

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра технологии машиностроения

88-2012

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Автоматизация производственных процессов в
машиностроении» для студентов специальности
151001 «Технология машиностроения»
всех форм обучения



Воронеж 2012

Составители: д-р техн. наук О.Н. Кириллов,
д-р техн. наук В.П. Смоленцев

УДК 621.757.006.3.001.66 (075.8)

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения» всех форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. О.Н. Кириллов, В.П. Смоленцев. Воронеж, 2012. 34с.

В методических указаниях сформулированы цели и задачи лабораторного практикума, даны теоретические основы, необходимые при выполнении лабораторных работ, перечень необходимого оборудования и оснастки, порядок выполнения, необходимые рисунки, схемы и таблицы, а также перечень рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов 4, 5, 6 курсов.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом чистовом редакторе MS WORD и содержатся в файле "Л.Р. АПП ТМ".

Табл. 11. Ил. 10. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. М.И. Чижов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой профессор
А.И. Болдырев

Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет», 2012

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящих методических указаний является оказание помощи студентам в приобретении навыков самостоятельной работы при составлении (разработке) управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении». Такие задачи возникают в процессе технологической подготовки производства новых изделий машино- и приборостроения, а также в ходе технического перевооружения и модернизации предприятий.

В настоящих методических указаниях изложены основы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, приведены особенности программирования и примеры программ для токарных, фрезерных, электроэрозионных станков.

Каждое лабораторное занятие рассчитано на четыре академических часа. Это дает возможность под руководством преподавателя практически осуществить поэтапную разработку управляющих программ для станков с ЧПУ.

В процессе выполнения работ студенты используют навыки, полученные при изучении дисциплин «Технология машиностроения», «Теория резания» и др.

Лабораторная работа №1
Технологическая подготовка для станков с ЧПУ

Цель работы: Освоение основных этапов подготовки обработки заготовок деталей типа тел вращения на токарном станке с ЧПУ

Оборудование, приборы, инструменты, документы

1. Токарный станок модели ТПК - 125В
2. Заготовки деталей типа тел вращения
3. Программа на перфоленте для детали
4. Штангенциркуль
5. Микрометр
6. Индикаторная стойка
7. Режущие инструменты
8. Оснастка

1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1.1. Назначение, область применения и техническая характеристика токарного станка модели ТПК - 125В

Токарный станок высокой точности модели ТПК – 125В с числовым программным управлением предназначен для патронной и центровой обработки с высокой точностью малогабаритных деталей с большим количеством проходов и сложного профиля из различных материалов. На станке можно производить все виды токарной обработки, нарезание резьбы резцом. Конструкция станка позволяет производить **обработку деталей с микронной точностью**, что делает его практически незаменимым особенно при изготовлении малогабаритных деталей.

Высокая точность достигается:

- высокой жесткостью шпинделя, выполненного на прецизионных опорах качения;
- предварительным упругим натягом направляющих качения на суппорте;
- наличием перемещений суппорта с дискретностью 1 мкм;
- стабильностью положения режущего инструмента в револьверной головке;

- изоляцией главного привода от несущей станины виброзащитным устройством, исключающим передачу внутренних и внешних колебаний.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм	125
Рекомендуемый диаметр обработки, мм	100
Наибольшая длина обрабатываемой поверхности, мм	180
Наибольшее перемещение суппорта, мм:	
продольное	190
поперечное	110
Пределы частот вращения шпинделя, об/мин	50 - 4000
Диапазон рабочих подач суппорта, мм/мин:	
продольной	1 - 6000
поперечной	1 - 6000
Скорость быстрых перемещений суппорта, м/мин:	
продольных	8
поперечных	8
Шероховатость поверхности обрабатываемых образцов, мкм:	
стальных	Ra 1,25
цветных сплавов (алмазным резцом)	Ra 0,32
Диапазон шагов резьб, нарезаемых резцом, мм	от 0,25 до 30
Количество позиций инструмента в револьверной головке	6
Время смены позиций револьверной головкой, сек.	1,5
Мощность главного привода, кВт	4
Суммарная мощность, кВт	8,51
Устройство ЧПУ	H22H1MT1.
Габаритные размеры станка, мм	1680 x 1040 x 1630
Масса станка, кг	1850

Станок оснащен роботом пневматическим модели РП - 901, предназначенным для захвата заготовки из магазина, перемещения и установки в токарный патрон, а после обработки - для захвата обработанной детали в патроне, перемещения и укладки ее в тот же магазин.

Для обеспечения наивысшей точности обработки и увеличения времени сохранения точностных параметров станка рекомендуется глубину резания устанавливать не более 0,5 мм на сторону. Программное управ-

ление станком позволяет обрабатывать детали сложного профиля с большим количеством переходов в автоматическом режиме, что является экономически выгодным для многономенклатурного серийного и мелкосерийного производства.

В режиме автоматического управления станок может работать одновременно по двум координатам с автоматической сменой инструмента.

Расположение основных частей станка модели ТПК - 125В показано на рис. 1.1:

- 1 - бабка передняя;
- 2 - патрон кулачковый;
- 3 - ограждение;
- 4 - станина;
- 5 - головка револьверная;
- 6 - суппорт двухкоординатный С - 2К;
- 7 - робот пневматический РП - 901;
- 8 - пульт управления роботом РП - 901;
- 9 - магазин;
- 10 - пневмооборудование;
- 11 - шкаф с электроаппаратурой;
- 12 - пульт управления;
- 13 - система ЧПУ H22H1MT1.

На рис. 1.2 представлена панель пульта управления станком:

- 1 - регуляторы частоты вращения шпинделя в автоматическом режиме;
- 2 - переключатель "Пневмопатрон - Механический патрон";
- 3 - переключатель направления вращения шпинделя в режиме наладки;
- 4 - регулятор частоты вращения шпинделя в режиме наладки;
- 5 - кнопка "Пуск шпинделя" в режиме наладки;
- 6 - переключатель разжима пневмопатрона;
- 7 - тумблер включения местного освещения;
- 8 - кнопка управления поворотом револьверной головки в режиме наладки;
- 9 - переключатель скорости продольной и поперечной подачи суппорта в режиме наладки;
- 10 - переключатель направления движения поперечного суппорта в режиме наладки;
- 11 - кнопка ускоренного перемещения суппорта в режиме наладки;
- 12 - переключатель направления движения продольного суппорта в режиме наладки;
- 13 - кнопка "Управление включить";
- 14 - переключатель режима работы "Автомат - Наладка";

- 15 - кнопка "Пуск цикла" в автоматическом режиме;
- 16 - кнопка "Все стоп";
- 17 - лампа "Управление включено";
- 18 - лампа "Сеть".

