

Федеральное агентство по образованию

Волгоградский государственный технический университет

**С. И. Кормилицин, В. А. Солодков, Ю. Н. Полянчиков,
А. Г. Схиртладзе**

Технология и программирование обработки на станках с ЧПУ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

**РПК «Политехник»
Волгоград 2007**

УДК 621.9.06

Рецензенты: В. И. Шапочкин, В. А. Рыгин

Кормилицин, С. И., **Технология и программирование обработки на станках с ЧПУ: учеб. пособие** / С. И. Кормилицин, В. А. Солодков, Ю. Н. Поляничков, А. Г. Схиртладзе; ВолгГТУ – Волгоград, 2007. – 112 с.

ISBN 5-230-05029-2

Рассмотрены методики и приемы ручной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ различных групп, вопросы отладки и редактирования программ.

Приведены примеры составления управляющих программ для основных видов обработки.

Рассчитано на студентов всех форм обучения машиностроительных специальностей.

Ил. 61. Табл. 17. Библиогр.: 9 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Волгоградского государственного технического университета

ISBN 5-230-05029-2

**© Волгоградский
государственный
технический
университет, 2007**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ	5
1.1. Структура управляющей программы	8
1.2. Структура кадров управляющей программы	8
1.3. Формат кадра управляющей программы	11
1.4. Подготовительные функции	13
1.5. Вспомогательные функции	15
2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ	15
2.1. Описание УЧПУ 2Р22	15
2.2. Принципы кодирования и построения кадра	17
2.3. Программирование частоты вращения шпинделя, подачи и позиции инструмента	18
2.4. Программирование линейных перемещений	19
2.5. Программирование снятия фасок под углом 45°	21
2.6. Программирование обработки по дуге окружности	21
2.7. Цикл нарезаний резьбы L01	24
2.8. Цикл протачивания канавок L02	26
2.9. Циклы наружного и внутреннего точения по схеме «петля» L03, L04	27
2.10. Цикл торцевой обработки по схеме «петля» L05	28
2.11. Цикл глубокого сверления L06	29
2.12. Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой L07	30
2.13. Циклы многопроходной обработки L08, L09	30
2.14. Цикл чистовой обработки по контуру с заданного номера кадра L10	32
2.15. Цикл повторения части программы L11	33
2.16. Разработка УП для обработки детали на станке 16K20ФЗС32 с УЧПУ 2Р22	34
3. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	36
3.1. Описание вертикально-сверлильного станка 2Р135Ф2-1	36
3.2. Программирование сверлильной обработки	37
4. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	44
4.1. Описание вертикально-фрезерного полуавтомата ЛФ260МФЗ	44
4.2. Программа	45
4.3. Система координат станка	49
4.4. Плоскости обработки	52
4.5. Линейная интерполяция	53
4.6. Круговая интерполяция	53

4.7. Коррекция на длину инструмента (режимы G43, G44)	55
4.8. Коррекция на радиус инструмента (режимы G41, G42)	56
4.9. Выход на эквидистанту	60
4.10. Обход по эквидистанте	62
4.11. Выдержка времени	65
4.12. Задание режимов резания и технологических команд	65
4.13. Подпрограммы и формальные параметры	66
4.14. Постоянные циклы	67
4.15. Пример составления управляющей программы	68
5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКАХ	71
5.1. Описание многоцелевого станка ИР500ПМФ4	71
5.2. Программа	73
5.3. Система координат станка	77
5.4. Линейная интерполяция	78
5.5. Круговая интерполяция	79
5.6. Коррекция на длину инструмента (G43, G44)	81
5.7. Коррекция на радиус инструмента (G41, G42)	81
5.8. Позиционирование стола	82
5.9. Выдержка времени	83
5.10. Задание режимов резания	83
5.11. Смена инструмента	83
5.12. Постоянные циклы	84
5.13. Пример составления управляющей программы	86
6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ	91
6.1. Структура и этапы технологической подготовки производства при использовании станков с ЧПУ	91
6.2. Определение номенклатуры деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ	93
6.3. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ	96
6.4. Подготовка технологической документации на операции, выполняемые на станках с ЧПУ	102
Список рекомендуемой литературы	111

1. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Подготовленная исходная информация по обработке детали, т. е. программа, записывается на программноносителе (обычно на перфоленду) по определенной форме и состоит из набора кадров. Каждый кадр содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного участка детали, чаще всего между двумя соседними опорными точками. Кадры состоят из слов – информации, определяющей программу работы отдельных исполнительных органов: перемещение по координатам X, Y, Z, скорость подачи, работа механизмов смены инструмента и др. Каждое из слов записывается обычно на нескольких поперечных строчках перфоленды.

Различают два способа записи управляющей информации на перфолентах с постоянной и переменной длиной кадра.

При постоянной длине кадра его объем остается постоянным по всей программе и занимает при записи постоянное число строк перфоленды. В постоянном кадре отводится место для записи всех слов (всех команд) вне зависимости от их повторяемости и числовых значений. Информация в каждом кадре строго распределена между различными строками и записывается в определенной последовательности. Если какая-либо информация в данном кадре отсутствует, то строки кадра, предназначенные для этой информации, сохраняются и фиксируются в кадре с нулевым значением.

При записи программы кадрами постоянной длины считывание информации получается наиболее простым, так как заранее известна часть кадра, где фиксируется та или иная информация. Недостатки: большой расход перфоленды и более высокая трудоемкость программирования.

Информацию на перфоленте с постоянной длиной кадра обычно записывают при помощи двухпозиционного кода (двоичной системы счисления).

В настоящее время наиболее применима в системах ЧПУ запись с переменной длиной кадра как более удобная и краткая. Эта запись возможна при использовании алфавитно-цифровых кодов.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является основным для всех отечественных современных станков с ЧПУ. Значение 46 букв и символов в терминах ЧПУ у этого кода должно соответствовать ГОСТ 20999—83. Код предназначен для записи информации на восьмидорожечной перфоленте и позволяет кодировать 128 символов. Первым четырем дорожкам (1—4) приписаны веса двоично-десятичного кода 8421, что обеспечивает 16 кодовых комбинаций, выражающих в двоичном счислении десятичные цифры 0—15. Дорожки 5, 6 и 7 явля-

ются определяющими (дорожки признаков). Перфорирование отверстий на дорожках 5 и 6 является признаком десятичных цифр 0—9. Буквы латинского алфавита от А до О, выражаемые комбинациями десятичных цифр 0—15, определяются перфорированием дорожки 7. Признак букв Р – Z – отверстия на дорожках 5 и 7.

В коде ИСО-7 бит для служебных символов признаком является отверстие на дорожке 6 или отсутствие отверстий на определяющих дорожках.

Помехозащищенность в коде ИСО-7 бит осуществляется построчным контролем на четность, которая обеспечивается введением отверстия на восьмой дорожке, если на семи предыдущих число отверстий нечетное. Таким образом, в коде ИСО-7 бит на каждой строке перфоленты должно находиться и считываться четное число отверстий.

Для систем с ЧПУ за символами кода ИСО-7 бит согласно ГОСТ 20999—83 закреплены определенные значения, которые используются при кодировании технологической информации, в частности для задания в программах адресов команд, перемещений и др. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Значение символов адресов по ГОСТ 20999—83

Символ	Значение
X, Y, Z	Первичная длина перемещения, параллельного осям X, Y, Z соответственно
A, B, C	Угол поворота соответственно вокруг осей X, Y, Z
U, V, W	Вторичная длина перемещения, параллельного осям X, Y, Z
P, Q	Третичная длина перемещения, параллельного осям X, Y, Z
R	Ускоренное перемещение по оси Z или третичная длина перемещения, параллельного оси Z
G	Подготовительная функция
F, E	Первая и вторая функции подачи
S	Функция главного движения
N	Номер кадра
M	Вспомогательная функция
T, D	Первая и вторая функция инструмента
I, J, K	Параметр интерполяции или шаг резьбы
H, L, O	Не определены

Большинство зарубежных моделей УЧПУ позволяют также кодировать информацию в соответствии с кодом EIA (стандарт Ассоциации промышленников по радиоэлектронике и телевидению).

Кроме символов, приведенных в табл. 1.1, при кодировании информации для станков с ЧПУ применяют и некоторые другие (табл. 1.2), которые используются для задания команд по распечатке программ. В некоторых существующих УЧПУ значение символов отличается от установленных ГОСТ 20999—83.

Таблица 1.2

Значение управляющих символов и знаков по ГОСТ 20999-83

Символ	Наименование	Значение
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало УП. Используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке перфоленты
LF (ПС)	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра УП. Перевод строки
:	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр УП
±	Плюс, минус	Математические знаки (направление перемещения)
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа "Конец кадра" может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами "Номер кадра" и "Главный кадр", он действует на целый кадр УП
()	Круглая скобка: левая, правая	Знаки, обозначающие, что информация, расположенная внутри скобок, не должна обрабатываться на станке
HT (ГТ)	Горизонтальная табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную знаковую позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати и распечатки УП. УЧПУ не воспринимается
NUL (ПУС)	Пусто	Пропуск строки перфоленты
BS (ВШ)	Возврат на шаг	Для управления электрофицированной пишущей машинкой (ЭПМ)
CR (БК)	Возврат каретки	То же
SP (ПР)	Пробел	Сдвиг каретки ЭПМ на шаг
KN	Конец носителя	Символ для останова ЭПМ при распечатке УП
DEL (ЗБ)	Забой	Символ забоя информации. УЧПУ не читается

Информация в коде ИСО-7 бит всегда записывается адресным способом. Общую структуру записи УП, схему записи отдельных кадров, определяет ГОСТ 20999-83. Определены также рекомендуемые для

употребления кодовые обозначения подготовительных и вспомогательных функций, виды и форма записи функций подач и главного движения, кодирование инструмента и т. д.

1.1. Структура управляющей программы

При построении УП в коде ИСО-7 бит в последовательности кадров программы записывается только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. Другими словами для большинства команд, представляемых на перфоленте, действительно правило, согласно которому записанная в данном кадре команда не повторяется в последующих кадрах и отменяется лишь другой командой из этой группы или специальной командой отмены, отменяющей все команды данной группы.

Каждая УП должна начинаться символом % – “начало программы”, после которого должен стоять символ ПС – “конец кадра”. Кадр с символом % не нумеруется. Нумерация кадров программы начинается с последующего кадра.

Любая группа символов, не подлежащая обработке на станке (например, информация для оператора), должна быть заключена в круглые скобки.

Если необходимо обозначать УП, это обозначение должно находиться непосредственно за символом “начало программы” перед символом “конец кадра”, например, %012ПС, т. е. программа с условным номером двенадцать.

Для обозначения физического начала носителя данных (перфоленты) при размещении на этом носителе нескольких управляющих программ перед символом “начало программы” первой программы допускается записывать еще один символ “начало программы”, например: %%ПС. Как уже было сказано, перед символом “начало программы” может быть записана любая информация, не содержащая символа “начало программы”, например примечания по наладке станка, различные идентификаторы программы и т. п.

Управляющая программа должна заканчиваться символом “конец программы” или “конец информации”. Информация, помещенная после этого символа, не должна восприниматься УЧПУ. Перед символом “начало программы” и после символа “конец программы” или “конец информации” на перфоленте рекомендуется оставлять участки с символом ПУС (“пусто”).

1.2. Структура кадров управляющей программы

К структуре кадра предъявляют определенные требования:

1. Каждый кадр должен содержать слово "номер кадра". Далее в кадре приводятся информационные слова или слово. Завершается кадр символом ПС ("конец кадра"). Использование этого символа, как правило, обязательно

При необходимости в кадре указывают символы табуляции. Их проставляют перед любым словом в кадре, кроме слова "номер кадра"

2 Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в определенной последовательности:

слово (или слова) "подготовительная функция";

слова "размерные перемещения", которые рекомендуется записывать в последовательности символов: X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C;

слова "параметр интерполяции или шаг резьбы": I, J, K;

слово (или слова) "функция подачи", которое относится только к определенной оси и должно следовать непосредственно за словом "размерное перемещение" по этой оси. Слово "функция подачи", относящееся к двум и более осям, должно следовать за последним словом "размерное перемещение", к которому оно относится;

слово "функция главного движения";

слово (или слова) "вспомогательная функция".

3. Порядок записи слов с адресами U, V, W, P, Q, R, используемых в значениях, отличных от значений, указанных в табл. 1.1, и слов с адресами D, E, H должен быть указан в формате конкретного УЧПУ. Значения этих слов и кратность использования их в кадре должны быть указаны в технических условиях на УЧПУ конкретного типа.

4 В пределах одного кадра не должны повторяться слова "размерные перемещения" и "параметр интерполяции или шаг резьбы".

5. В пределах одного кадра не должны использоваться слова "подготовительная функция", входящие в одну группу.

6. После символа "главный кадр" в кадре должна быть записана вся информация, необходимая для начала или возобновления обработки. В этом случае символ "главный кадр" должен записываться вместо символа N в качестве адреса в слове "номер кадра". Символ "главный кадр" может быть использован для останова в нужном месте при перемотке носителя данных.

Каждое слово в кадре УП должно содержать: символ адреса (латинская прописная буква), математический знак "плюс" или "минус" (при необходимости); последовательность цифр

Слова в УП могут быть записаны одним из двух способов:

1. Без использования десятичного знака (подразумеваемое положение десятичной запятой).

2 С использованием десятичного знака (явное положение десятичной запятой)

Размерные перемещения в кадрах УП указываются или в абсолютных значениях, или в приращениях. Это и определяет использование в кадрах УП подготовительных функций G90 (абсолютный размер) или G91 (размер в приращениях).

Угловые размеры в УП для современных УЧПУ выражают в радианах или градусах. Для некоторых элементов станков, например для поворотных столов, угловые размеры выражают в десятичных долях оборота.

Если УЧПУ допускает задание размеров в абсолютных значениях (положительных или отрицательных в зависимости от начала системы координат), то математический знак ("плюс" или "минус") является составной частью слова "размерное перемещение" и должен предшествовать первой цифре каждого размера. Математический знак должен также предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление перемещения, если УЧПУ допускает задание размеров в приращениях.

При задании размеров как в абсолютных значениях, так и в приращениях математический знак "плюс" в слове "размерное перемещение" в некоторых УЧПУ допускается опускать. Это определяется форматом кадра.

Безразмерные слова в кадре УП записывают по-разному. Слово "номер кадра" должно состоять из цифр, количество которых должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Слово (или слова) "подготовительная функция" должно быть выражено кодовым числом.

Функция подачи определяет скорость подачи. Последнюю кодируют числом, количество разрядов которого указано в формате конкретного УЧПУ. Тип подачи, если это допускает УЧПУ, выбирают одной из подготовительных функций. G93 – "подача в функции, обратной времени", G94 – "подача в минуту"; G95 – "подача на оборот". В современных УЧПУ основным методом кодирования подачи является метод прямого обозначения, при котором применяют следующие единицы величины:

миллиметры в минуту — подача не зависит от скорости главного движения;

миллиметры на оборот — подача зависит от скорости главного движения;

радианы в секунду (градусы в минуту) — подача относится только к круговому перемещению.

Для указания быстрого перемещения в большинстве УЧПУ используется подготовительная функция G00.

Если в данном УЧПУ подача задается кодовым числом, то большей подаче обычно должно соответствовать большее кодовое число.

В случае если речь идет о скорости векторного перемещения, не зависящей от скорости главного движения, подача может быть выражена величиной, обратно пропорциональной времени в минутах, необходимому для обработки соответствующего кадра. Тогда подачу принимают равной отношению векторной скорости (выраженной в миллиметрах в минуту) к вектору перемещения по траектории обработки (выраженному в миллиметрах). Однако в современных УЧПУ этот способ представления подачи используют сравнительно редко.

Функция главного движения определяет скорость главного движения. Она также кодируется числом, количество разрядов которого должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Вид функции главного движения (там, где это необходимо и возможно) осуществляется одной из следующих подготовительных функций: G96 – “постоянная скорость резания”; G97 – “частота вращения”.

В современных УЧПУ основным методом кодирования скорости главного движения является метод прямого обозначения, при котором число обозначает частоту вращения шпинделя в радианах в секунду или оборотах в минуту. В некоторых УЧПУ возможно указание скорости резания в м/мин. Обычно это согласуется с функцией G96. Скорость главного движения у некоторых УЧПУ задается кодовым числом, причем обычно большей скорости главного движения соответствует большее кодовое число.

Функция инструмента (Т) используется для выбора инструмента. В ряде УЧПУ слово “функция инструмента” используют и для коррекции (или компенсации) инструмента. В этом случае оно состоит из двух групп цифр: первая используется для выбора инструмента, вторая — для его коррекции. Если для записи коррекции (компенсации) инструмента используется другой адрес, рекомендуется использовать символ D или H.

Количество цифр, следующих за адресами T, D и H, должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Слово (или слова) “вспомогательная функция” (M) во всех УЧПУ выражено кодовым числом. Значение и характер записи зависят от классности и модели УЧПУ.

1.3. Формат кадра управляющей программы

Последовательность расположения информации в кадре программы называется форматом кадра. Формат определяет структуру кадра для конкретного станка с ЧПУ.

Пример записи формата:

% : / DS N03 G2 X+053 Y+053 Z+042 F031 S04 T05 M2 *

Данный формат указывает, что УЧПУ, для которого выполняется

запись УП, воспринимает символы начала программы (%), главного кадра (:), пропуска кадра (/) и явную десятичную запятую (DS).

Если УЧПУ требует указания символа "конец программы", то он обозначается звездочкой (*) в конце формата. Символ "табуляция", если он используется, обозначается точкой (.

В приведенном формате N03 – трехзначный номер кадра (от N1 до N999). Если бы в формате было указано N3 (без нуля перед цифрой 3), то во всех кадрах, где необходимо, обязательно было бы написание нулей как значащих цифр: например N001 или N099 (цифры за символом N записываются в последовательности сотни-десятки-единицы).

Следующий элемент записи G2 – двузначная подготовительная функция. На перфоленте она указывается адресом G и двумя значащими цифрами, первая из которых относится к разряду десятков, вторая – единиц.

Слова "размерное перемещение" предназначены для задания геометрической информации (в нашем случае заданы адреса X, Y, Z). За адресом каждого слова записывают две цифры, одна из которых показывает количество разрядов перед, а вторая – после подразумеваемой десятичной запятой, отделяющей целую часть числа от дробной. За адресом могут быть записаны и три цифры, первая или последняя из которых ноль, что позволяет опустить нули перед первой и после последней значащей цифры соответственно. Если абсолютные размеры всегда положительны, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака, а если они могут быть либо положительными, либо отрицательными, то между адресом и следующим за ним числом ставят знак "плюс" (+) или "плюс-минус" (\pm).

Для представленного примера элемент записи X+053 – перемещение по оси X со знаком "плюс" или "минус". Числовое значение размерного перемещения указывают после знака, при этом знак "плюс" можно опускать. На целую часть значащего числа отводится пять разрядов, на дробную (после запятой) – три разряда. В рассматриваемом формате обязательно указание запятой для разделения дробной и целой частей (об этом говорит символ DS).

Например, перемещение по оси X на величину 01280,500 мм в положительном направлении должно быть записано X1280.5 (с указанием точки без знака "плюс" и без крайних нулей). Если бы в формате кадра было указано, например, X \pm 33 и в начале формата не было символа DS, это означало бы, что после адреса X необходимо писать знак + или – ("плюс" опускать нельзя). А значащие цифры следует указывать полностью (три) как до условной запятой, так и после нее. Так, если в кадре УП записано X+053280, то это соответствует размерной величине 53,28 мм.

Второй элемент размерного перемещения Y+053 – перемещение по оси Y и для него справедливо все, что сказано выше о перемещении

по оси X.

Элемент Z+042 – перемещение по оси Z со знаком “плюс” или “минус”. При записи знак “плюс” можно опускать, можно опускать также передние и последние (в дробном разряде) нули. На размерную информацию отводится четыре десятичных разряда до запятой и два после запятой. Таким образом, максимальное число, которое может быть записано по оси Z, составляет 9999,99 мм. Например, перемещение в положительном направлении по оси Z на величину 2000 мм должно быть записано Z2000., на 2 мм – в виде Z2., на 0,2 мм – в виде Z.2, на 0,02 мм – в виде Z.02. Перемещение в отрицательном направлении на величину 50,00 мм запишется в виде Z-50., на 0,50 мм – в виде Z-.5, на 0,05 мм – в виде Z-.050.

Элемент F031 – функция подачи, при этом подача указывается методом прямого обозначения. Значащие цифры – три слева от десятичной запятой и одна справа, нули после запятой и впереди можно опускать. Если бы в формате было бы указано, например, F2, то это предполагало бы указание подачи двумя кодовыми числами, размещаемыми на двух строках перфоленты за адресом. В кадре результирующая скорость подачи записывается после всех слов “размерные перемещения”. Слово “функция подачи”, относящееся к определенной оси координат, записывается непосредственно за словом “размерное перемещение” по этой координате.

Следующие элементы записи: S04 – четырехзначная функция главного движения, определяющая линейную скорость точки приложения инструмента в м/мин или частоту вращения шпинделя в мин⁻¹, T05 – функция инструмента, используемая для указания инструмента и корректора. В этом слове записывается число с одной или двумя группами цифр. В первом случае слово “функция инструмента” задает только номер инструмента или его позицию, а корректор для этого инструмента определяется другим словом с адресом D. Во втором случае вторая группа цифр определяет номер корректора длины, положения или диаметра инструмента. Например, в слове T1218: T – адрес, 12 – номер инструмента, 18 – номер корректора. Если программируется номер инструмента без указания корректора, то вторая группа цифр содержит нули (T1200), а если программируется корректор для заданного в одном из предыдущих кадров инструмента, то нули содержит первая группа цифр (T0018); M2 – двузначная вспомогательная функция.

Звездочка, завершающая запись формата, означает конец кадра

1.4. Подготовительные функции

Подготовительные функции, определяющие режим работы устройства ЧПУ, задаются адресом G и двузначным десятичным числом B

общем случае все подготовительные функции могут быть разделены на следующие группы:

G00,...,G09 – команды общего порядка: позиционирование, линейная или круговая интерполяция, ускорение, замедление, пауза (выдержка);

G10,...,G39 – особенности непрерывной обработки: выбор осей, плоскостей, видов интерполяции;

G40,...,G59 – коррекция размеров инструмента без отсчета, смещение осей;

G60,...,G79 – вид и характер работы: точно, быстро;

G80,...,G89 – постоянные (фиксированные) автоматические циклы;

G90,...,G99 – особенности задания размеров, режимов обработки.

В каждой из рассмотренных групп имеются резервные команды.

Уточненные значения команд с адресом G приводятся в конкретных руководствах по программированию для соответствующих моделей УЧПУ.

Большинство подготовительных функций действует до тех пор, пока не заменяется или отменяется другой функцией из той же группы. Однако некоторые из них (например, G04, G08, G09, G63, G92 и другие) действуют только в том кадре, в котором указаны. Также подготовительные функции записываются в кадре по мере возрастания их кодовых номеров. В одном кадре не может быть более одной подготовительной функции из каждой группы.

Хотя в применении подготовительных функций в различных УЧПУ встречаются различия, существует общий подход к их использованию согласно кодовым значениям.

Функция G00 программируется, если необходимо обеспечить линейное перемещение по одной из координат на ускоренной подаче; величина перемещения со знаком указывается в кадре в соответствии с правилом записи.

Функция G01 означает, что режим обеспечивает линейную функциональную зависимость между перемещениями по двум координатам, обозначенными с соответствующими знаками и числовыми значениями. При этом указывается скорость подачи по траектории. В некоторых УЧПУ функцией G01 программируется и линейное перемещение на рабочей подаче; при этом подразумевается, что численное значение перемещения по одной из координат равно нулю. Напомним, что режим, определенный функцией G, сохраняется до его отмены аналогичной функцией.

