинейным профилем (рис. 2.17, а, б). На этих станках имеется пять, а в некоторых случаях и шесть управляемых координат — три или четыре прямолинейные (X , Y , Z , W) и две поворотные (C и B (A)). Поворотные координаты могут иметь шпиндельная бабка (см. рис. 2.17, а) или это реализуется при применении соответствующего стола (см. рис. 2.17, б).

На токарных многоцелевых станках с ЧПУ для увеличения количества устанавливаемых режущих инструментов (не только резцов, но и сверл, фрез, метчиков) и сокращения времени смены этих инструментов устанавливают одну, две и иногда три револьверные головки (см. рис. 2.15, г). В револьверных головках могут устанавливаться вращающиеся инструменты с самостоятельным приводом. Шпиндель станка кроме обычного вращения может иметь управляемый поворот по координате C . На ряде станков стали дополнительно устанавливать протившпиндель (рис. 2.18).

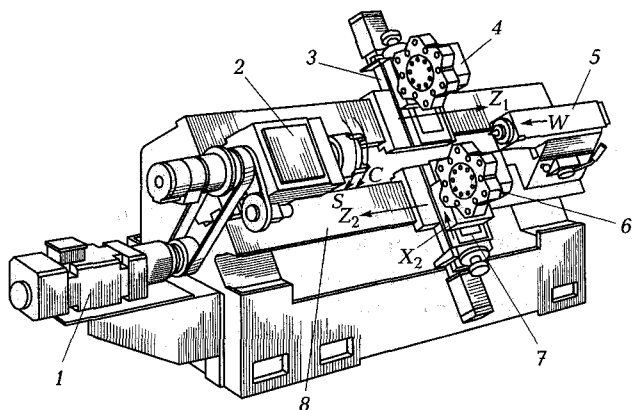


Рис. 2.18. Токарный многоцелевой станок с числовым программным управлением:

1 — привод главного движения; 2 — передняя бабка со шпинделем; 3 — суппорт; 4 — каретка с первой револьверной головкой; 5 — задняя бабка с протившпинделем; 6 — каретка со второй револьверной головкой; 7 — суппорт; 8 — направляющие станины

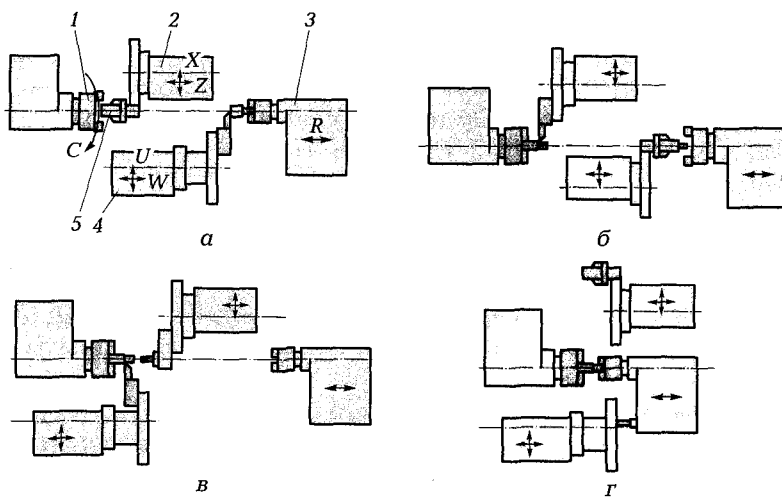


Рис. 2.19. Последовательность обработки заготовки на станке с двумя револьверными головками и противошпинделем:

а — установка заготовки в шпиндель станка; б — обтачивание заготовки с револьверной головки; в — подрезка с револьверной головки; г — перехват заготовки в противошпиндель; 1 — основной шпиндель; 2 и 4 — соответственно верхняя и нижняя револьверные головки; 3 — противошпиндель; 5 — заготовка

На рис. 2.19 показана последовательность обработки заготовки 5 при ее установке в патроне основного шпинделя 1 и в патроне противошпинделя 3, который имеет перемещения по координате Z. Обработка производится инструментами, установленными на верхней 2 и нижней 4 револьверных головках, перемещающихся на суппортах по координатам X и Z.

Ряд фирм для повышения производительности выпускает двухшпиндельные токарные станки с ЧПУ. При наличии управляемого поворота по координате C и независимых суппортов с револьверными головками на каждый шпиндель такие станки имеют достаточно широкие технологические возможности.

2.8. СТАНОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

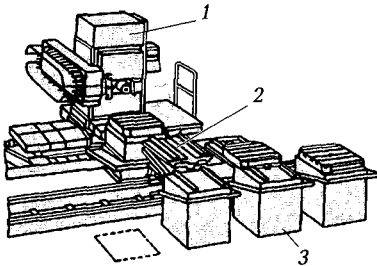
Под *станочной системой* понимают совокупность металлорежущего и вспомогательного оборудования (установленного, как правило, в порядке реализации технологического процесса), объединенного системой управления, автоматическими механизмами

и устройствами для транспортирования заготовок, деталей, разделения и соединения их потоков, накопления заделов, изменения ориентации и удаления отходов, предназначенную для изготовления заданной номенклатуры изделий.

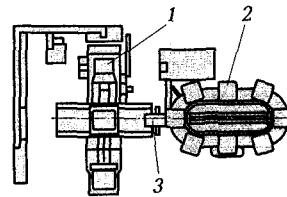
На базе многоцелевых станков, предназначенных для обработки корпусных деталей, были разработаны гибкие производственные модули (рис. 2.20), а на базе токарных многоцелевых станков с погрузкой заготовок промышленными роботами — роботизированные технологические комплексы (рис. 2.21).



а



б



в

Рис. 2.20. Гибкий производственный модуль:

а — структура построения; б — ГПМ с линейным стационарным накопительным устройством заготовок и транспортной тележкой: 1 — станок с ЧПУ; 2 — транспортная тележка; 3 — позиция со сменным столом с заготовкой; в — с овальным поворотным накопительным устройством заготовок: 1 — станок с ЧПУ; 2 — накопительное устройство заготовок; 3 — поворотное перегрузочное устройство

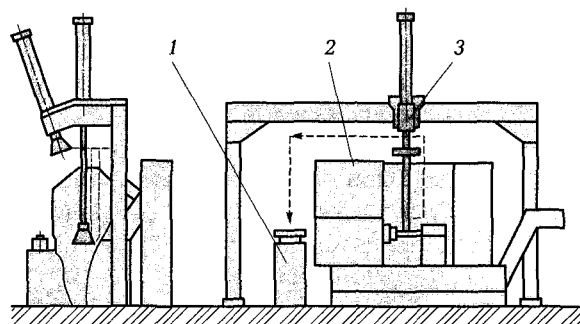


Рис. 2.21. Роботизированный технологический комплекс на базе токарного станка с ЧПУ:

1 — накопительное устройство для заготовок и готовых деталей; 2 — станок с ЧПУ; 3 — промышленный робот

В соответствии с ГОСТ 26228 — 90 «Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей» под ГПМ понимается единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах его технических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем или гибких производственных ячеек (ГПЯ).

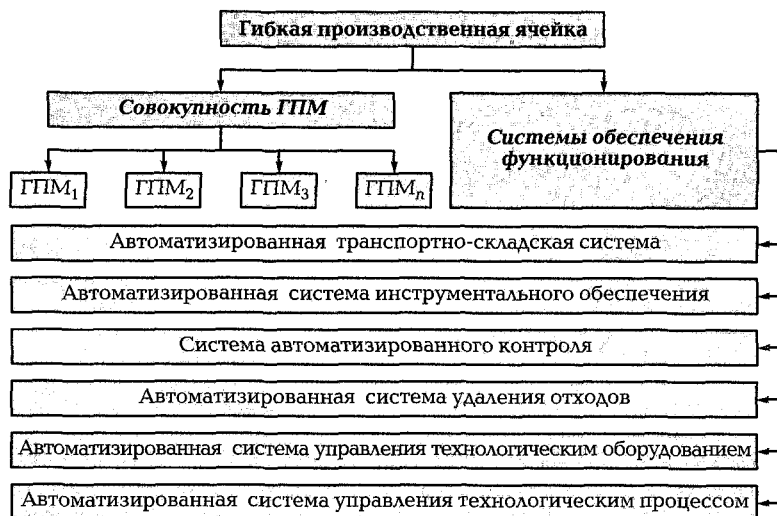


Рис. 2.22. Структура построения гибкой производственной ячейки

В средства автоматизации ГПМ в общем случае входят:

- устройство ЧПУ для автоматизации последовательности действий рабочих органов технологического оборудования, включая смену заготовок, изделий, инструмента, подачу СОЖ, удаление отходов, переналадки;
- устройство адаптивного управления для автоматизации регулирования параметров технологического процесса при изменении условий его выполнения;
- устройство контроля и измерения во время или после операции для автоматизации подналадки оборудования;
- устройство диагностики оборудования для автоматизации выявления и устранения неисправностей и т. д.

Следующей структурной единицей гибких производственных систем является гибкая производственная ячейка (рис. 2.22 и 2.23). Это управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких ГПМ и системы обеспечения функционирования, осуществляющая комплекс технологических операций, способная работать автономно и в составе ГПС при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента.

Дальнейшим развитием применения станков с ЧПУ (в том числе и многоцелевых станков) стало создание станочных систем,

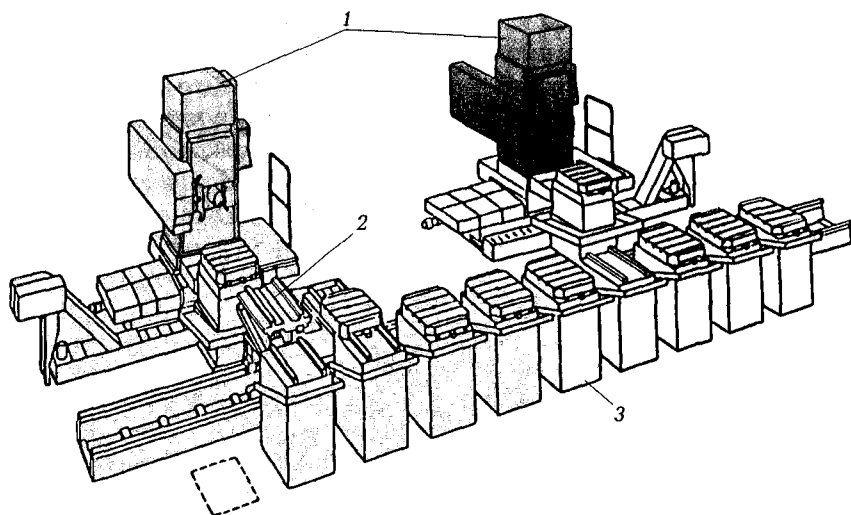


Рис. 2.23. Гибкая производственная ячейка:

1 — станок с ЧПУ; 2 — транспортная тележка; 3 — позиции со сменными столами-спутниками

одной из разновидностью которых стали гибкие производственные системы, под которыми понимается управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний ГПМ и (или) ГПЯ, автома-

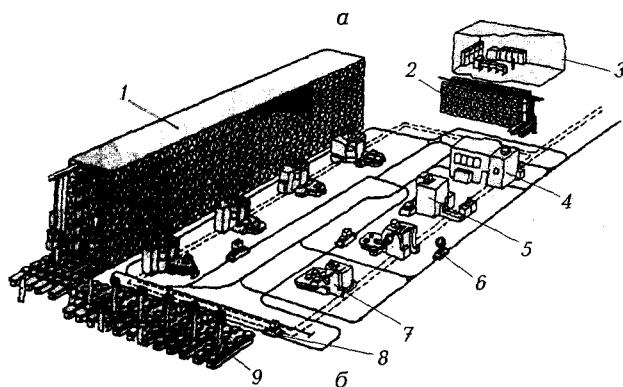


Рис. 2.24. Гибкая производственная система:

a — структурная схема; *б* — схема компоновки ГПС для изготовления корпусных деталей: 1 — автоматизированный склад заготовок и деталей; 2 — автоматизированный склад паллет, приспособлений и режущих инструментов; 3 — пульт управления; 4 — автоматизированная моечная машина; 5 — измерительная машина; 6 — робот-каран для транспортирования инструментальных магазинов; 7 — многоцелевые станки (6 штук); 8 — робот-каран для транспортирования паллет с заготовками и деталями; 9 — станция для установки-снятия приспособлений и заготовок (деталей)

интегрированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая своим основным преимуществом — автоматизированной переналадкой при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования (рис. 2.24).

На базе ГПМ, ГПЯ и ГПС строятся такие гибкие организационные структуры производства, как гибкие автоматизированные участки (ГАУ), гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ) и гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ).

ГАУ — участок цеха, технологическое оборудование которого состоит преимущественно из ГПМ, ГПЯ и ГПС.

ГАЦ — цех завода, состоящий преимущественно из ГАУ.

ГАЗ — интегрированное средствами вычислительной техники производство, состоящее преимущественно из ГПС для выпуска продукции в условиях ее совершенствования и изменяющейся потребности.

2.9. СИСТЕМА КООРДИНАТ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Обработка заготовок на станке с ЧПУ производится автоматически в соответствии с заранее составленной УП, в которой заданы величины отдельных перемещений рабочих органов, несущих заготовку и режущий инструмент. Для получения требуемых размеров на заготовке ее положение в рабочей зоне станка должно быть строго закоординировано. При этом необходимо учитывать необходимые виды движений рабочих органов станка (прямолинейные и круговые (поворотные)), положительные и отрицательные направления этих движений.

Разработан международный стандарт ИСО 841—74, который устанавливает обозначения осей координат и направлений движений рабочих органов станков с ЧПУ. В нашей стране был выпущен ГОСТ 23597—79 «Станки металлорежущие с числовым программным управлением. Обозначение осей координат и направлений движений. Общие положения», который полностью соответствует данному международному стандарту. По этому стандарту в станках с ЧПУ может быть три линейные координаты (X , Y , Z) и три круговые (A , B , C) (рис. 2.25). При этом используется прямоугольная система координат.

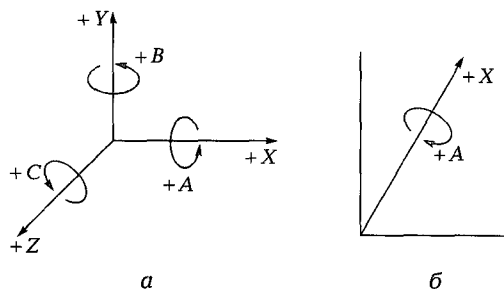


Рис. 2.25. Система координат:
a — обозначение координатных движений; *б* — положительное направление круговой (поворотной) координаты *A*

В правой прямоугольной системе координат положение точки на плоскости задается двумя координатами, а в пространстве — тремя координатами. Оси данных координатных систем параллельны прямолинейным направляющим станка. При этом значения координат точек в плоскости и в пространстве могут иметь как положительные, так и отрицательные значения.

Для прямоугольной системы координат характерны следующие признаки: координатные оси располагаются взаимно-перпендикулярно, они имеют общую точку пересечения (начало отсчета координат) и одинаковый геометрический масштаб.

Указанный ранее стандарт устанавливает обозначения осей координат и направлений движений в станках с ЧПУ так, чтобы программирование операций обработки не зависело от того, перемещается режущий инструмент или заготовка.

За основу принимается перемещение инструмента относительно системы координат неподвижной заготовки. Положительное направление движения рабочего органа станка соответствует направлению отвода инструмента от заготовки (рис. 2.26). При этом на схемах станков направления движения рабочих органов, несущих инструмент, обозначаются буквами.

Ось *Z* (см. рис. 2.26) определяется по отношению к шпинделю главного движения, т.е. шпинделя, вращающего инструмент в станках сверльно-фрезерно-расточной группы, или шпинделя, вращающего заготовку в станках токарной группы. Движение по оси *Z* в положительном направлении должно соответствовать направлению отвода инструмента от заготовки.

Ось *X* должна быть расположена предпочтительно горизонтально и параллельно поверхности крепления заготовки. На стан-

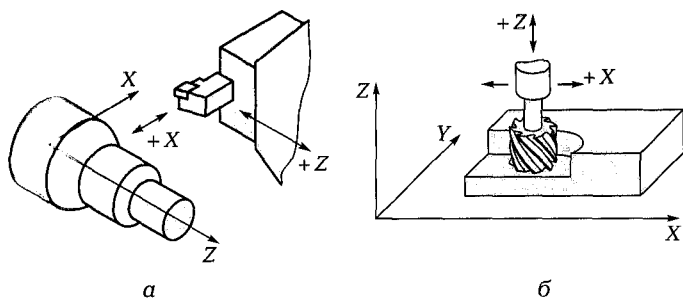


рис. 2.26. Системы координат с обозначением положительных направлений прямолинейных перемещений рабочих органов с инструментом: а — на токарном станке с ЧПУ; б — на фрезерном станке с ЧПУ

на вращающейся заготовке, например токарных, движение по оси X направлено по радиусу заготовки и параллельно поперечной направляющим. Положительное движение по оси X происходит, когда инструмент, установленный на главном резцедержателе поперечных салазок, отходит от оси вращения заготовки (см. рис. 2.26, а). На станках с вращающимся инструментом, например фрезерных, сверлильных при вертикальной оси Z положительное движение по оси X направлено вправо (см. рис. 2.26, б), если рабочий орган станка несет инструмент.

Положительное направление движения по оси Y следует выбирать так, чтобы ось Y вместе с осями Z и X образовывала правую прямоугольную систему координат (см. рис. 2.25, а).

Несмотря на то что с помощью 3-координатной прямоугольной системы координат описывается положение любых точек в геометрическом пространстве, в современной механообработке часто возникает необходимость в изготовлении столь сложных поверхностей, когда недостаточно перемещений рабочих органов только по трем осям координат.

В этом случае используют пространственную прямоугольную систему координат с дополнительными круговыми осями координат, которые располагаются вокруг основных линейных осей X , Y и Z (см. рис. 2.25, а). Ось вращения вокруг оси X обозначается как ось A , ось вращения вокруг оси Y — ось B , ось вращения вокруг оси Z — ось C .

За положительное направление круговой координатной оси принимается направление вращения по часовой стрелке, если смотреть в положительном направлении вдоль соответствующей линейной оси (см. рис. 2.25, б).

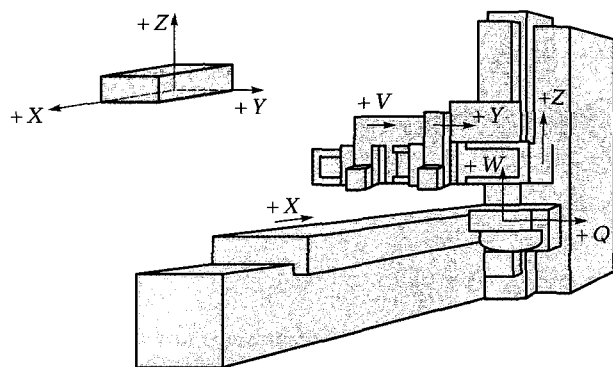


Рис. 2.27. Многокоординатный станок с ЧПУ с третичным движением

В ряде станков с ЧПУ (рис. 2.27) дополнительно к основным (первичным) прямолинейным движениям X , Y и Z имеются вторичные движения параллельно им. Они обозначаются соответственно буквами U , V и W . Если дополнительно имеются третичные движения, параллельные им, их следует обозначать соответственно P , Q , R (см. рис. 2.27).

Если дополнительно к первичным круговым движениям имеются вторичные вращательные движения, параллельные или непараллельные A , B и C , то они обозначаются буквами D и E .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие группы станков с ЧПУ вы знаете?
2. Расскажите о назначении токарных станков с ЧПУ. Как осуществляется процесс формообразования при точении и какие подгруппы вы знаете?
3. Расскажите о классификации сверлильных станков с ЧПУ. Какие виды обработки на них осуществляются?
4. Что такое многоцелевой станок с ЧПУ? Расскажите, какие компоновочные решения многоцелевых станков вы знаете.
5. Что такое станочная система? Какие виды станочных систем бывают?
6. Как задаются положительные направления координатных осей станка с ЧПУ?

СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основой системы ЧПУ является устройство ЧПУ. От его типа, структуры построения, функциональных возможностей зависят характеристики самой системы. Системы ЧПУ классифицируются по ряду признаков.

По технологическим возможностям. Исходя из технологических задач управления обработкой заготовок они подразделяются на следующие.

Позиционное ЧПУ станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются (рис. 3.1, а). Такие системы ЧПУ применяются в основном на сверлильных и расточных станках. Обработка заготовки (сверление, расточка отверстий и др.) производится после установки ее (или инструмента) в заданную координату (X и Y). Поэтому эти перемещения рабочих органов происходят на холостом ходу, который необходимо осуществлять на максимально возможной скорости. Точность холостых (установочных) перемещений должна быть очень высокой (особенно при расточке координатных отверстий). Обработка заготовок требует, как правило, применения большого количества инструментов (сверл, зенкоров, зенковок, расточных резцов, разверток, метчиков), что ставит вопрос об их автоматической смене.

В обозначении модели станка с такими системами ЧПУ записывается в конце индекс Ф2 (например, мод. 2Р135Ф2).

Контурное ЧПУ станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит по заданной траектории и с заданной ско-

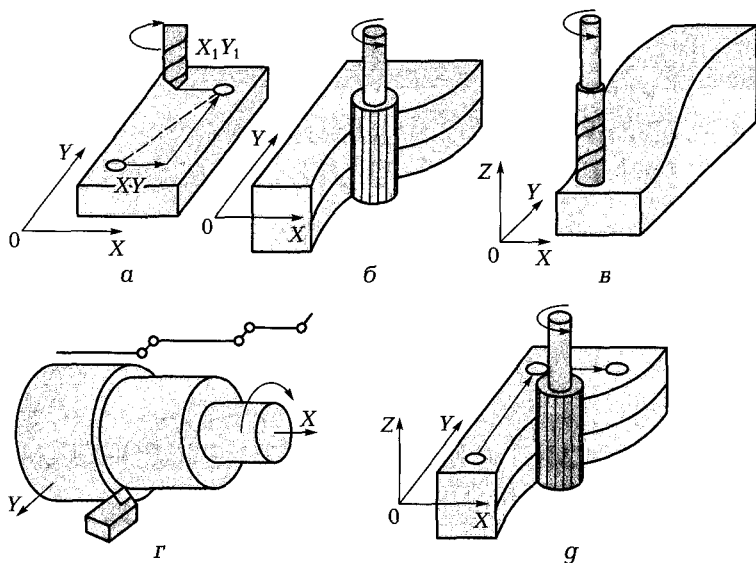


Рис. 3.1. Варианты управления станком:

a — позиционное ЧПУ сверлильным станком; *б* и *в* — контурное ЧПУ фрезерным станком соответственно по двум и трем координатам; *г* — контурное ЧПУ токарным станком; *г* — комбинированное ЧПУ многоцелевым станком

ростью для получения необходимого контура обработки (рис. 3.1, б, в, г). Такие системы ЧПУ применяются в основном на токарных и фрезерных станках. При первом варианте обработка производится инструментом, который перемещается параллельно осям координат (по отрезкам). Поэтому обрабатываемые участки профиля заготовки могут быть только параллельными осям координат (см. рис. 3.1, б).

При втором варианте (см. рис. 3.1, в) система ЧПУ обеспечивает управление по всем трем координатам, но одновременно перемещение может быть только по двум любым координатам в разных плоскостях (X/Y , X/Z , Y/Z , так называемое управление по $2^{1/2}$ координатам). На рис. 3.1, в показано управление обработкой одновременно по двум координатам в плоскости X/Y и Z/X .

При третьем варианте управление производится одновременно по трем координатам (см. рис. 3.1, г), что позволяет обрабатывать заготовки со сложным объемным профилем (например, штампы, матрицы и др.). В настоящее время практически все станки с контурными системами ЧПУ могут обеспечивать управление одновременно по трем и более координатам.

В обозначении модели станка с такими системами ЧПУ записывается индекс ФЗ (например, мод. 16К20ФЗ, мод. 6Р13ФЗ).

Комбинированное ЧПУ станком, позволяющее проводить управление станком в обоих вышеуказанных режимах (рис. 3.1, г). Такими системами ЧПУ оснащаются в основном многоцелевые и специализированные многокоординатные станки с управлением по четырем и более координатам (см. рис. 2.17).

На станках с такими системами ЧПУ производится обработка подготовок большим количеством разного инструмента, что требует его автоматической смены, а также высокой точности изготовления деталей. В обозначении модели станка записывается индекс Ф4 (например, мод. 2204ВМФ4, мод. 1740РФ4).

По структуре построения. Системы ЧПУ и в частности устройства ЧПУ в своем развитии прошли несколько этапов, определяемых уровнем развития электронной техники. В результате по структуре построения различают устройства ЧПУ двух видов:

1) **аппаратные** (классы HNC — Hand Numerical Control и SNC — Speicher Numerical Control);

2) **программируемые**, или **микропроцессорные** (классы CNC — Computer Numerical Control и DNC — Direct Numerical Control).

Устройства ЧПУ класса HNC и SNC или аппаратные УЧПУ (первые два поколения) имели жесткую структуру построения, при которой алгоритмы управления реализовывались схемным путем (табл. 3.1).

Они были построены по принципу цифровой модели, где все операции, составляющие алгоритм работы, выполнялись параллельно с помощью отдельных блоков, реализующих ту или иную функцию управления (агрегатно-блочное построение) (рис. 3.2). Агрегатно-блочное построение позволяло модернизировать УЧПУ путем замены отдельных блоков, однако сама ее структура определялась постоянными схемами отдельных электронных панелей и межузловых соединений и не могла быть изменена после изготовления УЧПУ. Эти устройства ЧПУ (например, Н22, Н33, Размер-2М и др.) широко применялись ранее для управления различными типами отечественных станков. В настоящее время они не выпускаются.

Встраивание микропроцессоров обеспечивает замену электронных и электромеханических управляющих блоков универсальным программируемым вычислительным устройством и приводит к введению вычислительного процесса по обработке информации непосредственно в оборудование. Возрастают объем памяти УЧПУ и быстродействие, что позволяет увеличить число управляющих

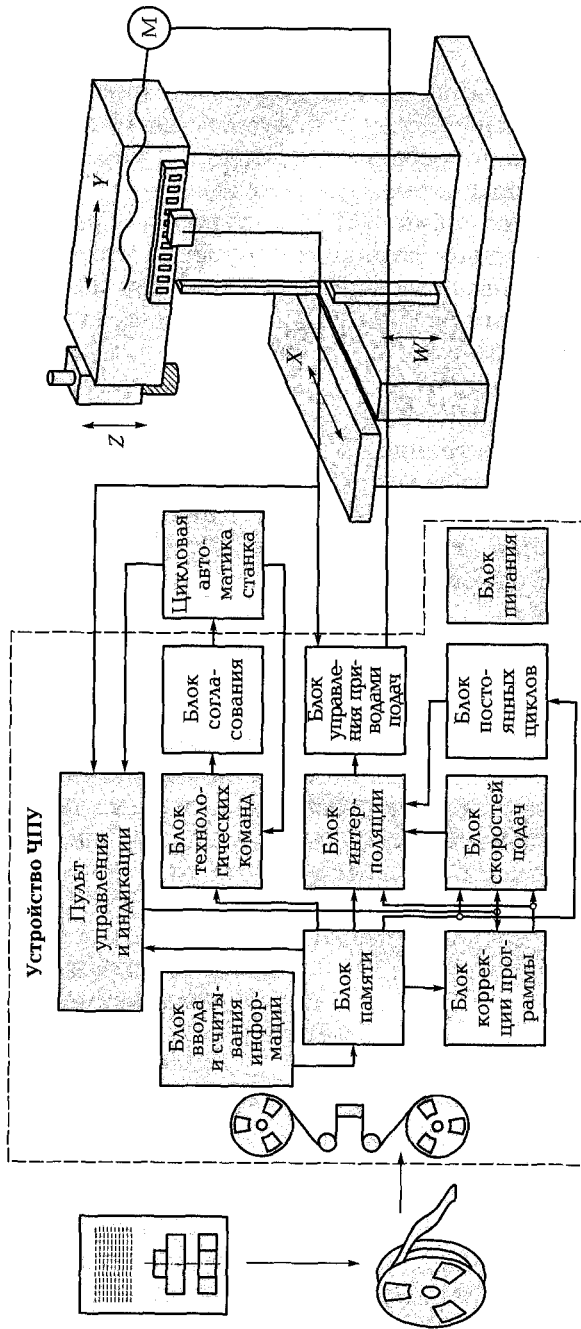


Рис. 3.2. Структурная схема аппаратного устройства числового программного управления (класса SNC)

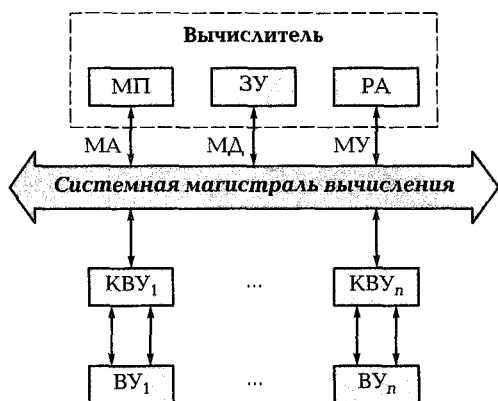


Рис. 3.3. Увеличенная структурная схема программируемого устройства числового программного управления (класса CNC)

координат станка и реализовывать функции автоматического измерения на станке, графического отображения информации на дисплее УЧПУ, диалогового задания управляющей программы УП.

Микропроцессорным, или программируемым, устройством ЧПУ, называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления этого устройства (рис. 3.3).

Микропроцессорные устройства ЧПУ (МП УЧПУ) класса CNC и DNC (3-е и 4-е поколения) — это устройства ЧПУ с гибкой структурой построения (см. табл. 3.1).

Принципиальным отличием этих устройств от аппаратных являются их структура, соответствующая структуре управляющей ЭВМ и включающая вычислительное устройство, блоки памяти и блоки ввода-вывода информации. Объем функций, характер и последовательность проводимых операций, переработка УП определяются не специальными схемами, как в аппаратных УЧПУ, а специальными программами функционирования, которые вводятся в блок памяти и там хранятся. Согласно этим же программам формируются команды на приводы подач станка и его электроавтоматические устройства. Также МП УЧПУ, как правило, имеют интерфейс, позволяющий подсоединить устройство к локальной вычислительной сети всей ГПС.

В состав программируемой системы ЧПУ входит один или несколько вычислителей, основой которых являются микропроцессоры. Поэтому эти системы ЧПУ называют также микропроцессорными, в случае нескольких вычислителей — мультипроцессорными.

Таблица 3.1. Поколения устройств ЧПУ

Поколение УЧПУ	Элементная база построения УЧПУ	Модель устройства ЧПУ	Приводы подачи	Модель привода
1 HNC	Дискретные полупроводниковые элементы	Серия К (К2П, К3П, КПП)	Электрогидравлический шаговый до 1 кГц	ЩДМ
2 SNC	Элементы малой (155 серия) и средней (176 серия) степени интеграции	Серия Н (Н22, Н33, Н55), серия М (Размер 2М)	1. Электрогидравлический шаговый до 16 кГц. 2. Следящий тиристорный постоянного тока с резольвером, индуктосином	ЩД5А1 ЭТЗ
3 CNC	Микро-ЭВМ («Электроника-60», «Электроника НЦ-03» и др.), БИС (589 серия и др.)	Серия 2С, 2Р, 2М (2С42, 2С85, 2Р32), «Электроника НЦ-31»	Следящий тиристорный и транзисторный постоянного тока с резольвером, индуктосином или оптическим импульсным датчиком	ЭТ6. ЭШИР, ЭШИМ
4 DNC	Блочное мультипроцессорное исполнение. Полузаказные БИС	«Электроника МС2101», серия 3С (3С140, 3С170, 3С150 и др.)	Цифровой следящий постоянного и переменного тока с оптическим импульсным датчиком	3С150

Микропроцессорная УЧПУ (см. рис. 3.3) включает в себя микропроцессор МП, запоминающее устройство ЗУ, расширитель арифметических функций РА и контроллеры внешних устройств КВУ. Обмен информацией между ее блоками осуществляется по специальному каналу обмена — системной магистрали.

Микропроцессор, память, расширитель арифметических функций, объединенные системной магистралью, составляют вычислитель микропроцессорной системы, с которым через контроллеры внешнего устройства КВУ сопрягаются внешние устройства ВУ, необходимые для управления станком и связи с оператором.

Микропроцессор в МП УЧПУ выполняет следующие функции: формирование управляющих сигналов для всех компонентов системы; выборку данных из памяти системы; декодирование команд, арифметические, логические и другие операции; управление передачей данных между микропроцессором, памятью и внешними устройствами; обработку сигналов от внешних устройств.

Расширитель арифметических функций необходим для повышения производительности микропроцессорной системы. Контроллер внешнего устройства включает в себя схемы сопряжения внешнего устройства с системной магистралью (интерфейс) и схемы преобразования входных и выходных данных внешнего устройства.

Названные устройства связаны между собой магистралями для передачи адресов МА, данных МД и управляющей информации МУ.

Первая серия российских программируемых УЧПУ была реализована на основе применения двух специализированных микроЭВМ «Электроника НЦ-31» и «Электроника НЦ 80-31». Другая серия УЧПУ выпускалась на базе микроЭВМ «Электроника-60» и сводилась практически к трем весьма близким модификациям УЧПУ типов 2Р22, 2С42 и 2С85.

По наличию обратной связи. Системы ЧПУ станками могут строиться с управлением приводами подач без обратной связи (разомкнутыми) и с обратной связью (замкнутыми) (рис. 3.4).

Разомкнутые системы ЧПУ строят на основе применения силовых или несиловых шаговых электродвигателей (ШД). В данном случае ШД применяют в комплекте с гидросилителем (ГУ) (см. рис. 3.4, а).

Подавая на ШД определенное число импульсов, получают заданную величину перемещения рабочего органа станка (стола). Частота подачи этих импульсов определяет скорость перемещения, а количество импульсов — величину перемещения.

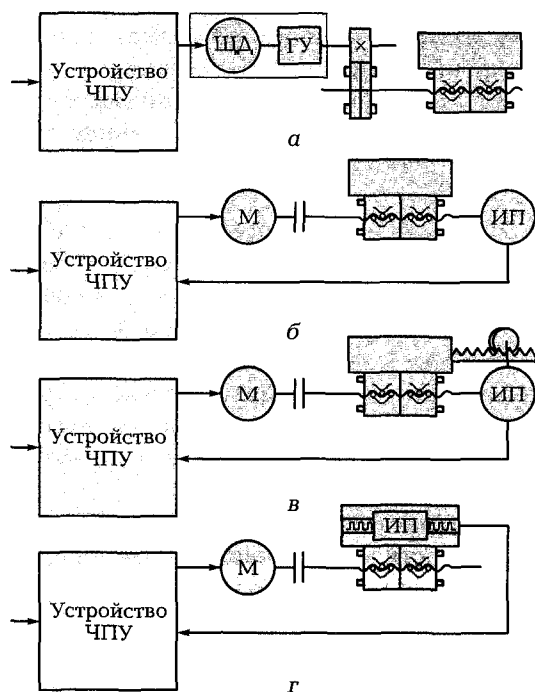


Рис. 3.4. Варианты построения систем обратной связи:

а — разомкнутая система; *б* — с круговым ИП на ходовом винте; *в* — с круговым ИП, измеряющим перемещение через реечную передачу; *г* — с линейным ИП

Система управления приводами получается достаточно простой. Однако из-за отсутствия контроля действительного положения рабочего органа станка на точность его перемещения будут влиять погрешности ШД, ГУ, передачи ходовой винт-гайка привода подачи. Кроме того, ШД не позволяет получать высокие скорости перемещений рабочего органа на холостом ходу, поэтому разомкнутые системы ЧПУ в настоящее время применяются редко.

Замкнутые системы управления строятся на основе применения следящего привода, включающего в себя регулируемый электродвигатель и систему обратной связи, основой которой является измерительный преобразователь (ИП), ранее называвшийся датчиком обратной связи (ДОС). В этих системах кроме прямого потока информации (см. рис. 3.4, б...г), определяющего

требуемое положение рабочего органа, имеется еще обратный поток информации, определяющий действительное положение рабочего органа. На основе их сравнения определяется и выдается сигнал управления. Система управления получается более сложной, но обеспечивает высокую точность перемещения рабочих органов, а также высокую скорость их перемещения на холостых ходах.

ИП системы обратной связи включает в себя измерительный эталонный элемент, блок сравнения и блок связи. Измерение перемещения рабочего органа обеспечивается сравнением величины этого перемещения с эталонной мерой, в качестве которой могут использоваться: точная передача ходовой винт-гайка, различные типы штриховых линеек и дисков, оптические шкалы и др.

Общие технические условия на ИП определяет ГОСТ 26242 — 70 «Системы числового программного управления. Преобразователи перемещений. Общие технические условия».

В соответствии с этим стандартом по виду входной физической величины измерительные преобразователи подразделяются на ИП линейных перемещений и ИП угловых перемещений.

По физическому принципу эквивалентного преобразования ИП подразделяются:

- на акустооптические (А);
- волновые (В);
- голографические (Г);
- емкостные (электростатические) (Е);
- индукционные (И);
- квантовые (лазерные) (К);
- магнитоэлектрические (гальваномагнитные) (М);
- полупроводниковые (на ПЗС-структурах) (П);
- резистивные (потенциометрические) (Р);
- ультразвуковые (У);
- фотоэлектрические и оптоэлектронные (Ф);
- электромагнитные (индуктивные) (Э).

Основными критериями выбора ИП для систем обратной связи являются:

- максимальная величина измеряемого перемещения (угла поворота);
- максимальная скорость измеряемого перемещения (поворота);
- способ измерения перемещения (косвенно или непосредственно);
- дискретность измеряемого перемещения (угла поворота);
- вид выходного сигнала (аналоговый, дискретный).

Обозначение ИП в технической документации и при заказе должно содержать:

- ▣ обозначение ИП — П;
- ▣ обозначение вида входной физической величины преобразования (Л — для линейных перемещений, У — для угловых перемещений);
- ▣ обозначение физического принципа эквивалентного преобразования — А, В, Г и др.

Для ИП устанавливают 12 классов точности: 001, 01, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Предел допускаемого значения погрешности $\Delta_{\text{ИП}}$ ИП не должен превышать значений, указанных в табл. 3.2. Предельная погрешность ИП принимается как наибольшее по абсолютной величине отклонение от действительного значения между двумя любыми точками во всем интервале перемещения, исключая дискретность и погрешность устройства, с которым они проверяются или работают.

Замкнутые системы ЧПУ могут выполняться в трех вариантах в зависимости от вида применяемых ИП (см. рис. 3.4).

В замкнутых системах ЧПУ, построенных по первому варианту (см. рис. 3.4, б), производится косвенное измерение положения рабочего органа станка с помощью кругового ИП, установленного на ходовом винте. Эта схема достаточно проста и удобна с точки зрения установки ИП. Габариты применяемого ИП не зависят от величины измеряемого перемещения, но при этом предъявляются высокие требования к точностным параметрам передачи ходовой винт-гайка, которая в этом случае не охватывается обратной связью. Применение в приводах подач станков с ЧПУ точно изготовленных передач ходовой винт — гайка с трением качения и создание в них предварительного натяга для устранения зазоров и увеличения жесткости позволяют широко использовать данные системы ЧПУ.

Проблемой в этом случае остается влияние на точность перемещения накопленной погрешности по шагу ходового винта, всегда образующейся при его изготовлении и не охватываемой обратной связью. При необходимости величина этой погрешности может быть измерена и в последующем скорректирована с помощью системы ЧПУ.

В замкнутых системах ЧПУ, построенных по второму варианту (см. рис. 3.4, в) применяют также круговой ИП, но измеряющий через реечную передачу непосредственное перемещение рабочего органа станка. Однако здесь в измерение вносится погрешность реечной передачи. Кроме того, длина рейки будет зависеть от ве-

Таблица 3.2. Допускаемые значения погрешности ИП

Класс точности	Предел допускаемого значения погрешности перемещений Δ_d		Нормальное значение температуры окружающего воздуха, °C
	угловых	линейных, мкм	
001	0,25"	0,1 + 0,2L	20 ± 0,1
01	0,5"	0,25 + 0,5L	
1	1"	0,5 + 1,2L	20 ± 0,2
2	2"	1 + 2,5L	
3	5"	2 + 4,5L	20 ± 0,5
4	15"	5 + 8L	20 ± 1
5	30"	10 + 15L	
6	60"	2 + 30L	
7	150"	40 + 50L	
8	300"	80 + 100L	20 ± 5
9	600"	150 + 200L	
10	Не нормируются		

Примечание. В табл. 3.2 L — безразмерная величина, численно равная длине перемещения в метрах; $L = 0$ для преобразователей угловых перемещений.

личины хода рабочего органа станка. Такой тип обратной связи применяется очень редко.

В замкнутых системах ЧПУ, построенных по третьему варианту, применяется линейный ИП (см. рис. 3.4, г).

Такая система обратной связи обеспечивает непосредственное измерение перемещения рабочего органа станка и позволяет охватить обратной связью все передаточные механизмы привода подачи, чем достигается высокая точность перемещений. Однако линейные ИП сложнее и дороже, чем круговые. Его габариты зависят от длины хода рабочего органа станка. Установка линейного ИП на станке и его эксплуатация — трудоемкие процессы. На точность измерения такими ИП могут оказывать влияние погрешности станка (температурные деформации узлов станка, погрешности их геометрических параметров, износ направляющих). Линейные ИП требуют хорошей защиты от попадания масла, СОТС и стружки.

Таблица 3.3. Основная классификация и основные особенности УЧПУ

Тип УЧПУ по функциональной ориентации управляемых станков	Класс УЧПУ по возможностям формообразования и дополнительным признакам					Условное обозначение (русское/латинское)
	цикло- вой	позици- онный	контурный по двум осям	контурный по трем осям	контурный по более чем трем осям	
	0	1	2	3	4	
Токарные станки	—		Нарезание резьб, включая коническую	Угловое позиционирование шпинделей; нарезание конической резьбы	Нарезание конической резьбы на двухшпиндельных станках	T/T
Фрезерные станки (сверлильно-фрезерно-расточные)	—			Нарезание резьбы фрезой		F/F
Шлифовальные станки	—		Контурная обработка и адаптивность	Криволинейно-пространственная обработка и адаптивность		Ш/G
Зубообрабатывающие станки	—		Электронный вал			Z/Z
Роботы	—	Обучение		Обучение и адаптивность		P/R

УЧПУ для специальных станков (например, агрегатные, пружинно-навивочные, трубогибы, машины термической резки и др.)

Специальные функции и алгоритмы

С S

УЧПУ без функциональной ориентации (общего назначения)

Без индекса

По совокупности признаков. Общие технические требования на программируемые устройства ЧПУ и их классификацию устанавливает ГОСТ 21021 — 2000 «Устройства числового программного управления. Общие технические требования».

По данному стандарту основной является классификация УЧПУ по функциональной направленности и по возможностям обеспечения требуемой траектории движения (формообразованию). Она приведена в табл. 3.3.

Классификацию УЧПУ по данному стандарту можно также проводить по следующим дополнительным признакам.

По способу подготовки и ввода управляющих программ УЧПУ бывают:

- с непосредственным заданием управляющих программ на пульте устройства;
- заданием управляющих программ на внешнем программноносителе (например, фотосчитывающее устройство, кассетный магнитофон, устройство считывания по типу ЭВМ);
- заданием управляющих программ по каналу связи от внешней ЭВМ или от управляющих устройств высшего уровня.

Для удобства отладки программы возможно сочетание нескольких способов подготовки и ввода управляющих программ.

По возможности визуализации информации для оператора УЧПУ бывают:

- с цифровыми табло и мнемосхемами;
- буквенно-цифровым дисплеем с псевдографическими мнемосхемами;
- графическим дисплеем.

По способам управления электроавтоматикой станка УЧПУ подразделяют на УЧПУ:

- с жесткой (непрограммируемой) автоматикой;
- частично программируемой автоматикой;
- полностью программируемой автоматикой.

По возможностям автоматического изменения параметров работы УЧПУ в процессе работы в зависимости от фактических условий обработки деталей УЧПУ бывают:

- с жестким заданием параметров;
- адаптивные (с самонастройкой по условиям работы).

По построению УЧПУ бывают:

- на базе оригинальных аппаратных средств и программно-математического обеспечения (ПМО);
- базе персональных компьютеров в промышленном исполнении и их ПМО.

Программное обеспечение (ПО) микропроцессорных систем ЧПУ в общем виде состоит из трех частей:

1) системное ПО (СПО), которое обеспечивает распределение ресурсов системы ЧПУ, организацию процесса обработки, ввода-вывода и управления данными;

2) технологическое ПО, обеспечивающее реализацию задач управления применительно к различным технологическим группам станков (токарных, фрезерных, сверлильных и др.);

3) функциональное ПО, обеспечивающее реализацию задач управления применительно к различным моделям станков внутри каждой группы.

Технологическое и функциональное ПО образует так называемое ПО процесса управления объектом.

Системное программное обеспечение должно обеспечивать возможность модификации базового и создание нового технологического и функционального программного обеспечения. Состоит из операционной системы, служебного ПО, диагностического ПО.

Операционная система — центр всей системы средств. В общем виде она определяет порядок работы программных средств этой системы.

Служебное ПО — выполняет функции интерфейса между пользователем и СЧПУ. Это ПО включает сервисные программные средства, обеспечивающие доступ к системе пользователей, обслуживающего персонала, разработчиков функционального ПО, разработчиков управляющих программ.

Современные СЧПУ оснащены развитой системой диагностирования, работающей на следующих уровнях: по включению питания, в реальном времени во время управления станком, по вызову оператора.

Диагностическое ПО аппаратных средств микро-ЭВМ применяется для их тестирования.

Для базового **технологического программного обеспечения** в технических документах на УЧПУ конкретного типа должны быть заданы:

- число (в том числе одновременно) управляемых приводов координатных перемещений;

- взаимовязка управляемых приводов координатных перемещений посредством выбранных типов интерполяции;
- дискретность перемещений по каждой оси;
- максимальное программируемое перемещение по каждой оси;
- предельные значения рабочих подач и ускоренных перемещений;
- диапазон допустимых (регулируемых) ускорений при разгоне (торможении) на рабочих подачах и ускоренных перемещениях;
- состав реализуемых функций управления (вспомогательные и подготовительные функции, функции управления подачей и главным движением, виды интерполяции, номенклатура режимов работы);
- виды коррекции, предельные значения коррекции и количество корректоров по каждой группе;
- форма представления вводимой информации, в том числе по управляющим программам;
- номенклатура и (или) формат команд языка ввода информации;
- состав технологических циклов;
- номенклатура станочных параметров, технологического уровня;
- режимы индикации;
- состав и форматы индицируемых сообщений.

Функциональное ПО решает задачи привязки СЧПУ к конкретному типу станка и для этого включает описание характеристик данного станка и программу управления его электроавтоматикой. Для функционального программного обеспечения в технических документах на УЧПУ конкретного типа должна быть оговорена форма задания функций электроавтоматики станка программным способом на языке, доступном потребителю с выдачей сигналов M (вспомогательные функции), S (задание частоты вращения шпинделя), T (задание номера инструмента) в кодированном виде по ГОСТ 20999—83 «Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ».

В общем виде можно сформулировать **пять задач**, решаемых системой ЧПУ и вытекающих из необходимого взаимодействия ее со станком и окружающей производственной средой.

Взаимодействие со станком состоит в управлении формообразованием детали — геометрическая задача, в управлении цикловой автоматикой станка — логическая задача, в управлении рабочим процессом в целях его поддержания или оптимизации — технологическая задача. Например, при электрохимической обработ-

но, адаптивном управлении с изменением подачи и скорости резания для оптимизации процесса обработки по какому-то критерию.

Взаимодействие с окружающей производственной средой — терминальная задача выражается в диалоге с оператором и в информационном обмене с управляющей ЭВМ более высокого ранга.

Пятая задача обеспечивает проведение технического диагностирования УЧПУ и узлов станка — диагностическая задача.

В рамках **геометрической задачи** выполняются следующие функции управления.

1. *Ввод и хранение СПО.* Настройка УЧПУ для решения определенного круга задач осуществляется однократно путем ввода информационного массива СПО. К СПО относят совокупность программ, отражающих алгоритмы функционирования станка. СПО для МП УЧПУ может быть изменено в зависимости от типа управляемых приводов станков, различного состава команд управления, характера и количества обменных сигналов.

СПО обеспечивает распределение ресурсов УЧПУ, организацию процесса обработки, ввода-вывода, редактирования и управления данными. Память для хранения СПО должна быть энергонезависимой. Для ввода СПО могут использоваться различные носители: перфолента, дисковые накопители, канал связи с ЭВМ верхнего уровня.

2. *Ввод, редактирование и хранение УП.* Если СПО остается неизменным для данного станка, то УП изменяется при изготовлении разных деталей. В МП УЧПУ управляющая программа может вводиться целиком или в режиме покадрового ввода с различных внешних носителей: флеш-накопителя, дискового накопителя, с пульта управления или по каналам связи с ЭВМ высшего уровня. Она запоминается и хранится в оперативной памяти МП УЧПУ, которая должна быть энергонезависимой. После отладки и редактирования УП может быть выведена на специальные внешние устройства: автоматическое печатающее устройство, графопостроитель, дисплей, накопитель на магнитных дисках и т. д.

3. *Интерпретация кадра.* Обработка кадра УП требует проведения ряда предварительных процедур, называемых интерпретацией кадра. Для обеспечения непрерывности управления приводом процедуры интерпретации последующего кадра должны быть реализованы во время управления задаваемого кадра. Функция интерпретации кадра необходима для того, чтобы перенести команды, записанные в кадрах УП, в вид, понятный СЧПУ.

4. *Интерполяция.* Необходимо обеспечить движения инструмента относительно детали по заданной траектории. Интерполя-

ционные вычислительные циклы воспроизводятся с высокой частотой с тем, чтобы получить информацию, необходимую для непрерывного управления следящими приводами подач в целях движения по заданной траектории. Каждый участок траектории задается координатами начальной и конечной опорных точек и параметрами уравнения участка.

Интерполяция — процесс получения с требуемой точностью координат промежуточных точек траекторий по координатам крайних вспомогательных опорных точек аппроксимируемого контура и заданной функции интерполяции.

В МП УЧПУ могут быть обеспечены различные виды интерполяции: линейная, круговая, винтовая, сплайновая.

5. *Управление приводами.* С позиции сопряжения с МП УЧПУ приводы делятся на *регулируемые*, параметры которых изменяются под воздействием УЧПУ, и *нерегулируемые*, параметры которых если и изменяются, то только от возмущающих внешних воздействий. Регулируемые приводы по задачам управления разделяются на стабилизирующие, позиционные и следящие. Структура следящего привода предусматривает два контура обратной связи: по положению и по скорости. В стабилизирующих приводах отсутствует контур обратной связи по положению, в позиционных — по скорости. Контур обратной связи реализуются измерительными преобразователями ИП положения или скорости, входящие в состав приводов (см. подразд. 3.3).

Сложность управления зависит от типа привода. В общем случае задача сводится к организации цифровых позиционных следящих систем для каждой координаты. На вход такой системы поступают коды, соответствующие результатам интерполяции. Этим кодам должно отвечать положение по координате — линейное или угловое перемещение.

Кроме управления в режиме движения по заданной траектории с заданной скоростью необходима организация некоторых вспомогательных режимов работы привода: функция аварийного останова привода, чтобы исключить выход рабочего органа за пределы рабочей зоны и превышение допустимого значения величины перемещения по соответствующей управляемой координате; функция согласования УЧПУ и ИП для предотвращения рывков после включения привода; функция автоматического выхода рабочего органа в нулевую точку станка для приведения в соответствие значения заданных координат в УП с истинным положением рабочих органов; функция реферирования для автоматического выхода рабочих органов станка в референтную точку, в целях кон-

цели их перемещений при отсчете в приращениях; функции автоматического выхода рабочих органов в точку смены инструмента и заготовки (см. подразд. 8.2).

6. *Работа с постоянными технологическими циклами обработки.* МП УЧПУ может автоматически рассчитывать и формировать траектории движения инструмента, если в УП заданы постоянные технологические циклы обработки.

Подпрограммы УП, составленные для различных инструментов и охватывающие наиболее часто повторяющиеся технологические схемы обработки, называются постоянными технологическими циклами обработки. Использование циклов обработки позволяет сократить УП. Циклы соответствуют определенным технологическим операциям (сверлению, зенкерованию, точению, фрезерованию и др.) и позволяют задать всю последовательность действий на станке при выполнении этих операций в одном кадре УП.

7. *Коррекции УП с учетом фактических размеров и величины износа инструментов.* МП УЧПУ может автоматически выполнять коррекцию УП, т. е. перерасчет координат опорных точек траекторий, заданных в УП с учетом фактически используемых параметров инструмента: длины, радиуса и величины износа инструмента. Также может быть скорректирована величина подачи и частота вращения шпинделя. Учет фактического радиуса инструмента при коррекции сводится к формированию траектории, эквидистантной запрограммированной, а коррекция по длине инструмента — к параллельному переносу системы координат инструмента, т. е. к смещению положения рабочего органа станка.

Коррекция осуществляется, если в УП заданы номера корректоров и характер коррекции, а в корректоры МП УЧПУ, находящиеся в ее памяти, введены величины коррекции.

При выполнении *логической задачи* в МП УЧПУ используется прием, обработка и вывод дискретных сигналов, обеспечивающих управление элементами электроавтоматики станка (ЭЛА) станка. Специфику логической задачи составляет большое количество обменных сигналов между УЧПУ и станком. Прежде всего это обработка аварийных сигналов: от ограничителей перемещения рабочих органов, от устройства контроля рассогласования между истинными и заданными значениями координат, от схемы аварийной остановки шпинделя во время обработки и т. д. При приеме аварийного сигнала МП УЧПУ должна прекращать интерполяцию.

Развитием логической задачи явилась автоматизация на станке вспомогательных операций:

- 1) зажим-разжим заготовки или инструмента;
- 2) включение-отключение шпинделя, переключение диапазонов частот вращения;
- 3) включение-выключение охлаждающей жидкости и т. д.;
- 4) автоматизация циклических процессов станка.

Все сложные циклические процессы можно представить в виде циклов автоматики. Под системой цикловой автоматики понимают систему автоматического управления механизмами и группами механизмов, поведение которых определяется множеством параллельных и последовательных операций. Примером циклов автоматики являются циклы автоматической смены инструмента и заготовки.

В рамках *логической задачи* выполняются следующие функции.

1. *Управление приводом главного движения.* Управление приводом главного движения предусматривает включение и отключение привода, выбор направления вращения, диапазона частот вращения, стабилизацию частоты вращения, аварийный останов привода. В некоторых случаях требуется программное изменение угла поворота (например, при нарезании резьбы), ориентированный останов (при смене инструмента), смена режима работы (при работе многоцелевого токарного станка).

Функция смены режима обработки связана с особенностью работы шпинделя данных станков. Вал шпинделя может вращаться в двух режимах: вращение при точении и угловой поворот при фрезеровании.

2. *Управление циклом автоматической смены инструмента.*

3. *Управление циклом автоматической смены заготовки.*

4. *Коррекция погрешностей механических и измерительных устройств.* Любой агрегат можно аттестовать с помощью измерительных средств. Результаты такой аттестации в виде таблиц погрешностей (накопленная ошибка, люфты) заносятся в память УЧПУ. При работе текущие показания ИП корректируются данными из таблиц погрешностей.

В целях поддержания рабочего процесса на станке и его оптимизации ИП УЧПУ выполняет *технологическую задачу*, в которой можно выделить следующие функции.

1. *Управление средствами контроля на станке.* Как правило, на станке имеются ИП, обеспечивающие дополнительные измерения параметров станка, инструмента, приспособления с заготовкой, детали до процесса обработки, в ходе процесса обработки и после нее.

При этом МП УЧПУ управляет специальными измерительными циклами.

2. *Адаптивное управление механообработкой.* Чаще всего адаптация осуществляется изменением контурной скорости и скорости главного движения. Необходимая информация получается от дополнительно установленных ИП момента сопротивления, мощности привода главного движения, вибраций, температуры и др.

3. *Накопление статистической информации.* К ней относятся фиксация текущего времени и времени обработки, определение коэффициентов загрузки оборудования, учет продукции и т. д.

Терминальная задача системы ЧПУ служит источником потока заданий для всех остальных задач. Эти задания формируются под управлением оператора станка или ЭВМ более высокого ранга.

Для связи МП УЧПУ с оператором предусмотрены такие аппаратно-программные средства, как клавишный пульт оператора, дисплей УЧПУ, сигнальная индикация, фотосчитывающее устройство (ФСУ) и другие устройства, размещенные на панели пульта оператора и обеспечивающие выбор задания, определение задач задания, а также контроль за исполнением задач.

Пульт управления системы ЧПУ конструктивно выполняется в разных вариантах (подвесной, встроенный и др.) (см. подразд. 3.3).

Одним из типовых режимов работы УЧПУ является диагностический контроль (*диагностическая задача*), проводимый на стадиях подготовки к выполнению задания.

Диагностические средства УЧПУ выполняют три главные функции:

- 1) контроль исправности аппаратных средств;
- 2) контроль сохранности СПО (проверка памяти как аппарата);
- 3) контроль за правильным протеканием процесса управления в целях предотвращения аварий.

При этом выясняется состояние аппаратных средств МП УЧПУ с различной степенью детализации, т. е. оценивается состояние функционального модуля, узла в модуле или элемента в узле. Время восстановления работоспособности УЧПУ при отказе во многом определяется степенью детализации указания места неисправности.

Для выполнения диагностики УЧПУ предусмотрены встроенные или выносные программно-аппаратные средства контроля и диагностики. При этом средства диагностики ориентированы в основном на диагностику оборудования до момента выполнения производственного задания, а средства контроля — на процесс выполнения производственного задания.

Как правило, диагностика проводится автоматически при включении МП УЧПУ, и в случае обнаружения неисправностей выдаются диагностические сообщения. Специальные диагностические тесты модулей УЧПУ и выносные программно-аппаратные средства обычно применяются при отыскании и устранении неисправностей, когда УЧПУ не выполняет производственного задания.

В ходе контроля за производственным процессом при отклонении его от нормального хода УЧПУ останавливает процесс с выдачей диагностических сообщений. Диагностические сообщения во многом облегчают понимание процессов, происходящих в УЧПУ, и способствуют уменьшению времени восстановления его работоспособности при отказе.

3.3. МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Состав задач, решаемых системой ЧПУ, и степень их сложности оказывают непосредственное влияние на структуру (архитектуру) построения устройства ЧПУ. В МП УЧПУ может входить один или несколько вычислителей, основой которых являются микропроцессоры. Простейший вариант построения — однопроцессорное устройство ЧПУ. Здесь все задачи решаются последовательно одним вычислителем (см. рис. 3.3). Такие системы ЧПУ имеют ограниченные функциональные возможности и применяются для управления простыми станками.

В мультипроцессорном УЧПУ каждая задача выполняется отдельным вычислителем. В этом случае функциональные возможности системы ЧПУ очень большие и применяют их уже для управления сложными, многоцелевыми станками (рис. 3.5).

Возможности программируемых систем ЧПУ зависят также от объема их запоминающих устройств (памяти). Эти системы могут иметь три вида памяти:

- 1) *оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)* с высоким быстродействием, допускающее считывание и запись информации в режиме реального времени. Эти ОЗУ используются для временного хранения данных (УП, различных видов коррекций задач, частоты вращения шпинделя, радиуса и длины инструмента и др.) в ходе реализации УП;

- 2) *постоянное программируемое запоминающее устройство (ПЗУ)*, только считываемое, не меняющее своего содержания в ходе нормальной работы УЧПУ и сохраняющее информацию

при отключении электропитания. Оно применяется для хранения программ функционирования (внутреннее программное обеспечение собственно микропроцессора и прикладное программное обеспечение УЧПУ) и постоянных данных;

3) *перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство* (ППЗУ). Содержание ППЗУ может быть изменено многократно.

В зависимости от функционального назначения МП УЧПУ разделяют на устройства со стандартными фиксированными функциями и устройства с гибкими возможностями.

Устройства со стандартными фиксированными функциями выпускаются большими сериями и предназначаются для управления станками со стандартными технологическими процессами — фрезерными, токарными и др., а также универсальными промышленными роботами.

Функциональные возможности данных МП УЧПУ определены системным программным обеспечением, алгоритмы которого задаются пользователем или разработчиком. В качестве ЗУ используют память типа ППЗУ.

Устройства с гибкими возможностями предназначены для управления станками повышенной точности и сложности с большим числом управляемых координат. Как правило, имеют мультипроцессорную структуру построения, большую оперативную и внешнюю память, развитую систему интерфейсов и возможность генерации СПО в соответствии с нуждами потребителя. В качестве ЗУ используют память типа ОЗУ.

Примером является мультипроцессорное программируемое УЧПУ серии «Электроника МС 2101». В зависимости от типа управляемого станка и задач управления в состав данного УЧПУ входят два или три блока, каждый из которых имеет отдельную микроЭВМ.

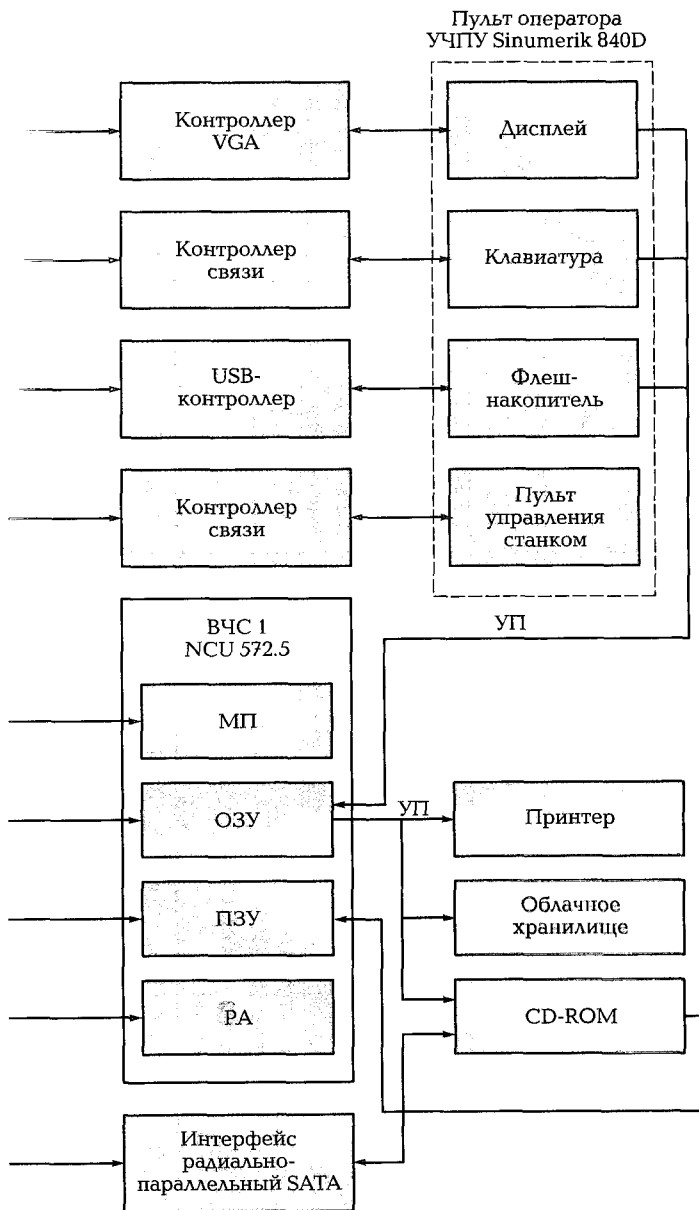
В настоящее время разработаны и применяются новые УЧПУ типа Micro8 (Bosch), Sinumerik 802D (Siemens), Sinumerik 840D (Siemens), Vector 90 (Olivetti), Sinumerik 3M (Siemens), NC-110 («Балт-Систем»), iTNC 530 (Heidenhain). Технические характеристики перечисленных МП УЧПУ приведены в табл. 3.4.