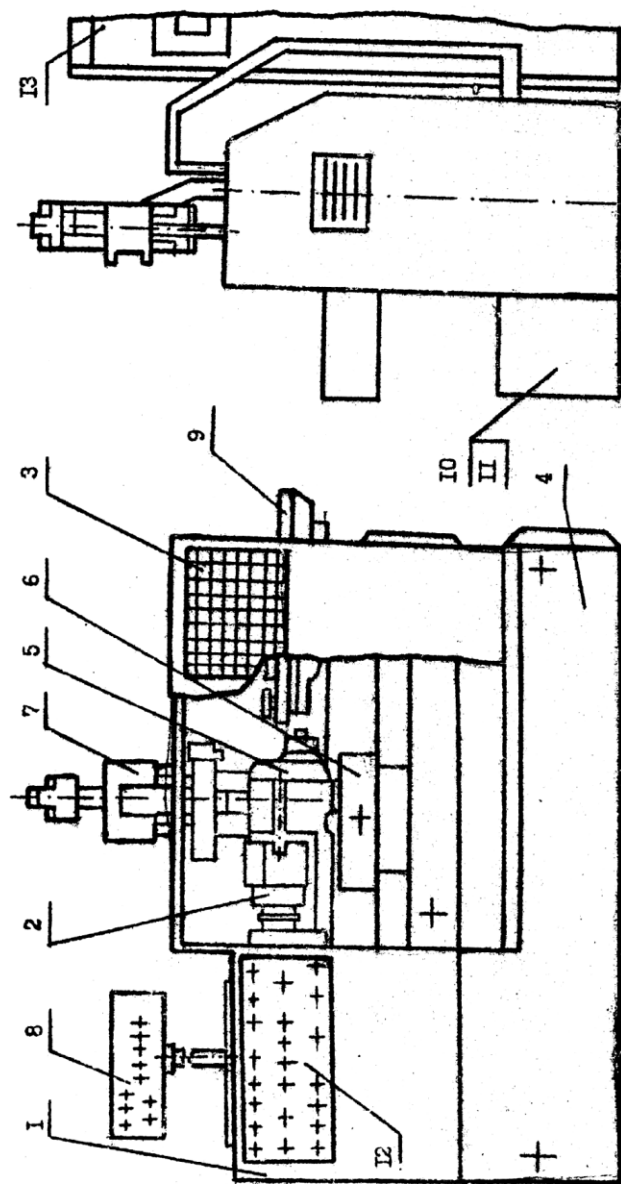


Рис. 1.1. Основные части и органы управления станка модели ТПК – 125В

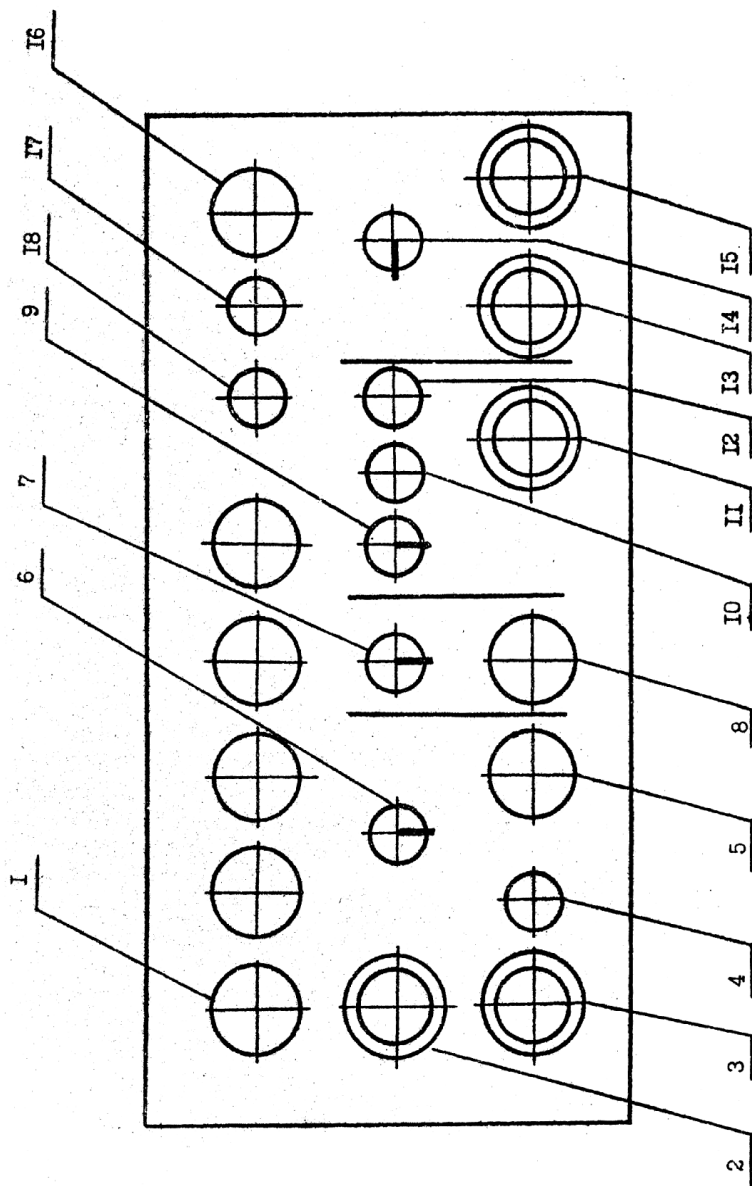


Рис 1.2. Панель пульта управления станка ТПК – 125В

1.1.2. Подготовка станка и работа его в различных режимах

1.1.2.1. Пуск станка

Подготовить станок к включению. На пульте управления ЧПУ установить переключатель режима работ в положение "Ручное управление". На пульте управления станком рис. 1.2 установить:

- переключатель режима работ 14 в положение "Наладка";
- переключатель направления вращения шпинделя 3 в среднее положение;
- регуляторы частоты вращения шпинделя в крайнее левое положение;
- переключатель зажима и разжима пневмопатрона 6 в положение "Зажим";
- переключатель цикла работы 2 в правое или левое положение (правое при - работе с механическим патроном, левое - с пневмопатроном).

1.1.2.2. Включение станка

Включить автомат, расположенный на электрошкафу станка. После чего на пульте управления станком рис. 1.2 загорится лампочка 18 "Сеть". Включить ЧПУ кнопкой "Вкл", расположенной на пульте ЧПУ. Затем нажать кнопку 13, при этом должна загореться лампочка 17 "Управление включено".

1.1.2.3. Работа в режиме "Наладка"

На пульте управления станком рис. 1.2 установить требуемую частоту вращения шпинделя посредством регулятора 4, нажимая кнопку 8 выбрать нужный инструмент револьверной головки.

Переключателем 3 выбрать нужное направление вращения шпинделя. Кнопкой 5 "Пуск шпинделя" включить вращение шпинделя.

Управляя переключателями 10 и 12, произвести включение рабочей подачи суппорта в требуемое направление. Переключение на ускоренный ход производится нажимом кнопки 11 на пульте управления станка при выбранном направлении движения. Выставить суппорт в исходное положение.

1.1.2.4. Работа в режиме "Автоматический цикл"

Установить переключатели режимов работы на станке и ЧПУ в положение "Автомат", заправить в ФСУ перфоленту с программой. На пульте управления станком рис. 1.2 регуляторами 1 установить требуемые частоты вращения шпинделя. Кнопками "Пуск цикла" с пульта управления станком и "Пуск" с пульта оператора ЧПУ запустить станок без детали и

проконтролировать правильность выполнения программы по цифровой индикации H22HMTI и лимбам станка, правильность выбора инструмента, выход в исходное положение, работу робота в цикле и т.д.

Обработать пробную деталь по программе.

После обработки первой (пробной) детали установить переключателями на пульте коррекций ЧПУ нужную величину коррекции по длине и диаметру на каждый инструмент. Для повторного автоматического цикла нажать кнопку "Запуск цикла".

Для перемотки перфоленты в требуемое положение, определяемое номером кадра, необходимо набрать номер кадра на пульте ЧПУ, при этом выбрать переключателем режима работы "Поиск кадра" нужный кадр. Останов перфоленты произойдет на требуемом кадре.

1.1.2.5. Работа в режиме "Контроль"

Переключатель режима работ на пульте ЧПУ поставить в положение "Проверка ленты".

Установить контролируемую перфоленту. Нажать кнопку "Запуск цикла", убедиться в запуске ФСУ /непрерывном считывании ленты/. Наличие сбоев контролировать по сигнализации "Сбой ввода" и "Сбой ЧПУ". В случае одного из сбоев контролировать правильность кода перфоленты в месте останова.

1.1.2.6. Выключение станка

Выключить автомат.

Для экстренного останова станка нажать красную кнопку 16 на пульте управления станком рис. 1.2.