Функции G02, G03 – режимы круговой интерполяции по и против часовой стрелки. Функции указываются в программах для УЧПУ, обеспечивающих круговую интерполяцию. Данные по круговой интерполяции зависят от задаваемой подготовительными функциями G17 – G19 плоскости интерполяции. Подготовительная функция G17 определяет круго-

вую интерполяцию в плоскости XY с обозначением параметров интерполяции (координат точки) символами I и J. Подготовительные функции G18 и G19 определяют круговую интерполяцию соответственно в плоскостях XZ (параметры I,K) и YZ (параметры J,K).

Следует отметить определенную особенность функций G02 и G03. При определенных условиях (изменение направления осей координат) значение функций меняется на обратное.

1.5. Вспомогательные функции

Слово “вспомогательная функция” определяет команду исполнителю органу станка или УЧПУ. Вспомогательные функции задаются словами с адресом M и двузначным десятичным кодовым числом (M00 – M99).

Большинство вспомогательных функций являются приоритетными при обработке конкретного кадра УП и выполняются до начала перемещений, запрограммированных в этом же кадре. Их действие заканчивается после отмены команды или замены на команды аналогичного назначения. Имеются однако вспомогательные функции, которые выполняются после отработки заданных в кадре перемещений (например, M00, M01, M02, M05, M09, M20, M30 и другие). В одном кадре программы в порядке возрастания кодовых номеров может быть записано несколько команд различным исполнительным органам станка или устройству ЧПУ.

2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Программирование токарной обработки рассмотрим на примере разработки управляющих программ к токарным станкам, оснащенным УЧПУ 2P22.

2.1 Описание УЧПУ 2P22

УЧПУ 2P22 выполняет следующие функции: ввод управляющей программы с клавиатуры пульта управления или программноносителя; ее отработку и редактирование непосредственно на станке; составление управляющей программы по образцу, когда обработка первой детали ведется в ручном, а обработка последующих деталей в автоматическом

режиме; ввод постоянных циклов в диалоговом режиме; использование сложных циклов многопроходной обработки; вывод УП на программно-ситель и выполнение ряда других функций.

Развитое функциональное программное обеспечение, хранящееся в постоянной памяти устройства, включение в него сложных циклов многопроходной обработки позволяют уменьшить объем вводимой информации и упростить составление управляющей программы.

Техническая характеристика устройства УЧПУ 2Р22 приведена ниже:

1. Конструктивное исполнение	встраиваемое (в виде отдельных автономных блоков)
2. Базовая ЭВМ	микро-ЭВМ «Электроника 60М»
3. Количество управляемых координат	2
4. Наибольшее количество одновременно управляемых координат	2
5. Вид интерполяции	линейно-круговая
6. Дискретность задания перемещений, мм	0,001
7. Способ задания размеров в программе	в абсолютной и относительной системах
8. Максимальное программируемое перемещение, смещение нулевой и исходной точек станка, мм	9999,999
9. Режим работы	автоматический ручной ввод данных, поиск кадра, редактирование, режим диалога при формировании УП по циклам, выход в исходную точку программ и др
10. Тип устройства для ввода данных,	фотосчитывающее устройство (ФСЧ), клавиатура пульта управления (ПУ), кассетный накопитель на магнитной ленте (КНМЛ)
11. Тип устройства для хранения программы управления УЧПУ, программы электроавтоматики станка и программы привязки системы к станку	постоянное программируемое запоминающее устройство
12. Время хранения информации в ОЗУ, ч	96
13. Коррекция:	
частоты вращения шпинделя	14—40 % с шагом 10 %
рабочих подач	0—12 % с шагом 1 %

14. Типы управляемых приводов:
главного движения регулируемый
подач. следящий
15. Предельные значения скоростей, мм/мин:
рабочих подач до 5000 (при нарезании резьбы
до 10000)
холостых перемещений до 15000
16. Максимальный шаг нарезаемой
резьбы, мм. 40

2.2. Принципы кодирования и построения кадра

Ввод УП в память устройства ОПУ 2Р22 возможен с пульта управления или программноносителя

Формат кадра для устройства 2Р22 имеет вид.

N03; X+043; Z+043; U+043, W+043, F023, T2, M2, S 1-4; D043, C+043; Q+043; R+043; B3; H3; L2; P11, A11; E, G2; *.

Время выдержки задают по адресу D с точностью до 0,001 с. Например время выдержки 2 с записывают D 2. Подачу рабочего органа задают по адресу F, постоянные циклы – по адресу L, вспомогательные технологические команды – по адресу M, подготовительные функции – по адресу G (табл. 2.1– 2.3). Обязательным условием конца УП является наличие в последнем кадре команды M02.

Таблица 2.1

Назначение постоянных циклов

Обозначение циклов	Назначение
L01	Нарезание наружной или внутренней цилиндрических резьб
L02	Протачивание прямоугольных канавок
L03	Наружная обработка по схеме «петля»
L04	Внутренняя обработка по схеме «петля»
L05	Обработка торца по схеме «петля»
L06	Глубокое сверление
L07	Нарезание резьбы метчиком или плашкой
L08	Черновая обработка с припуском и без него
L09	Обработка поковок
L10	Чистовая обработка
L11	Повторение участка программы

Таблица 2.2

Назначение подготовительных функций	
Обозначение функции	Наименование
G05	Сопряжение элементов контура, когда в конце кадра не требуется торможения
G10	Задание постоянной скорости резания (частота вращения изменяется автоматически в зависимости от диаметра)
G11	Отменяет действие функции G10

Таблица 2.3

Назначение вспомогательных функций	
Обозначение функции	Назначение
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M08	Включение охлаждения
M09	Выключение охлаждения
M17	Конец описание детали для циклов L08, L09, L10
M18	Конец участка программы, который будет повторяться в цикле L11
M20	Передача управления роботу РТК

2.3. Программирование частоты вращения шпинделя, подачи и позиции инструмента

Частота вращения шпинделя задается по адресу S, после которого записывают диапазон (1-3), знак направления вращения шпинделя и частоту вращения.

Знак «минус» обозначает вращение шпинделя по часовой стрелке. Запись S3-800 показывает, что шпиндель вращается с частотой 800 мин⁻¹ по часовой стрелке, а запись S2 1000 – шпиндель вращается с частотой 1000 мин⁻¹ против часовой стрелки.

Величина подачи задается по адресу F методом прямого обозначения в миллиметрах на оборот. Например, запись F0.3 показывает, что подача составляет 0,3 мм/об, запись F1 – подача 1 мм/об.

Поворот резцедержателя многорезцовой автоматической головки для установки инструмента в рабочую позицию задают по адресу T, после которого записывают номер позиции. Например, запись T6 показывает, что на рабочую позицию необходимо установить инструмент, находящийся в гнезде поворотного резцедержателя, которому присвоен номер шесть.

2.4. Программирование линейных перемещений

Линейные перемещения могут быть заданы в абсолютной или относительной системах. Перемещение по оси X в абсолютной системе задается адресом X и координатой конечной точки пути относительно нулевой точки (нуля детали).

В относительной системе перемещение по оси X задается адресом U и числовым значением перемещения, которое представляет собой разность координат конечной и начальной точек относительно нулевой точки ($X_2 - X_1$). Если резец перемещается от оператора к шпинделю станка, перед числовым значением перемещения ставят знак «минус». Знак «плюс» всегда опускают.

Координаты в абсолютной системе и перемещения в относительной системе по оси X задаются в диаметральном выражении.

Линейное перемещение резца по координате X при протачивании наружной кольцевой канавки до диаметра 32 мм (рис. 2.1, а) имеет вид:

в абсолютной системе координат – N005 X32*;

в относительной системе координат – N005 U – 20*.

Без задания рабочей подачи линейное перемещение не реализуется, поэтому в одном из предыдущих кадров должна быть задана подача. Перемещения по оси Z в абсолютной системе задаются адресом Z и координатой конечной точки пути с ее знаком относительно нулевой точки. Перемещение по оси Z в относительной системе задается по адресу W. Числовое значение перемещения равно приращению координат соседних опорных точек ($Z_2 - Z_1$).

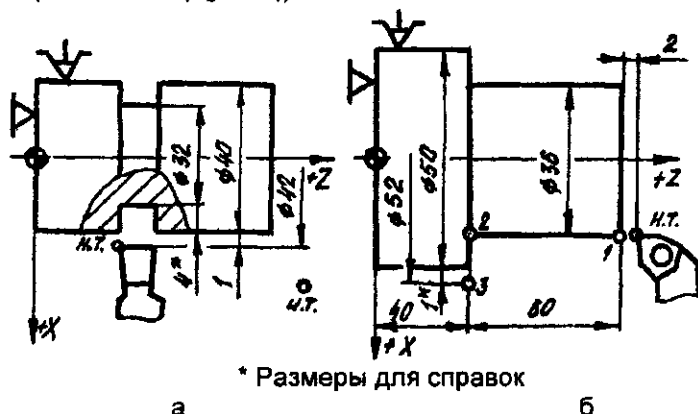


Рис. 2.1

Направление движения в обеих системах определяется соответствующим знаком. В абсолютной системе ставится знак координаты, в которую происходит перемещение. В относительной системе перед чи-

словым значением перемещения ставится знак «минус», если перемещение происходит в сторону, противоположную положительному направлению оси

Перемещение резца до точки 2 с координатами $X = 36$ мм, $Z = 40$ мм (рис. 2.1, б) в абсолютной системе записывается кадром N008 Z40*, в относительной системе – кадром N008 W – 61*.

Управляющая программа с линейными перемещениями для обработки заготовки из штамповки при $s = 0,3$ мм/об, $n = 500$ мин⁻¹ (рис. 2.2) в абсолютной системе имеет вид:

N001 S2 500 F0,3 T1	второй диапазон, $n = 500$ мин ⁻¹ , $s = 0,3$ мм/об, резец установлен в первой позиции.
N002 X32 Z1 E*	подход резца к н. т. на быстром ходу.
N003 Z–30*	точение $\varnothing 32$ мм на длину 30 мм.
N004 X40*	отвод резца по оси X до $\varnothing 40$ мм.
N005 Z–45*	точение $\varnothing 40$ мм на длину 15 мм.
N006 X52*	отвод резца по оси X до $\varnothing 52$ мм.
N007 Z–110*	точение $\varnothing 52$ мм на длину 65 мм.
N008 X62*	отвод резца по оси X до $\varnothing 62$ мм.
N009 M02*	конец программы (останов вращения шпинделя, отвод резца на быстром ходу в исходное положение сначала по оси X, затем по оси Z)

Управляющая программа обработки этой детали в относительной системе:

N001 S2 500 F0,3 T1*	N006 U12* ($\varnothing 52$ мм)
N002 X32 Z1 E*	N007 W –65*
N003 W – 31*	N008 U10* ($\varnothing 62$ мм)
N004 U8* ($\varnothing 40$ мм)	N009 M02*
N005 W –15*	

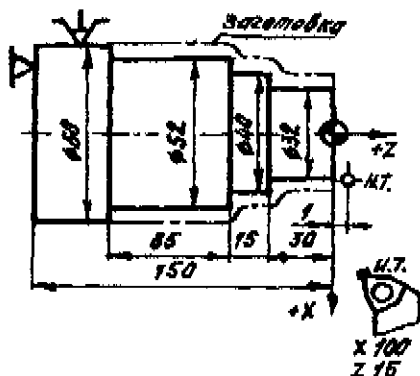


Рис. 2.2

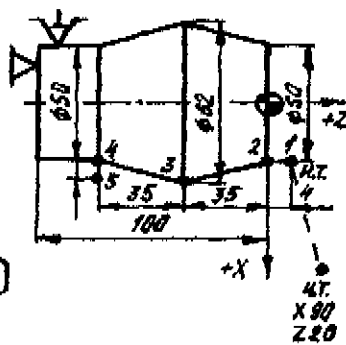


Рис. 2.3

При программировании обработки конических поверхностей линейные перемещения по осям X и Z задают в одном кадре.

Управляющая программа для обработки детали, имеющей прямой и обратный конус (рис. 2.3) приведена ниже:

N001 S3 600 F0,25 T1*	третий диапазон, частота вращения шпинделя $n = 600 \text{ мин}^{-1}$, рабочая подача $0,25 \text{ мм/об}$, резец 1.
N002 Z4 X50 E*	подход резца к точке 1 с координатами $Z = 4$, $X = 50$ на быстром ходу.
N003 Z0*	перемещение резца на рабочей подаче в точку с координатами $X = 50$, $Z = 0$.
N004 X62 Z - 35*	движение вершины резца по контуру прямого конуса на рабочей подаче.
N005 X50 W - 35*	движение вершины резца по контуру обратного конуса при подаче, перемещение по координате Z задано в относительной системе
N006 M02*	конец программы; возвращение резца в и. т.

Если вершина резца имеет закругление, то при переходе от цилиндрической поверхности к конической по осям X и Z выполняется коррекция на координаты конечной опорной точки.

2.5. Программирование снятия фасок под углом 45°

Операцию снятия фаски под углом 45° задают кадром, в котором указывают следующие данные: координату, по которой идет обработка детали (X или Z); числовое значение координаты конечной точки перемещения со знаком, указывающим направление перемещения; адрес C и число, определяющее величину фаски. Знак перед числом под адресом C соответствует знаку обработки на координате X. Направление по координате Z задают только со знаком «минус». Примеры программирования снятия фасок приведены на рис. 2.4 (а, б, в, г).

2.6. Программирование обработки по дуге окружности

Кадр УП, по которому программируют обработку галтели и скругления, содержит следующие данные: обозначение координаты, по которой идет обработка детали перед галтелью или скруглением (X или Z); числовое значение координаты конечной точки перемещения со знаком, указывающим направление перемещения; адрес Q и числовое значение радиуса галтели или скругления. Знак перед числовым значением под адресом Q должен совпадать со знаком обработки по координате X. Направление по координате Z задают только со знаком «минус».

Примеры записи обработки галтелей и скруглений в кадрах в абсолютной и относительной системах даны на рис. 2.5 (а, б, в, г).

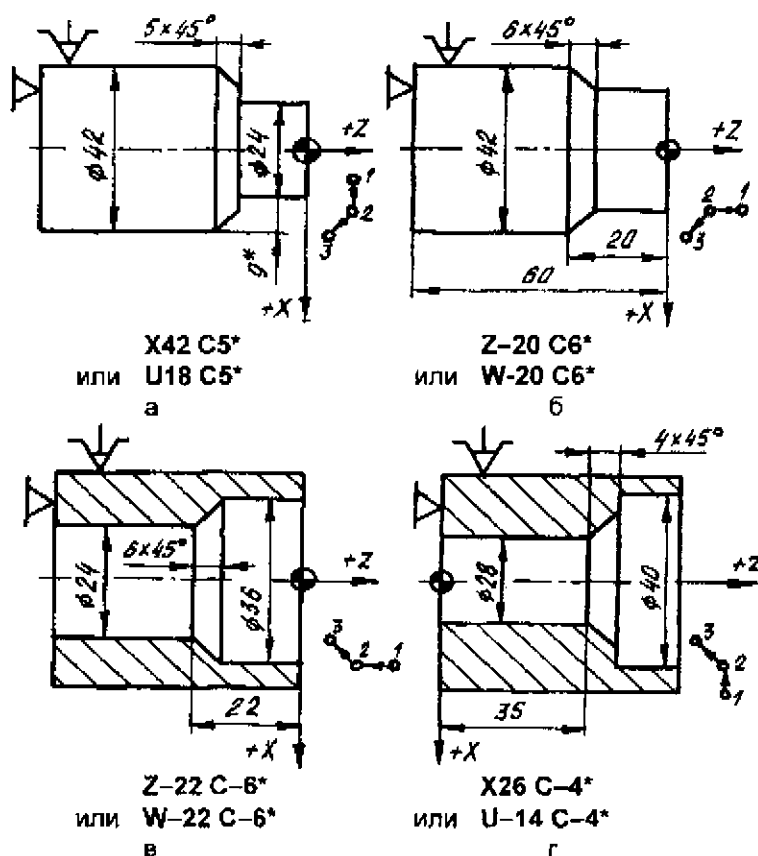


Рис. 2.4

Кадр УП, которым программируют обработку дуг, содержит обозначение координат конечной точки дуги (X и Z), числовые значения координат конечной точки дуги в абсолютной или относительной системах, адрес R и числовое значение радиуса дуги со знаком «плюс» при обработке по часовой, «минус» – против часовой стрелки. Примеры записи обработки дуг в кадрах приведены на рис. 2.6 (а, б).

Управляющая программа чистовой обработки фасонной поверхности детали (рис. 2.7) контурным резцом приведена в абсолютной системе. Частота вращения шпинделя $n = 315 \text{ мин}^{-1}$, подача $s = 0,5 \text{ мм/об}$. Исходная точка с координатами $Z = 230 \text{ мм}$; $X = 100 \text{ мм}$.

Отрезок $OA = 90 - 15 = 75 \text{ мм}$; $A3 = A5 = \sqrt{90^2 - 75^2} = 49,7 \text{ мм}$.

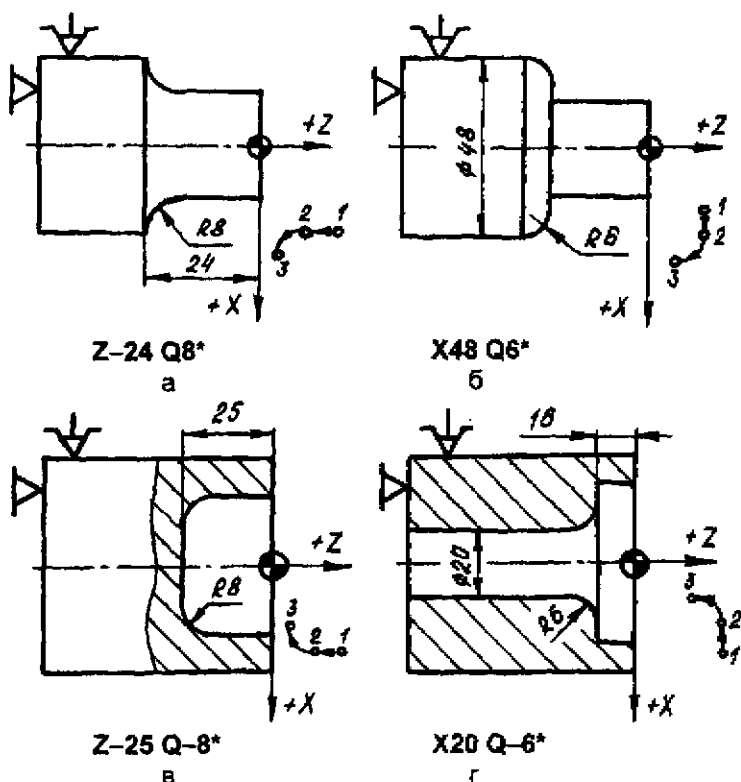


Рис. 2.5

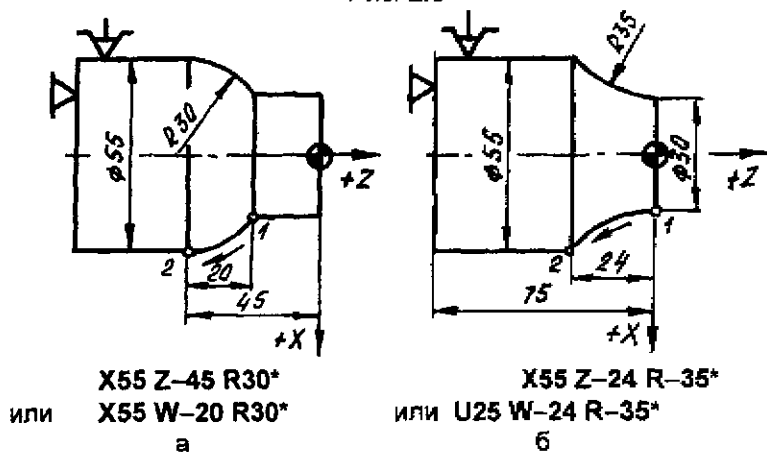


Рис. 2.6

Запись УП имеет следующий вид:

- N001 S2 315 F0,5 T1* – второй диапазон, $n = 315 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,5 \text{ мм/об}$,
резцедержатель установлен в первую пози-
цию.
- N002 X80 Z201,5 E* – подвод к точке 2 на быстром ходу.
- N003 Z174,7* – перемещение в точку 3 на рабочей подаче.
- N004 X50 Z125 R-90 G05* – перемещение по дуге окружности из точки 3 в
точку 4, отмена торможения в точке сопряже-
ния дуг.
- N005 X80 Z75,3 R-90* – перемещение по дуге окружности из точки 4 в
точку 5.
- N006 X82* – перемещение в точку 6.
- N007 M02* – конец программы, отход в и. т. (7).

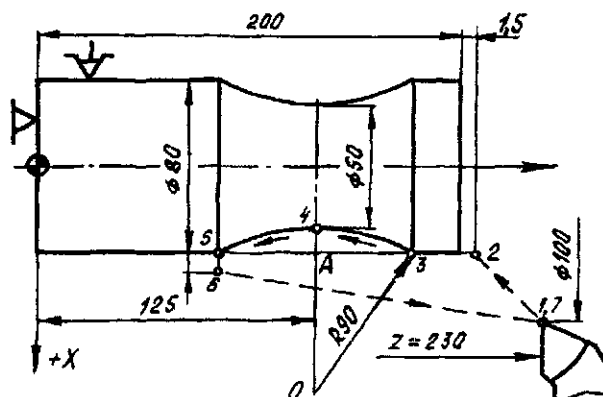


Рис. 2.7

Эту же УП в относительной системе координат можно записать следующим образом:

- N001 S2 315 F0,5 T1*
- N002 U-20 W-28,5 E*
- N003 W-26,8*
- N004 U-30 W-49,7 R-90 G05*
- N005 U30 W-49,7 R-90*
- N006 U2*
- N007 M02*

2.7. Цикл нарезания резьбы L01

Нарезание цилиндрических и конических резьб с автоматическим разделением на проходы программируют постоянным циклом L01.

Перед программированием нарезания резьбы задают начальную

точку цикла со следующими координатами: X – равна наружному диаметру резьбы при нарезании наружной резьбы и внутреннему при нарезании внутренней резьбы; Z – равна значению координаты начала нарезания резьбы увеличенному на величину равную или большую двойного шага резьбы (для обеспечения разгона привода).

Структуру цикла записывают следующим образом: $L01, F, W, X, A, P, C$, где F – шаг резьбы; W – длина резьбы; X – внутренний диаметр резьбы; A – наклон резьбы, т. е. разность диаметров для конической резьбы (для цилиндрической резьбы $A = 0$); P – максимальная глубина резания за один проход (на радиус); C – сбеги резьбы (запись $C1$ означает, что сбег равен шагу резьбы, $C0$ – сбег отсутствует).

Внутренний диаметр резьбы определяется по таблицам для резьб. При многопроходном цикле параметр P принимают меньше глубины резьбы, а при однопроходном – равным глубине резьбы. Параметр A программируют без знака, W – со знаком «минус».

При многопроходном цикле нарезания резьбы перед каждым очередным рабочим ходом резец автоматически смещается по координате Z влево или вправо для того, чтобы происходило резание одной кромкой резца. На последнем рабочем ходу резец работает двумя кромками. На последнем витке осуществляется выход резца (резьба со сбегом). Фрагмент УП нарезания цилиндрической резьбы $M36 \times 2$ (рис. 2.8) приведен ниже:

- ... N011 S3 600 F0,4 T3* – третий диапазон – технологические параметры:
 $n = 600 \text{ мин}^{-1}$; $s = 0,4 \text{ мм/об}$; резцедержатель устанавливается в третью позицию
- N012 X38 Z5 E* – подход резца к зоне резания на быстром ходу. Между торцом детали и вершиной резца расстояние ΔZ составляет $5 \text{ мм} > 2F$.
- N013 X36 M08* – резец устанавливают в начальную точку цикла, включают подачу $G01$.
- N014 L01 F2 W-59 X33,84 A0 P0,4 C0* – шаг резьбы составляет 2 мм , величина перемещения резца с учетом выхода в канавку 59 мм , внутренний диаметр резьбы – $33,84 \text{ мм}$; $A0$ – наклон отсутствует; P – глубина резания за первый проход (на радиус) составляет $0,4 \text{ мм}$; $C0$ – без сбегов.