На рис. 3.6, а показан пульт МП УЧПУ модели iTNC 530 фирмы Heidenhain с зонами управления.

Управляемые УЧПУ iTNC 530 рабочие органы станка можно перемещать вручную, используя электронный маховичок как пульт управления станком (рис. 3.6, б). Оператор перемещает приводы подачи рабочих органов станка синхронно с вращением маховичка. Для более точного позиционирования можно задавать длину перемещения на каждый оборот маховичка.



Рис. 3.5. Общая блок-схема устройства числового программного управления



ния Sinumerik 840D фирмы Siemens

Таблица 3.4. Основные технические характеристики мультипроцессорных систем ЧПУ

Показатель	Модель УЧПУ (фирма)			
	Micro8 (Bosch)	Sinumerik 802D (Siemens)	Sinumeric 840D (Siemens)	Vector 90 (Olivetti)
Число управляемых координат	Max 7 линейных: X, Y, Z, A, B, V, W + привод главного движения	4 + привод главного движения	2, 6, 12, 32 + привод главного движения	5: X, Y, Z, B, R + привод главного движения (максимально 8)
Число одновременно управляемых осей	3	5	6	5
Дискретность	Линейная — 0,001 мм; круговая — 0,001°	X, Z, W — 0,1 мкм; B, C — 0,001°	Линейная — 0,001 мм; круговая — 0,001°	Линейная — 0,0001 мм
Измерительные преобразователи (ИП)	Резольверы; индуктосины линейные, круговые; оптические ИП фирмы Heidenhain; сельсины	Линейные и круговые оптические ИП	Линейные и круговые оптические ИП	Линейные и круговые оптические ИП
Величина рабочей подачи	0,01 ... 99 мм/мин	0,01 ... 999 мм/мин	0,01 ... 999 мм/мин	0,01 ... 999,99 мм/мин
Ускоренная подача	12 000 мм/мин	20 000 мм/мин	20 000 мм/мин	10 000 мм/мин
Привод вращения шпинделя	M03, M04, M05, M19	M03, M04, M05, M19	M03, M04, M05, M19	M03, M04, M05, M19

Компенсация накопленной ошибки ШВП	+	-	-	-
Дополнительные ИП	+	+	+	+
Зеркальная обработка	По всем координатам G39	-	-	+
Программное смещение нуля станка	+	+	+	+
Компенсация люфта	-	+	+	0 ... 0,99 мм
Максимальный программируемый размер	±9 999,999 мм	±9 999,999 мм	±9 999,999 мм	±9 999,9999 мм
Коррекция радиуса инструмента и вылета	G40...G42; H40...H42	До 32 инструментов на длину ±999,999 мм на износ ±9,999 мм	До 32 инструментов на длину ±999,999 мм на износ ±9,999 мм	До 99 инструментов на ±9 999,999 мм
Число сменяемых инструментов	До 100	1 ... 99	1 ... 99	До 100
Работа в абсолютных координатах G90, в приращениях G91	+	+	+	+
Автоматические циклы нарезания резьбы, фрезерования, растачивания	G33 — нарезание резьбы G80 ... G89	G33 — нарезание резьбы, постоянные циклы поддерживаются	G33 — нарезание резьбы, постоянные циклы поддерживаются	G80...G86, G89

Показатель	Модель УЧПУ (фирма)			
	Micro8 (Bosch)	Sinumerik 802D (Siemens)	Sinumeric 840D (Siemens)	Vector 90 (Olivetti)
Ввод/вывод	Пульт оператора, НГМА, ФСУ	Перфоратор, НГМА, телетайп, ФСУ, пульт оператора, Ethernet, USB	Перфоратор, НГМА, телетайп, ФСУ, пульт оператора, Ethernet, USB	Перфоратор, НГМА, телетайп, ФСУ, пульт оператора
Встроенная диагностика	+	+	+	+
Память для УП: тип	ЗУ на МЛ	—	—	ОЗУ
емкость	1 000 Кбит	256 Кб	512 Кб	(хранение до 100 ч) 320 Кбит
Количество дискретных сигналов: выходные	192 (144)	96 (для PROFIBUS)	96 (для PROFIBUS)	80
входные	192 (240)	144	144	96

Продолжение табл. 3.4

Показатель	Модель УЧПУ (фирма)			
	Sinumerik 3T (Siemens)	Sinumerik 3M (Siemens)	NC-110 («Балт-Систем»)	iTNC 530 (Heidenhain)
Число управляемых координат	2 линейные: X, Z + привод главного движения	4 линейные: X, Z, Y, 4-я (A, B, C, U, W, V) + привод главного движения	До 16	13 + привод главного движения

Количество одновременно управляемых осей	2	3	8	5
	Дискретность	Линейная — 0,001 мм	Линейная — 0,001 мм	0,0001 мм
Измерительные преобразователи (ИП)	Сельсины, индуктосины	Линейные ИП типа ЛИР, Heidenhain	Линейные и круговые оптические ИП	Линейные и круговые оптические ИП
Величина рабочей подачи	0,01 ... 1 200 мм/мин	0,01 ... 1 500 мм/мин	0,01 ... 99 999,99 мм/мин	0,01 ... 1 500 мм/мин
Ускоренная подача	15 000 мм/мин	15 000 мм/мин	100 000 мм/мин	12 000 мм/мин
Привод вращения шпинделя	M03, M04, M05, M19	M03, M04, M05, M19	M03, M04, M05, M19	M03, M04, M05, M19
Компенсация накопленной ошибки ШВП	+	+	+	+
Дополнительные ИП	+	+	+	+
Зеркальная обработка	+	+	+	+
Программное смещение нуля станка	+	+	+	+
Компенсация люфта	+	+	+	+
Максимальный программируемый размер	±9 999,999 мм (для X, Z)	±9 999,999 мм (для X, Y, Z); ±999,999 мм (для 4-й)	±99 999,9999 мм	±99 999,9999 мм

Показатель	Модель УЧПУ (фирма)			
	Sinumerik 3T (Siemens)	Sinumerik 3M (Siemens)	NC-110 («Балт-Систем»)	iTNC 530 (Heidenhain)
Коррекция радиуса инструмента и вылета	20 пар корректоров на длину: ±999,99 мм на износ: ±9,9999 мм	20 пар корректоров на длину: ±999,999 мм на износ: ±999,999 мм	На длину: ±9 999,999 мм На износ: ±999,999 мм	+
Число сменяемых инструментов	1 ... 99	1 ... 99	1 ... 9999	Произвольное
Работа в абсолютных координатах G90, в приращениях G91	+	+	+	+
Автоматические циклы нарезания резьбы, фрезерования, растачивания	G80-G89, G681	Нарезание резьбы, коническая резьба с постоянным шагом и др.	G33, G81-G86, G89	+
Ввод/вывод	Пульт оператора, ФСУ, телетайп	ФСУ, перфоратор, устройство считывания/перфорирования («Сименс» PT80)	Пульт оператора, Ethernet, USB	Пульт оператора, Ethernet, USB
Встроенная диагностика	+	+	+	+

Память для УП: тип	Два ОЗУ	10 000 программ	ОЗУ	ОЗУ
емкость	(на 24 000 знаков, и на 6 000 знаков)	обработки деталей (одновременно не более 200)	64/128 Мб	512 Мб
Число дискретных сигналов: выходные входные	64 32	64 32	32 (до 128) 48 (до 192)	от 31 от 56

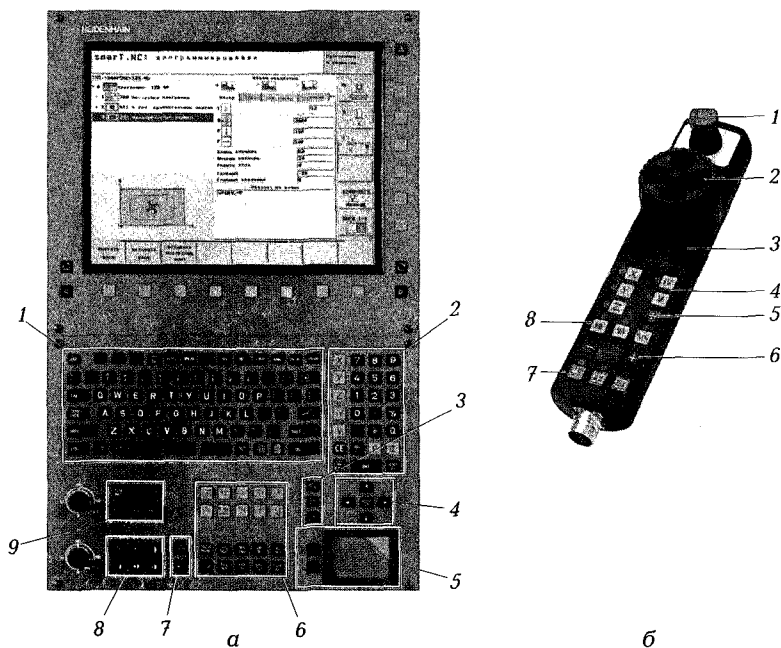


Рис. 3.6. Пульт устройства числового программного управления модели iTNC530 фирмы Heidenhain:

a — пульт оператора УЧПУ: 1 — алфавитная клавиатура для ввода текста, имен файлов и программирования в формате DIN/ISO; 2 — ввод числовых значений и выбор оси; 3 — клавиши навигации smartTNC; 4 — клавиши со стрелками и операция перехода GOTO; 5 — Touchpad: только для работы в двухпроцессорной версии, с клавишами Softkey и с smartTNC; 6 — открытие диалоговых окон программирования; 7 — режимы программирования; 8 — режимы работы станка; 9 — управление файлами (калькулятор, MOD-функция, HELP-функция (ПОМОЩЬ)); *б* — пульт управления станком: 1 — клавиша аварийного отключения; 2 — потенциометр ручной коррекции подачи и скорости вращения шпинделя; 3 — клавиши непрерывного перемещения осей; 4 — клавиши выбора осей; 5 — клавиша индикации режимов, фактического положения, подачи и скорости вращения шпинделя, сообщений об ошибках; 6 — клавиша настраивания подачи на оборот; 7 — клавиша направления ручного перемещения рабочего органа; 8 — клавиши Softkey для функций, определяемых изготовителем станка

Клавиши выбора оси и определенные функциональные клавиши встроены в корпус маховичка. Таким образом, с помощью маховичка оператор может выбрать перемещаемую ось или наладить станок, не находясь при этом непосредственно за пультом станка.

Общение оператора и УЧПУ происходит на нескольких языках, среди которых можно выделить язык заданий, язык задач, язык дисплея и язык индикации. Язык заданий реализуется клавишны-

ми средствами панели оператора, при помощи которых оператор определяет режим работы УЧПУ, производит настройку УЧПУ для выполнения задания. Язык заданий достаточно разнообразен, так как отражает не только специфику УЧПУ, но и специфику станка как объекта управления.

Язык заданий УЧПУ нашел свое отражение в выделении функциональных полей (зон) панели оператора, мнемонических обозначениях функциональных клавиш и правилах пользования ими. Ниже приведена мнемоника клавиш пульта оператора УЧПУ модели iTNC530 фирмы Heidenhain. Символы (условные графические изображения) на пультах управления и их основные размеры устанавливает ГОСТ 24505—80 «Устройства числового программного управления. Символы на пультах управления», полностью соответствующий международному стандарту ИСО 3461—76.

Язык задач предназначен для описания задач, реализуемых при выполнении заданий. Описание задач задается с помощью УП, которая составлена на языке пользователя. Как правило, оператор ищет подготовку УП в режиме «Меню» с использованием графических представлений.

Язык дисплея и индикации определяется правилами эксплуатации УЧПУ и языков заданий и задач, а также мнемоникой функциональных клавиш дисплея индикации и правилами пользования ими. С помощью этих языков задаются объем и содержание визуальной контролируемой информации, ведется диалог, выполняется плоская и объемная графика.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение системам ЧПУ и перечислите признаки, по которым они классифицируются.
2. Расскажите о возможностях обработки на станках, оснащенных комбинированными системами ЧПУ.
3. Перечислите классы аппаратных и программируемых систем ЧПУ. Какие из них имеют гибкую структуру построения?
4. Что такое микропроцессорное устройство ЧПУ и какие элементы входят в его структуру построения?
5. Какие виды программного обеспечения МП УЧПУ вы знаете и какие задачи они решают?
6. Перечислите функции управления на станке, решаемые МП УЧПУ в рамках геометрической задачи.
7. Каким устройством реализуется обратная связь в замкнутых МП УЧПУ?

II

РАЗДЕЛ

КОМПОНОВКА И КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

- Глава 4. Основные конструкции узлов станков
- Глава 5. Приводы подачи станков
- Глава 6. Вспомогательные системы и устройства

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ СТАНКОВ

4.1. НЕСУЩИЕ УЗЛЫ СТАНКОВ

Компоновку станка с ЧПУ можно определить как систему расположения его узлов и направляющих, которая отличается структурой, пропорциями и свойствами этой системы.

В настоящее время имеется значительное многообразие компоновок станков с ЧПУ как для обработки деталей типа тел вращения, так и для обработки корпусных и плоских деталей. На этапе разработки компоновки закладываются важнейшие показатели станка: точность, производительность, надежность, металлоемкость. Для экономии дорогостоящей производственной площади необходимо делать станки предельно компактными. Компоновка станка влияет на его точность:

- через упругие деформации базовых деталей и узлов в зависимости от их массы, размеров, конструктивной формы, взаимного расположения, вылетов подвижных деталей и узлов и изменения этих вылетов;
- износ направляющих, зависящий от схемы расположения, размеров и типов направляющих;
- температурные деформации базовых и других деталей и узлов станка, что приводит к относительному линейному смещению узлов станка, несущих заготовку и режущий инструмент, а также к их угловым поворотам.

Важными элементами в компоновке станка являются его базовые детали (станины, стойки, колонны и др.). От их компоновки и конструкции зависят точность, жесткость, металлоемкость и другие характеристики станка. Так, для повышения жесткости

базовые и корпусные детали многих современных станков с ЧПУ делают сварными из толстолистовой стали с большим количеством ребер (вместо литых).

Однако необходимо учитывать, что в некоторых случаях создание сварных корпусных деталей является более трудоемким, особенно если эти детали имеют сложную конфигурацию и затруднена унификация составных свариваемых элементов. Кроме того, литые корпусные детали из чугуна часто имеют лучшую виброустойчивость и стабильность формы. Все корпусные сварные детали для снятия внутренних напряжений необходимо подвергать отжигу.

Наряду с литыми и сварными деталями из чугуна и стали в современных станках с ЧПУ применяют базовые детали из композиционных материалов, в частности из синтегран — материала на основе наполнителя в виде крошки гранита и полимерного (эпоксидного) связующего компонента холодного отверждения в количестве до 10 %.

Синтегран по сравнению с чугуном имеет следующие основные преимущества: в 4...5 раз выше демпфирующая способность, минимальные внутренние напряжения в отливках и соответственно повышенная стабильность размеров во времени, в десятки раз ниже теплопроводность и соответственно малая чувствительность деталей из синтегран к перепаду температур, высокая коррозионная стойкость, меньшая трудоемкость изготовления отливок.

На рис. 4.1 схематично показаны применяемые варианты компоновок станин 3 и суппортов 1 и 2 на токарных станках, в том числе с ЧПУ. Компоновки различаются получаемыми габаритны-

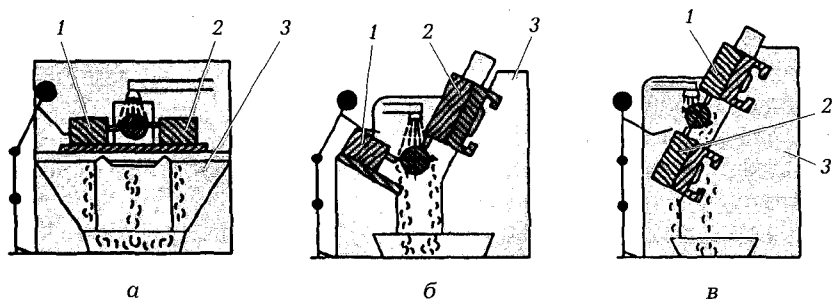


Рис. 4.1. Варианты компоновок станины и суппортов в токарных станках: а — горизонтальная; б — двусторонняя наклонная; в — наклонная с расположением суппортов параллельно друг другу; 1 и 2 — суппорты; 3 — станина

ми размерами, удобством доступа оператора и наладчика к рабочей зоне и режущим инструментам, схемой восприятия сил резания направляющими суппортов, отводом стружки и др.

В современных токарных станках с ЧПУ наряду с вариантом, показанным на рис. 4.1, а, широкое применение получила наклонная компоновка (рис. 4.1, в). При такой компоновке имеется удобный доступ оператора к патрону шпинделя для установки заготовки, к задней бабке и к револьверной головке с инструментами. Такие токарные станки с ЧПУ выпускаются как с одной, так и с двумя револьверными головками. Некоторые фирмы выпускают токарные станки с ЧПУ с тремя револьверными головками, с противошпинделем.

Важное значение имеет правильная компоновка отдельных узлов станка с ЧПУ (шпиндельной бабки, приводов подач и др.). В современных многоцелевых станках применяются как вертикальная, так и горизонтальная компоновка шпинделя.

В станках с горизонтальной компоновкой шпинделя находит широкое применение арочная конструкция колонны, в центральном проеме которой перемещается шпиндельная бабка (рис. 4.2, а). Такая компоновка предотвращает скручивание колонны при нагрузке вдоль оси шпинделя, что наблюдалось при старом консольном расположении шпиндельной бабки (рис. 4.2, б). Кроме того, при такой термосимметричной компоновке снижается влияние температурных деформаций колонны на точность станка за счет равномерного нагрева ее левой и правой сторон. При консольном расположении шпиндельной бабки имели место неравномерные температурные деформации, которые приводили к значительным отклонениям оси шпинделя.

Условия перемещения шпиндельной бабки в центральной части колонны станка с точки зрения износа направляющих могут быть улучшены за счет увеличения ее высоты H по отношению к ширине B по сравнению с конструкцией, где эти размеры одинаковые (см. рис. 4.2, а).

На рис. 4.2, в, г показаны разные варианты компоновки и крепления шпиндельной бабки в токарных станках с ЧПУ, в результате чего получают различные направления и величины смещения шпинделя из-за температурных деформаций.

При креплении шпиндельной бабки 2 (см. рис. 4.2, в) на станине на горизонтальной поверхности 1 смещение шпинделя из-за температурных деформаций относительно режущего инструмента, установленного в револьверной головке 4, происходит в вертикальном направлении 3. При креплении шпиндельной бабки 2 на

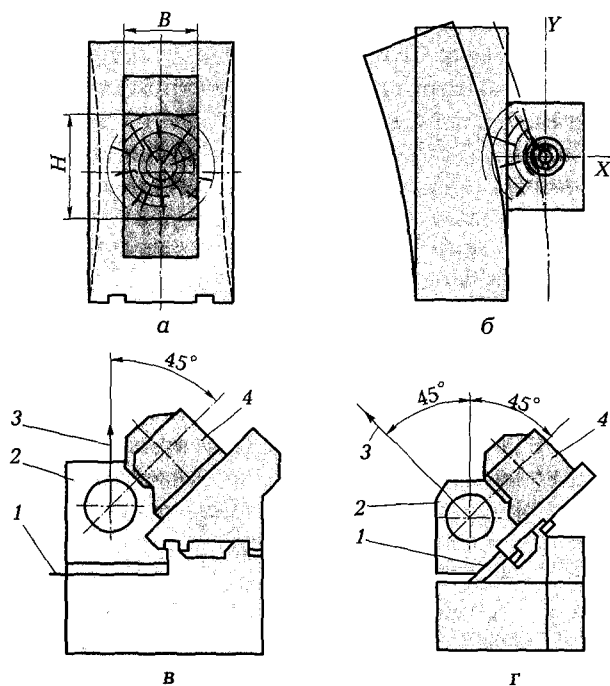


Рис. 4.2. Виды компоновок шпиндельных бабок на многоцелевых и токарных станках с ЧПУ:

а — с центральным расположением в колонне; *б* — консольная; *в* — с креплением на горизонтальной плоскости: 1 — горизонтальная поверхность; 2 — шпиндельная бабка; 3 — вертикальное направление; 4 — револьверная головка; *г* — с креплением на наклонной поверхности: 1 — наклонная поверхность; 2 — шпиндельная бабка; 3 — направление под углом; 4 — револьверная головка

станине на наклонной поверхности 1 (см. рис. 4.2, г) отклонение шпинделя происходит уже под углом к вертикали в направлении 3 и погрешность изготовления детали получается меньше.

4.2. НАПРАВЛЯЮЩИЕ СТАНКОВ И ИХ ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Направляющие станка с ЧПУ являются опорами его подвижных рабочих органов. Они обеспечивают требуемое взаимное расположение рабочих органов, возможность их относительных перемещений, правильность траектории движения и точности перестановки, а также восприятие внешних сил резания и сил тяжести.

К направляющим станков с ЧПУ предъявляются следующие *основные требования*:

- обеспечение точности относительного движения рабочих органов;
- высокая точностная надежность (сохранение заданной точности в течение установленного периода эксплуатации станка);
- обеспечение заданной несущей нагрузочной способности;
- малые силы трения и соответственно малый износ;
- высокая статическая и динамическая жесткость;
- обеспечение равномерного движения, особенно на малых скоростях;
- возможность регулировки зазора-натяга;
- простота конструкции и изготовления, возможность применения нормализованных элементов направляющих.

В станках с ЧПУ применяются направляющие скольжения, качения и комбинированные.

Направляющие скольжения. По характеру трения направляющие скольжения подразделяются на направляющие полужидкостного трения, жидкостного и газового трения.

Полужидкостное трение возникает на смазанных направляющих станков, в которых контактирующие поверхности не разделяются полностью. Если смазка разделяет поверхности полностью, то трение становится жидкостным.

Жидкостное трение имеет место в гидростатических и гидродинамических направляющих.

Газовое трение применяется в аэростатических направляющих.

Указанные выше типы направляющих имеют свои преимущества и недостатки, поэтому в ряде случаев применяют комбинированные направляющие, как бы суммирующие преимущества отдельных типов направляющих.

На рис. 4.3 показаны схемы различных форм и типов направляющих.

В зависимости от траектории движения подвижного рабочего органа станка направляющие делятся на прямолинейные и круговые. Они могут быть горизонтальные, вертикальные и наклонные. По форме поперечного сечения наиболее распространены прямоугольные (плоские — см. рис. 4.3, б), треугольные (призматические — см. рис. 4.3, в), реже применяются трапециевидные (ласточкин хвост) и круглые (цилиндрические) направляющие (см. рис. 4.3, а).

Часто используют сочетание различных форм, когда одна из направляющих выполнена прямоугольной, а другая — треугольной или в виде половины трапециевидной формы.

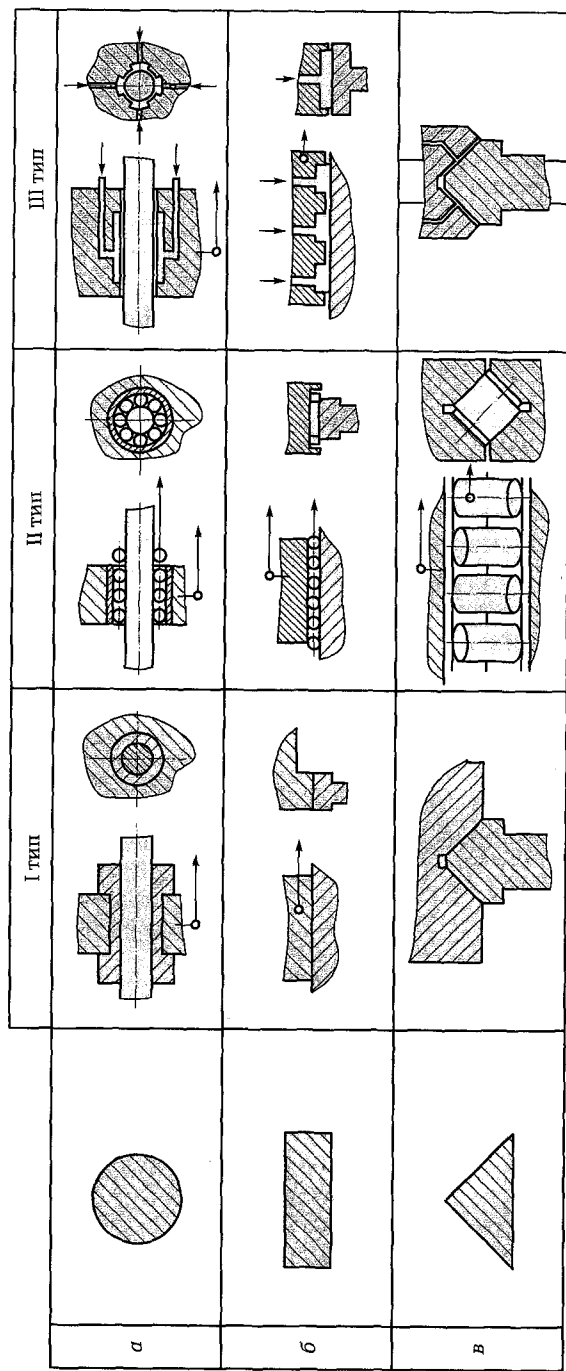


Рис. 4.3. Схемы различных конструктивных форм и типов направляющих:

а — круглые (цилиндрические); б — прямоугольные; в — треугольные (призматические); I тип — скользящие; II тип — качения; III тип — гидростатические

Каждую из форм можно применять в виде охватывающих и охватываемых направляющих. Охватываемые направляющие плохо удерживают смазку, охватывающие удерживают ее хорошо, но нуждаются в надежной защите от загрязнений.

Прямоугольные направляющие отличаются технологичностью и изготовлении и простотой контроля геометрической точности. Они находят все большее применение в станках с ЧПУ, так как отличаются простотой и надежностью регулировки зазоров-натягов и способны воспринимать большие нагрузки.

Треугольные направляющие обладают свойством автоматического выбора зазора под действием собственного веса узла, но угловое расположение рабочих граней усложняет их изготовление и контроль.

Трапецевидные направляющие отличаются компактностью конструкции, но сложны в изготовлении и контроле, а также плохо работают на отрыв при больших опрокидывающих моментах. Регулирование зазора у них относительно простое, но не обеспечивает высокой точности сопряжений.

Круглые (цилиндрические) направляющие применяются редко. В охватываемом варианте они не обеспечивают большой жесткости из-за прогиба скалок (штанг), закрепленных на концах, поэтому их применяют в основном при малой длине хода. В охватываемом варианте у круглых направляющих сложно изготовить полукруглый профиль.

Достоинствами направляющих скольжения являются: простота и компактность конструкции, высокая нагрузочная способность и жесткость, хорошие демпфирующие свойства, меньшие затраты на изготовление и эксплуатацию. Они обеспечивают надежную фиксацию рабочего органа станка после его перестановки в заданную позицию. Однако главным *недостатком* направляющих скольжения являются большие потери на трение. Для их устранения разрабатываются и внедряются специальные антискачковые масла (например, масло ИНСП), применяются накладки из антифрикционных материалов (фторопласта).

Материал направляющих в значительной мере определяет их износостойкость и плавность движения узлов. Во избежание крайне нежелательного явления — схватывания, пару трения комплектуют из разнородных материалов, имеющих различный состав, структуру и твердость. Направляющие, относительно которых перемещаются подвижные узлы, делают более твердыми и износостойкими. Таким обеспечивается длительное сохранение точности, так как при движении копируется форма неподвижных направляющих.

Направляющие из серого чугуна, выполненные как одно целое с базовой деталью, наиболее просты и дешевы, но при интенсивной работе не обеспечивают необходимой долговечности. Их износостойкость повышают закалкой токами высокой частоты или газопламенным методом, а также применением специальных покрытий (слой молибдена или сплав с содержанием хрома).

Чтобы повысить износостойкость, получить более благоприятные характеристики трения, обеспечить равномерность подачи, применяют накладные направляющие скольжения.

Накладные направляющие на станинах (и других более длинных элементах пары трения) обычно изготавливают из стали с упрочнением до высокой твердости, что повышает износостойкость пары трения в сравнении с парой чугун — чугун в 2,5 раза [10]. Их выполняют в виде массивных планок, иногда — врезанных и вклеенных пластин толщиной 4...8 мм из стали ШХ15 или из упрочненных легированных сталей. Применяют также покрытия направляющих станин износостойкими материалами — твердым хромом, напыление молибденом. Перспективно применение керамики на основе оксида алюминия, износостойкость которой при абразивном изнашивании многократно выше, чем у закаленной стали.

Гидродинамические направляющие обеспечивают жидкостное трение либо за счет гидродинамического эффекта, либо подачей смазки между трущимися поверхностями под давлением. Достоинство жидкостного трения в том, что отсутствует износ направляющих, обеспечиваются высокие демпфирующие свойства и плавность движения.

Гидродинамические направляющие отличаются простотой конструкции, но хорошо работают лишь при достаточно больших скоростях скольжения, которым соответствуют скорости главного движения (продольно-строгальные, карусельные станки). Гидродинамический эффект, т.е. эффект всплывания подвижного узла создается с помощью пологих клиновых скосов между смазочными канавками, выполненных на рабочей длине направляющих. В образованные таким образом сужающиеся зазоры при движении затягивается смазка и обеспечивается разделение трущихся поверхностей слоем жидкости. Недостатком гидродинамических направляющих является нарушение жидкостного трения в периоды разгона и торможения подвижного узла, что приводит их к износу.

Гидростатические направляющие имеют более широкое применение. Они обеспечивают жидкостное трение при любых ско-

ростях скольжения, поэтому имеют очень малое трение, высокую демпфирующую способность, достаточную жесткость (хотя ниже, чем у направляющих скольжения и качения).

Масляный слой в этих направляющих обеспечивается подачей масла под давлением. Его толщина составляет 10...50 мкм, в отдельных случаях до 100 мкм. Масло под давлением подается в карманы на направляющих, глубина которых составляет обычно 1...1,5 мм. По длине направляющих выполняют несколько каналов, разделенных дренажными канавками.

Недостатки данных направляющих: необходимость в гидравлической аппаратуре для подачи, циркуляции, фильтрации и сбора масла; существенный нагрев; трудность фиксации положения рабочего органа; повышенные требования к уходу в процессе эксплуатации.

Применяются гидростатические направляющие в прецизионных станках, а также в тяжелых и уникальных станках с ЧПУ.

Направляющие с газовой смазкой — аэростатические, по принципу работы похожи на гидростатические направляющие. Отличие состоит в том, что аэростатические направляющие при работе разделены слоем воздуха, подаваемого в рабочий зазор под давлением. В результате они имеют самое низкое трение, высокие долговечность и точность позиционирования. При прекращении подачи воздуха обеспечивается надежная фиксация рабочего органа станка. Однако, нагрузочная способность, жесткость и динамические характеристики у них несколько ниже, чем у других видов направляющих.

Применяются такие направляющие в станках с ЧПУ для обработки печатных плат, в координатно-измерительных машинах, а также в ряде других станков.

Направляющие качения из-за большой сложности и стоимости ранее применялись достаточно редко. В настоящее время, в связи с разработкой и выпуском станков с ЧПУ, эти направляющие применяются более широко.

Основные достоинства направляющих качения: очень малые потери на трение, благодаря чему обеспечивается равномерное и плавное перемещение рабочего органа на малых скоростях; высокая точность установочных перемещений; малые тепловыделения; отсутствие всплывания рабочего органа при высоких скоростях перемещений; малые (в том числе и при трогании с места) требуемые усилия перемещения; высокая точностная надежность при хорошей защите от загрязнений; простота системы смазки. При применении стальных закаленных направляющих с предва-

рительным натягом обеспечивается устранение зазоров и достаточно высокая жесткость при относительно высокой нагрузочной способности.

Главные *недостатки* этих направляющих — высокая стоимость, трудоемкость в изготовлении и монтаже на станке. Возможно получение пониженного демпфирования вдоль направляющих при отсутствии перемещения или при перемещении с малыми скоростями. Эти направляющие имеют повышенную чувствительность к загрязнению и требуют хорошей защиты.

По типу тел качения данные направляющие подразделяются на *шариковые, роликовые и игольчатые* (см. рис. 4.3, II тип).

По конструкции направляющие качения могут быть без возврата тел качения и с возвратом по специальному каналу или при перекачивании в замкнутом объеме.

В первом варианте направляющих тела качения располагаются в сепараторе. При перемещении подвижного рабочего органа шарики (или ролики) вместе с сепаратором будут перекачиваться и перемещаться вслед за подвижным рабочим органом, но со скоростью в два раза меньшей. При большой величине хода они отстанут и рабочий орган может опрокинуться, поэтому данные конструкции направляющих применяются только при малых перемещениях. Этого не происходит при перемещении направляющих (шариковых и роликовых), имеющих канал возврата. Данные направляющие могут выполняться в двух вариантах. В первом варианте шарики (ролики) располагаются на всю длину направляющей подвижного рабочего органа. Аналогичную длину имеет и канал возврата.

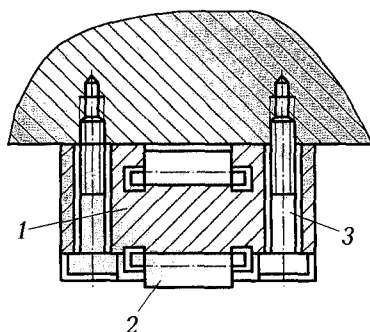
При втором варианте направляющие выполнены в виде отдельных роликовых блоков (танкеток), которые крепятся на подвижном рабочем органе (рис. 4.4). Их устанавливают несколько штук в зависимости от величины хода и необходимой нагрузочной способности. Данные роликовые блоки нормализованы и выпускаются специализированными фирмами.

Направляющие качения в станках с ЧПУ применяются с предварительным натягом, который устраняет зазоры и обеспечивает значительное повышение их жесткости. Способы создания предварительного натяга в направляющих качения рассмотрены в работе [13].

Комбинированные направляющие качения-скольжения. Их применение позволяет совмещать положительные свойства направляющих скольжения (простота и компактность конструкции, хорошее демпфирование колебаний, более низкая стоимость)

Рис. 4.4. Роликовая опора (танкетка):

1 — корпус опоры; 2 — ролики; 3 — болты крепления опоры к рабочему органу станка



и направляющих качения (малые потери на трение, высокая износостойкость, отсутствие переориентаций рабочего органа станка при реверсе и др.). Их недостатки также являются совместными, которые присущи как направляющим скольжения, так и качения.

Важным вопросом является надежная **защита направляющих** для предохранения от попадания на рабочие поверхности грязи, мелкой стружки и абразивной пыли. Отсутствие надежных защитных устройств в направляющих скольжения значительно ускоряет их износ. Как уже отмечалось, наиболее чувствительны к загрязнению направляющие качения.

На рис. 4.5 показаны схемы основных типов защитных устройств для направляющих.

Стационарные литые чугунные или сварные стальные щитки, которые крепятся к подвижному рабочему органу (см. рис. 4.5, а), защищают направляющие от механических повреждений и попадания крупной стружки.

Телескопические щитки (см. рис. 4.5, б) применяют в средних и тяжелых станках при большой длине хода. Они представляют собой набор взаимно подвижных щитков с уплотнениями в подвижных соединениях.

Защитные ленты также применяют при большой длине хода (см. рис. 4.5, в...г). Они надежно защищают направляющие. Ленты бывают стальные, текстуриниловые, иногда применяют полиамидную пленку, армированную капроновой сеткой. Стальные ленты обязательно должны быть закалены.

Гармоникообразные меха (см. рис. 4.5, е) являются защитными устройствами, обеспечивающими высокую герметичность, и широко применяются в шлифовальных и прецизионных станках. Основной их недостаток связан с увеличением габаритов вдоль направляющих на величину сложенного устройства. Меха изго-

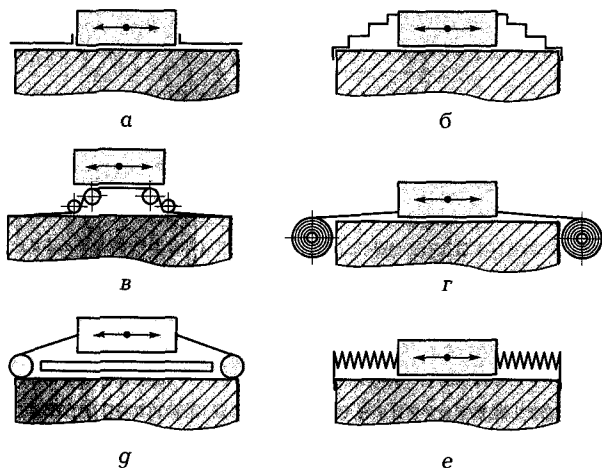


Рис. 4.5. Основные типы защитных устройств для направляющих:
 а — щитки; б — телескопические щитки; в...г — лента; е — гармоникообразные меха

товляют из различных полимерных материалов, обеспечивающих высокую долговечность устройства.

Применение того или иного защитного устройства определяется конкретными условиями работы и особенностями конструкции направляющих и станка в целом.

4.3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Обработка заготовок на станках с ЧПУ производится, как правило, последовательно несколькими режущими инструментами. Это требует наличия на станке соответствующего комплекта, собранного и настроенного в специальных державках и оправках, режущего инструмента, установленного в револьверных головках (для токарных станков с ЧПУ) или в инструментальном магазине (для многоцелевых станков).

Процесс использования режущих инструментов на станках с ЧПУ включает в общем виде четыре этапа:

1) комплектацию и сборку режущих инструментов, взятых на складе, путем их установки в оправки и на державки; их последу-

вную размерную настройку на специальных приборах; складирование собранных и настроенных оправок и инструментальных головок;

2) подборку необходимого комплекта собранного и настроенного инструмента на складе для обработки установленной номенклатуры заготовок, его установку в инструментальный магазин или в револьверную головку на станке;

3) последовательный выбор в процессе обработки заготовки нужного инструмента, его автоматическую смену с установкой и закреплением на рабочем органе станка; обработку заготовки, закрепление, съем и возврат данного инструмента в магазин с последующей установкой следующего инструмента или смена инструмента путем поворота револьверной головки;

4) возврат комплекта инструмента после обработки соответствующих партий заготовок на склад, а при необходимости разборку оправок и резцедержавок с режущим инструментом для его повторной заточки или замены.

Последовательный выбор в процессе обработки заготовки нужного инструмента в инструментальном магазине станка, его автоматическая установка и закрепление на рабочем органе станка, последующий возврат инструмента в магазин осуществляются *системой автоматической смены инструмента (АСИ)*.

В общем виде система АСИ включает в себя:

- инструментальный магазин для накопления инструментов (на токарных станках с ЧПУ одну, две или три револьверные головки);
- устройство выбора в инструментальном магазине или револьверной головке нужного инструмента;
- автооператор для смены инструмента (в некоторых случаях он отсутствует);
- механизм зажима оправки или резцедержавки с инструментом на рабочем органе станка.

К системам автоматической смены инструментов предъявляются следующие *основные требования*:

- достаточная вместимость накопителя инструментов (револьверной головки, инструментального магазина);
- надежная идентификация инструментов в магазине;
- минимальные затраты времени на смену инструментов;
- надежный захват оправок и державок с инструментами при их автоматической смене;
- точное позиционирование оправок и державок с инструментами при их установке на рабочие органы станка;

- минимально возможное расстояние от инструментального магазина до рабочих органов станка;
- принцип работы и расположение системы АСИ на станке не должны ограничивать рабочую зону станка и должны обеспечивать невозможность столкновения заменяемого режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой;
- высокая надежность функционирования;
- предохранение посадочных поверхностей оправок и державок инструмента и рабочих органов станка от загрязнения;
- удобство обслуживания и соблюдение требований техники безопасности.

На рис. 4.6 показана классификация систем автоматической смены инструмента применительно к токарным и многоцелевым станкам.

Способ накопления на станке режущих инструментов, выбранная исходя из этого компоновка и конструкция инструментального магазина (или револьверной головки), способ выбора, смены



Рис. 4.6. Классификация систем автоматической смены инструмента

и крепления оправок и державок с режущим инструментом на рабочем органе станка оказывают значительное влияние как на компоновку и конструкцию станка, так и на его эксплуатационные характеристики (технологические возможности, производительность и надежность работы и др.).

Магазины для накопления инструментов. Инструментальный магазин предназначен для создания запаса режущих инструментов, необходимого для изготовления на данном станке заданной номенклатуры деталей.

При автоматической смене инструментов применяют инструментальные магазины различных типов и конструкций, устанавливаемые в большинстве случаев непосредственно на станке.

На токарных станках с ЧПУ в качестве таких магазинов используют револьверные головки, а на многоцелевых станках применяют дисковые, барабанные и цепные инструментальные магазины вместимостью 10...140 инструментов. При малом числе инструментов (до 12 шт.) на этих станках могут иногда применяться револьверные головки.

Накопление и транспортирование инструментов револьверными головками. Револьверные головки применяют с вертикальной, горизонтальной и наклонной осями вращения. Смена инструмента осуществляется поворотом головки на нужное число позиций и последующей фиксацией головки. Время смены инструмента в этом случае составляет 1...4 с.

Револьверная головка в отличие от других инструментальных магазинов является непосредственным рабочим органом станка, воспринимающим силы резания. Поэтому она должна характеризоваться высокой прочностью, жесткостью и точностью позиционирования при повороте. Режущие инструменты для обработки внутренних и наружных поверхностей не должны мешать друг другу. Замена инструментов в головке должна осуществляться удобно и легко, к инструменту должен быть свободный доступ.

На рис. 4.7 показаны конструкции револьверных головок, применяемых на токарных станках с ЧПУ.

Многие заготовки, обрабатываемые на токарных станках с ЧПУ, помимо точения требуют других видов обработки: сверления соосных и несоосных продольных и поперечных отверстий, прорезания резьбы метчиками, фрезерования боковых поверхностей и канавок и др.

Для этого в конструкции револьверных головок предусматривают возможность установки помимо неподвижных (см. рис. 4.7, а), фиксированных и вращающихся инструментов (сверл, метчиков, фрез

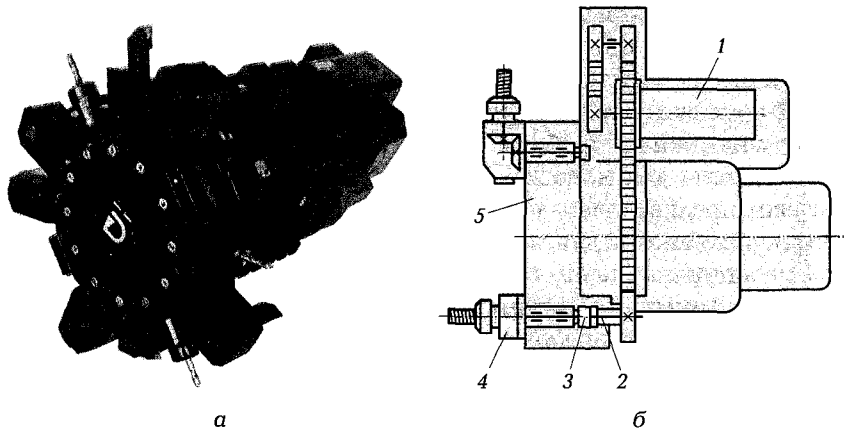


Рис. 4.7. Конструкции револьверных головок:

а — барабанная фирмы Diplomati (Италия); *б* — с приводным инструментом: 1 — электродвигатель; 2 — вал; 3 — муфта; 4 — инструмент; 5 — револьверная головка

и др.). Для привода вращения этих инструментов используют отдельный регулируемый электродвигатель, установленный непосредственно на револьверной головке (см. рис. 4.7, б). В данной револьверной головке вращение от электродвигателя 1 передается через вал 2 и муфту 3 только на одну позицию револьверной головки 5, где установлен вращающийся инструмент 4.

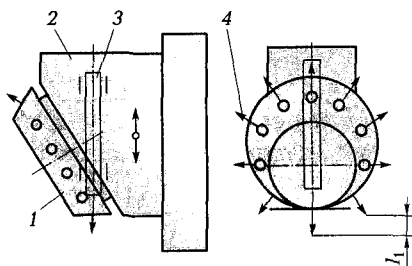
За рубежом разработан унифицированный ряд револьверных головок для токарных станков с ЧПУ, выпускаемых специализированными фирмами, например: фирмами Sauter (Германия), Baruffaldi и Diplomati (Италия).

На некоторых фрезерных станках при использовании для обработки заготовок небольшого количества инструментов также применяют 5- и 6-позиционные револьверные головки, что сокращает время смены инструмента. Недостатками таких револьверных головок являются: их малая вместимость (особенно для многоцелевых станков); необходимость в каждой позиции револьверной головки иметь шпиндель, что усложняет и удорожает ее конструкцию; снижение жесткости шпиндельной бабки и точности установки инструмента при повороте и фиксации головки.

Условия обработки улучшаются, а конструкция упрощается при применении конусной револьверной головки 1 с наклонной осью ее вращения (рис. 4.8). В этом случае имеется только один шпин-

рис. 4.8. Револьверные головки, применяемые на фрезерных и многоцелевых станках:

1 — револьверная головка; 2 — шпиндельная бабка; 3 — шпиндель; 4 — оправки



доль 3, который в рабочей позиции соединяется поочередно с оправками 4, установленными в позициях головки. Движение подачи режущего инструмента осуществляется путем перемещения шпиндельной бабки 2 с револьверной головкой. Однако в этом случае величина перемещения L_1 ограничена.

Двух-, трех- и четырехпозиционные револьверные головки применяют на шлифовальных станках с ЧПУ, когда в отдельных позициях устанавливают шлифовальные круги для наружного и внутреннего шлифования.

Накопление и транспортирование инструментов в магазинах.

Варианты исполнения инструментальных магазинов, применяемых на различных станках с ЧПУ, показаны на рис. 4.9.

Барабанные инструментальные магазины (см. рис. 4.9, а, б), имея вместимость 12...40 инструментов, что достаточно для изготовления многих деталей, находят широкое применение на станках с ЧПУ. Они достаточно компактны, могут располагаться на колонне станка, что более предпочтительно, или непосредственно на шпиндельной бабке (в этом случае хотя и сокращается время смены инструмента, значительно увеличивается масса перемещаемой шпиндельной бабки).

Первый вариант исполнения магазина (см. рис. 4.9, а) применяют чаще с установкой его сбоку на колонне (с любой стороны) как с вертикальной, так и с горизонтальной компоновкой шпинделя.

Второй вариант магазина (см. рис. 4.9, б) применяется в основном на станках с горизонтальной компоновкой шпинделя и устанавливается на верхней части колонны станка. Установка такого магазина сбоку на колонне значительно увеличивает габаритные размеры станка, но она удобнее с точки зрения смены инструмента на станках с вертикальной компоновкой шпинделя.

Дисковые магазины (см. рис. 4.9, в) применяют реже из-за больших радиальных размеров при большом числе инструментов.

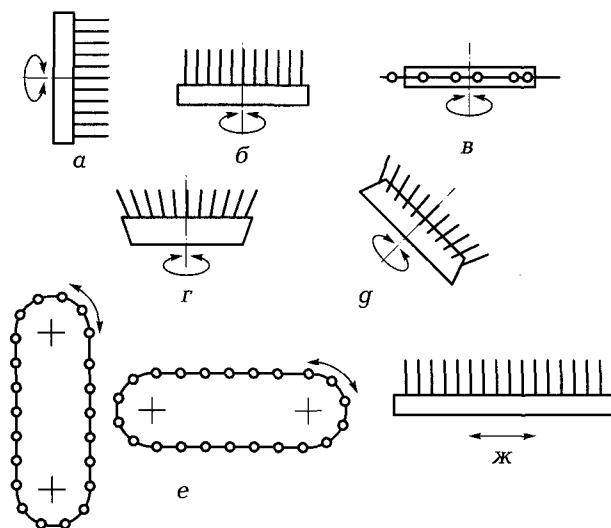


Рис. 4.9. Варианты исполнения инструментальных магазинов:

а и б — соответственно с горизонтальной и вертикальной осью вращения; в — звездобразного типа с вертикальной осью вращения; г и г — конусообразные соответственно с вертикальной и наклонной осью вращения; е — цепные; ж — линейные

Конусные барабанные магазины (рис. 4.9, г, г) также находят применение на станках с ЧПУ. При варианте компоновки магазина, показанном на рис. 4.9, г, удобна смена инструмента на основе использования двухпозиционной револьверной головки. Вариант компоновки магазина, показанный на рис. 4.9, г, удобен для смены инструмента на станках с горизонтальной компоновкой шпинделя (в этом случае упрощается конструкция автооператора).

Цепные инструментальные магазины (рис. 4.9, е) применяют при большом числе накапливаемых инструментов (до 140 шт.). Линейные магазины (рис. 4.9, ж) используют режее.

Наличие на станке магазина большой вместимости хотя и значительно расширяет его технологические возможности, но приводит к редкому использованию многих инструментов. Замена большого комплекта инструментов в таком станке приводит к длительным простоям станка.

Механизмы автоматической смены инструментов. Автоматическая смена инструмента на станках с ЧПУ может обобщенно производиться следующими способами:

1) изменением положения (поворотом) инструментального магазина (револьверной головки);

2) путем передачи инструмента из магазина в шпиндель станка через промежуточный накопитель (поворотную головку с двумя и более позициями);

3) путем непосредственной смены инструмента из магазина;

4) путем передачи инструмента из магазина в шпиндель станка автооператором (рис. 4.10).

Первый — наиболее простой способ автоматической смены инструментов, когда они устанавливаются в revolverных головках. Смена инструмента производится простым поворотом revolverной головки в обе стороны на нужное число позиций с затратой минимального времени.

Минимальная продолжительность смены инструмента (1...2 с) при более сложной конструкции достигается при втором способе, когда применяется двухпозиционная поворотная головка в комплекте с инструментальным магазином. В этом случае время смены инструмента, вызывающей простой станка, равно времени расфиксации, поворота на 180° и фиксации двухпозиционной головки. Выбор инструмента в магазине, установка его на свободную позицию головки происходят в течение обработки заготовки.

В некоторых станках с ЧПУ применяют третий способ смены инструмента, которая осуществляется за счет определенного цикла перемещения шпиндельной бабки относительно инструментального магазина.

Наиболее широко в многоцелевых станках применим четвертый способ смены инструмента с автооператором, который хотя и сложнее, но значительно сокращает время смены инструмента (благодаря его предварительному выбору из магазина во время обработки заготовки (см. рис. 4.10).

При данном способе смены инструмента конструкцию и компоновку механизмов выполняют по-разному, в зависимости от места расположения инструментального магазина на станке.

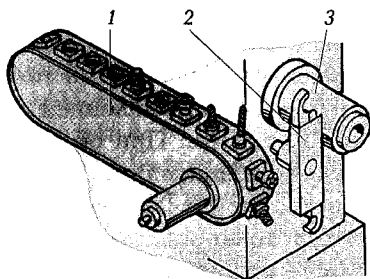


Рис. 4.10. Схема смены инструмента из магазина автооператором:

1 — инструментальный магазин; 2 — автооператор; 3 — шпиндель станка

Для захвата автооператором оправок с инструментами применяют захватные устройства различных типов (например, клещевого типа и типа охватывающей скобы с фиксирующим устройством).

При автоматической смене инструментов важной задачей является поиск нужного инструмента в магазине. Это может обеспечиваться следующими способами:

- кодированием посадочных мест магазина; оправки с инструментом в этом случае устанавливаются в одни и те же места, но могут использоваться многократно в любой последовательности;
- кодированием непосредственно оправок с инструментами; инструменты в этом случае могут устанавливаться в любой последовательности и в любое место на магазине.

Первоначально в большинстве многоцелевых станков кодирование оправок с инструментами проводилось установкой на хвостовике набора кодовых колец. При повороте магазина хвостовики перемещаются относительно ошупывающего устройства. Когда находится нужный инструмент, магазин останавливается, и происходит смена инструмента. Недостаток данного способа — усложнение конструкции хвостовика и увеличение его длины и массы, относительная трудоемкость установки колец. В настоящее время применяется электронная система кодирования резцедержавок и оправок.

4.4

УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ЗАГОТОВОК

Дальнейшее повышение степени автоматизации станков с ЧПУ привело к освобождению оператора от необходимости загрузки обрабатываемой заготовки и съема готовой детали (на токарных станках с ЧПУ) или производить это предварительно на многоцелевых станках во время обработки предыдущей заготовки. Это позволяет сократить простой станка.

Первоначально эту задачу решали на основе применения промышленных роботов (рис. 4.11, а). Однако такое решение использовалось в основном на токарных станках с ЧПУ, где имеется относительно определенная форма заготовки (вал), удобная для захвата роботом. При обработке заготовок типа плит и корпусных деталей возникают большие проблемы с конструкцией захватов роботов.

Для токарных станков с ЧПУ с промышленными роботами — РТК — относительно удобно производится предварительный ори-

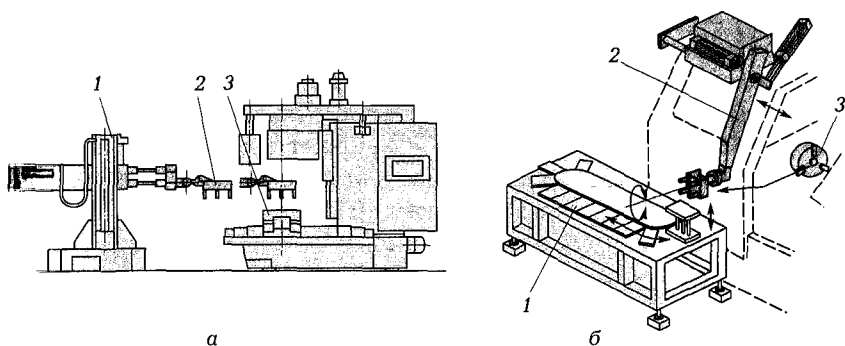


Рис. 4.11. Схемы автоматизации загрузки-разгрузки заготовок и деталей на станках с ЧПУ:

а — с *напольным роботом для фрезерного станка*: 1 — робот; 2 — захват с заготовкой; 3 — стол станка; *б* — с *приставным роботом на токарном станке с ЧПУ*: 1 — конвейер с заготовками и обработанными деталями; 2 — робот; 3 — патрон токарного станка

оптимизированный набор обрабатываемых заготовок. Заготовки — валы укладываются заранее в специальные кассеты-магазины. Заготовки — фланцы (штулки, диски) укладываются заранее в определенном порядке в магазине или на конвейере, который как и кассеты-магазины устанавливается около токарного станка с ЧПУ (рис. 4.11, б).

Промышленный робот снимает из патрона изготавливаемую деталь и устанавливает новую заготовку. Разжим и зажим патрона производится автоматически.

В РТК оператор освобождается от монотонной и физически утомительной работы — разгрузки детали и загрузки заготовки. В этом случае токарный станок с ЧПУ уже автомат. Простой станка значительно сокращаются, что повышает его производительность.

Однако необходимо отметить и отрицательные стороны такой автоматизации. У каждого токарного станка с ЧПУ находится промышленный робот — достаточно сложное и дорогое устройство. В цикле обработки заготовки робот работает очень короткое время (разгрузка-загрузка), остальное время он простаивает. При применении робота увеличивается занимаемая производственная площадь (особенно при применении напольных роботов) (см. рис. 4.11, а). Зона работы такого РТК должна быть огорожена по требованиям техники безопасности. Иногда применяют напольный промышленный робот для автоматизации работы двух или трех станков (например, токарный и фрезерный станки с ЧПУ и моечная

машина). Это позволяет увеличить время непосредственной работы промышленного робота.

Необходимо также отметить, что применение РТК освободило оператора, но потребовало присутствие другого рабочего — оператора, который периодически укладывает заготовки в кассеты-магазины и на конвейер и убирает готовые детали, а также контролирует работу не только станка с ЧПУ, но и робота.

Промышленный робот при установке заготовки в патрон станка может поставить ее неточно, поэтому необходимо предусматривать контроль правильности зажима патроном заготовки. Он также не видит возможного наличия стружки на губках патрона, что может привести к такому же результату.

При обработке заготовок плоских и корпусных деталей на многоцелевых станках применяется другая система автоматизации их загрузки и съема готовых деталей.

В этом случае на станке делается съемный стол — паллета, на котором закрепляется в приспособлении заготовка. Паллеты нормализованы, имеют разные размеры для разных многоцелевых станков (320×320, 320×400, 500×500 мм и др.). Паллеты могут иметь разные крепежные элементы на своей поверхности для крепления приспособлений. На станке используются две паллеты: на одной установлена обрабатываемая заготовка и она находится на столе станка в рабочей зоне. Со второй паллеты, находящейся вне рабочей зоны станка, оператор снимает изготовленную деталь и устанавливает новую заготовку. Затем эта паллета с заготовкой автоматически устанавливается на стол станка в рабочую зону, а паллета с изготовленной деталью удаляется в зону разгрузки.

На рис. 4.12 показаны наиболее широко применяемые варианты смены паллет на многоцелевых станках.

Хотя съем и загрузка паллет на стол многоцелевого станка производятся автоматически, здесь, в отличие от ранее рассмотренных РТК, оператор должен присутствовать около станка. Ему необходимо производить съем готовой детали с паллеты и установку новой заготовки на паллету. Делает он это во время работы станка, сокращая его простои, которые имели бы место при непосредственной загрузке-разгрузке заготовок на рабочий стол станка.

Применяется и другой вариант, когда установка заготовки на паллету и съем с паллеты готовой детали производится в другом месте. В этом случае паллеты доставляются на станок и возвращаются от станка в зону разгрузки специальными автоматизированными транспортными тележками — робокарами.

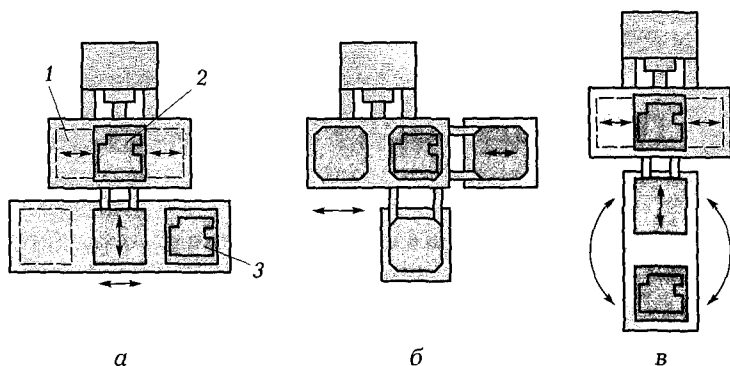


Рис. 4.12. Схемы последовательности автоматической смены паллет на многоцелевых станках:

а — при челночном перемещении паллет: 1 — станок; 2 — паллета с деталью в рабочей зоне станка; 3 — паллета с деталью в зоне выгрузки; *б* — с двумя стационарными загрузочно-разгрузочными позициями, расположенными с разных сторон станка; *в* — с поворотным столом

Одной из проблем для данного способа автоматизации загрузки-разгрузки заготовок является необходимость иметь другую конструкцию стола многоцелевого станка для точной установки и зажима на нем паллеты. В одном варианте должно быть две, а в другом несколько абсолютно одинаковых взаимозаменяемых паллет для их точной установки и зажима на одном и том же столе одного или нескольких станков.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Влияние каких факторов необходимо учитывать при разработке компоновки станков с ЧПУ?
2. Расскажите, из каких материалов выполняют базовые узлы станков с ЧПУ и какие варианты их компоновок вы знаете.
3. Какие виды направляющих станков с ЧПУ вы знаете? Назовите их достоинства и недостатки.
4. Какие типы защитных устройств направляющих используются в станках с ЧПУ?
5. Какие устройства и механизмы АСИ станков с ЧПУ вы знаете?
6. Какие устройства и механизмы используются при автоматической смене заготовки на станках с ЧПУ?

ПРИВОДЫ ПОДАЧ СТАНКОВ

5.1. ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ, УЗЕЛ ШПИНДЕЛЯ

Приводом называют совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин. Различают электрический, механический, пневматический, гидравлический и другие приводы. В электрическом приводе движение передается и преобразуется посредством электричества; в механическом — посредством твердых тел; в пневматическом — сжатым воздухом, а в гидравлическом — жидкостью под давлением.

Электрический привод главного движения вращает шпиндель с заготовкой в токарных станках с ЧПУ или с оправкой и режущим инструментом на фрезерных, многоцелевых и шлифовальных станках с ЧПУ.

Привод главного движения должен обеспечивать:

- заданный, достаточно широкий диапазон частот вращения шпинделя с определенным (иногда с бесступенчатым) регулированием $n_{\text{шп}}$ внутри этого диапазона. В связи с увеличением скоростей резания на станках с ЧПУ увеличивается $n_{\text{шп}}^{\text{max}}$. Так, для токарных станков это значение находится в пределах 4 000 ... 8 000 мин⁻¹, а для фрезерных и многоцелевых станков — в пределах 8 000 ... 18 000 мин⁻¹;
- для токарных станков с ЧПУ поворот шпинделя в режиме позиционирования по координате *S*, режим резьбонарезания и регулирования частоты вращения для обточки с постоянной скоростью резания;
- для многоцелевых станков ориентацию положения шпинделя для смены оправки с инструментом;

- необходимые для процесса резания мощность P и крутящий момент $M_{кр}$;
- включение, выключение, а также, если это необходимо, торможение и реверсирование вращения шпинделя;
- заданные конструктивно-технические требования по точности вращения шпинделя и удобству компоновки шпиндельной бабки на станке;
- достаточную надежность привода в процессе эксплуатации (в том числе ограничение перегрузок при переходных процессах);
- минимальные энергетические потери (высокий КПД привода) и ограничение уровня шума допустимым пределом;
- рациональные габариты, минимально возможные материалоемкость и стоимость привода;
- широкое применение унифицированных и стандартизованных элементов привода.

В станках с ЧПУ преимущественно применяют электромеханические приводы главного движения, у которых электрическая часть (электропривод) состоит из электродвигателя переменного или постоянного тока и преобразующих и управляющих устройств, а механическая — из отдельных передач (зубчатых, червячных и др.).

Типовые структурные схемы построения приводов главного движения станков с ЧПУ показаны на рис. 5.1.

Во всех приводах применяются регулируемый электропривод РМ. Вращение от электродвигателя на шпиндельную бабку (ШБ) может передаваться непосредственно через муфту (см. рис. 5.1, а) или через ременную передачу (см. рис. 5.1, б, в). При этом коробка скоростей (КС) может быть встроена в шпиндельную бабку (см. рис. 5.1, а, б) или выполняться отдельно от шпинделя (Ш) (см. рис. 5.1, в).

Часто в станках с ЧПУ применяется привод с двухступенчатой коробкой скоростей. В этом случае вращение от электродвигателя

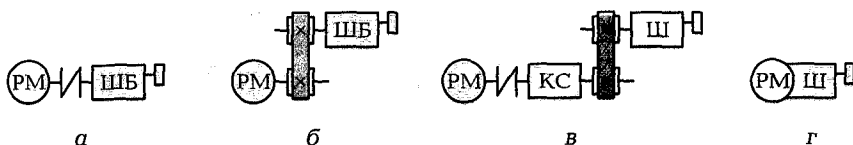


Рис. 5.1. Схемы построения приводов главного движения в станках с числовым программным управлением:

а — с муфтой; б — с ременной передачей со встроенной в шпиндельную бабку коробкой скоростей; в — с ременной передачей с отдельной коробкой скоростей; г — в виде мотор-шпинделя; РМ — регулируемый электропривод; КС — коробка скоростей; Ш — шпиндель; ШБ — шпиндельная бабка

передается на шпиндель через блок из двух шестерен. Переключенные этого блока поршнем гидроцилиндра позволяет получить два диапазона частот вращения шпинделя (низких и высоких). Регулирование частот вращения внутри каждого диапазона производится системой управления электродвигателя.

В ряде станков с ЧПУ применяется привод в виде мотора-шпинделя (рис. 5.1, г), когда шпиндель является одновременно ротором встроенного электродвигателя.