1.1.3. Назначение и область применения робота модели РП - 901

Робот пневматический НП - 901 предназначен для механизации процесса установки обрабатываемой детали в патрон станка и снятия обработанной детали из патрона.

Система "Станок - Робот" обеспечивает работу станка в автоматическом режиме, что позволяет перейти на обслуживание одним оператором 4 - 5 станков одновременно.

Быстрота переналадки робота при соответствующей технологической проработке обрабатываемых деталей позволяет его эффективно использовать в многономенклатурном серийном и мелкосерийном производствах.

Наличие 20-местного магазина обеспечивает автоматическую работу системы "Станок - Робот" в течение не менее 1 часа. Грузоподъемность робота РП - 901 не более 0,15 кг при точности позиционирования $\pm 0,1$ мм. В качестве заготовок служат детали типа тел вращения диаметром 5-60 мм и длиной 4-40 мм.

Составными частями робота модели РП - 901 являются; магазин, каретка, головка, механизм поворота, кронштейн, блок и пульт управления.

На рис. 1.3 представлена панель пульта управления роботом:

- 1 - тумблер включения и выключения сети;
- 2 - сигнальная лампа включения сети;
- 3 - кнопка "Сброс" - установка шагового искателя в позицию "0";
- 4 - кнопка "Работа" - пуск робота в автоматическом режиме;
- 5 - тумблер переключения режима работы;
- 6 - тумблер управления работой кронштейна в наладочном режиме;
- 7 - тумблер управления работой головки в наладочном режиме;
- 8 - тумблер управления работой механизма поворота на 90 и 100° в наладочном режиме;
- 9 - тумблер управления работой магазина в наладочном режиме;
- 10 - тумблер управления перемещением каретки в наладочном режиме;
- 11 - сигнальная лампа положения шагового искателя;
- 12 - сигнальная лампа наличия напряжения управления шаговым искателем.

1.2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.2.1. Подобрать деталь для обработки на станке (выбор выполняется с участием преподавателя).

1.2.2. Разработать план маршрута обработки детали.

1.2.3. Оценить сложность детали в зависимости от количества переходов и требуемого числа инструментов. Указать достаточно ли число инструментов в револьверной головке станка для выполнения всех операций.

1.2.4. Установить вид инструмента, необходимого для выполнения операций. Составить спецификацию с указанием наименования, шифра и количества нормализованного и специального режущего инструмента.

1.2.5. Установить оснастку для выполнения операций. Составить спецификацию оснастки.

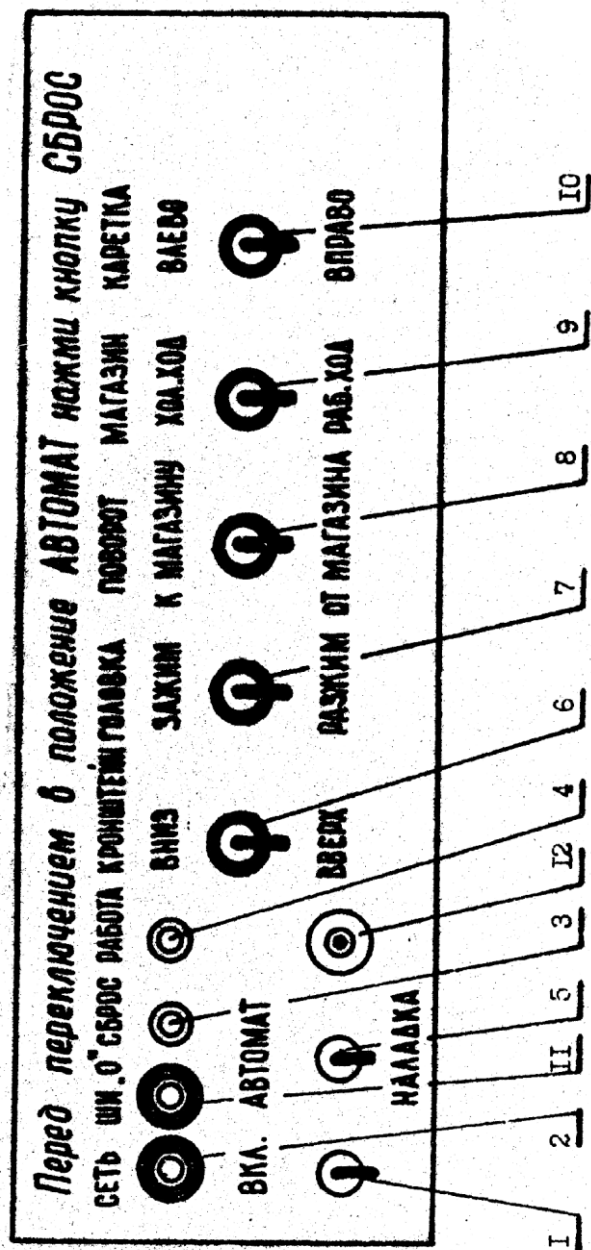


Рис. 1.3. Панель пульта управления робота РП - 901

- 1.2.6. Разработать карту наладки оснастки, куда включить контрольные операции по выверке положения отдельных поверхностей, марки и степень точности контрольного инструмента.
- 1.2.7. Разработать карту наладки инструмента (вылет инструмента в головке, степень точности, контрольный инструмент, степень точности инструмента).
- 1.2.8. Разработать карту контроля детали (на стандартном бланке).
- 1.2.9. Получить инструмент и оснастку.
- 1.2.10. Установить оснастку и инструмент на станке, выверить их в соответствии с картами наладки.
- 1.2.11. Получить программу и установить ее на станок.
- 1.2.12. Установить в магазин 1-2 заготовки.
- 1.2.13. Включить станок в автоматическом режиме.
- 1.2.14. Контролировать последовательность работы инструмента по цветовой индикации и карте наладки. В случае нарушений выключить станок кнопкой "Стоп". Зафиксировать время работы станка по программе.
- 1.2.15. Измерить детали и сравнить результаты с картой контроля, сделать заключение о годности детали и дать анализ причин, вызвавших погрешности.
- 1.2.16. Очистить станок от стружки, снять программу.
- 1.2.17. Обработать результаты и заполнить отчет.

1.3. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

- 1.3.1. Дать чертеж и краткое описание заготовки и детали.
- 1.3.2. Привести план обработки детали на станке. Обосновать возможность ее обработки на станке.
- 1.3.3. Дать спецификацию режущего инструмента и пояснить: подходит ли выбранный станок для изготовления детали без перестановки инструмента.
- 1.3.4. Дать спецификацию оснастки и анализ ее пригодности для выбранного оборудования.
- 1.3.5. Привести карты наладок, контроля детали и пояснения к ним.
- 1.3.6. Оформить таблицу замеров детали после обработки, сравнить результаты с картой контроля, раскрыть причины появления погрешностей и дать заключение о годности детали. Привести значения машинного и подготовительно-заключительного времени.

Лабораторная работа №2
Кодирование информации и разработка программ

Цель работы: Привитие навыков назначения команд и составления информации для программ в коде ISO - 7БИТ по ГОСТ 13052-74

Оборудование, приборы, инструменты, документы

1. Станки моделей ТПК - I25B, БФ 224, ПФ 4732Ф3
2. Программируемый микрокалькулятор типа МК - 52, ЭВМ
3. Чертежи обрабатываемых деталей
4. Измерительный инструмент

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1. Программа

Программа - совокупность действий станка, включающая подготовительные, технологические, вспомогательные команды. Запись команд может вестись на перфоленту, перфокарту, магнитную ленту или непосредственно в управляющую машину (в оперативную, внешнюю память, на диски и др.).

Перспективными носителями информации являются управляющие машины. Рассматриваемые в работе станки с ЧПУ работают от перфолент. По ГОСТ 13052-74 перфоленты - это восьмидорожечные ленты белого цвета шириной 25,4 мм.