Фрагмент УП для нарезания конической резьбы с шагом $P = 2 \text{ мм}$, $\Delta Z = 5,8 \text{ мм}$ (рис. 2.9) приведен ниже:

N013 X19,84 M08* – диаметр резьбы с учетом пути подхода.

N014 L01 F2 W – 77,8 X17,8 A6 P0,45 C1*.

Здесь $A6$ – приращение диаметров конической резьбы ($26 - 20 = 6 \text{ мм}$), $C1$ – сбег, равный шагу $P = 2 \text{ мм}$.

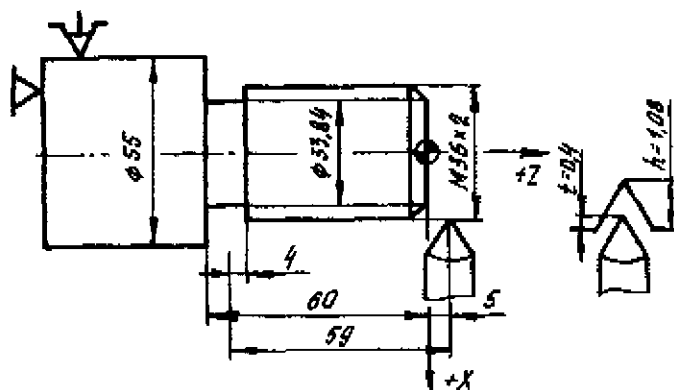


Рис. 2.8

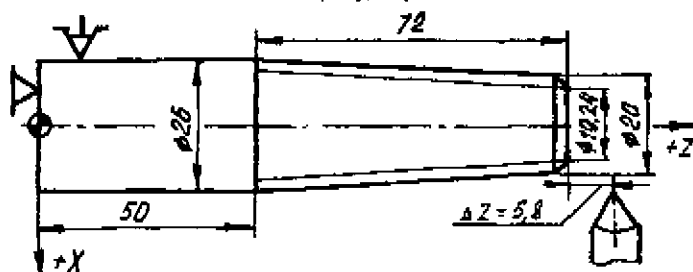


Рис. 2.9

2.8 Цикл протачивания канавок L02

Управляющую программу протачивания канавок с автоматическим разделением на проходы выполняют по постоянному циклу L02.

Структура цикла имеет вид: L02, D, X, A, P, где D – выдержка времени в конце рабочего хода; X – внутренний диаметр канавки, мм; A – ширина канавки, мм; P – ширина режущей кромки резца, мм.

Цикл включает перемещение резца на рабочей подаче до координаты X, выдержку времени (адрес D), его возврат в исходную точку на быстром ходу, смещение по координате Z в положительную сторону на величину P (процесс повторяется столько раз, сколько нужно для достижения ширины канавки A).

Для обработки канавки с перекрытием параметр P задают меньше ширины резца, а параметр A уменьшают на эту разность ($A - \Delta P$).

Для однопроходной канавки параметр $P = A$. Цикл завершается ускоренным отводом по оси X в начальную точку. Причем по оси Z резец остается в точке последнего рабочего хода.

Фрагмент УП с протачиванием канавки (рис. 2.10) приведен ниже:

... N009 S2 630 F0,3 T2*

N010 X60 Z-45 E*

– подвод резца к зоне обработки на быстром ходу.

N00 X55*

– установка резца в н. т. цикла

N012 L02 D2 X40 A9 P5*

– протачивание канавки с внутренним диаметром 40 мм, шириной 10 мм, резцом с шириной кромки 6 мм, выдержка времени в конце рабочего хода – 2с

N013 M02*

– возврат в и. т., конец программы.

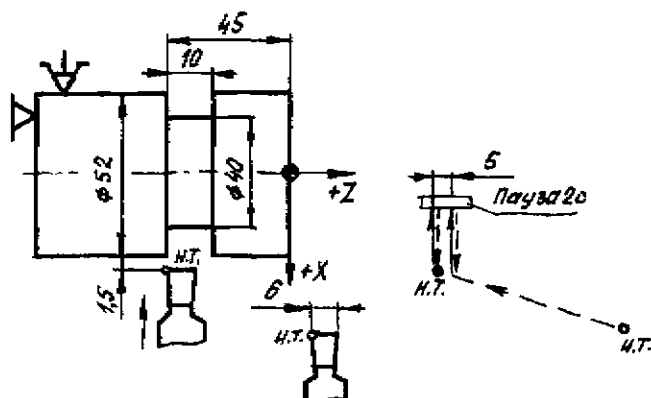


Рис. 2.10

2.9 Циклы наружного и внутреннего точения по схеме «петля» L 03, L 04

Однократное наружное или внутреннее точение заготовки по координате Z с автоматическим возвратом в начальную точку программируется постоянными циклами L03 и L04. Структура этих циклов имеет следующий вид. L03 (L04), W, где W – длина петли

Циклы включают перемещение на рабочей подаче на величину W с учетом знака, быстрый отвод (отскок) на 1 мм по оси X и возврат на быстром ходу в н. т.

Запись УП для наружного точения (рис. 2.11, а) с применением цикла L03 (наружной «петли») имеет следующий вид:

N001 S3 1000 F0,3 T1*

N002 X42 Z72 E*

– подход к н. т. цикла 1

N003 L03 W – 47*

– перемещение из точки 1 в точку 2 на рабочей подаче, отскок на 1 мм, отвод на быстром ходу в точку 1.

N004 M02*

– остановка шпинделя, конец программы, возврат в и. т.

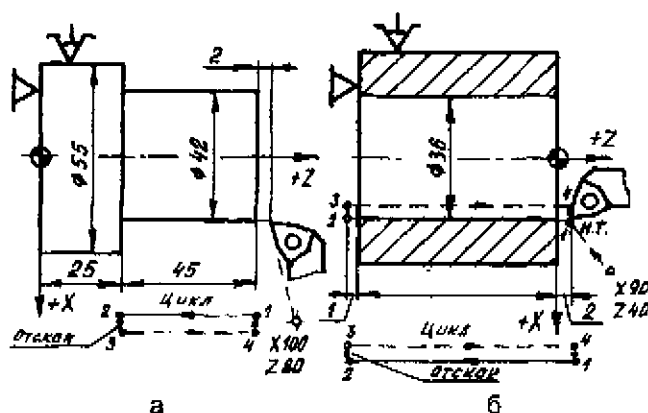


Рис. 2.11

Запись УП для растачивания (рис. 2.11, б) с применением цикла L04 (внутренней «петли») имеет следующий вид:

N001 S3 630 F0.3 T1*

N002 X36 Z2 E* — подход к н. т. цикла 1.

N003 L04 W - 58* — перемещение из точки 1 в точку 2, отскок на 1 мм в точку 3, перемещение из точки 3 в точку 4, а затем в точку 1 на быстром ходу.

N004 M02* — конец программы, возврат в и. т.

2.10. Цикл торцевой обработки по схеме «петля» L05

Однократное подрезание торцев с автоматическим возвратом в начальную точку программируется постоянным циклом L05.

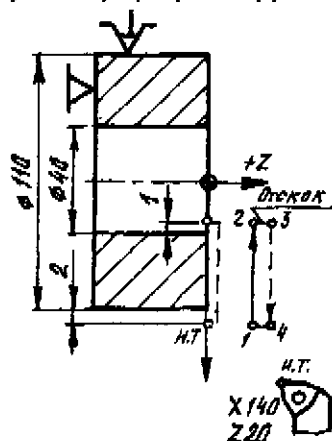


Рис. 2.12

Структура постоянного цикла имеет вид L05, X, где X — конечный диаметр подрезаемого торца.

Цикл L05 содержит перемещение на рабочей подаче по оси X до заданного диаметра, отскок на 1 мм по координате Z в положительную сторону, возврат на быстром ходу в н. т. («торцевая петля»).

В процессе обработки по мере изменения диаметра происходит автоматическое

бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя с целью поддержания постоянства заданной скорости резания, если до цикла L05 была задана функция G10.

Запись УП обработки торцевой поверхности детали (рис. 2.12) приведена ниже:

N001 S3 700 F0,25 T1*

N002 X114 Z0 E*

N003 G10*

N004 L05 X38*

N005 M02*

- подход к н. т. цикла 1.
- задание постоянной скорости резания.
- подрезание торца на рабочей подаче (перемещение из 1 в 2), отскок на 1 мм (в точку 3), отвод на быстром ходу в точки 4 и 1.
- конец программы, возврат в и. т.

2.11. Цикл глубокого сверления L06

Глубокое сверление отверстий выполняют с периодическим выводом сверла для его охлаждения и снятия напряжения продольного изгиба. Программирование такой обработки производится с применением постоянного цикла глубокого сверления с автоматическим разделением на проходы – L06.

Структура цикла глубокого сверления: L06, P, W, где P – глубина сверления за один рабочий ход; W – общая глубина сверления.

Цикл включает перемещение на рабочей подаче на величину P, возврат на быстром ходу в н. т., перемещение на быстром ходу в точку, отстающую от точки предыдущего сверления на 3 мм, перемещение на рабочей подаче на величину (P+3) мм и так далее до достижения требуемой глубины сверления W (рис. 2.13).

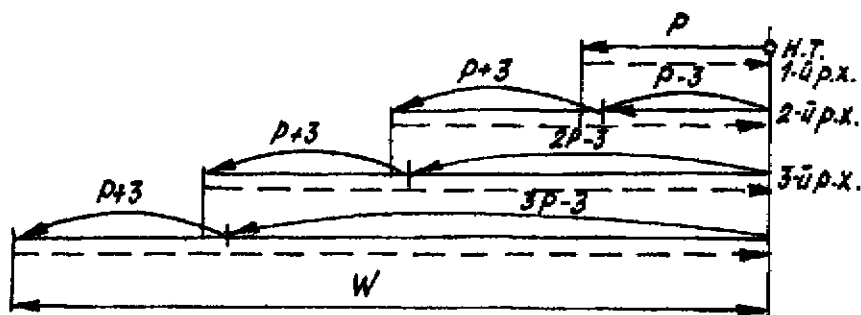


Рис. 2.13

2.12. Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой L07

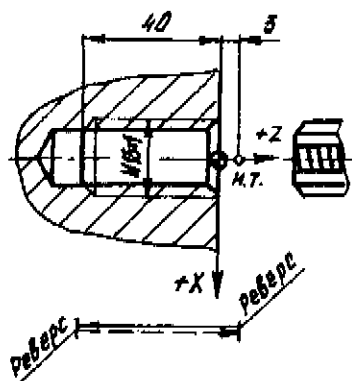


Рис. 2.14

Цикл применяется для программирования нарезания внутренней резьбы метчиком, а наружной резьбы плашкой.

Структура цикла: L07, F, W, где F – шаг резьбы, мм, W – общий путь прохода инструмента (с учетом воздушного зазора и перебега).

Цикл включает следующие действия: перемещение на величину W при подаче, равной шагу F; реверс шпинделя; возврат в н. т.

Фрагмент УП нарезания резьбы метчиком (рис. 2.14):

... N015 S2 125 T3*.

N016 X0 Z3 E*

подход к н. т. цикла.

N017 L07 F1 W-43*

нарезание резьбы с шагом 1 мм на длину 40 мм.

N018 M02*

конец программы.

2.13. Циклы многопроходной обработки L08, L09

Многопроходная обработка цилиндрических заготовок или заготовок с контуром, близким к конечному, например, поковок с автоматическим разделением на проходы, программируется соответственно циклами L08 и L09.

Структура постоянных циклов многопроходной обработки: L08 (L09), A, P, где A – припуск под чистовую обработку в мм (если чистовой рабочий ход не задается, то $A = 0$); P – максимальная глубина резания, мм, за один рабочий ход (на сторону).

Циклы L08 и L09 применяют при обработке деталей с увеличивающимся в случае наружной обработки или уменьшающимся при внутренней обработке диаметром. После программирования кадра, содержащего эти циклы, необходимо запрограммировать описание конечного контура детали, которое может состоять из одного или нескольких кадров, но не более пятнадцати. Кадры с фасками и галтелями считаются за два.

Деталь описывают в сторону шпинделя. Признаком окончания описания детали служит функция M17. Припуск под чистовую обработку по оси Z определяется путем деления заданного припуска по диаметру на четыре.

Начальной точкой цикла L08 является начало заготовки

Управляющая программа для обработки ступенчатого цилиндрического валика по циклу L08 (рис. 2.15).

N002 X60 72 E*

— быстрый подход к НТ

N003 ZO*

— подвод к н. т. цикла (точка 1).

- многопроходная обработка (припуск под чистовую обработку равен нулю, глубина резания 4 мм).

– обработка фаски $2.5 \times 45^\circ$ (точка 2).

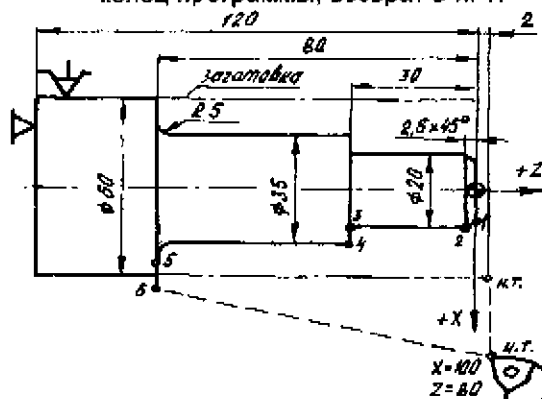
– подвод в точку 3.

— подвод в точку 4.

- обработка гаптели R 5 (точка 5).

— отвод в точку 6. конец описания детали.

— конец программы. возврат в и. т.



Для определения значения координат начальной точки цикла L09 необходимо сначала вычислить величины максимальных припусков по длине на сторону и диаметру. Если учетверенный припуск по длине больше припуска по диаметру, то координату X н. т. находят как сумму диаметра правого торца и учетверенного припуска по длине, а координату Z н. т. — как сумму координат Z торца и припуска по длине на сторону.

Когда учетверенный припуск по длине на сторону меньше, чем припуск по диаметру, то координатой X н. т. является сумма диаметра правого торца и припуска по диаметру, а координатой Z н. т. — сумма координаты Z торца и припуска по диаметру, деленному на четыре. Например, для заготовки (рис. 2.16) учетверенный припуск по длине на сторону равен 20 мм, т. е. больше припуска по диаметру. Следовательно, координата X н. т. будет равна 55 мм ($35 + 20 = 55$ мм), а координата Z н. т. = 5 мм.

Если конечный контур детали начинается с фаски, галтели или конуса, необходимо программировать перед циклом L09 условную цилиндрическую ступень на длине припуска по координатам X и Z (рис. 2 16).

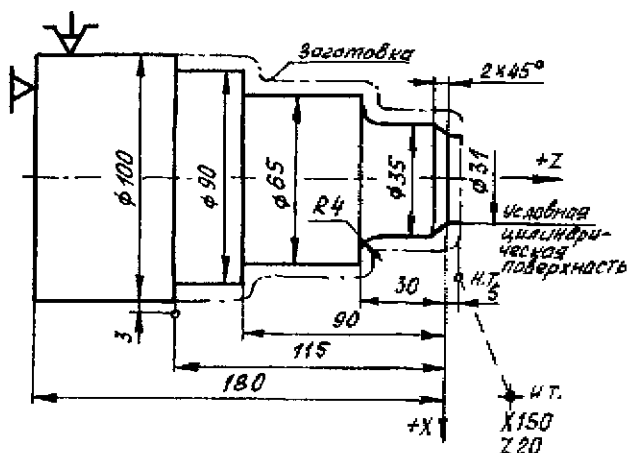


Рис. 2.16

Управляющая программа для обработки поковки (рис. 2.16).

N001 S2 630 F0,5 T1*

N002 X55 Z5 E M08*

– подход резца к начальной точке цикла L09,
включение подачи СОТС.

N003 G10*

N004 L09 A0 P3*

– задание постоянной скорости резания
– задание максимальной глубины резания 3 мм
на сторону

N005 X31*

N006 Z0*

N007 X35 C2*

N008 Z – 30 Q4*

N009 X65*

N010 Z–90*

N011 X90*

N012 Z–115*

N013 X106 M17*

– условная цилиндрическая ступень
– условная цилиндрическая ступень.
– программирование фаски 2 × 45°.
– обработка Ø 35 мм и галтели R4 мм.
– подрезание уступа до Ø 65 мм
– обработка Ø 65 мм
– подрезание уступа до Ø 90 мм
– обработка Ø 90 мм
– подрезание уступа до Ø 106 мм, конец описания детали.

N014 Z0 E*

N013 X35 E*

N014 X0 F0,2*

N015 Z1 E M09*

– отход по оси Z на координату Z = 0.
– подвод по оси X до Ø 35 мм.
– подрезание торца
– отход на координату Z = 1, выключение подачи СОТС.

N016 M02*

– конец программы.

2.14. Цикл чистовой обработки по контуру с заданного номера кадра L10

В тех случаях, когда при обработке с одного установа производится

черновое и чистовое точение (в одной УП), для упрощения программирования и уменьшения объема УП применяют постоянный цикл чистовой обработки по контуру с заданного кадра L10. В этом случае чистовая обработка выполняется по программе для черновой обработки.

Структура цикла имеет вид L10, В, где В – номер кадра начала повторения описания контура детали. В первую очередь необходимо запрограммировать н. т. цикла, координаты которой должны совпадать с координатами начала конечного контура.

Признаком конца описания контура детали для цикла L10 является функция M17.

УП для обработки детали (рис. 2.15) с черновым и чистовым точением (циклы L08 и L10):

N001 S2 500 F0,3 T1*

N002 X60 Z2 E*

N003 Z0*

N004 L08 A1 P4* – многопроходная обработка (припуск под чистовую обработку 1 мм, глубина резания 4 мм).

N005 X20 C2,5* – описание детали

N006 Z–30*

N007 X35*

N008 Z–80 Q5*

N009 X62 M17*

N010 S2 1000 F0,1 T2*

N011 Z0 E*

N012 X15 E*

N013 L10 B5* – задание чистовой обработки с кадра N005.

N014 M02*

2.15. Цикл повторения части программы L11

Если одинаковые элементы расположены на детали через равные промежутки (имеют постоянный шаг), то их программирование значительно упрощается в случае применения постоянного цикла L11.

Структура цикла: L11, Н, В, где Н — число повторений одинаковых элементов.

Признаком конца участка программы, который будет повторяться в цикле L11, является функция M18.

Фрагмент УП с применением цикла L11 (рис. 2.17):

... N005 S2 315 F0,1 T2*

– участок программы, описывающий

N006 X72 Z–5 E*

– протачивание канавки (цикл L02) с

N007 F1,5 W – 30 E*

– последующим смещением по оси Z на 30 мм для задания цикла L11.

N008 F0,1 X70,5*

N009 L02 D0,5 X58 A11 P4*
 N010 X72 W-7 M18*
 N011 L11 H2 B7*

-- конец участка программы, который
 -- повторяется в цикле L11.
 -- цикл L11, число повторений – 2, нача-
 -- ло повторения – с кадра 7.

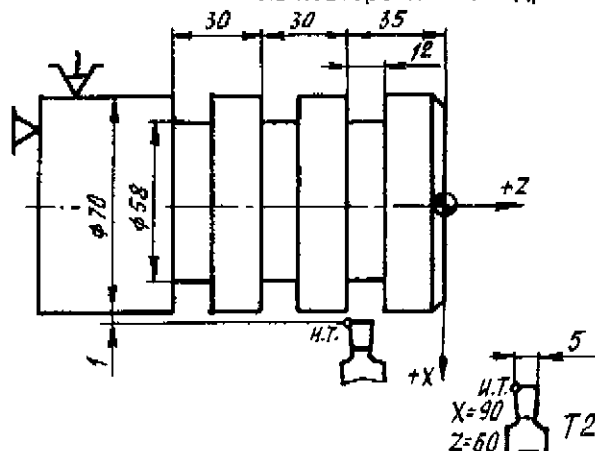


Рис 2.17

2.16 Разработка УП для обработки детали на станке 16K20Ф3С32 с УЧПУ 2Р22

Пример УП для обработки резьбового валика (рис. 2.18) на станке 16K20Ф3С32

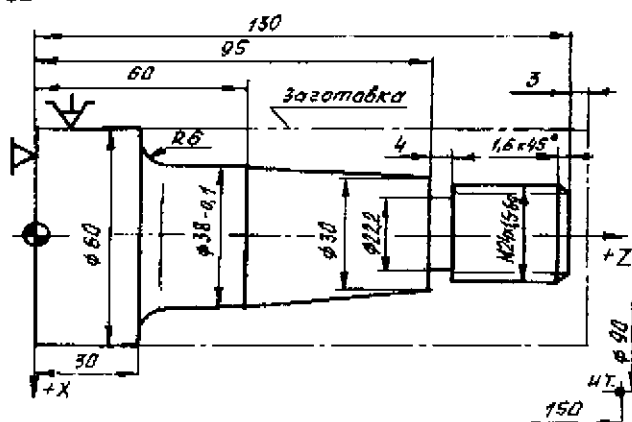


Рис 2.18

N001 S3 380 F0,5 T1 M08*

-- третий диапазон, $n = 372 \text{ мин}^{-1}$,
 $s = 0,5 \text{ мм/об}$, резец №1 – черновой,

N002 X60 Z134 E*	включение подачи СОТС.
N003 L08 A1,6 P4*	– подход к начальной точке для цикла L08.
N004 X24*	– задание цикла L08, припуск 1,6 мм на диаметр под чистовую обработку, глубина резания 4 мм.
N005 Z95*	
N006 X30*	– описание контура детали.
N007 X38 Z60*	
N008 W-30 Q6*	
N009 X60 M17*	
N010 S3 600 F0,2*	– изменение режима.
N011 X29 Z131 E*	– начальная точка перед черновой подрезкой торца.
N012 L05 X0*	– подрезка торца черновая, цикл L05, $n = 600 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,2 \text{ мм/об.}$
N013 S3 800 F0,2 T2*	– третий диапазон, $n = 800 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,2 \text{ мм/об.}$, резец № 2 — чистовой.
N014 X24 Z132 E*	– подход к начальной точке для цикла L10.
N015 G10*	– задание постоянной скорости резания.
N016 L10 B4*	– задание цикла L10, описание детали с четвертого кадра, чистовая обработка.
N017 G11	– отмена G10.
N018 X25 Z130 E*	– начальная точка перед чистовой подрезкой торца.
N019 X0*	– чистовая подрезка торца.
N020 X24,8 C2*	– фаска $1,6 \times 45^\circ$.
N021 S3 630 F0,2 T3*	– третий диапазон, $n = 630 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,2 \text{ мм/об.}$, резец N3 — прорезной.
N022 X32 Z95 E*	– начальная точка перед протачиванием канавки.
N023 X22,2*	– протачивание канавки до $\varnothing 22,2 \text{ мм.}$
N024 X32 E*	– вывод резца из канавки.
N025 S3 11250 F0,4 T4*	– третий диапазон, $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,4 \text{ мм/об.}$, резец №4 — резьбовой.
N026 X24 Z134 E*	– исходная точка перед нарезанием резьбы.
N027 L01 F1,5 W-37,5 X22,38 P0,3 C0*	– цикл нарезания резьбы.
N028 M09*	– выключение подачи СОТС.
N029 M02*	– конец программы.

3. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Программирование сверлильной обработки рассмотрим на примере составления управляющих программ для вертикально-сверлильного станка 2P135Ф2-1.

3.1. Описание вертикально-сверлильного станка 2P135Ф2-1

Станок предназначен для обработки системы отверстий в деталях типа плита, крышка в условиях серийного производства.

Станок оснащен шестипозиционной револьверной головкой, в пяти позициях которой устанавливают инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, развертки и др.), а в одной – фрезы.

Позиционное устройство ЧПУ станка обеспечивает одновременное или раздельное перемещение стола по координатам X и Y, перемещение суппорта с револьверной головкой по координате Z, дает возможность управлять поворотом револьверной головки, по программе выбирать величину рабочей подачи и частоту вращения шпинделя. Устройство имеет цифровую индикацию корректора длины инструмента. Система прямоугольная, замкнутая, в качестве датчиков обратной связи используются вращающиеся трансформаторы.

Общий вид станка показан на рис. 3.1. На основании 1 смонтирована колонна 5, по прямоугольным вертикальным направляющим которой

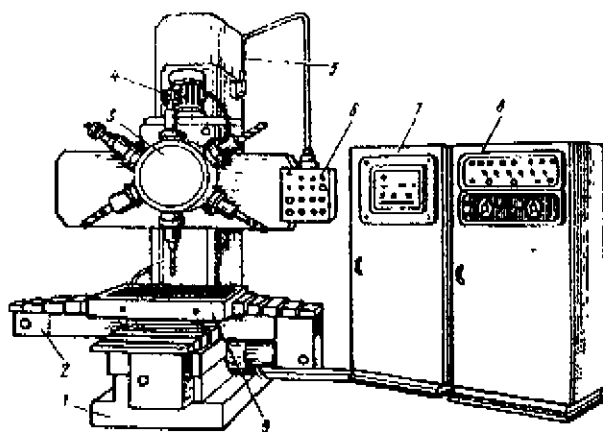


Рис 3.1

перемещается суппорт 4, несущий револьверную головку 3. На колонне 5 смонтированы коробка скоростей и редуктор подачи. Салазки 2 крестового стола перемещаются по горизонтальным направляющим основания 1, а верхняя часть 9 стола – по направляющим салазок. С правой стороны станка располагается шкаф 7 с электрооборудованием и УЧПУ. Станок имеет подвесной пульт 6 управления.

Техническая характеристика станка:

1. Наибольший диаметр сверления, мм	35
2. Наибольший диаметр обрабатываемой резьбы, мм	24
3. Наибольший диаметр фрезы, мм	100
4. Наибольшая ширина фрезерования, мм	60
5. Наибольшая глубина фрезерования, мм	2
6. Наибольшее перемещение суппорта (с револьверной головкой), мм	560
7. Скорость быстрого перемещения суппорта, м/мин	4
8. Подача суппорта (число ступеней 18), мм/мин	10...500
9. Частота вращения шпинделя (12 ступеней), мин ⁻¹	31,5...1400
10. Размеры рабочей поверхности стола, мм	400x710
11. Скорость быстрого перемещения стола и салазок, м/мин	7
12. Скорость перемещения стола и салазок при фрезеровании, м/мин	0,22
13. Наибольшее поперечное перемещение салазок, мм	360
14. Наибольшее продольное перемещение стола, мм	630
15. Точность позиционирования стола и салазок, мм	0,05
16. Повторяемость позиционирования стола и салазок, мм	0,03
17. Дискретность задания перемещений, мм	0,01
18. Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	300
19. Мощность электродвигателя главного движения, кВт	4/4,5
20. Габарит (длина x ширина x высота) станка (без приставного оборудования), мм	1860x2400 x2700
21. Масса станка (без приставного оборудования), кг	4700

3.2. Программирование сверильной обработки

Подготовка управляющей программы начинается с изучения чертежа детали и разработки технологического процесса ее изготовления. При выборе базы для приведения размеров в двухкоординатной системе необходимо соблюдать принцип единства баз. В качестве такой базы используются оси "плавающего" нуля, который, как правило, является исходной точкой для начала обработки по программе. "Плавающий нуль" означает, что рассматриваемая точка может быть по-

коррекции инструмента, содержат признак адреса L и комбинации из двух цифр от 01 до 09. Величина коррекции устанавливается декадными переключателями на пульте УЧПУ станка. Команда задается для коррекции вылета инструмента при настройке станка.

Значения перемещений вдоль осей X и R, переведенные в сотые доли миллиметра (импульсы), записываются шестизначными цифрами, а значения перемещений вдоль осей Y и Z – пятизначными цифрами путем приписки нулей слева.

Пример записи

Обычная запись

X = + 137,975

R = - 53,56

Y = - 65,36

Z = + 4,837

Запись в виде слова УП

X + 013798

R - 005356

Y - 06536

Z + 00484

Слова, определяющие выбор частоты вращения шпинделя и подачи, включают адреса S и F и кодируются двузначным числом.

По паспорту станка мод. 2P135Ф2 коды соответствуют следующим значениям частоты вращения шпинделя (мин^{-1}):

S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
31,5	45	63	90	125	180	250	355	500	710	1000	1400

и величинам подач (мм/мин):

F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13
10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160

F14	F15	F16	F17	F18
200	250	350	400	500

Слова, несущие информацию о вспомогательных функциях M, кодируются по общим правилам.

Из подготовительных команд в сверлильных станках с ЧПУ находят применение две группы:

1. Функции общего назначения (G60 и G62);

2. Функции постоянных циклов (G81 — G96).

Функция G62 (грубое позиционирование) используется для постоянного управления по оси Z, для быстрого перемещения вдоль оси до координаты R и для рабочего движения вдоль осей X и Y.

Функция G60 (точное позиционирование) используется для отмены функции G62 и для рабочего перемещения вдоль осей X и Y.

Функции постоянных циклов (табл. 3.1), кроме G80, программируются с координатами R и Z и предусмотрены для функционирования только по оси Z.

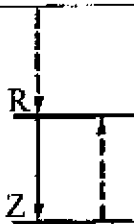
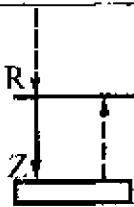
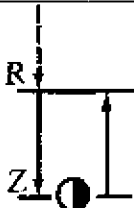
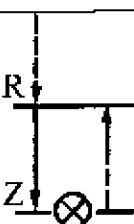
Все рассмотренные слова записываются в виде кадров, содержащих информацию для выполнения части операции обработки детали, а также для перемещения рабочего органа из одной точки в другую при позиционировании. Кадр должен начинаться словом "номер кадра" с ад-

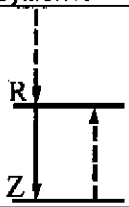
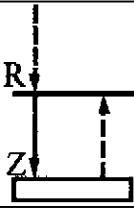
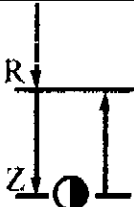
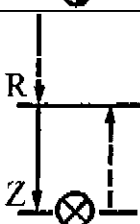
ресом N и заканчиваться словом "конец кадра (ПС)".

Слова в кадре, содержащие адреса F, S, T, L, G, M, можно менять между собой местами.

Таблица 3.1

Функции постоянных циклов

Траектория инструмента	Код	Постоянный цикл	Работа станка
—	G80	Отмена постоянных циклов	Отмена функции G81, G82, G84, G86 G91, G92, G94, G96
	G81	Сверление	Быстрый подвод сверла к координате R, рабочая подача к координате Z и быстрый отвод сверла к координате R
	G82	Подрезка торца	Быстрый подвод зенковки к координате R, рабочая подача к координате Z, пауза после обработки и быстрый отвод к координате R
	G84	Резьбо-нарезание	Быстрый подвод метчика к координате R, рабочая подача к координате Z, реверс шпинделя и отвод метчика на рабочей подаче к координате R
	G86	Растачивание	Быстрый подвод инструмента к координате R, рабочая подача к координате Z, остановка вращения шпинделя и быстрый отвод к координате R

Траектория инструмента	Код	Постоянный цикл	Работа станка
	G91	Сверление	Быстрый подвод сверла к координате R, рабочая подача к координате Z, быстрый отвод к "плавающему" нулю, т. е. к R=0
	G92	Подрезка торца	Быстро вперед к R, подача вперед к Z, задержка, быстро назад к R = 0
	G94	Резьбо-нарезание	Быстро вперед к R, подача вперед к Z, реверс шпиндель назад к R, быстро назад к R = 0
	G96	Растачивание	Быстро вперед к R, подача вперед к Z, останов шпинделя, быстро назад к R = 0

Каждая команда в одном кадре должна встречаться только один раз.

Для примера рассмотрим составление управляющей программы обработки отверстий в детали (рис. 3.3)

В соответствии с ранее рассмотренной последовательностью выполняемых работ составляем расчетно-технологическую карту (рис. 3.4), т. е. производим привязку "нуля" детали к исходной точке и технологическую карту обработки детали "плита" (табл. 3.2). Эти документы содержат всю необходимую информацию для задания последовательности обработки отверстий, назначения инструментов, режимов резания и выбора по ним кодов частоты вращения шпинделя, скорости подачи и коррекции

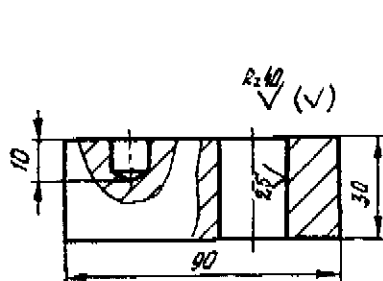


Рис. 3.3

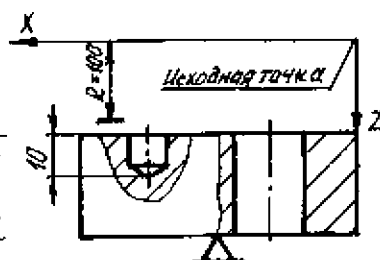


Рис. 3.4

Таблица 3.2
Технологическая карта обработки детали "плита" на станке 2P135Ф2

Отвер- стие	Последова- тельность переходов	Режущий инстру- мент	Длина прохо- да, мм	Пози- ция инстру- мента	Код частоты враще- ния	Код по- дачи	Коррек- ция
Ø20H8	Центрова- ние	Центро- вочное сверло Ø20 мм	6	01	S10	F14	L01
	Сверле- ние	Сверло Ø18,7 мм	35	02	S08	F10	L02
	Зенкеро- вание	Зенкер Ø19,8 мм	35	03	S06	F12	L03
	Разверты- вание	Развертка Ø20H8	35	04	S03	F05	L04
Ø10H14	Сверле- ние	Сверло Ø10 мм	10	05	S08	F10	L05

Положение детали относительно "плавающего" нуля по осям X и Y показана в расчетно-технологической карте (рис.3.4), а по оси Z принимается равным 100 мм. Управляющая программа для обработки отверстий Ø10H14 и Ø20H8 будет задана следующим набором кадров:

M3 — прямое вращение шпинделя;

N002 T01 S10 F14 L01 X+000000 Y-000000 ПС — первый номер инструмента (центровочное сверло Ø20 мм); частота вращения шпинделя $n=710 \text{ мин}^{-1}$; подача $S=200 \text{ мм/мин}$ при положении шпинделя в нулевой точке с коррекцией вылета сверла;

N003 X+002800 Y+03200 ПС — быстрое перемещение шпинделя относительно нулевой точки по оси X на 28 мм и по оси Y на 32 мм;

- N004 G91 R+01000 Z+10600 ПС –быстрый подвод центровочного сверла к координате R=100 мм, рабочая подача к координате Z=106 мм, т. е. сверление на глубину 6 мм и быстрый отвод сверла к координате R=0;
- N005 T02 S08 F10 L02 X+002800 Y+03200 ПС –второй номер инструмента (сверло Ø18,7 мм); частота вращения $n=355 \text{ мин}^{-1}$; подача S=80 мм/мин при положении шпинделя в точке с координатами X=28 мм; Y=32 мм; R=0 с коррекцией вылета сверла;
- N006 G91 R+010000 Z+13500 ПС –быстрый подвод сверла к координате R=100 мм, рабочая подача к координате Z=135 мм и быстрый отвод сверла к координате R=0;
- N007 T03 S06 F12 L03 X+002800 Y+03200 ПС –третий номер инструмента (зенкер Ø19,8 мм); частота вращения $n=180 \text{ мин}^{-1}$; подача S=125 мм/мин при положении шпинделя в точке с координатами X=28 мм; Y=32 мм; R=0 с коррекцией вылета зенкера;
- N008 G91 R+010000 Z+13500 ПС –быстрый подвод зенкера к R=100 мм, зенкерование напроход, быстрый отвод зенкера к R=0;
- N009 T04 S03 F05 L04 X+002800 Y+03200 ПС –четвертый номер инструмента (развертка Ø20H8 мм); частота вращения $n=63 \text{ мин}^{-1}$; подача S=25 мм/мин при положении шпинделя в точке с координатами X=28 мм; Y=32 мм; R=0 с коррекцией вылета развертки;
- N010 G91 R+010000 Z+13500 ПС –быстрый подвод развертки к R=100 мм, рабочая подача к координате Z=135 мм, т. е. развертывание напроход, быстрый отвод развертки к R=0;
- N011 T05 S06 F10 L05 X+002800 Y+03200 ПС –пятый номер инструмента (сверло Ø10 мм); частота вращения $n=355 \text{ мин}^{-1}$; S=80 мм/мин при положении шпинделя в точке с координатами X=28 мм; Y=32 мм; R=0 с коррекцией вылета сверла;
- N012 X+007000 Y+01000 ПС –быстрое перемещение шпинделя относительно нулевой точки по оси X на 70 мм и по оси Y на 10 мм;
- N013 G91 R+010000 Z+01100 ПС –быстрый подвод сверла к R=100 мм, рабочая подача к координате Z=110 мм, т. е. сверление на глубину и быстрый отвод сверла к R=0;
- N014 X+000000 Y-00000 ПС – быстрое перемещение шпинделя в нулевую точку.

4. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Программирование фрезерной обработки рассмотрим на примере разработки управляющих программ для вертикально-фрезерного полуавтомата ЛФ260МФЗ, оснащенного системой управления 2С85-63.

4.1. Описание вертикально фрезерного полуавтомата ЛФ260МФЗ

Вертикально-фрезерный полуавтомат с крестовым столом, ЧПУ и автоматической сменой инструмента ЛФ260МФЗ предназначен для фрезерной и многооперационной обработки деталей из различных материалов в мелкосерийном производстве. Механизм смены инструмента осуществляет подачу запрограммированного инструмента из магазина в шпиндель станка и возврат отработавшего инструмента. Инструментальный магазин обеспечивает поиск и фиксацию в позиции "смена инструмента" 14 инструментов, что с учетом инструмента, находящегося в шпинделе полуавтомата, обеспечивает возможность работы 15 инструментами.

На полуавтомате принята система кодирования инструмента, которая осуществляется с помощью кодовых выступов, расположенных на конце хвостовика оправки каждого инструмента.

В станке применена контурная система управления 2С85-63. Программа записывается на перфоленту. Количество одновременно управляемых координат при линейной интерполяции 3, при круговой – 2 в трех основных плоскостях. Максимальный программируемый размер $\pm 9999,99$ мм.

Техническая характеристика станка

1. Класс точности Н по ГОСТ 8–82.
2. Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола, мм.

наибольшее	100
наименьшее	450
3. Вылет шпинделя, мм 340
4. Размеры рабочей поверхности стола, мм:

ширина	320
длина	630
5. Наибольшее продольное перемещение стола, мм 500
6. Наибольшее поперечное перемещение стола, мм 320
7. Наибольшее вертикальное перемещение шпиндельной бабки 350
8. Конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82) 40
9. Частота вращения шпинделя, мин⁻¹ 31,5–4000

- | | |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| 10. Подача за один импульс в мм (дискретность) | 0,01 |
| 11. Величина скорости рабочих подач, мм/мин: | |
| при перемещении по одной координате | 5 – 3000 |
| одновременно по двум координатам | 5 – 2100 |
| одновременно по трем координатам | 5 – 1700 |
| 12. Максимальная скорость подачи быстрых перемещений, мм/мин: | |
| при работе по одной координате | 6000 |
| при работе по двум координатам | 5000 |
| при работе по трем координатам | 3000 |

4.2. Программа

Программа начинается символом «конец кадра», вся информация задана до символа «конец кадра», системой УЧПУ игнорируется. Далее идет символ «начало программы» и номера программы от 0 до 9.

Программа заканчивается символом «конец программы», перед физическим концом ленты рекомендуется помещать символ «конец ленты».

При составлении программы обработки используется адресный способ записи информационных слов (команд). Значение символов адресов приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Ввод программы осуществляется в зону 1 (зона технологических программ).

Таблица 4.1

Значение символов адресов	
Символ адреса	Значение
D	Функция коррекции
F	Функция подачи
G	Подготовительная функция
H	Количество повторений участка программы
I	Параметр интерполяции относительно оси X
J	Параметр интерполяции относительно оси Y
K	Параметр интерполяции относительно оси Z
L	Обращение к программе
M	Вспомогательная функция
N	Знак номера кадра
R	Формальный параметр
S	Скорость вращения шпинделя
T	Функция инструмента
X	Перемещение, параллельное оси X
Y	Перемещение, параллельное оси Y
Z	Перемещение, параллельное оси Z

Таблица 4.2

Значение управляющих символов и специальных знаков

Символ	Наименование	Значение
ПС	Конец кадра	Символ, разделяющий на перфоленте кадры обработки
%	Номер программы	Знак, обозначающий начало программы
(Круглая скобка левая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не предназначена для считывания УЧПУ
)	Круглая скобка правая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна считываться и обрабатываться УЧПУ
+	Плюс	Алгебраический знак. При задании перемещений писать необязательно. При задании D и R – обязательно
-	Минус	Алгебраический знак. Задание обязательно

Кадр содержит информацию об условиях и длине перемещений рабочих органов станка, технологические и вспомогательные функции.

При составлении программы в кадре следует записывать ту геометрическую, технологическую и вспомогательную информацию, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру.

Номер кадра начинается символом N, за которым следует число от 0 до 999.

Информационное слово состоит из символа адреса и целого числа (численного значения адреса). Количество информационных слов в кадре произвольное.

Формат кадра имеет вид:

%N03H2G02D02X+042Y+042Z+042I+042J+042K+042F04S04N02M02L4R+042

В пределах одного кадра программы не должны использоваться слова с одинаковыми адресами, кроме слов G, M, D, R.

Значение подготовительных и вспомогательных функций приведены в табл. 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3

Значения подготовительных функций

Номер группы	Код	Функция и ее содержание
1	G00*	Позиционирование – перемещение на быстром ходу в заданную точку с торможением в конце кадра до станочной константы. Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется
	G01*	Линейная интерполяция – перемещение с запрограммированной скоростью по прямой
	G02*	Круговая интерполяция по часовой стрелке – перемещение с запрограммированной скоростью по дуге окружности по часовой стрелке
	G03*	Круговая интерполяция против часовой стрелки
2	G04*	Выдержка времени
3	G40*	Отмена всех коррекций
	G41*	Коррекция на радиус инструмента слева от детали. Используется, когда инструмент находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от режущего инструмента в направлении его движения относительно изделия
	G42*	Коррекция на радиус инструмента справа от детали
4	G45**	Автоматическое включение сопрягающей дуги между данным и предыдущим кадрами. Применяется при работе с функциями G41 и G42
5	G53**	Отмена линейного сдвига. Используется при работе в станочной системе координат
6	G54**	Линейный сдвиг – смещение начала координат на величины, заданные в массиве смещения № 1. Используется при работе в абсолютных размерах, при работе в относительных размерах – игнорируется
	G55**	То же применительно к массиву смещения № 2
7		Постоянные циклы. При работе со станком ЛФ260ФЗ задаются в виде подпрограмм
8	G90*	Задание перемещений в абсолютных размерах – отсчет перемещений производится от нулевой точки данной системы координат

Номер группы	Код	Функция и ее содержание
	G91*	Задание перемещений в приращениях – отсчет перемещения производится относительно предыдущей запрограммированной точки
9	G92**	Установка новой рабочей системы координат
10	G09**	Торможение в конце кадра – автоматическое уменьшение скорости до станочной константы торможения
11	G17* G18* G19*	Выбор плоскости обработки XY Выбор плоскости обработки XZ Выбор плоскости обработки YZ
12	G40* G43* G44*	Отмена всех коррекций Коррекция инструмента – положительная Коррекция инструмента – отрицательная
13	G20* G21*	Масштабирование Отмена масштабирования

Примечания: 1. * Функция действует до отмены

2. ** Функция действует только в том кадре, в котором она записана.

3. В кадре можно задавать только одну функцию из каждой группы.

4. При включении УЧПУ автоматически устанавливаются функции G01, G40, G54, G80, G90, G17

Таблица 4.4

Значения вспомогательных функций

Код	Функция и ее содержание
M00**	Программируемый останов – останов без потери информации по окончании обработки кадра с функцией M00. Производится останов шпинделя, подача, выключение охлаждения. Дальнейшая работа возобновляется нажатием кнопки «Пуск»
M01**	Останов с подтверждением – функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта оператора
M02**	Конец программы – функция указывает на завершение обработки программы и приводит к останову шпинделя и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре
M03*	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M04*	Вращение шпинделя против часовой стрелки
M05*	Останов шпинделя – производится останов шпинделя и выключение охлаждения

Код	Функция и ее содержание
M06**	Смена инструмента – производится смена инструмента (поиск инструмента не осуществляет)
M08*	Включение охлаждения
M09*	Выключение охлаждения
M10*	Зажим – производится зажим в направляющих шпиндельной бабки
M11*	Разжим – производится разжим в направляющих шпиндельной бабки
M17**	Выход из подпрограммы
M30**	Физический конец ленты

Примечания:

1. * Функция действует до отмены.
2. ** Функция действует только в том кадре, в котором она записана
3. До начала перемещения, запрограммированного в кадре, выполняются функции M03, M04, M08, M11.
4. 4. После выполнения перемещения в данном кадре отрабатываются функции M00, M01, M02, M05, M09, M17, M30.

4.3 Система координат станка

Перед началом обработки детали подвижные части станка выводятся в крайнее положение. Это положение фиксируется по датчикам исходного состояния и называется исходной точкой. Исходная точка станка ЛФ260МФЗ соответствует крайним положениям по оси X – влево, по Y – на оператора, по Z – вверх. Направление движения из исходной точки – отрицательное.

Станочной системой координат называется система координат, расположение которой относительно исходной точки определяется с помощью станочных констант (координаты исходной точки). Начало станочной системы координат называется нулем станка

У рассматриваемого станка нуль станка, определяемый функцией G53, совпадает с исходной точкой.

Система координат, начало которой сдвинуто относительно нуля станка, называется рабочей системой координат (рис. 4.1).

Отсчет координат при задании перемещений в кадре может быть абсолютным (в абсолютных значениях) или относительным (в приращенных).

При задании перемещения в абсолютных значениях (G90) размеры задаются в одной из трех систем координат станочной (G53), первой рабочей (G54) или второй рабочей (G55).

Начало рабочих систем координат задаются относительно станочной системы координат с помощью констант смещений, вводимых в массивы смещений № 1 и № 2 зоны 6. Адреса констант смещения приведены в табл. 4.5. Знак задания констант смещения – отрицательный.