На рис. 5.2 показана конструкция узла шпинделя многоцелевого станка с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя модели Vcenter-H500 фирмы Victor (Тайвань) со встроенным электродвигателем. Ротор 4 электродвигателя установлен на шпинделе 5, а статор 3 с обмотками — в корпусе с каналами подачи воды для охлаждения. Также охлаждение проводится и передней опоры шпинделя подачей воды по каналам гильзы 1. Зажим оправок в шпинделе станка проводится тарельчатыми пружинами 6, а разжим — гидроцилиндром 7.

Конечным звеном привода главного движения является шпиндельный узел, и в частности сам шпиндель станка.

Шпиндельный узел (ШУ) должен обеспечивать:

- восприятие сил резания и сил от веса заготовки при малых статических, динамических и термических смещениях;
- возможность изменения в широких пределах частот вращения шпинделя;
- зажим-разжим заготовки (на токарных станках) или оправки с инструментом (на фрезерных и многоцелевых станках).

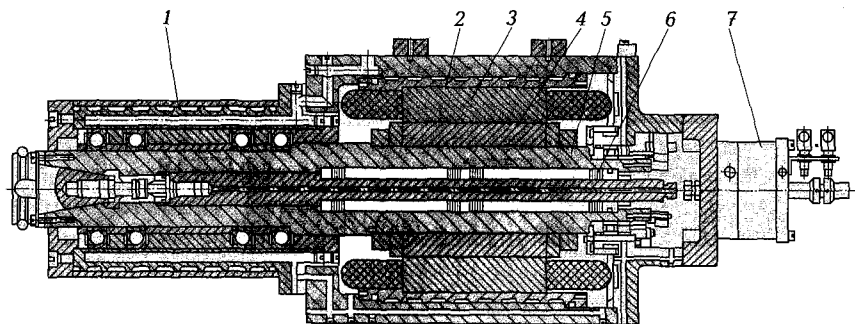


Рис. 5.2. Конструкция узла шпинделя со встроенным электродвигателем (мотор-шпиндель):

1 и 2 — соответственно гильзы для охлаждения передней опоры и статора электродвигателя; 3 — статор; 4 — ротор; 5 — шпиндель; 6 — тарельчатые пружины; 7 — гидроцилиндр разжима оправки с инструментом

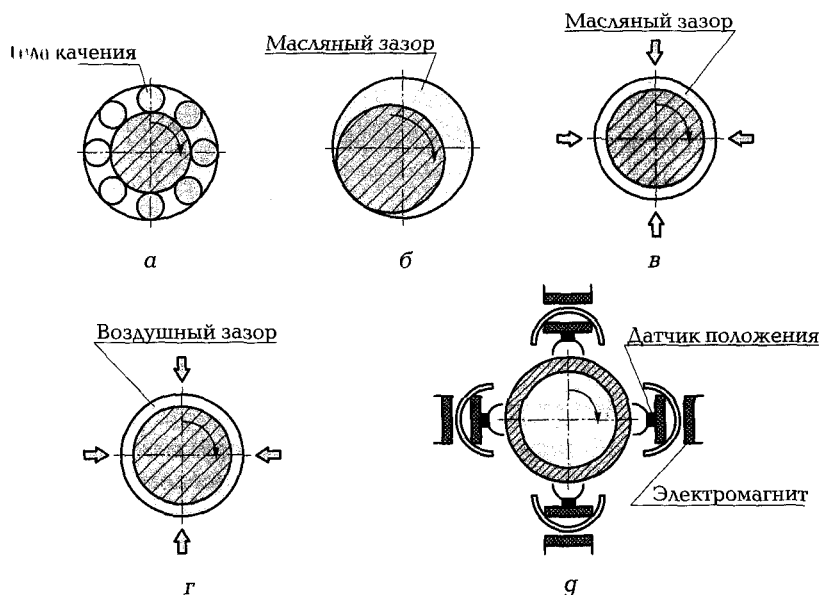


Рис. 5.3. Основные виды опор шпинделей:

а — подшипник качения; *б* и *в* — соответственно гидродинамический и гидростатический подшипники скольжения; *г* — подшипник с газовой смазкой; *г* — активный магнитный подшипник

Многие характеристики ШУ определяют тип опор шпинделя и их конструктивное исполнение.

На рис. 5.3 схематично показаны основные виды опор шпинделей. Наибольшее применение в ШУ получили опоры с подшипниками качения (рис. 5.3, *а*).

В отдельных станках при специфических требованиях к точности, быстроходности, демпфированию, снижению потерь на трение применяются также опоры с подшипниками скольжения с жидкой смазкой (гидродинамические и гидростатические) (рис. 5.3, *б*, *в*), с подшипниками с газовой смазкой (рис. 5.3, *г*), а в последнее время и с активными магнитными подшипниками (рис. 5.3, *г*).

На рис. 5.4 показан пример конструкции шпиндельного узла, достаточно широко применяемой в станках с ЧПУ.

В передней опоре *б* шпинделя установлены два подшипника: радиальный двухрядный роликоподшипник *1* и упорно-радиальный шарикоподшипник *2*. Роликоподшипник *1* воспринимает радиальную нагрузку на шпиндель. Радиальный зазор в подшипнике

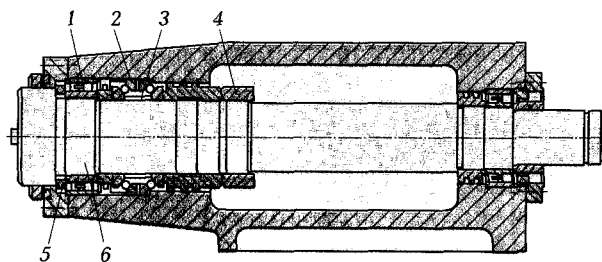


Рис. 5.4. Пример конструкции шпиндельного узла:

1 — радиальный двухрядный роликоподшипник; 2 — упорно-радиальный шарикоподшипник; 3 — втулка; 4 — гайка; 5 — шайба; 6 — передняя опора шпинделя

и предварительный натяг создаются и регулируются гайкой 4. Внутреннее кольцо данного подшипника при осевом смещении перемещается по конусной опоре 6 шпинделя и деформируется в радиальном направлении. Величина натяга (смещения) регулируется шайбой 5. Для съема такого роликоподшипника с конусной поверхности шпинделя производится подача масла под давлением по трубопроводу в осевое отверстие в шпинделе.

Для восприятия осевого усилия в данном ШУ (см. рис. 5.4) применяется упорно-радиальный подшипник, натяг в котором создается гайкой 4, а величина натяга определяется осевым размером втулки 3. В задней опоре ШУ применяется двухрядный роликоподшипник, аналогичный рассмотренному выше. Данный вариант конструкции применяется для низко- и среднескоростных ШУ.

Дальнейшие разработки подшипников качения в основном ведутся по двум направлениям: использованию гибридных опор с керамическими телами качения и стальными кольцами; уменьшению диаметра шариков в обычных опорах.

К числу основных достоинств керамических (из нитрида кремния) шариков в гибридных опорах относят:

- меньшую на 60 % по сравнению со стальными массу шариков, что ведет к существенному снижению центробежных сил;
- на 50 % больший модуль упругости, увеличивающий жесткость;
- минимальный коэффициент трения, снижающий износ и потери на трение;
- меньшее на 29 % температурное расширение, что сокращает неконтролируемый предварительный натяг опоры.

В некоторых станках шпиндель изготавливают из углепластика, в результате чего он примерно в 6 раз легче металлического, а раз-

ность температурных деформаций его передней и задней шеек меньше на 20 %.

Подробнее вопросы по типу опор шпинделей, их конструктивному исполнению и техническим характеристикам освещены в [11, 14, 18, 19].

Во фрезерных и многоцелевых станках шпиндель имеет конусное отверстие (конус 7:24), куда устанавливается хвостовик оправки, имеющий также конус 7:24, выполненный по ГОСТ 25827—2014 «Хвостовики инструментов с конусом 7:24 для ручной и автоматической смены инструмента. Типы А, AD, AF, U, UD, UU, J, JD и JF. Размеры и обозначение», с режущим инструментом. Перед установкой оправки шпиндель должен иметь строго ориентированное положение, а его посадочное отверстие часто продувается сжатым воздухом для удаления возможных загрязнений.

Зажим хвостовика оправки с инструментом в шпинделе производится ее осевым смещением тарельчатыми пружинами с зажатием за специальную часть хвостовика оправки специальной точностковой цангой либо с помощью шарикового захвата. Разжим оправок производится, как правило, гидроцилиндром с поршнем.

В токарных станках с ЧПУ на шпинделе устанавливается патрон, в котором зажим обрабатываемой заготовки производится автоматически с помощью гидроцилиндра или пневмоцилиндра. Если в качестве заготовки применяется пруток, тогда в шпинделе устанавливаются подающая и зажимная цанги.

5.2. ПРИВОДЫ ПОДАЧИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТАНКА

Электрический *привод подачи* осуществляет перемещения рабочих органов станка, несущих режущий инструмент или обрабатываемую заготовку, в режиме установочных перемещений (позиционирование), когда работают поочередно отдельные приводы подач, либо в режиме формообразования (контурная обработка), когда одновременно работает несколько приводов подач.

К приводам подач предъявляются следующие требования:

- обеспечивать заданные скорости перемещения на рабочих и холостых ходах. Для рабочих ходов требуется бесступенчатое регулирование рабочих подач в заданном диапазоне, при этом скорость холостого хода может быть 20...80 м/мин;

- обеспечивать необходимую тяговую силу в приводе для преодоления сил резания и перемещения рабочего органа станка при обработке заготовки;
- иметь высокую жесткость, что определяет точность перемещений рабочего органа и его динамическое качество;
- исключить зазоры в механизмах привода подачи и обеспечить минимальные силы трения;
- иметь высокую надежность работы, простоту изготовления и обслуживания.

В приводах подачи станков с ЧПУ используются электрический, электрогидравлический, гидравлический и пневматический следящие приводы. Но наиболее широкое распространение получил электрический следящий привод подачи, который обеспечивает удобство регулирования скорости в широком диапазоне с высокой точностью и быстродействием. В его состав конструктивно входят электродвигатель, силовой преобразователь (питающий электродвигатель), регуляторы, обеспечивающие требуемое качество регулирования, механические элементы привода, измерительные преобразователи систем обратной связи.

На рис. 5.5 показаны два варианта построения следящих электрических приводов подачи.

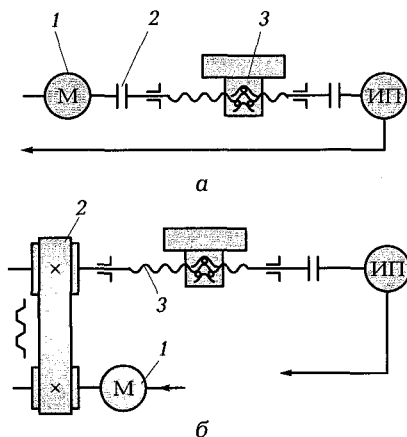


Рис. 5.5. Структурные схемы построения приводов подачи:

а — электродвигатель (передает вращение непосредственно на ходовой винт);
1 — приводной электродвигатель; *2* — муфта; *3* — шариковая винтовая пара; *б* — электродвигатель для передачи вращения через зубчатую ременную передачу; *1* — приводной электродвигатель; *2* — зубчатая ременная передача; *3* — ходовой винт

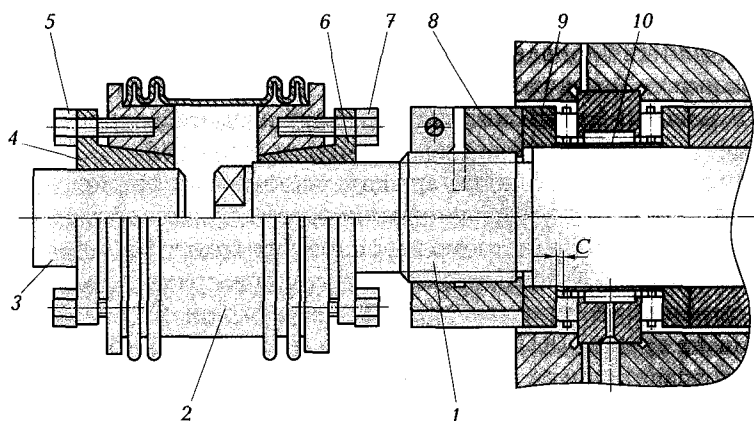


Рис. 5.6. Конструкция соединительной муфты и опоры ходового винта:
 1 — ходовой винт; 2 — муфта; 3 — вал электродвигателя; 4 и 6 — конические втулки; 5 и 7 — болты; 8 — гайка; 9 — комбинированный подшипник; 10 — втулка

В первом варианте (см. рис. 5.5, а) приводной электродвигатель 1 установлен и соединен через муфту 2 непосредственно с ходовым винтом шариковой винтовой пары 3. Это позволяет значительно упростить и сократить длину кинематической цепи привода подачи, увеличить ее крутильную жесткость и уменьшить число узлов, влияющих на точность передачи движения. Однако при больших осевых габаритах приводного электродвигателя возникают проблемы с габаритными размерами станка.

Тогда можно применить второй вариант (см. рис. 5.5, б), когда электродвигатель 1 убирается внутрь станины станка, а вращение от него передается на ходовой винт 3 через зубчатую ременную передачу 2.

Для соединения вала электродвигателя с ходовым винтом применяются специальные муфты сильфонного типа. Конструкция такой муфты показана на рис. 5.6. Муфта 2 соединяет с помощью конических втулок 4 и 6, затягиваемых болтами 5 и 7, вал 3 электродвигателя с ходовым винтом 1 привода подачи. Указанная муфта обеспечивает эффективное соединение вала электродвигателя с ходовым винтом при высокой крутильной жесткости, что важно для точной передачи движений. Аналогичные муфты применяются для соединения ходового винта с валом кругового ИП.

На рис. 5.6 показана также опора ходового винта, в качестве которой применяется комбинированный подшипник 9 в качестве двойного упорного роликового подшипника и роликового ради-

ального подшипника с игольчатыми роликами (ГОСТ 26290—84 «Подшипники радиальные и упорные двойные роликовые комбинированные. Технические условия»). Подшипник 9 устанавливается с предварительным натягом, который создается гайкой 8, а его величина определяется осевым размером втулки 10.

В приводах подач станков вращательное движение электродвигателя преобразуется в поступательное перемещение рабочего органа в большинстве случаев с помощью передачи ходовой винт—гайка.

Ранее в приводах подач обычных станков применялась передача ходовой винт—гайка с трением скольжения. Однако большие потери на трение (КПД этих передач не более 0,3), большая разница коэффициентов трения покоя и движения делали их неэффективными и даже неприемлемыми в станках с ЧПУ, поэтому были разработаны шариковые винтовые пары (ШВП) с трением качения. В данной передаче винтовые поверхности гайки и ходового винта не контактируют непосредственно друг с другом, как это было в передаче с трением скольжения, а разделены перекатывающимися шариками (по аналогии с шарикоподшипником). В результате КПД этих передач достигает величины 0,90...0,95. Рассмотрение кинематики движений шариков 3 в ШВП при вращении ходового винта (рис. 5.7, а) показало, что они, контактируя с вращающимся ходовым винтом и неподвижной гайкой 1 (она имеет осевое перемещение), будут перекатываться в сторону вращения ходового винта. В результате шарики могут выйти из зацепления винта и гайки. Их необходимо ловить в конце гайки и передавать в ее начало.

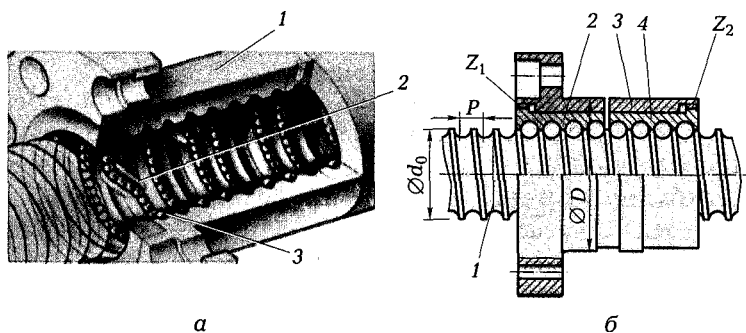


Рис. 5.7. Конструкция ШВП с каналом возврата шариков в одном витке резьбы в виде вкладыша:

а — со специальными вкладышами: 1 — гайка; 2 — вкладыш; 3 — шарики; б — с предварительным натягом: 1 — ходовой винт; 2 и 4 — полугайки; 3 — общий корпус

Это делается двумя способами. В первом случае в гайке 1 приращают и устанавливают специальные вкладыши 2, замыкающие один виток гайки с шариками 3 (см. рис. 5.7, а). В результате шарики 3 перекатываются в одном витке резьбы гайки, замкнутом вкладышем 2. Таких вкладышей может быть 2... 4 в зависимости от количества шариков в гайке.

При втором варианте возврат шариков производится специальными каналами возврата в виде одной — трех трубок, расположенных на поверхности гайки. Здесь уже длина канала возврата (трубки) получается достаточно большой, шарики там уже не перекатываются, а проталкиваются в начало гайки с потерями на трение по стенкам трубки.

Учитывая высокие требования по точности перемещений рабочих органов, составные механизмы привода подачи должны иметь высокую жесткость, в них должны отсутствовать зазоры при сохранении высокого КПД. Эти требования предъявляются в первую очередь к ШВП и к опорам ходового винта.

Исходя из этих требований, в приводах подач станков с ЧПУ применяются ШВП с предварительным натягом. Гайка в ШВП данной конструкции состоит из двух полугаек. При первом варианте полугайки взаимно разворачиваются на ходовом винте до устранения зазоров и создания необходимого предварительного натяга. После этого полугайки скрепляются.

Например, в конструкции ШВП, показанной на рис 5.7, б, полугайки 2 и 4 имеют на фланцах зубья, которыми они входят в зацепление с зубьями в общем корпусе 3 гайки. Количество зубьев в левой и правой полугайках 2 и 4 отличается на один зуб (напри-

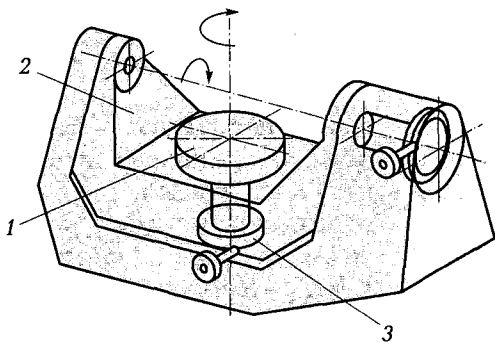


Рис. 5.8. Комплект из поворотного и наклонного столов:
1 — поворотный стол; 2 — наклонный стол; 3 — червячный редуктор

мер, $Z_1 = 108$ зубьев, а $Z_2 = 109$ зубьев). Для создания и регулирования предварительного натяга в данной ШВП необходимо повернуть одну или обе полугайки на соответствующее количество зубьев, предварительно свинтив их с ходового винта 1 и вынув полугайки из зацепления в общем корпусе. Способы регулировки натяга в опорах и ШВП приводов подач представлены в [13].

На многих многоцелевых станках с ЧПУ с вертикальной и горизонтальной компоновкой применяются поворотные столы (см. рис. 2.18, б). В качестве привода таких столов чаще всего используется регулируемый электродвигатель в комплекте с червячным редуктором 3 (рис. 5.8). Для конструкции необходимы опорные подшипники и ИП угловых перемещений.

5.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ СТАНКОВ

Гидравлические приводы подразделяются на объемные и гидродинамические.

В приводах станков применяется объемный гидропривод. В объемном гидроприводе используют потенциальную энергию жидкости, которая с помощью объемных гидродвигателей преобразуется в механическую работу. Объемный гидропривод простыми средствами реализует большие передаточные отношения, любые силы и крутящие моменты, обладает очень высокой компактностью и энергоемкостью, удобен в управлении, позволяет реализовать любые циклы работы системы.

Принцип действия объемного гидропривода основан на законе Паскаля: давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях.

Объемным гидроприводом называется совокупность одной или нескольких объемных гидропередат, гидроаппаратуры и вспомогательных устройств.

Объемной гидропередатчей называется часть объемного гидропривода, предназначенная для передачи движения от приводящего двигателя к машинам и механизмам и состоящая из гидромашин (насосов и гидродвигателей) и магистральных гидролиний. Если объемная гидропередатча состоит из устройств, конструктивно оформленных в одном корпусе, она называется гидропередатчей нераздельного исполнения. Объемные гидроприводы классифицируются по источнику подачи рабочей среды (жидкости), характеру движения выходного звена, возможности регулирования входного или выходного звена и по циркуляции рабочей среды

подробнее см. ГОСТ 17752—81 «Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения»).

По источнику подачи рабочей среды гидроприводы подразделяются на *насосные аккумуляторные* и *магистральные*, по циркуляции рабочей среды — на гидроприводы *разомкнутой* и *замкнутой* циркуляцией рабочей среды; по характеру движения выходного звена — на гидроприводы *поступательного движения*, *вращательного движения*; по возможности регулирования — на гидроприводы *регулируемые* и *нерегулируемые*.

Регулируемые объемные гидроприводы подразделяются:

- по регулируемому устройству — с дроссельным регулированием, с объемным регулированием, с объемно-дроссельным регулированием, с регулированием приводящим двигателем;
- по задаче регулирования — стабилизируемый, программный, следящий;
- по способу управления — с ручным и автоматическим управлением.

Регулирование может быть ступенчатым и бесступенчатым.

Рассмотрим схему простейшего гидропривода с замкнутой циркуляцией рабочей среды.

При приложении внешней силы F_1 (рис. 5.9) к штоку 1 насоса 8 и перемещении его вниз со скоростью v_1 масло из камеры 6 поршнем 7 будет вытесняться по каналу 5 в камеру 4 гидродвигателя

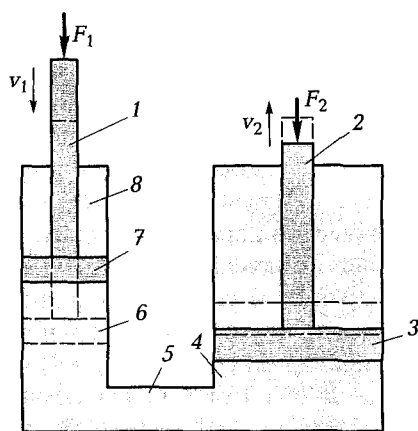


Рис. 5.9. Схема гидропривода:

1 и 2 — штоки; 3 и 7 — поршни; 4 и 6 — камеры; 5 — канал; 8 — насос

(гидроцилиндра). При этом поршень 3 будет перемещаться вверх со скоростью v_2 , преодолевая штоком 2 силу F_2 .

Объемный гидропривод, применяемый в приводах станков, должен отвечать следующим требованиям:

- иметь меньшие массу и габариты по сравнению с электроприводом;
- иметь малую инерционность, которая обеспечивает хорошие динамические свойства, увеличивает долговечность станков и позволяет производить включение и реверсирование рабочих движений за доли секунды. Время рабочего цикла при этом сокращается, и повышается производительность станка;
- иметь бесступенчатое регулирование скорости рабочих движений, позволяющее повысить коэффициент использования приводного электродвигателя, упростить автоматизацию привода;
- удобство управления, сокращающее затраты энергии станочника независимо от мощности привода, возможность разветвления мощности;
- возможность осуществления больших передаточных отношений между ведущим и ведомым звеньями при вращательном движении ведомого звена;
- возможность преобразования без дополнительных устройств вращательного движения ведущего звена в поступательное движение ведомого звена. Используя в качестве ведомого звена гидроцилиндр, можно преобразовывать вращательное движение ведущего звена (насос) в возвратно-поступательное движение ведомого звена (поршень гидроцилиндра). Подбором соответствующего диаметра гидроцилиндра и давления рабочей жидкости можно создавать практически любые силы на ведомом звене. При этом обеспечивается независимое расположение ведущего и ведомого звена и, кроме того, достигается надежная фиксация ведомого звена в любом заданном положении и возможность регулирования скорости его перемещения, надежное предохранение от перегрузок электропривода и рабочих органов, при этом при быстро нарастающих нагрузках предохранительный гидроклапан пропускает часть жидкости на слив;
- применение стандартных и унифицированных узлов (насосов, гидромоторов, гидроцилиндров, гидроклапанов, гидрораспределителей, фильтров, арматуры и др.), что позволяет снизить стоимость привода и облегчить его эксплуатацию и ремонт, а также упростить процесс конструирования — он сводится к составлению схемы и подбору гидрооборудования с заранее известными свойствами;

- возможность осуществления автоматизации;
- применение минеральных масел в качестве рабочих жидкостей, что обеспечивает смазывание самих элементов гидропривода и повышает их эксплуатационные качества.

К недостаткам гидропривода относятся:

- зависимость характеристики гидропривода от вязкости рабочей жидкости, которая изменяется от температуры (в автоматических гидравлических системах нестабильность вязкости нарушает работу автоматических устройств);
- растворимость воздуха в жидкости, который нарушает работу гидропривода, особенно в автоматических устройствах;
- внутренние и наружные утечки рабочей жидкости.

В станках гидропривод следует рассматривать как часть привода между электродвигателем и рабочим органом станка. В дальнейшем рассматривается электрогидравлический привод, т. е. совокупность выходного электродвигателя и гидропривода, где в качестве гидродвигателей обычно применяют гидроцилиндры (для поступательного движения) и гидромоторы (для вращательного движения).

Простейшая принципиальная схема гидропривода вращательного движения с объемным регулированием показана на рис. 5.10, а. Электродвигатель 2 вращает регулируемый насос 3, который подает масло в гидросистему из гидробака 1 через фильтр 4 в нерегулируемый гидромотор 5, вращающий рабочий орган 8.

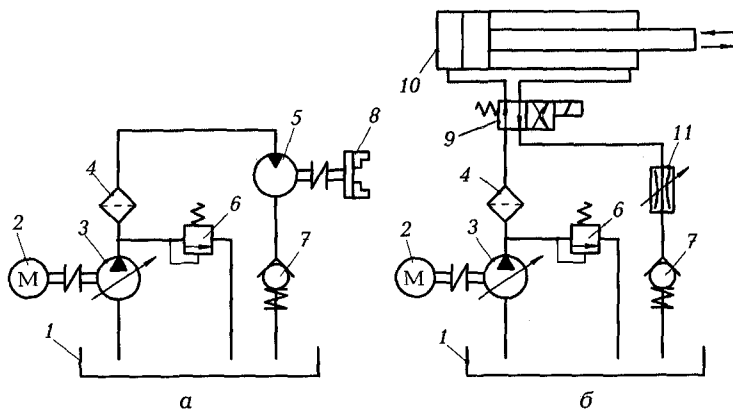


Рис. 5.10. Схемы электрогидравлических приводов:

а — вращательного движения; б — поступательного движения; 1 — гидробак; 2 — электродвигатель; 3 — регулируемый насос; 4 — фильтр; 5 — нерегулируемый гидромотор; 6 — переливной клапан; 7 — подпорный клапан; 8 — рабочий орган; 9 — гидрораспределитель; 10 — гидроцилиндр; 11 — дроссель

Схема гидропривода возвратно-поступательного движения с дроссельным регулированием на выходе показана на рис. 5.10, б. Масло из гидробака 1 нагнетается насосом 3 в систему, проходя через фильтр 4, гидрораспределитель 9, гидроцилиндр 10 и дроссель 11, который регулирует скорость потока жидкости в системе (распределителем — направление всего потока). В среднем положении обе полости гидроцилиндра сообщены между собой, поэтому поршень и связанный с ним стол неподвижны. При переключении распределителя вправо масло направляется в левую полость гидроцилиндра, а из правой полости поступает на слив. В результате поршень и стол движутся вправо. Переключением распределителя в левую позицию изменяют направление потока масла, поступающего в гидроцилиндр, и тем самым реверсируют стол. Избыточный поток масла из системы сливается через переливной клапан 6.

Всасывающая гидролиния — участок трубопровода, соединяющий насос с гидробаком. Участок трубопровода, по которому жидкость поступает от насоса в гидродвигатель, а также все гидролинии, находящиеся под рабочим давлением, называют *напорными гидролиниями*. *Сливная гидролиния* — участок трубопровода отводящего жидкость из нерабочей полости гидродвигателя в гидробак.

Принцип действия гидроприводов, работающих от упора до упора и управляемых СЧПУ, приведем на примере реализации на многоцелевом станке цикла автоматической смены инструмента.

Под системой цикловой автоматики понимают систему автоматического управления механизмами и группами механизмов, поведение которых определяется множеством параллельных и последовательных операций. Отдельные операции осуществляются электрическими управляющими сигналами, а условия смены операций формируются под влиянием так называемых осведомительных сигналов, поступающих от станка. Примером циклов автоматики являются циклы автоматической смены инструмента и заготовки.

Команды на управление ЭЛА станка УЧПУ получает в виде различных значений вспомогательных функций M, T, S. В УЧПУ выполняется логическая обработка кодов вспомогательных функций соответствующей частью СПО. При поступлении значения вспомогательной функции УЧПУ должна сформировать соответствующий набор управляющих воздействий на автоматы ЭЛА.

При приеме значения какой-либо вспомогательной функции разворачивается определенная логико-временная последовательность управляющих сигналов на элементы ЭЛА.

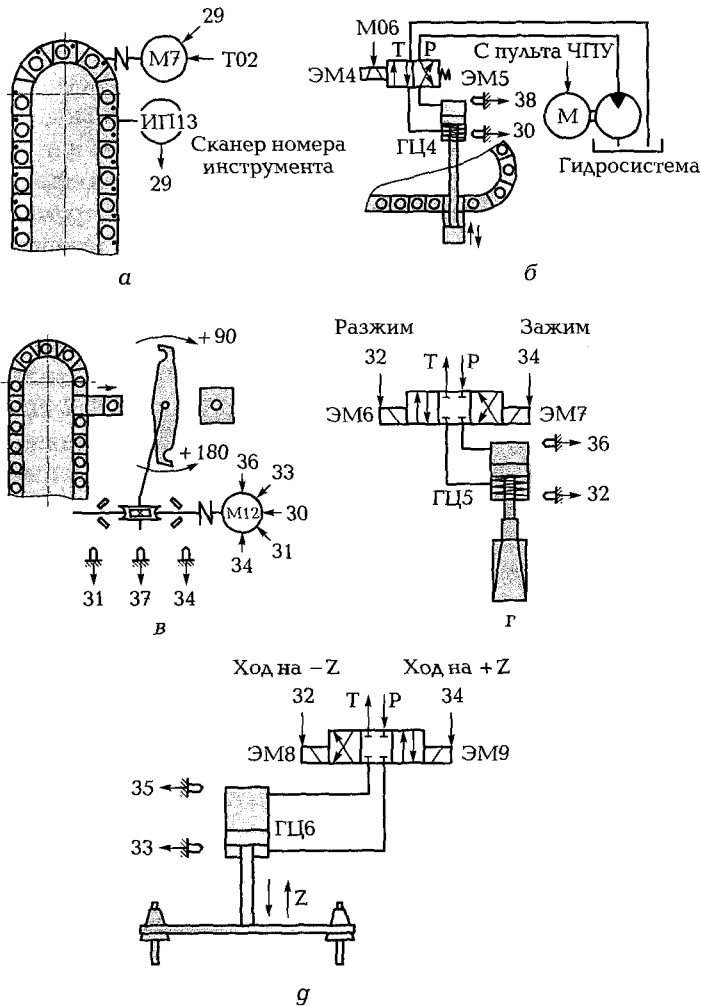


Рис. 5.11. Цикл смены инструмента:

а — вращение инструментального магазина для поиска инструмента под номером, заданным в управляющей программе; б — выдвижение и задвижение ячейки инструментального магазина; в — вращение руки автооператора; г — зажим-разжим инструментальной оправки в шпинделе станка; г — перемещение автооператора вдоль оси Z

На рис. 5.11 показана логико-временная последовательность выдаваемых сигналов при управлении циклом автоматической смены инструмента на многоцелевом станке. До начала цикла рабочие органы станка по соответствующим координатам должны

быть выведены в точку смены инструмента N. Это, например, отвод шпиндельной бабки из рабочей зоны станка, поворот наклонной шпиндельной головки и т. д.

Цикл смены инструмента начинается с поиска необходимого режущего инструмента, предварительно установленного в ячейку инструментального магазина. Сигнал вспомогательной функции T с числовым значением, соответствующим номеру инструмента (например, T02), включает электродвигатель привода вращения инструментального магазина M7 (рис. 5.11, а). Как только нужный инструмент найден, ИП13 выдает сигнал 29, который, соответственно, приходит на двигатель M7, и происходит его останов. Контроль положения позиций инструментального магазина осуществляется бесконтактным измерительным преобразователем ИП13. Для определения необходимого инструмента используется метод кодирования позиций. Каждая ячейка инструментального магазина имеет индикатор, который при движении магазина считывается преобразователем. Сопоставление в устройстве ЧПУ считанной преобразователем информации с заданной обеспечивает останов магазина в положении, при котором необходимый инструмент находится в позиции смены. ИП13 выдает сигнал 29, который приходит на двигатель M7 и останавливает привод вращения магазина.

Сигнал, соответствующий функции M06, поступает на электромагнит ЭМ4 золотника и подключает гидроцилиндр ГЦ4 к гидросети станка (рис. 5.11, б). В верхней полости ГЦ4 создается давление, и движение поршня выдвигает ячейки инструментального магазина до фиксированного положения специального ИП, который выдает сигнал 30.

Сигнал 30 включает двигатель M12 привода вращения руки автооператора. После поворота автооператора на -90° формируется сигнал 31, который останавливает привод автооператора (рис. 5.11, в).

По сигналу, соответствующему функции M11 и приходящему на ЭМ5 золотника гидроцилиндра ГЦ5, масло подается в его верхнюю полость и под его давлением шток разжимает оправку с инструментом в шпинделе (рис. 5.11, г). После разжима формируется сигнал 32.

По сигналу 32, поступающему на ЭМ7, происходит включение золотника (рис. 5.11, г). Под давлением масла, которое приходит в верхнюю полость ГЦ6, осуществляется ход автооператора вдоль оси Z на -80 мм. Движение выполняется до фиксированного положения специального ИП, вырабатывающего сигнал 33.

Сигнал 33 включает двигатель M12, который поворачивает руку автооператора на -180° до положения ИП, выдающего сигнал 34, и автооператор останавливается (см. рис. 5.11, в).

По сигналу 34, поступающему на ЭМ8, происходит включение золотника гидроцилиндра ГЦ6 (см. рис. 5.11, г). Под давлением масла, которое приходит в нижнюю полость ГЦ6, осуществляется перемещение автооператора на + 80 мм. Как только он достигнет положения специального ИП, вырабатывается сигнал 35.

По сигналу, соответствующему функции М10 и приходящему на ЭМ6 золотника гидроцилиндра ГЦ5, масло подается в нижнюю полость ГЦ5, шток которого зажимает оправку с инструментом в шпинделе (см. рис. 5.11, г). После зажима инструмента формируется сигнал 36.

Сигнал 36 включает двигатель М12, который приводит в движение автооператор (см. рис. 5.11, в). После поворота автооператора на + 90° ИП формирует сигнал 37, который останавливает привод автооператора и снимает сигнал М06 с электромагнита ЭМ4.

После снятия сигнала М06 с электромагнита ЭМ4 происходит переключение золотника под действием пружины и ячейка инструментального магазина задвигается (см. рис. 5.11, б). При этом формируется сигнал 38, завершающий цикл смены инструмента.

Помимо цикла смены инструмента гидропривод используется при управлении циклом смены заготовки, для фиксации-расфиксации револьверной головки токарных станков, в системах подачи СОЖ, в системе смазывания и др.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение привода главного движения в станках с ЧПУ и из каких составных механизмов он состоит?
2. Что такое мотор-шпиндель? Перечислите составляющие его механизмы.
3. Какие виды опор шпинделей станков с ЧПУ вы знаете?
4. Для чего необходим предварительный натяг в конструкции шпинделя и чем он создается?
5. Какими механизмами осуществляется зажим-разжим оправки в шпинделе станка?
6. Из каких механизмов состоит следящий электрический привод подачи перемещения рабочего органа станка с ЧПУ и какие варианты его построения вы знаете?
7. Какие опоры ходовых винтов привода вы знаете и для чего в них создается и регулируется предварительный натяг?
8. Для чего в приводах используется ШВП и как регулируется ее точность?
9. Для чего используется гидропривод в станках с ЧПУ и из каких составных элементов он состоит?

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

6.1. УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ СТРУЖКИ

Автоматизированный сбор и удаление стружки на станках с ЧПУ являются очень важной задачей.

Эффективный отвод стружки от станка позволяет:

- предотвратить концентрацию теплоты в местах контакта стружки с узлами станка и снизить их температурные деформации;
- повысить время непосредственной работы станка за счет сокращения простоев для уборки стружки;
- улучшить использование СОТС, так как стружка в этом случае будет находиться в контакте с ней в течение непродолжительного времени;
- улучшить условия труда оператора и уменьшить опасность несчастного случая из-за контакта со стружкой.

Поэтому компоновка и конструкция станков должны способствовать свободному перемещению стружки по направляющим поверхностям или желобам на транспортное устройство ее отвода.

Удаление стружки с инструмента, обрабатываемой заготовки, зажимного приспособления и других узлов станка производят двумя способами: принудительно (смыв обильной струей жидкости, выдувание, вакуумный отсос и т. д.) и под действием силы тяжести стружки.

Для облегчения отвода стружки из зоны резания в современных станках предусматривают свободное пространство под зоной резания и обрабатываемой заготовкой. В токарных станках с ЧПУ свободному сходу стружки способствует наклонное положение направляющих суппортов (рис. 6.1). В станках небольших разме-

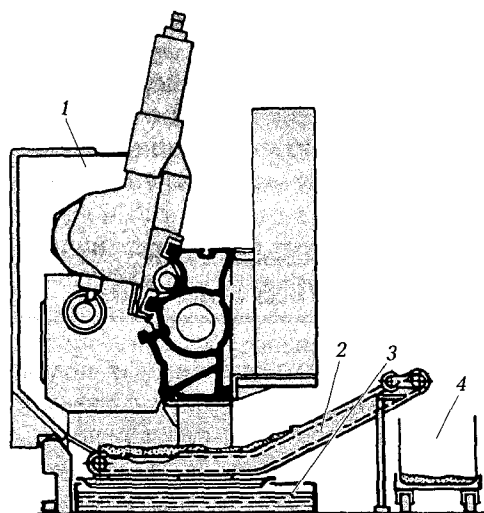


Рис. 6.1. Схема удаления стружки на токарном станке с числовым программным управлением:

1 — защитный кожух; 2 — конвейер для удаления стружки; 3 — бак для смазочно-охлаждающей жидкости; 4 — бак для сбора и хранения стружки

ров (для изготовления корпусных деталей) рабочую поверхность стола выполняют вертикально.

Удаление стружки от станков в общем случае выполняют встроенные в них конвейеры различных конструкций в зависимости от обрабатываемых материалов, формы и объемов удаляемой стружки. При проектировании и применении таких конвейеров необходимо соблюдать следующие требования: легкость очистки и ремонта, простота конструкции, достаточная пропускная способность и минимальные затраты энергии.

На практике для транспортирования стружки применяются устройства разного принципа действия: пластинчатые, скребково-толкающего типа, вибрационные, шнековые, магнитные и гидроконвейеры.

Для удаления легкой (например, алюминиевой) стружки, а также стружки из мелкой чугуновой крошки и пыли (при обработке без СОТС) применяют стружкоотсасывающие устройства (гидроциклоны). Однако их можно применять при небольшой зоне стружкообразования (например, при сверлении печатных плат).

При обработке отверстий стружку из них выдувают сжатым воздухом или вытряхивают специальным поворотным устрой-

ством. Применяют также электромагнитный способ удаления стружки, при котором устройство с электромагнитом хранится в инструментальном магазине и периодически устанавливается в шпинделе станка, который по программе обходит места образования стружки и транспортирует ее в приемное устройство.

6.2. СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ СТАНКОВ

Система смазывания предназначена для подачи, дозирования и распределения смазочного материала в узлах станка, а также контроля и управления процессом смазывания. От эффективности действия этой системы зависят такие важнейшие показатели качества работы станков, как точность, долговечность, экономичность, бесшумность.

Смазыванию подлежат подшипники, направляющие, зубчатые и червячные передачи, муфты, шарнирные соединения и другие узлы.

Основные функции смазочного материала заключаются:

- в обеспечении низкого трения;
- отводе теплоты от трущихся поверхностей, в том числе вследствие большей теплоемкости масла, чем металлов;
- удалении продуктов износа из зоны трения и предотвращении попадания инородных частиц в зазор между поверхностями трения;
- защите деталей от коррозии (минеральные масла).

По физическому состоянию смазочные материалы можно разделить на жидкие (основные), пластичные и твердые.

В качестве *жидкого смазочного материала* в большинстве случаев применяют масла на минеральной основе. Их применяют для смазывания, охлаждения, переноса теплоты, в качестве рабочих жидкостей для гидравлических систем и др.

Пластичные смазочные материалы имеют в своем составе 75...95% минеральных масел, 5...20% загустителя, образующего «каркас», в котором удерживается минеральное масло, и 0...5% присадок.

В тех случаях, когда обычные смазочные материалы применять нежелательно (в вакууме, при больших нагрузках и низких скоростях), применяют *твердые смазочные материалы*, характеризующиеся высокой теплостойкостью. Отличительной особенностью

основных смазочных материалов является отсутствие способности к самовосстановлению при разрушении смазочной пленки.

Многие свойства современных масел достигаются введением в них химических веществ (присадок), без которых масла не могли бы удовлетворять современным требованиям (противозадирные свойства, вязкостно-температурные характеристики и т. д.).

В зависимости от условий работы рекомендуется применять следующие смазочные материалы:

- при высоких нагрузках и низких скоростях — вязкие масла (пластичные, твердые);
- при высоких скоростях — высококачественные масла с низкой вязкостью;
- при высоких температурах — жидкие масла с присадками, твердые смазочные материалы;
- во избежание загрязнений и образования шлама — высококачественные масла, пластичные и твердые смазочные материалы.

Системы для смазывания представляют собой совокупность устройств, обеспечивающих своевременную подачу, распределение и подвод требуемого количества смазочного материала к поверхностям трения, а также возврат его в смазочный бак. Система должна обеспечить также хранение и очистку смазочного материала, контроль его поступления, предотвращение аварии оборудования при прекращении подачи смазочного материала, управление режимом смазывания.

Основные требования, предъявляемые к системам смазывания станков, определяются их назначением:

- обеспечение подачи смазочного материала к большому числу трущихся пар от одной системы (централизованные системы);
- применение автоматически действующих устройств для подачи и распределения смазочного материала, осуществление цикла смазывания, контроля за ее подачей, защиты и сигнализации о неисправностях;
- возможность регулирования количества (дозы) смазочного материала, подаваемого к точкам смазывания, поскольку недостаточное или обильное смазывание может ухудшать условия работы пар трения;
- повышение надежности работы отдельных элементов системы (насосов, масленок, фильтров, маслопроводов и др.);
- применение устройств эффективной очистки смазочного материала;
- удобство и экономичность эксплуатации.

Подача смазочных масел и материалов к трущимся поверхностям осуществляется различными способами:

- самотеком — под действием сил тяжести (непрерывное смазывание); фитилями и пористыми втулками (фитильное смазывание) и использованием силы капиллярного давления;
- погружением вращающихся деталей в масляную ванну (смазывание погружением);
- принудительно (смазывание под давлением, создаваемым насосами, пружинами и мускульной силой);
- разбрызгиванием и распылением (например, масляным туманом, создаваемым сжатым воздухом).

По условиям подачи и использования смазочного материала системы смазывания делят на проточные и циркуляционные.

В *проточных системах* смазочный материал подается к трущимся поверхностям дозами (одноразовое проточное смазывание). Он используется в работе один раз и в резервуар системы не возвращается.

В *циркуляционных системах* применяют только жидкие смазочные материалы, циркулирующие многократно между объектами смазывания и резервуаром. Смазочный материал, поступающий в резервуар для повторной подачи, подвергается тщательной очистке.

Контроль подачи смазочного материала осуществляется визуально, обычно с помощью маслоуказателей (глазков), или автоматически, с помощью реле контроля подачи, реле давления, реле уровня и других приборов.

В зависимости от характера поступления смазочного материала к местам смазывания различают системы *непрерывного* и *периодического смазывания*.

В последние годы широко используется метод смазывания трущихся поверхностей аэрозолями — масляным туманом, при котором распыленное на мельчайшие частицы в струе сжатого газа масло переносится к трущимся парам и, осаждаясь на них, смазывает подвижные части.

Для смазки подшипников шпинделей наряду с известными способами (разбрызгиванием, циркуляционной и капельной смазкой, масляным туманом) применяют новый способ — масловоздушную смазку.

Очистка масел необходима для устранения как возможного начального загрязнения системы, так и механических примесей, образующихся в процессе работы в результате износа деталей, кор-

рации и попадания частиц извне. Очистка производится в отстойниках, фильтрами, магнитными уловителями и центрифугами.

Для очистки от крупных частиц, как правило, достаточно отстаивания масла в течение восьми часов в резервуаре (корпусе, баке, бункере) в покое или при медленной циркуляции.



СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ И СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ

Технологической средой при резании называют вещество, с которым контактируют поверхности режущего лезвия инструмента, стружки и обрабатываемой заготовки в районе зоны резания.

Смазочно-охлаждающие технологические среды, применяемые при обработке резанием, подразделяются на жидкие, пластичные, газообразные и твердые. Жидкие СОТС принято называть **СОЖ**.

Применение СОЖ позволяет снизить износ режущего инструмента, улучшить качество обрабатываемой поверхности и повысить производительность труда. СОЖ также удаляет стружку, снижает тепловыделение.

Наибольшее применение (около 95 %) находят:

- масляные СОЖ (на основе минеральных масел с добавлением присадок);
- эмульсолы (представляющие собой смеси минеральных масел, эмульгаторов, противоизносных и противозадирных присадок и др.);
- синтетические СОЖ, получаемые на базе водорастворимых полимеров;
- полужидкие и пластичные композиции.

Типы СОЖ для обработки металлов резанием и рекомендации по выбору СОЖ представлены в [1; 20].

Система охлаждения станка в общем виде состоит из резервуара-отстойника, насоса (обычно центробежного), фильтров, трубопровода, направляющих и отводящих устройств. Объем резервуара зависит от вида выполняемой операции и увеличивается при обильном тепловыделении при резании (например, обдирочном, силовом шлифовании), когда количество подаваемой в единицу времени жидкости возрастает.

На станках, работающих с применением СОЖ, предусматривают защитные устройства, предотвращающие попадание жидкости в механизмы, а также разбрызгивание ее из рабочей зоны.

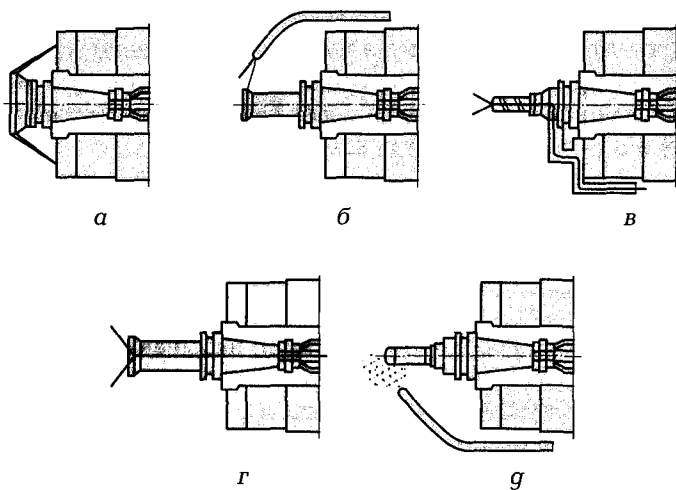


Рис. 6.2. Варианты подачи СОЖ в зону резания:

а — охлаждение по кольцу; *б* — подача направляющей трубой; *в* — подача через оправку; *г* — подача через шпиндель и оправку; *г* — подача в виде тумана

Подача СОЖ в зону обработки при лезвийной обработке может производиться следующими способами: свободно падающей струей; напорной струей через сопловые насадки; в распыленном состоянии (в виде струи воздушно-жидкостной смеси).

Последний способ особенно успешно применяют в станках с ЧПУ при обработке быстрорежущим и твердосплавным инструментом металлов и сплавов точением, фрезерованием, сверлением, резьбонарезанием, развертыванием, а также при обработке инструментами из сверхтвердых материалов.

Подачу СОЖ под давлением применяют в целях увеличения расхода СОЖ через зону обработки и вымывания стружки.

Различные варианты подачи СОЖ показаны на рис. 6.2.

Очистка СОЖ повышает ее долговечность, увеличивает стойкость инструмента и улучшает качество обрабатываемой поверхности.

Повышаются также надежность и работоспособность насосных агрегатов и узлов станка.

Применяют несколько способов очистки СОЖ:

- с помощью фильтров;
- гравитационный с использованием отстойников;
- центробежный с применением гидроциклов, центрифуг;
- магнитный с использованием сепараторов, патронов и других устройств.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие устройства для транспортирования стружки применяются на станках с ЧПУ?
2. Какие узлы и механизмы станка подлежат смазыванию и что используют в качестве смазочных материалов?
3. Какие способы подачи смазочных материалов и системы смазывания применяют на станках с ЧПУ?
4. Для чего применяют смазочно-охлаждающие технологические среды при обработке на станках с ЧПУ и какие СОТС используют?

III

РАЗДЕЛ

ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

- Глава 7. Основные этапы и задачи подготовки управляющих программ
- Глава 8. Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса обработки деталей
- Глава 9. Разработка маршрутной технологии при создании управляющих программ
- Глава 10. Разработка операционной технологии при создании управляющих программ
- Глава 11. Математическая подготовка и кодирование управляющих программ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

7.1 ПРОЦЕСС ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ «ЧЕРТЕЖ—ГОТОВАЯ ДЕТАЛЬ»

При числовом программном управлении станками процесс подготовки управляющих программ — это последовательное программирование отдельных этапов обработки детали. В общем случае означает подготовку и нанесение на программноноситель необходимых команд, которые могут быть автоматически прочитаны и выполнены системой ЧПУ и самим станком.

Процесс подготовки УП можно представить, рассматривая его как процесс передачи и преобразования информации в системе «чертеж детали — готовая деталь».

Система «чертеж — деталь» — это совокупность технических средств и процессов по преобразованию информации чертежа в материальную деталь, соответствующую техническим требованиям (точности размеров, формы, шероховатости и качеству поверхностного слоя) и другим технико-экономическим показателям (минимальным приведенным затратам, минимальной себестоимости и др.).

Структура системы «чертеж — деталь» зависит от сложности изготавливаемых деталей, объемов их производства, уровня автоматизации технических средств и является многоуровневой. Верхний уровень представлен чертежом, нижний уровень — элементами технологической системы: станком с ЧПУ, приспособлением, режущим инструментом, заготовкой (деталью).

С точки зрения преобразования информации при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ система «чертеж — деталь» содержит подсистемы: технологической подготовки (ТП);

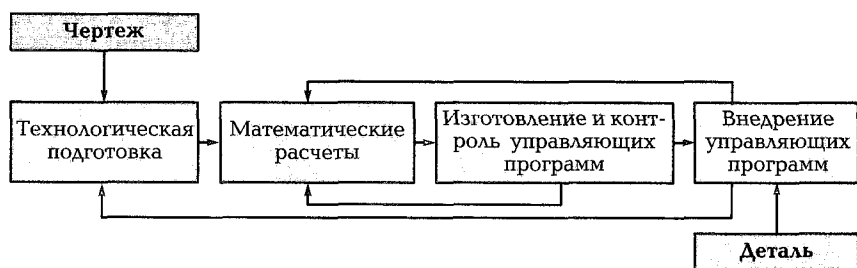


Рис. 7.1. Преобразование информации в системе «чертеж—деталь»

математических расчетов (МР); изготовления и контроля управляющих программ (ИКП); внедрения процесса обработки по УП (рис. 7.1). Задачи, решаемые на всех этапах подготовки УП в представленных подсистемах, показаны на рис. 7.2.

Подсистема технологической подготовки включает следующие этапы работ.

I. Подготовка исходных данных для проектирования технологического изготовления детали на станке с ЧПУ.

II. Разработка маршрутной технологии изготовления детали.

III. Проектирование операционной технологии изготовления детали.

На этапе подготовки исходных данных (этап I) для проектирования технологического процесса:

- проводится технико-экономический анализ целесообразности изготовления детали на станке с ЧПУ;
- выбирается конкретный станок исходя из условий:
 - ✓ соответствия системы ЧПУ и числа управляемых координат станка, потребных для обработки;
 - ✓ соответствия размеров рабочей зоны станка габаритным размерам детали;
 - ✓ соответствия мощности, жесткости и технических характеристик станка режимам обработки;
 - ✓ точности и требуемой шероховатости поверхности, обеспечиваемой данным станком.

В результате выполнения работ на данном этапе проводится анализ чертежа детали на технологичность ее изготовления на

Рис. 7.2. Этапы и задачи подготовки управляющих программ в системе «чертеж—деталь»



станке с ЧПУ, разрабатывается укрупненный план обработки и уточняются условия поставки заготовки.

В результате выполнения этапа II — *разработки маршрутной технологии изготовления детали на станке с ЧПУ* — определяется операционная последовательность обработки и выбирается комплекс необходимого инструмента и оснастки.

На этом этапе:

- рассчитываются параметры режущих инструментов, отражающих специфику обработки на выбранном станке с ЧПУ и определяющих содержание операций;
- выбираются схемы базирования приспособления на столе станка и заготовки в приспособлении;
- проводится размерная увязка систем координат изготавливаемой детали с системой координат станка.

На этапе проектирования операционной технологии изготовления детали (этап III):

- разрабатывается подробный план каждой операции с построением траекторий рабочих и вспомогательных перемещений, расчетом режимов резания;
- составляется расчетно-технологическая карта изготовления детали на станке с ЧПУ.

Подсистема проведения математических расчетов включает следующие этапы работ.

IV. Расчет траекторий перемещения режущих инструментов при проведении обработки на станке с ЧПУ.

V. Кодирование УП.

Этап расчетов траекторий движения (этап IV) включает:

- расчет координат опорных точек эквидистант в процессе реализации линейной и круговой интерполяции с задаваемым шагом аппроксимации поверхностей в выбранной системе координат детали. Расчеты выполняются с точностью, определяемой дискретностью выбранной системы ЧПУ;
- расчеты величин перемещений на участках траекторий;
- расчет времени перемещений.

Этап кодирования УП (этап V) включает:

- перевод расчетных параметров в координатную систему станка;
- использование в УП конкретных технических характеристик станка (пределов подач рабочих органов, скоростей вращения шпинделя, длин ходов исполнительных органов, допустимых значений ускорений и торможений, приемлемых перебегов при резком изменении направления движения органов станка и др.);

- использование в УП подготовительных и вспомогательных функций СЧПУ, функций коррекции на диаметр и вылет инструмента и т. д.

Результатом выполнения работ в подсистеме математических расчетов является получение управляющих программ на проблемно-ориентированном языке и в коде станка с ЧПУ, например в международном коде ISO — 7 bit.

Подсистема изготовления и контроля управляющих программ включает один этап.

VI. Контроль УП вне станка с ЧПУ и запись УП на программно-носитель.

На этом этапе:

- перед внедрением управляющих программ с целью правильного изготовления по ним детали на станке с ЧПУ обязательно проводится графическая проверка рассчитанных траекторий. Проверка УП осуществляется визуально при использовании дисплеев, графопостроителей, координатографов с последующим цифровым определением координат опорных точек траекторий;
- осуществляется изготовление программноносителя (перфолента, магнитная дискета и др.).

Подсистема внедрения УП включает следующие этапы.

VII. Отработка УП на станке без установки инструмента, оснастки, заготовки.

VIII. Обработка контрольной детали.

Указанные работы проводятся в целях проверки правильности расчетов УП, проверки правильности применения технологических приемов, проверки правильности отработки УП рабочими органами станка.

7.2. МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ УП ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Существуют следующие методы подготовки УП:

- **ручное программирование**, выполняемое соответствующими специалистами (инженером-технологом, программистом и др.);
- **автоматизированное программирование**, выполняемое при использовании системы автоматизированной подготовки УП для станков с ЧПУ (САП УП), построенной на основе применения ЭВМ;
- **оперативное, диалоговое программирование**, когда подготовка УП производится непосредственно у станка с клавиатуры УЧПУ.

В общем случае, независимо от принятого метода подготовки УП, *сопроводительная документация* обычно включает:

- чертеж детали;
- карту наладки инструментов;
- расчетно-технологическую карту изготовления детали на станке с ЧПУ;
- управляющие программы обработки и их распечатки;
- графики траектории инструментов (при автоматизированном расчете УП) и акт проверки управляющих программ.

В карте наладки инструментов записываются координаты вершин инструментов, определяемые вне станка на специальных приборах.

Расчетно-технологическая карта содержит законченный план обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траекторий движения используемых инструментов со всеми необходимыми пояснениями и расчетными размерами.

Оперативное ручное программирование. Ручная подготовка управляющих программ практически используется только при обработке простых деталей.

Подготовку исходных данных, маршрутной и операционной технологий (этапы I...III) проводит технолог или оператор, который разрабатывает план операций и карту наладки инструментов.

Задачи математических расчетов (этап IV) выполняет программист в бюро математических расчетов (БМР) с использованием средств вычисления (калькуляторы) либо оператор непосредственно у станка с ЧПУ. По предварительно разработанному плану операций составляется расчетно-технологическая карта, в которой указываются во временной последовательности все рабочие движения станка, а также дополнительная информация, например: свойства обрабатываемого материала, размеры и положение инструмента, скорость резания и др.

Оператор составляет текст УП (этап V) и вводит программу посредством специальных клавиш пульта СЧПУ, предназначенных для ручного программирования.

Оперативное программирование осуществляется оператором с пульта системы управления станком в режиме ввода и редактирования управляющих программ.

Информация УП вводится в УЧПУ в специальном семиразрядном буквенно-цифровом коде по ГОСТ 20999—83 «Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих про-

грамм», соответствующем международному коду ISO-7 bit. УП приводится отдельными кадрами, состоящими из слов, которые задаются буквенными адресами с определенными числовыми значениями. Подробно кодирование УП рассмотрено в подразд. 11.4.

Автоматизированное программирование. При составлении УП число решаемых задач настолько велико, что ручное программирование часто невозможно. Управляющая программа для деталей средней сложности, а особенно для сложных деталей, может быть составлена только при использовании ЭВМ.

Автоматизация процессов программирования является основным средством сокращения затрат времени на разработку УП. Она обеспечивает не только снижение трудоемкости подготовки УП по сравнению с ручным способом, но и повышает их качество в связи с возможностью рассмотрения нескольких вариантов технологического процесса и выбора оптимального из них.

Использование автоматизированного программирования позволяет на одном рабочем месте рассчитывать опорные точки движения рабочих органов станка, рассчитывать и формировать УП изготовления детали в коде устройства ЧПУ, контролировать цифровую и графическую информацию в процессе ее формирования и получать распечатку бланков с пояснениями к выходной управляющей программе.

Автоматизированную подготовку УП на предприятии проводит технолог-программист.

Результатом выполнения технологом-программистом задач технологической подготовки УП (этапы I...III) является разработка расчетно-технологической карты изготовления детали на станке с ЧПУ. Расчетно-технологическая карта содержит чертеж детали с указанием системы координат программируемой детали и выбранными траекториями обработки, а также перечень технологических данных о последовательности обработки, инструменте, припусках, режимах обработки и т. д.

Задачи, решаемые на этапах IV...VI, объединяют в общий автоматизированный этап преобразования информации, выполняемый ЭВМ.

Применение ЭВМ для автоматизации программирования обработки на станках с ЧПУ требует разработки специального программно-математического обеспечения, а также проблемно-ориентированного языка для записи информации об изготавливаемой детали и ввода ее в ЭВМ. Это программно-математическое обеспечение называют системами автоматизированной технологической подготовки производства для станков с ЧПУ или систе-

мами автоматизированной подготовки управляющих программ (САП УП).

Оперативное диалоговое программирование. При обработке простых деталей предварительная подготовка УП может не выполняться. Программирование ведется оператором непосредственно у станка по чертежу детали в специальном режиме, который может поддерживать СЧПУ. Такой способ подготовки УП называется оперативным диалоговым программированием.

Оперативное диалоговое программирование осуществляется оператором с пульта системы СЧПУ в специальном режиме диалогового ввода и редактирования управляющих программ.

Современные микропроцессорные УЧПУ (рис. 7.3) позволяют осуществлять оперативное программирование в режиме диалога оператора с УЧПУ. При этом УП готовится с помощью специального графического редактора в режиме «меню». Такой диалог возможен при наличии в УЧПУ специального программного обеспечения и следующих технических средств: клавиатуры ввода на пульте УЧПУ; дисплея УЧПУ, работающего как в алфавитно-цифровом режиме, так и в режиме графического отображения; пульта управления станком.

На экране дисплея УЧПУ высвечивается последовательность вопросов, на которые должен ответить оператор нажатием определенных буквенных или цифровых клавиш. Эти вопросы могут также задаваться в виде перечня (меню), из которого надо выбрать желаемый вариант (рис. 7.4, а).

Оператор в процессе программирования выбирает требуемый по чертежу вариант из меню и вводит с пульта УЧПУ данные в предлагаемой последовательности. Введенные данные (графики, буквенно-цифровая информация) тут же высвечиваются на экране дисплея и при необходимости редактируются.

По данным, вводимым оператором, микропроцессорная СЧПУ сама формирует УП в виде, предназначенном для ее работы. Программирование обработки включает последовательные этапы: формирование геометрии обработанной детали, выбор режущих инструментов, определение режимов резания, определение схем наладки и обработки, моделирование процесса обработки.

Управляющая программа в этом случае представляет собой упорядоченное множество геометрических объектов и технологических команд.

По геометрическим данным чертежа оператор, используя соответствующее меню, производит построение контура обрабатываемой детали из различных геометрических элементов: точек, ли-

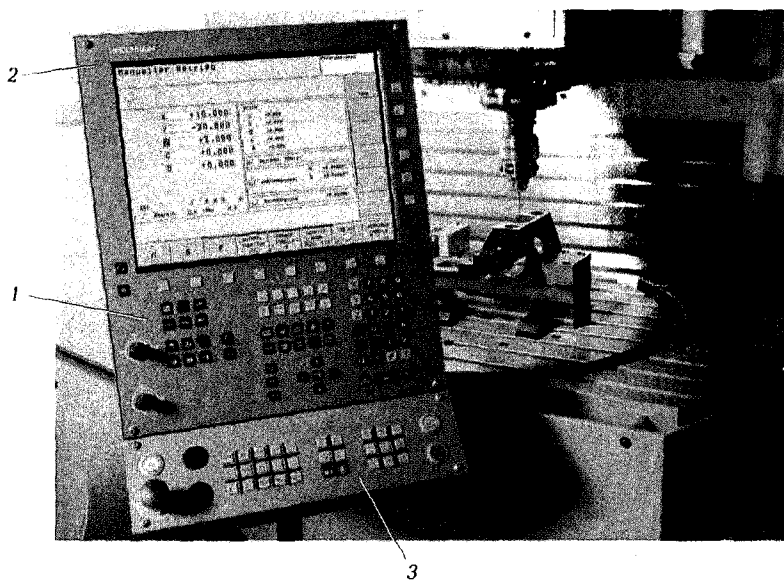


Рис. 7.3. Технические средства ведения диалогового программирования на станке с системой ЧПУ «HEIDENHAIN»:

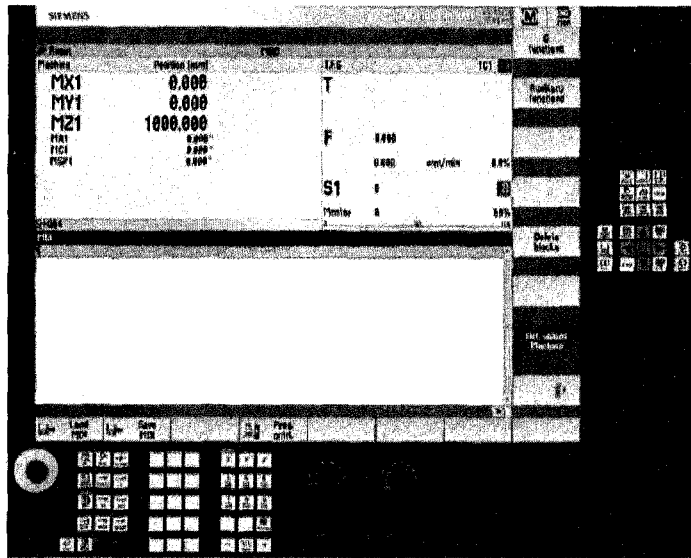
1 — клавиатура ввода данных; 2 — дисплей УЧПУ, работающий в режиме «алфавитно-цифровой клавиатуры» и «графической симуляции»; 3 — пульт управления станком

ний, окружностей и т. д., которые изображаются на экране графического дисплея в виде рисунка (рис. 7.5, а, б).