2.1.2. Выбор координат

На ленту наносятся перемещения по осям X , Y , Z как в положительном, так и в отрицательном направлении. При назначении осей координат следует учитывать следующее.

Начало координат - точка пересечения торца шпинделя с осью вращения. Желательно, чтобы все перемещения рабочих органов станка относительно этой точки описывались бы положительными координатами. Для фрезерного станка начало координат совпадает с базовой точкой стола в одном из его крайних положений. При этом ось Z направлена по оси шпинделя (положительное направление противоположно направлению подачи инструмента).

В соответствии с ГОСТ 23597-79 в правой прямоугольной системе координат положительное направление осей определяется по правилам правой руки. Для этого необходимо положить тыльную часть ладони на обрабатываемую поверхность и расположить пальцы как показано на рис. 2.1 а.

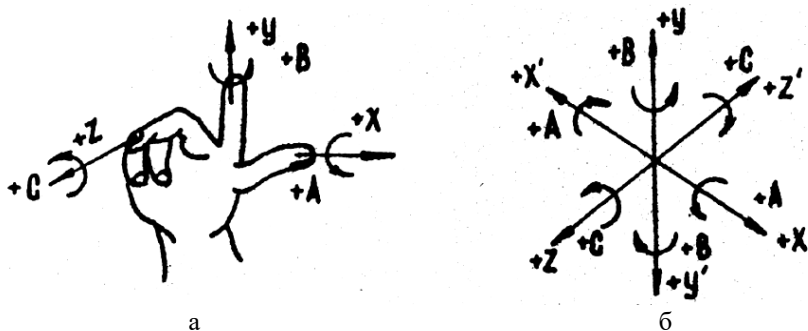


Рис. 2.1. Оси и направления вращения

Тогда средний палец укажет на положительное направление оси Z , большой - X , указательный - Y . Если по какой-либо координате перемещается не инструмент, а деталь, то положительное направление противоположно показанному на рис. 2.1 а.

Положительное направление вращения определяется так: если смотреть по положительному направлению оси, то движение происходит по часовой стрелке.

Координаты перемещения инструмента приведены на рис. 2.1 б. Здесь индексами со штрихом обозначены координатные оси перемещения заготовки.

Система координат для токарного станка приведена на рис. 2.2 а, фрезерного – на рис. 2.2 б.

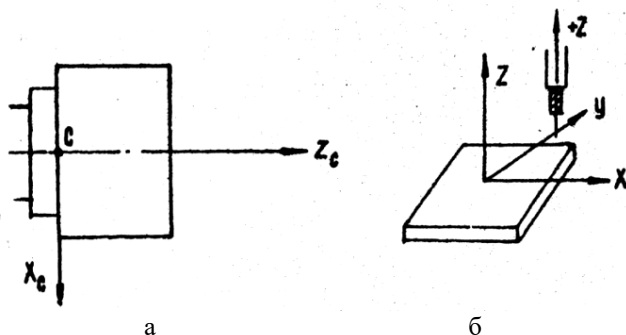


Рис. 2.2. Направления осей системы координат

Кроме первичных осей на станке могут быть вторичные, третичные и т.д. Такой случай может иметь место, если на станке имеется несколько органов для перемещения инструмента.

При подготовке программ принимают, что перемещается инструмент относительно неподвижной заготовки.

2.1.3. Координатные точки

Для программирования необходимо знать точки, которые по ГОСТ 20523-80 называются: нулевой, исходной и фиксированной.

Нулевая точка - начало координат станка. От нее идет отсчет абсолютных размеров перемещений органов станка с помощью "плавающего нуля", который позволяет перемещать начало отсчета перемещений относительно нулевой точки в нужное для работы положение.

Исходная точка - точка, с которой начинается работа станка по программе. Выбирается с учетом удобства работы на станке и сокращения времени холостых ходов.

Фиксированная точка - определяет положение рабочего органа станка. Определяется относительно нулевой точки. Для повышения точности совпадения рабочего органа с фиксированной точкой на станке устанавливаются специальные датчики положения, исключающие накопленную ошибку перемещения органов станка.

При настройке и работе точки могут быть совмещены. Для упрощения наладки нулевая точка может совпадать с началом стандартной системы координат, а фиксированные точки - с базовыми. Под базовой точкой понимают начало координат инструмента (на токарном станке это может быть ось поворота револьверной головки).

2.1.4. Расчет опорных точек траектории

Траекторию рассчитывают в соответствии с технологическим процессом с учетом типа оборудования, инструмента и режимов резания, числом управляемых координат стойки ЧПУ.

Элементами траектории инструмента являются отрезки прямых и дуги окружностей между опорными точками по контуру детали.

Таким образом исходным документом для расчета является чертеж детали и разделы маршрутной карты с информацией предшествующей и выполняемой операций, с допусками и техническими условиями.

Точность расчетов определяется дискретностью перемещения рабочего органа.

Задачей расчетов является определение положения опорных точек, лежащих на прямых, окружностях и их пересечениях. Расчет координат опорных точек осваивается студентом при прохождении курсов САПР и др.

2.1.4.1. Координаты опорных точек токарного станка

В качестве примера рассмотрим определение координат опорных точек детали, показанной на рис. 2.3.

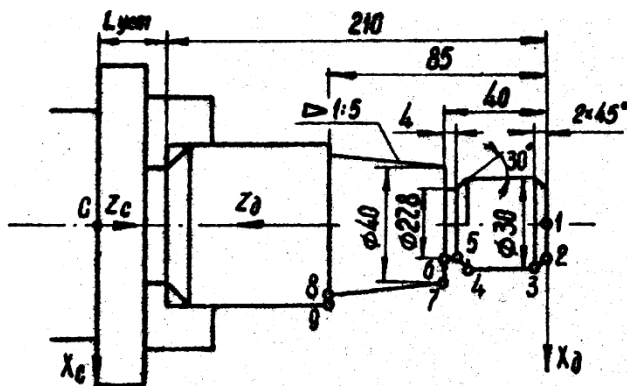


Рис. 2.3. Операционный эскиз токарной обработки вала

Последовательность выполнения работ:

1. Выбирают установочные базы и способ закрепления детали. В нашем случае обработка ведется в патроне.
2. Наносят координаты станка (X_c , Z_c) и детали (X_d , Z_d).
3. Разрабатывают маршрутный технологический процесс обработки.
4. Строят размерные цепи и вычисляют координаты опорных точек 2, 3, ... 8, для диаметральных размеров рассчитывают диаметры (для части опорных точек такие расчеты не требуются):

$$\begin{aligned}
X_2 &= X_3 - 2 \cdot 2 = 30 - 4 = 26 \text{ мм} \\
Z_3 &= Z_1 - 2 = 210 - 2 = 208 \text{ мм} \\
Z_4 &= Z_1 - 40 + 4 + 1,96 = 210 - 34,04 = 175,96 \text{ мм} \\
Z_5 &= Z_1 - 40 + 4 = 210 - 36 = 174 \text{ мм} \\
Z_6 &= Z_7 = Z_1 - 40 = 210 - 40 = 170 \text{ мм} \\
X_7 &= 40 \text{ мм} \\
Z_8 &= Z_1 - 85 = 210 - 85 = 125 \text{ мм} \\
X_8 &= X_7 + (Z_7 - Z_8) \cdot 1/5 = 40 + (170 - 125) \cdot 1/5 = 49 \text{ мм}
\end{aligned}$$

Результаты заносят в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Координаты опорных точек

Точка	Координаты точек	
	Z	X
1	210	0
2	210	26
3	208	30
4	175,96	30
5	174	27,8
6	170	27,8
7	170	40
8	125	49

Для установка детали в станок опорные точки пересчитывают из системы координат детали в систему координат станка:

$$Z_C = L_{\text{уст}} + Z_D$$

$$X_C = X_D$$

В нашем случае $L_{\text{уст}} = 150 \text{ мм}$.