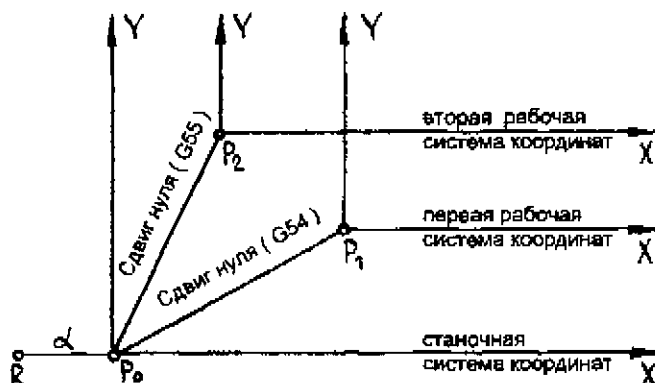


Рис. 4.1: R – исходная точка, α – координаты исходной точки, P_0 – ноль станка, P_1 – ноль первой рабочей системы координат, P_2 – ноль второй рабочей системы координат

Таблица 4 5

Адреса констант смещения

Номер константы	Номер массива смещения	Виды константы
0	1 (G54)	Смещение начала отсчета по координате Y
1		Смещение начала отсчета по координате Y
2		Смещение начала отсчета по координате Z
9	2 (G55)	Смещение начала отсчета по координате X
10		Смещение начала отсчета по координате Y
11		Смещение начала отсчета по координате Z

Начало рабочих систем координат может быть сдвинуто с помощью функции G92, которая задается отдельным кадром с численными значениями координат X и Y. При этом сдвиг рабочей системы координат происходит так, что численные значения X и Y соответствуют координатам точки конца предыдущего кадра в новой (после сдвига) системе координат. При этом перемещений в кадре, содержащем функцию G92, не происходит.

Например, кадр N 101 G92 XO YO PC определяет новую рабочую

систему координат, ноль которой совпадает с текущим значением инструмента (так как X и Y являются координатами инструмента в новой рабочей системе координат)

Следует учитывать, что при сдвиге нуля рабочей системы координат, действующей в момент задания G92, точно также сдвигается другая рабочая система координат, так что их взаимное расположение остается неизменным.

Примеры применения функций G53, G54, G55, G92 приведены на рис.4.2.



Рис 4.2

Константы массива смещения № 1

0 - 400 (X)

1 - 200 (Y)

Константы массива смещения № 2:

9 - 200 (X)

10 - 100 (Y)

В кадре 101 задается первая рабочая система координат, с началом в точке P₁ (определяется константами массива смещений № 1). Адресными словами X 400, Y300 определены координаты точки A в первой рабочей системе координат, в которую после выполнения кадра 101 переместится инструмент.

В кадре 102 с помощью функции G92 и адресных слов X 100, Y 100 задается новая первая рабочая система координат, в которой точка A будет иметь координаты (100,100), т.е. с помощью функции G92 задается система координат, начало которой определяется относительно конечной точки предыдущего кадра с помощью адресных слов, записан-

ных в кадре после функции G92.

После выполнения функции G92 одновременно со сдвигом первой рабочей системы координат (образованием новой первой рабочей системы координат) произойдет сдвиг начала второй рабочей системы координат (образование новой второй рабочей системы координат), причем значения линейных сдвигов по осям будут такие же, как и линейные сдвиги первой рабочей системы координат. Началом новой второй системы координат будет точка $P_{2н}$.

До выполнения кадра 102 точка A во второй рабочей системе координат имеет координаты X 500, Y 400. После отработки кадра 102 и установления новой второй рабочей системы координат координатами точки A будут значения $X = 600 - 300 = 300$, $Y = 400 - 200 = 200$.

В кадре 103 осуществляется перемещение инструмента в точку B, имеющую в новой первой системе координат координаты X 0, Y -100. При отработке кадра 104 инструмент переместится в точку C с координатами X 100, Y 100 в новой второй рабочей системе координат. В кадре 105 осуществляется переход при помощи функции G53 в станочной системе координат. Инструмент перемещается в точку D, имеющую в станочной системе координат координаты X 300, Y 300.

После отработки кадра 106 инструмент переместится в точку B с координатами X 100, Y 500 в новой второй рабочей системе координат.

Если программа обработки задана не из исходной точки станка, то привязка координатных систем G53, G54, G55 будет осуществлена не к исходной точке, а к точке начала программы. Поэтому рекомендуется при программировании в абсолютных приращениях совмещать начало программы с исходной точкой станка. Это дает возможность кадрами

Nxxx G00 G53 X0 PC

Nxxx G00 G53 Y0 PC

Nxxx G00 G53 Z0 PC

выйти в исходное состояние по координатам из произвольной точки отработки программы. Кадрами: Nxxx G00 G54 Xxxxx Yxxxx PC

Nxxx G00 G54 Zxxxx PC

вернуться в эту точку. Это упрощает программирование выхода на смену инструмента и совмещение программы с базами заготовки.

При задании перемещений в приращениях (G91) размеры задаются в системе координат, начало которой помещено в начальную точку текущего кадра.

4.4. Плоскости обработки

Задание плоскости обработки требуется при круговой интерполяции и при работе с коррекцией на радиус инструмента G41 (G42) независимо от вида интерполяции.

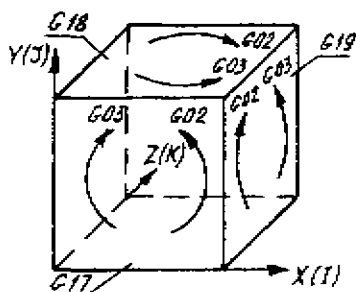


Рис. 4.3

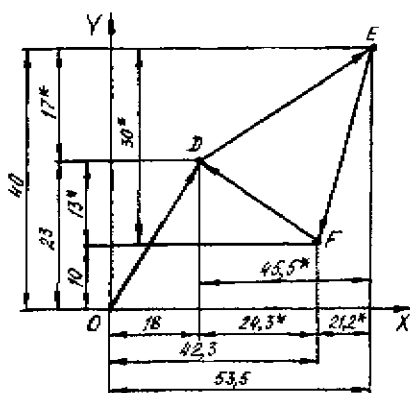
Размещение плоскостей обработки в станочном пространстве представлено на рис. 4.3. В скобках указаны параметры интерполяции. Стрелками показано направление обхода дуги (G02 или G03).

4.5. Линейная интерполяция

При линейной интерполяции вместе с функцией G01(G00) задаются координаты конечной точки

прямолинейного участка в абсолютных или относительных размерах.

Задание перемещения O-D-E-F-D представлено на рис. 4.4.



перемещения в абсолютных размерах:

```
...
N101 G90 G01 X1800 Y2300 F250 PC
N102 X6350 Y4000
N103 X4230 Y1000
N104 X1800 Y2300
```

перемещения в относительных размерах:

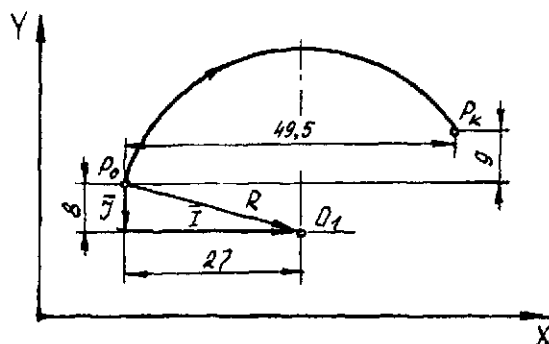
```
...
N101 G91 G01 X1800 Y2300 F250
N102 X4550 Y1700
N103 X-2120 Y-3000
N104 X-2430 Y1300
```

Рис. 4.4

4.6. Круговая интерполяция

При круговой интерполяции вместе с функцией G02(G03), плоскостью обработки (G17, G18, G19) задаются координата конечной точки дуги в абсолютных или относительных величинах и координаты центра круга относительно начальной точки дуги, которые обозначаются через параметры интерполяции I и J при G17 (параметры K и L при G18 и параметры J и K при G19). Координаты конечной точки и координаты центра обрабатываемой дуги относительно начальной точки дуги необходимо задавать явно, т. е. нулевые значения этих величин в кадре должны обязательно задаваться.

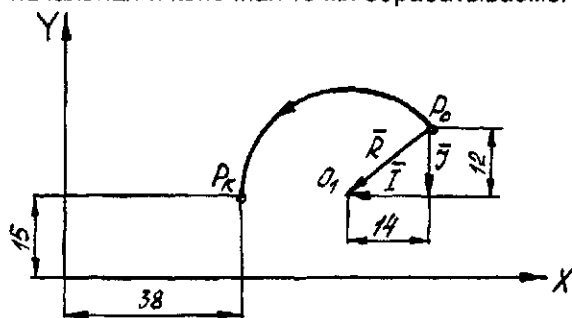
Примеры задания круговой интерполяции приведены на рис. 4.5 – 4.7.



N201 G91 G17 G02 X49.5 Y900 I2700 J-800 F200ПС

Рис. 4.5

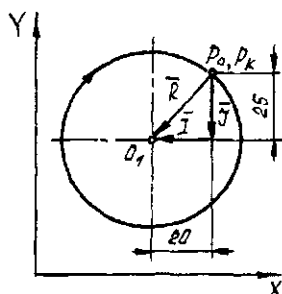
P_0 и P_k – начальная и конечная точки обрабатываемого контура



N103 G90 G17 G03 X3800 Y1500 I-1400 J-1200 F250ПС

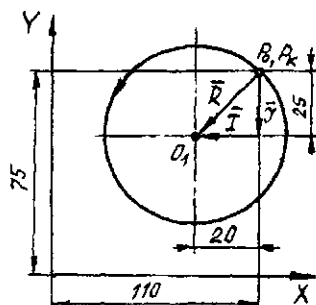
Рис. 4.6

P_0 и P_k – начальная и конечные точки обрабатываемого контура



N101G91 G17 G02 X0 Y0 I-2500 J-2500 F100 ПС

а



N101G91 G17 G02 X0 Y0 I-2500 J-2500 F100 ПС

б

Рис. 4.7

4.7. Коррекция на длину инструмента (режимы G43, G44)

Режимы G43 (G44) предназначены для коррекции длины инструмента для компенсации разницы между фактическим и программируемым размерами инструмента (в основном по координате Z).

Величина коррекции задается словом D с положительным или отрицательным знаком (знак "+" при программировании опускается).

Задание величин коррекции производится в четвертую зону памяти (зона коррекций). Максимальное число вводимых коррекций 99 (D01... D99). Максимальная величина коррекции ± 999999 единиц дискретности.

При отработке коррекции G43 перемещение, заданное по коррекции, алгебраически складывается с перемещением, заданным по координате; при отработке коррекции G44 – алгебраически вычитается.

Если по координате задано нулевое перемещение, то будет отрабатываться только величина коррекции.

Если действие функций G43 (G44) необходимо по нескольким координатам, то они задаются по каждой из них.

Для отработки коррекции кадр в общем случае должен содержать функцию коррекции G43 (G44) и величину коррекции D. Если функция коррекции по данной координате имеется в предыдущих кадрах, то в данном кадре может записываться только величина коррекции D.

Если функция коррекции в данном кадре задана в явном виде (записана непосредственно в тексте данного кадра), а величина коррекции должна быть равна величине коррекции предыдущих кадров по той же координате, то в данном кадре величина коррекции D может не записываться.

Отмена коррекций G43 (G44) производится функцией G40, или заданием D00. Функция G40 отменяет коррекцию G43 (G44) и аннулирует их задание по всем координатам.

Задание D00 отменяет коррекцию только по той координате, перед которой оно задано. Задание функций G43 (G44) при этом не аннулируется.

При отмене коррекций к перемещению, запрограммированному в кадре, добавляется дополнительное перемещение, равное по величине перемещению, введенному по коррекции, но имеющему по сравнению с ним противоположный знак.

При задании по тем же координатам функции G43 вместо G44 (и наоборот) происходит удвоение коррекции.

Пример, иллюстрирующий изложенные положения:

```
...  
N30 G43 D01 X50 Y50 PC  
N31 X50 G43 D01 Y50 PC  
N32 D01 X50 Y50 PC  
N33 D01 X50 G43 Y50 PC
```

N34 G44 X50 PC
N35 X50 D01 Y00 PC
N36 D01 X50 D02 Y50 PC
N37 D00 X50 D00 Y50 PC
N38 D02 X50 D01 Y50 PC
N39 G40 X50 Y50 PC

...

При D01=10, D02=-20.

В 31-м кадре перемещение по X = 60 дискрет, по Y = 50 дискрет. Коррекция по Y не действует, так как функция коррекции не задана

В 32-м кадре перемещение по X = 50 дискрет, по Y = 60 дискрет. Коррекция по X не действует, так как не задана ни функция, ни величина коррекции.

В 33-м кадре перемещение по X = 60 дискрет, по Y = 50 дискрет

В 34-м кадре перемещение по X = 30 дискрет, так как происходит двойное уменьшение перемещения на величину D01 за счет отмены функции G43 функцией G44.

В 35-м кадре перемещение по X = 50 дискрет, по Y = 10 дискрет (отрабатывается только величина D01).

В 36-м кадре перемещение по X = 40 дискрет, по Y = 30 дискрет. По оси Y коррекция D01 отменяется коррекцией D02.

В 37-м кадре перемещение по X = 60 дискрет, по Y = 70 дискрет, так как при отмене коррекции заданием D00 к перемещению, запрограммированному в кадре, добавилось дополнительное перемещение.

В 38-м кадре перемещение по X = 70 дискрет, по Y = 60 дискрет. Так как задание D00 в предыдущем кадре не аннулирует задание функцией G43 (G44), то происходит коррекция по X и Y.

В 39-м кадре перемещение по X = 30 дискрет, по Y = 40 дискрет. Произошла отмена коррекций и аннулирование функций G43 и G44.

4.8 Коррекция на радиус инструмента (режимы G41, G42)

Режимы G41 (G42) предназначены для коррекции радиуса инструмента и для безквидистантного программирования при обработке по контуру.

При безквидистантном программировании программируется обрабатываемый контур, а расчет траектории центра инструмента производится УЧПУ автоматически по функциям G41 (G42) и величине радиуса инструмента.

Пример определения левой и правой коррекции на радиус инструмента при обработке внешних и внутренних сторон детали показан на рис 4.8. Величина компенсации, показанная на рис 4.8, является векто-

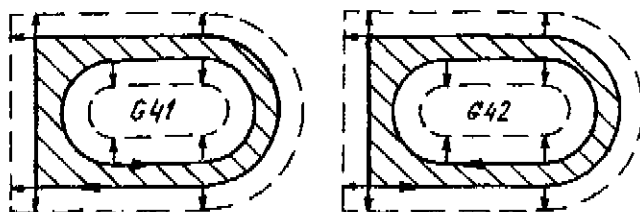


Рис. 4.8: — — запрограммированный контур; - - - траектория центра инструмента; ↑ — вектор компенсации

ром, перпендикулярным в любой точке к обрабатываемому контуру и равным по модулю радиусу инструмента. Вектор компенсации рассчитывается УЧПУ в каждом кадре и используется для автоматического построения безэскидистантного контура.

Вектор компенсации вводится функцией G41 (G42) и аннулируется функцией G40. Величина вектора компенсации вводится словом D и может иметь максимальное значение 999999 единиц дискретности. Количество вводимых величин векторов – 99 (D01...D99). Для построения вектора компенсации в кадре должна быть указана плоскость интерполяции. Координата, не находящаяся в плоскости интерполяции, не корректируется. В дальнейшем будем рассматривать построение вектора компенсации для плоскости XY (G17).

При линейной интерполяции и задании отрезка кадром вида Nxxx G01 (G00) G17 G41 (G42) Dxx X_{p1} Y_{p1} ПС, где X_{p1}, Y_{p1} – координаты конечной точки отрезка P₁, будет построен вектор компенсации в конце отрезка, перпендикулярно к нему (рис. 4.9, а). Центр инструмента переместится по прямолинейной траектории, начало которой совпадает с начальной точкой отрезка P₀, а конец – с вершиной вектора компенсации.

Если в кадре кроме координат X, Y задавать соответствующие параметры I, J, то в конце отрезка будет построен вектор, перпендикулярный к направлению I, J. Это дает возможность, задав по адресу I, J координаты конечной точки следующего кадра, построить в данном кадре вектор, перпендикулярный к направлению следующего кадра (рис. 4.9, б). Кадр при этом имеет вид:

Nxxx G00 (G01) G17 G41 (G42) Dxx X_{p1} Y_{p1} Ip₁ Jp₂ ПС, где Ip₂, Jp₂ – координаты конечной точки отрезка, заданного в следующем кадре (P₂).

Если координаты конечной точки отрезка заданы в кадре через параметры I, J, то вектор компенсации будет построен в начальной точке P₀, отрезка (рис. 4.9, в). Центр инструмента будет перемещаться от начальной точки до конца вектора компенсации. Кадр при этом имеет вид

Nxxx G00 (G01) G17 G41 (G42) Dxx Ip₁ Jp₁ ПС,
где Ip₁ Jp₁ – координаты конечной точки отрезка (P₁).

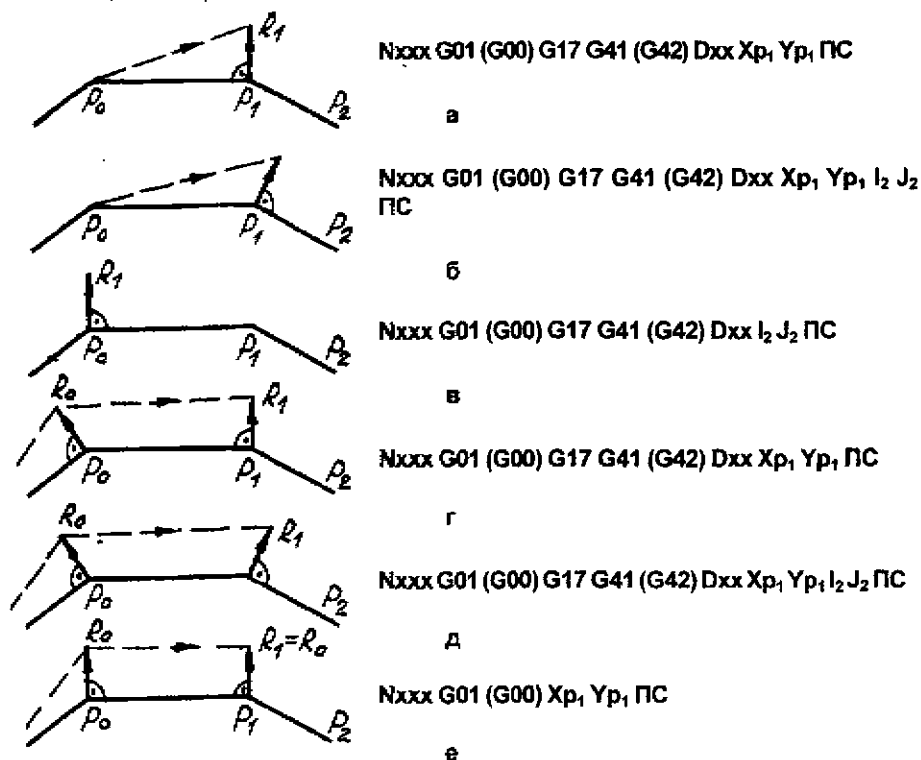
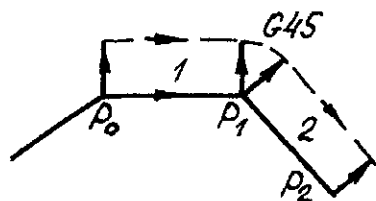


Рис. 4.9

— — запрограммированный контур; - - - - траектория центра инструмента; P₀ – начальная точка отрезка; P₁ – конечная точка отрезка; P₂ – конечная точка отрезка следующего кадра; R₀ и R₁ – старый и новый вектора компенсации.

Если в предыдущих кадрах вектор компенсации был построен, то новый вектор компенсации при задании соответствующего кадра строится по изложенным выше правилам (рис.4.9, г, д). При этом центр инструмента перемещается по траектории, начало которой совпадает с концом вектора компенсации, построенного в предыдущем кадре, а конец – с концом нового вектора компенсации, построенного в данном кадре.

Если в кадре функции G41 (G42) не заданы, а в предыдущем кадре они задавались и в начальной точке отрезка вектор компенсации построен, то новый вектор не вычисляется, а переносится в конечную точку отрезка (рис.4.9, е).

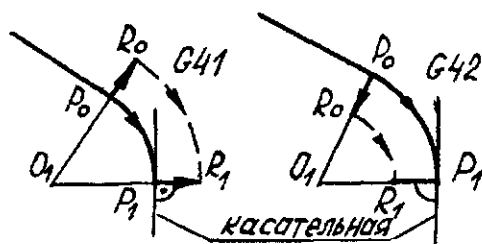


N1 G00 (G01) $X_{P1} Y_{P1}$ PC
N2 G45 $X_{P2} Y_{P2}$ PC

Рис. 4.10

Для построения плавного сопряжения в случае, когда контур обрабатываемой детали неплавный, используется функция G45, по которой вектор разворачивается по дуге до перпендикуляра к отрезку, запрограммированному в следующем кадре, в начале которого должна быть записана функция G45 (рис. 4.10)

При круговой интерполяции построение вектора аналогично построению его при линейной интерполяции. При этом функция G41 (G42) используется совместно с G02 и G03



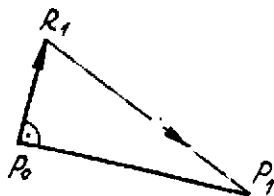
Nxxx G02 (G03) $X_{P1} Y_{P1} I_{O1} J_{O1}$ PC

Рис. 4.11. I_{O1} и J_{O1} – координаты центра дуги $O1$ относительно точки $P0$

Если в кадре функции G41(G42) не заданы, а в предыдущем кадре они задавались и в начальной точке $P0$ вектор построен, то новый вектор в конечной точке будет построен перпендикулярно к касательной, проведенной из конечной точки $P1$ (рис. 4.11).

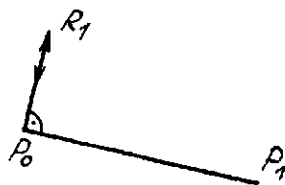
При отмене коррекции (G40) центр инструмента перемещается из конца старого вектора по прямой до конечной точки отрезка, заданного в данном кадре (рис. 4.12, а)

Если при отмене коррекции координаты конечной точки $P1$ задать через параметры I, J, то центр инструмента будет перемещаться от конца вектора компенсации до начальной точки $P0$ (рис. 4.12, б)



NXXX G40 $X_{P1} Y_{P1}$ PC

а



NXXX G40 $I_{P1} J_{P1}$ PC

б

Рис. 4.12

4.9. Выход на эквидистанту

Выход на эквидистанту осуществляется только в режиме линейной интерполяции (G00, G01) с использованием принципов построения вектора компенсации. Схемы выхода для наружного и внутреннего контура, имеющего прямолинейный участок, показаны на рис. 4.13 (а, б, в, г).