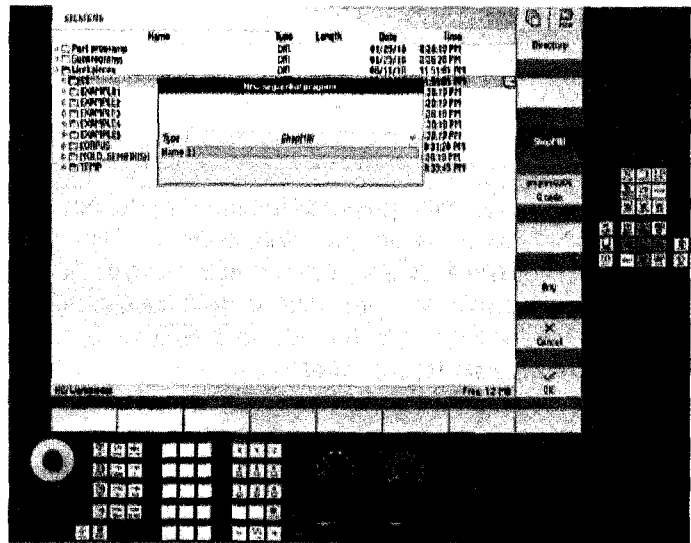
При необходимости на экран дисплея вызывается информация о режущем инструменте. Графически могут быть представлены: схема инструмента, его данные (размеры, код, номер корректора, материал режущей части и др.) (рис. 7.5, в).

Из меню *Последовательность переходов* оператор выбирает необходимые для обработки технологические переходы, при формировании которых будут использоваться типовые циклы обработки, например, цикл фрезерования (рис. 7.5, г), сверления (рис. 7.5, д), цикл чернового точения цилиндрической поверхности и др. В циклах задаются соответствующие параметры: припуски на черновую, чистовую обработку, глубина и ширина обработки, плоскость безопасности, направление подачи и др.

Режимы резания могут быть или назначены оператором или получены автоматически по введенному коду материала детали и инструмента, по виду обработки (черновая, чистовая), по при-



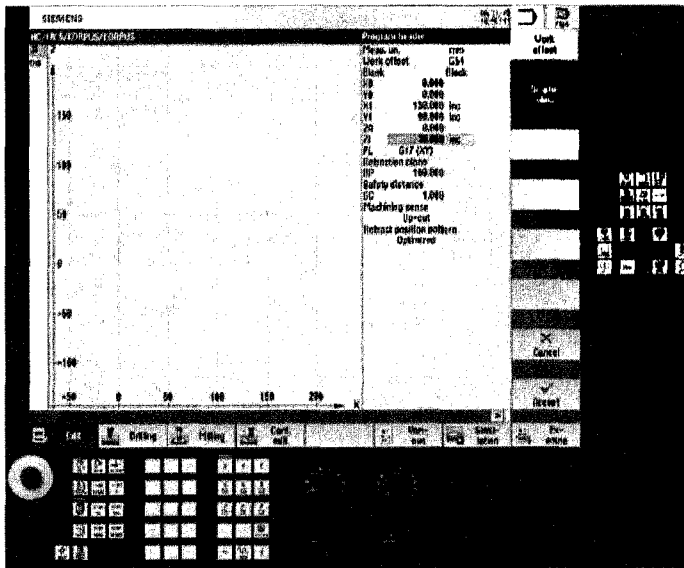
a



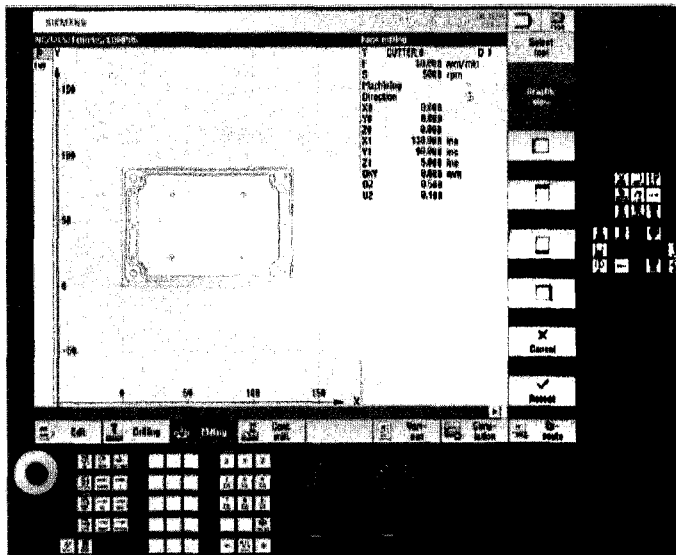
b

Рис. 7.4. Выбор режима программирования:

a — диалоговое программирование; *b* — ручное программирование

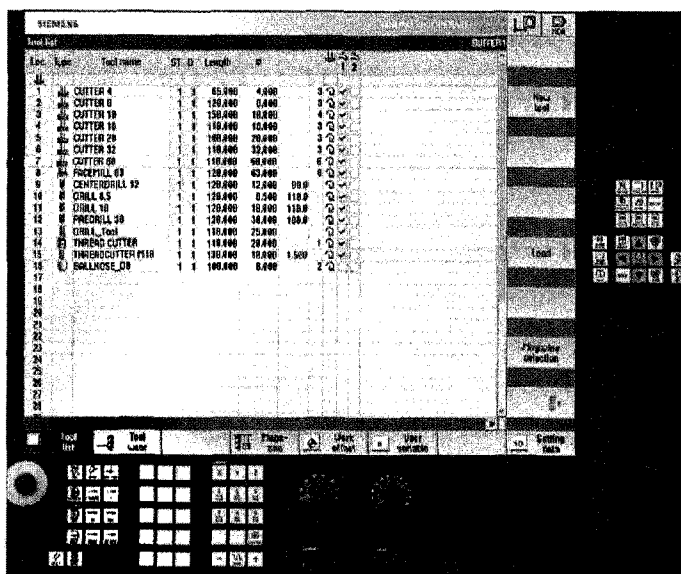


а

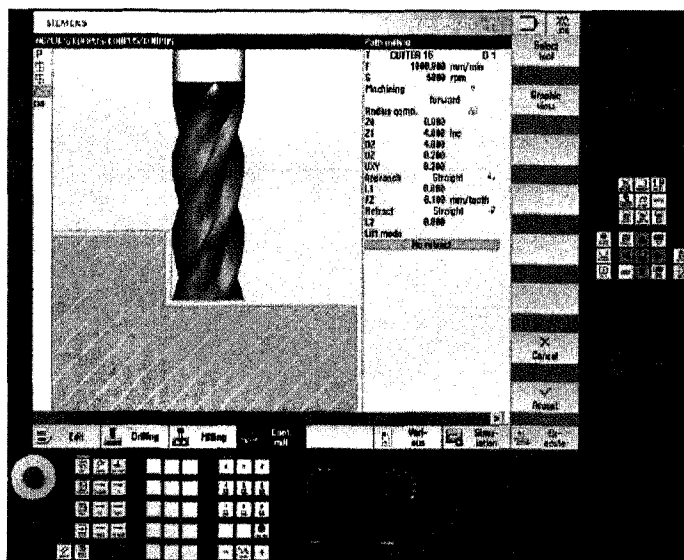


б

Рис. 7.5. Этапы программирования цикла обработки детали (начало):
 а — создание заготовки; б — задание геометрии обрабатываемой детали; в — выбор режущего инструмента; г — задание технологических параметров фрезерования;
 а — задание технологических параметров сверления

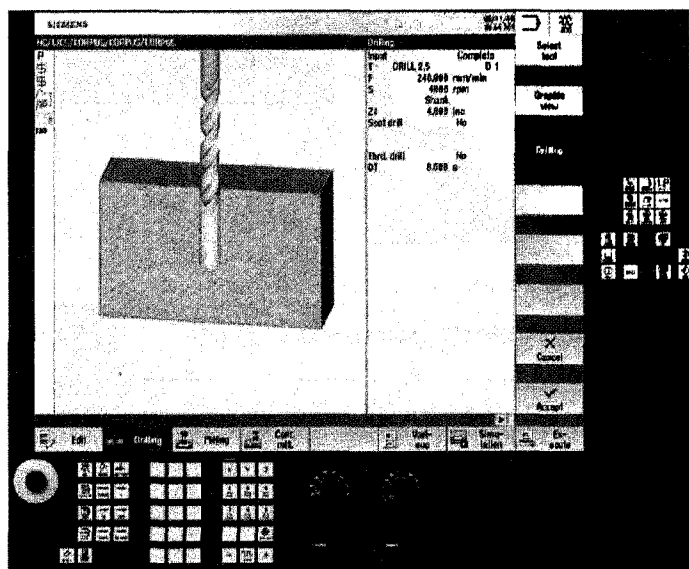


B



Г

Рис. 7.5. Этапы программирования цикла обработки детали (продолжение)



g

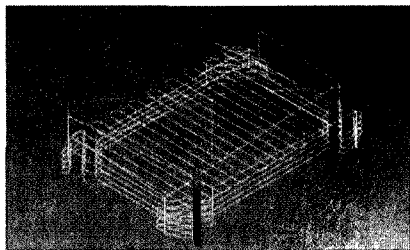
Рис. 7.5. Этапы программирования цикла обработки детали (окончание)

нятым циклам обработки. Программное обеспечение УЧПУ может определять оптимальные режимы (подачу, скорость резания, необходимые замедления) с учетом данных, характерных для станка.

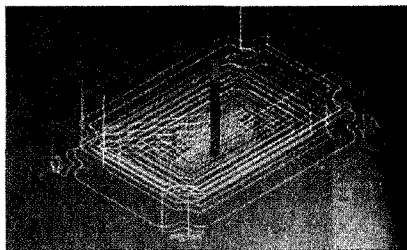
После определения всех параметров обработки УЧПУ автоматически рассчитывает управляющую программу работы станка, и с соответствующими комментариями ее можно увидеть на экране дисплея в коде *ISO*.

По желанию оператора возможно графическое представление всего процесса обработки детали как рассчитанных траекторий движения режущих инструментов (рис. 7.6, а, б), так и объемного изображения изготавливаемой детали (рис. 7.6, в). Такой вид информации на экране дисплея делает ее обзорной и легко понимаемой.

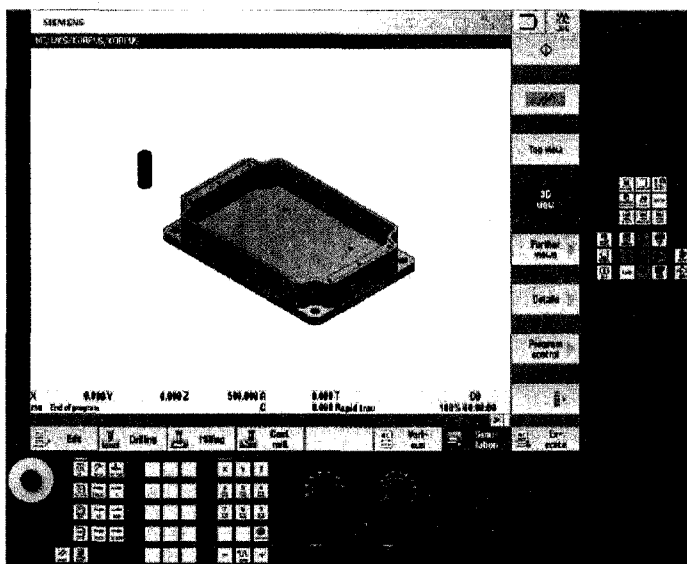
Такие функции диалогового программирования как автоматическое определение оставшегося материала, сегментация припусков с автоматической адаптацией заготовок, прерывание подачи при образовании длинной стружки, формирование переменной подачи в процессе обработки, продлевающей срок службы инструмента, позволяют оптимизировать процесс обработки.



а



б



в

Рис. 7.6. Графическое представление процесса обработки, полученного диалоговым программированием:

а и б — рассчитанные траектории движения режущих инструментов; в — объемное изображение изготавливаемой детали

Язык УЧПУ, основанный на командах языка высокого уровня, обеспечивает минимальную продолжительность разработки УП в режиме диалога, и сочетает в себе гибкость и удобство проведения простой параметризации циклов обработки, что обеспечивает высокую производительность в условиях единичного и мелкосерийного производства. Встроенный интерпретатор кодов ISO способствует максимальному удобству работы оператора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие подсистемы с точки зрения преобразования информации содержит система «чертеж—деталь» при подготовке УП для станков с ЧПУ?
2. Какие задачи решаются при подготовке УП?
3. Что включает в себя подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления детали на станке с ЧПУ?
4. Какие задачи решаются при разработке маршрутной технологии?
5. Какие задачи решаются при разработке операционной технологии?
6. Какие методы подготовки УП вы знаете?
7. Что такое оперативное диалоговое программирование для станков с ЧПУ?

ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

8.1. АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ. ЗОНЫ ОБРАБОТКИ

В подразд. 7.1 подробно рассмотрены этапы и задачи, решаемые при подготовке УП, даны их содержание и характеристика. Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса является этапом I при подготовке УП и начинается с подбора и оценки номенклатуры деталей, обработка которых целесообразна на станках с ЧПУ.

Наличие целесообразной номенклатуры изготавливаемых деталей является одним из главных условий достижения высоких технико-экономических показателей при внедрении и эксплуатации станков с ЧПУ. При выборе деталей должны быть определены источники и факторы экономической эффективности (рис. 8.1).

При подборе деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ, исходят из следующих нормативно-технических показателей:

- тип заготовки и ее материал;
- габаритные размеры и сложность конфигурации (наличие криволинейных поверхностей);
- тип и число обрабатываемых элементов на заготовке (отверстия, плоскости, криволинейные поверхности);
- наличие резьбы;
- способ крепления заготовки;
- требуемая точность детали;
- требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- трудоемкость изготовления детали в целом;
- трудоемкость подготовки УП;
- годовая программа выпуска.



Рис. 8.1. Основные источники и факторы экономической эффективности перевода деталей для обработки на станках с ЧПУ

На станках с ЧПУ рекомендуется обрабатывать:

- детали со сложной конфигурацией, контуры и элементы конструкции которых не параллельны координатным осям станка;

- ▣ детали, имеющие несколько криволинейных контуров, подсе-чек, карманов, колодцев, лежащих на одном или различных уровнях;
- ▣ объемные детали с поверхностями одинарной и двойной кри-визны;
- ▣ сравнительно простые детали, входящие в кинематические цепи, и стыкующиеся с деталями, подлежащими обработке на станках с ЧПУ, так как при этом происходит ликвидация при-гоночных работ при сборке деталей;
- ▣ детали, изготавливаемые из профиля;
- ▣ детали, изготавливаемые сравнительно большой серией.

Детали типа тел вращения могут быть длинными, при их изго-товлении на токарных станках необходимо применять заднюю бабку для поддержания второго конца детали, а иногда еще и лю-нет (специальное приспособление, поддерживающее заготовку в средней части, чтобы она не прогибалась во время обработки от сил резания). Часто такие детали требуют только токарной обра-ботки (обточки разных диаметров, точения канавок, фасок, под-резки торцов и др.).

В случаях когда на таких деталях необходимо обрабатывать еще шпоночные пазы, сверлить отверстия, фрезеровать поверхно-сти, требуется их дополнительная обработка на сверлильном и фрезерном станках.

При обработке коротких деталей (типа валиков, фланцев, штуце-ров и др.) может также требоваться только токарная обработка, но с необходимостью обработки криволинейных поверхностей и цен-тральных отверстий с одной стороны. В этом случае на токарном станке производится полная обработка, в том числе сверление и расточка центральных отверстий невращающимся инструментом, установленным в задней бабке или револьверной головке. Здесь проблемой является обработка криволинейных поверхностей, когда требуется перемещение режущего инструмента одновременно по двум координатам (X и Z) по определенной траектории (рис. 8.2, а). Однако много коротких деталей типа тел вращения (рис. 8.2, б) тре-буют кроме токарной обработки сверления отверстий не только по центру, но и по окружности, сверления поперечных отверстий, фрезерования шпоночных пазов и шестигранников и др. При этом требуется обработка с двух сторон (за два установка).

В этом случае также требуется обработка на нескольких стан-ках (токарном, сверлильном, фрезерном), либо необходимо иметь на токарном станке возможность поворота на определенный угол шпинделя с заготовкой по координате C и установки в револьвер-

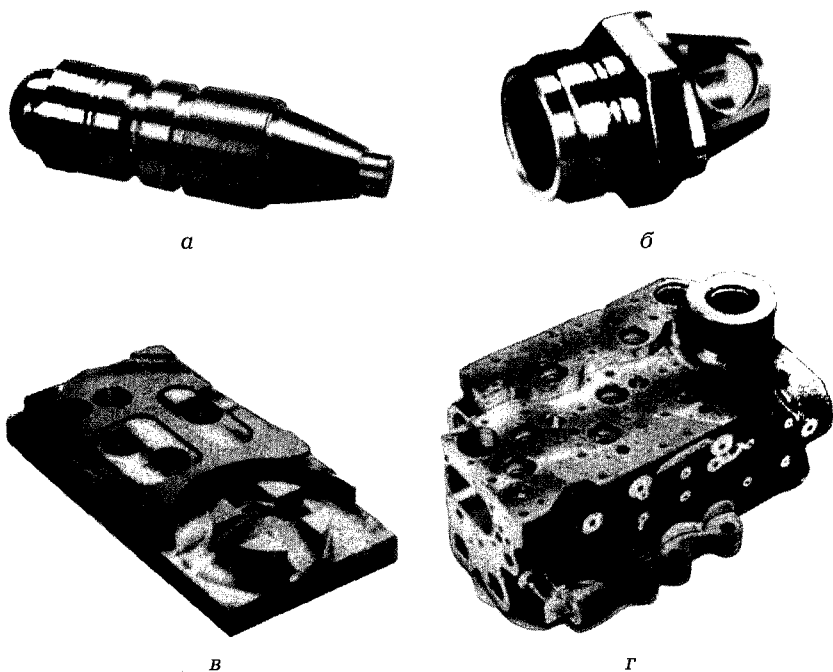


Рис. 8.2. Типовые детали, изготавливаемые на токарных станках с ЧПУ (а, б) и на многоцелевых станках (в, г) с вертикальной и горизонтальной компоновкой шпинделя

ной головке станка вращающихся инструментов (сверла, фрезы), и для обработки с двух сторон на одном станке иметь кроме основного шпинделя еще и противошпиндель.

Изготовление фланцевых (плоских) деталей производится на сверлильных, фрезерных и координатно-расточных станках с вертикальной компоновкой шпинделя с возможностью одновременного перемещения стола, салазок (координаты X, Y), а в ряде случаев и шпиндельной бабки с инструментом (координата Z). Обработка заготовки производится в большинстве случаев с одной стороны, но большим количеством инструментов (рис. 8.2, в).

При обработке очень сложных объемных деталей с криволинейным профилем требуется управление одновременно по трем координатам, а в отдельных случаях по четырем и даже по пяти координатам, тогда дополнительно необходимо применять поворотный стол и иметь возможность поворачивать шпиндель (или шпиндельную бабку) на определенный угол.

До появления станков с ЧПУ изготовление таких деталей было очень трудоемким и производилось на разных универсальных станках с управлением ими вручную операторами высокой квалификации.

Большой группой изготавливаемых деталей являются корпусные детали (рис. 8.2, г). Их особенностью является необходимость обработки отверстий и плоскостей, расположенных практически со всех сторон детали. В этом случае чаще всего необходимо применять станки с горизонтальной компоновкой шпинделя и с поворотным столом, что позволяет обрабатывать деталь с четырех сторон. Изготовление таких деталей требует применения большого количества различных режущих инструментов и возможности совмещения на одном станке и черновой и чистовой обработки. При изготовлении таких деталей на станке с вертикальной компоновкой шпинделя применяются два стола: поворотный (на 360°) и наклоняемый (в пределах до 180°).

Широкие технологические возможности станков с ЧПУ изменяют обычные представления об обработке деталей, когда более технологичной считалась обработка деталей, внешние контуры которых ограничивались простыми поверхностями или их сочетанием.

Для станков с ЧПУ, особенно фрезерных и многоцелевых, более эффективной является обработка сложных деталей.

Для выбора станка, на котором в дальнейшем будет производиться обработка детали, необходимо провести анализ чертежа детали с точки зрения количества управляемых координат, требуемых для формообразования ее поверхностей.

Анализ чертежа детали включает:

- выделение зон детали, подлежащих обработке;
- рассмотрение поверхностей в зонах;
- анализ количества возможных управляемых координат при формировании каждой поверхности в зонах.

Зоны обработки детали определяются формой поверхностей, из которых образован контур детали, и параметрами режущего инструмента, участвующего в обработке. Для токарной и фрезерной обработки контур детали определяется сочетанием основных и дополнительных зон обработки.

Зоны токарной обработки. Основные зоны. К основным зонам относят зоны наружных и внутренних поверхностей с радиусами и криволинейными образующими, обрабатываемые проходными и расточными резцами с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ и вспомогательным углом в плане $\varphi' = 30^\circ$; зоны торцевых поверхностей. На рис. 8.3, а основные зоны — это зоны 1... 7, 9, 13 и 14.

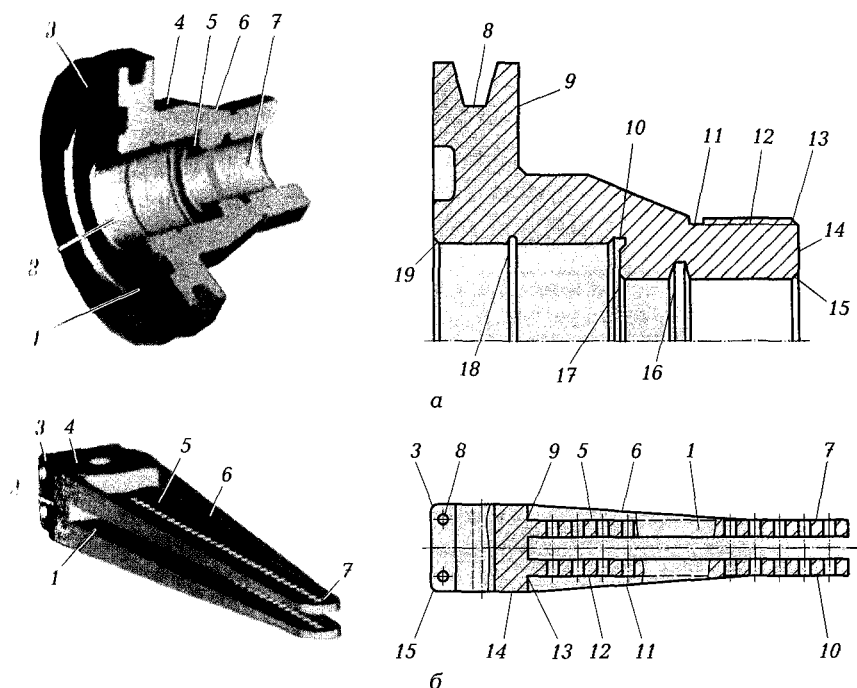


Рис. 8.3. Основные и дополнительные зоны обработки:
 и — зоны токарной обработки; б — зоны фрезерной обработки

Дополнительные зоны — зоны поверхностей, которые требуют для их образования другого инструмента. К ним относят зоны торцевых и угловых канавок для выхода шлифовального круга, зоны неглубоких канавок (до 1,5 мм), зоны прямоугольных канавок на наружной, внутренней и торцевой поверхностях, зоны резьбовых поверхностей и желобов под ремни. На рис. 8.3, а дополнительные зоны 8, 10...12, 15...19. Наиболее часто встречающиеся дополнительные зоны токарной обработки показаны на рис. 8.4.

Зоны фрезерной обработки. **Основные зоны** — зоны наружных и внутренних контуров детали (зоны плоскостей, карманов, окон, колодцев), зоны ребер, уступов, подсечек, наклонных поверхностей, отверстий, формируемые диаметром $D_{\text{фрез}}$ или ее боковой режущей частью. На рис. 8.3, б зоны 1, 2, 4...8, 10...12, 14 и 15 являются основными.

Дополнительные зоны — зоны сопрягающих поверхностей с постоянными и переменными радиусами сопряжения, которые

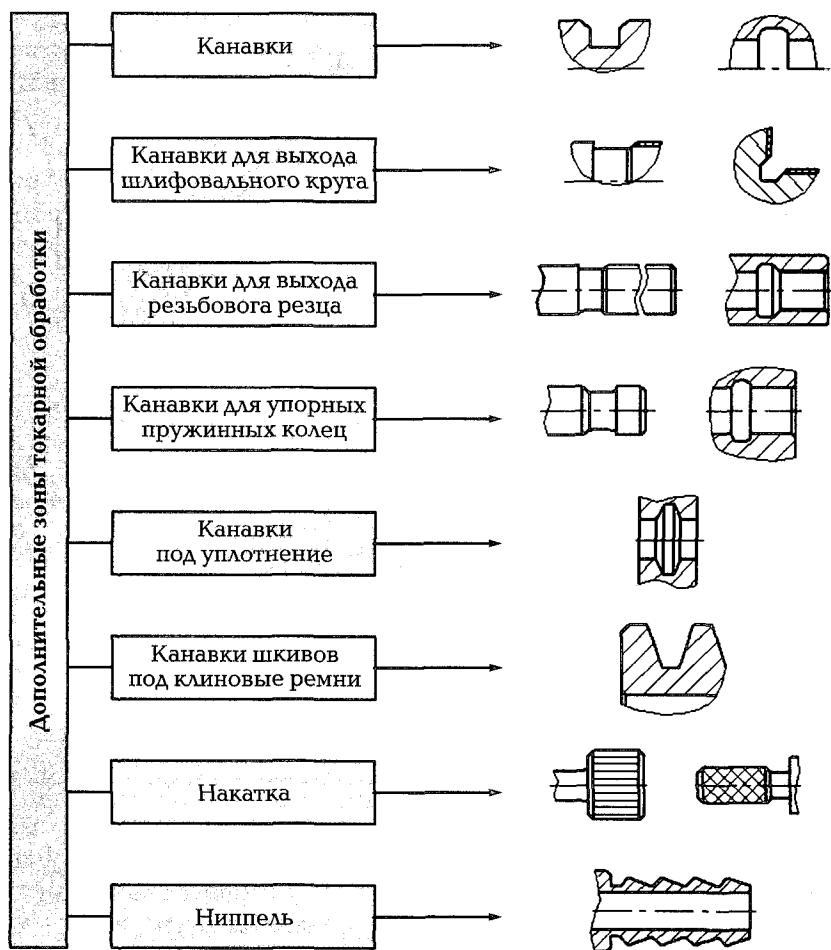


Рис. 8.4. Примеры дополнительных зон токарной обработки

формируются радиусами заточки фрез r . На рис. 8.3, б зоны 3, 9 и 13 являются дополнительными.

В зависимости от конфигурации участка черного или чистового контура детали зоны обработки также делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 8.5).

Для токарной обработки. Открытая зона формируется при снятии припуска с цилиндрической, а в некоторых случаях с конической поверхности. При выборе резца для этой зоны не на-

накладывают ограничений на главный φ и вспомогательный φ' углы в плане.

Полуоткрытая зона является более типичной, ее конфигурация определяется главным углом φ в плане.

Закрытые зоны встречаются при обработке дополнительных поверхностей, которые накладывают ограничения на углы φ и φ' .

Комбинированная зона представляет собой объединение двух-трех описанных ранее зон.

Для фрезерной обработки. Открытая зона — область обработки, где нет ограничений на перемещение инструмента вдоль оси или в плоскости, перпендикулярной этой оси (зоны плоскостей, ребер).

Полуоткрытая зона — зона обработки, где перемещение инструмента ограничено как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной (зоны уступов, подсечек).

Закрытые зоны — область обработки, где перемещение инструмента ограничено по всем направлениям (зоны пазов, карманов, колодцев).

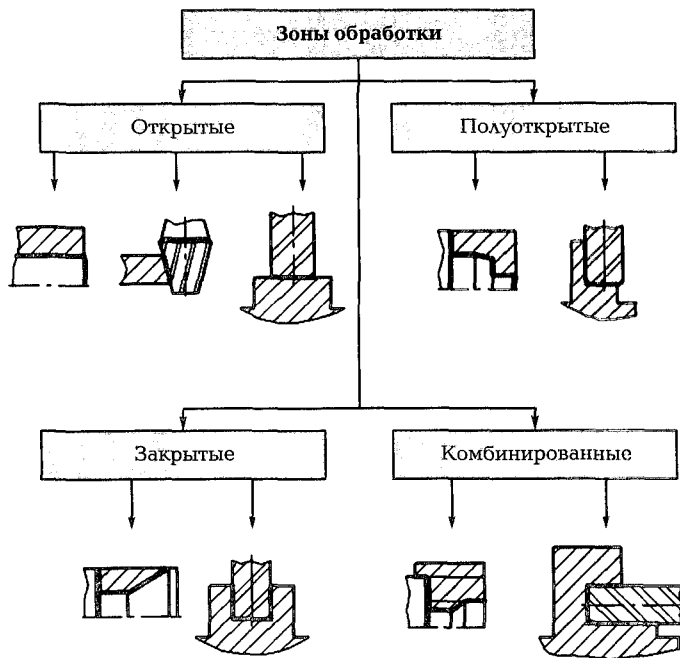


Рис. 8.5. Зоны токарной и фрезерной обработки

Таблица 8.1. Типовые процессы обработки поверхностей фрезерованием

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образую- щей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависи- мость движений
Типовой процесс торцевого фрезерования плоскостей, параллельных координатной плоскости XOY				
1	Прямая, параллельная оси OX	Плоскость, параллельная координатной плоскости OXY (горизонтальная плоскость)		\bar{X}
	Прямая, параллельная оси OY	Плоскость, параллельная координатной плоскости OXY (горизонтальная плоскость)		\bar{Y}
	Окружность (дуга окружности) в пло- скости, параллельной координатной плоско- сти XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости OXY (горизонтальная плоскость)		\dot{Z}

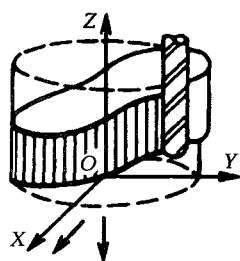
2	Прямая в плоскости, параллельной коорди- натной плоскости XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости OXY (горизонтальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Y}$
	Архимедова спираль в координатной плоско- сти XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости OXY (горизонтальная плоскость)		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
3	Кривая в плоскости, параллельной коорди- натной плоскости XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости OXY (горизонтальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Y}$
	Кривая в плоскости, параллельной коорди- натной плоскости XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOY (горизонтальная плоскость)		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
Типовой процесс цилиндрического фрезерования плоскостей, параллельных координатным плоскостям XOZ, YOZ, и прямых круговых цилиндрических поверхностей с осью вращения, параллельной оси координат OY				
4	Прямая, параллельная оси координат OX	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOZ (вертикальная плоскость)		\bar{X}
	Прямая, параллельная оси координат OY	Плоскость, параллельная координатной плоскости YOZ (вертикальная плоскость)		\bar{Y}
	Окружность (дуга окружности) в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOY (вертикальная плоскость)		\dot{Z}

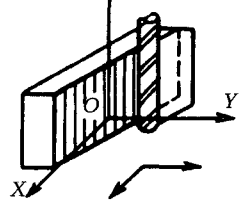
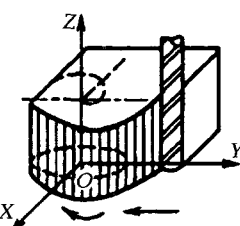
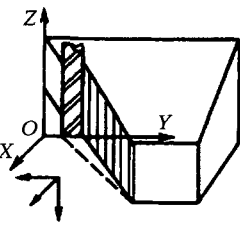
5	Прямая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOZ	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOZ (вертикальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Y}$
	Прямая в плоскости, параллельной координатной плоскости YOZ	Плоскость, параллельная координатной плоскости YOZ (вертикальная плоскость)		$\bar{Y} - \bar{Z}$
	Винтовая линия на прямой круговой цилиндрической поверхности	Прямая круговая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{Z}$

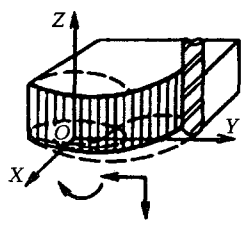
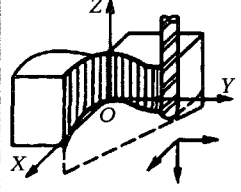
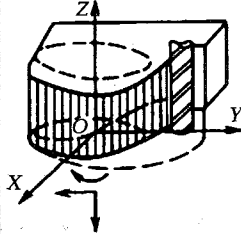
160

161

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
6	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOZ	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOZ (вертикальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Z}$
	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости YOZ	Плоскость, параллельная координатной плоскости YOZ (вертикальная плоскость)		$\bar{Y} - \bar{Z}$
	Кривая на прямой цилиндрической поверхности	Прямая круговая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{Z}$

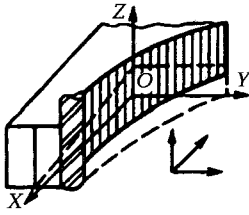
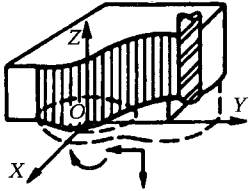
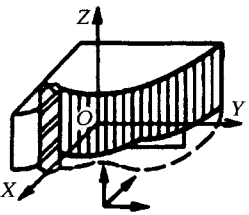
Типовой процесс цилиндрического фрезерования плоскостей, перпендикулярных координатной плоскости XOY, и цилиндрических поверхностей с направляющей «архимедова спираль»

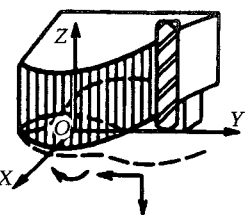
7	Прямая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y}$
	Архимедова спираль в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
8	Прямая в плоскости, перпендикулярной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y} - \bar{Z}$

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
8	Винтовая линия на прямой круговой цилиндрической поверхности	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X} - \bar{Z}$ или $\dot{Z} - \bar{Y} - \bar{Z}$
9	Кривая линия в плоскости, перпендикулярной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Z} \sim \bar{Z}$
	Кривая на архимедовой цилиндрической поверхности	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\bar{X} - \dot{Z} \sim \bar{Z}$ или $\bar{Y} - \dot{Z} \sim \bar{Z}$

Типовой процесс цилиндрического фрезерования цилиндрических поверхностей

10	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} \sim \bar{Y}$
	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Прямая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
11	Кривая в наклонной плоскости к координатной плоскости XOZ	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{Y} - \bar{Z} \sim \bar{X}$

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
11	Кривая в наклонной плоскости к координатной плоскости YOZ	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} - \bar{Z} - \bar{Y}$
	Винтовая линия с постоянным шагом на цилиндрической поверхности	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{Z} - \dot{Z} - \bar{X}$ или $\bar{Z} - \dot{Z} - \bar{Y}$
12	Кривая линия в пространстве	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} - \bar{Y} - \bar{Z}$

Кривая линия в пространстве	Прямая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X} - \bar{Z}$ или $\dot{Z} - \bar{Y} - \bar{Z}$
-----------------------------	-----------------------------------	--	---

Комбинированная зона — зона, которая формируется в результате объединения нескольких областей различных типов.

Так как одна и та же поверхность может быть получена различным сочетанием управляемых координат в станках с ЧПУ, то необходимо выбирать координаты, соответствующие техническим характеристикам предлагаемого конкретного станка с ЧПУ.

В табл. 8.1 показаны поверхности, получаемые фрезерованием при различном сочетании управляемых линейных координат X , Y , Z и круговой координаты C . Например, обработка вертикальной плоскости (см. 1-й типовой процесс) может производиться: движением по управляемой линейной координате X или линейной координате Y ; движением по управляемой круговой координате C ; одновременным согласованным движением по двум координатам X — Y линейной интерполяцией; одновременным согласованным движением по двум координатам X — Y круговой интерполяцией и др. Поверхности, получаемые возможными сочетаниями управляемых координат станка с ЧПУ, представлены в табл. 8.1 в виде четырех групп, что облегчает проведение анализа детали.

Опыт эксплуатации станков позволяет сформулировать основные требования к конструкции деталей, обеспечивающих высокую технологичность при обработке их на станках с ЧПУ. Эти требования должны быть либо учтены конструкторами на этапе создания чертежа изделий, либо могут быть согласованы при проектировании технологического процесса обработки. Основные требования сформулированы в [26].

8.2. ВЫБОР СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ. НУЛЕВЫЕ, ИСХОДНЫЕ И ФИКСИРОВАННЫЕ ТОЧКИ

При выборе станка с ЧПУ, на котором в дальнейшем будет производиться обработка детали, рассматривается:

- соответствие системы ЧПУ и число управляемых координат станка, необходимых для обработки;
- соответствие размеров рабочей зоны станка габаритным размерам детали;
- соответствие мощности, жесткости и технических характеристик станка наиболее выгодным режимам обработки детали;
- соответствие точности и требуемой шероховатости поверхности, обеспечиваемой станком.

В паспорте выбранного станка с ЧПУ указываются координаты, которые закреплены за конкретным рабочим органом станка, показаны направления координатных осей, начало отсчета по каждой оси и пределы возможных перемещений. Понятие системы координат станка приведено в разд. I.

Для точного и правильного перемещения рабочих органов станка при отработке УП на станках с ЧПУ задаются нулевые, исходные и фиксированные точки.

В ГОСТ 20523—80 «Устройства числового программного управления станками. Термины и определения» даны понятия нулевой, исходной и фиксированной точек станка с ЧПУ.

Фиксированная точка N станка — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа станка.

Нулевая точка M станка — точка, принятая за начало системы координат станка.

Исходная точка R станка — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП.

В указанном стандарте приведены также понятия точки начала обработки, нулевой точки детали, исходной точки инструмента.

Точка начала обработки или исходная точка P_s программы — точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.

Нулевая точка W детали — точка на детали, относительно которой заданы ее размеры.

Исходная точка E инструмента — точка, полученная при совмещении точки установки инструмента с фиксированной точкой станка N .

Для указания этих точек в технологической документации в основном используются обозначения, приведенные в табл. 8.2.

На рис. 8.6 показано расположение нулевых, исходных и фиксированных точек на токарном и фрезерном станках с ЧПУ.

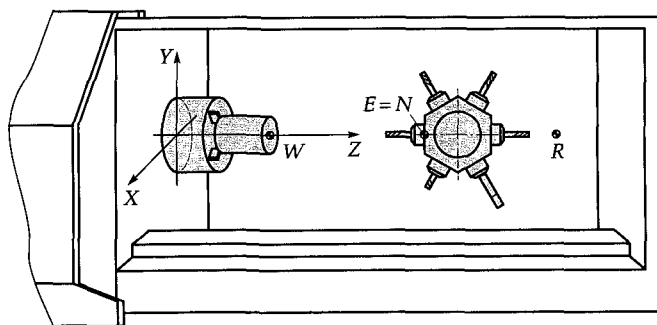
Определение положения нулевой точки W детали дано в подразд. 9.6, исходной точки E инструмента и фиксированной точки установки инструмента B — в подразд. 9.4, исходной точки программы P_s — в подразд. 9.7.

Фиксированные точки N , F станка с ЧПУ. Выбираются с учетом конструктивных особенностей отдельных узлов станка и могут быть материально выражены, например базовым отверстием в центре стола станка. Фиксированные точки позволяют определить предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов станка в процессе изготовления детали по управляющей программе в системе координат станка.

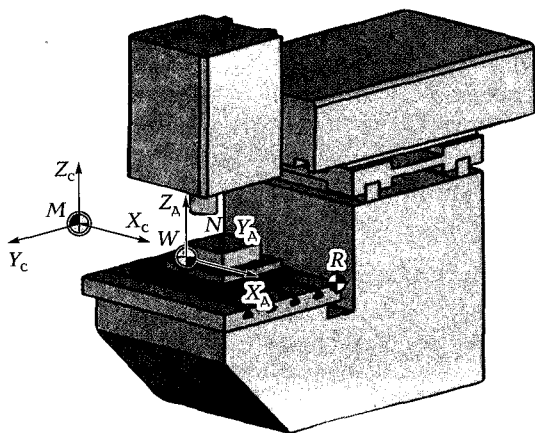
Таблица 8.2. Условные обозначения

Обозначение		Название	Пример
условное	буквенное		
	<i>M</i>	Нулевая точка станка	
	<i>R</i>	Исходная точка станка	
	<i>W</i>	Нулевая точка детали	
	<i>E</i>	Исходная точка инструмента	
	<i>N</i>	Фиксированная точка шпинделя в позиции смены инструмента	
	<i>F</i>	Фиксированная точка стола в центре базового отверстия	
	<i>B</i>	Фиксированная точка установки инструмента	
	<i>Ps</i>	Точка начала обработки конкретной заготовки (исходная точка программы)	

Для шпиндельных узлов (см. рис. 8.6, а) фиксированной точкой *N* является точка пересечения торца шпинделя с осью его вращения, для суппорта токарно-револьверного станка — центр поворота



a



b

Рис. 8.6. Нулевые, исходные и фиксированные точки:
 а — на токарном станке; б — на фрезерном станке

та резцедержателя в плоскости, параллельной направляющим суппорта и проходящей через ось вращения шпинделя, или точка базирования инструментального блока (державки).

Для крестового стола фрезерного станка (см. рис. 8.6, б) фиксированной точкой F является точка пересечения его диагоналей; для поворотного стола — центр поворота зеркала стола.

Нулевая точка M станка с ЧПУ. Точка, принятая за начало отсчета системы координат станка, называется нулевой точкой станка, или нулем станка, M .

Положение точки M на станках задается производителем в зависимости от их типов и моделей. Нулевая точка станка может располагаться, например, в фиксированной точке F стола фрезерного станка (рис. 8.7, *a*). При таком расположении системы координат станка, перемещения стола по осям X и Y будут иметь как положительные, так и отрицательные значения, что не совсем удобно при программировании. Для того чтобы отсчет перемещений узлов по осям X и Y всегда был положительным, нуль M станка размещают в одном из углов рабочей зоны станка (рис. 8.7, *б*). Рабочая зона для фрезерного станка — параллелепипед, образованный линиями возможного смещения точки F по осям X и Y , который определяет границы обработки при программировании перемещений.

Для токарных станков с ЧПУ нулевая точка M станка располагается всегда в фиксированной точке N на оси торца шпинделя (см. рис. 8.6, *a*).

Таким образом, если на станке обрабатывать деталь с использованием абсолютного отсчета, то все ее координаты должны быть определены относительно нулевой точки M станка. Движение рабочих органов задаются в УП в этом случае в системе координат станка.

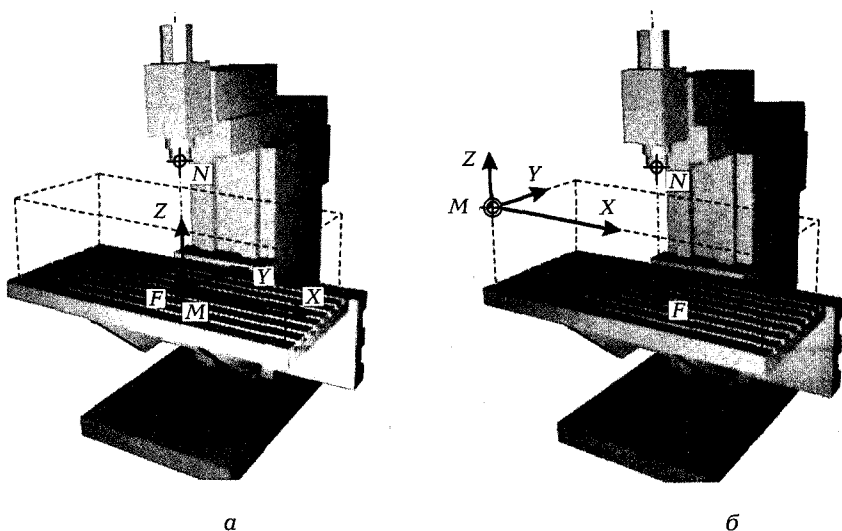
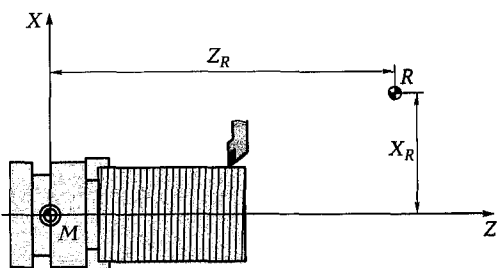
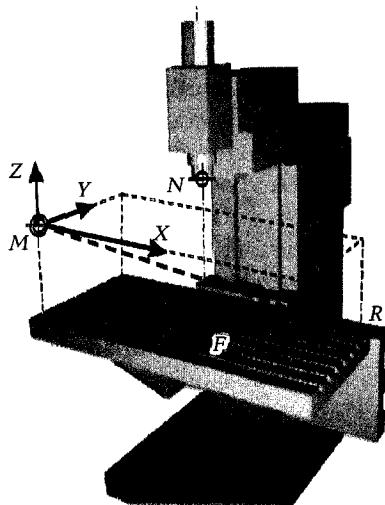


Рис. 8.7. Позиция нулевой точки M на фрезерном станке:

a — начало системы координат расположено в фиксированной точке стола станка F (центре базового отверстия); *б* — начало системы координат станка расположено в углу рабочей зоны



a



б

Рис. 8.8. Положение исходной точки R станка:
a — на токарном станке; *б* — на фрезерном станке

Рабочие органы станка можно переместить в нулевую точку соответствующей командой, заданной в УП, либо нажатием соответствующей кнопки с пульта станка.

Исходная точка R станка. Положение исходной точки R станка задается производителем станка (рис. 8.8). Исходная точка R станка используется для контроля над перемещением исполнительных органов станка при отсчете перемещений в приращениях (в относительной системе координат). Координаты точки R имеют постоянное значение относительно точки M , при этом положение R по каждой оси координат фиксируется датчиками следящих приво-

дов и учитывается УП. Точку R выбирают на станке, исходя из условий минимальных значений вспомогательных ходов, обеспечения удобства и безопасности смены инструмента, а также удобства закрепления заготовки на станке.

8.3. СОГЛАСОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОСТАВКИ ЗАГОТОВКИ

Важнейшим этапом при подготовке исходных данных для проектирования технологического процесса является согласование условий поставки заготовки или условий поставки детали. Целью этапа является определение состояния заготовки, ее базы, выполнения всех видов предварительной обработки перед установкой заготовки на станке с ЧПУ. Определяются также состояние детали после снятия ее со станка и объем требуемой слесарной доработки.

При обработке на станках с ЧПУ появляются некоторые дополнительные требования обеспечения базирования заготовки на столе станка. При обработке детали необходима точная ориентация ее относительно координатных осей станка и исходной точки УП. Поэтому при рассмотрении условий поставки заготовки необходимо обеспечить возможность точного базирования детали на столе станка.

Основным содержанием технических условий на поставку заготовки является требование к базовым поверхностям. На рис. 8.9 показаны примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с ЧПУ. Подготовка чистых баз деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, в ряде случаев выполняется на универсальных станках. Для токарной обработки это подрезка торцов и центрование деталей (см. рис. 8.9, в), проточка базовых шеек (см. рис. 8.9, а), для фрезерования и других видов обработки — фрезерование базовой плоскости и обработка базовых отверстий (см. рис. 8.9, б, г). В ряде случаев одновременно с обработкой баз рекомендуется определенная черновая обработка по простому контуру, при которой удаляется часть припуска (см. рис. 8.9, г).

Наиболее точным считается базирование детали на чистые плоскости и технологические отверстия, служащие базами и для последующих операций. В этом случае в условия поставки включается величина допуска на коробление базовой плоскости, а также допуск на диаметр базовых отверстий и величину межцентрового расстояния. При невозможности размещения центровых отверстий в самой детали их можно вскрыть в специальных заранее

предусмотренных приливах, величины которых также даются в условиях.

Необходимо стремиться, чтобы базовые отверстия совмещались с конструктивными отверстиями или проемами облегчения. В симметричной детали, подлежащей двухсторонней обработке, хотя бы одно базовое отверстие должно совмещаться с осью симметрии для обеспечения обработки с двух сторон по одной УП.

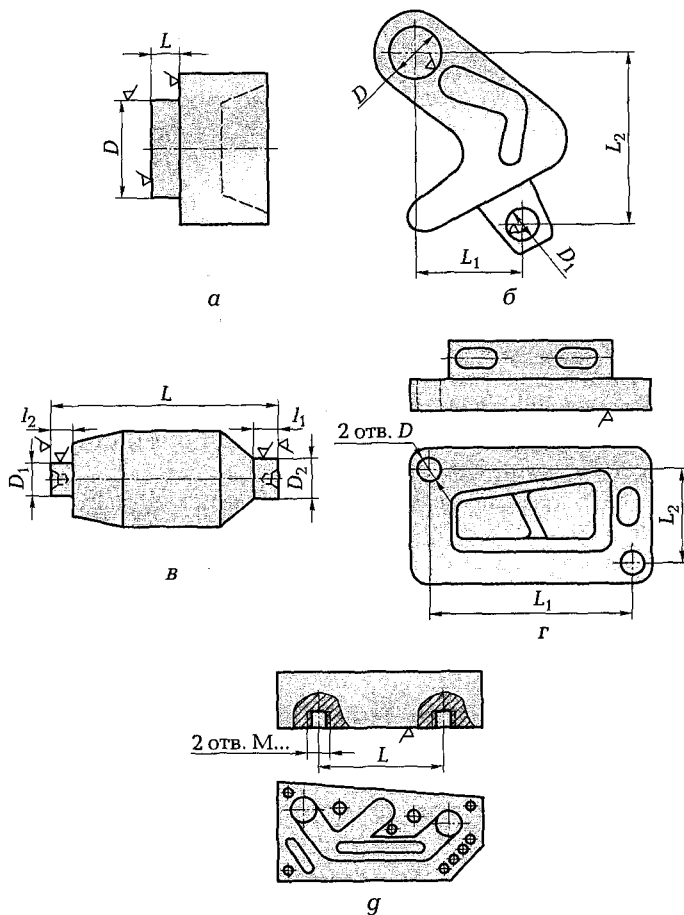


Рис. 8.9. Примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с числовым программным управлением:

а — проточка базовых шеек; *б* — фрезерование базовой плоскости; *в* — подрезка торцов и центрование деталей; *г* — черновая обработка по простому контуру; *г* — обработка базовых отверстий

Таблица 8.3. Зависимость размера базовых отверстий от габаритных размеров детали

Наибольший размер детали, мм	Наименьший диаметр базового отверстия, мм
До 100	Более 4
От 100 до 200	Более 6
От 200 до 600	Более 10
Более 600	Более 18

Диаметр базовых отверстий, размещаемых в заготовке, должен быть принят в зависимости от габаритов детали и условий сохранения прочности сечения по табл. 8.3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что включает в себя анализ чертежа детали при подготовке УП?
2. Что такое зона обработки?
3. Какие зоны токарной и фрезерной обработок вы знаете?
4. Что такое фиксированная и нулевая точки станка? Где они располагаются на станках с ЧПУ?
5. Для чего нужна исходная точка на станке с ЧПУ и где она задается?
6. Для чего задаются базы на заготовке и какие базы вы знаете?

РАЗРАБОТКА МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

9.1. ВЫБОР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ ПО ЗОНАМ

Выбор последовательности обработки детали по зонам является одной из наиболее важных задач, решаемых при проектировании технологического процесса. Последовательность обработки, указанная с комплексом оснастки и режущего инструмента, полностью определяет маршрут обработки детали на станке с ЧПУ.

Прежде всего должен быть решен вопрос о количестве *установов* (положений) детали на столе станка. Первый установ, как правило, выбирают из условия наиболее удобного базирования заготовки на черные или заранее подготовленные чистые поверхности. Последующие установы (если они требуются) производятся на обработанные чистые базы. Конечной задачей является поиск схемы, обеспечивающей наиболее полную обработку детали со всех сторон с наименьшим количеством установов. Одновременно производится эскизное проектирование приспособлений для базирования и зажима заготовки во всех положениях.

Для каждого установа детали определяется:

- последовательность обработки по зонам, связанная с конструктивными особенностями детали (зона наружных и внутренних контуров, зона торцов ребер, плоскости и т. д.);
- последовательность обработки по ее видам (черновая, чистая) в каждой из зон.

Рассмотрим последовательность обработки детали по зонам.

Токарная обработка. Обработка деталей на токарных станках с ЧПУ может выполняться в центрах или в патронах в строго определенной последовательности.

При обработке в центрах:

1) черновая обработка основных зон, из числа которых первыми обрабатываются поверхности, требующие рабочих перемещений режущего инструмента по направлению к передней бабке;

2) черновая и чистовая обработка дополнительных зон, кроме канавок для выхода шлифовального круга, резьбы и мелких выточек;

3) чистовая обработка основных зон, причем первой выполняется подрезка торца, далее обработка наружных поверхностей;

4) обработка дополнительных зон, не требующих черновых переходов.

При обработке в патронах:

1) центрование (выполняется при сверлении отверстий диаметром менее 20 мм);

2) сверление (при сверлении ступенчатых отверстий сначала выполняется сверление сверлом большего диаметра до 20 мм, а потом сверлом меньшего диаметра);

3) черновая обработка основных зон (сначала подрезка внешнего торца предварительно и окончательно, затем обработка наружных поверхностей и далее внутренних поверхностей);

4) черновая и чистовая обработка дополнительных зон (кроме канавок для выхода шлифовального круга, резьбы и мелких выточек);

5) чистовая обработка основных зон кроме внешнего торца (сначала внутренние поверхности, затем наружные);

6) обработка дополнительных зон, не требующих черновой обработки (сначала в отверстиях или на торце, затем на наружных поверхностях).

Последовательность обработки заготовок в трехкулачковом патроне показана на рис. 9.1.

Фрезерная обработка. Для фрезерной обработки при определении последовательности обработки по зонам необходимо соблюдать условие получения максимальной жесткости детали на каждом участке обработки. Так, при наличии ребер в детали, вначале, до обработки контуров детали, наиболее целесообразно обработать торцы ребер. Ребра станут более жесткими.

Затем желательно обработать внутренние контуры детали и заключенные в них плоскости. При обработке внутренних контуров можно вырезать окна или технологические отверстия, через которые с помощью накладных прижимов осуществляется крепление детали для последующей операции — обработки наружного контура.

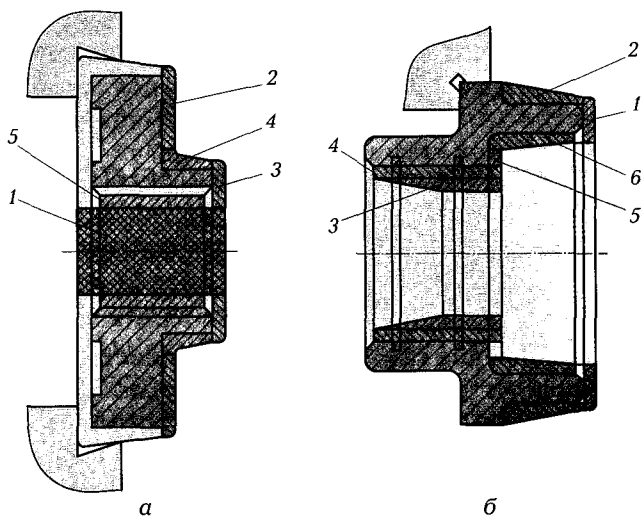


Рис. 9.1. Последовательность обработки заготовки в трехкулачковом патроне:

а — зубчатое колесо; *б* — втулка; 1...6 — последовательность обработки

В качестве типовой последовательности обработки по зонам корпусной симметричной детали, изготовленной из поковки (см. рис. 8.3, б) может быть принята определенная последовательность:

1) обработка зон верхней области симметрии детали: черновое фрезерование открытых основных зон — торцевой плоскости 4, наружного контура 2, ребер 6; выборка основного массива металла в основных закрытых и полуоткрытых зонах — внутреннем контуре 5, контуре 1; черновое фрезерование основных и дополнительных полуоткрытых и закрытых зон — внутреннего контура 5 с сопряжением 9, плоскости 7, контура паза 1, сопряжения 3;

2) обработка зон нижней области симметрии детали: черновое и чистовое фрезерование открытых основных зон — торцевой плоскости 14, ребер 11; выборка основного массива металла в основных закрытых и полуоткрытых зонах — внутреннем контуре 12, контуре 1; черновое и чистовое фрезерование основных и дополнительных полуоткрытых и закрытых зон — внутреннего контура 12 с сопряжением 13, плоскости 10, контура паза 1, сопряжения 15;

3) обработка зон верхней симметрии детали: чистовое фрезерование открытых основных зон — торцевой плоскости 4, наружного контура 2, ребер 6; чистовое фрезерование основных и до-

полнительных полуоткрытых и закрытых зон — внутреннего контура 5 с сопряжением 9, плоскости 7, контура паза 1, сопряжения 3.

9.2. ВЫБОР РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И РАСЧЕТ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Процесс выбора инструментов для станков с ЧПУ может быть условно разбит на четыре этапа.

Этап 1. Назначение совокупности видов инструментов, определяющих маршрут обработки данной детали. Обработка на токарных станках. Резцы для токарных станков с ЧПУ имеют типовые конструкции, являются сборными и оснащаются многогранными пластинами из твердого сплава, минералокерамики или сверхтвердых материалов (СТМ). Для увеличения производительности и надежности обработки широко используют резцы, оснащенные твердосплавными сменными многогранными неперетачиваемыми пластинами с износостойким покрытием. На чистовых переходах применяют инструмент с пластинами из керамики.

На рис. 9.2 показаны виды резцов, применяемых на токарных станках с ЧПУ:

1 — резцы проходные отогнутые правые с главным углом в плане $\phi = 45^\circ$ для патронной обработки деталей типа фланцев, кото-

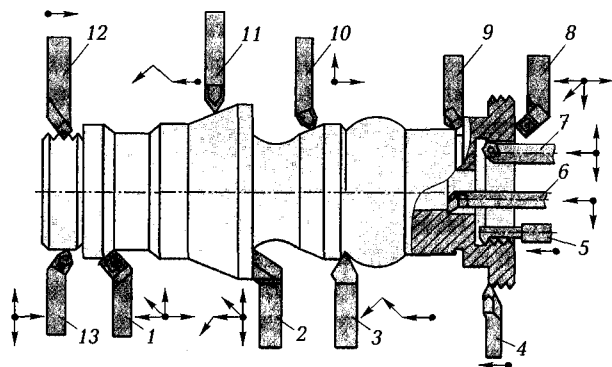


Рис. 9.2. Виды резцов, применяемых на токарных станках с ЧПУ:

1, 8 и 13 — проходные; 2, 3, 10 и 11 — контурные; 4, 5 и 12 — резьбовые; 6 и 7 — расточные; 9 — для проточки наружных канавок

рые обеспечивают наружную обточку, проточку торцов, проточку выточек, снятие фасок;

2 — резцы контурные с параллелограммными пластинами с $\varphi = 93...95^\circ$, которые позволяют производить обточку деталей по цилиндру и конусу, протачивать обратный конус с углом спада до 30° , обрабатывать радиусные поверхности, галтели и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру. Данными резцами можно протачивать канавки для выхода шлифовального круга;

3 — резцы контурные с параллелограммными пластинами с $\varphi = 63^\circ$, которые позволяют производить обработку полусферических поверхностей и конусов с углом спада до 57° ;

4 — резцы резьбовые с ромбическими пластинами, закрепленными сверху с помощью прихвата. Резцы позволяют нарезать резьбы с шагом 2...6 мм, угол профиля обеспечивается формой пластины;

5 — резцы резьбовые для нарезания внутренних резьб. Позволяют нарезать резьбы с шагом до 2 мм с близким подходом к торцу. Точность профиля резьбы обеспечивается заточкой пластин. Наименьший диаметр отверстия, в котором можно нарезать резьбу, — 35 мм;

6 — резцы с ромбическими пластинами с $\varphi = 95^\circ$ для растачивания сквозных отверстий и проточки заточек;

7 — резцы расточные с $\varphi = 92^\circ$, позволяющие растачивать отверстия диаметром от 22 мм и более;

8 — резцы проходные с $\varphi = 45^\circ$ и квадратными пластинами, левые для наружной обточки, проточки торцов деталей, проточки выточек, снятия фасок. Наибольшее применение находят при патронной обработке фланцевых деталей;

9 — резцы для проточки наружных прямых канавок шириной 1...6 мм и глубиной, равной ширине. Пластины специальной формы закрепляются с помощью прихватов. Разработаны резцы с использованием специальных двусторонних пластин для проточки внутренних прямых канавок и наружных угловых. Аналогичные конструкции могут быть применены для обработки канавок под стопорные кольца, радиусные канавки и др.;

10 — резцы контурные с пластиной трехгранной правильной формы с $\varphi = 93^\circ$, позволяющие протачивать цилиндрические и фасонные поверхности. Достоинства их заключаются в том, что в резцах используются три рабочие вершины по сравнению с двумя у резцов с параллелограммными пластинами. Однако при этом жесткость крепления пластин снижается;

11 — резцы контурные с пластиной трехгранной формы с $\varphi = 63^\circ$;

12 — резьбовые резцы для нарезания наружных резьб с шагом до 2 мм. Режущая прямоугольная пластина закрепляется на державке с помощью прихвата. Профиль вершины резца обеспечивается заточкой пластин под углом, равным углу профиля резьбы;

13 — резцы проходные упорные с трехгранной пластиной неправильной формы с $\varphi = 92...95^\circ$, которые позволяют протачивать ступенчатые поверхности, фаски, торцы движением от наружного диаметра к центру детали. Режущая пластина закрепляется клином или рычажным устройством.

Число инструментов, их назначение и последовательность обработки определяются характером основных и дополнительных зон, из которых образован контур, размерами и необходимостью обработки отверстий, а также числом рабочих позиций револьверной головки.

Для обработки наружных основных зон поверхности назначают *проходной* и *чистовой проходной (контурный)* резцы. Эти резцы устанавливаются перпендикулярно или параллельно оси вращения обрабатываемой заготовки.

Для обработки дополнительных зон необходимы резцы *прорезные наружные, прорезные торцевые, для угловых канавок, резьбовые, отрезные*.

Из инструментов различной конфигурации, позволяющих обрабатывать одинаковые зоны, выбирают тот, которым можно обработать большее разнообразие зон.

В токарном ГПМ комплект инструментов может включать кроме токарных резцов сверла, зенкеры, развертки, метчики, центровые сверла.