В табл. 2.2 приведены координаты станка.

Таблица 2.2

Координаты станка

Координата	Точка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Z ₀	360	360	358	325,96	324	320	320	275
X ₀	0	26	30	30	27,8	27,8	40	49

Траектория инструмента в большинстве случаев эквидистантна к обрабатываемому контуру. Для резца опорные точки рассчитывают по настроечной точке, которой может быть центр закругления при вершине. Траекторию строят таким образом, чтобы в точках сопряжения контура не было "зарезов" детали.

2.2. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ

2.2.1. Содержание программ

Программа обработки записывается из кадров. Формат кадра - это условная запись наибольшего объема информации. Кадр включает:

1. Номер кадра, записывается трехзначным числом (до 999). Запись обычно ведут через интервал, кратный 10 (10, 20 и т.д.).
2. Подготовительные функции, имеют девять групп (от G 00 до G 99).
3. Геометрические параметры - X, Y, Z и другие координаты.
4. Технологические параметры - подача, скорость и др.
5. Вспомогательные функции (от M00 до M60).
6. Прочая информация (например, число повторений программы).
7. Знак окончания кадра (ПС, LF).

Например, кодированная запись формата кадра № 60 для операции с остановкой детали на 3 секунды (подготовительная функция G 04), перемещением инструмента по оси X на 10 мм (10000 мкм) с подачей 15 мм/мин при частоте вращения детали 1500 мин⁻¹ и последующим остановом шпинделя (вспомогательная функция M05) запишется так:

# 60	3604	X10000	F150 S1500	M05	ПС
№ кадра	подготов. функция	геометр. параметры	технологич. параметры	вспомог. функция	

В начале программы ставится знак, например %, который позволяет остановить ленту при обратной перемотке.

В программе может быть информация, поясняющая кадры /указания наладчику, название инструмента/, которая не должна считываться системой ЧПУ. Такая информация заключается в круглые скобки.

2.2.2. Виды кадров

Используются 3 вида кадров: главный, очередной и выпадающий.

Главный кадр стоит в начале обработки и характеризует исходное состояние команд подготовительных и вспомогательных функции. Он может быть использован после смены каждого инструмента. В главном кадре должна содержаться информация, необходимая для работы очередным инструментом, независимо от наличия ее в предшествующих кадрах. Главный кадр может обозначаться символом « : » .

Очередной кадр указывает ввод новой и отмену ранее заданной информации. Обозначается символом N .

Выпадающий кадр обозначается символом « / ». Также кадры могут отрабатываться или не отрабатываться на станке. Если на станке не нажата кнопка с символом /, то кадры, отмеченные этим знаком, выпадают. Выпадающий кадр может быть главным или очередным. Его обозначение соответственно /; или /N .

2.2.3. Коды подготовительных команд

Имеют символ G и обозначаются двухразрядным кодом. Подготовительные команды определяют выбор перемещения на станке, необходимость в паузе, останове шпинделя и др. Кроме того, тем же символом обозначаются постоянные циклы, которые необходимы, например, при обработке нескольких групп одинаковых углублений.

Основные коды команд приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные коды команд

Подготовительные команды	
6 00	- позиционирование, ускоренный ход /10 м/мин/
6 01	- линейная интерполяция, перемещение с заданной скоростью по прямой от исходной точки
6 10	- линейная интерполяция, длинные размеры
6 02, 6 03	- круговая интерполяция /по часовой и против часовой стрелки
6 20	- круговая интерполяция по часовой стрелке, длинные размеры
6 21	- то же, короткие размеры
6 04	- выдержка времени /пауза, остановка с задержкой/, например, для остывания детали, останов программы
6 05	- остановка в системе ЧПУ СМС
6 09	- торможение при подходе к конечной точке обработки /к опорным точкам/
6 17 - 6 19	- плоскость интерполяции XY, XZ, YZ.
6 26	- работа в приращениях
6 27	- излом контура в системе "Размер - 4", аналог 6 10, 6 14, 6 24
6 28	- сопряженный вход в системе "Размер - 4" /подход инструмента к сопрягаемому контуру/, аналог 6 11, 6 12, 6 13, 6 41, 6 42
6 40	- нулевая коррекция инструмента, отмена коррекции

Продолжение табл. 2.3

G 43	- алгебраическое сложение коррекции по радиусу и перемещения рабочего контура
G 44	- вычитание /коррекция/
G 45 - G 48	- коррекция /+, -, 2+, 2-/, ввод коррекции L
G 73	- обработка параллельно осям
G 53	- для системы "Размер - 4" отчет координат от абсолютного нуля
G 54 - G 57	- коррекция по осям X, Y, Z /четыре плавающих нуля/
G 60, G 61	- подготовительная и команда подвода в заданную точку
G 74	- автоматическое перемещение в абсолютный нуль в системе CNC
G 92	- смещение нуля отсчета внутри программы в любую точку относительно абсолютного нуля, т.е. без установки баз
Постоянные циклы	
G 80 - G 90	- аналог L 80 - L 90
G 90, G 91	- порядок задания перемещений в абсолютных значениях /G 90/ или в приращениях от последнего значения

При использовании постоянных циклов (ПЦ) структура кадра принимает вид, приведенный на рис. 2.4.

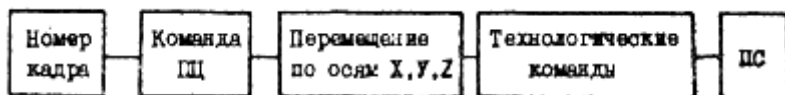


Рис. 2.4. Структура кадра

2.2.4. Технологические команды

2.2.4.1. Знак перемещения

Указывают знак перемещения. Например, X-10000 указывает на перемещение инструмента или станка по оси X в отрицательном направлении на величину 10 мм (для инструмента на станке ТПК - 125В влево). Если перемещения задаются в приращениях, то знак определяется относительно исходной точки.

2.2.4.2. Подача

Рабочие перемещения задают адресом F , после которого стоят цифры. Например, при дискретности 0,1 мм подаче 15 мм/мин соответствует индекс F 150. Подачи могут задаваться в мм/об. При этом в кадре указывается подготовительная команда, например, G 95.

2.2.4.3. Частота вращения шпинделя

Кодируется адресом S . Тогда при дискретности 0,1 частоте 40 мин⁻¹ соответствует символ S 400. Для станка ТПК - 125В: S 001 - первый диапазон; S 002 - второй диапазон; S 003 - третий диапазон; S 004 - четвертый диапазон. Общий диапазон изменения частоты вращения шпинделя - 100-3000 мин⁻¹.

2.2.4.4. Задание инструменту

Номер инструмента кодируется адресом T. Положение инструмента задается адресом D и четырехзначным десятичным числом, первые 2 разряда которого характеризуют вид коррекции, а 2 последующих - номер корректора. Значение коррекции вводят в память устройства ЧПУ при смене инструмента. Команда T подается не в кадре смены инструмента, а ранее.

На станке ТПК - 125В коррекция имеет команду L с двухразрядным числом. Первая цифра показывает ось, по которой выполняется коррекция, вторая - номер корректора. Команда L 11 указывает, что коррекция выполняется по оси X на первом корректоре, команда L 21 показывает, что коррекция выполняется по оси Y на первом корректоре, команда L 32 указывает на коррекцию по осям X и Y корректором 2.