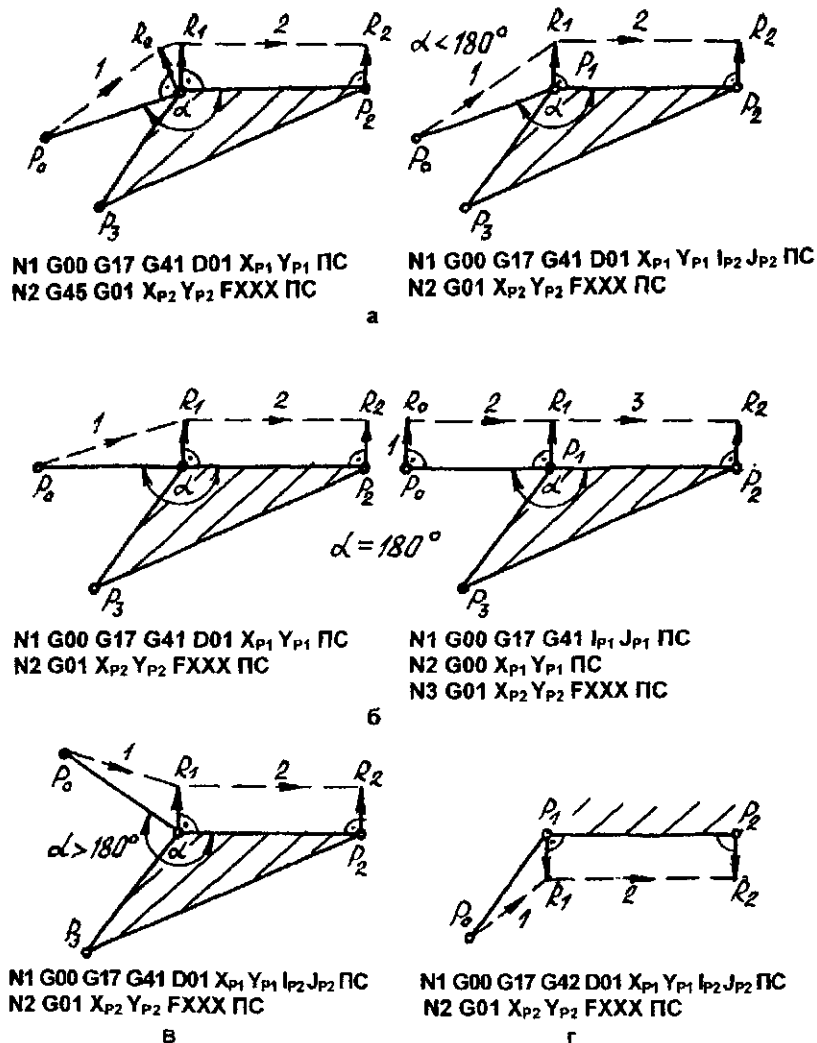
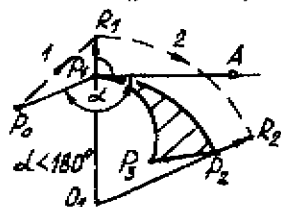


Рис. 4.13

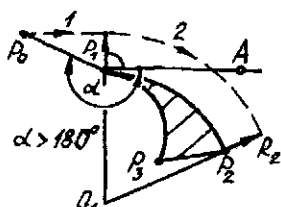
При выходе на дугу программирование осуществляется аналогич-

но выходе на прямую, являющуюся касательной к дуге, в точке выхода направление касательной должен вычислить программист и задать его через координаты I, J произвольной точки, лежащей на касательной. Если есть возможность выхода на эквидистанту в точке дуги, касательная к которой параллельна оси X или Y, то программирование упрощается, так как тогда достаточно задать произвольную координату по I или по J соответственно (рис. 4.14)



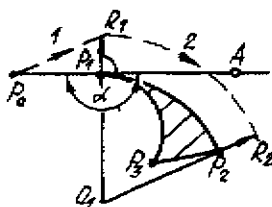
N1 G00 G17 G41 D01 X_{P1} Y_{P1} I_A J_A PC
N2 G02 X_{P2} Y_{P2} I_{O1} J_{O1} FXXX PC

а

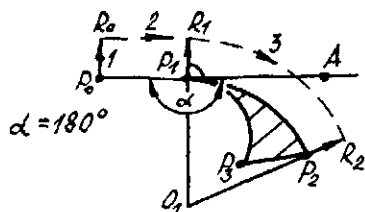


N1 G00 G17 G41 D01 X_{P1} Y_{P1} I_A J_A PC
N2 G01 X_{P2} Y_{P2} I_{O1} J_{O1} FXXX PC

б

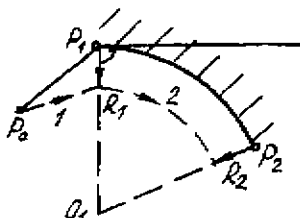


N1 G00 G17 G41 D01 X_{P1} Y_{P1} PC
N2 G02 X_{P2} Y_{P2} I_{O1} J_{O1} FXXX PC



N1 G00 G17 G41 D01 I_A J_A PC
N2 G01 X_{P1} Y_{P1} FXXX PC
N3 G02 X_{P2} Y_{P2} I_{O1} J_{O1} PC

в



N1 G00 G17 G41 D01 X_{P1} Y_{P1} I_A J_A PC
N2 G03 X_{P2} Y_{P2} I_{O1} J_{O1} FXXX PC

г

Рис. 4.14: а – в – внешний контур; г – внутренний контур; P₁A – касательная в точке P₁; A – произвольная точка касательной, I_{O1}, J_{O1} – координаты центра дуги O₁ относительно точки P₁

Для обеспечения минимального следа в точке врезания инструмента в заготовку желательно осуществлять вход на контур по касательной.

тельной При обработке наружного контура это не вызывает затруднений, так как исходную точку всегда можно взять на касательной к контуру.

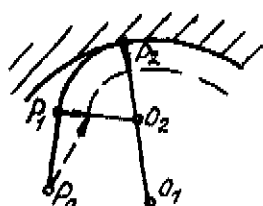
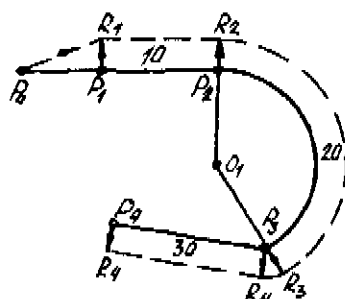


Рис. 4.15

При обработке внутреннего контура для выхода по касательной в общем случае выход осуществляется по сопряженной дуге с помощью двух участков прямолинейного $P_0 P_1$ и кругового $P_1 P_2$ (рис. 4.15).

4.10. Обход по эквидистанте

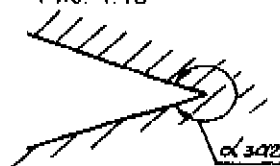
После выхода на эквидистанту в случае обработки плавного контура программирование ведется по обрабатываемому контуру. В местах неплавных сопряжений дополнительно программируется функция G45 (рис. 4.16).



...
N10 G01 X_{P2} Y_{P2} FXXXX PC
N20 G02 X_{P3} Y_{P3} I01 J01 PC
N30 G45 G01 X_{P1} Y_{P1} I0 J0 PC
N2 G03 X_{P4} Y_{P4} PC
...

Рис. 4.16

При обработке концевой фрезой внутренних контуров (α заготовки больше 180°) сопряжения всегда плавные (наименьший радиус сопряжения равен радиусу фрезы) и программирование ведется по обрабатываемому контуру. При этом в чертеже контура должны быть указаны координаты всех опорных точек P_1, P_2, P_3, P_4 (рис. 4.17). Такие участки желательно сопрягать дугой, радиус которой больше радиуса инструмента.



R_0 – радиус фрезы

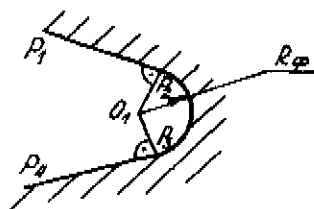


Рис. 4.17

Примеры программирования с использованием функций G41 и G42 без учета координаты Z приведены на рисунках 4.18...4.19.

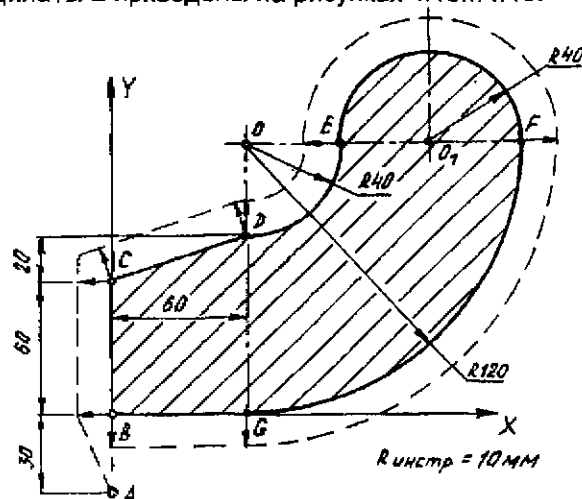


Рис. 4 18:

N9 M02 TC

- участок АВ, выход на эквидистанту
- участок ВС, фрезерование с рабочей подачей
- участок CD
- участок DE
- участок EF
- участок FG
- участок GB
- участок ВА, быстрый отход в исходную точку с аннулированием коррекции

Примечания: 1. Если коррекцию инструмента по длине G43 (G44) и по радиусу G41 (G42) требуется использовать в одной программе, то рекомендуется при программировании придерживаться следующих правил:

величину коррекции D для G43 (G44) и G41 (G42) задавать под разными номерами, даже если их численные значения совпадают, не задавать одновременно (в одном кадре) перемещения в плоскости XY и по координате Z,

отмену коррекции по координате Z осуществлять заданием D00;

отмена коррекции по радиусу возможна только заданием G40, при этом происходит отмена коррекции и по Z. Поэтому при отмене коррекции по радиусу для сохранения коррекции по Z ее необходимо запрограммировать вновь в ближайшем кадре, содержащем перемещение по Z.

2. Запрещается использование функций G41 – G44 для коррекции расстояния от начальной точки программы до контура заготовки.

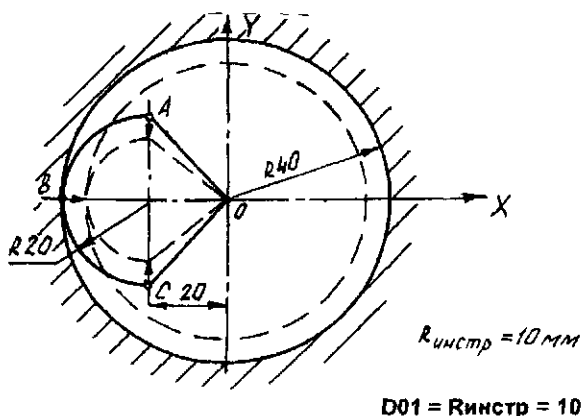


Рис. 4.19:

ПС

%2 ПС

N1 G90 G17 G00 G41 D01 X-2000 Y2000 I-1000 ПС – участок ОА, выход на эквидистанту на быстром ходу, I-1000 задает направление касательной к сопряженной дуге,

N2 G03 X-4000 Y0 I0 J-2000 F150 ПС – участок АВ, фрезерование по сопряженной дуге с рабочей подачей;

N3 X-4000 Y0 I4000 J0 ПС – фрезерование контура;

N4 X-2000 Y-2000 I0 J2000 F500 ПС – участок ВС, отвод от контура по сопряженной дуге;

N5 G00 G40 X0 Y0 ПС – участок СО, быстрый отвод с аннулированием коррекции.

N6 M02 ПС

4.11. Выдержка времени

Функция выдержки времени G04 задается вместе с перемещением по любой из координат и скоростью перемещения отдельным кадром. При этом заданное перемещение исполнительными органами станка не обрабатывается. Время выдержки определяется формулой:

$$T=X/F,$$

где X – заданная величина перемещения, мм;

F – скорость перемещения, мм/мин.

T – выдержка времени, мин

Например, при задании кадра N105 G04 X1000 F60 ПС в результате отработки программы произойдет выдержка времени 10 секунд.

4.12. Задание режимов резания и технологических команд

Подача задается адресным символом F, за которым непосредственно следует численное значение подачи в мм/мин. Функция F действует до отмены

В кадрах, в которых запрограммированная величина подачи превышает 400 мм/мин, необходимо в конце кадра запрограммировать торможение (G09)

Ускоренный ход в режиме позиционирования на быстром ходу (G00) составляет 4800 мм/мин и может программироваться одновременно не более, чем по двум координатам

Направление вращения и останов шпинделя задаются вспомогательными функциями M03, M04, M05.

Частота вращения шпинделя задается с помощью адресного слова S и численного значения частоты вращения в мин⁻¹, следующего непосредственно после адресного слова. Функция S действует до отмены.

Поскольку алгоритм смены инструмента содержит команду "останов шпинделя", после отработки кадра, содержащего функцию M06, необходимо задать направление и частоту вращения шпинделя

Поиск инструмента задается адресным словом T, непосредственно за которым следует номер инструмента. Поиск инструмента может быть совмещен с обработкой геометрической информации.

Смена инструмента программируется с помощью вспомогательной функции M06.

Смена инструмента производится только при нахождении шпиндельной бабки в исходном положении.

Зажим шпиндельной бабки используется при тяжелых режимах фрезерования, программируется вспомогательной функцией M10. Отжим программируется вспомогательной функцией M11.

Зажим-разжим шпиндельной бабки можно использовать не чаще 1

цикла в 5 минут.

При наличии команды M10 перемещение по оси Z запрещено.

4 13. Подпрограммы и формальные параметры

В виде подпрограмм оформляются многократно повторяющиеся фрагменты программ, которые отличаются друг от друга только численными значениями.

В общем случае программа состоит из главной программы, которая во время выполнения может вызывать различные подпрограммы первого уровня, каждая из которых может, в свою очередь, вызывать подпрограммы второго уровня. При этом в УЧПУ 2C85-63 обращение подпрограммы второго уровня к подпрограммам первого уровня не происходит.

После вызова подпрограмма выполняется и происходит передача управления программе, вызвавшей данную подпрограмму. Выполнение вызывающей программы продолжается с кадра, расположенного сразу же вслед за кадром, содержащим вызов подпрограммы

Ввод подпрограммы осуществляется в зону 3 (зона технологических подпрограмм) Подпрограммы вводят в порядке возрастания их номеров.

Подпрограмма начинается символом ПС, за которым следует адресное слово L, далее ... номер подпрограммы. Номер подпрограммы задается целыми числами от 00 до 99. После номера следует последовательность кадров, именуемых телом подпрограммы. Оканчивается подпрограмма символом M17, который рекомендуется программировать отдельным кадром

Путем передачи в подпрограмму численных значений, ее можно использовать для различных целей. Численные значения передаются в подпрограмму с помощью формальных параметров. Формальные параметры могут следовать за любыми адресами, кроме N, G, M. В теле подпрограммы формальные параметры задаются с помощью адресного слова R, за которым следует номер формального параметра, принимающий численное значение от 100 до 199

Задавать численные значения формальных параметров можно двумя способами:

1. Вводом в зону 4 (зона коррекций и формальных параметров) перед началом отработки программы.

2. Непосредственным заданием в программе. В этом случае в кадре записывается адресный символ R с соответствующим номером, знак «+» или «-» и численное значение параметров в соответствующих единицах, например, при задании перемещения в единицах дискретности.

Формальные параметры посредством ввода в зону 4 используются также для изменения численных значений в главной программе.

Формальный параметр со своим номером записывается непосредственно за информационным словом, численное значение которого он

изменяет. При этом численное значение становится равным алгебраической сумме записанного в кадре числа и текущего значения формального параметра.

Например, если $R120+1000$ записано в зоне 4, то при отработке кадра $N101 \ X - 2000 - R102$ ПС значение X станет равным $- 2000 - (+1000) = - 3000$.

Текущее значение формального параметра равняется последнему его заданию на момент использования.

Например, если перед отработкой новой программы в зону 4 задано значение $R108$, равное 400, а непосредственно в программе записано значение $R108-500$, то при отработке программы в расчет принимается $R108-500$. Поэтому перед повторным запуском программы необходимо в зоне 4 восстановить значения тех формальных параметров, которые изменялись в процессе отработки программы.

Рекомендуется пользоваться явным заданием формальных параметров непосредственно в программе.

При обращении к подпрограмме в вызывающей программе задается кадр, содержащий информационное слово $Lxxxx$. Первые две цифры после символа L – номер подпрограммы, две вторые – количество повторений. Информационное слово $Lxxxx$ может присутствовать в любом месте кадра. При этом в начале обрабатывается остальная информация кадра, после чего происходит обращение к подпрограмме. Вызов подпрограммы рекомендуется программировать отдельным кадром, задавая в нем значения формальных параметров.

Рассмотрим пример программы с подпрограммой.

Основная программа.

% 2 ПС

$N1L0301 \ R100 + 4000 \ R101 + 2000 \ R102 + 2000 \ F250$ ПС

$N2 \ M02$

Подпрограмма.

$L03$ ПС

$N1 \ G01 \ G91 \ G41 \ D01 \ X - R101 \ Y + R102 \ I - 1000$ ПС

$N2 \ G03 \ X - R101 \ Y - R102 \ I0 \ J - R102$ ПС

$N3 \ X0 \ Y0 \ I + R100 \ J0$ ПС

$N4 \ X + R101 \ Y - R102 \ I + R102 \ J0$ ПС

$N5 \ G00 \ G40 \ X + R101 \ Y + R102$ ПС

$N6 \ M17$ ПС

Данная программа соответствует рис. 4.19.

4.14. Постоянные циклы

Постоянные циклы предназначены для записи часто повторяющихся процессов обработки: сверления, зенкерования, развертывания, растачивания отверстий, снятия фасок, нарезания резьбы и т. д.

В УЧПУ 2С85–63 постоянные циклы оформляются в виде подпрограмм с адресами L81 – L96.

Так как постоянные циклы являются подпрограммами, то правила работы с ними аналогичны правилам работы с подпрограммами. До начала работы постоянные циклы должны быть введены в зону 3. При вызове подпрограммы постоянного цикла кроме значений формальных параметров необходимо задать скорость рабочей подачи.

При использовании постоянного цикла L84 (нарезание резьбы метчиком) необходимо учитывать, что подача должна составлять 80% расчетной при шаге резьбы меньше 1 мм и 90% при шаге более 1 мм, при нарезании резьбы в глухих отверстиях, глубину нарезаемой резьбы необходимо программировать на 2–3 шага меньше расчетной, так как при реверсировании или остановке шпиндель делает еще 2–3 оборота, что приводит к увеличению глубины нарезаемой резьбы на 2–3 шага.

4.15. Пример составления управляющей программы

Перед составлением управляющей программы назовем последовательность обработки и выберем необходимый инструмент для детали, изображенной на рис. 4.20.

Последовательность обработки:

1. Сверление отверстия $\varnothing 24$ для входа концевой фрезы при обработке внутреннего контура.
2. Фрезерование наружного контура.
3. Фрезерование внутреннего контура.

Используемый инструмент

T 01 Сверло $\varnothing 24$ ГОСТ 10903–77.

T 02 Фреза концевая $\varnothing 12$ ГОСТ 17026–71, Z=4.

Значения координат опорных точек контура, центров круговых участков контура и отверстий приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Номер точки	Координаты опорных точек контура	
	Координаты, мм	
	X	Y
1	20,00	20,00
2	20,00	80,00
3	80,00	95,00
4	80,00	75,00
5	100,00	75,00
6	115,00	75,00
7	115,00	60,00

Окончание табл. 4.6

Номер точки	Координаты, мм	
	X	Y
8	115,00	40,00
9	115,00	20,00
10	75,00	50,00
11	75,00	70,00
12	41,20	70,00
13	41,20	64,00
14	36,96	59,76
15	60,88	35,86

Координаты опорных точек определены относительно начала рабочей системы координат (G54)

D01 – коррекция длины сверла \varnothing 24 мм по координате Z.

D02 – коррекция длины концевой фрезы по координате Z.

D03=600 – коррекция радиуса концевой фрезы.

Текст программы

%1 ПС

N1 T01 M06 ПС

N2 G90 G54 G00 X7500 Y5000 ПС

N3 M03 S250 G44 D01 Z1200 ПС

мм;

N4 L8101 R101+2900 F50 ПС

N5 G53 G40 G00 Z0 ПС

N6 X0 Y0 T02 ПС

N7 M06 ПС

N8 M03 S500 ПС

N9 G44 D02 Z200 ПС

N10 G01 G91 Z-200 F100 ПС

N11 G17 G41 D03 X2000 Y2000 J800 ПС

N12 Y6000 ПС

N13 G45 X6000 Y1500 G09 ПС

N14 G45 G02 X2000 Y-2000 I0 J-2000 ПС

N15 G03 X1500 Y-1500 I1500 J0 ПС

N16 G02 X0 Y-4000 I0 J-2000 ПС

N17 G01 X-9500 ПС

N18 G00 G90 G53 Z0 ПС

N19 G40 X7500 Y5000 ПС

N20 G44 D02 Z-1100 ПС

N21 G01 G91 G41 D03 X1500 Y500 J100 F60 ПС

Сверление отверстия \varnothing 24

величина врезания – 2 мм,

величина перебега – 8 мм.

Фрезерование наружного

контура:

выход на эквидистанту,

участок 1–2,

участок 2–3,

участок 3–5,

участок 5–7,

участок 7–9,

участок 9–11.

Фрезерование внутреннего

контура:

выход на эквидистанту,

N22 G03 X-1500 Y1500 I-1500 J0	
N23 G01 X-3380 PC	участок 11-12,
N24 G03 X-424 Y-1024 I0 J-600 PC	участок 12-14,
N25 G01 X2390 Y-2390 PC	участок 14-15,
N26 G03 X1414 Y3414 I1414 J1414 PC	участок 15-11,
N27 X-1500 Y-1500 I-1500 J0 F500 PC	отвод от контура
N28 G00 G40 X1500 Y-500 PC	
N29 G90 G53 Z0 PC	
N30 G53 X0 Y0 PC	
N31 M02 PC	

Текст подпрограммы L81:

N1 G01 Z-R101 PC
 N2 G00 Z+R101 PC
 N3 M17 PC

5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКАХ

5.1. Описание многоцелевого станка IP500ГМФ4

Станок (рис. 5.1) предназначен для обработки корпусных деталей средних размеров в условиях серийного производства. Мощный шпиндель и шпиндельная бабка станка размещены в проеме стойки, где бабка перемещается по направляющим, охватывающим ее с двух боковых сторон. Такая компоновка обеспечивает высокую жесткость шпиндельного узла и точность его линейных перемещений

Станок оснащен поворотным столом, позволяющим изменять угловое положение заготовки по отношению к шпинделю и обрабатывать ее с четырех сторон при одном установе. Позиционно-контурная система числового программного управления позволяет выполнить разнообразную обработку плоских и фасонных поверхностей и отверстий, включая контурное фрезерование с линейной и круговой интерполяцией. Плоскости можно обрабатывать торцевыми фрезами диаметром до 160 мм или концевыми фрезами. Возможно сверление отверстий в стали средней твердости при диаметре до 40 мм, растачивание до 160 мм, нарезание резьб до M20 метчиками, закрепленными в специальных патронах.

Станок оснащен инструментальным магазином, в гнездах которого

размещаются режущие инструменты, закрепленные вне станка в унифицированных инструментальных оправках. В станке принята система кодирования гнезд магазина (номера имеются над каждым гнездом). Для передачи инструментов из магазина в шпиндель и обратно служит двухзахватный автооператор.

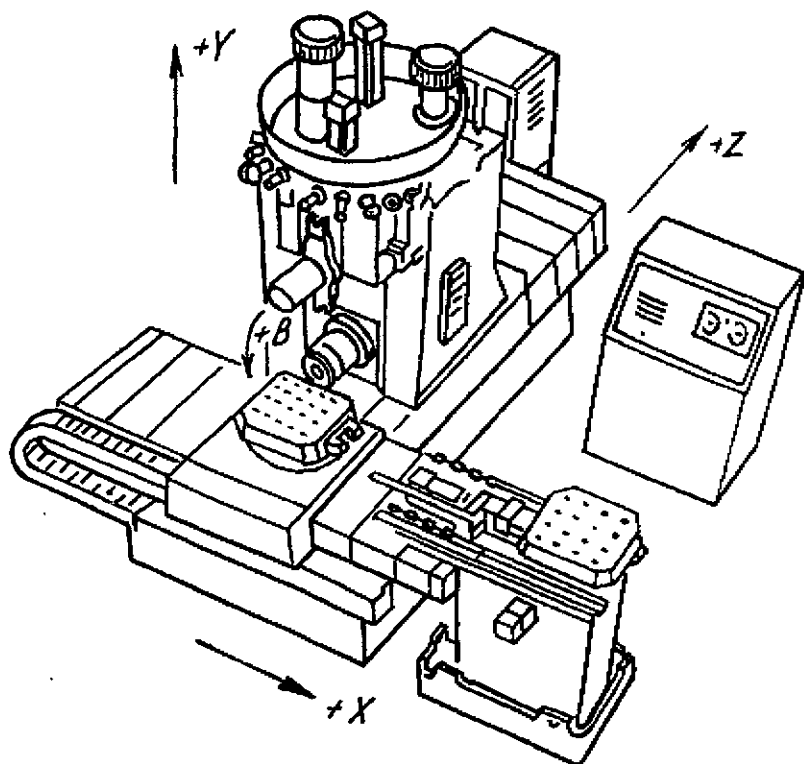


Рис. 5.1

Для сокращения вспомогательного времени на установку и снятие заготовок имеется двухпозиционный поворотный стол. При этом заготовки закрепляются в приспособлениях -спутниках.