Обработку внутренних основных зон (зон отверстий), при отсутствии их в заготовке, начинают со сверления. Отверстия диаметром до 25 мм обрабатывают спиральным сверлом с углом при вершине 118° (рис. 9.3, а). Отверстия диаметрами 25, 30, 35, 40, 45, 50 мм обрабатывают двумя сверлами: с углом при вершине 118° и донным с углом при вершине 180° (рис. 9.3, б). Отверстия диаметром более 25 мм с углубленным донышком обрабатывают тремя инструментами: сверлом с углом при вершине 118° , донным сверлом с углом при вершине 180° , проходным расточным резцом с подрезанием торца выступающей части донышка (рис. 9.3, в). Отверстия диаметром более 46 мм с плоским донышком обрабатывают двумя инструментами: сверлом с углом при вершине 118°

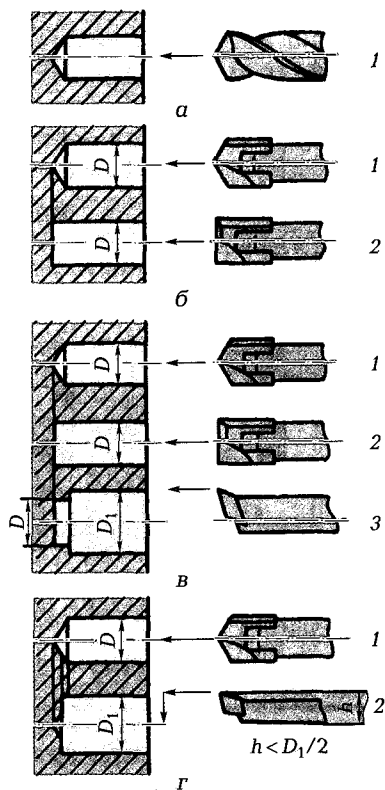


Рис. 9.3. Инструменты для обработки внутренних основных зон:

а — спиральное сверло с углом при вершине 118° (1); *б* — сверло с углом при вершине 118° (1) и донное сверло с углом при вершине 180° (2); *в* — сверло с углом при вершине 118° (1), донное сверло с углом при вершине 180° (2) и проходной расточной резец (3); *г* — сверло с углом при вершине 118° (1) и проходной расточной резец (2)

и проходным расточным резцом с подрезанием торца до места прохождения оси отверстия (рис. 9.3, *г*).

При выборе оптимального варианта последовательности переходов руководствуются требованиями повышения надежности обработки и сокращения времени вспомогательных перемещений. В первом переходе сверлят отверстия, если необходимо. Затем резцом подрезают торцы и обтачивают наружную поверхность, снимая неравномерный припуск, корку. Основной припуск снимают высокопроизводительными твердосплавными резцами. Чистовую обработку начинают с внутренних поверхностей для со-

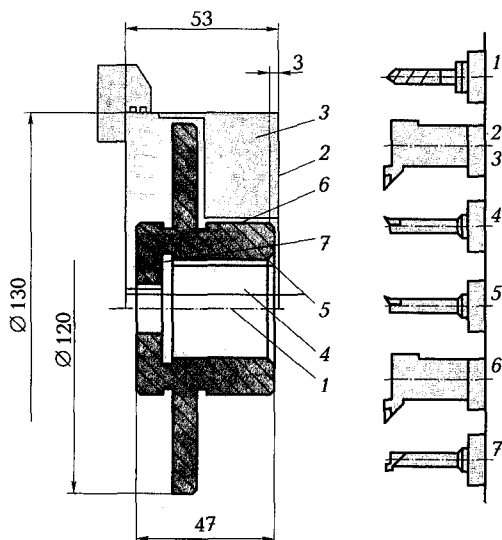


Рис. 9.4. Типовая последовательность обработки с назначенной совокупностью режущих инструментов:

1...7 — последовательность переходов и инструментов

кращения времени замены инструмента. Для сохранения непрерывного припуска сначала обрабатывают основные зоны, затем — дополнительные.

На рис. 9.4 показана типовая последовательность обработки детали на токарном станке с ЧПУ с назначенной совокупностью режущих инструментов.

Обработка на фрезерных многоцелевых станках. Основные и дополнительные зоны обрабатываются широкой номенклатурой фрез: торцевых, концевых, сферических, пазовых, грибковых, с осевым врезанием (рис. 9.5).

При необходимости обработки больших участков плоской поверхности рекомендуется использовать насадные торцевые фрезы со вставными ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 1695—80 «Фрезы цельные торцевые, насадные, дисковые трехсторонние и дисковые пазовые. Технические условия» или из твердого сплава по ГОСТ 16223—81 «Фрезы торцевые насадные со вставными ножами с твердосплавными пластинами для обработки легких сплавов. Конструкция и размеры». Обычно в пазах корпуса таких фрез запрессованы рифленые клиновидные ножи. Износ ножей

в радиальных направлениях компенсируется перестановкой ножей на соответствующее количество рифлений. После каждой перестановки фрезу шлифуют по диаметру и затачивают.

Для обработки плоскостей выбирают торцевые фрезы, обеспечивающие минимальное число проходов. При этом необходимо обеспечить производительную обработку одной фрезой возможно большего числа плоскостей, поэтому из подходящих торцевых фрез выбирают фрезы меньшего диаметра.

Сложные контуры, отверстия и пазы большой ширины (более 50 мм) рекомендуется фрезеровать концевыми фрезами, оснащен-

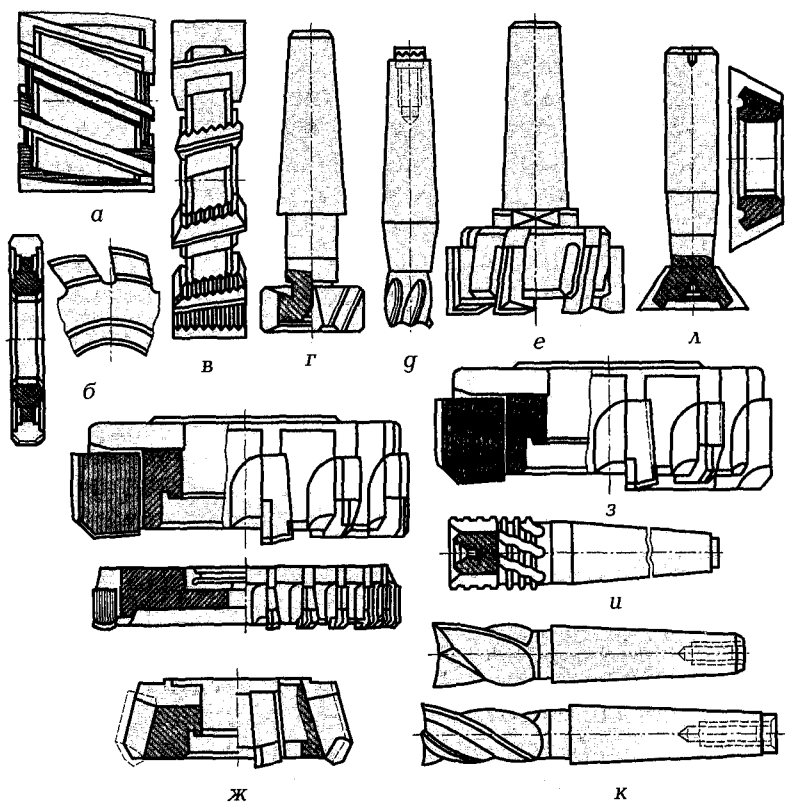


Рис. 9.5. Основные типы фрез:

а — цилиндрическая; б — дисковая; в и г — Т-образная; г — концевая; е — торцевая с хвостовиком; ж — торцевая насадная; з — торцевая ступенчатая; и — концевая обдирочная; к — шпоночная; л — угловая

ными твердосплавными пластинками, длина режущей части которых зависит от числа пластин на одном зубе. Для фрезерования пазов небольшой ширины могут быть использованы быстрорежущие и твердосплавные концевые и шпоночные фрезы стандартных размеров, дисковые и трехсторонние фрезы, набор дисковых фрез. Пазы, канавки следует обрабатывать концевыми, дисковыми, шпоночными фрезами, имеющими размер (диаметр или ширину), отличающийся от размера паза или канавки.

При обработке криволинейных глухих пазов в деталях типа рельсов могут быть применены трехсторонние цельные дисковые фрезы с прямыми или разнонаправленными зубьями по ГОСТ 28527—90 «Фрезы дисковые трехсторонние. Типы и размеры». Для обработки наружных канавок используют дисковые пазовые фрезы по ГОСТ 3964—96 «Фрезы дисковые пазовые. Основные размеры» или прорезные фрезы по ГОСТ 2679—2014 «Фрезы прорезные и отрезные. Технические условия».

Быстрорежущие концевые фрезы имеют диаметр 5...50 мм, твердосплавные 20...50 мм, трехсторонние фрезы для обработки пазов и канавок имеют диаметр до 160 мм и ширину 5...36 мм. Диаметр шпоночных фрез — 5...12 мм (из быстрорежущей стали) и 4...12 мм (из твердого сплава). Диаметр концевых, шпоночных и трехсторонних фрез принимают максимально возможным для обработки данного паза и контурной поверхности детали.

В зависимости от вида обрабатываемых поверхностей рекомендуется использовать следующие виды сверл:

- для центровки отверстий — сверла по ГОСТ 14952—75 «Сверла центровочные комбинированные. Технические условия»;
- сверла с цилиндрическим хвостовиком по ГОСТ 10902—77 «Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Средняя серия. Основные размеры»;
- сверла с коническим хвостовиком по ГОСТ 10903—77 «Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Основные размеры»;
- сверла длинной серии по ГОСТ 12121—77 «Сверла спиральные длинные с коническим хвостовиком. Основные размеры»;
- сверла удлиненные по ГОСТ 2092—77 «Сверла спиральные удлиненные с коническим хвостовиком. Основные размеры».

Наиболее часто применяются сверла с углом при вершине 118°. Выбор угла при вершине определяется обрабатываемым материалом. При сверлении высокопрочных и высоколегированных сталей существует опасность защемления сверла в отверстии при резко возрастающей силе трения о стенку отверстия. Для уменьшения трения увеличивают угол сверла при вершине до 130°. Ма-

лый угол при вершине, порядка 90° , применяется при сверлении твердых пластмасс. При сверлении глубоких отверстий для обеспечения минимального увода сверла также целесообразен угол при вершине 90° .

Угол наклона стружечных канавок должен обеспечивать надежный отвод стружки из отверстия. Для обработки алюминиевых сплавов целесообразно применять сверла с большим углом наклона винтовой канавки — 45° и более. Наоборот, для хрупких материалов (чугун) должны выбираться сверла с углом наклона стружечной канавки $10...15^\circ$.

Для увеличения диаметров после сверления рекомендуется применять зенкеры цельные или быстронасадные из быстрорежущей стали по ГОСТ 12489—71 «Зенкеры цельные. Конструкция и размеры» или с твердосплавными пластинами по ГОСТ 3231—71 «Зенкеры, оснащенные твердосплавными пластинами. Конструкция и размеры».

Для обработки отверстий диаметром до 10 мм применяются развертки с припаянной рабочей частью из твердого сплава по ГОСТ 16086—70 «Развертки машинные цельные с цилиндрическим хвостовиком из твердого сплава. Типы и основные размеры».

Для обработки отверстий диаметром до 32 мм применяются цилиндрические машинные развертки, с пластинами из твердого сплава по ГОСТ 16087—70 «Развертки машинные цельные с коническим хвостовиком из твердого сплава. Типы и основные размеры» и ГОСТ 28321—89 «Развертки машинные, оснащенные твердосплавными напаиваемыми пластинами. Типы, параметры и размеры».

Для обработки отверстий диаметром свыше 50 мм — машинные насадные развертки со вставными ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 883—80 «Развертки машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали. Типы и основные размеры» и твердого сплава по ГОСТ 11176—71 «Развертки сборные насадные с привернутыми ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава. Конструкция и размеры».

Угол заборной части разверток выбирается в зависимости от материала: 5° для хрупких материалов и 15° для вязких материалов.

Для чернового растачивания отверстий диаметром 80...250 мм следует применять расточные регулируемые головки с механическим креплением четырехгранных пластин из твердого сплава. Для черновой обработки отверстий диаметром 22...180 мм могут

быть рекомендованы черновые двухрезцовые расточные оправки с резами, оснащенными твердосплавными пластинами. Растачивание отверстий диаметром 10...30 мм следует выполнять расточными головками с радиальным настроечным перемещением резца.

На рис. 9.6 показана последовательность обработки по зонам при фрезеровании детали типа «корпус»:

- зона А — фрезерование верхней плоскости; фреза торцевая 1;
- зона Б — фрезерование верхнего уступа; фреза торцевая 2 со вставными ножами с прямым углом;
- зона В — фрезерование нижнего уступа; фреза торцевая 2;
- зона Г — фрезерование боковой поверхности; фреза концевая быстрорежущая 3;
- зона Д — фрезерование окна; фреза концевая с торцевыми зубьями 4;
- зона Е — фрезерование контурной выемки; фреза концевая 5 твердосплавная;
- зона Ж — фрезерование продольного пазы; фреза дисковая 6 пазовая с твердосплавными вставными ножами.

Этап 2. Выбор технологических параметров каждого вида инструмента (материал режущей части, углов заточки режущей

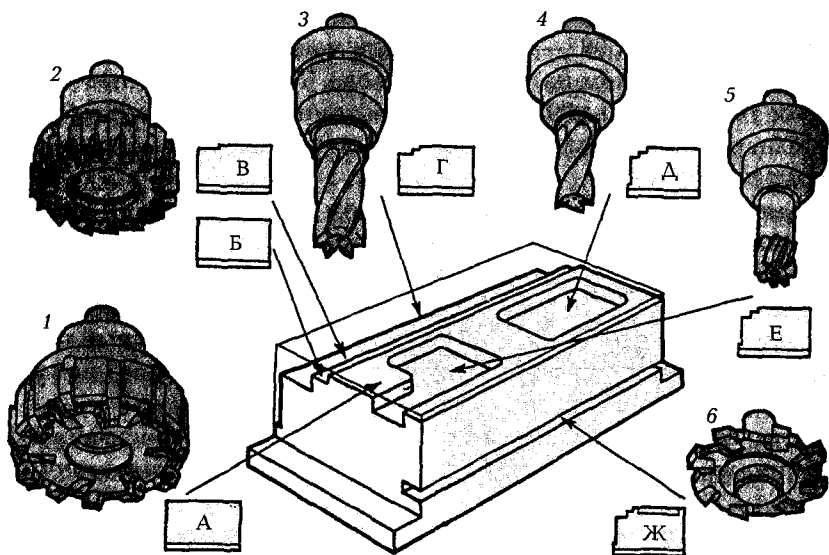


Рис. 9.6. Зоны обработки детали типа «корпус»:

1...6 — применяемый инструмент

кромки, количества зубьев). Основным критерием при выборе технологических параметров являются: жесткость, стойкость, точность и универсальность. Для назначения параметров инструментов необходимо знать основные требования, которым они должны удовлетворять при работе на станках с ЧПУ.

Требования, предъявляемые к резцам:

- максимальное содержание неперетачиваемых пластин, механически закрепляемых на корпусе инструмента, что обеспечивает постоянство его конструктивных и геометрических параметров в процессе резания;
- рациональные формы пластин, обеспечивающие универсальность инструмента, что позволяет обрабатывать одним резцом максимальное число поверхностей детали;
- возможность работы в прямом и перевернутом положениях;
- возможность применения в левом исполнении;
- повышенная точность, особенно резцовых вставок, по сравнению с универсальным инструментом для станков с ручным управлением;
- удовлетворительное формирование стружки и отвод ее по канавкам, образованным в процессе прессования и спекания твердого сплава или выточенным алмазным крутом на передних поверхностях пластин.

Выбор и назначение марки инструментального материала для токарной обработки во многом определяют надежность и производительность операции точения. Наиболее применяемыми инструментальными материалами при обработке резанием являются твердые сплавы. В меньших объемах, но эффективно применяют сверхтвердые материалы (СТМ) и керамику, безвольфрамовые твердые сплавы. Широко используют инструменты из быстрорежущих сталей.

Твердые сплавы в соответствии с ГОСТ 3882—74 «Сплавы твердые спеченные. Марки» в зависимости от материала заготовки и типа снимаемой стружки подразделяют на три основные группы резания: Р, М и К. Основные группы резания, в свою очередь, делят на группы применения (табл. 9.1).

Группы применения обозначают буквой основной группы резания и числовым индексом, который характеризует изменение вида обработки, режима резания и свойств твердого сплава. Чем выше число индекса в обозначении группы применения, тем ниже износостойкость твердого сплава и допускаемая скорость резания, но тем выше прочность (ударная вязкость) и допускаемые подача и глубина резания.

Таблица 9.1. Области применения спеченных твердых сплавов

Группа применения			Марка твердого сплава								
Обозначение	Материал заготовки и тип снимаемой стружки	Вид обработки и условия применения	Без покрытия	С износостойким покрытием							
P01	Сталь, стальное литье, дающие сливную стружку	Чистовое точение, растачивание, развертывание. Высокая точность обработки и высокое качество поверхности изделия	T30K4, MC101, TH20	MC2215 MC2210							
P10		Отсутствие вибрации во время работы. Точение, точение по копиру, нарезание резьбы, фрезерование, рассверливание, растачивание	T15K6, MC111, TH20, KHT16								
P20	Сталь, стальное литье, ковкий чугун и цветные металлы, дающие сливную стружку	Точение, точение по копиру, фрезерование, чистовое строгание	T14K8, MC121, ЛЦК20, KHT16						MC1465		ВП1325 ВП1255
P25	Сталь нелегированная, низко- и среднелегированная	Фрезерование, в том числе и фрезерование глубоких пазов, другие	TT20K9, MC137, ТВ4					MC1460			

		виды обработки, при которых предъявляются повышенные требования к сопротивлению сплава тепловым и механическим нагрузкам					
P30	Сталь, стальное литье, ковкий чугун, дающие сливную стружку	Черновое точение, фрезерование, строгание. Для работ в неблагоприятных условиях	T5K10, TT10K8-Б, MC131, ТВ4				
P40	Сталь, стальное литье с включениями песка и раковинами, дающие сливную стружку и стружку надлома	Черновое точение, строгание. Для работ в особо неблагоприятных условиях*	TT7K12, MC146				
P50	Сталь, стальное литье со средней или низкой прочностью, с включениями песка и раковинами, дающие сливную стружку и стружку надлома	Точение, строгание, долбление при особо высоких требованиях к прочности твердого сплава в связи с неблагоприятными условиями резания*. Для инструмента сложной формы	TT7K12				

Группа применения			Марка твердого сплава						
Обозначение	Материал заготовки и тип снимаемой стружки	Вид обработки и условия применения	Без покрытия	С износостойким покрытием					
M10	Сталь, стальное литье, высоколегированные стали, в том числе аустенитные, жаропрочные труднообрабатываемые стали и сплавы, серый, ковкий и легированный чугуны, дающие сливную стружку и стружку надлома	Точение и развертывание Точение, фрезерование, развертывание и сверление	ВК6-ОМ ВК6-М, ТТ8К6, МС211	МС2210					
M20	Стальное литье, аустенитные стали, марганцовистая сталь, жаропрочные труднообрабатываемые стали и сплавы, серый и ковкий чугуны, дающие сливную стружку и стружку надлома	Точение и фрезерование	ВК6-ВС, ТТ10К8-Б, МС221						
M30	Стальное литье, аустенитные стали, жаропрочные труднообра-	Точение, фрезерование, строгание, усло-	ВК10-ХОМ,						

	батьваемые стали и сплавы, серые и ковкие чугуны, дающие сливную стружку и стружку надлома	вия резания неблагоприятные*	ВК8, ВРК15					
M40	Низкоуглеродистая сталь с низкой прочностью, автоматная сталь и другие металлы, дающие сливную стружку и стружку надлома	Точение, фасонное точение, отрезка преимущественно на станках-автоматах	ТТ7К12, МС241					
K01	Серый чугун преимущественно высокой твердости, алюминиевые сплавы с большим содержанием кремния. Закаленная сталь, абразивные пластмассы, керамика, стекло, дающие стружку надлома	Чистовое точение, растачивание, фрезерование, шабрение	ВК3, МС301, ВК6-ОМ					
K05	Легированные и отбеленные чугуны, закаленные стали, коррозионно-стойкие высокопрочные и жаропрочные стали и сплавы, дающие стружку надлома	Чистовое и получистовое точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы	ВК6-М, ВК6-ОМ, МС306, ТТ8К6					

Группа применения			Марка твердого сплава				
Обозначение	Материал заготовки и тип снимаемой стружки	Вид обработки и условия применения	Без покрытия	С износостойким покрытием			
K10	Серый и ковкий чугуны преимущественно повышенной твердости, закаленная сталь, алюминиевые и медные сплавы, пластмассы, стекло, керамика, дающие стружку надлома	Точение, растачивание, фрезерование, сверление, шабрение	ТТ8К6, МС312, МС315, ВК6-М, МС313, МС318	МС3210	МС3215	ВП3115	
K20	Серый чугун, цветные металлы, абразивная прессованная древесина, пластмассы, дающие стружку надлома	Точение, фрезерование, строгание, сверление, растачивание	ВК4, ВК6, ВК6-ВС, МС321				
K30	Серый чугун низкой твердости и прочности, сталь низкой прочности, древесина, цветные металлы, пластмасса, плотная древесина, дающие стружку надлома	Точение, фрезерование, строгание, сверление, работа в неблагоприятных условиях*, Допустимы большие передние углы заточки инструмента	ВК8, МС321				ВП3325

K40	Цветные металлы, древесина, пластмассы, дающие стружку надлома	Точение, фрезерование, строгание. Допустимы большие передние углы заточки инструмента	ВК8, МС347				
-----	--	---	------------	--	--	--	--

* Неблагоприятными условиями работы следует считать работу с переменной глубиной резания, прерывистой подачей, ударами, вибрацией, с наличием литейной корки и абразивных включений в материале заготовки.

Широкое практическое применение нашли многогранные пластины с износостойкими покрытиями из карбидов, нитридов и карбонитридов титана. Износостойкие покрытия наносят на поверхность изделий, изготовленных из твердых сплавов, в основном подгрупп Р40 (ТТ7К12), Р30 (Т5К100) и К20 (ВК6, ВК8). Пластины с износостойкими покрытиями обладают стойкостью более высокой (в среднем в 2...3 раза), чем обычные, скорость резания повышается на 25...30 %.

Пластины с покрытиями эффективны для большинства видов обработки резанием заготовок из конструкционных и низколегированных сталей и чугунов.

Из широкой гаммы обрабатываемых материалов необходимо выбирать рациональную марку твердого сплава для конкретных условий обработки на станках с ЧПУ, ГПМ, РТК, учитывая условия обработки и свойства выпускаемых твердых сплавов. Выбор зависит от материала заготовки, состояния заготовки, вида обработки и характера операции, применяемого оборудования, жесткости технологической системы. Перечисленные факторы определяют механизм изнашивания твердосплавного инструмента, а следовательно, период стойкости.

Рекомендации по выбору марок твердых сплавов при обработке заготовок из различных металлов и сплавов представлены в табл. 9.2...9.4.

Режущий инструмент с механическим креплением неперетачиваемых пластин из керамики ВО-13, ВО-18 и ВОК-71 обладает повышенными эксплуатационными свойствами, позволяющими увеличить производительность, повысить качество обработки изделий и снизить себестоимость операции в результате увеличения скорости резания в 2...3 раза с одновременным повышением стойкости в среднем в 5 раз по сравнению со сплавами ВКЗ-М, Т30К4 и другими износостойкими сплавами.

Керамику рекомендуется применять при чистовой и получистовой обработке резанием заготовок из закаленных сталей, серых и ковких чугунов, цветных металлов, графита и других материалов взамен вольфрамосодержащих твердых сплавов. Рекомендации по применению СТМ и керамики на станках с ЧПУ приведены в [6].

Требования, предъявляемые к фрезам:

- обеспечение усиленного выхода стружки. Это достигается повышением угла наклона спирали. Например, при обработке алюминиевых сплавов рекомендуются специальные двух- или трехзубые фрезы с углом наклона 35...50°. Рекомендуются так-

Таблица 9.2. Выбор марок твердых сплавов для точения заготовок из сталей

Вид обработки точением	Параметры обработки	Стали углеродистые качественные, конструкторские цинковые	Стали хромникелевые, хромарганцевые, хром-никельмолибденовые, шарикоподшипниковые	Стали инструментальные легированные, быстрорежущие, хромникельвольфрамовые	Стали высокоуглеродистые быстре	Стали коррозионно-стойкие, ферритного и мартенситного класса	Стали коррозионно-стойкие, кислотоустойчиво-мартенситного класса	Закаленные стали
Точение: чистовое	$t = 0,2 \dots 2$ мм; $S = 0,05 \dots 0,3$ мм/об	В013, ТН20	В013 ТН20 Т30К4	В013 ТН20 Т30К4	В0К-71 ВК6-0М ВК3-М	Т15К6 ВК3-М ВК6-0М	ВК6-0М ВК6-М	В-3, В0К-71 Т30К4
	$t = 2 \dots 4$ мм; $S = 0,1 \dots 0,5$ мм/об	В013, ТН20 КНТ16 Т15К6 МС2210 МС2215 ВП1325	КНТ15 АЛК20 Т15К6 МС2210 МС2215 Т14К8 В П1255 ВП1325	КНТ16 Т15К6 МС2210 ВП1255 ВП1325	ВК6-М ВК10- XOM	ВК6-М ВК10- XOM	ВК6-М ВК10- XOM	В-3 В0К-71 Т15К6 ВК6-0М
черновое	$t = 4 \dots 10$ мм; $S = 0,5 \dots 1,5$ мм/об	Т5К10 Т14К8 МС1 465 Т5К8	Т5К10 МС1 460 МС1 465 ВП1255	Т5К10 МС1 460 ТТ10К8-Б ВП1255	ВК10- XOM ВКЮ-0М ТТ10К8-Б	ВКЮ-0М ВК10- XOM ТТ10К8-Б	ВК8 ВК10-0М	

Окончание табл. 9.2

Вид обработки точением	Параметры обработки	Стали углеродистые качественные, конструкционные	Стали хромникелевые, хроммарганцевые, никельмолибденовые, шарикоподшипниковые	Стали инструментальные легированные, быстрорежущие, хромникелевые	Стали высокомарганцовистые	Стали коррозийно-стойкие, ферритного и мартенситного класса	Стали коррозийно-стойкие, кислотостойкие аустенитного и аустенитно-мартенситного класса	Закаленные стали
черное	$t = 10 \dots 30$ мм; $S = 1,0 \dots 2,5$ мм/об	ВП1325 ТВ4 МС1 46 ТТ7К12 Т4К8 МС1 460 МС1 465	ВП1325 МС131 МС1 46 ТТ7К12 МС1 460 МС1 465	ВП1325 МС1 46 ТТ7К12 ВК10-ОМ	ВКЮ-ОМ ВК10-ХОМ ВК15-ХОМ	ВКЮ-ОМ ВК10-ХОМ ВК8	ВК10-ОМ ВК10-ХОМ ВК8	
Нарезание резьбы	—	Т15К6 Т14К8	Т15К6 Т14К8	ВК3-М ВК6-ОМ	ВК6-ОМ ВКЮ-ХОМ	ВК6-ОМ ВКЮ-ХОМ	ВК3-М, ВК6-ОМ ВК10-ХОМ	
Отрезка и прорезка канавок	—	Т14К8 Т15К6	Т14К8 Т15К6	Т14К8 Т5К10	ВК6-М ВК10-ОМ ВК10-ХОМ	ВК10-ХОМ ВК10-ОМ	ВК6-М ВК10-ОМ ВК6, ВК8 ВК10-ХОМ	

Таблица 9.3. Выбор инструментального материала для обработки резанием заготовок из чугуна

Вид обработки точением	Параметры обработки	Серые чугуны (НВ 240) СЧ 25, СЧ 30, СЧ 40	Чугуны ковкие, отбеленные (НВ 400 — 570) ВЧ 45, КЧ 35, КЧ 45
Чистовое	$t = 0,3 \dots 2,0$ мм; $S = 0,05 \dots 0,2$ мм/об	В-3, ВОК-71 ОНТ20, ВШ75, ВК-3, ВК3-М, ВК6-ОМ, ТН20	В-3, ВОК-71, ВК3-М, ВК6-ОМ
Получистовое	$t = 2 \dots 4$ мм; $S = 0,2 \dots 0,5$ мм/об	В-3, ВОК-71, ОНТ20, ВК6-М, ВК6-ОМ, ТТ8К6, ВК6ВС, МС3210, МС3215, ВП3115	В-3, ВОК-71, ВК6-ОМ, ТТ8К6, МС312, МС321 МС3210, МС3215
Черновое	$t = 4 \dots 10$ мм; $S = 0,5 \dots 1,5$ мм/об	ВК8, ВК6, ВК6ВС, ВП1255, ВП3325	ВК8, ВК10-ОМ, МС3325
Отрезка и прорезка канавок	—	ВК6-М, ТТ8К6, МС312, МС321	ВК6-М, МС312
Нарезание резьбы	—	В-3, ВК6-М, ВК6-ОМ	ВК3-М, ВК6-М, ВК6-ОМ

же полирование стружечных канавок и алмазная доводка режущих кромок (рис. 9.7, а);

- возможность изменять направление осевой составляющей усилия резания таким образом, чтобы она прижимала деталь к столу станка. Это достигается применением праворежущих фрез с левой спиралью и леворежущих с правой спиралью, что способствует улучшению условий обработки тонких плоских деталей (рис. 9.7, б);
- снижение вибрации инструмента несимметричным расположением зубьев фрезы (рис. 9.7, в);
- заточка торца фрезы должна позволять вертикальное врезание в металл. Такая заточка может быть выполнена на двух- и четырехзубых фрезах. В последнем случае два противоположных зуба стачиваются под углом (рис. 9.7, г, з);
- повышенная жесткость режущей части инструмента, что достигается повышением диаметра сечения сердечника (т.е. пони-

Таблица 9.4. Выбор марок твердых сплавов для обработки резанием заготовок из цветных металлов, жаропрочных и титановых сплавов

Вид обработки точением	Параметры обработки	Жаростойкие деформируе- мые сплавы на железоникеле- вой и никеле- вой основе	Окалино- стойкие и жаропроч- ные легчай- ные сплавы на никелевой основе	Сплавы на титановой основе	Медь, латунь и другие спла- вы на основе алюминия	Тугоплавкие сплавы на основе вольфрама, молибдена, ниобия
Чистовое	$t = 0,2 \dots 2$ мм $S = 0,05 \dots 0,3$ мм/об	ВК6-ОМ ВК6-М	ВК6-ОМ ВК6-М	ВК6-ОМ ВК6-М ВК10-ХОМ	ТН20 КНТ16 ВК6-ОМ ВК6-М ВК3 ВК3-М	ВК6-ОМ ВК3-М ВК10-ХОМ
Получистовое	$t = 2 \dots 4$ мм $S = 0,2 \dots 0,5$ мм/об	ВК6-М ТТ10К8-Б ВК10-ХОМ	ВК6-М ВК10-ХОМ	ВК6-М, ВК6 ВК10-ОМ ВК10-ХОМ	КНТ16 ВК6-ОМ ВК6-М, ВК6	ВК6-М ВК10-ХОМ ВК10-ОМ
Черновое	$t = 6 \dots 12$ мм $S = 0,4 \dots 1,0$ мм/об	ВК6, ВК8 ВК10-ХОМ	ВК8 ВК10-ХОМ	ВК8 ВК10-ХОМ	ВК6, ВК8	ВК10-ХОМ ВК10-ОМ
Отрезка, про- резка канавок	—	ВК8 ВК10-ХОМ	ВК8 ВК10-ХОМ	ВК8 ВК10-ХОМ	ВК6-М, ВК6 ВК8	ВКЮ-ОМ ВК10-ХОМ
Нарезание резьбы	—	ВК6-ОМ ВК6-М ВК10-ХОМ	ВК6-М ВК6-ХОМ	ВК6-ОМ ВК6-М ВК6-ХОМ	ВК6-М, ВК6	ВК6-М ВК10-ОМ ВК10-ХОМ

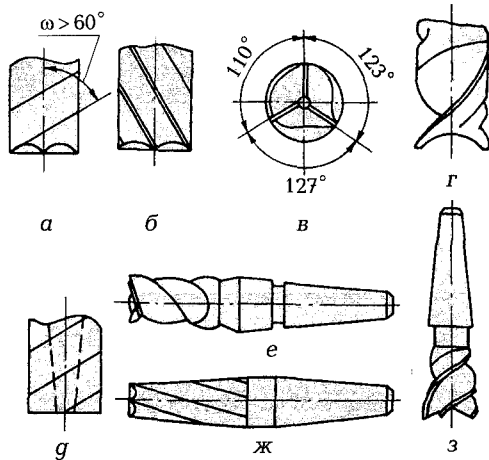


Рис. 9.7. Особенности концевых фрез, применяемых на станках с ЧПУ:

а — двух- или трехзубые; б — праворежущие с левой спиралью и леворежущие с правой спиралью; в — с несимметричным расположением зубьев; г — двухзубая с заточкой для врезания в металл; д — с понижением глубины канавки; е — с усиленным конусом; ж — с канавками переменной глубины; з — четырехзубая с заточкой для врезания в металл

жением глубины канавки), а также применением конического сердечника (канавки переменной глубины) (рис. 9.7, г, ж);

- возможность увеличения вылета инструмента в том случае, когда при обработке не требуется слишком длинной режущей части, однако выступающие элементы детали не позволяют опустить пиноль на требуемый уровень. В этом случае для сохранения жесткости инструмента необходимо предусматривать усилительный конус (рис. 9.7, е).

Этап 3. Расчет геометрических параметров выбранного инструмента, отражающих специфику обработки на станке с ЧПУ и определяющих содержание операции. Данный этап особенно характерен для фрезерной обработки. В этом случае рассчитываются следующие параметры фрез (рис. 9.8).

1. Диаметр концевой фрезы D для чистовой обработки контура выбирается по номинальному размеру наименьшего типового радиуса направляющей вогнутой поверхности (конструктивного радиуса в плане $R_{тип}$) без учета допуска на изготовление.

Выбранный диаметр D проверяется:

- по ограничениям D_{max} и D_{min} , налагаемым станком;

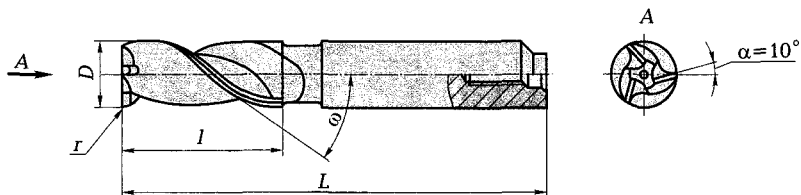


Рис. 9.8. Геометрические параметры концевой фрезы

- по условию жесткости инструмента $H \leq 2,5D$, где H — максимальная высота стенки данного контура.

В зависимости от обрабатываемого материала:

- для деталей легких сплавов — $R \geq (1/5 \dots 1/6) H$;
- для деталей из конструкционной стали — $R \geq 1/3 H$;
- для деталей из титановых, жаропрочных и нержавеющей сталей — $R \geq 1/2 H$.

В случае невыполнения условий жесткости принимают номинальный размер ближайшего типового диаметра D , удовлетворяющего условиям жесткости.

2. Радиус заточки r для чистовой обработки определяется наименьшим размером радиуса галтели $r_{\text{тип}}$, задаваемого конструкцией детали (радиуса сопряжения стенки с полкой на детали).

3. Длина режущей части инструмента l рассчитывается следующим образом:

$l = H + (5 \dots 7)$ мм — для обработки внутреннего глухого контура;

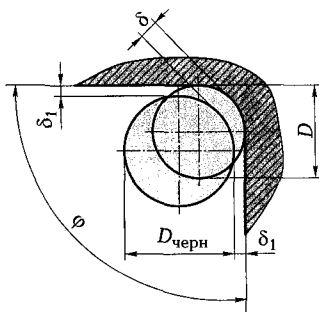
$l = H + r + 5$ мм — для наружного и сквозного внутреннего контуров.

4. Диаметр фрезы $D_{\text{черн}}$ для черновой обработки внутреннего контура ограничивается условием доступа инструмента во внутренние острые углы контура и рассчитывается по формуле

$$D_{\text{черн}} = \frac{2 \left(\delta \sin \frac{\varphi}{2} - \delta_1 \right)}{1 - \sin \frac{\varphi}{2}} + D,$$

где δ — максимальный припуск при обработке внутреннего угла должен быть не более $(0,2 \dots 0,3)D$; δ_1 — припуск для чистовой обработки контура, мм; φ — наименьший угол сопряжения сторон в данном контуре, град.; D — диаметр окружности, сопрягающей стороны контура, равный диаметру фрезы при чистовой обработке, мм (рис. 9.9).

Рис. 9.9. Расчет диаметра фрез $D_{\text{черн}}$ для черновой обработки



5. При обработке колодца диаметр фрезы D не должен быть более $3/4 D_0$ (максимального диаметра окружности, вписанной во внутренний контур колодца (рис. 9.10, а)).

При этом в случае необходимости врезания по наклонной линии должно быть обеспечено перемещение фрезы без зарезов колодца на длине не менее трех диаметров фрезы.

6. Диаметр торца фрезы для торцовки ребер (рис. 9.10, б) определяется следующим образом:

$$D_{\text{торц}} = (5 \dots 10)b,$$

где b — окончательная толщина стенки.

Радиус r заточки торца фрезы выбирается равным $r_{\text{тип}}$ на ребрах; длина l режущей части выбирается исходя из высоты ребра h .

Радиус заточки фрезы для черновой обработки $r_{\text{черн}}$ (рис. 9.11) рассчитывается исходя из условий обработки по следующим правилам:

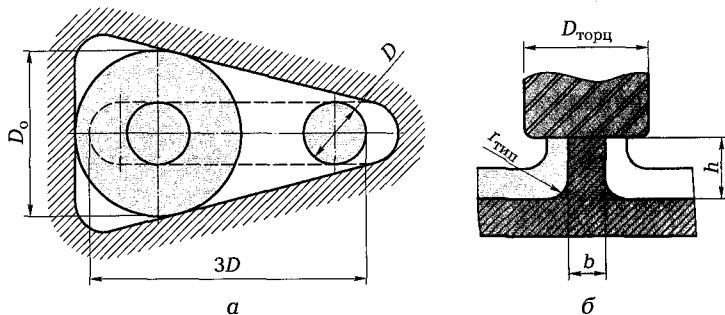


Рис. 9.10. Расчет диаметра фрезы D при обработке колодца (а) и диаметра торца фрезы $D_{\text{торц}}$ при торцовке ребер (б)

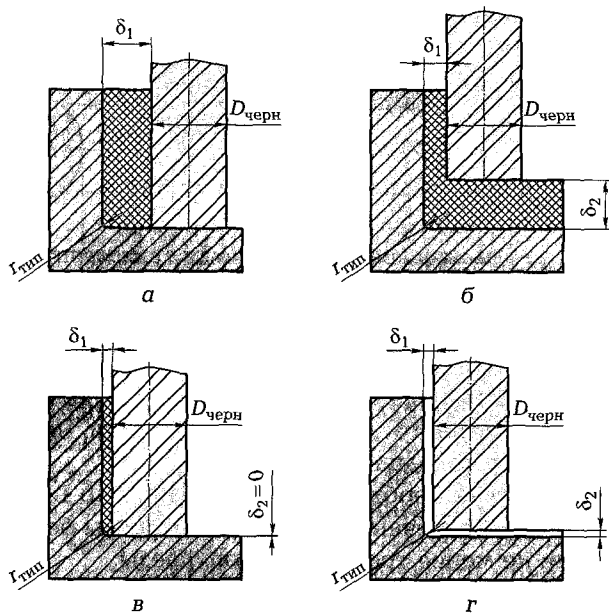


Рис. 9.11. Расчет радиуса заточки фрезы гчерн для проведения черновой обработки:

a — $r_{тип}$ меньше δ_1 ; *б* — $r_{тип}$ меньше δ_1 и δ_2 ; *в* — $r_{тип}$ больше δ_1 , а $\delta_2 = 0$; *г* — $r_{тип}$ больше δ_1 и δ_2

1) если величина радиуса сопряжения $r_{тип}$ стенки с полкой, выполняемого при чистовой обработке, меньше величин припусков по стенке δ_1 или полке δ_2 (см. рис. 9.11, *a*, *б*), то радиус заточки торца принимается равным 0,5... 1,0 мм;

2) если величина радиуса сопряжения стенки с полкой $r_{тип}$ больше величины припуска по стенке δ_1 , а припуск по полке $\delta_2 = 0$ (см. рис. 9.11, *в*), то

$$r_{черн.фр} = r_{тип} - \delta + 0,1D_{черн};$$

3) если величины припусков по стенке и полке меньше величин радиуса сопряжения $r_{тип}$ (см. рис. 9.11, *г*), то радиус заточки торца:

$$r_{черн.фр} = 0,5D - (\delta_1 + \delta_2 + \sqrt{2\delta_1\delta_2}) + 0,1D_{черн}.$$

Этап 4. **Определение конструктивных особенностей специальных режущих инструментов.** Выбор специального инструмента рассмотрен в [25].

Режущие инструменты закрепляются в шпинделе или на суппорте станка с помощью разнообразных вспомогательных инструментов: оправок, втулок, патронов, держателей.

К вспомогательному инструменту предъявляют следующие *требования*:

- его номенклатура и стоимость должны быть экономически целесообразными;
- при установке и креплении режущего инструмента должны обеспечиваться требуемая точность, жесткость и виброустойчивость с учетом интенсивных режимов работы;
- должна быть предусмотрена возможность (в необходимых случаях) регулирования положения режущего инструмента;
- обслуживание должно быть удобным (при необходимости быстросменность);
- изготовление и конструкция должны быть простыми;
- масса вспомогательного инструмента не должна превышать определенную величину для исключения трудностей при смене режущего инструмента;
- посадочные места оправок (хвостовики) и резцедержателей следует выполнять с высокой точностью для обеспечения идентичности их положения при установке и креплении в одном и том же шпинделе или на одном и том же суппорте станка, а также на приборе настройки режущих инструментов.

Конструкцию вспомогательного инструмента определяют его основные элементы: поверхности, предназначенные для его крепления на рабочих органах станка; поверхности, предназначенные для крепления на нем режущих инструментов.

Устройства, осуществляющие крепление вспомогательного инструмента (оправок и держателей) на станке, определяют конструкцию хвостовика (у оправок) и базовых поверхностей (у держателей), которые унифицированы для применения на разных станках.

Для установки и регулирования положения режущих инструментов в оправках применяют различные по конструкции переходные втулки (адаптеры) (рис. 9.12).

На станках с ЧПУ целесообразно применять инструментальные блоки, состоящие из режущего и вспомогательного инструмента (собранные инструментальные оправки и держатели). Собранные инструментальные оправки и держатели в процессе настройки

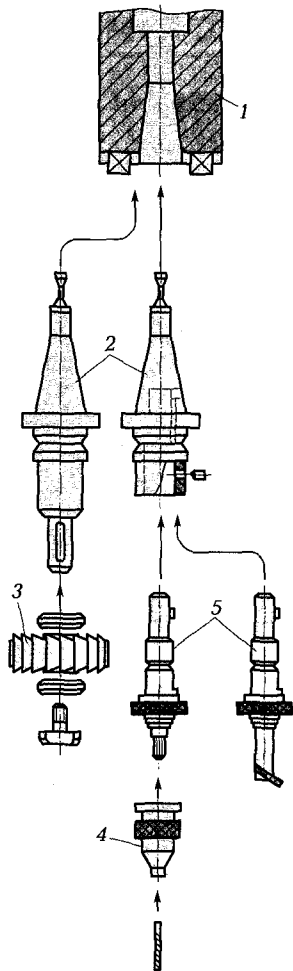


Рис. 9.12. Схема построения инструментального комплекта для многоцелевых станков:

1 — шпиндель; 2 — оправки; 3 — фреза; 4 — патрон для крепления сверла; 5 — переходные втулки

станка предварительно измеряют и в процессе работы станка они с помощью автооператора автоматически или вручную устанавливаются на станке в рабочее положение и закрепляются (см. рис. 4.10).

На производстве приняты *две системы инструментальных блоков*:

- 1) для станков токарной группы, где инструмент не вращается;
- 2) для станков сверлильных, фрезерных, расточных и многоцелевых станков, т. е. для вращающегося инструмента.

У токарных станков с ЧПУ основными элементами инструментальных блоков являются режущий инструмент (резец, сверло, развертка и т. д.) и резцедержатель, который закрепляется в револьверной головке станка.

Для сверлильных, фрезерных, расточных и многоцелевых станков с ЧПУ основные элементы инструментальных блоков — режущий инструмент (сверло, фреза, развертка и др.) и оправка с коническим хвостовиком конусностью 7:24, закрепляемая в конусном отверстии шпинделя станка. Конические хвостовики выполняют с конусами 30, 40, 45 или 50.

Для закрепления режущего инструмента на фрезерных и многоцелевых станках применяют оправки, размеры которых регламентированы ГОСТ 25827—2014 «Хвостовики инструментов с конусом 7:24 для ручной и автоматической смены инструмента. Типы А, AD, AF, U, UD, UF, J, JD и JF. Размеры и обозначение».

Однако при реализации высокоскоростной обработки на станках с ЧПУ, которая в настоящее время получает все большее развитие, требуется значительное увеличение частот вращения шпин-

деля в станках с ЧПУ. Было установлено, что широко применяющиеся на многоцелевых станках оправки с коническим хвостовиком (конус 7:24) имеют слишком большую массу. При высоких частотах вращения шпинделя это приводит к появлению осевой составляющей центробежной силы, сопоставимой с силой закрепления оправки в шпинделе. Так как эти силы направлены в противоположные стороны, то может произойти раскрепление оправки, нарушение базирования ее хвостовика в шпинделе станка и, следовательно, снижение жесткости и точности этого крепления.

Фирмой ОТТ-ЯКОВ (ФРГ) были разработаны новые полые оправки с укороченным конусным хвостовиком HSK. В нашей стране вышел ГОСТ Р ИСО 12164-2—2013 «Крепление инструментов с полым коническим хвостовиком (HSK) типов А и С. Присоединительные размеры», регламентирующий крепление оправок с полым коническим хвостовиком HSK типа А.

Вспомогательный инструмент для станков токарной группы. Вспомогательный инструмент токарных станков должен обеспечивать крепление резцов, сверл, зенкеров, разверток, метчиков и плашек и позволять выполнять все технологические операции, предусмотренные технической характеристикой станка.

Современные токарные станки с ЧПУ в большинстве случаев имеют револьверную головку (одну, две или три), в 6, 8, 12 и 16-й позициях которой устанавливают различные режущие инструменты. Их установку осуществляют также с применением вспомогательного инструмента (резцедержателей). В настоящее время для токарных станков с ЧПУ разработаны две подсистемы вспомогательного инструмента: с цилиндрическим хвостовиком и базирующей призмой (см. [5, 8]).

Набор унифицированного вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком показан на рис. 9.13. Резцедержатели 1...6 позволяют применять резцы с различными размерами сечения державок. Для обработки наружных поверхностей можно использовать резцедержатели 1, 4, 5, 6. Резцедержатели 2 и 3 могут быть использованы при обработке внутренних поверхностей, выточек, расточек и др. [6, 10].

Контурное наружное точение рекомендуется производить инструментом, закрепленным в резцедержателе 5 с открытым пазом. Резцедержатель 4 с перпендикулярным к оси хвостовика открытым пазом предназначен для закрепления отрезных резцов. Резцедержатели имеют левое и правое исполнение (кроме 4), их применяют в зависимости от расположения револьверной головки и направления вращения шпинделя (правое и левое). Во всех рас-

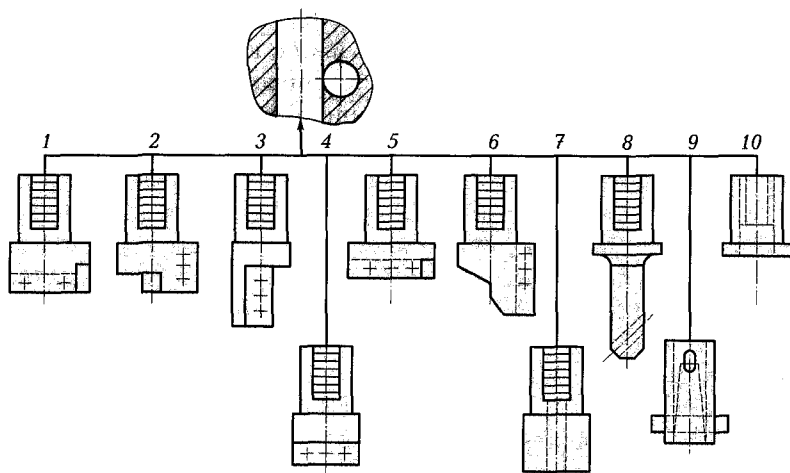


Рис. 9.13. Набор вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком для токарных станков:

1...6 — резцедержатели; 7, 9 и 10 — втулки; 8 — расточные оправки

смотренных резцедержателях СОЖ подводится от револьверной головки к вершине резца. Вместе с тем у них отсутствуют какие-либо выступающие элементы (винты или трубки), на которые может извлекаться стружка.

Переходная втулка 10 позволяет закреплять режущий инструмент или переходные элементы круглого сечения. Для крепления режущего инструмента с конусом Морзе рекомендуются переходные жесткие втулки 9. Растачивать отверстия в деталях можно либо резцами, закрепленными во втулках 7, либо с помощью расточных оправок 8.

На цилиндрические присоединительные поверхности инструмента и станков разработан ГОСТ 24900—81 «Хвостовики державок цилиндрические для токарных станков с программным управлением. Основные размеры». Типовой резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком и с перпендикулярным к оси хвостовика открытым пазом под резцы различных типов показан на рис. 9.14. Для установки резца на высоте центров служит подкладка 2. Крепление резца осуществляется с помощью винтов и прижимной планки 3. Подача СОЖ в зону резания осуществляется через канал в корпусе 1, образованный пересекающимися отверстиями и заканчивающийся шариком 4, позволяющим регулировать направление подачи СОЖ.

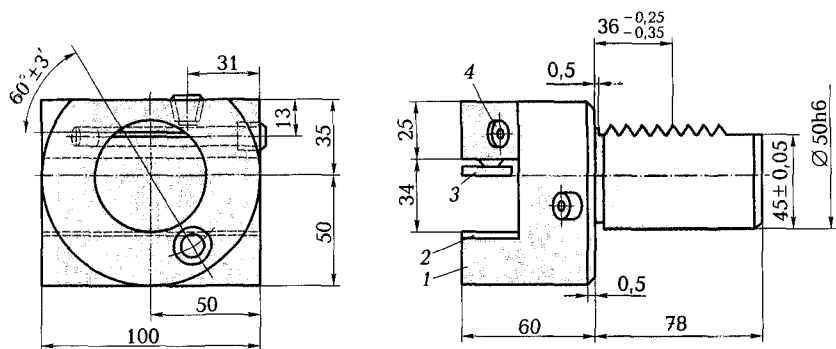


Рис. 9.14. Резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком:

1 — корпус; 2 — подкладка; 3 — прижимная планка; 4 — шарик

Для многоцелевых токарных станков с ЧПУ разрабатывают комплекты специального вспомогательного инструмента. В состав комплектов входят: блоки для закрепления резцов для наружной токарной обработки; блоки для закрепления расточных резцов и сверл с цилиндрическим хвостовиком для обработки отверстий, соосных со шпинделем; головки прямые и угловые для вращающегося инструмента, в том числе с цанговым патроном для закрепления сверл и фрез с цилиндрическими хвостовиками, с конусом Морзе для закрепления инструмента с коническим хвостовиком, с метчиковым патроном для нарезания резьбы.

Для закрепления расточного инструмента и сверл со сменными многогранными пластинами (СМП) разработаны блоки с центральным цилиндрическим отверстием диаметром 32 мм и переходными втулками диаметрами 32/25 и 32/20 (рис. 9.15). В комплект блока входят две сменные втулки 3 и винты 2, которые обеспечивают надежное крепление сверл с СМП и расточных резцов с хвостовиком любого из указанных диаметров.

СОЖ подается по каналам в корпусе 1 через отверстия в капроновых шариках 4. Направление струи СОЖ регулируется с помощью шариков влево или вправо в зависимости от направления кромки резца. В этом случае отверстие для подвода СОЖ в корпусе для сверла с СМП закрыто корпусом резца. При креплении сверла шарики поворачиваются на 90°, перекрывая в корпусе отверстие, и СОЖ подается по каналам через отверстие в корпусе блока во внутренний канал сверла.

В связи со значительными трудностями смены держателей с инструментом, установленным в револьверной головке токарно-

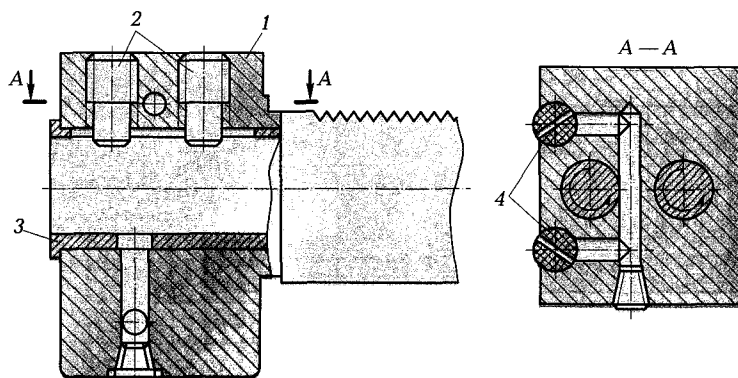


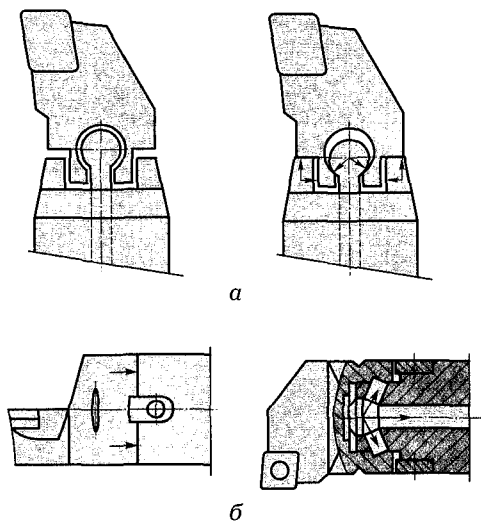
Рис. 9.15. Блок с центральным цилиндрическим отверстием:
 1 — корпус; 2 — винты; 3 — втулки; 4 — капроновые шарики

го станка, в настоящее время применяют держатели с быстрозменными режцовыми головками (рис. 9.16).

При таком конструктивном исполнении, когда сами держатели остаются в револьверной головке, а меняются только базлируемые в них режцовые головки (при износе инструмента или при переходе на обработку других заготовок), упрощаются смена и настройка инструментов в револьверной головке, а также становится возможной замена режцовых головок автоматически с помощью промышленного робота.

Вспомогательный инструмент для сверлильных, фрезерных, расточных и многоцелевых станков с ЧПУ. С учетом рекомендаций ИСО разработан ГОСТ 25827—2014 «Хвостовики инструментов с конусом 7:24 для ручной и автоматической смены инструмента. Типы А, AD, AF, U, UD, UF, J, JD и JF. Размеры и обозначение», регламентирующий основные размеры хвостовиков инструмента конусностью 7:24 для станков с ЧПУ (рис. 9.17). Хвостовики применяют на станках как с автоматической, так и с ручной сменной инструмента.

На рис. 9.18 показана схема компоновки вспомогательного инструмента, который образует систему агрегатов, соединяемых цилиндрическими хвостовиками с размерами по ГОСТ 26540—85 «Хвостовики цилиндрические для регулируемых втулок и оправок и стопорные гайки. Основные параметры». В систему включены оправки 1 и 2 для насадных фрез, предназначенные для крепления торцовых, трехсторонних, цилиндрических и других фрез с торцовыми или продольными шпонками. Цанговые патроны 3, 4 и 16



a
б

Рис. 9.16. Схемы закрепления быстросменных резовых головок:
a — фирмы Sandvik Coromant (Швеция); *б* — фирмы Krupp Widia (Германия)

являются средством крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком, стандартных сверл, зенкеров, разверток, фрез диаметром 3...20 мм и специальных фрез диаметром 20...40 мм. Нерегулируемые переходные втулки 5 и 6 предназначены для инструмента с конусом Морзе 2...5.

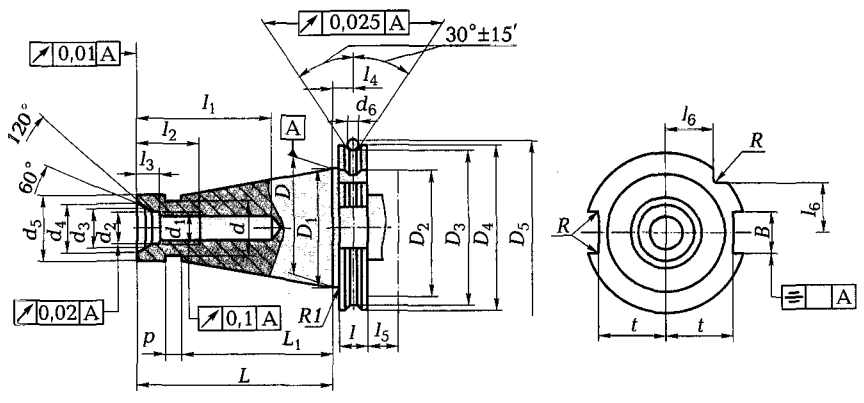


Рис. 9.17. Хвостовик с конусностью 7:24

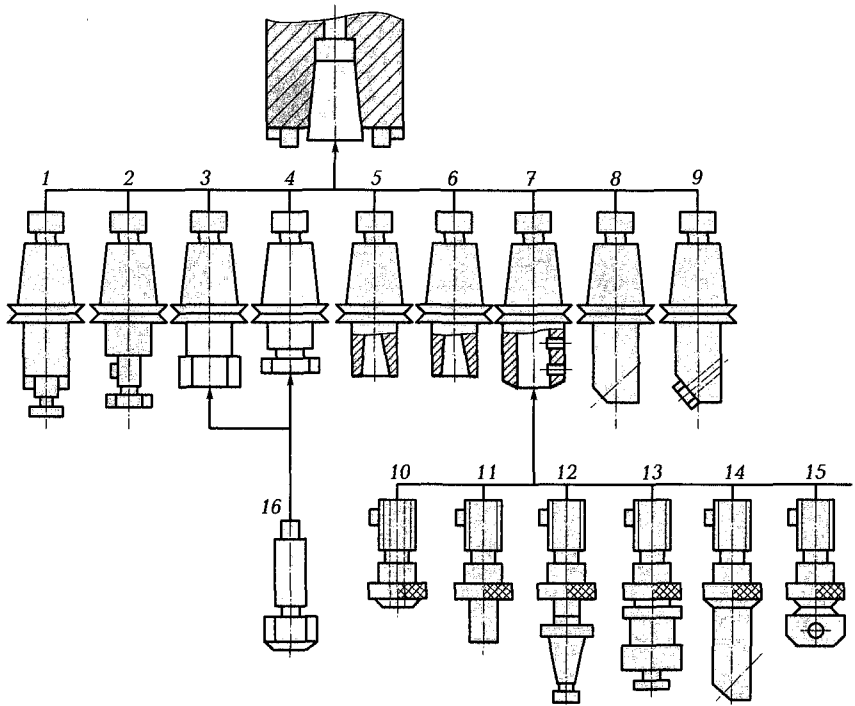


Рис. 9.18. Набор вспомогательного инструмента для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп:

1, 2, 8, 9, 12 и 14 — оправки; 3, 4, 13, 15 и 16 — патроны; 5, 6, 10 и 11 — переходные втулки; 7 — державка

Системой предусмотрена номенклатура расточных оправок для чистовой и черновой обработок. В нее включены конструкции оправок 9 для чистовой обработки отверстий диаметром 50... 180 мм, изготавливаемые с наклонными гнездами под резцовые расточные вставки с микрометрическим регулированием. В однорезцовых оправках 8 для чернового растачивания отверстий диаметром 50... 180 мм предусмотрено использование стандартных расточных державочных резцов. В державках 7 закрепляют переходные цилиндрические втулки 10 и 11, оправки 12 для насадных зенкеров и разверток, патроны 13 для метчиков, расточные оправки 14 и расточные патроны 15 (см. рис. 9.18).

Для крепления режущего инструмента с конусом Морзе может быть применен патрон, показанный на рис. 9.19. Корпус 1 патрона с конусом конусностью 7:24 имеет внутреннее цилиндрическое

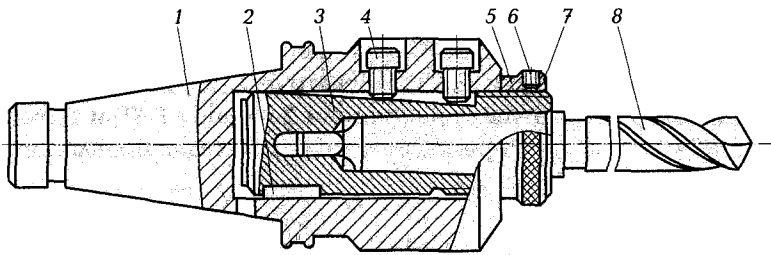


Рис. 9.19. Сборная оправка для инструмента с коническим хвостовиком:
 1 — корпус; 2 — шпонка; 3 — втулка; 4 — винт; 5 — гайка; 6 — винт; 7 — прокладка;
 8 — инструмент

отверстие диаметром 36 или 48 мм со шпоночным пазом. Допуски на внутреннюю цилиндрическую поверхность следующие: на диаметр — по 6-му качеству, цилиндричности — не более 0,01 мм. Биение отверстия относительно оси хвостовика не должно превышать 0,02 мм. В корпусе находится регулируемая втулка 3, в которой размещен инструмент 8.

Вылет инструмента регулируют вращением гайки 5 по втулке 3, которая соединена с корпусом 1 шпонкой 2. После достижения требуемого вылета гайку 5 фиксируют винтом 6 через прокладку 7. Для предотвращения вытягивания втулки из корпуса патрона на ее поверхности сделан косой срез, на который опирается винт 4.

Наряду со сборным вспомогательным инструментом применяют *цельные конструкции*. Цанговый патрон (рис. 9.20) обеспечивает осевое регулирование вылета режущего инструмента в широких пределах за счет надежного крепления в цанге с малым углом наружной конической поверхности ($11^{\circ}25'16''$) и за счет установки упора 5. В корпусе патрона размещается разрезная цанга 1, которая имеет восемь прорезей с двух сторон и устанавливается в гайке 2. Гайка 2 имеет на внутренней поверхности кольцевой выступ,

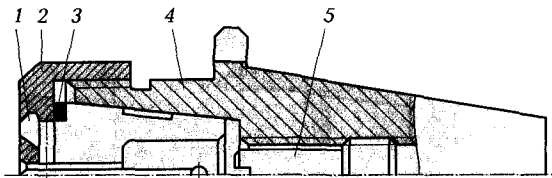


Рис. 9.20. Цанговый патрон для инструмента с цилиндрическим хвостовиком:

1 — цанга; 2 — гайка; 3 — кольцо; 4 — корпус; 5 — упор

который входит в кольцевую канавку цанги. Этим обеспечивается перемещение цанги вдоль оси по направлению к конусу корпуса 4 при закручивании гайки 2. Промежуточное кольцо 3 позволяет снизить потери на трение торцов гайки 2 и цанги 1. При вывертывании гайки 2 цанга 1 перемещается в обратном направлении, освобождая режущий инструмент.