2.2.5. Вспомогательные команды

Вспомогательные команды программируются адресом M и цифрами до 99. Основные коды вспомогательных команд приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Коды вспомогательных команд

M00	- программированный останов /для станка ТПК - 125В останов шпинделя выполняется по команде S 000/
M01	- останов с подтверждением
M002	- конец программы

Продолжение табл. 2.4

M03	- вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	- вращение шпинделя против часовой стрелки
M05	- останов шпинделя
M06	- смена инструмента /для станка ТПК - I25B смена инструмента выполняется по команде T10I/
M07, M08	- включение охлаждения
M09	- выключение охлаждения
M10	- зажим
M11	- отжим
M15, M16	- перемещение +, -
M18	- возврат инструмента в магазин
M20	- команда роботу
M25	- останов шпинделя в конце ШЦ
M36, M37	- диапазоны подачи I и II
M38, M39	- диапазоны частот вращения I и II
M60	- смена столов-спутников

Вспомогательные команды определяют порядок действия функции до или после перемещения рабочих органов, отмену, время действия команды, смену инструмента и др. Некоторые команды отменяют действие ранее использованных.

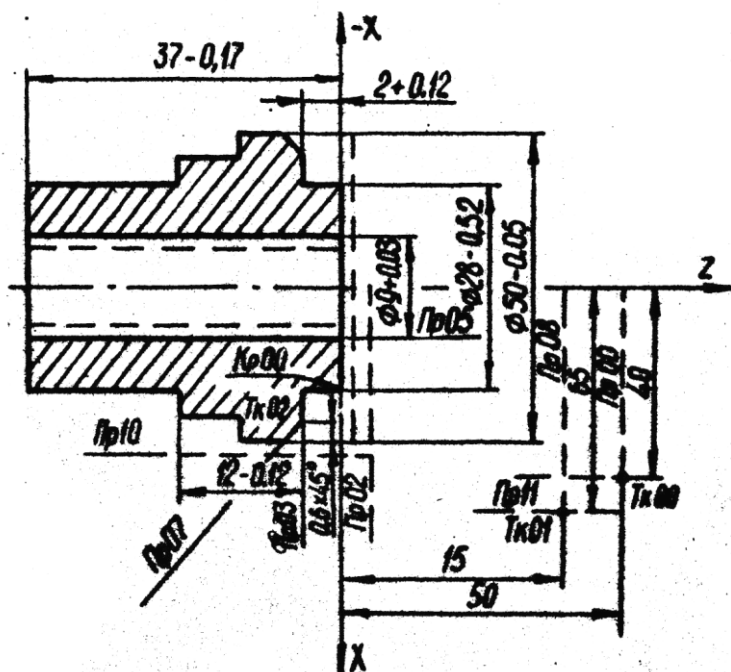
2.2.6. Пример разработки программы для токарного станка

В качестве примера рассмотрим втулку, приведенную на рис. 2.5 а. Первоначально на чертеж детали наносят линии, которые описывают ее поверхность (Пр - прямая, Кр - круг, Тк - точка). Пунктиром показан профиль заготовки.

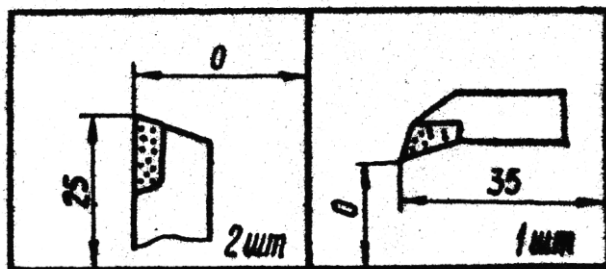
На рис. 2.5 б показано положение инструментов относительно резцедержателя.

Далее составляется план операций:

1. Установить и закрепить заготовку,
2. Подрезать торец Пр02 начерно,
3. Подрезать торец Пр02 начисто,
4. Подрезать торец Пр03 начерно,
5. Подрезать торец Пр03 начисто,
6. Расточить отверстие Пр05 начерно,
7. Расточить отверстие Пр05 начисто,
8. Снять заготовку.



а



б

Рис. 2.5. Эскиз детали для токарной обработки

Режимы обработки:

1. Подача рабочая - 51,5 мм/мин,
2. Подача ускоренная - 350 мм/мин,
3. Частота вращения шпинделя от 100 до 3000 мин⁻¹ в 4 фиксированных диапазонах.

Расчет выполним вручную.

При расчете программы необходимо учитывать соотношение между перемещениями и числом импульсов станка. Продольное перемещение (вдоль оси Z) выполняется при цене импульса 0,002 (следовательно, перемещение к задней бабке на 1 мм может быть записано Z + 000500), вдоль оси X — с ценой импульса 0,001 (то же перемещение в поперечном направлении имеет запись X + 001000). Скорость подачи задают, уменьшая искомую величину в 5 раз. Тогда значению рабочей подачи будет соответствовать F 10300, а ускоренной подачи - F 70000.

Составление программы начинают с нулевой и исходной точки 00 (Тк01), в которой координаты вершины резца имеют нулевое значение. Радиус округления инструмента при расчете принимают во внимание путем коррекции.

Нулевой и исходной точкой для расточки является точка 01 (Тк01).

Далее рассчитывают опорные точки траектории. Для этого строят размерные цепи и таблицы типа табл. 2.1.

Кадр строят в последовательности, приведенной в разделе 2.2. Если в последующих кадрах признак размеров не меняется, то информация подготовительной функции дополнительно не записывается.

Запись программ для обработки поверхностей, отмеченных пунктиром на рис. 2.5, производится в следующей последовательности: отмечают номер программы, детали, тип и марку станка, тип системы управления, цех, дата подготовки программы, составитель (№ 4401, 1Д121, ТПК - 125В, Н22-М, Ц1, 20.12.87, Иванов).

Затем, исходя из табл. 2.3, табл. 2.4 и плана операций, записывают программу:

№ 001 M20
№ 002 G26 S001M003
№ 003 G10 Z-024850 F70000 L21
№ 004 X-013000 F70000 L11
№ 005 X-024000 F10300
№ 006 Z+000250
№ 007 X-024000 F70000
№ 008 Z-000750
№ 009 X-013000 F10300
№ 010 X+013000 F70000
№ 011 Z-000500
№ 012 X-013000 F10300

№ 013 Z+001250
 № 014 G40 Z+024600 F 70000 L 21
 № 015 G40X+026000 F 70000 L 11 /инструмент возвращен в точку Tk00/
 № 016 S000
 № 017 T102 /установлен инструмент для чистовой обработки/
 № 018 G26 S 002M003
 № 019 G10 Z-024000 F 70000 L 22
 № 020 X-014000 F 70000 L 12
 № 021 Z-001000 F 10300
 № 022 X-012000 F 10300
 № 023 X+022500 Z+000500 F 70000
 № 024 Z-001500 F 10300
 № 025 X-011500 F 10300
 № 026 Z+001500 F 10300
 № 027 X+011000 F 10300
 № 028 Z-006500 F 10300
 № 029 X+001000 F 10300
 № 030 Z+005700 F 10300
 № 031 X-001000 F 10300
 № 032 G20X-000600 Z+000300K+00300
 № 033 G10X+015600 Z+026000 F 70000 /инструмент возвращен в точку Tk00/
 № 034 S000
 № 035 T103 /установлен инструмент для расточки, вершина инструмента переходит в точку Tk01/
 № 036 G26 S004M003
 № 037 G10X-060800 F 70000 L 13
 № 038 Z-006500 F 70000 L 23
 № 039 Z-017000 F 10300
 № 040 X-000500 Z+017000 F 70000
 № 041 X+000700 F 10300
 № 042 Z-017000 F 10300
 № 043 X-000500 Z+017000 F 70000
 № 044 X+000600 F 10300
 № 045 Z-017000 F 10300
 № 046 X-000500 Z+017000 F 70000
 № 047 G40 Z+006500 F 70000 L 23
 № 048 G40X+060000 F 70000 L 13 /вершина инструмента в точке Tk01/
 № 049 T101 /изменение положения револьверной головки/

№ 050 26 04 /выдержка времени 2 с/
№ 051 M20
№ 052 M002

2.2.7. Пример разработки программы для фрезерного станка

Рассмотрим пример обработки на фрезерном станке по контуру детали, приведенной на рис. 2.6.