Станок оснащен УЧПУ высокого класса Fanuc - 6.

Техническая характеристика станка:

1. Размеры рабочей поверхности стола, мм

500x500

2. Наибольшие перемещения подвижных узлов стола (по оси X), мм	800
шпиндельной бабки (по оси Y), мм	630
стойки (по оси Z), мм	500
3. Количество позиций поворота стола, шт	72 (через 5°)
4. Частота вращения стола, мин ⁻¹	6
5. Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	700
6. Конус шпинделя (по ГОСТ 15945-82)	50
7. Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	21,2...3000
8. Мощность привода главного движения, кВт	14
9. Пределы подач, мм/мин	1...2000
10. Ускоренная подача (установочные перемещения), мм/мин	до 10000
11. Вместимость инструментального магазина, шт	30
12. Время смены инструмента, с	6
13. Емкость накопителя столов-спутников, шт	2
14. Время смены столов-спутников, с	55
15. Габаритные размеры станка, мм	
длина	4450
ширина	4650
высота	3205
16. Масса станка, кг	11370
17. Система ЧПУ	Fanuc-6
18. Число одновременно управляемых координат	3
19. Точность позиционирования по осям X, Y, Z, мм	0,002

5.2. Программа

Номер программы обозначается символом O или : и может принимать значения от 1 до 9999. При отсутствии номера программы номер первого кадра N... будет заменять номер программы.

Программа заканчивается символом "конец программы" - M02 или символом "физический конец ленты" - M30.

При составлении программ используется адресный способ записи информационных слов (команд). Значения символов адресов управляющих символов приведены в табл. 5.1 и 5.2.

Номер кадра начинается символом N, за которым следует число от 1 до 9999. Номер кадра не влияет на работу программы и служит для ориентации составителя и пользователя программы.

При составлении программы в кадре следует записывать ту геометрическую, технологическую и вспомогательную информацию, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру.

Максимальное число символов в одном кадре не ограничено.

Таблица 5.1

Значения символов адресов

Символ адреса	Значение символа
B	Позиционирование стола
D	Номер корректора на радиус инструмента
F	Рабочая подача
G	Подготовительная функция
H	Номер корректора на длину инструмента
I	Параметр интерполяции относительно оси X
J	Параметр интерполяции относительно оси Y
K	Параметр интерполяции относительно оси Z
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Номер программы
P, Q	Параметры постоянного цикла
R	Размерное слово, параметр постоянного цикла
S	Скорость вращения шпинделя
T	Номер инструмента
X	Перемещение, параллельное оси X
Y	Перемещение, параллельное оси Y
Z	Перемещение, параллельное оси Z

Таблица 5.2

Значения управляющих символов и специальных знаков

Символ	Значение
%	Начало программы, остановка перфоленты при прямой и обратной перемотке
/	Пропуск кадра
(Начало комментария, следующая за ним информация не считывается УЧПУ
)	Конец комментария, следующая за ним информация должна считываться и обрабатываться УЧПУ
+	Алгебраический знак, задание не обязательно
-	Алгебраический знак, задание обязательно

Элементом, составляющим кадр служит слово. Слово состоит из адреса и последующего числового значения.

Формат кадра имеет вид:

N04 G02 XL+053 YL+053 ZL+053 | RD053 | F05 | D02 | S04 T02 B03 M02
| ID053 JD053 KD053 | | H02 |

В пределах одного кадра программы не должны использоваться слова с одинаковыми адресами, кроме слов G,M. Если в кадре указаны два или более слов с одинаковыми адресами, то, как правило, эффективными являются слова последнего кодирования.

Численные значения для адресов X,Y,Z,B,I,J,K,R,Q,F можно вводить с десятичной запятой. Допускается в пределах одного кадра совместное задание числовых значений с десятичной запятой и без запятой. Численные значения без десятичной запятой задаются с дискретностью 0,001.

Диапазоны задания численных значений:

1. Номер программы O: 1...9999.
2. Номер кадра N: 1...9999.
3. Размерные слова X,Y,Z,I,J,K,R,Q: 99999,999.

Значения подготовительных и вспомогательных функций приведены в табл. 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3

Значения подготовительных функций

Номер группы	Код	Функция и ее содержание
1	G0	Позиционирование (ускоренное перемещение)
1	G1	Линейная интерполяция (перемещение с рабочей подачей по прямой)
1	G2	Круговая интерполяция по часовой стрелке (перемещение с рабочей подачей по дуге окружности по часовой стрелке)
1	G3	Круговая интерполяция против часовой стрелки (перемещение с рабочей подачей по дуге окружности против часовой стрелки)
2	G4*	Пауза (выдержка времени)
3	G9*	Проверка точного останова
4	G17	Задание плоскости обработки XY
4	G18	Задание плоскости обработки XZ
4	G19	Задание плоскости обработки YZ
5	G40	Отмена коррекции на радиус инструмента
5	G41	Коррекция на радиус инструмента слева от детали. Используется, когда инструмент находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от режущего инструмента в направлении его перемещения относительно детали
5	G42	Коррекция на радиус инструмента справа от детали
6	G43	Коррекция длины инструмента положительная

Номер группы	Код	Функция и ее содержание
6	G44	Коррекция длины инструмента отрицательная
6	G49	Отмена коррекции на длину инструмента
7	G53*	Отмена линейного сдвига (используется при работе в станочной системе координат)
7	G54-	Выбор координатной системы заготовки 1...6
	G59	
8	G76	Постоянный цикл точного растачивания
8	G81	Постоянный цикл сверления
8	G82	Постоянный цикл зенкования
8	G83	Постоянный цикл шагового сверления с отскакиванием (глубокого сверления)
8	G84	Постоянный цикл нарезания резьбы метчиком
8	G89	Постоянный цикл расточки (развертывания)
9	G90	Задание перемещений в абсолютах (отсчет перемещений производится от нулевой точки данной системы координат)
9	G91	Задание перемещений в приращениях (отсчет перемещений производится относительно предыдущей запрограммированной точки)
10	G98	Возврат к первоначальному уровню
10	G99	Возврат к уровню точки R

Примечания:

1. * Функция действует только в том кадре, в котором задана. Остальные функции действуют до отмены.

2. В кадре можно указывать только одну функцию из каждой группы. Если в кадре указано несколько функций одной группы, то эффективной является последняя заданная. Однако функции G90, G91 становятся эффективными последовательно. Например, при задании G90 X50.0 G91 Y30. перемещение по оси X задано в абсолютах, а по оси Y – в приращениях.

Таблица 5.4

Значения вспомогательных функций

Код	Функция и ее содержание
M3	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M4	Вращение шпинделя против часовой стрелки
M5	Останов шпинделя - производится останов шпинделя и включение охлаждения
M6 *	Смена инструмента

Код	Функция и ее содержание
M6 *	Смена инструмента
M8	Включение охлаждения
M9	Выключение охлаждения
M12 *	Подготовка инструмента
M18 *	Возврат инструмента в магазин
M30 *	Конец программы

Примечание. * Функция действует только в том кадре, в котором записана. Остальные функции действуют до отмены.

5.3. Система координат станка

Система координат станка является главной расчетной системой, в которой определяются предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов. Точка, принятая за начало системы координат станка, называется нулевой точкой. Эта точка определена относительно конструктивных элементов станка и фиксируется датчиками отсчета станка.

Нулевая точка станка типа IP500ПМФ4 соответствует по оси X – позиции смены столов спутников, по оси Y – позиции смены инструмента, по оси Z – крайнему заднему положению колонны.

Относительно нулевой точки станка задаются в управляющей программе (УП) абсолютные размеры перемещений рабочих органов станка, если начало отсчета перемещений не смещено с помощью "плавающего нуля". "Плавающий ноль" – это свойство УЧПУ помещать начало отсчета перемещений рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки станка. Отсчет от нуля станка производится заданием команды G53.

Отсчет координат при задании перемещений в кадре может быть абсолютным (в абсолютных значениях) или относительным (в приращениях)

При задании перемещений в абсолютных значениях (при задании функции G90) размеры задаются в одной из систем координат: станочной (G53) или в одной из шести рабочих систем координат (G54...G59).

Начало рабочих систем координат (плавающий ноль) задается относительно станочной системы координат с помощью констант смещений, вводимых в память УЧПУ. Для определения координат плавающего нуля совмещают ось шпинделя с заданной точкой, а по дисплею определяют расстояние от этой точки до нуля станочной системы координат. Если совместить ось шпинделя с началом рабочей системы координат не представляется возможным, то ее совмещают с любой поверхностью приспособления или стола, координаты которой относительно плаваю-

щего нуля известны.

Наличие нескольких рабочих систем координат позволяет при обработке детали с нескольких сторон или при обработке нескольких деталей по одной программе исключить перерасчет координат и избежать влияния погрешностей изготовления приспособлений, когда расположение детали на столе станка или деталей относительно друг друга может отклоняться от расчетного.

Новую рабочую систему координат целесообразно назначать для каждого нового положения детали при обработке ее с нескольких сторон с использованием поворотного стола (при изменении углового положения детали относительно шпинделя станка). Если деталь обрабатывается с одной стороны и обрабатываемые поверхности скоординированы относительно разных конструкторских баз, то задание нескольких рабочих систем координат, связанных с конструкторскими базами детали, упрощает процесс программирования.

При задании перемещений в приращениях (G91) размеры задаются в системе координат, начало которой помещено в начальную точку текущего кадра.

5.4. Линейная интерполяция

При линейной интерполяции вместе с функцией G1 (G0) задаются координаты конечной точки прямолинейного участка в абсолютных или относительных размерах (с десятичной запятой или без нее).

Задание перемещений O-D-E-F-D (рис. 4.4):

1. В абсолютных размерах с десятичной запятой с рабочей подачей $S_m=100$ мм/мин

```
N100 G90 G1 X18. Y23 F100  
N110 X63.5 Y40.  
N120 X42.3 Y10.  
N130 X18. Y23.
```

2. В абсолютных размерах без десятичной запятой с ускоренным перемещением:

```
N100 G90 C0 X18000 Y23000  
N110 X63500 Y40000  
N120 X42300 Y10000  
N130 X18000 Y23000
```

3. В относительных размерах с десятичной запятой с рабочей подачей $S_m=150$ мм/мин:

```
N100 G91 G1 X18. Y23.  
N110 X45 5 Y17.
```

N120 X-21.2 Y-30

N130 X-24.3 Y13.

5.5. Круговая интерполяция

При задании круговой интерполяции кадр в общем виде выглядит следующим образом:

R____
{G90(G91)}{G17(G18,G19)}{G2(G3)}X__Y__(Z__) {I____J____(K____)} F____

Задается вид перемещений (G90 или G91), плоскость обработки (G17,G18 или G19), функция круговой интерполяции G2 или G3, координаты конечной точки дуги окружности X,Y,(Z) в абсолютных или относительных величинах, координаты центра окружности относительно начальной точки дуги, которые обозначаются через параметры интерполяции I и J при G17 (параметры I и K при G18 и параметры J и K при G19), или радиус дуги окружности R.

Размещение плоскостей обработки в станочном пространстве показано на рис 4.3 В скобках указаны соответствующие параметры интерполяции. Задание плоскостей обработки требуется при круговой интерполяции и работе с коррекцией на радиус инструмента

При включении станка автоматически устанавливаются функции G90 и G17, поэтому в программе они обычно опускаются.

Направление обхода дуги по или против часовой стрелки определяется с положительной стороны третьей оси

При программировании дуги окружности с указанием радиуса дуги необходимо учитывать, что при программировании дуги окружности меньше 180° указывают значение R со знаком плюс, при программировании дуги окружности больше 180° указывают значение R со знаком минус

Если в одном кадре центр окружности задается с использованием I,J,(K) и R, то I,J,(K) игнорируются

Примеры программирования круговой интерполяции приведены на рис. 5.2

При задании полной окружности координаты начальной и конечной точек дуги окружности совпадают, поэтому задание центра окружности радиусом невозможно. В кадре указываются параметры интерполяции I, J, (K), определяющие положение центра окружности относительно начальной точки (рис 5.3).

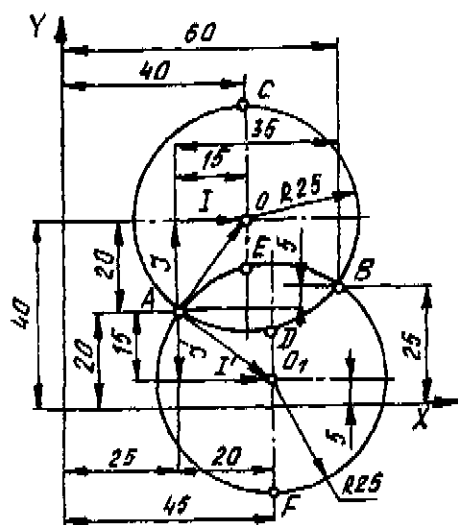


Рис. 5.2: А – начальная точка дуги;
В – конечная точка дуги

В абсолютных размерах:

дуга ADB < 180°

G90 G17 G3 X60. Y25. R25

или

G90 G17 G3 X60. Y25. I15. J20.

дуга ACB > 180°

G90 G17 G2 X60. Y25. R-25.

или

G90 G17 G2 X60. Y25. I20. J20.

дуга AEB < 180°

G90 G17 G2 X60. Y25. R25.

или

G90 G17 G2 X60. Y25. I20. J-15.

дуга AFB > 180°

G90 G17 G3 X60. Y25. R-25.

или

G90 G17 G3 X60. Y25. I25. J-15.

В относительных размерах:

дуга ADB < 180°

G91 G17 G3 X35. Y5. R25.

дуга ACB > 180°

G91 G17 G2 X35. Y5. I15. J20.

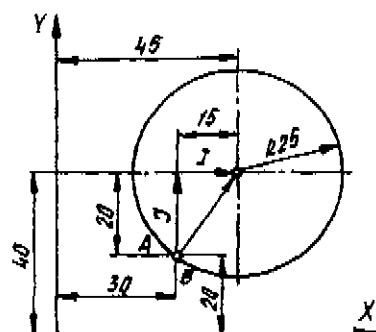


Рис. 5.3: А – начальная точка обхода;
В – конечная точка обхода

В абсолютных размерах:

по часовой стрелке

G90 G17 G2 X30. Y20. I15. J20,

против часовой стрелки

G90 G17 G3 X30. Y20. I15. J20.

В относительных размерах:

по часовой стрелке

G91 G17 G2 X0. Y0. I15. J20,

против часовой стрелки

G91 G17 G3 X0. Y0. I15. J20.

5.6. Коррекция на длину инструмента (G43, G44)

Функции G43 (G44) предназначены для коррекции длины инструмента с целью компенсации разницы между фактическим и программируемым размерами инструмента (в основном по координате Z).

Коррекция на длину инструмента задается в виде следующего кадра:

{G43(G44)} Z___ H___ или {G43(G44)} H___.

Адрес H определяет номер корректора на длину инструмента, в котором задана требуемая величина коррекции. Номер корректора может изменяться от H1 до H32.

При использовании функции G43 перемещение, заданное по координате, алгебраически складывается с перемещением, заданным по коррекции. При использовании функции G44 перемещение, заданное по коррекции, алгебраически вычитается из перемещения, заданного по координате. Если по координате задано нулевое перемещение, то будет отрабатываться только величина коррекции.

При замене одного номера корректора на другой старая величина коррекции заменяется новой.

Коррекция на длину инструмента аннулируется заданием номера корректора H0 или функции G49. Задание H0 отменяет коррекцию по заданной координате, но не отменяет действие функции G43, (G44)

5.7. Коррекция на радиус инструмента (G41, G42)

Функции G41 (G42) предназначены для коррекции радиуса инструмента и для безэквилидистантного программирования при обработке по контуру.

При безэквилидистантном программировании программируется обрабатываемый контур, а расчет траектории центра инструмента (эквилидистанты) производится УЧПУ автоматически по функциям G41 (G42) и величине радиуса инструмента.

При безэквилидистантном программировании обработки контура необходимо:

1. Выйти на вектор компенсации (на эквилидистанту).
2. Осуществить обход контура.
3. Аннулировать коррекцию на радиус инструмента.

Пример назначения левой и правой коррекции на радиус инструмента при обработке внешних и внутренних контуров показан на рис. 4.8. Величина компенсации, является вектором, перпендикулярным в любой точке к обрабатываемому контуру и равным по модулю действительной величине радиуса инструмента. Вектор компенсации рассчитывается УЧПУ в каждом кадре и используется для автоматического построения безэквилидистантного контура.

Вектор компенсации вводится функцией G41 (G42). Выход на вектор компенсации осуществляется только по прямой. Задание коррекции на радиус инструмента осуществляется кадром вида:

{G17,(G18),(G19)} {G1,(G0)} {G41,(G42)} X___ Y___ D___ (F___).

Адрес D определяет номер корректора на радиус инструмента, в котором задана величина коррекции. Вектор компенсации строится на первом заданном перемещении. Вектор компенсации строится перпендикулярно к перемещению, заданному в последующем кадре (считывается сразу два кадра). Пока коррекция на радиус инструмента не отменена, в каждом последующем кадре строится вектор компенсации по изложенному выше правилу. Разворот вектора компенсации при обходе контура происходит автоматически

Аннулирование вектора компенсации производится заданием номера корректора D0 или функции G40. Аннулирование вектора компенсации осуществляется только по прямой. Задание D0 отменяет коррекцию на радиус инструмента, но не отменяет действие функции G41, (G42).

Пример построения вектора компенсации и безэквилибристического программирования:

1. При обработке наружного контура (рис. 4.18):

N10 G90 G17 G0 G41 D1 X0. Y0.	– участок AB, выход на эквидистанту;
N20 G1 Y60. F100	– участок BC, фрезерование с рабочей подачей;
N30 X60. Y80.	– участок CD;
N40 G3 X100. Y120. R40.	– участок DE
N50 G2 X180/ Y120. I40 J0.	– участок EF
N60 X60. Y0. R120.	– участок FG
N70 G1 X0.	– участок GB
N80 G40 G0 Y–30.	– участок BA, быстрый отвод в исходную точку с аннулированием коррекции.

2. При обработке внутреннего контура (рис. 4.19):

N10 G90 G17 G0 G41 D1 X–20. Y20.	– участок OA, выход на эквидистанту на быстром ходу,
N20 G3 X–40. Y0. R20. F100	– участок AB, фрезерование по сопряженной дуге с рабочей подачей;
N30 X–40. Y0. I40. J0.	фрезерование контура;
N40 X–20. Y–20. R20.	участок BC;
N50 G40 X0. Y0.	участок CO, быстрый отвод с аннулированием коррекции.

5.8. Позиционирование стола

Стол станка имеет 72 позиции поворота (через 5 градусов). Положительное направление вращения совпадает с движением по часовой

стрелке.

Поворот стола программируется заданием адреса В и численным значением угла поворота с дискретностью 5°. Например, В18 определяет поворот стола на 90°, В36 – на 180° и т. д.

5.9 Выдержка времени

Функция выдержки времени G4 задается вместе с перемещением по любой координате или параметром Р. Численное значение, стоящее после адреса координаты, задаваемое с десятичной точкой, определяет выдержку времени в секундах; численное значение, стоящее после параметра Р, задаваемое без десятичной запятой, определяет выдержку времени в миллисекундах.

В течение заданного времени происходит прерывание движения подачи инструмента.

Время выдержки 3,5 с задается одним из следующих кадров: G4 X3.5 или G4 P3500.

5.10. Задание режимов резания

Подача задается адресным словом F, за которым непосредственно следует численное значение подачи в мм/мин. Функция F действует до отмены.

В кадрах, где производится обход острых углов обрабатываемого контура, желательно в конце кадра программировать функцию G9 – проверка точного останова. Функция действует только в том кадре, в котором она задана. При задании функции подача в конечной точке кадра замедляется до нуля, распознается состояние "Достигнутое положение" и затем обрабатывается следующий кадр.

Направление вращения и останов шпинделя задаются вспомогательными функциями M3, M4 и M5.

Частота вращения шпинделя задается адресом S и численного значения частоты вращения в мин⁻¹, следующего непосредственно за адресом.

Во время смены инструмента происходит останов шпинделя, поэтому после смены инструмента необходимо снова задать направление и частоту вращения шпинделя.

5.11. Смена инструмента

Поиск инструмента задается адресным словом T, непосредственно за которым следует номер инструмента. Номер инструмента на станке ИР500ПМФ4 определяется номером гнезда инструментального магазина, в котором он установлен.

Для установки инструмента необходимо задать номер устанавли-

ваемого инструмента (Т), функцию подготовки инструмента (М12), функцию смены инструмента (М6).

Для возврата инструмента в магазин необходимо задать функцию смены инструмента (М6), номер инструмента, возвращаемого в магазин (Т), функцию возврата инструмента в магазин (М18).

Например, установка инструмента Т1 программируется следующей последовательностью кадров:

N 200 T1 M12

N 210 M6

Возврат инструмента Т3 в магазин:

N 200 M6

N 210 T3 M18

Замена инструмента Т6 на Т4:

N 200 T4 M12

N 210 M6

N 220 T6 M18

....

5.12. Постоянные циклы

Постоянные циклы предназначены для записи часто повторяющихся процессов обработки: сверления, зенкования, развертывания, растачивания отверстий, снятия фасок, нарезания резьб и т. д.

В общем случае кадр постоянного цикла задается в виде.

G76

G90 G98 G81

G91 G99 G82 X__Y__Z__R__Q__P__F__,

G83

G84

G89

где G76 – цикл точного растачивания; G81 – цикл сверления; G82 – цикл зенкования; G83 – цикл глубокого сверления (с отскоком); G84 – цикл нарезания резьбы; G89 – цикл растачивания (развертывания); X, Y – координаты центра обрабатываемого отверстия; Z – координата конечной точки перемещения инструмента по оси Z; R – координата точки, удаленной от обрабатываемой поверхности на безопасное расстояние, начиная с которой инструмент начинает перемещаться с рабочей подачей; Q – параметр постоянного цикла: сдвиг по оси X от обрабатываемой поверхности для цикла G76, величина отскока по оси Z для цикла G83; P – величина паузы для циклов G82, G89; F – значение рабочей подачи.