9.4. НАЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ. СИСТЕМА КООРДИНАТ ИНСТРУМЕНТА

В УП задаются следующие параметры инструмента: значение вылета резца X и Z при точении (рис. 9.21, а) и значения вылета фрезы L и ее диаметра D при фрезеровании (рис. 9.21, б). При этом учитывается, что инструмент устанавливается в инструментальную оснастку. При задании траекторий перемещения режущих инструментов учитывают положение в процессе обработки некоторой точки P , которая для точения определяется центром закругления при вершине резца (действительный центр верши-

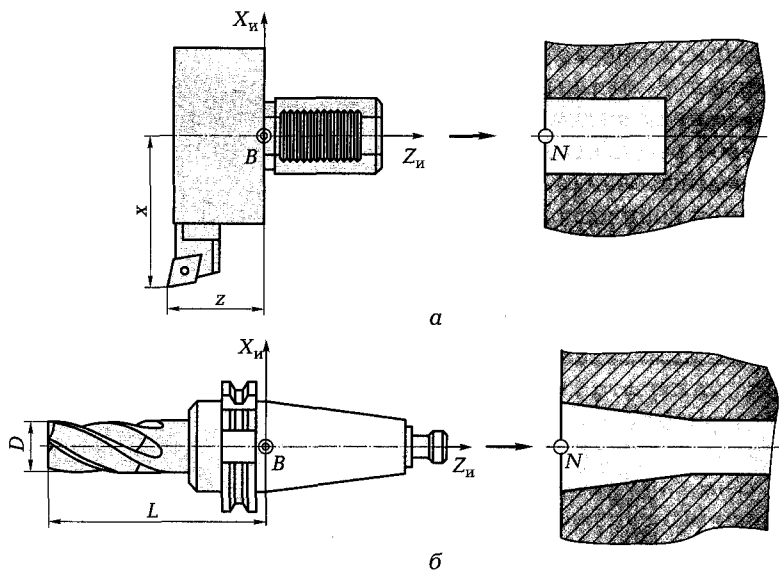


Рис. 9.21. Параметры инструментов, задаваемые в УП:

а — для токарного резца, установленного в державке; б — для фрезы, установленной в оправку

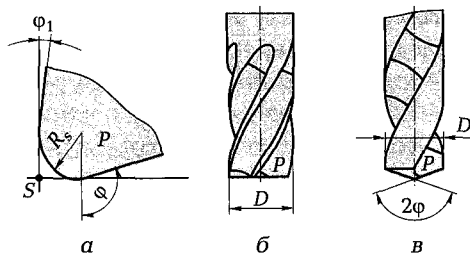


Рис. 9.22. Положение настроечной точки P для различных инструментов: a — для резца; b — для фрезы; $в$ — для сверла

ны резца) (рис. 9.22, a), для фрезерования — центром фрезы (рис. 9.22, b), для сверления — углом при вершине сверла (рис. 9.22, $в$).

Положение режущей кромки резца задается главным ϕ и вспомогательным ϕ_1 углами в плане, сверла — углом при вершине 2ϕ

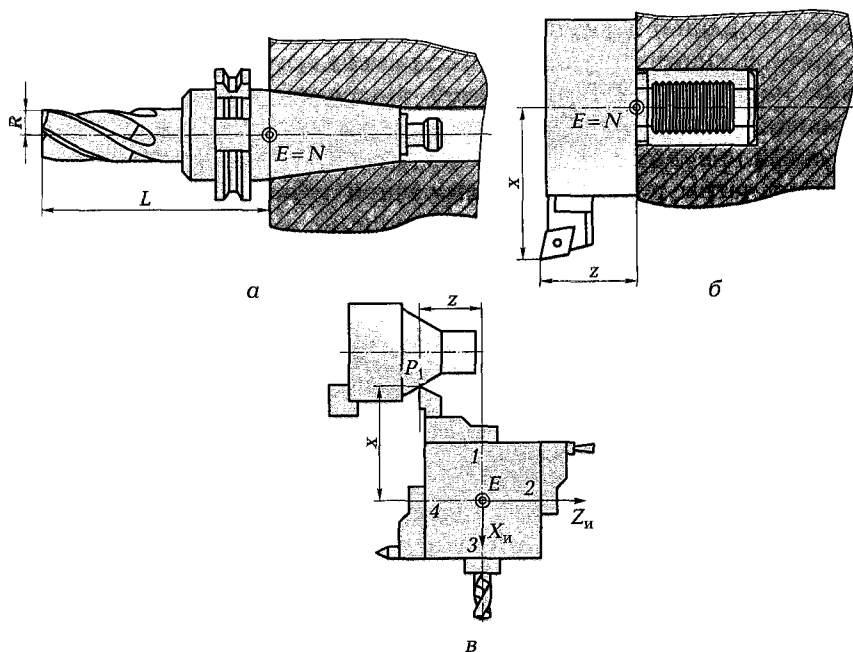


Рис. 9.23. Положение исходной точки инструмента E :

a — на фрезерном станке; b — на токарном станке без револьверной головки; $в$ — на токарном станке с револьверной головкой

и фрезы — диаметром D . Точку P называют настроечной точкой. Для определения положения настроечной точки P , назначают **систему координат инструмента**. Начало системы координат инструмента располагают на цилиндрических или конических базах инструментальной оснастки в точке, которую называют **фиксированной точкой установки инструмента B** . Оси системы координат инструмента X_n, Z_n располагают параллельно соответствующим осям стандартной системы координат станка.

При установке инструментальной оснастки с инструментом на станке с ЧПУ, фиксированная точка инструмента B совмещается с фиксированной точкой шпинделя N (см. табл. 8.2). Получаемая точка называется **исходной точкой инструмента E** .

Исходная точка инструмента E располагается:

- на фрезерном станке — на пересечении оси шпинделя и его торца (рис. 9.23, *а*);
- токарном станке — либо на пересечении оси державки и торца револьверной головки (рис. 9.23, *б*), либо на оси револьверной головки (рис. 9.23, *в*).

Для точного определения положения настроечной точки P в системе координат X_n, Z_n и последующего проведения коррекции параметров инструмента в УП инструмент измеряется оператором либо на станке с ЧПУ (например, сенсорной оптической измерительной системой), либо вне станка на специальном приборе (см. разд. IV).

Параметры положения настроечной точки заносятся в карту наладки инструмента.

9.5. ВЫБОР ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Выбор приспособления — одна из задач, которая выполняется при создании маршрутной технологии.

Для точной установки и закрепления на станке с ЧПУ обрабатываемых заготовок применяются различные приспособления. Они должны обеспечивать условия для быстрой, точной, многократной установки и зажима заготовки, удобный доступ к ней режущего инструмента при минимальном количестве ее перестановок.

Применяемые приспособления подразделяются:

- на приспособления для установки и закрепления заготовок на токарных станках с ЧПУ;

- приспособления для установки и закрепления заготовок на столе (перемещающемся, поворотном или неподвижном) фрезерных и многоцелевых станков.

Учитывая особенности станков с ЧПУ, к применяемым на них приспособлениям предъявляются следующие *основные требования*:

- обеспечение большей точности установки заготовок, чем в приспособлениях к универсальным станкам, и повышенная жесткость;
- возможность быстрой замены (или переналадки) приспособления на столе станка и точная ориентация его относительно начала системы координат станка;
- установочные элементы и зажимные устройства приспособления не должны препятствовать подходу режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям заготовки (обеспечение при необходимости обработки с четырех или даже с пяти сторон без переустановки заготовки);
- минимальная высота выступающих над заготовкой элементов приспособления в целях уменьшения длины применяемых оправок режущего инструмента;
- наличие отводных, съемных и откидных прихватов в целях обеспечения полного цикла обработки заготовки;
- возможность съема изготовленной детали и установки заготовки вне рабочей зоны станка с совмещением времени на такую смену со временем работы станка.

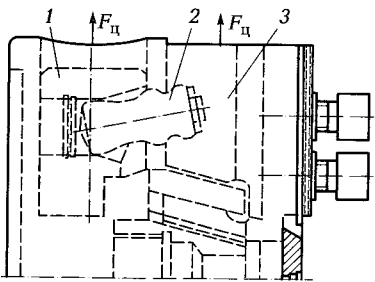
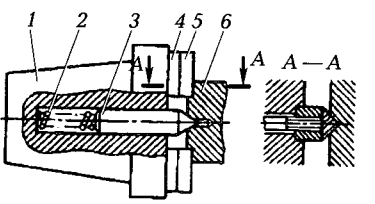
Классификация систем приспособлений, применяемых на станках с ЧПУ, приведена в табл. 9.5.

По степени специализации приспособления, применяемые на станках с ЧПУ, подразделяются на следующие системы.

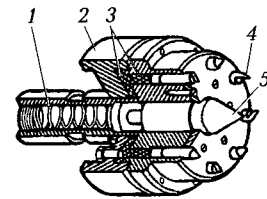
Система универсально-безналадочных приспособлений (УБП). Конструкция этих приспособлений представляет собой законченный механизм с постоянными регулируемыми (несъемными) элементами для установки различных заготовок. Они предназначены для многократного использования. К системе УБП относятся различные патроны, в частности поводковые, машинные тиски и др.

Система универсально-наладочных приспособлений (УНП). Эти приспособления состоят из универсального базового агрегата и сменных наладок. Примерами являются трехкулачковый переналаживаемый патрон, переналадка которого чаще всего сводится к замене кулачков, и универсально-наладочные тиски с пружинно-гидравлическим приводом.

Таблица 9.5. Приспособления, используемые на станках с ЧПУ

Система	Вид	Пример
I. Система универсально-безналадочных приспособлений (УБП)	<p>Центробежные (инерционные) поводковые патроны. Выполняют двух- или трехкулачковыми. Кулачки представляют собой независимые эксцентрики, которые под действием центробежных сил, действующих на грузы, приближаются к поверхности заготовки и зажимаются за счет сил самотормозения при воздействии на заготовку силы резания</p>	 <p>1 — противовес; 2 — рычаг; 3 — кулачок</p>
	<p>Патроны с торцевыми ножами. Не закрывают наружную поверхность заготовки и точно определяют положение торца по оси Z всех заготовок партии. Постоянство силы нажатия заднего центра и высокая жесткость ножевых опор обеспечивают стабильное положение левого торца заготовок всей партии</p>	 <p>1 — корпус; 2 — пружина; 3 — центр; 4 — торцевой упор; 5 — нож упора из твердого сплава; 6 — обрабатываемая заготовка</p>

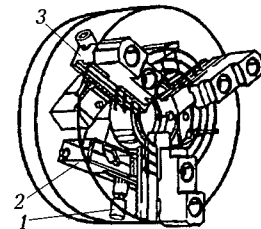
Патроны с плавающими ножами. Имеют ножи, выполненные в виде цилиндров, расположенных в гнездах корпуса оправки. Число ножей у патрона может быть различным



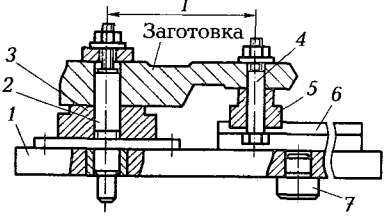
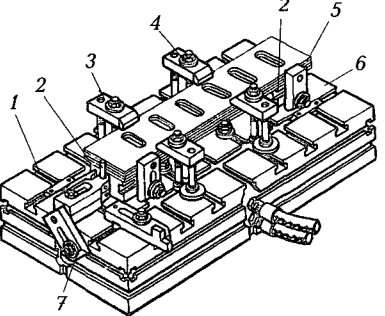
1 — пружина; 2 — корпус; 3 — гидропласт; 4 — нож упора; 5 — центр

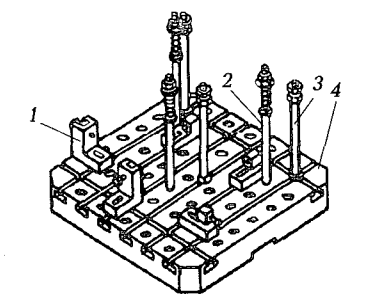
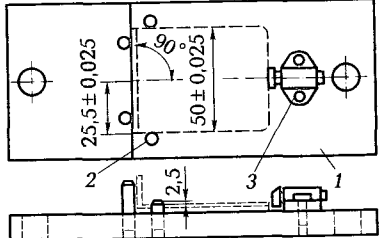
II. Система универсально-наладочных приспособлений (УНП)

Патроны трехкулачковые переналаживаемые типа ПКС (патрон клиновой самоцентрирующийся). Имеют в корпусе радиальные пазы, в которых размещены три основных кулачка, с рифленной поверхностью которых сопрягаются сменные кулачки. Сменные кулачки закрепляют сухарями и винтами. Приводом для быстродействующих патронов является механизированный силовой привод от электромеханических головок, пневматических или гидравлических цилиндров, закрепляемых с помощью переходного фланца на заднем конце шпинделя



1 — валик-шестерня для быстрой смены кулачков; 2 — рейка с зубцами; 3 — кулачок с зубчатым основанием

Система	Вид	Пример
III. Система специализированных наладочных приспособлений (СНП)	<p>Приспособления специализированные наладочные для обработки деталей типа рычагов. Состоит из базовой плиты 1 и сменной оправки 2, штыря 4 и опор 3 и 5. Приспособление базируется на столе станка концом сменной оправки 2 и штырем 4. Заготовка базируется по плоскостям опор 3 и 5 и поверхностям оправки 2 и штыря 4 и закрепляется двумя гайками. Если использовать приспособление для установки заготовок типа кулачков по отверстию и шпоночному пазу, то применяется сменная оправка 2 со шпонкой</p>	 <p>1 — базовая плита; 2 — сменная оправка; 3 и 5 — опоры; 4 — штырь; 6 — направляющие; 7 — базовый элемент</p>
IV. Система универсально-сборочных приспособлений (УСП)	<p>Приспособления УСП для обработки пазов сепаратора. Исходными для сборки приспособлений являются различные базовые элементы, с которыми (при компоновке и сборке приспособления) собираются установочные элементы дополнительного базирования, прихваты и т. д.</p>	 <p>1 — опора с базовым штырем; 2 — базовые установочные элементы; 3 — прихват; 4 — гайка крепления; 5 — базовые планки; 6 — базовая плита; 7 — планки</p>

V. Сборно-разборные приспособления (СРП)	<p>Приспособления СРП-ЧПУ многоцелевых станков для обработки корпусных деталей. В комплект СРП-ЧПУ входят базовые сборочные единицы — плиты; стойки; опорные элементы — регулируемые, подводимые, самоустанавливающиеся опоры; планки; подкладки; установочные элементы — пальцы, штыри, шаблоны; крепежные детали и переходные планки. Для механизации закрепления в комплект могут входить прямоугольные и круглые плиты со встроенными гидравлическими цилиндрами, а также отдельные гидравлические прижимы</p>	 <p>1 — базовые элементы для установки заготовки; 2 — шпильки; 3 — регулируемые опоры; 4 — базовая плита</p>
VI. Система неразборных специальных приспособлений (НСП)	<p>Специальные приспособления для станков с ЧПУ. Используются упрощенные конструкции в целях упрощения сроков изготовления приспособлений. Корпусом приспособления является стальной лист, на котором устанавливаются ориентирующие штыри, предназначенные для ориентации заготовки, и универсальные зажимные устройства</p>	 <p>1 — корпус приспособления; 2 — ориентирующие штыри; 3 — универсальные устройства</p>

Система специализированных наладочных приспособлений (СНП). Эти приспособления обеспечивают базирование и закрепление типовых по конфигурации заготовок различных размеров.

Система универсально-сборных приспособлений (УСП). Компоновки УСП собираются из стандартных элементов, изготовленных с высокой степенью точности. Элементы и узлы фиксируются системой шпонка — паз. Высокая точность элементов УСП обеспечивает сборку приспособлений без последующей механической доработки. После использования компоновок их разбирают на составные части, многократно используемые в различных сочетаниях в новых компоновках.

Система универсально-сборных механизированных приспособлений для станков с ЧПУ (УСПМ-ЧПУ) является развитием системы УСП. Компоновки специальных приспособлений системе УСПМ-ЧПУ предназначены для установки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ и многоцелевых станках. Основой комплектов УСПМ-ЧПУ являются гидравлические блоки, представляющие собой базовые плиты УСП с сеткой пазов и встроенными гидроцилиндрами, а также плиты без встроенных цилиндров. В последнем случае для механизации зажимов применяют различные гидроцилиндры.

Система сборно-разборных приспособлений (СРП). Компоновки СРП собираются из стандартных деталей и сборочных единиц, фиксируемых относительно друг друга системой палец — отверстие. Для этой цели в базовых деталях имеются сетки точных координатно-фиксирующих отверстий. Детали и сборочные единицы компоновок СРП крепятся посредством Т-образных пазов. В компоновках СРП в отличие от УСП число сборочных единиц преобладает над деталями. Приспособления переналаживаются посредством перекомпоновки, регулирования положения базирующихся и зажимных элементов или замены сменных наладок.

Система неразборных специальных приспособлений (НСП). Приспособления этой системы не являются переналаживаемыми. Детали нельзя повторно использовать в других компоновках. На станках с ЧПУ приспособления такой системы целесообразно применять лишь как исключение в том случае, если нельзя применить ни одну из переналаживаемых систем. Конструкция такого приспособления должна быть максимально упрощена.

По степени автоматизации приспособления можно классифицировать: на приспособления с ручным приводом и приспособления с автоматизированным приводом и управлением. В свою очередь, последние в зависимости от типа при-

вода подразделяются на механические, гидравлические, пневматические и магнитные.

Приспособления для токарных станков с ЧПУ. Данные приспособления могут быть следующих видов:

- зажимные кулачковые патроны;
- токарные центры;
- поводковые зажимные устройства;
- цанговые зажимные устройства;
- планшайбы;
- люнеты (для поддержания обрабатываемых валов большой длины) (см. табл. 9.5).

Закрепление заготовок в зажимных кулачковых патронах на шпинделе станка используется достаточно широко как при обработке коротких заготовок типа фланцев, так и при обработке валов. В последнем случае при длине вала, превышающей его диаметр более чем в 10 раз, он одним концом устанавливается и закрепляется кулачками в патроне, а на втором конце вал поджимается центром, установленным в задней бабке. Для исключения прогиба вала под действием сил резания в этом случае применяется дополнительная опора — люнет.

В зависимости от количества кулачков различают двух-, трех- и четырехкулачковые зажимные патроны. Наиболее часто используется самоцентрирующийся трехкулачковый патрон. Он обеспечивает быстрое, точно отцентрированное закрепление цилиндрических заготовок. Четырехкулачковый патрон применяется для закрепления четырех-, шести-, восьми-, двенадцатиугольных, а также округлых заготовок.

Поскольку обработка на токарных станках с ЧПУ производится при черновых и чистовых режимах, необходимо оснащение патронов как калеными кулачками, так и сырыми, растачиваемыми непосредственно на станках. При этом замена кулачков не должна занимать много времени.

В станках с ЧПУ наибольшее распространение получили самоцентрирующие клиновые и рычажно-клиновые патроны (рис. 9.24).

Закрепление заготовки в центрах применяется обычно при обработке валов, имеющих отношение длины к диаметру 4...10.

В тех случаях, когда необходимо сохранить достоинства токарной обработки в центрах и при этом сообщать заготовке большой крутящий момент, совместно с центрами используют поводковые патроны.

Для зажима заготовок в виде прутка разного поперечного сечения на токарных станках с ЧПУ применяются цанговые патроны.

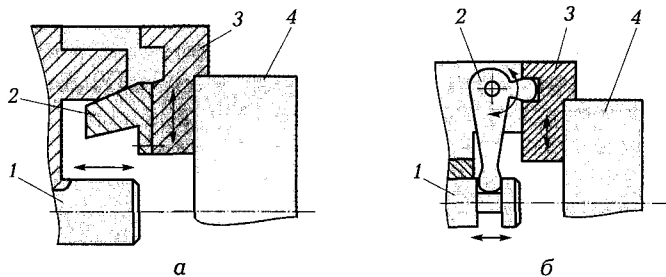


Рис. 9.24. Самоцентрирующиеся патроны:

а — клиновой: 1 — тяга; 2 — клин; 3 — кулачок; 4 — заготовка; б — рычажно-клиновой: 1 — тяга; 2 — двулучий рычаг; 3 — кулачок; 4 — заготовка

При токарной обработке заготовок типа втулок или тонкостенных гильз применяют центровые оправки с разрезной цангой.

Приспособления для установки и закрепления заготовок на столе станков с ЧПУ. Для правильного выбора приспособления необходимо знать *основные требования*, предъявляемые к приспособлениям.

1. Точная ориентация приспособления с закрепленной на нем заготовкой в системе координат станка и размерная увязка контура обрабатываемой детали с точкой начала обработки (исходной точкой программы) P_s .

Применяются следующие способы установки и ориентации приспособлений:

- установка приспособления на координатную плиту, жестко закрепленную и выверенную на столе станка, а также имеющую сетку координатных отверстий и Т-образных пазов рис. 9.25. Центральное отверстие координатной плиты совмещается с нулем станка, таким образом ее базовые отверстия закоординированы в системе координат станка. Исходная точка программы P_s задается от любых выбранных базовых отверстий координатной плиты;
- установка приспособлений на столе станка с фиксацией по центральному пазу. Приспособление снабжается фиксирующими штырями или штырем и шпонкой (рис. 9.26, а). Установка инструмента в исходную точку задается от центрального базового отверстия;
- установка приспособлений на столе станка с базированием по центральному продольному пазу стола с помощью штырей и шпонок. Установка инструмента в исходную точку осуществляется щупом по угловому установу (рис. 9.26, б).

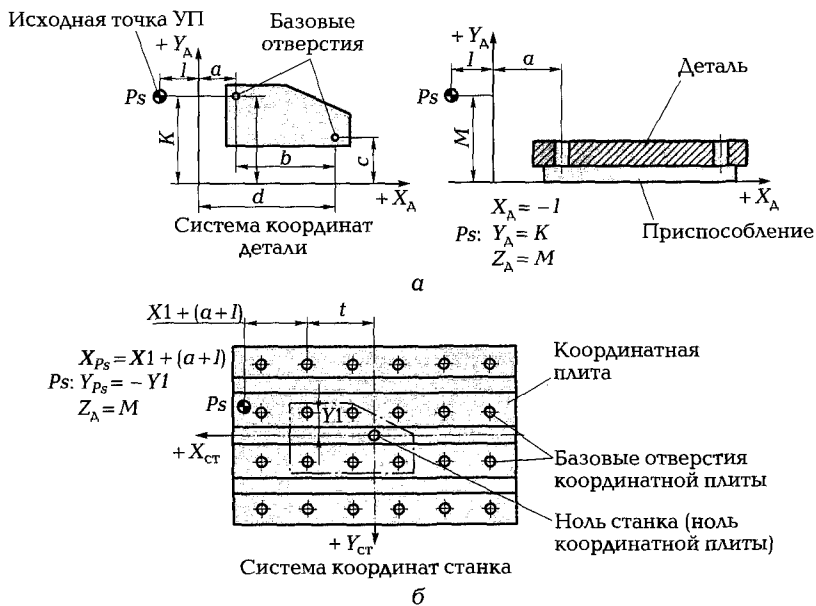


Рис. 9.25. Ориентация приспособления с установленной деталью при использовании координатной плиты:

a — задание исходной точки программы P_s в системе координат детали; *б* — задание исходной точки программы P_s в системе координат станка

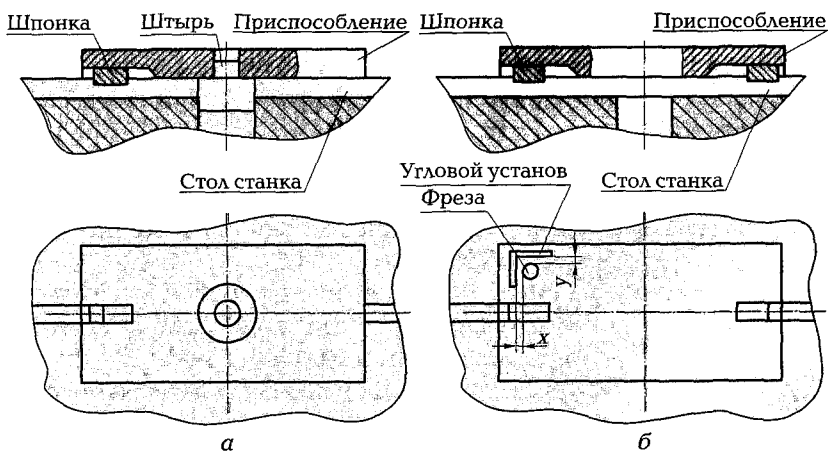


Рис. 9.26. Ориентация приспособлений по центральному пазу стола станка:

a — при использовании штыря и шпонки; *б* — при использовании двух шпонок

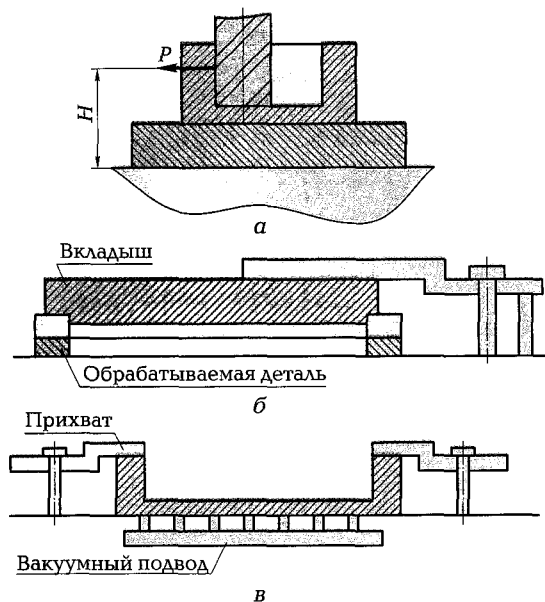


Рис. 9.27. Методы обеспечения максимальной жесткости системы «деталь—приспособление—стол»:

а — уменьшение высоты H точки приложения силы резания P над плоскостью стола;
б — применение дополнительных элементов оснастки; *в* — применение вакуумных подводов в комплекте с механическим креплением детали в приспособлении

2. Рациональное размещение приспособления с деталью, обеспечивающее равномерный износ передачи ходовой винт—гайка с трением качения.

3. Обеспечение максимальной жесткости системы «деталь—приспособление—стол» следующими способами:

- уменьшением высоты H точки приложения силы резания P над плоскостью стола (рис. 9.27, *а*);
- применением элементов оснастки, увеличивающих жесткость обрабатываемой детали: вкладышей для тонкостенных деталей, дополнительных опор, ложементов, пружин (рис. 9.27, *б*);
- применением вакуумных подводов в комплекте с механическими прихватами (рис. 9.27, *в*).

4. Обеспечение минимальной высоты выступающих над деталью элементов приспособления в целях уменьшения длины инструмента, следовательно, повышения его жесткости.

5. Использование отводных, съемных, откидных прихватов в целях обеспечения полного цикла обработки детали.

Конструкции приспособлений показаны в табл. 9.5.

9.6. НАЗНАЧЕНИЕ НУЛЕВОЙ ТОЧКИ ДЕТАЛИ. СИСТЕМА КООРДИНАТ ДЕТАЛИ

Система координат детали — система, в которой определяются все размеры детали, назначается положение исходной точки программы P_0 и формируются траектории перемещения режущего инструмента. Три направления осей системы координат детали $X_A Y_A Z_A$ будут определять три возможные плоскости обработки: XOY , XOZ , YOZ . Для удобства программирования контура детали полагают, что

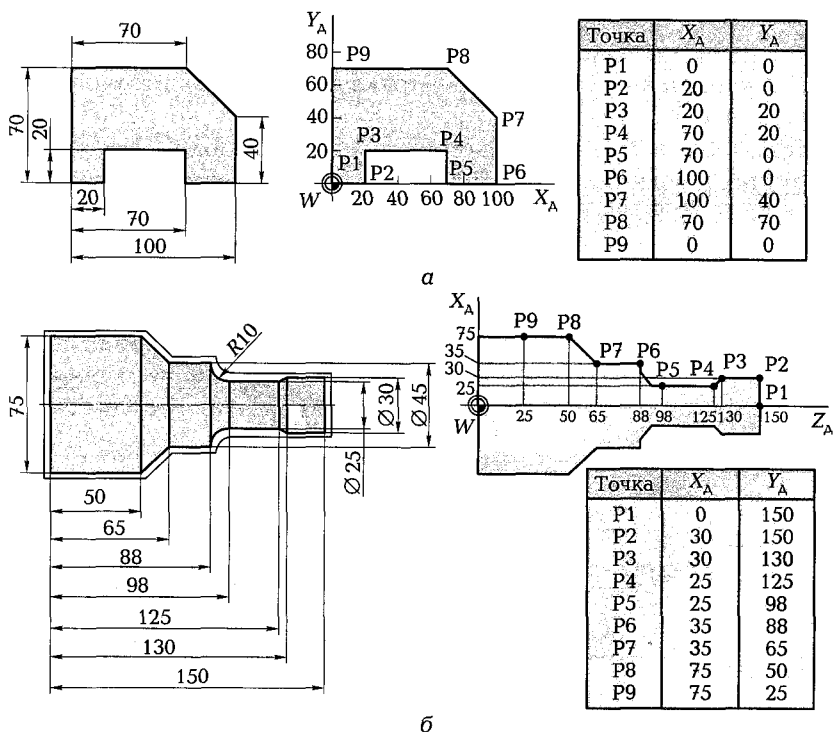


Рис. 9.28. Задание нулевой точки детали:

а — для фрезерной обработки; б — для токарной обработки

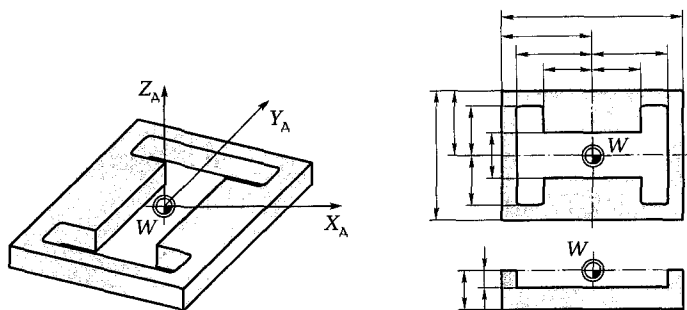


Рис. 9.29. Задание нулевой точки W детали при обработке симметричной детали

инструмент движется относительно неподвижной заготовки и положительные направления осей $X_A Y_A Z_A$ могут не совпадать с положительными направлениями движения осей станка $X_C Y_C Z_C$.

Нулевая точка W детали — точка детали, относительно которой заданы ее размеры, т. е. точка начала системы координат детали (см. табл. 8.2). Ее положение задается свободно, но обычно стремятся к совмещению точки W с началом отсчета размеров на чертеже (рис. 9.28). В этом случае при задании программируемого контура детали можно использовать размерные данные непосредственно с чертежа.

На чертежах деталей, подлежащих фрезерной обработке, при простановке размеров за начало отсчета обычно принимается один из углов ее наружного контура. Этот же угол рекомендуется выбирать для назначения нулевой точки W детали. В таком случае

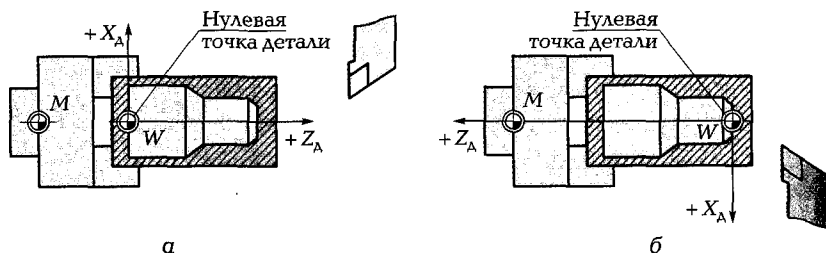


Рис. 9.30. Задание нулевой точки детали при точении:

a — при верхнем расположении резца; b — при нижнем расположении резца

задание координат программируемого контура осуществляется без дополнительных изменений.

В случае если деталь симметрична и размеры заданы как показано на рис. 9.29, нулевую точку W детали целесообразно выбирать на оси симметрии. По координате Z нулевую точку целесообразно выбирать на чистой базовой плоскости либо приспособления, либо заготовки.

Для деталей, обрабатываемых точением, нулевая точка W детали выбирается на оси вращения с правой или левой стороны относительно контура обрабатываемой детали (рис. 9.30) в зависимости от верхнего или нижнего расположения резца относительно оси симметрии детали.

9.7

ЗАДАНИЕ ИСХОДНОЙ ТОЧКИ ПРОГРАММЫ

В системе координат детали необходимо назначить точку начала обработки заготовки Ps . Ее также называют **исходной точкой программы** (см. табл. 8.2). Перед началом обработки настроечная точка инструмента P должна быть совмещена с точкой Ps . Таким образом, исходная точка программы Ps будет являться первой точкой движения инструмента по УП.

Ее положение назначают исходя из удобства доступа оператора к детали, установленной в приспособлении в рабочей зоне станка (удобство настройки станка). Например, для вертикальных фрезерных станков точку Ps назначают в верхнем левом углу системы координат детали $X_A Y_A Z_A$ (рис. 9.31). Минимальные расстояния L

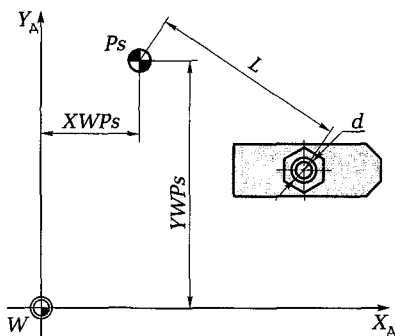


Рис. 9.31. Положение исходной точки W программы Ps в системе координат детали

между зажимными элементами приспособления и исходной точки программы рекомендуется назначать следующими:

Диаметр зажимного винта d	M6	M8	M10	M12	M16
Расстояние между зажимными элементами L , мм	120	130	155	155	190

При назначении точки Ps также стремятся избежать лишних холостых ходов рабочих органов станка. Положение исходной точки программы Ps в системе координат детали W определяется по каждой из трех осей координат детали и обозначается как $XWPs$, $YWPs$, $ZWPs$.

9.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НУЛЕВОЙ ТОЧКИ ДЕТАЛИ W , ИСХОДНОЙ ТОЧКИ ИНСТРУМЕНТА E , ИСХОДНОЙ ТОЧКИ ПРОГРАММЫ Ps В СИСТЕМЕ КООРДИНАТ СТАНКА

При разработке маршрутной технологии определяется положение системы координат выбранного инструмента $X_iY_iZ_i$ и системы координат программируемой детали $X_A Y_A Z_A$ в системе координат станка $X_c Y_c Z_c$. Такая связь систем координат детали, инструмента и станка позволяет выдерживать заданную точность при переустановках заготовки и учитывать диапазон перемещений рабочих органов станка при расчете траектории инструмента в УП. Все три координатные системы на станке с ЧПУ взаимосвязаны.

Задание нулевой точки W детали в системе координат станка. Расположение нулевой точки детали задается относительно нулевой точки станка M .

Расстояние между нулем станка M и нулевой точкой детали W называется **смещением нуля отсчета**. Определяется как смещение по каждой из трех осей координат и обозначается как ZMW , XMW , YMW . На рис. 9.32 и 9.33 показано расположение нуля детали W в системе координат фрезерного и токарного станков.

Задание исходной точки E инструмента в системе координат станка. Положение исходной точки инструмента E является фиксированной величиной в системе координат станка. Расстояние между нулем станка M и исходной точкой инструмента E в позиции смены инструмента задается производителем станка, определяется как смещение по каждой из трех осей координат и обозна-

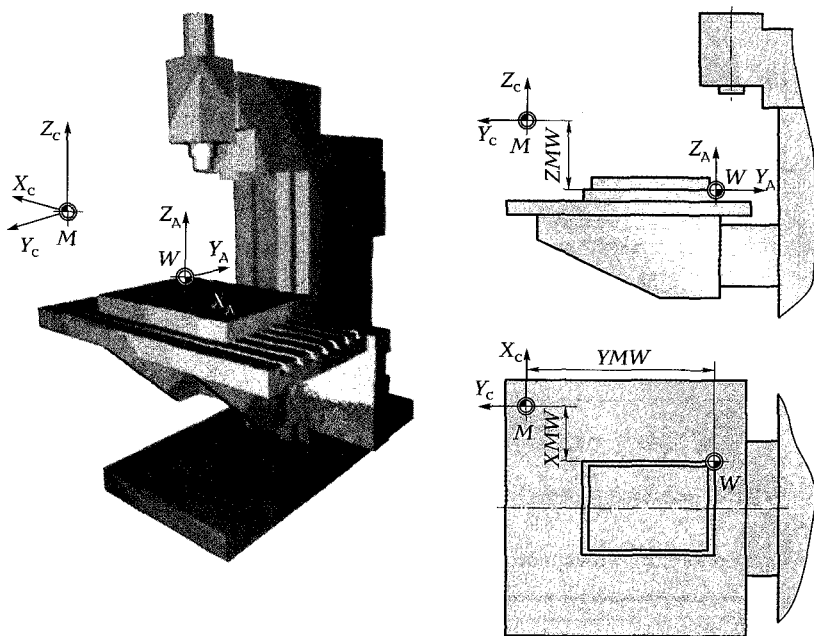


Рис. 9.32. Положение нулевой точки W детали в системе координат фрезерного станка

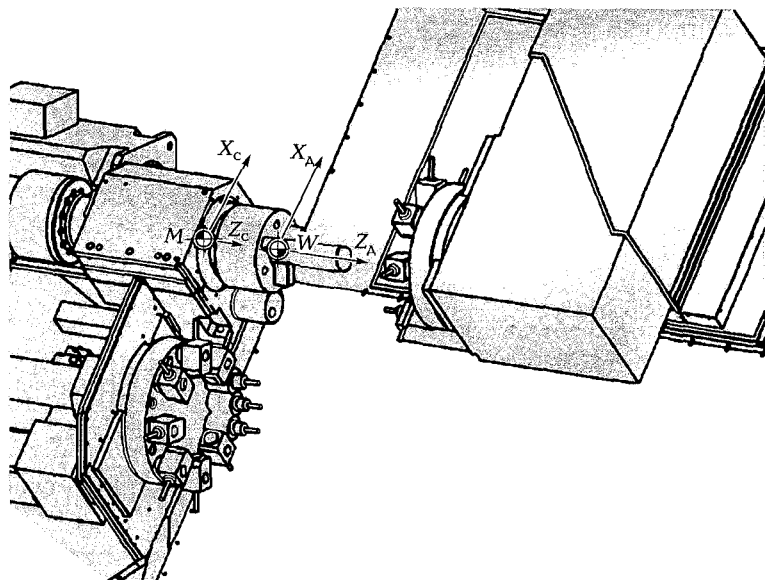


Рис. 9.33. Положение нулевой точки W детали в системе координат токарного станка

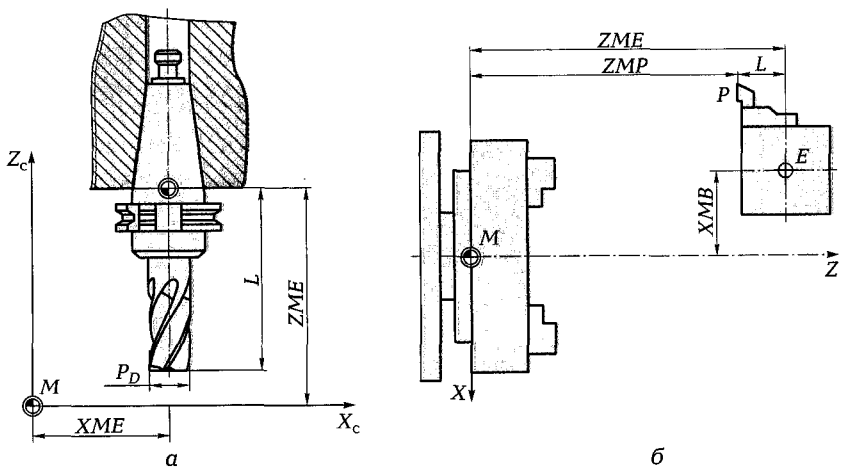


Рис. 9.34. Положение исходной точки E инструмента в системе координат станка:

a — фрезерного; b — токарного

чается как ZME , XME , YME . На рис. 9.34 показано расположение исходной точки E инструмента в системе координат фрезерного и токарного станка.

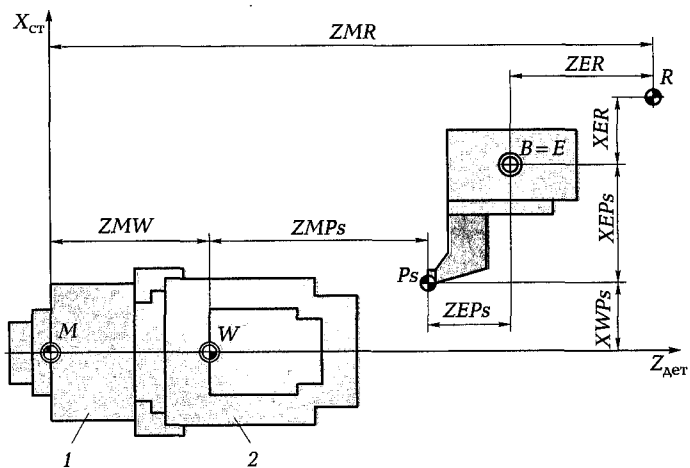
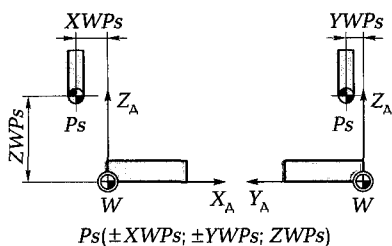
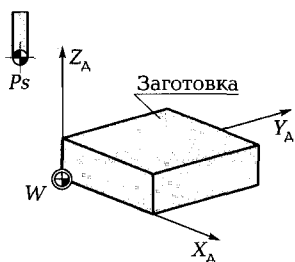
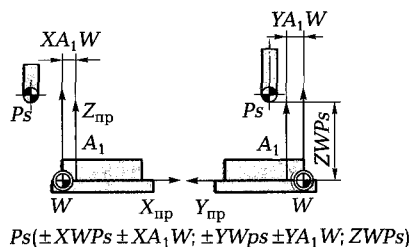
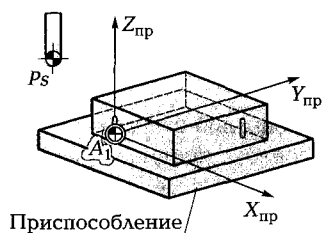


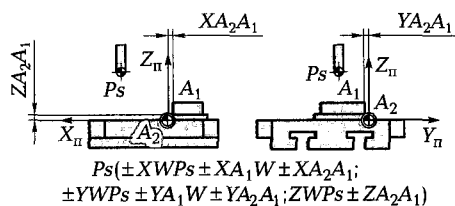
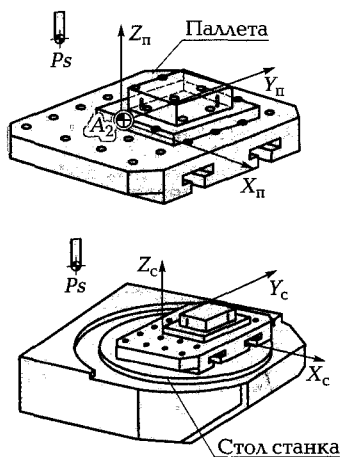
Рис. 9.35. Взаимное расположение нулевой точки W детали, исходной точки E инструмента, исходной точки M станка в системе координат токарного станка X_c и Z_c



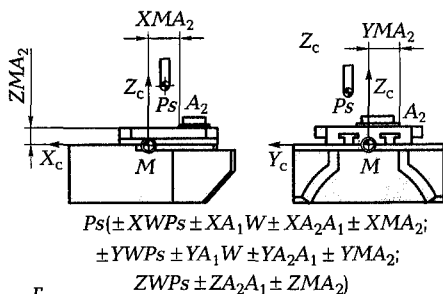
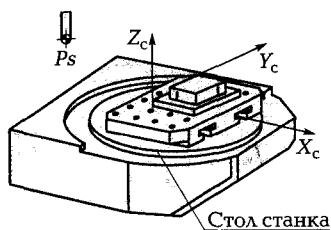
a



б



в



г

Рис. 9.36. Положение исходной точки Ps программы в системе координат: а — детали $X_A Y_A Z_A$; б — приспособления $X_{пр} Y_{пр} Z_{пр}$; в — паллеты $X_п Y_п Z_п$; г — стола станка $X_c Y_c Z_c$.

Взаимное расположение нулевой точки детали W , исходной точки инструмента E , исходной точки R станка и исходной точки

программы *P_s* на токарном станке с ЧПУ показано на рис. 9.35, на ГПМ, построенном на базе многоцелевого станка, — на рис. 9.36.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова типовая последовательность обработки детали по зонам для токарной обработки в патронах?
2. Какова типовая последовательность обработки детали по зонам для фрезерной обработки симметричной корпусной детали?
3. Какие этапы выбора режущих инструментов при подготовке УП вы знаете?
4. Из каких материалов изготавливают резцы для станков с ЧПУ?
5. Какие требования предъявляют к фрезам, предназначенным для работы на станках с ЧПУ?
6. Что такое вспомогательный инструмент и для чего он необходим?
7. Что такое настроечная точка инструмента и где она располагается?
8. В какой точке располагается система координат инструмента?
9. Что такое исходная точки установки инструмента? Где она располагается и для чего необходима?
10. Какие приспособления для закрепления заготовки используются на станках с ЧПУ?
11. Что такое нулевая точка детали? Где она задается и для чего необходима?
12. Какая точка является точкой начала обработки по управляющей программе на станке с ЧПУ и где она задается?

РАЗРАБОТКА ОПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

10.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Особенностью создания операционной технологии для станков с ЧПУ является определение последовательности обработки поверхностей в основных и дополнительных зонах обрабатываемой детали и построение траекторий движения инструментов.

На рис. 10.1 показана структура операционного технологического процесса обработки.

Переход — наименьшая законченная часть процесса обработки. Переход определяет качество обрабатываемой поверхности.

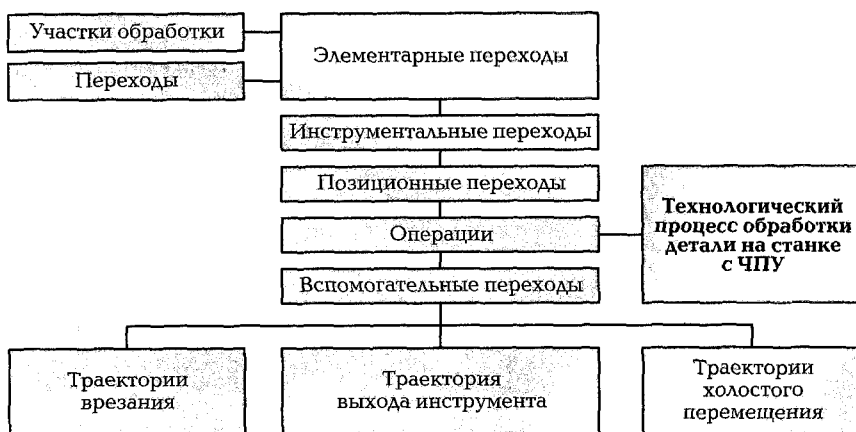


Рис. 10.1. Структура технологического процесса обработки деталей на станке с числовым программным управлением

Переходы подразделяются на элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные.

Элементарный переход — наименьшая неделимая часть процесса обработки, выполняемая одним инструментом без воздействия оператора на органы управления скоростью резания на станке.

Элементарный переход состоит из *проходов*, которые не являются законченной частью процесса, так как не характеризуют в полной мере качества, точности и производительности обработки.

Элементарная обрабатываемая поверхность (ЭОП) — образуется в результате выполнения элементарного перехода. Так как ЭОП может иметь изменяющийся припуск, то и режимы резания в элементарном переходе могут быть не постоянными. Поэтому участок поверхности, образованной той частью прохода элементарного перехода, где режимы резания могут быть приняты неизменными, называется *участком обработки*. Это понятие необходимо при расчете режимов резания.

Поскольку фреза может работать несколькими режущими поверхностями (торцом, периферией и радиусом заточки), при фрезеровании можно выделить семь вариантов ЭОП, которые образуют 4 совокупности поверхностей: наружный контур, контур окон, контур выступов, плоскости (рис. 10.2). Наружный контур и кон-

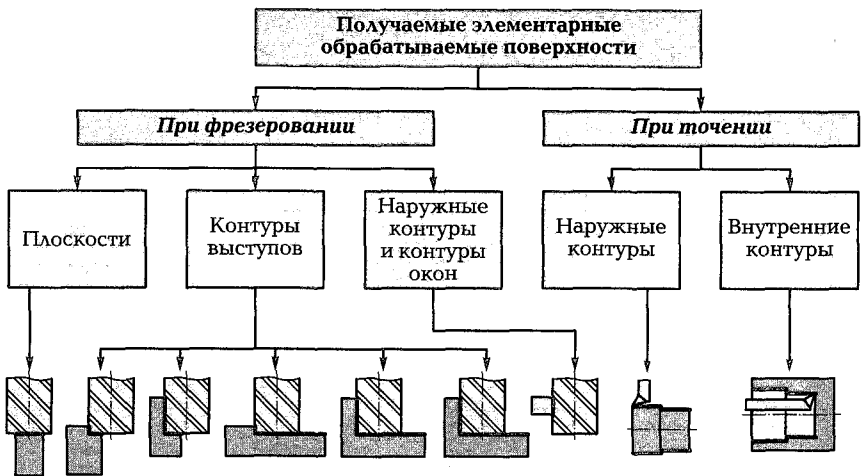


Рис. 10.2. Виды элементарных обрабатываемых поверхностей при фрезеровании и точении

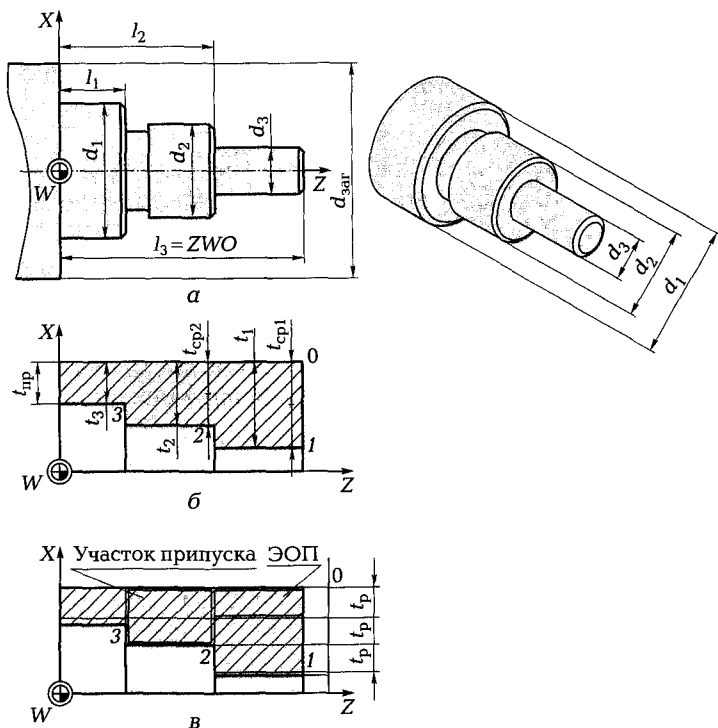


Рис. 10.3. Формирование элементарных обрабатываемых поверхностей при точении:

a — обрабатываемая деталь; *б* — определение предельной глубины резания в зонах детали; *в* — определение расчетной глубины резания

тур окон обрабатываются всегда периферией фрезы, плоскость — торцом фрезы. Контуры выступов могут обрабатываться пятью комбинациями режущих кромок.

Формирование ЭОП при точении показано на рис. 10.3, *a* на примере черновой обработки основных зон наружных цилиндрических поверхностей. Припуски на черновую обработку t_1, t_2, t_3 основных зон 1, 2, 3 делятся на участки $t_{cp1}, t_{cp2}, t_{cp3}$, соответствующие предельной глубине резания $t_{пр}$ (зависит от прочности, стойкости инструмента, мощности привода подачи станка) (рис. 10.3, *б*). Наибольшая среди глубины t_{cp1}, t_{cp2} и t_{cp3} принимается единой

и является расчетной t_p для всей черновой зоны обработки (рис. 10.3, в). ЭОП определяется единой расчетной глубиной обработки t_p .

Инструментальный переход — законченный процесс обработки нескольких ЭОП непрерывным движением одного инструмента. Например, инструментальный переход, где обрабатываются плоскость и ограничивающие ее выступы, состоит из двух элементарных переходов. Характеризуется построением *траекторий рабочих перемещений инструмента*.

Вспомогательный переход — часть процесса обработки, не связанная с образованием ЭОП. В отличие от станков с ручным управлением время вспомогательного перехода входит в машинное время работы станка. Характеризуется построением *траекторий вспомогательных перемещений инструмента*.

Траектория вспомогательных перемещений может быть трех типов:

- 1) траектория врезания (траектория подхода инструмента к началу инструментального перехода);
- 2) траектория выхода инструмента из зоны обработки;
- 3) траектория холостого перемещения инструмента.

Позиционный переход — совокупность инструментального и вспомогательного переходов.

Операция представляет собой заверченный комплекс всех позиционных переходов, выполняемых на станке с ЧПУ с помощью определенной оснастки. Обязательным при окончании выполнения операции является совмещение исходной и конечной точки УП.

Траектория обработки. При обработке на станке с ЧПУ осуществляется взаимное перемещение инструмента и заготовки. При создании УП обрабатываемые детали можно рассматривать как совокупность программируемых контуров. Каждый контур состоит из элементарных геометрических элементов: точек, прямых, дуг окружностей. При обработке контуров деталей УП описывает движение определенной точки инструмента — настроенной точки P — вдоль контура детали (см. рис. 9.22). В общем случае точка P , движение которой программируется, называется центром инструмента. Для концевой фрезы — это центр основания фрезы (рис. 10.4, а), для резцов — центр дуги окружности при вершине (рис. 10.4, б). Величина радиуса при вершине резцов обычно мала и смещение центра вершины резца S относительно действительной вершины P учитывается при коррекции инструмента в системе ЧПУ.

При перемещении инструмента вдоль контура детали центр инструмента проходит путь, называемый *траекторией инстру-*

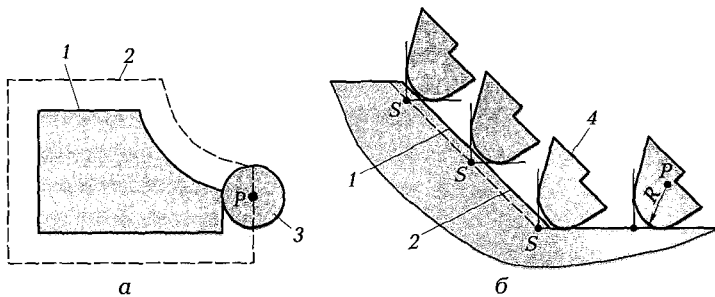


Рис. 10.4. Движение настроечной точки P при фрезеровании (а) и точении (б): 1 — обрабатываемый контур; 2 — движение центра инструмента; 3 — фреза; 4 — резец

мента (рис. 10.5). Траектории описываются в программе обработки. Характер траекторий отражает форму контуров детали. Отдельные участки траекторий называются **геометрическими элементами**, которые соединяются пересечением или касанием. Точки конца одного геометрического элемента и начала другого называются **опорными точками траектории** (рис. 10.6). Траектория перемещения инструмента определяется совокупностью координат опорных точек. Опорными точками могут быть также точки траектории, где происходит изменение технологических параметров, например: включение охлаждающей жидкости, задание паузы, технологического останова и т. д.

Если принять, что радиус инструмента во время обработки контура детали остается постоянным, то траектория центра инстру-

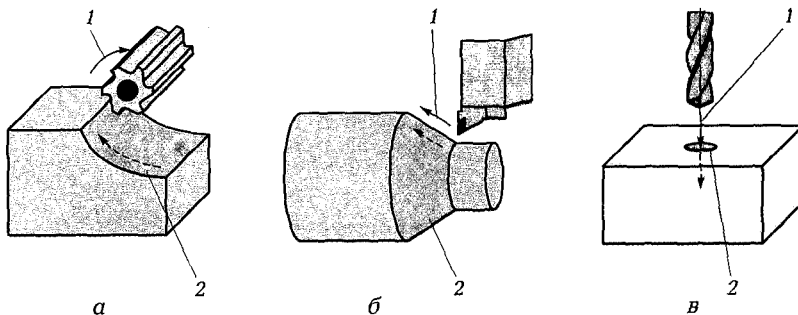


Рис. 10.5. Движение инструмента при фрезеровании (а), точении (б) и сверлении (в):

1 — траектория движения инструмента; 2 — обрабатываемый контур

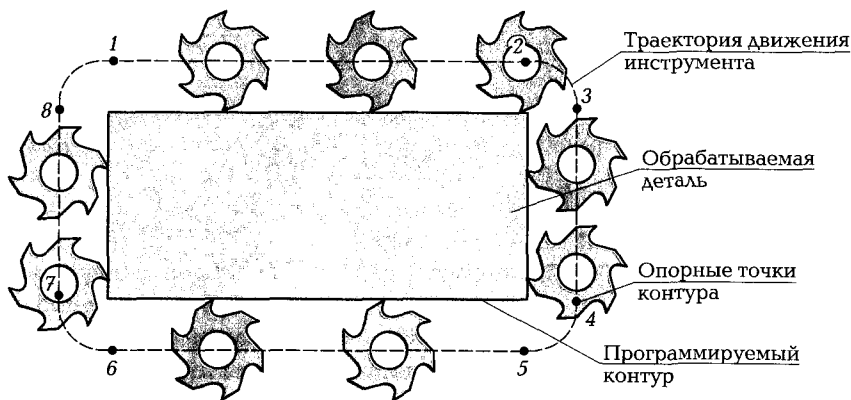


Рис. 10.6. Траектория инструмента как совокупность опорных точек (1...8 — опорные точки траектории)

мента при контурной обработке является эквидистантной к контуру детали. Эквидистантой называется геометрическое место точек, равноудаленных от какой-либо линии и расположенных по одну сторону от нее. Поэтому траекторию движения также называют *эквидистантой*. В УП должны быть заложены величина и направление перемещения инструмента. Для этого положения опорных точек необходимо определить в той или иной системе координат. Наиболее распространенными системами координат являются: прямоугольная (декартова), цилиндрическая и сферическая. В примере, представленном на рис. 10.7, показаны координаты опорных точек в декартовой системе координат.

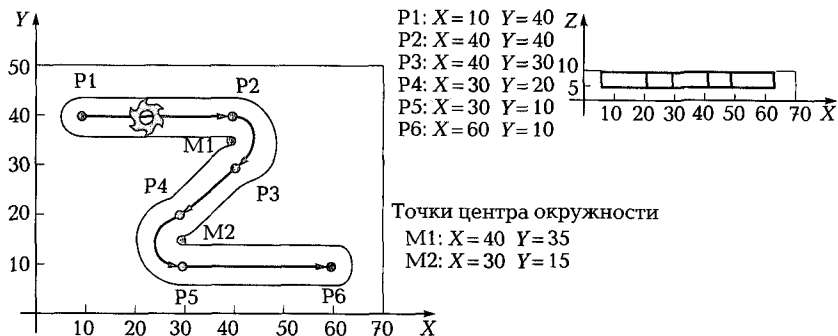


Рис. 10.7. Пример задания опорных точек эквидистанты $P1 \dots P6$ в декартовой системе координат

Следует различать обработку плоских и объемных деталей. Обработывая плоскую деталь, инструмент перемещается в одной плоскости и при этом используется одна или две координаты, например координата X и координата Y . При обработке объемной детали инструменту должна быть обеспечена возможность более сложных перемещений при наличии дополнительных управляемых координат, например координаты Z .

10.2

ПРАВИЛА ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ВО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Формирование траекторий во вспомогательных переходах должно отвечать определенным правилам.

1. Начальная точка врезания обычно отстоит на 1...2 мм от внешней границы припуска, конечная точка совпадает с начальной точкой инструментального перехода.

2. Начальная точка траектории выхода из зоны обработки совпадает с конечной точкой инструментального перехода.

3. Траектория холостого хода инструмента представляет собой совокупность отрезков траектории, соединяющих конечную точку траектории выхода из какого-либо инструментального перехода с начальной точкой врезания при выполнении следующего инструментального перехода.

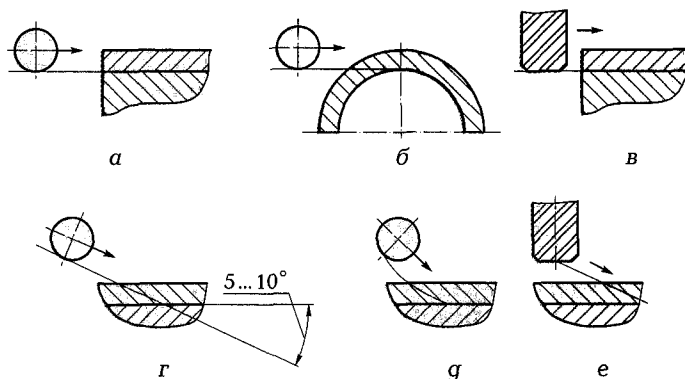


Рис. 10.8. Формируемые траектории врезания:

$a, б, в, г$ — подход инструмента к обрабатываемой поверхности по касательной;
 $г, е$ — подход инструмента к обрабатываемой поверхности под углом $5...10^\circ$

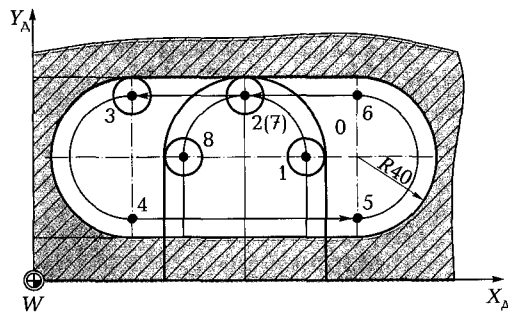


Рис. 10.9. Формирование траектории врезания при обработке внутреннего контура (1...8 — опорные точки траектории)

4. При фрезеровании для врезания в припуск обрабатываемой детали выбирается выпуклый конструктивный элемент, подход к вершине которого возможен по касательной (рис. 10.8, а...в).

Подход к плоской поверхности осуществляется под малым углом $5 \dots 10^\circ$ (рис. 10.8, г, е) или по касательной окружности (рис. 10.8, г). Подход к контуру окна (выпуклой поверхности) осуществляется по дуге окружности, касательной к обрабатываемому контуру или поверхности (рис. 10.9).

5. В случае подхода к обрабатываемой поверхности с перемещением по оси Z наиболее производительной является вертикальное врезание при использовании фрез с осевым врезанием. При значительном припуске врезание следует проводить либо с предварительным опусканием инструмента в заранее высверленное

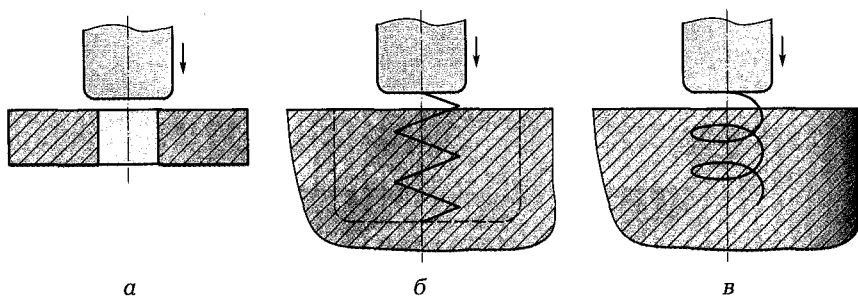


Рис. 10.10. Формирование траектории врезания с перемещением по оси Z: а — опускание в заранее просверленное отверстие; б — зигзагообразным движением инструмента; в — по спирали

отверстие (рис. 10.10, а) либо зигзагообразным движением инструмента под углом $10 \dots 15^\circ$ (рис. 10.10, б), либо движение по спирали (рис. 10.10, в).

6. Не допускается остановка фрезы или резкое изменение подачи в процессе резания, когда режущие кромки инструмента соприкасаются с обрабатываемой поверхностью. Перед остановкой, режимом изменения подачи, подъемом или опусканием инструмента необходимо обеспечить отвод инструмента от поверхности.

10.3. ПРАВИЛА ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ РАБОЧИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ

При выборе формы траекторий рабочих перемещений инструментов учитывают следующие факторы:

- ▣ конструктивные особенности участка обработки (наличие препятствий по контуру плоскости, жестких элементов);
- ▣ метрические и топологические характеристики обрабатываемой плоскости ее контура (площадь, многосвязность, вид контура);
- ▣ тип кривых, составляющих контур;
- ▣ марка обрабатываемого материала;
- ▣ состояние заготовки (штамповка, прокат, литье и т. д.);
- ▣ динамические характеристики станка, например разность скоростей рабочих органов при изменении направления траектории инструмента.