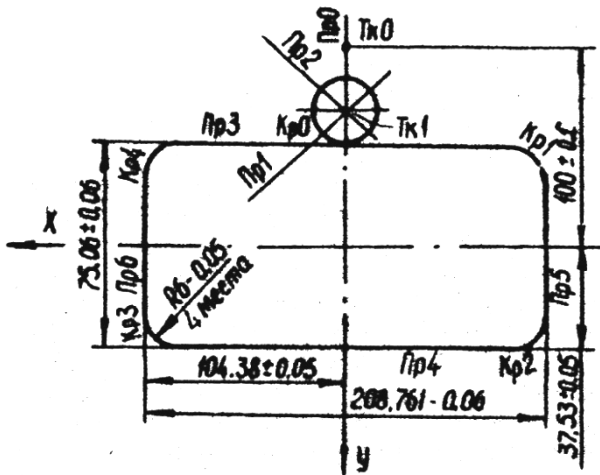


Рис. 2.6. Контур детали для фрезерной обработки

Расчет выполняется на ЭВМ.

Аналогично предыдущему случаю указывают номер программы, детали, тип и номер станка, системы управления, цех, дату подготовки программы, составителя.

В нашем случае применяется станок модели БФ 224 со стойкой НЗ.3. Далее составляют таблицу опорных точек, аналогичную табл. 2.1.

Таблица 2.5

Координаты опорных точек

№	Точка, линия	Координата				
		X	Y	Угол Б	R	Z
4	Tk0	0	-100			
5	Tk1	0	-54,5			

Продолжение табл. 2.5

6	Пр0	0		
7	Пр1	Тк1	Тк1	60°
8	Пр2	Тк1	Тк1	-60°
9	Пр3	0	-37,53	
10	Пр4	0	37,53	
11	Пр5	-104,355	0	
12	Пр6	104,38	0	
13	Кр0	Тк1	Тк1	17
14	Кр1	БХПр5	БУПр3	5,975
15	Кр2	БХПр6	МУПр4	5,975
16	Кр3	МХПр6	МУПр4	5,975
17	Кр4	МХПр6	БУПр3	5,975
18	Р0			6,5266

Пояснения к таблице координат:

1. Размеры приведены в мм.
2. Угол Б отсчитывается в положительном направлении по часовой стрелке, в отрицательном - против часовой стрелки.
3. При расчете опорных точек необходимо учитывать допуск на размер, пересчитывая его так, чтобы получить симметричное поле допуска.
4. В позиции 13 радиус R 17 показывает кривую, обеспечивающую безударный вход инструмента в зону обработки.
5. В позициях 14 - 17 запись показывает, что (поз. 14) кривая сопрягается с прямыми 3 и 5 радиусом 5,975; индексы "Б", "М" указывают места сопряжения (Б - выше оси X, М - ниже оси X).
6. Р0 (поз. 18) - радиус инструмента (фрезы).

Далее разрабатывается план обработки:

Таблица 2.6

План обработки детали на фрезерном станке

№ поз.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Индекс	НН0	М04	IS/700	Тк0	Тк1	IS/40	Пр1	ФР-	Р0

Продолжение табл. 2.6

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
БУтк	Кр0	Пр3	1-Кр1	Пр5	1-Кр2	Пр4	1-Кр3	Пр6	1-Кр4

Продолжение табл. 2.6

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Пр3	БУтк	Кр0	ФР0	БУтк	Пр2	Тк1	IS/700	Тк0	КН0

Пояснения к плану обработки:

1. НПО - начало программы, "ноль".
2. МО4 - вращение шпинделя против часовой стрелки.
3. S /700 - быстрый подвод инструмента, подача 700 мм/мин.
4. S /40 - рабочая подача 40 мм/мин.
5. ФР - указание стороны, с которой подходит фреза к контуру; знак "минус" указывает на движение фрезы в отрицательном направлении по оси X.
6. БУТк - указывает на сопряжение в зоне по У выше оси X точки Тк по кривой Кр0 с прямой Пр3.
7. ФР0 - ось фрезы перемещается по контуру детали (отмена эквидистанты инструмента).
8. КПО - конец программы, "ноль".

Последующие операции выполняются на ЭВМ после ввода сведений с таблиц в машину.

Печать кадров аналогична их написанию вручную.

%

№ 001	G17
№ 002	M04
№ 003	G01Y+004550 F 0670
№ 004	X+00052 4Y+000907 F 0540
№ 005	G03X-00052 4Y+0001 40 I +00052 4 J+000907
№ 006	G01X-009836
№ 007	G02X-001250Y+001250 J+001250
№ 008	G01Y+006308
№ 009	G02X+001250Y+00125I I +001250
№ 010	G01X+019677
№ 011	G02X+001250Y-00125I J+00125I
№ 012	G01Y-006308
№ 013	G02X-001250Y-001250 I -001250
№ 014	G01X-00984
№ 015	G03X-00052 4Y-0001 40 J+001047
№ 016	G01X+00052 4Y-000907
№ 017	Y-004550 F 0670
№ 018	M05
№ 019	M01

Пояснения к печати кадров:

1. Цена импульса по осям X, Y, Z - 0,01.
2. При рассмотрении точек сопряжения (начало - 0,0, конец - 1,1) координаты изменяются X → I, Y → J, Z → K.

3. Подача рассчитывается следующим образом: в № 003 0670 - третья цифра справа 6 показывает порядок числа (от 6 вычитают постоянное число 3, тогда порядок будет 10^3), два крайних справа числа 70 умножают на цену импульса 0,01 и находят подачу $70 \times 0,01 \times 10^3 = 700$ мм/мин.
4. Конец программы дан как останов шпинделя с подтверждением.

2.2.8. Пример разработки программы для электроэрозионного станка

Рассмотрим пример обработки детали, приведенной на рис. 2.7, на электроэрозионном станке модели ПФ 4732ФЗ непрофилированным электродом.

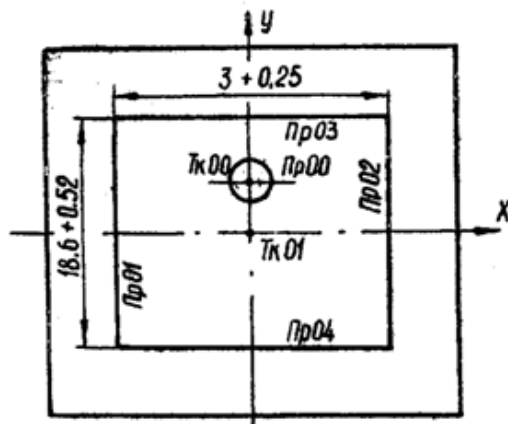


Рис. 2.7. Контур детали для электроэрозионной обработки

Составляется таблица опорных точек.

Таблица 2.7

Координаты опорных точек обрабатываемой детали

№	Точка, линия	Координата		
		X	Y	R
001	Тк00	0	5,635	
002	Тк01	0	0	
003	Пр00	0	5,635	

Продолжение табл. 2.7

004	Пр01	-1,5625	0
005	Пр02	1,5625	0
006	Пр03	0	9,43
007	Пр04	0	-9,43
008	Р0		0,175

Пояснения к таблице опорных точек:

1. Точка Тк00 находится в технологическом отверстии, выполненном в отходе.
2. Р0 - показывает радиус проволоки-электрода.
3. Радиус округления в местах сопряжения прямых определяется радиусом инструмента.