Наиболее распространенные формы траекторий рабочих перемещений приведены в табл. 10.1 — для точения, в табл. 10.2 — для обработки отверстий и в табл. 10.3 — для обработки фрезерованием.

При разработке плана операций построение траекторий рабочих перемещений в инструментальных переходах производится с учетом следующих правил.

1. В целях снижения коробления и предупреждения зарезов обработка конструктивного элемента детали производится от менее жесткого участка к более жесткому. Например, обработка колодца должна начинаться из центра, а кармана — с середины открытой стороны.

2. Последний чистовой проход выполняется со снятием припуска не более $0,1 \dots 0,2$ активного диаметра фрезы D_a .

3. При обработке внешнего контура детали применяется попутное фрезерование, т. е. обход внешнего контура по часовой стрелке, внутреннего контура — против часовой стрелки.

4. Обычно обработка контура производится за два или более проходов (черновая, получистовая и чистовая обработки).

При этом избегают отдельного программирования черновой обработки путем использования одной УП для чистовой и черновой обработок применением фрез разных диаметров (рис. 10.11, а) и смещения исходной точки программы (рис. 10.11, б).

5. В случае обработки зеркально отображенных контуров на станке с ЧПУ можно получить контур левой части по УП, записанной для правой части, путем переключения полярности сигналов управления. При этом изменяют направление вращения шпинделя станка на обратное и выбирают леворежущий инструмент (вместо праворежущего).

Таблица 10.1. Формы траектории инструмента при точении

Обработка открытых зон	Обработка полукрытых зон	Обработка закрытых зон
Основные зоны обработки		
Траектория «петля»		
Траектория «виток»		
Траектория «спуск»		

Обработка открытых зон	Обработка полуоткрытых зон	Обработка закрытых зон
Дополнительные зоны обработки		
Специальные траектории		

Таблица 10.2. Зависимость формы траектории инструмента от вида обработки отверстия

<p>Нарезание резьбы</p>	<p>Нарезание резьбы</p>	<p>Нарезание резьбы</p>
<p>Нарезание резьбы</p>	<p>Нарезание резьбы</p>	<p>Нарезание резьбы</p>
<p>Нарезание резьбы</p>	<p>Нарезание резьбы</p>	

Таблица 10.3. Форма траектории инструмента при фрезеровании детали

Зоны обработки		
Полуоткрытые зоны		
<p>Траектория обработки выступов левой анти-спиралью</p>	<p>Траектория обработки кармана левой ленточной спиралью</p>	<p>Траектория выборки массива «правой строкой»</p>
<p>Траектория обработки выступа правой антиспиралью</p>	<p>Траектория обработки кармана правой ленточной спиралью</p>	<p>Траектория выборки массива «левой строкой»</p>
Закрытые зоны		
<p>Траектория обработки колодца левой спиралью</p>	<p>Траектория обработки колодца эквидистантными контурами</p>	<p>Траектория подхода фрезы к плоской поверхности по касательной окружности</p>
<p>Траектория обработки колодца правой спиралью</p>	<p>Траектория подхода фрезы к плоской поверхности под малым углом</p>	

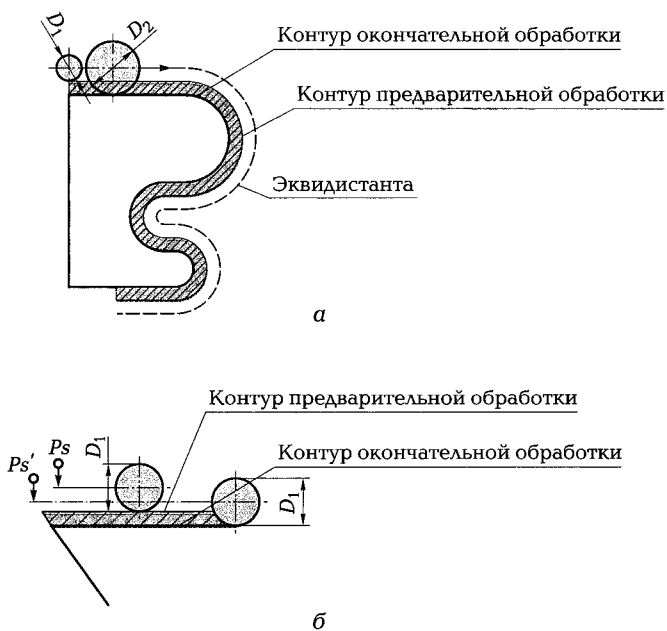


Рис. 10.11. Возможности применения одной программы для проведения черновой и чистовой обработки контура детали:

a — использованием разных диаметров фрез; *б* — смещением исходной точки программы P_s

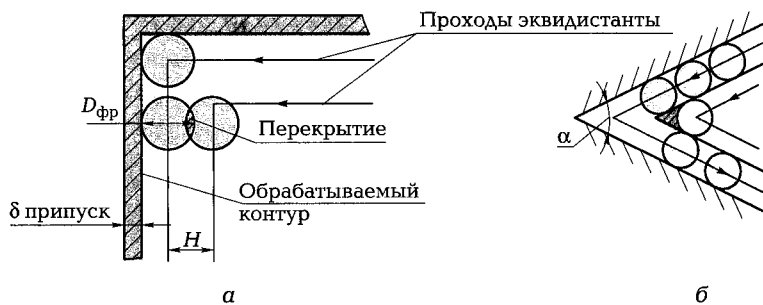


Рис. 10.12. Схемы для расчета расстояния H между проходами траекторий: *a* — для траекторий типа «строка»; *б* — для траекторий типа «спираль», «ленточная спираль»

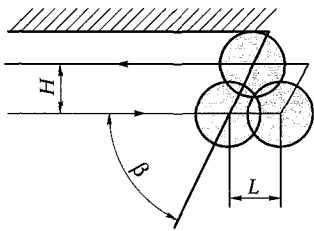


Рис. 10.13. Схема для расчета выхода инструмента за границу обрабатываемого контура L при использовании траекторий типа «строка» и «ленточная спираль»

6. Расстояние H между соседними проходами при торцевой обработке концевыми фрезами в случае применения траектории типа «строка», «спираль» и «ленточная спираль» (рис. 10.12) выбирается из условия достаточного перекрытия соседних проходов по формуле

$$H = D_a K_{\pi}$$

где D_a — активный диаметр фрезы, мм; $D_a = D - 2r$ (r — радиус заточки фрезы, мм); K_{π} — коэффициент перекрытия.

Для траектории «строка» при чистовой обработке $K_{\pi} = 0,9 \dots 0,95$. Для траектории «спираль» и «ленточная спираль» на детали может появиться недорез в случае, например, обработки угловой поверхности, поэтому принимают $K_{\pi} = (1 + \sin \alpha/2)/2$, где $\alpha/2$ — наименьший угол, образованный сторонами обрабатываемого контура (см. рис. 10.12, б).

7. Расстояние A необходимого выхода инструмента за открытую границу контура из условия полной обработки поверхности при использовании траектории типа «строка» и «ленточная спираль» с $H = 0,9D_a$ определяется по формуле

$$A = H/(2\text{tg}\beta),$$

где h — шаг строки; β — угол между линией траектории «строка» и открытой стороной контура детали (рис. 10.13).

10.4

НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ

Для токарной обработки используют широкий ассортимент резцов, центровочного, сверлильного и резьбообразующего инструмента. Выбор оптимальных режимов резания для каждого из них весьма важен и определяет помимо производительности надежность работы оборудования. В качестве примера ниже приведены рекомендации по назначению режимов резания.

Для работы центровочного инструмента рекомендуется:

- для сверл диаметром 6,3 мм при обработке заготовок из стали 45 — подача $S = 0,12$ мм/об, скорость резания $v = 32,0$ м/мин;
- при обработке заготовок серого чугуна — подача $S = 0,18$ мм/об, скорость резания $v = 27,1$ м/мин;
- при обработке заготовок из сталей с $HB < 229$ указанные выше значения подачи умножить на 1,3, из сталей с $HB > 270$, серого чугуна с $HB > 229$ — на 0,8 [10].

Режимы резания при сверлении выбирают по нормативам. Выбранные режимы резания необходимо проверить по допустимому станком значению подачи, мощности или крутящему моменту, а для обработки деталей из стального прутка — по силе зажима, допустимому патроном (или цангой). Допустимые значения износа инструмента при обработке с охлаждением заготовок из стали составляют:

- для сверл диаметром до 20 мм по задней грани — 0,4...0,8 мм, по углам — 0,5...0,8 мм, по ленточкам — 1,0...1,2 мм;
- для сверл диаметром более 20 мм по задней грани — 0,8...1,0 мм, по углам — 0,8...1,0 мм, по ленточкам — 1,3...1,5 мм.

При черновом точении основных поверхностей марку используемого твердого сплава, глубину резания и подачу назначают по нормативам [10].

При обработке заготовок из стали, для того чтобы учесть влияние материала заготовки на формирование стружки, вводят поправочный коэффициент k_s на величину подачи, а скорость резания и мощность определяют по данным, приведенным в [10].

На чистовых переходах режимы резания назначают с учетом требований к чистоте и точности обрабатываемых поверхностей. Припуск, равный глубине резания, выбирают по табл. 10.4, а подачу — по табл. 10.5. Если требуется обработать поверхность с другими характеристиками, необходимо вводить поправочные коэффициенты на величину подачи в зависимости от параметров шероховатости k_s , материала заготовки k_{s1} и формы поверхности k_{s3} (табл. 10.6).

Для обработки небольших поверхностей типа фасок, узких поясков подачу назначают с учетом указанных поправочных коэффициентов и дополнительно проверяют по ширине поверхности таким образом, чтобы значение подачи не превышало $1/3$ ширины поверхности (фаски, пояски и др.). Подрезание торца при перемещении контурных резцов по направлению от центра вращения шпинделя можно выполнить с подачей в 2,5 раза большей, чем при чистовом продольном точении.

Таблица 10.4. Припуск на черновую обработку

Обрабатываемая поверхность	Припуск, мм	Обрабатываемая поверхность	Припуск, мм
Цилиндрическая коническая, криволинейная наружная	0,7 ... 0,8	Торцовая наружная при точении в направлении: к центру вращения шпинделя от центра вращения шпинделя	0,6 ... 0,8 0,15 ... 0,20
Внутренняя с диаметром: от 30 до 50 мм 50 мм и более	0,4 0,5 ... 0,6	Торцовая внутренняя при точении в направлении к центру вращения шпинделя	0,15 ... 0,20

Таблица 10.5. Поддачи для чистовых работ

Параметр шероховатости поверхности R_a , мкм	Поддача S , мм/об, при радиусе r у вершины резца, мм					
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
0,63	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25	0,10	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,50	0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
5,00	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
10,00	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
20,00	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Таблица 10.6. Поправочные коэффициенты

Параметр	Поправочный коэффициент		
	k_{S_1}	k_{S_2}	k_{S_3}
Шероховатость поверхности R_a , мкм:			
10	1,8	—	—
5	1,0	—	—
2,5	0,7	—	—
Материал заготовки — сталь:			
10, 15, 20Л, 30, 40, 15Х, 45, 50, 20Х, 30Х,	—	0,75	—
35Х, 38ХА, 40Х, 50Х, 40ХН, 18ХГТ, ВТ3-1,	—	1,0	—
ВТ5-1	—	—	—
50ХФ, 40ХФ, 38ХМЮА	—	1,25	—

Окончание табл. 10.6

Параметр	Поправочный коэффициент		
	k_{S_1}	k_{S_2}	k_{S_3}
Угол, образуемый обрабатываемой поверхностью с осью координат, град.:			
более 5	—	—	1,0
от 3 до 5	—	—	0,7
менее 3	—	—	0,5

Режимы резания для черновых проходов при обработке дополнительных поверхностей назначают по табл. 10.7 (выбор подачи) и по табл. 10.8 и 10.9 (выбор скорости резания). Чистовые проходы прорезными резцами по дну канавок выполняют с подачей, указанной в табл. 10.11, и со скоростью резания, предусмотренной для черновых проходов (см. табл. 10.8... 10.10).

Таблица 10.7. Подачи на черновых проходах при прорезке и отрезке заготовок из стали и чугуна

Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Ширина резца b , мм	Подача S , мм/об, при обработке заготовок			
		из закаленной стали			из чугуна HB 229
		HRC _A < 51	HRC _A > 51	$\sigma_B = 750$ МПа	
Не более 20	1,3	0,05...0,07	0,03...0,05	0,05...0,10	0,11...0,14
40	3	0,07...0,09	0,05...0,07	0,10...0,12	0,16...0,19
60	3...6	0,09...0,11	0,07...0,09	0,13...0,16	0,20...0,24
100	6	0,11...0,13	0,09...0,11	0,16...0,18	0,24...0,27
150	6...10	0,13...0,15	0,11...0,15	0,18...0,22	0,30...0,35
200 и более	10	0,17...0,20	—	0,28...0,32	0,40...0,45

П р и м е ч а н и е. При работе резцами, установленными в револьверной головке, следует умножить на коэффициент 0,8.

Таблица 10.8. Скорость резания при прорезке и отрезке заготовок из конструкционной стали (инструмент — резцы из быстрорежущей стали)

Подача S , мм/об	Скорость резания v , мм/ин	Подача S , м/об	Скорость резания v , м/мин
0,1	42	0,31	20
0,13	36	0,39	17

Подача S , мм/об	Скорость резания v , мм/ин	Подача S , м/об	Скорость резания v , м/мин
0,16	31	0,49	15
0,2	27	0,6	13
0,25	23	0,76	11,2

Таблица 10.9. Скорость резания при прорезке и отрезке заготовок из серого чугуна (инструмент — резцы из быстрорежущей стали)

Твердость чугуна НВ	Скорость резания v , м/мин, при подаче S , мм/об									
	0,06	0,08	0,1	0,14	0,18	0,25	0,33	0,44	0,6	0,8
143...229	36	32	28	25	22	20	17,7	15,7	14	12,4
170...225	32	28	25	22	20	17,7	15,7	14	12,4	11
197...269	28	25	22	20	17,7	15,7	14	12,4	11	9,8

Режимы резания при обработке канавок прорезным и контурными резцами назначают для прорезных резцов по табл. 10.7 и 10.10, для контурных резцов — по табл. 10.8.

Для процесса фрезерования выбор необходимых режимов резания и их корректировка с учетом условий реализации инструментальных переходов проводится по специальной справочной литературе [15].

Исходными данными при этом являются:

- для детали — марка и твердость обрабатываемого материала, состояние поверхности (наличие или отсутствие предварительной термообработки), величина обрабатываемого размера, требования по точности и шероховатости, величина снимаемого припуска;
- для инструмента — основные геометрические размеры режущей части, вылет инструмента, количество зубьев, материал режущей части;
- для станка — мощность приводов, пределы частот вращения шпинделя и подач рабочих органов.

В общем виде рекомендуется определенная последовательность выбора режима резания:

1) исходя из вида обрабатываемого материала (легкие сплавы, стали, чугун и др.) и нормативных значений на величины параметров, определяющих: диаметр фрезы, число зубьев, длину режущей части, глубину фрезерования, выбирают по таблицам нормативное значение подачи на зуб;

Таблица 10.10. Скорость резания при прорезке и отрезке заготовок (инструмент — резцы с пластинами из твердого сплава)

Материал заготовки	Механическая характеристика		Скорость v , м/мин, при подаче S , мм/об										
	σ_B , МПа	НВ	0,1	0,12	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,39	0,52	0,7
Сталь конструкционная углеродистая и легированная	440...490	126...140	218	193	172	153	136	120	107	95	75	59	—
	500...550	141...158	193	172	153	136	120	107	95	85	67	53	—
	560...620	159...177	172	153	136	120	107	95	85	75	59	47	—
	630...700	178...200	153	136	120	107	95	85	75	67	53	42	—
	710...790	201...226	136	120	107	95	85	75	67	59	47	37	—
Чугун серый	800...890	227...255	120	107	95	85	75	67	69	53	42	33	—
	900...1000	256...286	107	95	85	75	67	59	53	47	37	29	—
	—	143...229	70	66	62	59	55	52	49	46	41	36	32
		170...255	62	59	55	52	49	46	44	41	36	32	29
		197...269	55	52	49	46	44	41	39	36	32	29	26

2) выбранное нормативное значение подачи на зуб корректируют с учетом следующих факторов: параметры шероховатости обрабатываемой поверхности, отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному значению, способы крепления детали и инструмента на станке;

3) по полученному значению скорректированной подачи на зуб выбирают по таблицам нормативные значения требуемых при обработке величин: скорость резания, обороты шпинделя и минутная подача;

Таблица 10.11. Подача для чистовых проходов при протачивании канавок

Глубина резания t , мм	Ширина резца b , мм	Подача S , мм/об, при обработке заготовок			
		из закаленной стали		из стали $\sigma_a = 750$ МПа	из чугуна HB 229
		HRC _s < 51	HRC _a > 51		
0,1	1	0,07	—	0,10	0,15
	2	0,10	—	0,15	0,20
	3	0,2	0,1	0,30	0,4
0,15...0,20	6	0,2	0,15	0,50	0,8
	10	0,5	0,25	0,60	1,0








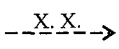
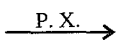
4) в зависимости от условий обработки, а именно: вида обрабатываемой заготовки (штамповка, отливка и др.), вида обрабатываемой поверхности (плоскость, уступ, криволинейная поверхность и др.), марки обрабатываемого материала, марки режущей части инструмента, отношения фактической ширины фрезерования к нормативной, корректируют нормативные значения величины скорости резания, оборотов шпинделя и минутной подачи, которые в дальнейшем будут использоваться в управляющих программах при обработке зон детали или ее элементов;

5) выбор режима резания проверяют по потребной мощности привода станка, значение которой определяют по таблицам и уточняют в зависимости от твердости обрабатываемого материала.

10.5. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Расчетно-технологическая карта — содержит все технологические решения, принятые на этапах технологической проработки, и представляет собой законченный проект обработки детали на

станке с ЧПУ в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми пояснениями и размерами. При ее оформлении используются следующие обозначения:

	Исходные точки программы
	Точки останова инструмента
	Вертикальный подъем инструмента (на 20 мм)
	Вертикальное опускание инструмента (на 20 мм)
	Перемещение фрезы с одновременным подъемом
	Перемещение фрезы с одновременным опусканием
	Центр сечения базирующего штифта оснастки
	Траектория холостого хода (х.х.)
	Траектория рабочего хода (р.х.)

По данным расчетно-технологической карты рассчитываются УП обработки детали.

Оформление карты производится в такой последовательности:

1) деталь вычерчивают и назначают систему координат детали W ;

2) производят увязку размеров детали в данной системе координат W ;

3) выбирают исходную точку программы P_s ;

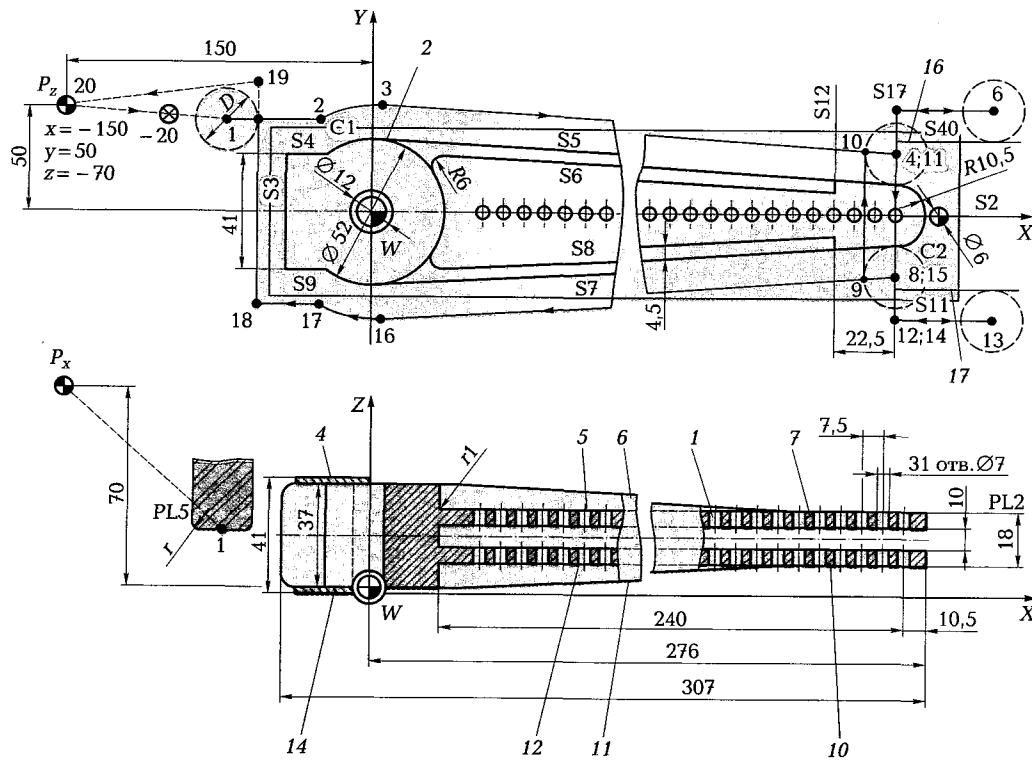
4) намечают расположение прижимов и зон крепления в соответствии с рекомендациями по выбору оснастки;

5) выбирают последовательность обработки элементов детали, параметры режущего инструмента и заносят в таблицу;

6) наносят траектории движения инструментов (построение эквидистанты), при этом началом и концом траектории является исходная точка программы P_s ;

7) на траектории движения отмечают (цифрами или буквами) опорные точки траектории и ставят стрелки направления движения инструмента;

8) указывают опорные точки, где происходит останов инструмента (для смены инструмента, переключения числа оборотов шпинделя, пережатия детали) с указанием продолжительности в секундах;



№ программы	Базирование	Номер операции	Вид перехода	$D_{\text{ин}}$	r	l	z	Материал инструмента	V_{max}	t_{max}	Припуск, мм		$n, \text{мин}^{-1}$	$v, \text{мм/мин}$	Содержание инструментального перехода
											по дну	по ребру			
1606-81-01	Отверстия $\text{Ø}6$ и $\text{Ø}12$ мм, плоскость 14	1	01	30	1	80	2	P18	30	41/2	1	1	1025	232	Черновое фрезерование внешнего контура 2, плоскостей 16, 17, 4, ребер 6, плоскости 7
1606-81-02	То же	1	02	30	1	80	2	P18	30	14	2	2	1150	500	Выработка массива контура 5
1606-81-03	То же, плоскость 4	1	03	30	1	80	2	P18	30	14	1	1	1023	444	Черновое фрезерование плоскости 14, ребер 11, плоскости 10
1606-81-02	»	1	04	30	1	80	2	P18	30	14	2	2	1150	500	Выбор массива контура 12
1606-81-04	»	1	05	12	1	40	2	P18	12	1	1	1	3060	413	Черновое фрезерование дна и ребер внутреннего контура 12
1606-81-05	»	1	06	12	1	40	2	P18	12	1	0	0	3060	413	Чистовое фрезерование дна и ребер внутреннего контура 12, плоскости 14, ребер 11, плоскости 10
1606-81-06	»	2	07	6,7	-	40	2	P6 K6	-	18	-	0,3	999	120	Сверление 31 отв. $\text{Ø}7$
1606-81-07	Плоскость 16, упоры	2	08	4	-	60	-	P18	-	52	-	2	999	60	Зацентровка паза 1
	То же	2	09	4	-	60	-	P18	-	52	-	2	999	60	Сверление паза 1

Рис. 10.14. Расчетно-технологическая карта изготовления детали «рычаг» (начало)

№ программы	Базирование	Номер операции	Вид перехода	$D_{\text{пл}}$	r	l	z	Материал инструмента		$V_{\text{пл}}$	$t_{\text{пл}}^*$	Припуск, мм		$L, \text{ мин}^{-1}$	$V, \text{ мм/мин}$	Содержание инструментального перехода
								z	r			по ану	по ребру			
				мм				мм								
1606-81-08	»	1	09	8	1	75	4	P18	8	25	0	0,1	2 745	740		Черновое фрезерование паза 1
1606-81-05	Отверстия $\varnothing 6$ и 12 мм, плоскость 14	1	11	12	1	40	2	P18	12	1	0	0	3 060	413		Чистовое фрезерование плоскости 7, дна и ребер внутреннего контура 5
1606-81-09	То же	1	12	30	1	80	2	P18	1	37	0	0	1 470	635		Чистовое фрезерование внешнего контура 2

Примечание. В таблице приведены следующие обозначения: l — длина режущей части инструмента; $V_{\text{пл}}$, $t_{\text{пл}}^*$ — ширина и глубина обработки.

*В знаменателе указано число проходов.

Рис. 10.14. Расчетно-технологическая карта изготовления детали «рычаг» (окончание)

9) проставляют рассчитанные режимы резания в таблицу;

10) дополнительные данные наносят буквами или цифрами.

Расчетно-технологическая карта обработки на станке с ЧПУ детали «рычаг» показана на рис. 10.14.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое операционный технологический процесс изготовления детали на станке с ЧПУ?
2. Чем отличаются инструментальный и позиционный переходы?
3. Что такое опорная точка траектории движения режущего инструмента?
4. Какие формы траекторий токарной обработки вы знаете?
5. Какие формы траекторий фрезерной обработки вы знаете?
6. Для чего необходим коэффициент перекрытия при формировании траектории движения инструмента?
7. Что такое расчетно-технологическая карта изготовления детали на станке с ЧПУ?

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И КОДИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

11.1. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ

Исходной информацией этапа расчета и кодирования траекторий движения инструментов являются данные расчетно-технологической карты. Вначале определяются координаты опорных точек, т. е. точек, в которых изменяются геометрические или технологические параметры траекторий.

Кодирование информации о траектории движения инструмента производится в УП в виде последовательности кадров УП. Каждый кадр УП состоит из «слов», определяющих значение перемещений по координате x , y , z . Каждый кадр УП вводится в систему ЧПУ станка и обрабатывается специальными алгоритмами интерполяции.

Алгоритмы интерполяции обслуживают тот кадр программы, который в данный момент времени является рабочим. Интерполяционные вычисления производятся для того, чтобы получить информацию, необходимую для управления приводами подачи станка для движения по заданной траектории, в декодированной форме и с определенной точностью.

Если перемещение инструмента происходит по кривой, она сначала аппроксимируется СЧПУ ломаной линией, число участков которой определяется в зависимости от требуемой точности обработки.

Аппроксимация — процесс замены одной функциональной зависимости другой с определенной степенью точности (рис. 11.1). Процесс аппроксимации нужен для того, чтобы станок мог обработать криволинейные участки перемещением рабочих органов по соответствующим координатам (x , y , z). В процессе аппрокси-

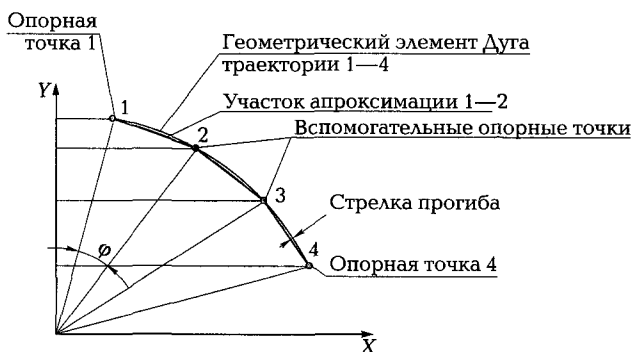


Рис. 11.1. Аппроксимация дуги окружности

мации геометрический элемент траектории, ограниченный опорными точками, разбивается на элементарные участки, называемые участками аппроксимации. Участок аппроксимации дуг окружности удобно выражать величиной угла $\Delta\varphi$.

Точки, разграничивающие участки аппроксимации, называются **промежуточными опорными точками**. Точность аппроксимации тем выше, чем меньше длина участков аппроксимации. Величина участков рассчитывается исходя из заданной величины точности аппроксимации. Точность аппроксимации определяется стрелкой прогиба — максимальным отклонением аппроксимирующей линии от аппроксимируемой поверхности (см. рис. 11.1).

Функцией интерполяции является преобразование двоично-десятичного кода кадров УП в унитарный код управления приводом.

Унитарный код — последовательность импульсов, количество которых определяет заданную величину перемещения, а частота следования — подачу рабочего органа станка. При интерполяции выдается совокупность импульсов унитарного кода в каждый момент времени, что определяет текущее положение рабочего органа станка с точностью, зависящей от принятой цены импульса (дискретности УЧПУ).

Интерполяция — процесс получения с требуемой точностью координат промежуточных точек траекторий по координатам крайних вспомогательных опорных точек аппроксимируемого контура и заданной функции интерполяции (рис. 11.2).

Линейная интерполяция — движение инструмента по прямой линии (рис. 11.3).

Ввиду того что информация о перемещении по координатам выдается дискретно, действительная траектория перемещения будет

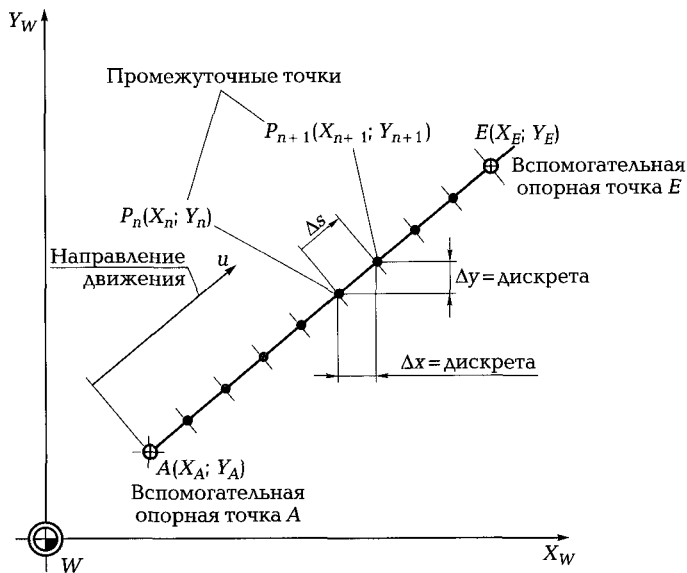


Рис. 11.2. Интерполирование поверхности

представлять собой ступенчатую форму. Величина погрешности интерполяции зависит от соотношения величин перемещения по координатным осям, т. е. от длины и угла наклона отрезка прямой.

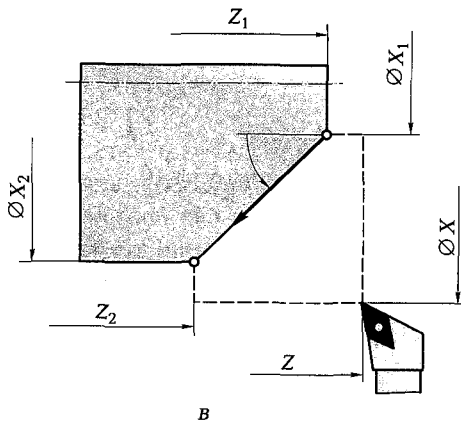
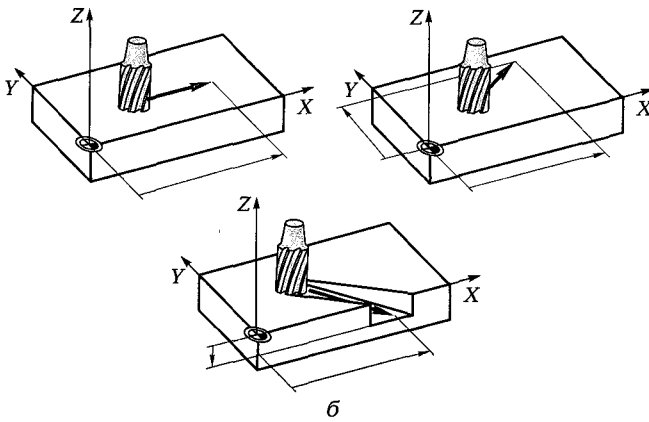
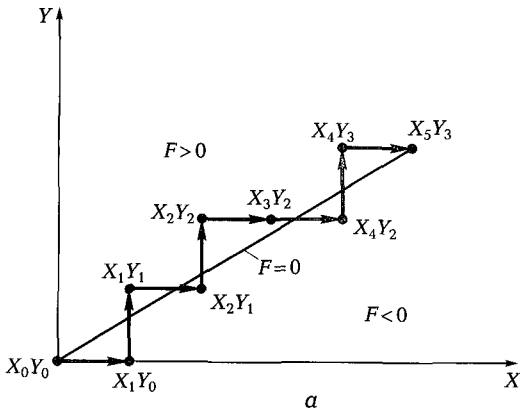
Линейная интерполяция может быть реализована методом оценочной функции.

Интерполируемая прямая (рис. 11.3, а) разделяется плоскостью XU на две области: $F > 0$ (значения оценочной функции F положительны) и $F < 0$ (значения оценочной функции F отрицательны). Область $F > 0$ находится над прямой, область $F < 0$ — ниже ее, интерполируемый отрезок OA представляет собой область, где $F = 0$.

Если промежуточная точка траектории интерполяции (например, точка с координатами x_1, y_1) находится в области $F > 0$, то следующий шаг (перемещение на одну дискрету) дается по оси X . Если же промежуточная точка траектории, например точка с координатами x_2, y_1 , находится на области $F < 0$, то следующий шаг (перемещение на одну дискрету) дается по оси Y .

Рис. 11.3. Линейная интерполяция:

а — линейная интерполяция методом оценочной функции; б — движение инструмента при фрезеровании по управляемым координатам X, Y, Z ; в — движение инструмента при точении по управляемым координатам X, Z



Начало интерполируемого отрезка всегда находится в начале координат. При этом начальная точка траектории интерполяции находится в начале интерполируемого отрезка (в области $F = 0$) и имеет координаты $x_0 = 0, y_0 = 0$.

Так как начальная точка траектории интерполяции находится в области $F = 0$, то первый шаг подразделяется по оси X в точку с координатами $x_1 = 1; y_0 = 0$. Эта точка находится в области $F < 0$, поэтому следующий шаг делается по оси Y в точку с координатами $x_1 = 1, y_1 = 1$. Шаги делаются непрерывно (с частотой, определяемой блоком задания скорости) до тех пор, пока траектория интерполяции не достигнет конца отрезка с координатами x_k, y_k .

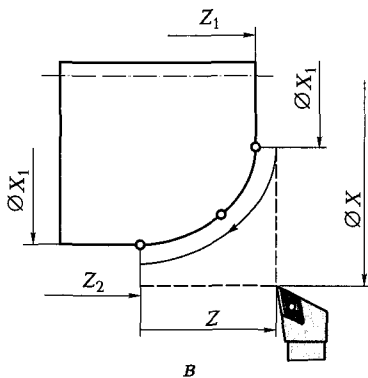
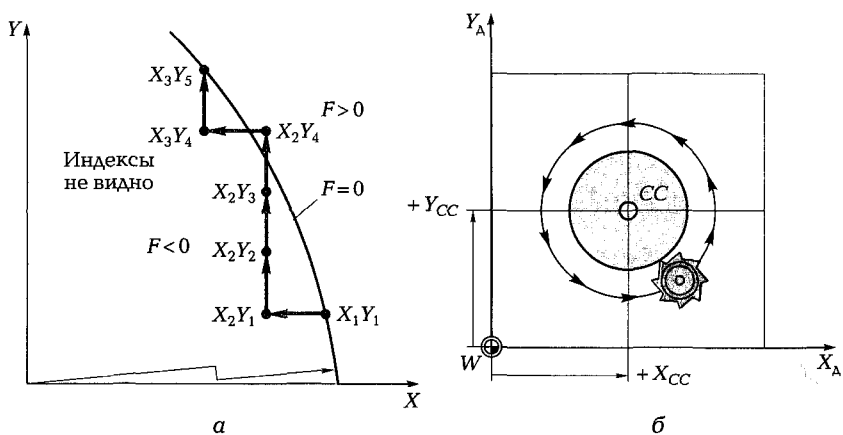


Рис. 11.4. Круговая интерполяция:

а — круговая интерполяция методом оценочной функции; б — движение инструмента при фрезеровании; в — движение инструмента при точении

Величина и знак оценочной функции вычисляются интерполятором. Для каждой промежуточной точки траектории интерполяции (с координатами x_i, y_i) оценочная функция F_{ij} зависит от координат x_k, y_k конечной точки интерполируемого отрезка, вводимых в УП, и вычисляемых текущих координат x_i, y_i , т.е. $F_{ij} = y_i x_k - x_i y_k$.

Круговая интерполяция — движение инструмента по дуге (рис. 11.4).

Реализация круговой интерполяции методом оценочной функции происходит аналогично линейной.

Система ЧПУ может перемещать инструмент по прямым и круговым траекториям (дугам) в ходе обработки. Это действие будет в дальнейшем упоминаться как «интерполяция».

Движение инструмента при линейной интерполяции в процессе фрезерования показано на рис. 11.3, б, а в процессе точения — на рис. 11.3, в.

Движение инструмента при круговой интерполяции в процессе фрезерования показано на рис. 11.4, б, а в процессе точения — на рис. 11.4, в.

11.2

СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

В УП задается последовательность операций обработки детали с указанием всех необходимых технологических данных, которые должны быть выполнены станком с ЧПУ: движения рабочих органов при формировании траекторий обработки; скорость перемещения органов станка, скорость вращения шпинделя, набор инструментов, вспомогательные функции станка, например, включение охлаждающей жидкости, выбор направления вращения шпинделя и т. д.

Информацию УП для станков с ЧПУ кодируют в соответствии с рекомендациями международной организации по стандартизации ISO с учетом особенностей применяемого устройства ЧПУ.

При кодировании информации используют универсальный способ записи, при котором УП составляется из кадров, разделяемых между собой знаком *конец кадра* — LF. Кадры состоят из слов. Слово описывается определенным буквенным адресом со своим числовым значением, отображающим величину перемещения рабочего органа станка, величину подачи или скорости вращения шпинделя либо другую функцию станка.

Основные понятия. Структура программы. Программа:

- представляет собой последовательность операций обработки;
- подразделяется на кадры, которые содержат информацию об условиях и длине перемещения и вспомогательных функциях станка.

Начало программы:

- в коде ISO обозначается знаком «%»;
- это отдельный кадр без дальнейшей информации;
- служит системе ЧПУ знаком остановки при возврате УП.

Кадр:

- содержит не менее двух слов;
- состоит из номера кадра, одного или нескольких слов и знака конца кадра (LF);
- знак конца кадра должен стоять обязательно;
- длина может быть различной (не более 100 знаков/кадр);
- последовательность слов любая;
- слова «номер кадра» должны всегда стоять в начале кадра.

Пример:

<u>N0120</u>	<u>G00</u>	<u>X100</u>	<u>Y100</u>	<u>M03</u>	<u>S10</u>	<u>LF</u>
Номер кадра		Слова				Знак конца кадра

Номер кадра:

- первое слово кадра программы;
- состоит из буквы адреса N и 4-значной цифровой последовательности, которая может иметь значение от 1 до 9999.

Последовательность:

- номера кадров должны программироваться в возрастающей последовательности;
- один номер кадра может быть запрограммирован в отдельном кадре только один раз.

Шаг:

- рекомендуется программировать номера кадров с шагом 2, 5 или 10;
- чем больше шаг, тем больше можно включить дополнительных кадров в режиме «Редактирование».

Примеры: N2.. или N5.. или N10..
N4.. N10.. N20..
N6.. N15.. N30..
N8.. N20.. N40...

«Стоп» в конце программы:

- в конце программы в качестве последнего слова последнего кадра в УП программируется M02;
- сразу после ввода последнего кадра происходит останов кассеты или перфоленты;
- устройство ввода останавливается на последнем знаке.

«Обратная перемотка» в конце программы:

- в конце программы в качестве последнего слова последнего кадра может программироваться M30;
- сразу после ввода последнего кадра происходит перемотка перфоленты или кассеты к началу программы.

Конец программы:

- после выполнения последнего кадра следует «КОНЕЦ ПРОГРАММЫ»;
- задается знаком «FE₀».

Структура кадра.

Символ:

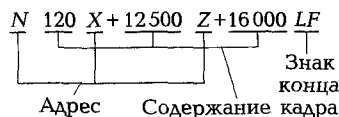
- число, буква или знак, используемые для выражения информации;
- используемые символы должны соответствовать символам согласно ГОСТ 20999—83 «Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ» (см. табл. 11.1).

Пример: I, G, %, 3, X, LF...

Адрес:

- структура кадра представляет собой запись адресов;
- адрес слова изображается адресной буквой (табл. 11.2);
- содержание слова изображается цифрами;
- количество допустимых адресов и цифр зависит от конструкции устройства ЧПУ;

Пример:



- один адрес можно запрограммировать в одном кадре только один раз;
- из двух одинаковых запрограммированных адресов будет действительным адрес, запрограммированный последним;

Таблица 11.1. Значение управляющих символов и знаков

Символ	Наименование	Значение
HT	Табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати при распечатке управляющей программы. УЧПУ не воспринимается
LF	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра управляющей программы
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало управляющей программы (используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке)
(Круглая скобка левая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не должна обрабатываться на станке
)	Круглая скобка правая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна обрабатываться на станке
+	Плюс	Математический знак
—	Минус	Математический знак
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа «Конец кадра» может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами «Номер кадра» и «Главный кадр», он действует на целый кадр управляющей программы
:	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр управляющей программы

Таблица 11.2. Значение символов адресов

Символ	Значение
A	Угол поворота вокруг оси X
B	Угол поворота вокруг оси Y
C	Угол поворота вокруг оси Z
D	Вторая функция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Первая функция подачи
G	Подготовительная функция
H	Запасная функция
I	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z
L	Запасная функция
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Запасная функция
P	Третичное перемещение, параллельное оси X
Q	Третичное перемещение, параллельное оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичное перемещение, параллельное оси Z
S	Функция главного движения
T	Первая функция инструмента
U	Вторичное перемещение, параллельное оси X
V	Вторичное перемещение, параллельное оси Y
W	Вторичное перемещение, параллельное оси Z
X	Первичное перемещение, параллельное оси X
Y	Первичное перемещение, параллельное оси Y
Z	Первичное перемещение, параллельное оси Z

Пример: N130 X + 1000 Z + 2000 M03 M04 LF — в этом примере будет действовать только M04.

- рекомендуемая последовательность адресов в кадре: N, G, X, Y, Z, A, B, C, I, J, K, F, F, T, S, M, L.

С л о в о:

- состоит из буквы адреса и последовательности цифр, означающих содержание слова;
- можно программировать слова различной длины;
- все цифровые значения, которые записаны за адресным словом, выражены своей системой измерения. В общем случае нули в начале и в конце могут быть опущены. Если величины имеют десятичную часть, она должна быть записана после десятичной точки;

Пример постоянной длины слова:

N0010 G00 X00005000 T01 S08 M03 LF

Тот же пример с переменной длиной слов:

N10 G0 X5000 T1 S8 M3 LF

Тот же пример, запрограммированный с десятичной точкой:

N10 G0 X.5 T1 S8 M3 LF

- любое слово может быть пропущено, если оно не обязательно в кадре;
- отдельные слова могут располагаться в кадре в произвольном порядке;
- слово в одном кадре не должно повторяться.

Программирование указаний.

С п е ц и а л ь н ы й з н а к « + »:

- положительный знак (плюс « + »);
- можно не записывать, вся записанная без знака информация о длине пути считается положительной;
- если знак записывается, то его место между буквой адреса и первым числом.

Пример: X2000 или X + 2000

С п е ц и а л ь н ы й з н а к « - »:

- отрицательный знак (минус « - »);
- нужно записывать всегда;
- записывается между буквой адреса и первым числом.

З н а к с т и р а н и я:

- код ISO «DEL»;

- если в перфоленте пробит неправильный знак, то знаком DEL его можно стереть.

Пропуск кадра «/»:

- кадры, имеющие перед адресом номера кадра N знак «/» (Slash), не выполняются системой ЧПУ, если выбран «ПРОПУСК КАДРА»;
- для ввода УП обработки детали в программное ЗУ «ПРОПУСК КАДРА» значения не имеет, т.е. кадры, обозначенные «/», также принимаются запоминающим устройством;

Пример: /N120 G0 X10 Z20 M3 LF
N130 G1 X0Z + 1.25 LF

В приведенном примере кадр N120 пропускается, и ЧПУ далее работает с кадром N130, если активен «ПРОПУСК КАДРА». Если «ПРОПУСК КАДРА» не активен, то кадр N120 выполняется обычным образом.

Табулятор:

- код ISO «HT»;
- знаком нельзя пользоваться во время программирования указаний;
- является вспомогательным знаком для программиста, ЧПУ этот знак не нужен;
- можно ставить между отдельными словами программы, с его помощью улучшается обзор программы, но длина перфоленты увеличивается на 25...30%.

Интервал:

- код ISO «SP»;
- является вспомогательным знаком для программиста, ЧПУ он не нужен;
- может стоять между отдельными словами программы;
- с его помощью улучшается обзор программы, но увеличивается длина перфоленты.

Возврат каретки:

- код ISO «CR»;
- означает возврат к началу строки, ЧПУ этот знак не нужен, и он не обрабатывается.

Открытие (закрытие) скобок:

- «(» активирует, «)» закрывает специальную логику, т.е. специальную обработку введенных данных;
- между знаками открытых скобок «(» и закрытых скобок «)» можно программировать все знаки за исключением знаков конца кадра LF, M02, M30, табулятора и возврата каретки.

Звездочка «*»:

- специальный знак, программируется перед «MSG» (*MSG = Message, указание) и «MZA» (*MZA = Maschinen zustand anzeige, индикация состояния станка);
- внутри указания этот знак функции не имеет.

Запятая «,»:

- специальный знак для специальной логики;
- обрабатывается в качестве знака кадра во время программирования указаний и индикации состояния станка;
- ставится после определения специальной логики (например, «*MSG,», «E1,», «Z22,»).

Десятичная точка «.»:

- программируется в информации о длине пути, параметрах интерполяции и других словах с переменными длиной слов и разным количеством знаков;
- в процессе программирования указаний и индикации состояния станка обрабатывается, как знак кадра.

11.3. ТИПЫ КАДРОВ УП

В языке можно определить четыре типа кадров:

- 1) комментирующие кадры;
- 2) кадры ISO;
- 3) кадры назначения;
- 4) кадры с трехбуквенными кодами.

1. **Комментирующий кадр** дает возможность программисту вводить в программу фразы, описывающие функции, которые он должен выполнить, делая, таким образом, программу более читаемой. Такой кадр не учитывается в стадии выполнения программы. Формат состоит из последовательности алфавитно-цифровых символов, из которых первым элементом в обязательном порядке должен быть символ «;».

Пример. ; ЭТО - ПРИМЕР

2. **Кадры ISO** — это кадры, слова которых предусмотрены стандартом ISO.

Пример: G1 X500 Y20F200

3. **Кадры назначения** — непосредственно в УП позволяют определить величину нескольких переменных параметров для вычисления, либо задания геометрических элементов. Впоследствии

эти параметры могут быть использованы в других кадрах УП. В зависимости от типа переменных кадры назначения могут быть:

- с переменными вычисления;

Пример: E30 = 28.5;

- с геометрическими переменными;

Пример: p2 = X10 Y25.

4. **Кадры с трехбуквенными кодами** — это кадры, в которых тип выполняемой операции определен трехбуквенной командой (кодом). Можно вставить в УП сообщение, заключенное в кавычки и предназначенное для оператора станка. Это сообщение программируется трехбуквенным кодом следующим образом:

Пример: (DIS, «текст сообщения»)

Текст сообщения не должен превышать 32 символа.

11.4 ВВОД И ФУНКЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

УП, которую необходимо выполнить, должна быть занесена в память системы ЧПУ. Ввод УП в память может осуществляться с клавиатуры, с перфоленты, с дискеты или с ПК по каналу связи.

Если требуется ввод с перфоленты, то УП записывают на 8-дорожечной перфоленте шириной 25,4 мм по ГОСТ 10860—83 «Ленты перфорированные средств вычислительной техники, аппаратуры передачи данных и телеграфных аппаратов. Форма, размеры и расположение отверстий». В соответствии с ГОСТ 27463—87 «Системы обработки информации. 7-битные кодированные наборы символов» для представления информации на перфоленте используют 7-битный код.

Правильность ввода информации контролируют по четному количеству отверстий в строке перфоленты (контроль по паритету), а также по количеству строк в слове (контроль по структуре кадра). Для проверки по паритету используют восьмую дорожку, на которой пробивается дополнительное отверстие.

На рис. 11.5 приведены символы и их кодовые комбинации при вводе УП с перфоленты. На рисунке в отверстиях указан номер пробиваемой дорожки.

Слова УП, определяющие конкретные действия, выполняемые станком с ЧПУ, называют функциями, которые бывают модалными и немодальными.

Номер дорожки

Наименование	Знак	8	7	6	5	4	3	2	1
Числовое значение	0			o	o	.			
Числовое значение	1	o	o	o	.			o	
Числовое значение	2	o	o	o	.			o	
Числовое значение	3			o	o	.		o	o
Числовое значение	4	o	o	o	.	o			
Числовое значение	5			o	o	.	o	o	
Числовое значение	6			o	o	.	o	o	o
Числовое значение	7	o	o	o	.	o	o	o	o
Числовое значение	8	o	o	o	.	o	o	o	o
Числовое значение	9			o	o	o	.		o
Адрес разм. угла по X	A	o		.					
Адрес разм. угла по Y	B	o	o	.				o	
Адрес разм. угла по Z	C	o	o	.				o	o
Адрес коррекции пути	D	o		.	o				
Адрес контроля считывания	E	o	o	.				o	
Адрес подачи/время выдержки	F	o	o	.				o	o
Адрес условий пути	G	o		.	o	o	o	o	
Адрес коррекции длины	H			o	o	.			
Адрес параметров интерполяции	I	o	o	.				o	
Адрес параметров интерполяции	J	o	o	.				o	
Адрес параметров интерполяции	K	o	o	.				o	o
Для свободного пользования	L	o	o	.	o	o			
Адрес машинных команд	M	o	o	.	o	o	o	o	
Адрес номера кадра	N	o	o	.				o	o
Не используется	O	o	o	.	o	o	o	o	o
Адрес времени выдержки/подпрограммы	P	o	o	.					
Адрес подпрограммы	Q	o	o	.	o	o	.		o
Вазовая плоскость/радиус	R	o	o	.					
Адрес частоты вращения шпинделя	S	o	o	.				o	o
Адрес коррекции инструмента	T	o	o	.	o	o	.		
Адрес параллельной оси	U	o	o	.				o	o
Адрес параллельной оси	V	o	o	.				o	o
Адрес параллельной оси	W	o	o	.				o	o
Адрес главной оси	X	o	o	.	o	o	.		
Адрес главной оси	Y	o	o	.	o	o	.		o
Адрес главной оси	Z	o	o	.	o	o	.		o
Конец кадра	LF	o	o	.	o	o	.		
Начало программы	%	o	o	.				o	o
Произв. подавление кадра	/	o	o	.				o	o
Отрицательное направление движения		o	o	.				o	o
Примечание ВКЛ.	(o	o	.			
Примечание ВЫКЛ.)			o	o	.			
	*	o	o	.				o	o
Десятичная точка	.			o	o	.	o	o	o
				.					
Положительное направление движения	+			o	o	.			o
Запятая	,	o	o	.	o	o	.		o
Двоеточие	:			o	o	o	.		o
Таблюдитор	HT			o	o	.			
Знак коррекции	DEL	o	o	.	o	o	o	o	o
Интервал	SP	o	o	.					
Транспортная дорожка	NUL			.					
Знак качка в обратном направлении	BS	o		.					
Процент	%			.					
Возврат коретки	CR	o	o	.				o	o
Адрес параметров	@	o	o	.					
Конец СРС	\$			o	o	.	o	o	
Знак равенства	=	o	o	.	o	o	o	o	o

Модальные функции. В УП значения некоторых адресных слов (функций) могут быть «унаследованы», пока не выдана противоположная команда или не дано некоторое другое значение соответствующей функции. Например, в части программы

N15G90G1X20Y30F180
 N16X30
 N17Y100

статус G90 (абсолютное задание данных), G1 (линейная интерполяция) и значение F (подача), записанные в кадре N15, будут «унаследованы» в кадрах N16 и N17. Таким образом, нет необходимости определять эти функции в каждом кадре.

Немодальные функции (одноразовые). Действие некоторых функций или значений некоторых данных имеют силу только в отдельном кадре. Эти функции определяются как «немодальные» или одноразовые.

Подготовительные и вспомогательные функции.

Подготовительные функции G. Определяют способ обработки информации, тип программирования и условия перемещения к заданной точке. Их задают адресом G и обозначают двухзначным десятичным кодовым числом. Подготовительные функции G, допустимые для программирования в УЧПУ, представлены в табл. 11.3 и определены ГОСТ 20999—83. Значения подготовительной функции приведены в табл. 11.4.

Таблица 11.3. Подготовительные функции G

Подготовительная функция		Наименование
G00	Модальная	Быстрое позиционирование
G01	»	Линейная интерполяция
G02	»	Круговая интерполяция, движение по часовой стрелке
G03	»	Круговая интерполяция, движение против часовой стрелки
G04	Немодальная	Пауза
G05	—	Не определена
G06	—	Параболическая интерполяция
G07	Модальная	Не определена

Продолжение табл. 11.3

Подготовительная функция		Наименование
G08	Модальная	Разгон
G09	»	Торможение
От G10 до G16	Модальная	Не определены
G17	Модальная	Выбор плоскости XY
G18	»	Выбор плоскости ZX
G19	Немодальная	Выбор плоскости YZ
От G20 до G24	Модальные	Не определены
От G25 до G29	»	Постоянно не определены
От G30 до G32	Немодальная	Не определены
G33	—	Нарезание резьбы
G34	—	Нарезание резьбы с увеличивающимся шагом
G35	Модальная	Нарезание резьбы с уменьшающимся шагом
От G36 до G39	Модальные	Постоянно не определены
G40	Модальная	Отмена коррекции инструмента
G41	—	Коррекция на фрезу — левая
G42	—	Коррекция на фрезу — правая
G43	—	Коррекция на положение инструмента — положительная
G44	Модальные	Коррекция на положение инструмента — отрицательная
От G45 до G52	»	Не определены
G53	Модальная	Отмена заданного смещения
G54	»	Заданное смещение 1
G55	»	Заданное смещение 2
G56	»	Заданное смещение 3
G57	»	Заданное смещение 4
G58	»	Заданное смещение 5
G59	Модальная/немодальная	Заданное смещение 6
G63	Модальная	Нарезание резьбы метчиком

Подготовительная функция		Наименование
От G64 до G79	Модальные	Не определены
G80	Немодальная	Отмена постоянного цикла
G81	Модальная	Постоянный цикл 1
G82	»	Постоянный цикл 2
G83	»	Постоянный цикл 3
G84	»	Постоянный цикл 4
G85	»	Постоянный цикл 5
G86	»	Постоянный цикл 6
G87	»	Постоянный цикл 7
G88	»	Постоянный цикл 8
G89	»	Постоянный цикл 9
G90	Немодальная	Абсолютный размер
G91	Модальная	Размер в приращениях
G93	»	Скорость подачи в функции, обратной времени
G94	»	Подача в минуту
G95	»	Подача на оборот
G96	»	Постоянная скорость резания
G97	»	Обороты и минуту
G98	»	Не определена
G99	»	»

Таблица 11.4. Значение подготовительных функций G

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G00	Быстрое позиционирование	Перемещение в запрограммированную точку с максимальной скоростью (например, с наибольшей скоростью подачи). Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется. Перемещения по осям координат могут быть некоординированы

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G01	Линейная интерполяция	Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган станка по двум или более осям координат одновременно. При прямоугольной системе координат перемещение происходит по прямой линии
G02 G03	Круговая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги окружности, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования дуги, изменяются устройством управления. Круговая интерполяция — движение, при котором исполнительный орган перемещается по часовой (G02) или против часовой (G03) стрелки, если смотреть со стороны положительного направления оси
G42	Коррекция на фрезу — правая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G43	Коррекция на положение инструмента — положительная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо сложить с координатой, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G44	Коррекция на положение инструмента — отрицательная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо вычесть из координаты, заданной в соответствующем кадре или кадрах

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G53	Отмена заданного смещения	Отмена любой из функций G54—G59. Действует только в том кадре, в котором она записана
От G54 до G59	Заданное смещение	Смещение нулевой точки детали относительно исходной точки станка
G80	Отмена постоянного цикла	Функция, которая отменяет любой постоянный цикл

Вспомогательные функции M. В основном являются функциями управления станком. Их задают словом, содержащим адрес M и обозначают двухзначным десятичным кодовым числом согласно ГОСТ 20999—83 (табл. 11.5). Значения вспомогательных функций M приведены в табл. 11.6.

Когда функция на перемещение рабочего органа станка и вспомогательная функция M запрограммированы в одном кадре, вспомогательная функция исполняется по завершении перемещения. Вспомогательные функции M объединяют в следующие группы:

- M00, M01, M02, M30, M98, M99 — функции управления программой;
- M03, M04, M05 — функции управления шпинделем;
- M06 — функция смены инструмента;
- M07, M08, M09 — функции управления охлаждением;
- M38, M39, M13, M14 — функции выбора диапазона скорости шпинделя.

Таблица 11.5. Вспомогательные функции M

Функция	Значение
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки

Функция	Значение
M05	Останов шпинделя
M06	Смена инструмента
M07	Включение охлаждения № 2
M08	Включение охлаждения № 1
M09	Отключение охлаждения
M10	Зажим
M11	Разжим
От M12 до M18	Не определены
M19	Останов шпинделя в заданной позиции
От M20 до M29	Постоянно не определены
M30	Конец информации
От M31 до M47	Не определены
M48	Отмена M49
M49	Отмена ручной коррекции
От M30 до M57	Не определены
M58	Отмена M59
M59	Постоянная скорость шпинделя
От M60 до M89	Не определены
От M90 до M99	Постоянно не определены

Таблица 11.6. Значение вспомогательных функций M

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M00	Программируемый останов	Остановка без потери информации по окончании обработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделя, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки

Продолжение табл. 11.6

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M01	Останов с подтверждением	Функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
M02	Конец программы	Указывает на завершение отработки управляющей программы и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки
M05	Останов шпинделя	Останов шпинделя наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключить шпиндель и охлаждение
M07	Включение охлаждения № 2	Включение охлаждения № 2 (например, масляным туманом)
M08	Включение охлаждения № 1	Включение охлаждения № 1 (например, жидкостью)
M09	Отключение охлаждения	Отменяет M07, M08
M10	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M11	Разжим	То же
M19	Останов шпинделя в заданной позиции	Вызывает останов шпинделя при достижении им определенного углового положения
M30	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка. Установка в исходное положение УЧПУ включает в себя возврат к символу «Начало программы»
M49	Отмена ручной коррекции	Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи и (или) скорости главного движения и о возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпинделя независимо от перемещения исполнительных органов станка и задействованной функции G96

Подробное описание функций программирования дано в [13].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое интерполяция и для чего она необходима?
2. Какие точки называются вспомогательными опорными точками эквидистанты?
3. Что такое дискретность системы ЧПУ и какие точки называются промежуточными точками эквидистанты?
4. От чего зависит величина погрешности интерполяции?
5. Какой метод используется для реализации интерполяции и в чем заключается принцип его работы?
6. Какие виды интерполяции вы знаете и как они влияют на деталь?

7. Какой способ записи информации используется при кодировании УП?
8. Из чего состоит кадр УП и какие типы кадров вы знаете?
9. Что определяют подготовительные и вспомогательные функции при кодировании УП?
10. Что такое модальные и немодальные функции управления?
11. Каким знаком заканчивается кадр управляющей программы?
12. Что такое слово в УП? Какое минимальное количество слов может быть в кадре УП?
13. Как задаются комментирующие кадры в УП?
14. Что такое кадр назначения в УП?

IV

РАЗДЕЛ

НАСТРОЙКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 12. Контроль управляющей программы
и настройка станка на изготовление
детали

Глава 13. Эксплуатация, особенности технического
обслуживания и ремонт станков
с числовым программным управлением

КОНТРОЛЬ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ И НАСТРОЙКА СТАНКА НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ

12.1. КОНТРОЛЬ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Контроль УП проводится как вне станка, так и непосредственно на станке с ЧПУ.

Контроль УП вне станка с ЧПУ. При ручном программировании проводится на специальных графопостроителях, связанных с системой ЧПУ. Целью контроля является визуальная проверка соответствия вычерчиваемой траектории обрабатываемому контуру, а также проверка координат опорных точек траектории по показаниям индикации системы ЧПУ.

При автоматизированном программировании контроль УП проводится на экране дисплея ЭВМ:

- имитацией обработки;
- проверкой контуров моделируемых зон обработки;
- проверкой координат автоматически рассчитанных опорных точек траекторий;
- созданием следа движения инструмента и т. д.

Контроль УП на станке. Осуществляется на следующих стадиях подготовки:

1) при отработке УП «вхолостую», т. е. без установки инструмента, оснастки, заготовки. Целью является выявление грубых ошибок, связанных с расчетами и нанесением программы на программноноситель. При движении рабочих органов контролируется правильность показаний лимбов на пульте станка по всем координатам в соответствующих контрольных точках УП и контролируется возвращение органов станка в исходную точку программы. Если рабочие органы станка не возвращаются в исходную точку

и показания лимбов в контрольных точках не соответствуют расчетно-технологической карте, то возможны несколько причин, вызвавших эти ошибки: некачественная запись, связанная с неисправностью аппаратуры записи, дефекты перфоленты, ошибки при расчете УП, кодировании информации, перфорации;

2) при обработке УП на листе металла (или другом материале). Для этого в шпиндель станка устанавливается режущий инструмент (например, фреза расчетного диаметра). Осуществляется подвод инструмента в металл для получения «следа» инструмента. Затем на станке отключается ось, отвечающая за последующее врезание инструмента. После обработки УП проверяются размеры фрезеруемого контура детали. Наиболее характерными ошибками являются: несоответствие расчетного и фактического диаметров инструмента, ошибки расчета и записи программ, ошибки расчета и кодирования величины подачи;

3) при обработке УП изготовлением контрольной детали. Обработка производится с применением оснастки и инструмента, отвечающих требованиям расчетно-технологической карты. Целью является проверка принятых технологических решений, режимов резания, внедряемой оснастки, а также соответствия всех размеров изготовленной детали чертежу.