План обработки имеет следующий вид

Таблица 2.8

План обработки детали на электроэрозионном станке

№ поз. !	1	2	3	4	5	6	7
Индекс !	НПО	S /30	Тк00	Пр00	ФР-	Р0	Пр01

Продолжение табл. 2.8

8	9	10	11	12	13	14	15
Пр04	Пр02	Пр03	Пр01	ФР0	Пр00	Тк00	КПО

Пояснения к плану обработки:

1. В поз. 5 под индексом "ФР-" показано направление подачи электрода-проволоки (условно присвоен индекс "фреза"), знак "-" показывает, что подача идет влево.
2. Р0 - характеризует радиус инструмента.

Далее следует печать кадров на ЭВМ.

2.3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 2.3.1. Преподаватель выдает студенту чертеж детали, задает режимы обработки.
- 2.3.2. Студент проводит анализ детали, назначает координаты, вид обработки, оборудование, инструмент (вид, количество).
- 2.3.3. Разрабатывается план обработки.
- 2.3.4. Студент выбирает начальные и опорные точки, показывает прямые и криволинейные участки траектории обработки.
- 2.3.5. При необходимости делается чертеж начального положения инструмента с координированием его вершины относительно измерительных поверхностей.

2.3.6. При ручном программировании расчет начинается с определения координат начальных и опорных точек. Методика расчета задается преподавателем.

2.3.7. Из таблиц выбирают подготовительные и вспомогательные команды и вставляют их в соответствующие места кадров.

2.3.8. Оформляют программу, для чего в начале ее указывают: номера программы, детали, модель станка, тип системы управления, дату проведения работы, фамилию студента, группу.

Отмечают начало программы, намечают в программе кадры, дающие команды на включение робота, смену инструмента, переключение режимов обработки, корректировку, паузы. Далее сведения вводят в перфоратор и получают перфоленту.

2.3.9. При автоматическом программировании после составления таблицы опорных точек разрабатывают и оформляют план обработки. Далее сведения вводят в ЭВМ и получают распечатку программы в виде перфоленты.

2.3.10. Под руководством преподавателя перфоленты устанавливают на станки, настраивают робот, регулируют положение инструмента и производят настроечные перемещения по программе. В случае нарушений траектории или режимов вносят корректировку в программу.

2.3.11. Устанавливают заготовку на станок и обрабатывают деталь.

2.3.12. Измеряют размеры детали и делают точностной анализ обработки.

2.4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

2.4.1. Дать чертеж детали с контуром заготовки.

2.4.2. Дать анализ детали, план обработки с обоснованием операций, установочных баз, инструмента.

2.4.3. Привести обоснование и таблицы начальных и опорных точек.

2.4.4. Дать запись или распечатку программы.

2.4.5. Оформить таблицу результатов замеров детали и выполнить точностной анализ.

Таблица 2.9

Результаты измерений обработанной детали

Название параметра /диаметр, длина/	!Размер с !допуском	!Полученный !размер	!Погрешность !обработки	!ЗаклЮчение !о годности
1				
2				
3				

2.4.6. Дать выводы о качестве записи программы и возможности ее использования.

Лабораторная работа №3
Контроль и отработка управляющих программ
на токарных и фрезерных станках с ЧПУ

Цель работы: Обучение методике отладки программы, исправления неточностей, допущенных в процессе записи, корректировке кадров

Оборудование, приборы, инструменты, документы

1. Программы
2. Перфоленты
3. Графопостроитель
4. Устройство записи программ
5. ЭВМ
6. Станки с ЧПУ
7. Измерительный инструмент

3.1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1.1. Повторить порядок разработки программ.

3.1.2. Просчитать с помощью ЭВМ суммы перемещений инструмента с учетом знаков. В случае, если сумма имеет отличия от нуля на величину большей, чем позволяет уточнить корректор, следует искать ошибку в программировании. Способ расчета перемещений задает преподаватель.

3.1.3. Проверить на перфоленте или ЭВМ четкость программы. При расчете на ЭВМ операция выполняется автоматически.

3.1.4. Ввести программу в графопостроитель или на станок. Выполнить цикл обработки. На графопостроителе проверить положение опорных точек на станке, изучить траекторию инструмента, установить приход инструмента в начало обработки.

При неточностях внести коррективы в программу и решить вопрос ее перезаписи (если возможно, исправить ошибку корректором).

3.2.1. Обработать на станке деталь.

3.2.2. Измерить размеры детали и сделать вывод о пригодности программы к использованию.

3.2. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

3.2.1. Дать эскиз и описание обрабатываемой детали.

3.2.2. Заполнить таблицу перемещений инструмента.

Таблица 2.10

Перемещения инструмента

Координата	Сумма перемещений		Разница	Причина /наличие корректора, ошибка/
	+	-		
X				
Y				
Z				

3.2.3. Сделать заключение о возможности использования программы, указать на каком оборудовании это выполнялось.

3.2.4. Описать и дать эскиз графопостроителя. Получить чертеж детали и вставить его в отчет.

3.2.5. Дать таблицу начальных и опорных точек.

Таблица 2.11

Координаты начальных и опорных точек

Точка	Координаты								
	По чертежу			По графопостроит.			Ошибка		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Начальная									
Опорные									

Дать рекомендации по отработке программы и проверить программу после корректировки.

3.2.6. Привести анализ работы программ на станке. Обосновать необходимость корректировки программ корректорами.

3.2.7. Привести результаты измерения детали после обработки и дать заключение о пригодности программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы автоматизации машиностроительного производства / под ред. Ю.М. Соломенцева - М.: Высш. шк., 1999. – 312 с.
2. Дерябин А.Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ / А.Л. Дерябин. М.: Машиностроение, 1984.
3. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения: учебник для вузов / И.М. Баранчукова и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 1999. 416 с.
4. Гусев А.А. Основные принципы построения сборочных гибких производственных систем / А.А. Гусев. М.: Машиностроение, 1998. 52 с.
5. Инструментальное обеспечение машиностроительного производства: учебник для вузов / В.А. Гречишников и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 2001. 272 с.
6. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.А. Артамонов и др.; под ред В.П. Смоленцева. М.: Высш. шко, 1983. Т. 1: Обработка материалов с применением инструмента. 247 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	1
1. Лабораторная работа № 1. Технологическая подготовка для станков с ЧПУ	2
1.1. Общие положения	2
1.1.1. Назначение, область применения и техническая характеристика токарного станка модели ТПК - 125В	2
1.1.2. Подготовка станка и работа его в различных режимах	7
1.1.3. Назначение и область применения робота модели РП – 901	8
1.2. Методика выполнения работы	9
1.3. Оформление отчета	11
2. Лабораторная работа № 2. Кодирование информации и разработка программ... ..	12
2.1. Общие положения	12
2.1.1. Программа	12
2.1.2. Выбор координат	12
2.1.3. Координатные точки	14
2.1.4. Расчет опорных точек траектории	14
2.2. Разработка программ	17
2.2.1. Содержание программ	17
2.2.2. Виды кадров	17
2.2.3. Коды подготовительных команд	18
2.2.4. Технологические команды	19
2.2.5. Вспомогательные команды	20
2.2.6. Пример разработки программы для токарного станка	21
2.2.7. Пример разработки программы для фрезерного станка	25
2.2.8. Пример разработки программы для электроэрозионного станка	28
2.3. Методика выполнения работы	29
2.4. Оформление отчета	30
3. Лабораторная работа № 3. Контроль и отработка управляющих программ на токарных и фрезерных станках с ЧПУ	31
3.1. Методика выполнения работы	31
3.2. Оформление отчета	32
Библиографический список.....	33

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
"Автоматизация производственных процессов в машиностроении"
для студентов специальности 151001 "Технология
машиностроения" всех форм обучения

Составители:

Кириллов Олег Николаевич
Смоленцев Владислав Павлович

В авторской редакции
Компьютерный набор О.О. Шендриковой

Подписано к изданию 04.06.2012

Уч.-изд. л. 2,1 . «С».

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14