12.2. СБОРКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ОПРАВОК И РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Настройка станка включает следующие процедуры:

1) выбор (согласно разработанной расчетно-технологической карте и карте наладки инструментов) необходимого режущего инструмента определенного диаметра D и вылета L и инструментальной оснастки (см. разд. III);

2) сборку инструментальных оправок и режущих инструментов;

3) измерение собранных инструментальных оправок с режущим инструментом (определение реального положения фиксированной точки B для каждого инструмента);

4) задание в систему ЧПУ измеренных параметров D и L для каждого инструмента с целью проведения последующей коррекции;

5) установку и точную ориентацию приспособления на столе станка;

6) установку и закрепление заготовки в приспособлении;

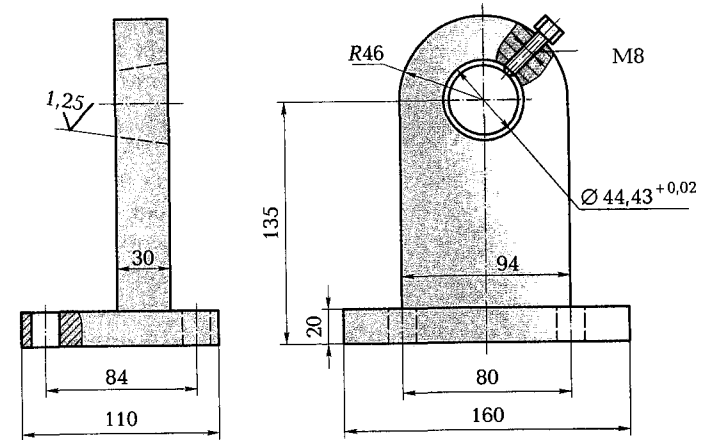


Рис. 12.1. Чертеж приспособления для сборки инструментальной оправки

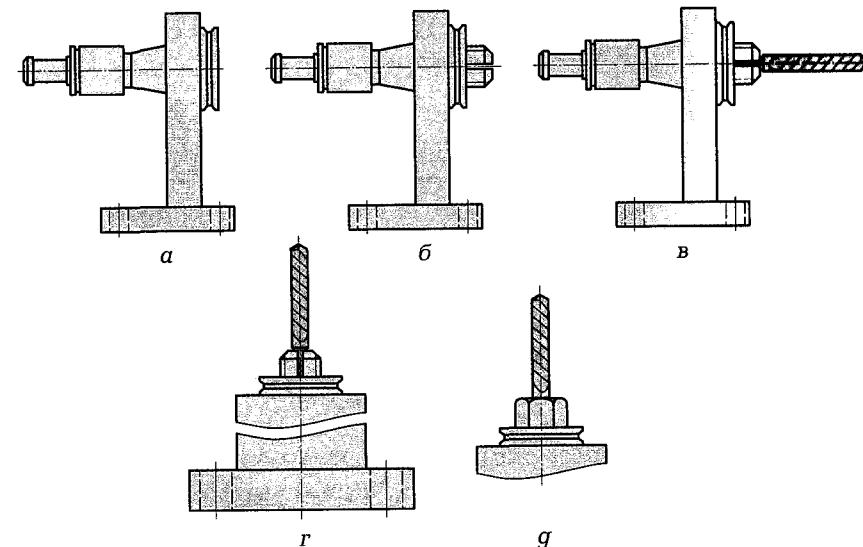


Рис. 12.2. Последовательность сборки оправки с осевым инструментом (сверлом):

a — установка оправки в приспособление, базирование по конусу и закрепление винтом; $б$ — вворачивание цапги в оправку; $в$ — установка инструмента в оправку; $г$ — переустановка инструментальной оправки в приспособлении для наворачивания на цапгу; $г$ — завинчивание гайки для закрепления инструмента в оправке

7) определение на станке нулевой точки детали, исходной точки инструмента, исходной точки программы и их взаимного расположения (увязка системы координат станка с системой координат программируемой детали).

Выбранный режущий инструмент и необходимая для его базирования инструментальная оправка собираются в специальном приспособлении, устанавливаемом на столе станка. Чертеж такого приспособления показан на рис. 12.1. В приспособлении имеется ответное отверстие под конус оправки для ее базирования. Для закрепления оправки в приспособлении имеется винт, который фиксирует оправку в определенном положении. В оправку до упора вворачивается цанга с определенным усилием, для контроля усилия затяжки используется специальный динамометрический ключ. Инструмент вставляется в оправку и затягивается сверху гайкой. Контроль момента затяжки гайки проверяется с помощью динамометрического ключа.

Последовательность сборки оправки с осевым инструментом (сверла) показана на рис. 12.2. Полученная сборочная единица «оправка — инструмент» (см. рис. 12.2, *в*) может быть измерена либо непосредственно на станке, либо вне станка на специальном приборе для настройки инструментов.

12.3. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТОВ

Измерение на станке. Для точного измерения инструментов на станке используются различные измерительные системы типа TT130 фирмы Heidenhain (рис. 12.3) или модели TS27R фирмы Renishaw (рис. 12.4). Данные системы могут использоваться для измерения вылета L и диаметра D любого типа инструмента в случае остановленного или вращающегося шпинделя, измерение зубьев фрез, износа инструмента и контроля поломки инструмента (рис. 12.5). На рис. 12.4, *а* показан состав измерительной системы модели TS27R фирмы Renishaw. Измерительный цикл параметров инструмента показан на рис. 12.4, *б*. Для измерения параметров инструмента необходимо: вставить оправку с инструментом в шпиндель станка; вызвать команду в ЧПУ «L0004»; ввести параметры цикла A , B , C с пульта УЧПУ; произвести автоматическое измерение. Инструмент движется по траектории: от точки P_1 до точки P_2 — измерение вылета инструмента; P_2 — P_3 — отвод инструмента; $P_3 \dots P_6$ — измерение положения точки A относительно P_n ; $P_5 \dots P_{11}$ — измерение поло-

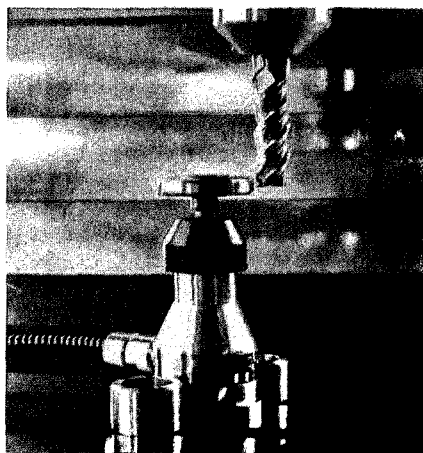


Рис. 12.3. Импульсная система ТТ130 (фирмы Heidenhain) для измерения и проверки инструмента

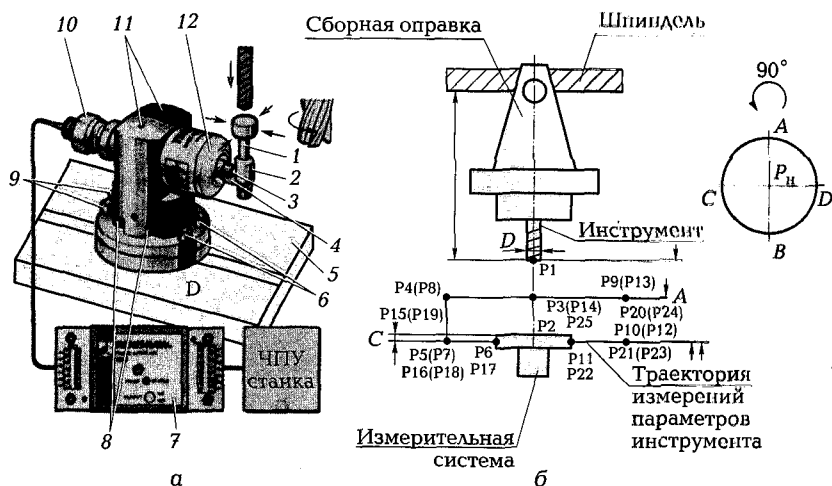


Рис. 12.4. Измерение параметров инструмента на станке с помощью измерительной системы с контактным датчиком TS27R фирмы Renishaw:

а — основные узлы измерительной системы: 1 — щуп; 2 — держатель щупа для круглых или квадратных щупов; 3 — слабое звено; 4 — невыпадающее соединение; 5 — стол; 6 — крепежные винты основания датчика; 7 — альтернативный интерфейсный блок MI 8; 8 — выставление осей квадратного щупа — регулировочные винты; 9 — выставление щупа по уровню — регулировочные щупы; 10 — переходник кабелепровода; 11 — выставление осей квадратного щупа — стопорные винты; 12 — передняя крышка; *б* — точки траектории измерения параметров инструмента на станке: P1...P3 — точки вылета (L); P3...P25 — точки диаметра (D) износа и целостности

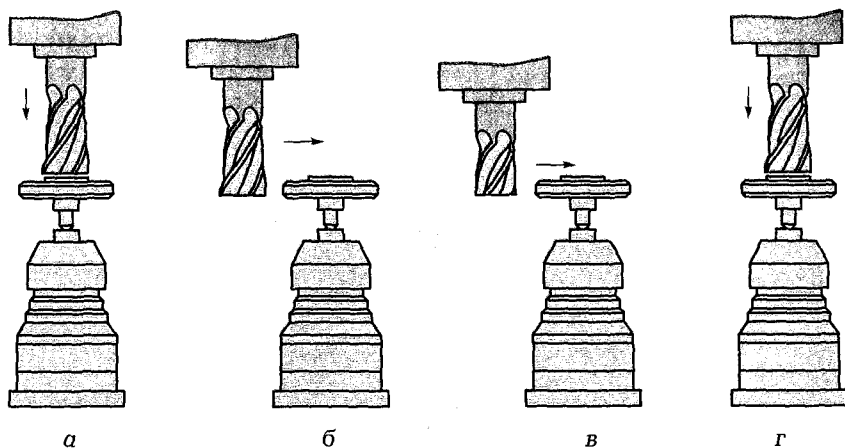


Рис. 12.5. Измерение параметров инструмента на станке с ЧПУ системой ТТ130:

а — длины инструмента с постоянным или вращающимся шпинделем; *б* — радиуса инструмента с постоянным или вращающимся шпинделем; *в* — износа инструмента; *г* — контроль поломки инструмента

жения точки *В* относительно P_n ; P11 ... P14 — отвод инструмента и поворот шпинделя на 90° ; P15 ... P25 — алгоритм измерения параметров положения точек *С*, *Д* идентичен измерению положения точек *А*, *В* относительно точки P_n . Система ЧПУ автома-

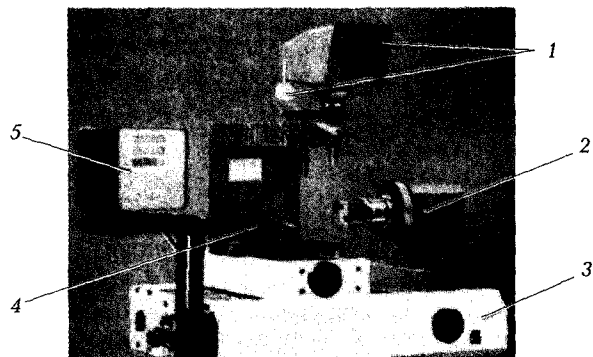


Рис. 12.6. Измерительное приспособление для настройки инструмента вне станка:

1 — средства измерения инструмента; *2* — подставка для державки инструмента; *3* — станина; *4* — подвижная каретка; *5* — электронный блок

тически сохраняет результаты измерения в памяти для использования в УП.

Измерение вне станка. Для измерения инструментов вне станка используются измерительные приборы для размерной настройки инструмента типа: *Meccanica sponi*, *SDI 300*, *TOOLSETTS 240*, и т. д. Они предназначены для контроля геометрии инструментов, измерения линейных размеров, углов и радиусов, а также измерения радиального и торцевого биения режущих кромок инструмента.

На рис. 12.6 показан внешний вид одного из приспособлений для настройки инструментов.

В состав приспособления входят пять основных узлов:

- станина 3;
- подвижная каретка 4;
- средство измерения инструмента 1;
- электронный блок индикации 5;
- подставка для державки инструмента 2.

Станина является основным несущим узлом конструкции приспособления, на котором монтируются все прочие узлы.

Подвижная каретка является несущим элементом для средств измерения инструмента. Она имеет возможность перемещаться относительно станины в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При этом величина каждого перемещения отсчитывается по измерительным линейкам.

Средство измерения инструмента позволяет зафиксировать момент совмещения заданного и фактического положения вершины режущего инструмента. Конструкция и принцип действия средства измерения инструмента могут быть самыми разными. Это может быть микроскоп, проектор, индикатор часового типа, шаблон и др. В некоторых измерительных приспособлениях используется не одно, а несколько средств измерения инструмента с различными принципами действия.

Электронный блок имеет табло цифровой индикации, на котором отображается информация о направлении и величине перемещения каретки со средством измерения.

Подставка для державки инструмента имитирует присоединительные поверхности шпинделя или суппорта станка. Для этого она снабжена таким же посадочным местом для державки с инструментом и имеет такую же фиксированную точку *N* для инструмента, что и станок.

Порядок работы на приборе для настройки инструмента вне станка. Рассмотрим порядок работы на примере измерения токар-

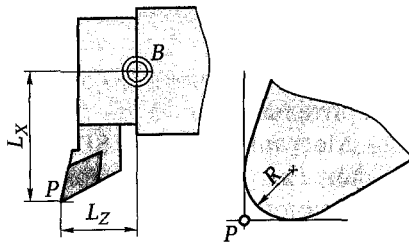


Рис. 12.7. Измерение вылета токарного резца

ного резца при использовании прибора настройки с оптической системой измерения. Измерение величины вылета резца производится в двух направлениях: в направлении оси Z — L_z ; в направлении оси X — L_x ; и измерение радиуса закругления вершины резца — R (рис. 12.7).

Последовательность действий при измерении вылета резца следующая:

- 1) установить и закрепить измеряемый токарный резец в державке, которая после измерения будет установлена на станке;
- 2) установить державку в сборе с резцом в подставке измерительного приспособления;
- 3) откалибровать средство измерения инструмента, совместив его нулевую точку (центр перекрестия в оптическом окуляре) с исходной точкой инструмента B ;
- 4) переместить подвижную каретку в положение, при котором центр перекрестия в оптическом окуляре окажется совмещенным с теоретической вершиной резца (рис. 12.8);

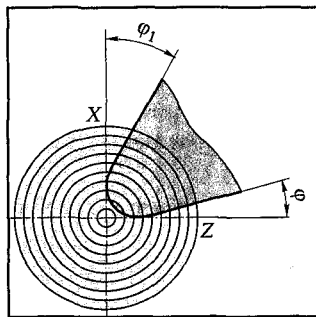


Рис. 12.8. Совмещение центра перекрестия с теоретической вершиной резца

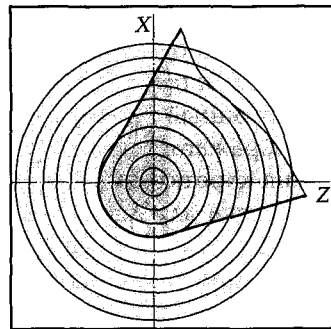


Рис. 12.9. Измерение радиуса вершины резца

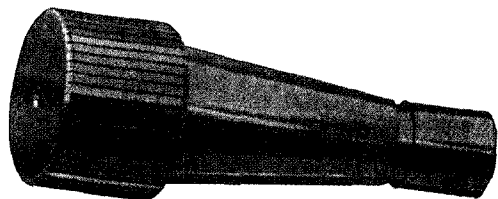


Рис. 12.10. Эталонная оправка для настройки осевого инструмента

5) зафиксировать координаты данного положения каретки по показаниям табло цифровой индикации электронного блока. Данные значения координат соответствуют величинам коррекции вылета инструмента по координатным осям X и Z ;

6) измерение геометрии вершины резца производится с помощью кольцевых линий и перекрестия оптического окуляра (рис. 12.9);

7) используя кольцевые линии измерить радиус закругления вершины резца. Для этого необходимо перемещать каретку приспособления до совмещения изображения закругленной части вершины резца с одной из кольцевых линий окуляра. Кольцевые линии в окуляре выполняются с определенными диаметрами, поэтому, зная размерный шаг кольцевых линий, можно определить величину закругления вершины резца.

Последовательность действий при измерении осевого инструмента (на примере сверла) следующая:

1) установить в шпиндель прибора эталонную оправку (рис. 12.10);

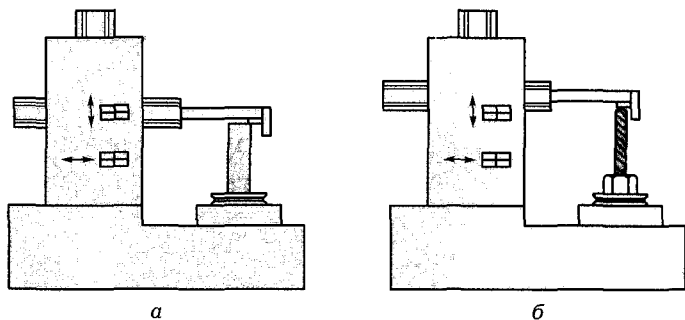


Рис. 12.11. Измерение параметров осевого инструмента на приборе настройки:

а — установка эталонной оправки; *б* — установка измеряемого инструмента

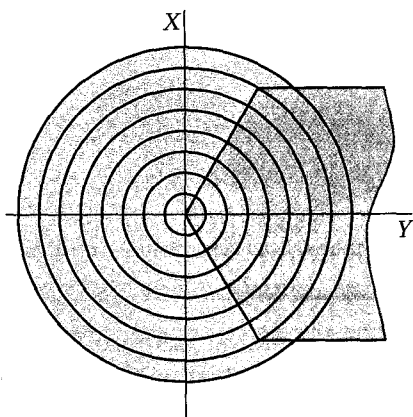


Рис. 12.12. Совмещение центра перекрестия с вершиной сверла

2) настроить прибор на эталонную оправку (в центре перекрестия оптического окуляра должна быть середина верхней кромки оправки);

3) обнулить показания координат вылета и диаметра эталонной оправки;

4) установить измеряемую оправку с осевым инструментом в шпиндель прибора (рис. 12.11);

5) выставить центр перекрестия оптического окуляра на край — для фрезы или к вершине — для сверла (рис. 12.12);

6) поворачивая оправку с инструментом, определить максимальную длину кромки — она будет задавать абсолютный диаметр;

7) зафиксировать координаты положения каретки по показаниям цифровой индикации. Они соответствуют абсолютным значениям диаметра и вылета инструмента, которые в дальнейшем заносятся в регистры коррекции СЧПУ.

12.3. УСТАНОВКА И ТОЧНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ НА СТОЛЕ СТАНКА

Точная ориентация приспособления относительно координатных осей станка (выравнивание) необходима для устранения погрешности его базирования на столе станка.

Последовательность действий при ориентации приспособления на фрезерном станке с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя следующая:

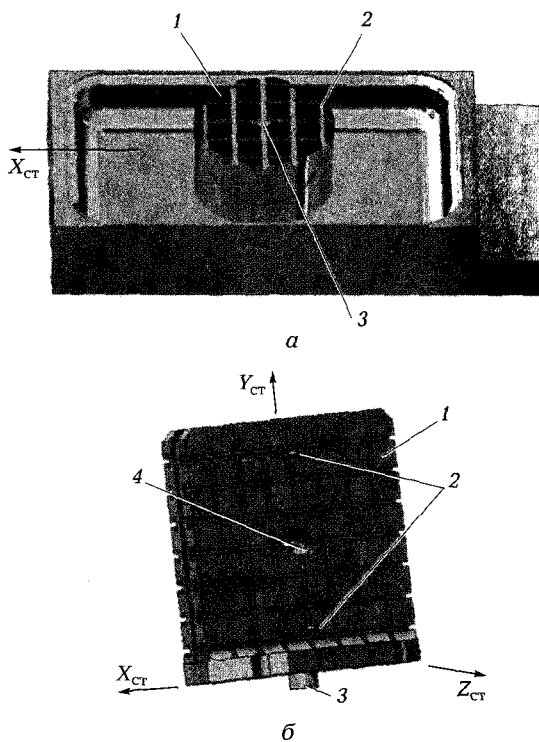


Рис. 12.13. Установка приспособления на стол фрезерного станка:
a — стол станка: 1 — зеркало стола станка; 2 — Т-образные пазы; 3 — классное отверстие (ноль станка); *б* — приспособление: 1 — приспособление; 2 — базовые пальцы; 3 — центровой цилиндр; 4 — классное отверстие

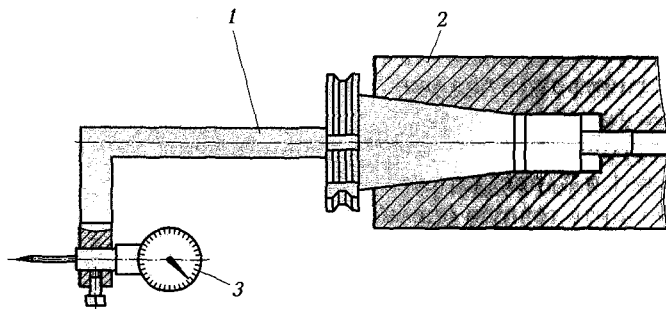


Рис. 12.14. Прибор для контроля параллельности приспособления:
 1 — оправка-держатель; 2 — шпиндель станка; 3 — индикатор часового типа

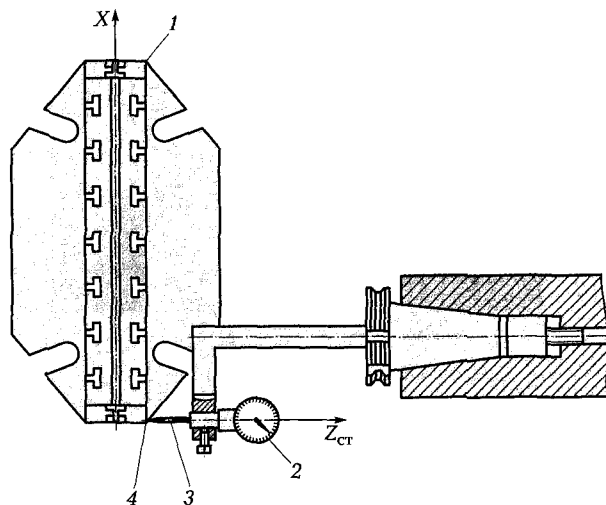


Рис. 12.15. Точки измерения положения приспособления в направлении оси X :

1 — контрольная точка 2; 2 — индикатор часового типа; 3 — игла; 4 — контрольная точка 1

1) установить приспособление на столе станка (рис. 12.13). Базирование приспособления осуществляется по центральному базовому отверстию, расположенному в центре зеркала стола и базовому цилиндрическому пальцу на нижней поверхности приспособления (после установки приспособление на столе может иметь разворот вокруг своей оси);

2) вставить в шпиндель станка прибор для контроля параллельности оси приспособления (рис. 12.14);

3) выполнить точную ориентацию приспособления в направлении оси X . Для этого сместить приспособление в нужном направлении на величину разницы в показаниях индикатора в контрольных точках 1 и 2 (рис. 12.15);

4) выполнить точную ориентацию приспособления в направлении оси Y . Для этого измерить контрольные точки 3 и 4 на приспособлении (рис. 12.16).

Если существует разница в показаниях индикатора, необходимо проверить базы и сместить приспособления в нужном направлении.

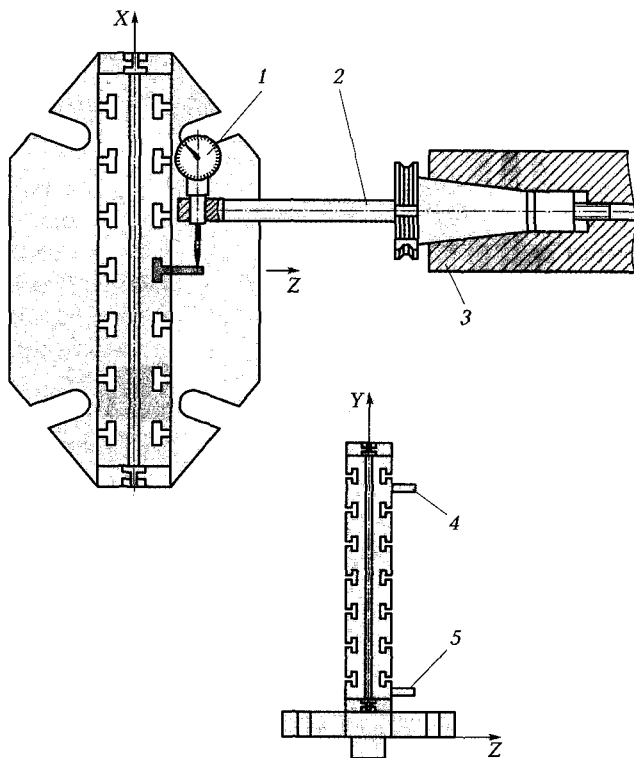


Рис. 12.16. Точки измерения положения приспособления в направлении оси Y :

1 — индикатор часового типа; 2 — оправка-держатель; 3 — шпиндель станка; 4 — контрольная точка 3; 5 — контрольная точка 4

Использование на станках с ЧПУ специальных измерительных систем, таких как импульсная система TS 220 Heidenhain (рис. 2.17), позволяет устранить трудоемкое ручное выравнивание приспособления (заготовки). Измерительный щуп системы TS 220 исследует поверхность (либо отверстие) и дает сигнал для ЧПУ на проведение компенсации.

Компенсация возможна либо вращением системы координат детали (рис. 12.18, а), либо вращением поворотного стола (рис. 12.18, б).

Компенсация погрешности установки приспособления на столе станка с ЧПУ играет важную роль, так как даже хорошо спроекти-

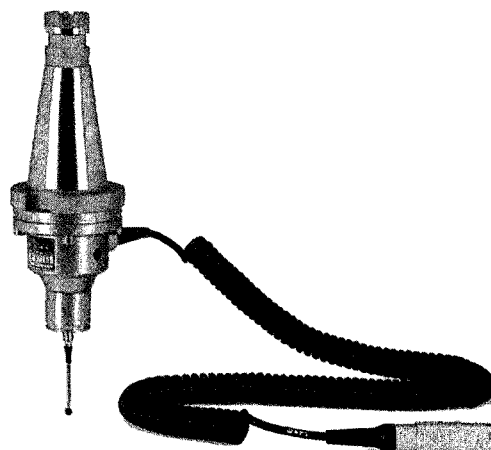


Рис. 12.17. Измерительная импульсная система TS 220 (фирмы Heidenhain)

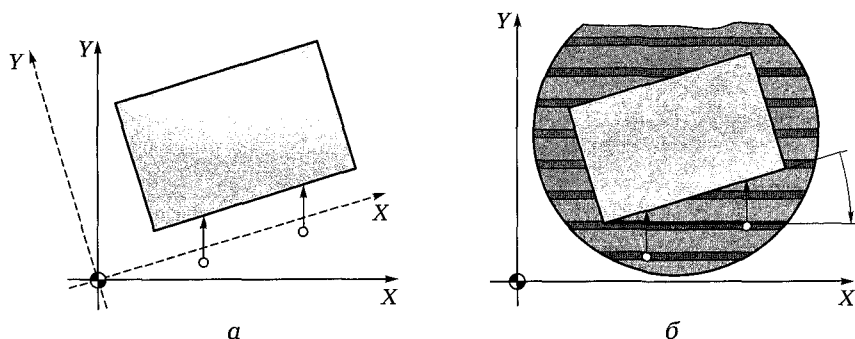


Рис. 12.18. Автоматическое «выравнивание» приспособления (заготовки) при использовании измерительной системы TS 220:

a — компенсация через вращение системы координат детали; *б* — компенсация за счет вращения стола

рованное и точно изготовленное приспособление при неправильной его установке существенно снижает точность обработки.

Для получения точных размеров деталей необходимо знать отклонение от требуемого положения приспособления с заготовкой, которое, как правило, приводит к смещению обрабатываемого контура относительно технологических баз. Отклонение от требуемого положения детали связано с погрешностями ее базирования, а также с погрешностями установки приспособления.

12.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ НУЛЕВОЙ ТОЧКИ W ДЕТАЛИ И ИСХОДНОЙ ТОЧКИ ПРОГРАММЫ P_s

Настройка точек W и P_s рассматривается при условии, что система координат детали W задана на углах детали (рис. 12.19).

Определение положения нуля W детали и исходной точки программы P_s по оси X и Y на станке (рис. 12.20 и 12.21) производится следующими действиями:

- 1) вернуть оси станка в нулевую точку M станка;
- 2) вставить инструмент в шпиндель станка;
- 3) в шаговом режиме переместить инструмент к плоскости X -оси детали на расстояние не более 25 мм, причем эта плоскость пересекается с углом, используемым в качестве относительного положения;
- 4) наложить на плоскость оси X детали прокладку;
- 5) ручным маховичком переместить инструмент к детали так, чтобы он слегка коснулся прокладки. При смещении прокладки должно ощущаться слабое сопротивление;
- 6) определить по системе индикации ЧПУ текущее значение положения шпинделя станка по оси X ;
- 7) пересчитать данное значение координаты с учетом радиуса режущей части инструмента и толщины прокладки и внести в си-

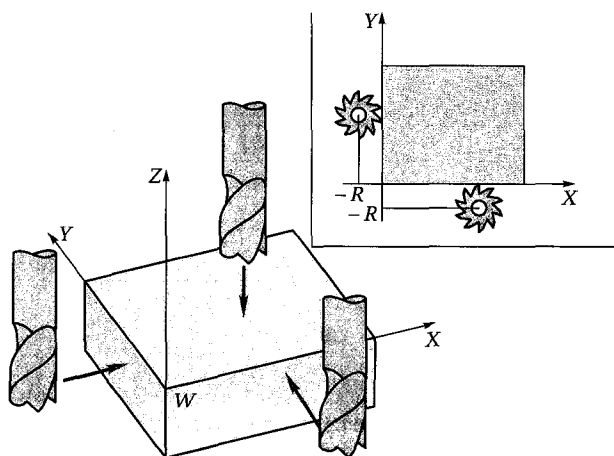


Рис. 12.19. Расположение нуля детали в углу детали

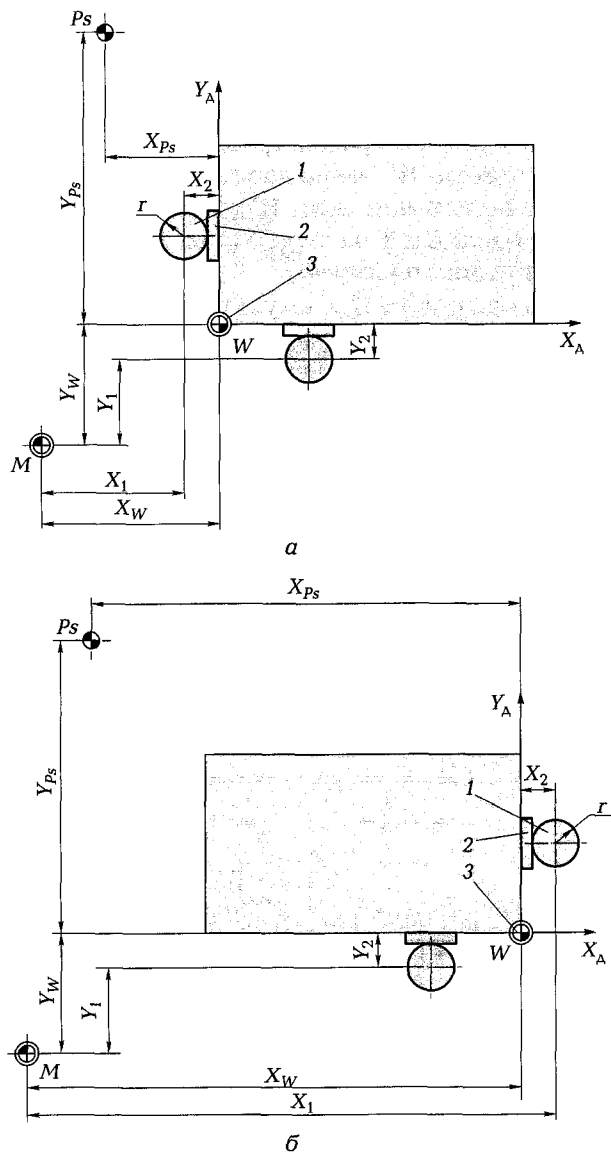


Рис. 12.20. Вычисление величины смещений рабочих органов станка при определении нуля детали W и исходной точки программы P_s :

a — нуль детали W задан в переднем левом углу детали; b — нуль детали W задан в переднем правом углу детали; 1 — режущий инструмент; 2 — прокладка толщиной L ; 3 — система координат детали

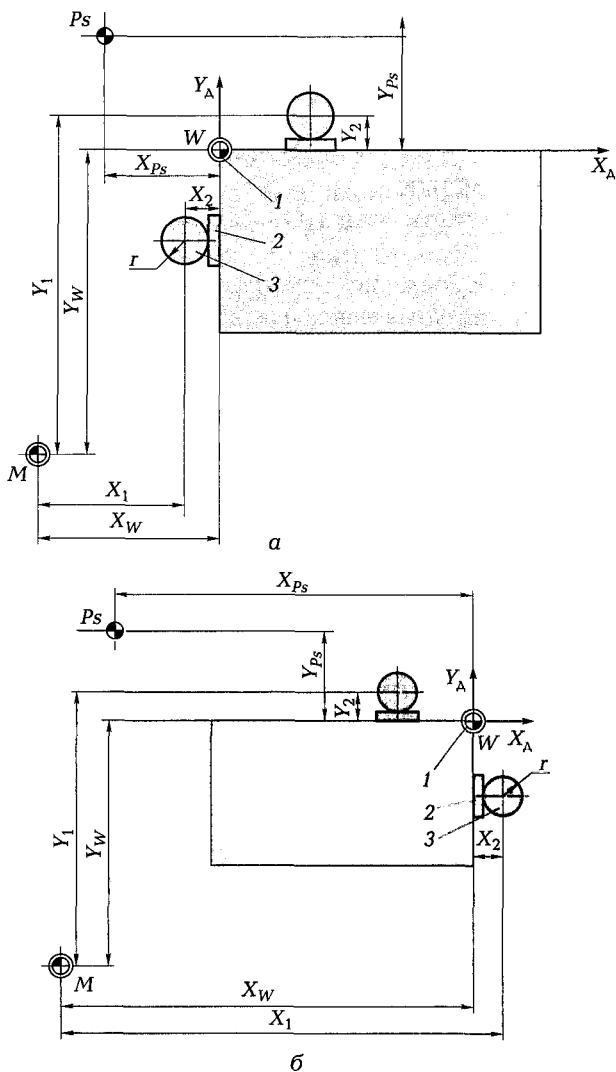


Рис. 12.21. Вычисление величины смещений рабочих органов станка при определении нуля детали W и исходной точки программы Ps :

a — нуль детали W задан в заднем левом углу детали; $б$ — нуль детали W задан в заднем правом углу детали; 1 — система координат детали; 2 — прокладка толщиной L ; 3 — режущий инструмент

стему ЧПУ в качестве смещения нуля отсчета. Если нуль детали установлен в левом переднем (см. рис. 12.20, а) или левом заднем (см. рис. 12.21, а) углах детали, то $X_W = X_1 + X_2$, а если — в правом переднем (см. рис. 12.20, б) или правом заднем (см. рис. 12.21, б), то $X_W = X_1 - X_2$. Здесь X_1 — вычисляемое перемещение по координате X , на которое необходимо переместить рабочий орган станка, чтобы найти исходную точку программы; X_2 — настроечное перемещение;

8) нажать клавишу обнуления системы отсчета координат на пульте управления станка;

9) ручным маховичком отвести от детали инструмент минимум на 25 мм;

10) в шаговом режиме переместить инструмент к плоскости Y -оси детали на расстояние максимум 25 мм, причем эта плоскость пересекается с углом, используемым в качестве относительного положения;

11) наложить на плоскость оси Y детали прокладку;

12) ручным маховичком переместить инструмент к детали так, чтобы он слегка коснулся прокладки. При смещении прокладки должно ощущаться слабое сопротивление;

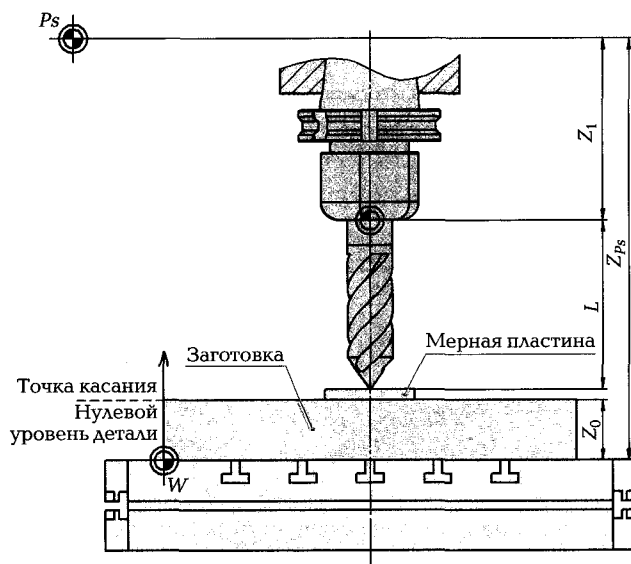


Рис. 12.22. Определение положения системы

13) отметить в регистре положений станка координату оси Y ;
14) пересчитать данные значения координаты инструмента с учетом радиуса инструмента и толщины прокладки и внести полученное значение в систему ЧПУ. Если нуль детали установлен в левом переднем (см. рис. 12.20, а) или правом переднем (см. рис. 12.20, б) углах детали, то $Y_W = Y_1 + Y_2$, а если — в левом заднем (рис. 12.21, а) или правом заднем (см. рис. 12.21, б), то $Y_W = Y_1 - Y_2$. Здесь Y_1 — вычисляемое перемещение по координате Y , на которое необходимо переместить рабочий орган станка, чтобы найти исходную точку программы; Y_2 — настроечное перемещение; r — радиус режущего инструмента; L — толщина мерной пластины (прокладки), используемой при настройке;

15) нажать клавишу обнуления системы отсчета координат на пульте станка.

16) ручным маховиком отвести от детали инструмент в исходную точку программы P_s по координатам X_{P_s} и Y_{P_s} , заданным в расчетно-технологической карте:

- X_{P_s} — координата X исходной точки программы P_s , заданная в расчетно-технологической карте и используемая при подготовке УП;
- Y_{P_s} — координата Y исходной точки программы P_s , заданная в расчетно-технологической карте и используемая при подготовке УП.

Определение положения нуля детали W и исходной точки программы P_s по оси Z на станке (рис. 12.22) происходит аналогично описанному выше для осей X и Y .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего проводится контроль УП на станке?
2. Какие задачи выполняются при настройке станка с ЧПУ?
3. Какие технические средства используют для измерения параметров инструмента на станке?
4. Для чего проводится «выравнивание» приспособления на столе станка?
5. Положение каких точек в системе координат станка определяется при настройке?
6. Какие этапы включает сборка оправок и режущих инструментов?

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

13.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Как было показано в предыдущих разделах, станки с ЧПУ являются современным высокоавтоматизированным и высокопроизводительным технологическим оборудованием с широкими технологическими возможностями и высокой мобильностью. Их применение позволяет проводить с высокой эффективностью ранее невозможную или малоэффективную автоматизацию среднесерийного и мелкосерийного производства.

С другой стороны, это сложное и дорогостоящее технологическое оборудование, требующее тщательного анализа при решении о его покупке и особого обращения с ним в процессе внедрения и эксплуатации, а также во многом обновления организации самого производства.

Процесс эксплуатации станков с ЧПУ представляет собой совокупность мероприятий, включающую транспортирование и монтаж, настройку и наладку, контроль геометрической и кинематической точности, уход, техническое обслуживание и ремонт, а при необходимости консервацию и упаковку.

Транспортирование станков с ЧПУ необходимо осуществлять строго по инструкции, указанной в руководстве по его эксплуатации.

Важным вопросом является правильная установка на фундамент, который должен служить надежным основанием станка. При этом необходимо обеспечивать максимальное использование его возможностей по производительности и точности в течение заданного срока службы, а также исключить влияние устанавливаемого станка на работу соседнего оборудования.

Способы установки станков в общем можно разделить на две группы:

1) жесткую (фундаментом служит плита или блок, опирающийся на естественное основание или перекрытие);

2) упругую (фундаментом служит бетонный блок, опирающийся на упругие опорные элементы — резиновые коврики, пружины и т. д., или станок устанавливается непосредственно на упругие элементы — резиновые коврики, резинометаллические опоры и др.).

При **жесткой установке** станка станина и фундамент деформируются одновременно, величины упругих перемещений и уровень колебаний под действием силовых факторов в станке меньше, чем при упругой установке, но вся система чувствительна к внешним возмущениям — осадкам и колебаниям основания.

При **упругой установке** станок изолирован от внешней среды, но уровень перемещений и колебаний от действующих в нем возмущений больше.

Наиболее эффективным, но и наиболее дорогим средством виброизоляции, применяемым для особо точных станков, являются фундаменты на пружинах, а наиболее дешевым, обеспечивающим удовлетворительную степень виброизоляции для большинства станков средних размеров — упругие виброизолирующие опоры.

Для станков с ЧПУ в связи с высокими требованиями к точности при высоком уровне динамических нагрузок наиболее рациональной оказывается установка на индивидуальных фундаментах или на полу из бетонных плит, разделенных деформационными швами. При этом толщина плит должна приниматься большей, чем для обычных станков той же массы (0,4... 0,6 м). Установка таких станков на резинометаллические опоры, при которых колебания элементов станка оказываются значительно выше, чем при жесткой установке, в большинстве случаев не используется.

В тех случаях, когда станки с ЧПУ долго не работают или будут перебазироваться на новое место, может производиться их консервация и упаковка. Она предохраняет станки от механических и физико-химических воздействий. Перед упаковкой станков производится консервация всех металлических поверхностей (обработанных и не обработанных), за исключением поверхностей, имеющих лакокрасочные покрытия.

Упаковывается станок во внутреннюю и внешнюю тару. В качестве внутренней тары применяются чехлы из полимерных пленок, в качестве внешней тары — деревянные ящики. Чехлы должны быть герметичными, а для предотвращения конденсации влаги внутри чехла необходимо закладывать влагопоглощающее веще-

ство — силикагель. Конструкция упаковочных ящиков должна быть такой, чтобы обеспечить жесткость тары, сохранность станков при транспортировке, экономию лесоматериалов и достаточно низкую стоимость ее изготовления.

13.2. СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Обеспечение высокой точности и надежности работы станков с ЧПУ в процессе их эксплуатации непосредственно связано с системой их технического обслуживания, своевременного и качественно выполнения профилактических работ и ремонта (рис. 13.1).

Техническое обслуживание станков с ЧПУ включает в себя совокупность организационных и технических мероприятий, обеспечивающих поддержание их выходных параметров на заданном уровне в течение всего периода эксплуатации, а именно:

- осмотр и контроль технического состояния станка и системы управления;
- чистку, промывку и смазывание механизмов станка;
- долив масла;
- регулирование отдельных механизмов станка и элементов системы управления;
- замену отдельных износившихся деталей и вышедших из строя элементов и блоков УЧПУ;
- проверку и наладку гидро- и электроприводов;
- работы по устранению обнаруженных неисправностей.

Техническое обслуживание должно проводиться в соответствии с имеющимися правилами, а также с учетом специальных требований, содержащихся в технической документации на станки с ЧПУ. В общих правилах сформулированы требования к их техническому обслуживанию с регламентацией последнего по содержанию, периодичности и распределению между исполнителями обязанностей, к периодичности и составу их проверок, а также к контролю службой главного механика соблюдения правил эксплуатации станков с ЧПУ операторами, наладчиками, ремонтниками и производственным административно-техническим персоналом.

Изменение точности станка с ЧПУ в процессе эксплуатации происходит вследствие действия на него различных внутренних и внешних факторов.

Внутренними факторами являются силы резания и их моменты, силы трения, вибрации, тепловыделение и нагрев его элемен-

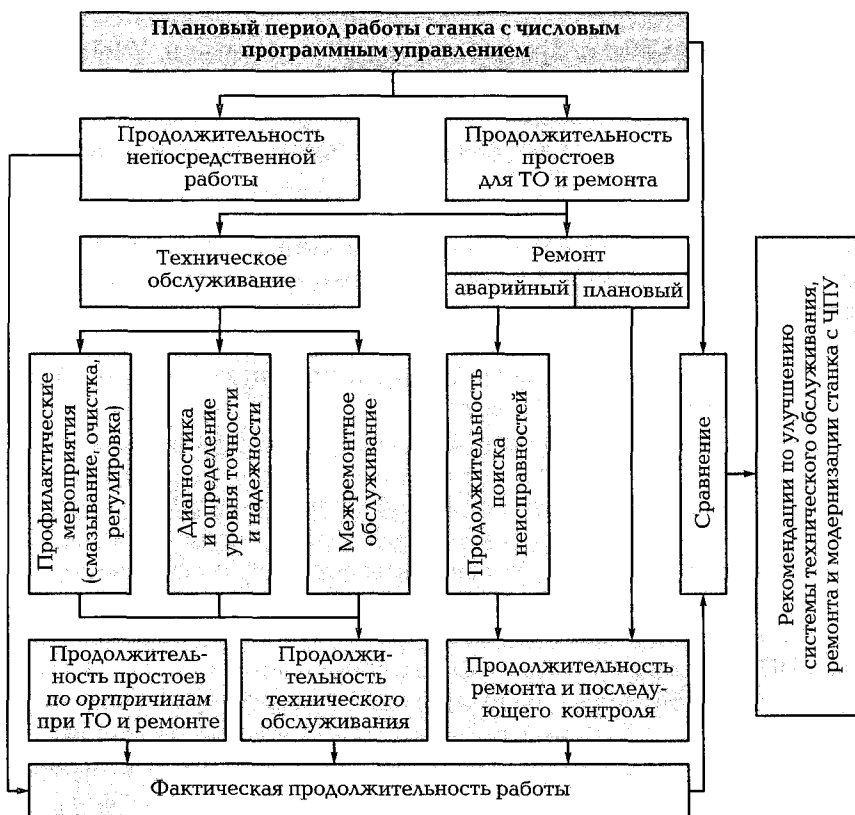


Рис. 13.1. Схема состава плановой продолжительности работы станка с числовым программным управлением

тов, внешними факторами — температура окружающей среды, вибрация соседнего оборудования, колебание напряжения в электросети, влажность и загрязнение окружающего воздуха, вмешательство оператора и др.

Действие внутренних и внешних факторов вызывают упругие деформации элементов станка, их изнашивание, вибрацию, температурные деформации, что ухудшает, в первую очередь, его точность, а также влияет на производительность и себестоимость изготовления деталей.

Изменение точности станка с ЧПУ в процессе эксплуатации в результате действия на него указанных факторов, обуславливается появлением допустимых и недопустимых повреждений как в самом станке, так и в устройстве ЧПУ.

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

Повреждения, которые не ограничивают возможности функционирования станка с ЧПУ, но приводят при его дальнейшей эксплуатации к снижению точности обработки, являются причинами его параметрических отказов (отказов по точности обработки).

Если для станка более характерным является параметрический отказ, то для УЧПУ — **отказ функционирования**. Последний может проявляться в УЧПУ в виде:

- неиндицируемых сбоев, которые не обнаруживаются в момент их возникновения;
- индицируемых сбоев, которые фиксируются УЧПУ в момент их возникновения с прекращением дальнейшей отработки УП;
- устойчивых отказов, которые приводят сразу к остановке станка с ЧПУ.

Таким образом, если индицируемые сбои и устойчивые отказы УЧПУ приводят к отказам функционирования станка с ЧПУ, то его неиндицируемые сбои приводят к параметрическим отказам.

В соответствии с ГОСТ 18322—2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» по способу организации предусматривается два вида ремонта станков с ЧПУ: плановый и неплановый.

Плановый ремонт — ремонт, постановка на который станка с ЧПУ осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации через установленный период времени работы станка с ЧПУ или при достижении установленного нормами его технического состояния.

Неплановый ремонт — ремонт станка с ЧПУ, осуществляемый без предварительной регламентации — по потребности.

По составу работ предусматриваются текущий и капитальный ремонты.

Текущий ремонт (ТР) — ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности станка с ЧПУ и состоящий в замене и (или) восстановлении работоспособности отдельных деталей и узлов.

Капитальный ремонт (КР) — ремонт, выполняемый для восстановления неисправности и полного или близкого к полному

восстановлению ресурса станка с ЧПУ с заменой или восстановлением любых его деталей и узлов, включая базовые.

Применяется еще понятие *аварийный ремонт*, под которым понимается неплановый ремонт, вызванный дефектами конструкции или изготовления станка с ЧПУ, дефектами ремонта и нарушением правил технической эксплуатации.

Все работы по плановому ремонту выполняются в определенной последовательности, образуя повторяющиеся ремонтные циклы.

Ремонтный цикл — повторяющаяся совокупность различных видов плановых ремонтов, выполняемых в определенной последовательности через установленные равные количества часов оперативного времени работы станка с ЧПУ, называемые межремонтными периодами.

Ремонтный цикл завершается капитальным ремонтом и определяется структурой и продолжительностью цикла.

Структура ремонтного цикла — перечень ремонтов, входящих в его состав, расположенных в последовательности их выполнения.

Например, структура ремонтного цикла, состоящего из пяти текущих ремонтов и одного капитального, записывается в виде:

КР — ТР — ТР — ТР — ТР — ТР — КР

Продолжительность ремонтного цикла — число часов оперативного времени работы станка с ЧПУ, на протяжении которого проводятся все ремонты, входящие в состав цикла. Простой станка, связанные с выполнением плановых и неплановых ремонтов и технического обслуживания, в продолжительность ремонтного цикла не входят.

Структура ремонтного цикла устанавливается в зависимости от класса точности и массы. Подробные рекомендации представлены в [4, 5].

Для станков с ЧПУ следует считать наиболее целесообразным методом разработки структуры и длительности межремонтного периода метод, основанный на определении указанных величин по фактическому состоянию станка в процессе эксплуатации в конкретных условиях производства.

При этом составляется «история болезни» на каждый конкретный станок с фиксацией различных нарушений его работоспособности (с помощью ЭВМ) и на основе этого принимается решение о времени и структуре ремонта.

Сами устройства ЧПУ относят к обслуживаемым и восстанавливаемым изделиям с циклическим режимом работы и проведе-

нием регламентационных работ. Надежность УЧПУ определяется показателями безотказности, ремонтпригодности и долговечности и устанавливается в технических документах на УЧПУ конкретного типа. Количественные показатели и нормы надежности устанавливаются в соответствии с ГОСТ 21021 — 2000 «Устройства числового программного управления. Общие технические требования».

13.3. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

Охрана труда — это система технических, санитарно-гигиенических, организационных и правовых мероприятий, направленных на обеспечение безопасных для жизни и здоровья человека условий труда. Требования по охране труда сформулированы в Трудовом кодексе Российской Федерации; они конкретизируются в общих, межотраслевых и отраслевых правилах по технике безопасности и в санитарных нормах.

Гигиена труда изучает трудовую деятельность человека и производственную среду с точки зрения влияния на организм человека и разрабатывает меры и санитарно-гигиенические нормативы, направленные на оздоровление условий труда и предупреждение профессиональных заболеваний.

Нормативные документы, определяющие безопасность труда и гигиенические нормы работы на предприятиях, приведены в [2].

Перед началом работы необходимо:

- привести в порядок свою рабочую одежду, застегнуть все пуговицы, плотно завязать обшлага рукавов, надеть головной убор, тщательно убрав под него волосы;
- подготовить рабочее место, проверить исправность защитных щитков и очков, осмотреть и подготовить к работе приспособления, режущий и мерительный инструмент, подготовить тару для заготовок, проверить исправность подножной деревянной решетки; проследить, чтобы пол вблизи станка был чистым и без масляных пятен;
- проверить наличие ограждений ременных и цепных передач, защитных кожухов, крышек гитар, исправность предохранительных устройств, крючков для устранения стружки; проверить, не оборван ли заземляющий провод, правильно установить светильник местного освещения (не должен ослеплять глаза);

- проверить натяжение цепей, ремней, исправность работы системы смазки станка, органов управления, тормоза;
- в течение нескольких минут проверить работу станка на холостом ходу.

Приступать к работе станка можно только в случае его полной исправности.

Во время наладки станка и перед его пуском в работу необходимо:

- при выключенном станке установить все защитные приспособления, режущие инструменты;
- проверить правильность наладки режущих инструментов и приспособлений: сначала визуальным осмотром, затем при повороте вручную шпинделя станка, потом при работе вхолостую и только после этого при обработке пробных деталей.

Особенности правил безопасности во время наладки станка с ЧПУ перед его пуском состоят в следующем: наладчик должен проверить работоспособность станка с помощью тестпрограмм, тем самым проконтролировав работу устройства ЧПУ. После наладки необходимо снять все рукоятки.

Во время работы станка необходимо:

- прочно закреплять обрабатываемые заготовки в патроне, на оправке или в другом приспособлении для закрепления заготовки; при установке и съеме заготовок массой более 20 кг пользоваться подъемными устройствами; не оставлять ключ в патроне после закрепления (открепления) заготовки, не притормаживать руками выключенный, но еще вращающийся шпиндель;
- удалять стружку специальными крючками; не производить смазку, обтирку и чистку станка при обработке заготовки;
- при осуществлении контроля размеров обрабатываемой детали остерегаться порезов рук острыми кромками резцов, фрез, осевого инструмента (сверл, зенкеров и др.);
- закрывать зону резания защитным щитком, а в станках с ЧПУ, оснащенных инструментальными магазинами и револьверными головками — защитными устройствами, предохраняющими рабочих-операторов от травмирования инструментами при транспортировании режущего инструмента из магазина к посадочному месту или при повороте револьверной головки;
- при скоростном точении применять резцы со стружколомами или стружколомающими канавками;
- при зачистке заусенцев или полировании заготовки на токарном станке не держать абразивную шкурку в руках, следует применять жимы;

- нежесткие валы обрабатывать в люнетах, выступающий конец вращающегося прутка ограждать трубчатым кожухом;
- работать на режимах резания, указанных в операционных картах; перед тем как остановить станок с ЧПУ, выключить автоматическую подачу и отвести режущий инструмент от заготовки (или наоборот); не работать на станке в перчатках, на забинтованные пальцы надевать резиновые напальчники; вытирать руки только чистой ветошью (при использовании обтирочного материала после вытирания им станка можно поранить руки мелкой стружкой);
- работая на токарном станке при частоте вращения шпинделя 150 мин^{-1} и более, не допускать применение жесткого центра;
- при обработке заготовок массой 30 кг и более применять самосмазывающийся центр;
- отключать станок с ЧПУ при перерыве в подаче электроэнергии, а также при обнаружении утечки масла;
- не открывать защитные кожухи электрооборудования, не открывать двери электрошкафов;
- о любых неисправностях сообщать мастеру, дежурному слесарю, электромонтеру; до их устранения к работе не приступать;
- поддерживать чистоту рабочего места, не загромождать его деталями, заготовками, следить, чтобы СОЖ не попадала на подножную деревянную решетку и пол в зоне работы станочника.

Порядок на рабочем месте — залог безопасной работы. **По окончании работы** необходимо:

- выключить станок с ЧПУ;
- отключить его от электросети;
- убрать стружку;
- смазать направляющие;
- убрать режущий и измерительный инструмент.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды работ включает техническое обслуживание станков с ЧПУ?
2. Что такое параметрический отказ?
3. Какие виды ремонтов станков с ЧПУ вы знаете?
4. Что такое ремонтный цикл?

Список литературы

1. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках / В. В. Бушуев. — М. : Машиностроение, 1989.
2. Вереина Л. И. Технологическое оборудование машиностроительного производства / Л. И. Вереина. — М. : Издательский центр «Академия», 2018.
3. Власов С. Н. Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий / С. Н. Власов, Г. М. Годович, Б. И. Черпаков. — М. : Машиностроение, 1995.
4. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. — Л. : Машиностроение, 1990.
5. Дерябин А. Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС / А. Л. Дерябин, М. А. Эстерзон. — М. : Машиностроение, 1989.
6. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / [И. Л. Фадюшин, Я. А. Музыкант, А. И. Мещеряков и др.]. — М. : Машиностроение, 1990.
7. Конструкционные материалы / [Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. — М. : Машиностроение, 1990.
8. Краткий справочник металлста / под общ. ред. А. Е. Древаля, Е. А. Скороходова. — М. : Машиностроение, 2005.
9. Кузнецов В. Г. Приводы станков с программным управлением / В. Г. Кузнецов. — М. : Машиностроение, 1983.
10. Кузнецов Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. — М. : Машиностроение, 1990.
11. Марголит Р. Б. Наладка станков с программным управлением / Р. Б. Марголит. — М. : Машиностроение, 1983.
12. Маслов А. Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента / А. Р. Маслов. — М. : Машиностроение, 1996.
13. Мещерякова В. Б. Металлорежущие станки с ЧПУ / В. Б. Мещерякова, В. С. Стародубов. — М. : Инфра-М, 2015.
14. Модзoleвский Д. А. Многооперационные станки. Основы проектирования и эксплуатация / Д. А. Модзoleвский, Д. В. Соловьев, В. А. Лонг. — М. : Машиностроение, 1981.
15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках с программным управлением. — М. : Центр. бюро нормативов по труду при НИИ труда, 1980.
16. Подготовка программ для обработки деталей на фрезерных станках с ЧПУ. Научно-исследовательский институт технологии и организации производства (НИАТ).

17. Программное управление станками и промышленными роботами / [В. Л. Косовский, Ю. Г. Козырев, А. Н. Новиков и др.]. — М. : Высш. шк., 1986.
18. Проектирование автоматизированных станков и комплексов / под ред. П. М. Чернянского. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.
19. Программное управление станками и промышленными роботами / [В. Л. Косовский, Ю. Г. Козырев, А. Н. Ковшов и др.]. — М. : Высш. шк., 1989.
20. Пуш В. Э. Автоматические станочные системы / В. Э. Пуш, Р. Пигерт, В. Л. Сосонкин ; под ред. В. Э. Пуша. — М. : Машиностроение, 1982.
21. Ратмиров В. А. Управление станками гибких производственных систем / В. А. Ратмиров. — М. : Машиностроение, 1987.
22. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. — М. : Машиностроение, 2003.
23. Справочник инструментальщика / [И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.] ; под общ. ред. И. А. Ординарцева. — Л. : Машиностроение, 1987.
24. Техническое обслуживание и ремонт оборудования ГПС. — М. : Изд-во ЭНИМС, 1990.
25. Технология конструкционных материалов / [А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин и др.] ; под общ. ред. А. М. Дальского. — М. : Машиностроение, 1993.
26. Шарин Ю. С. Подготовка программ для станков с ЧПУ / Ю. С. Шарин. — М. : Машиностроение, 1980.

Оглавление

Предисловие.....	4
------------------	---

РАЗДЕЛ I

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 1. Основные понятия и определения.....	7
---	----------

1.1. Автоматизация управления металлорежущими станками.....	7
1.2. Металлорежущие станки с числовым программным управлением.....	17

Глава 2. Основные виды обработки заготовок и принципы построения металлорежущих станков с числовым программным управлением и станочных систем.....	22
---	-----------

2.1. Развитие систем числового программного управления.....	22
2.2. Токарные станки.....	23
2.3. Сверлильные станки.....	27
2.4. Координатно-расточные станки.....	30
2.5. Фрезерные станки.....	31
2.6. Шлифовальные станки.....	34
2.7. Многоцелевые станки.....	36
2.8. Станочные системы.....	42
2.9. Система координат станков с числовым программным управлением.....	47

Глава 3. Система числового программного управления.....	51
--	-----------

3.1. Классификация систем числового программного управления.....	51
3.2. Программное обеспечение, задачи и функции систем числового программного управления.....	65
3.3. Мультипроцессорные устройства числового программного управления.....	72

РАЗДЕЛ II
КОМПОНОВКА И КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ СТАНКОВ
С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 4. Основные конструкции узлов станков	85
4.1. Несущие узлы станков	85
4.2. Направляющие станков и их защитные устройства.....	88
4.3. Системы автоматической смены режущих инструментов	96
4.4. Устройства автоматической смены обрабатываемых заготовок.....	104
Глава 5. Приводы подач станков	108
5.1. Привод главного движения, узел шпинделя	108
5.2. Приводы подачи рабочих органов станка	113
5.3. Гидравлические приводы станков.....	118
Глава 6. Вспомогательные системы и устройства.....	126
6.1. Устройства для сбора и транспортировки стружки	126
6.2. Системы смазывания деталей и узлов станков	128
6.3. Система охлаждения и смазочно-охлаждающие технологические среды	131

РАЗДЕЛ III
ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ
С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 7. Основные этапы и задачи подготовки управляющих программ.....	135
7.1. Процесс преобразования информации в системе «чертеж — готовая деталь»	135
7.2. Методы подготовки УП для станков с ЧПУ	139
Глава 8. Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса обработки деталей	150
8.1. Анализ деталей. Зоны обработки	150
8.2. Выбор станка с числовым программным управлением. Нулевые, исходные и фиксированные точки	168
8.3. Согласование условий поставки заготовки	174
Глава 9. Разработка маршрутной технологии при создании управляющих программ.....	177
9.1. Выбор последовательности обработки детали по зонам.....	177
9.2. Выбор режущих инструментов и расчет их параметров	180

9.3. Выбор вспомогательного инструмента	205
9.4. Назначение параметров инструмента для управляющих программ. Система координат инструмента.....	214
9.5. Выбор приспособления	216
9.6. Назначение нулевой точки детали. Система координат детали	227
9.7. Задание исходной точки программы	229
9.8. Определение положения нулевой точки W детали, исходной точки E инструмента, исходной точки P_s программы в системе координат станка	230
Глава 10. Разработка операционной технологии при создании управляющих программ.....	235
10.1. Основные понятия	235
10.2. Правила формирования траекторий во вспомогательных переходах.....	241
10.3. Правила формирования траекторий рабочих перемещений в инструментальных переходах	243
10.4. Назначение режимов обработки	248
10.5. Разработка расчетно-технологической карты изготовления детали	254
Глава 11. Математическая подготовка и кодирование управляющих программ.....	260
11.1. Интерполяция.....	260
11.2. Структура построения управляющей программы	265
11.3. Типы кадров УП.....	272
11.4. Ввод и функции управляющей программы.....	273
РАЗДЕЛ IV	
НАСТРОЙКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	
Глава 12. Контроль управляющей программы и настройка станка на изготовление детали	285
12.1. Контроль управляющих программ	285
12.2. Сборка инструментальных оправок и режущих инструментов.....	286
12.3. Измерение параметров инструментов.....	288
12.3. Установка и точная ориентация приспособления на столе станка.....	294
12.4. Определение положений нулевой точки W детали и исходной точки программы P_s	299

Глава 13. Эксплуатация, особенности технического обслуживания и ремонт станков с числовым программным управлением.....	304
13.1. Основные требования к условиям эксплуатации станков с ЧПУ	304
13.2. Системы технического обслуживания и ремонта.....	306
13.3. Безопасность труда	310
 Список литературы.....	 313

Учебное издание

Мещерякова Вера Борисовна

**Изготовление деталей на металлорежущих станках
с программным управлением по стадиям технологического
процесса**

Учебник

Редактор *С. Е. Кондратьев*

Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*

Корректоры *Л. В. Гаврилина, Е. В. Кудряшова*

Изд. № 101119450. Подписано в печать 10.08.2018. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Балтика». Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,0.
Тираж 2000 экз. Заказ № 42014.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1. Тел./факс: (495) 648-0507, 616-0029.
Сертификат соответствия № РОСС RU.АД77.Н02114 от 31.05.2018.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством
электронных носителей в АО «Саратовский полиграфкомбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarpk.ru



Издательский центр «Академия»

Учебная литература
для профессионального
образования

Наши книги можно приобрести (оптом и в розницу)

Москва:

129085, Москва, пр-т Мира, д. 101в, стр. 1
(м. Алексеевская)
Тел.: (495) 648-0507, факс: (495) 616-0029
E-mail: sale@academia-moscow.ru

Филиалы:

Северо-Западный

194044, Санкт-Петербург, ул. Чугунная,
д. 14, оф. 319
Тел./факс: (812) 244-9253
E-mail: spboffice@acadizdat.ru

Приволжский

603101, Нижний Новгород, пр. Молодежный,
д. 31, корп. 3
Тел./факс: (831) 259-7431, 259-7432, 259-7433
E-mail: pf-academia@bk.ru

Уральский

620142, Екатеринбург, ул. Чапаева, д. 1а, оф. 12а
Тел.: (343) 257-1006
Факс: (343) 257-3473
E-mail: academia-ural@mail.ru

Сибирский

630007, Новосибирск, ул. Кривощёковская, д. 15, корп. 3
Тел./факс: (383) 362-2145, 362-2146
E-mail: academia_sibir@mail.ru

Дальневосточный

680038, Хабаровск, ул. Серышева, д. 22, оф. 519, 520, 523
Тел./факс: (4212) 56-8810
E-mail: filialdv-academia@yandex.ru

Южный

344082, Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, д. 10/65
Тел.: (863) 203-5512
Факс: (863) 269-5365
E-mail: academia-UG@mail.ru

Представительства:

в Республике Татарстан

420034, Казань, ул. Горсоветская, д. 17/1, офис 36
Тел./факс: (843) 562-1045
E-mail: academia-kazan@mail.ru

в Республике Казахстан

Алматы, пр-т Абая, д. 26А, оф. 209
Тел.: (727) 250-0316, моб.тел.: (701) 014-3775
E-mail: academia_kazakhstan@mail.ru

в Республике Дагестан

Тел.: 8-928-982-9248

www.academia-moscow.ru

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ
НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
ПО СТАДИЯМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА**



Издательский центр «Академия»
www.academia-moscow.ru