Работа инструментов для приведенных постоянных циклов показана на рис. 5.4, а – 5.4, е

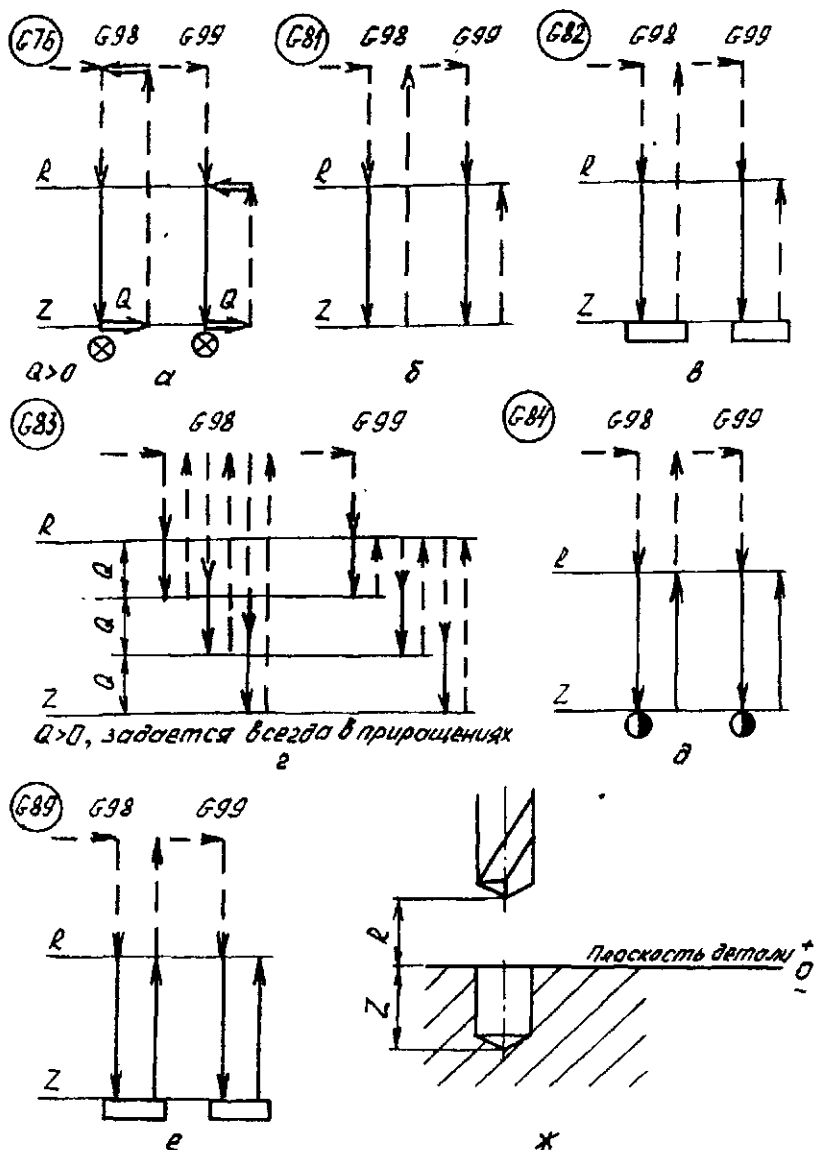


Рис 5.4: — — — — — — ускоренное перемещение; — — — — — — рабочий ход; ↔ — отскок по оси X; ⊗ — останов шпинделя; □ — пауза; ● — реверс шпинделя; R — уровень точки R; Z — уровень точки Z

При обработке отверстий ноль по оси Z целесообразно совмещать с плоскостью, на которой расположено отверстие (рис. 5.4, ж). В этом случае упрощается программирование и настройка станка. Величина Z в этом случае будет отрицательна и равна по абсолютной величине сумме глубины отверстия и перебега, величина R – величине безопасного расстояния, которая выбирается с учетом условий свободного перемещения инструмента при позиционировании над поверхностью обрабатываемой детали и величины врезания инструмента.

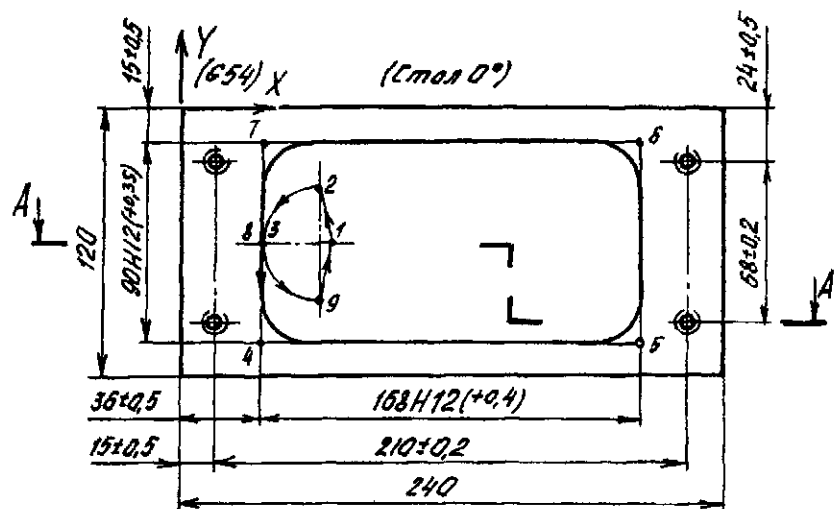
При обработке нескольких отверстий цикл обработки задается в кадре обработки первого отверстия. Для обработки остальных отверстий необходимо указать в следующих кадрах координаты их центров. После позиционирования инструмента автоматически включается ранее заданный постоянный цикл.

Заданный постоянный цикл отрабатывается после каждого позиционирования до его аннулирования. Аннулирование постоянных циклов производится функцией G80 или функциями интерполяции G0, G1, G2 или G3.

5.13. Пример составления управляющей программы

Рассмотрим пример составления программы обработки корпусной детали (рис. 5.5). Деталь обрабатывается с двух сторон. Обработка производится в следующей последовательности:

1. Фрезерование плоскости торцевой фрезой.
2. Фрезерование окна концевой фрезой
3. Центрование крепежных отверстий.
4. Сверление крепежных отверстий.
5. Зенкерование крепежных отверстий.
6. Зенкование фасок крепежных отверстий.
7. Нарезание резьбы в крепежных отверстиях.
8. Поворот стола.
9. Фрезерование плоскости.
10. Центрование отверстия для ввода фрезы.
11. Сверление отверстия для ввода фрезы.
12. Расфрезерование отверстия.
13. Чистовое растачивание отверстия.
14. Растачивание фаски в отверстии.



A - A

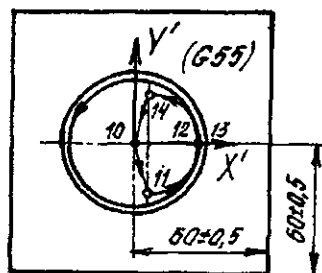
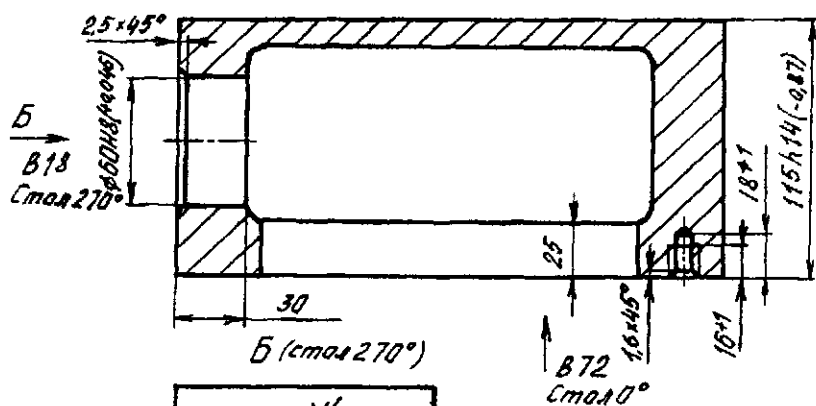


Рис. 5.5

Текст УП обработки данной детали приведен ниже.

%

.0001

(T1 – фреза диаметром 125 мм)

(T2 – фреза диаметром 40 мм)

(T3 – центровка)

(T4 – сверло диаметром 9 мм)

(T5 – зенкер диаметром 10,2 мм)

(T6 – зенковка диаметром 16 мм – 90°)

(T7 – метчик M12×1,25)

(T8 – сверло диаметром 20 мм)

(T9 – сверло диаметром 42 мм)

(T10 – оправка расточная диаметром 60H9)

(T11 – оправка для фаски)

N10 G54 B72 (выбор первой рабочей системы координат, стол 0°)

N20 T1 M12 (установка фрезы диаметром 125 мм)

N30 M06 (фрезерование плоскости)

N40 G0 X-68. Y-60. M8 (выход в исходную точку на ускоренной подаче, включение охлаждения)

N50 G43 H1 Z114.6 S600 M3

N60 G1 X228 F200

N70 G0 Z400.

N80 T2 M12

N90 M06 (фрезерование окна)

N100 T1 M18

N110 G0 X60 Y-60 M8

N120 G43 H2 Z-30. S400 M3

N130 G1 G41 D32 X61 Y-35. F100

N140 G3 X36. Y-60. R25.

N150 G1 Y-105.2

N160 X204.2

N170 Y-15.

N180 X36.

N190 Y-60.

N200 G3 X61. Y-85 R25. F500

N210 G1 G41 D0 X65. Y-60

N220 G0 Z400.

N230 T3 M12

N240 M06

N250 T2 M18

N260 G0 X15. Y-24. M8

N270 G99 G81 G43 H3 Z-2. R2. S1000 F100 M3

N280 Y-92.
 N290 X225
 N300 Y-24.
 N310 T4 M12
 N320 M06
 N330 T3 M18
 N340 G0 X15. Y-24. M8
 N350 G99 G81 G43 H4 Z-21.5 R2. S1000 F100 M3
 N360 Y-92.
 N370 X225.
 N380 Y-24.
 N390 T5 M12
 N400 M06
 N410 T4 M18
 N420 G0 X15. Y-24. M8
 N430 G99 G82 G43 H5 Z-16 5 R2. P750 S200 F75 M3
 N440 Y-92.
 N450 X225.
 N460 Y-24.
 N470 T6 M12
 N480 M06
 N490 T5 M18
 N500 G0 X15. Y-24. M8
 N510 G99 G82 G43 H6 Z-5.2 R2. P750 S600 F120 M3
 N520 Y-92.
 N530 X225
 N540 Y-24
 N550 T7 M12
 N560 M06
 N570 T6 M18
 N580 G0 X15. Y-24 M8
 N590 G99 G84 G43 H77 Z-16.5 R2. S60 F75
 N600 Y-92
 N610 X225.
 N620 Y-24.
 N630 T1 M12
 N640 M06 (фрезерование плоскости)
 N650 T7 M18
 N660 G55 B18 (поворот стола)
 N670 G0 X-123 Y0 M8
 N680 G43 H1 Z30. S600 M3
 N690 G1 X48. F200
 N700 G0 Z400.

N710 T3 M12
 N720 M06
 N730 T1 M18
 N740 G0 X0 Y0 M8
 N750 G99 G81 G43 H3 Z-2. R2. S1000 F100 M3
 N760 T8 M12
 N770 M06
 N780 T3 M18
 N790 G0 X0 Y0 M8
 N800 G99 G81 G43 H8 Z-37. R2. S530 F120 M3
 N810 T9 M12
 N820 M06
 N830 T8 M18
 N840 G0 X0 Y0 M8
 N850 G99 G81 G43 H9 Z-44. R2. S400 F120 M3
 N860 T2 M12
 N870 M06 (расфрезеровывание отверстия
 N880 T9 M18 до диаметра 59 мм)
 N890 G0 X0 Y0 M8
 N900 G43 H2 Z-35. S400 M3
 N910 G1 G41 D32 X4.5 Y-25. F100
 N920 G3 X29.5 Y0 R25.
 N930 G3 X29.5 Y0 I-29.5 J0
 N940 G3 X4.5 Y25. R25. F500
 N950 G1 G41 D0 X0 Y0
 N960 G0 Z400.
 N970 T10 M12
 N980 M06
 N990 T2 M18
 N1000 G0 X0 Y0 M8
 N1010 G99 G76 G43 H10 Z-32. R2. Q1. S400 F40 M3
 N1020 T11 M12
 N1030 M06
 N1040 T10 M18
 N1050 G0 X0 Y0 M8
 N1060 G99 G82 G43 H11 Z-2.5 R2. P750. S600 F100 M3
 N1070 M06
 N1080 T11 M18
 N1090 M30
 %

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

6.1. Структура и этапы технологической подготовки производства при использовании станков с ЧПУ

При использовании в качестве технологического оборудования станков с ЧПУ содержание работ и функции технологической подготовки производства существенно меняется по сравнению со станками с ручным управлением. Это объясняется возрастанием сложности технологических задач, которые при создании управляющих программ (УП), должны решаться с целью наиболее эффективного использования дорогостоящего оборудования.

Основные этапы и последовательность работ технологической подготовки производства (ТПП) представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Стадии и этапы проектирования технологического процесса
обработки деталей на станках с ЧПУ

Этап	Документация		Содержание этапа
	Справочная	Сопроводи- тельная	
1 стадия Разработка маршрута обработки детали (исходная документация: чертёж детали; чертёж заготовки)			
1 Выбор номенклатуры.	Классификация, каталоги.	График перевода на станках с ЧПУ	Конъюнктурный анализ: определение целесообразности обработки заготовки на станке с ЧПУ — как по конструктивно-технологическим признакам, так и по производственным условиям; оценка возможности изменения заготовки, технологического процесса, конструкции. Техничко-экономический анализ. расчет снижения трудоемкости; расчет окупаемости затрат
2. Ознакомление с ТП аналогичной детали.	Типовые и групповые ТП	График перевода на станках с ЧПУ	Объем ознакомления заготовка, маршрут, приспособления, режущий и вспомогательный инструмент, режимы резания, структура операций
3 Повышение технологичности детали	Стандарты ЕСТПП, классификации	Запрос на изменение конструкции	Отработка конструкции детали на технологичность и унификация (радиусов, баз, элементов детали). Повышение жесткости инструмента и детали. Корректировка чертежей детали и заготовки

Продолжение табл. 6.1

Этап	Документация		Содержание этапа
	Справочная	Сопроводительная	
4. Согласование условий поставки	Стандарты ЕСТПП и другие классификаторы	Условия поставки заготовки; условия поставки детали, чертеж заготовки; чертеж детали. Сводная карта маршрута; операционные эскизы	Определение технологического состояния заготовки: требования к базам, припуски, технологические отверстия; определение технологического состояния детали: основные размеры, припуски, доводочные работы
5. Определение маршрута обработки детали	Типовые и групповые ТП	Сводная карта маршрута; операционные эскизы	Составление и согласование маршрута обработки детали: выделение поверхностей, обрабатываемых на станках с ЧПУ; переустановка по видам оборудования; переустановка по зонам обработки; выбор последовательности выполнения операций; составление операционного эскиза
6. Заказ приспособления	Стандарты, каталоги типовой, групповой технологической оснастки, методика расчета	Технические условия на приспособление	Эскизное проектирование приспособления: определение положения заготовки на станке; определение типа приспособления; составление схемы увязки (выбор и привязка системы координат); определение схемы базирования заготовки; определение схемы закрепления заготовки; выбор вида привода
7. Заказ инструмента	Стандарты, каталоги типовой, групповой технологической оснастки, методика расчета	Технические условия на инструмент	Эскизное проектирование инструмента: определение типа инструмента; выбор технологических параметров; выбор конструкции; выбор геометрических параметров; проектирование схемы наладки
2 стадия. Разработка операция ТП (исходная документация: откорректированные чертежи детали и заготовки, задание на программирование, маршрутная карта, операционная карта)			
8. Составление плана операции	Стандарты ЕСТПП, ЕСТД	Операционная карта, операционный эскиз	Определение содержания операции. Разделение операции на установы и позиции. Уточнение метода закрепления заготовки. Подготовка операционной карты

Этап	Документация		Содержание этапа
	Справочная	Сопроводи- тельная	
9. Раз- работка опера- ционной техноло- гии	Нормативы режимов реза- ния; Типовые и групповые ТП; Стандарты ЕСТПП; ката- логи техноло- гической осна- стки	Карта наладки станки, карта наладки инст- румента	Определение последовательности переходов. Выбор инструмента Разделение переходов на ходы. Выбор контрольных точек и остано- ва. Определение траектории пози- ционных и вспомогательных пере- ходов. Расчет режимов резания Подготовка карт наладки станка и инструмента
3 стадия. Подготовка УП			
10. Рас- чет тра- ектории инстру- мента	Таблицы до- пусков, таб- лицы геомет- рических рас- четов; типо- вые методики расчетов	Расчетно- технологиче- ская карта; эс- киз траектории.	Выбор (уточнение) система коорди- нат. Определение наладочных раз- меров детали. Расчет координат опорных точек. Разделение проходов на ходы и шаги Построение траекто- рии движения инструмента. Преобра- зование систем координат.
11. Ко- дирова- ние и запись УП	Инструкция по программиро- ванию УП; ин- струкция для записи УП	УП; распечатка УП	Формирование элементарных пе- реместений. Определение техноло- гических команд. Пересчет пере- местений в импульсы. Кодирование УП. Запись УП на программоноси- тель. Печатание текста УП
12. Кон- троль, редакти- рование и отлад- ка УП	Методика кон- троля УП; ме- тодика редак- тирования УП	График траек- тории; акт вне- дрения УП	Контроль программоносителя. Кон- троль траектории инструмента. Ре- дактирование УП. Обработка опыт- ной детали

6.2. Определение номенклатуры деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ

Для станков с ЧПУ ТПП и расчет УП требуют значительных материальных затрат. Поэтому на начальном этапе проектирования выявляют номенклатуру деталей, для которых обработка на станках с ЧПУ целесообразна.

Определение номенклатуры производится по конструктивно-технологическим параметрам:

- габаритным размерам;
- форме поверхностей, подлежащих обработке;

– количеству инструментов, требуемых для полной обработки и т.д.

Номенклатура деталей, обработка которых предполагается эффективной на оборудовании с ЧПУ, определяется на основе изучения технической документации на эти детали, ограничений, зависящих от конкретного производства и характера постановки задачи. Критерии оценки при выборе номенклатуры могут быть различными, но чаще всего применяют экономический критерий, учитывающий приведенные затраты. Поэтому в общем случае следует считать, что на станках с ЧПУ целесообразно обрабатывать такие детали, на которые распространяются источники и факторы экономической эффективности, приведенные в табл. 6.2

Практика показывает, что значительный эффект достигается при обработке на станке с ЧПУ сложных деталей, с большим числом поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки и элементами прямых и плоскостей, непараллельных координатным осям станка.

На токарных станках наиболее целесообразна обработка сложных многоступенчатых деталей, которая благодаря применению набора резцов и автоматической коррекции положения инструментов может быть выполнена с одной установки.

На многооперационных станках эффективна обработка корпусных деталей, обрабатываемые поверхности, которых имеют сложную геометрическую форму и требуют различных видов обработки:

- фрезерной;
- сверлильной;
- расточной;
- резьбонарезной и т.п.

На многооперационных станках обработка таких деталей осуществляется различными инструментами с одной установки, благодаря чему существенно сокращается вспомогательное время, повышается производительность и точность обработки.

На токарных станках наиболее целесообразна обработка сложных многоступенчатых деталей, которая благодаря применению набора резцов и автоматической коррекции положения инструментов может быть выполнена с одной установки.

При этом по сравнению с универсальными станками, повышение технико-экономических показателей обуславливается действием почти всех источников экономической эффективности.

На ряде передовых предприятий критерием целесообразности перевода обработки детали на станки с ЧПУ считается ожидаемое повышение производительности труда не менее чем на 50 % при окупаемости затрат на программирование на партии запуска деталей. Окончательное решение по составу номенклатуры деталей, переводимых для обработки на станках

с ЧПУ, принимается после расчета экономической эффективности.

Таблица 6 2

Источники и факторы экономической эффективности обработки деталей на станках с ЧПУ

Источник	Фактор	Показатель
Снятие разметки; сокращение слесарной доработки и доводочных работ; многостаночное обслуживание	Сокращение штучно-калькуляционного времени	Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции
Уменьшение длин траектории рабочих перемещений инструмента; оптимизация режимов резания; уменьшение длин холостых ходов инструмента, концентрация операций	Сокращение машинного времени	Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции
Сокращение затрат времени на контрольные операции	Сокращение вспомогательного времени	Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции
Повышение точности обработки и чистоты поверхности на криволинейных участках	Уменьшение трудоемкости сборочных работ и пригоночных операций при сборке. Увеличение ресурса изделия; повышение надежности изделия; повышение экономичности изделия	Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции. Повышение качества продукции
Уменьшение требуемого количества оборудования за счет повышения производительности труда	Уменьшение ресурсов на ремонт и обслуживание; сокращение требуемых производственных площадей; уменьшение расходов на электроэнергию	Снижение себестоимости продукции
Снижение разряда работ	Уменьшение расходов на зарплату производственных рабочих	Снижение себестоимости продукции

Подобранные детали определенной номенклатуры можно сгруппировать по конструктивно-технологическим признакам. Это дает возможность выбрать модели станков, наиболее приемлемые для обработки рассматриваемых типов деталей. Так, детали, обрабатываемые на фрезерных станках, целесообразно подразделять на группы по числу тре-

буемых координат и габаритным размерам.

Формировать номенклатуру рекомендуется в три этапа.

1. Просмотреть чертежи и технологическую документацию и составить предварительный перечень деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ, с определением, типа станка.

2. Сгруппировать детали по конструктивно-технологическим признакам и типам станков, выполнить детальный технико-экономический анализ, выбрать оптимальный вариант обработки и составить уточненный перечень.

3. По уточненному перечню составить годовой график внедрения обработки деталей, оценить трудоемкость подготовки программ и указать сроки выполнения работ по этапам.

6.3. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Эффективность применения станков с ЧПУ в значительной мере определяется технологичностью конструкции деталей.

На этапе технологической подготовки производства все детали должны быть подвергнуты тщательному анализу (конструкторско-технологической проработке) в целях повышения степени конструкторской и технологической преемственности элементов детали. Решая эту задачу, можно определить полный перечень типоразмеров и выявить степень их применяемости, построить параметрические ряды, унифицировать детали. Это обеспечит преемственность технологических процессов и их элементов.

На этапе анализа детали выявляется также, насколько технологически рациональна ее конструкция. Эта задача заключается в нахождении возможности изготовления и эксплуатации данного изделия при использовании имеющихся в распоряжении предприятия материальных и трудовых ресурсов.

Анализ начинается с систематизации аналогов и прогнозирования показателей технологичности. Эти данные являются исходными для определения базовых показателей, фиксируемых в техническом задании на изделие. Затем следуют работы по стадиям проектирования, которые в основном завершаются при подготовке конструкторской документации на опытный образец. В дальнейшем изменять документацию становится все труднее. На стадии ТПП приходится оформлять заявки на изменение конструкторской документации, в процессе изготовления установочной серии - собирать замечания цехов, давать разрежения на отступления от конструкторской документации и технологической документации, прорабатывать замечания и вносить предложения по изменениям на комиссии, разрабатывать мероприятия по результатам начала устано-

вившегося производства, планировать их выполнение и т.д.

Завершают анализ работы по оценке технологического уровня и качества изделия, а также его прибыльности.

Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ:

- унификация внутренних и наружных радиусов;
- унификация элементов форм деталей и их размеров;
- создание такой конфигурации детали, которая обеспечивает свободный доступ инструмента при обработке поверхностей;
- обеспечение возможности надежного и удобного базирования детали при обработке.

Все эти требования направлены на сокращение типоразмеров применяемого режущего инструмента, использование более производительного инструмента, замену специального инструмента стандартным, уменьшение числа переустановок детали, снижение количества и стоимости требуемой оснастки, повышение точности базирования, а также точности и производительности обработки, уменьшение степени коробления детали при обработке и объема последующей слесарной (станочной) ручной дообработки, сокращение затрат на расчет и подготовку программ.

Выявленные при анализе чертежа детали условия повышения технологичности разрабатывают и оформляют в виде запроса в ОГК.

Примеры технологических и нетехнологических конструкций элементов деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, даны в таблице 6.3.

При обработке детали на станках с ЧПУ (особенно на фрезерных) требуется строгая ориентация ее относительно осей координат станка и привязка к исходной точке. Поэтому при анализе технологичности необходимо предусмотреть элементы для базирования детали. Если деталь не имеет конструктивных отверстий, которые могут быть использованы как базовые, то такие отверстия вводят, расположив их на максимальном удалении друг от друга.

Наименьшие допустимые диаметры базовых отверстий d_{\min} :

Размеры детали, мм	< 100	100 – 200	200 – 1000	1000 – 2000	> 2000
d_{\min} , мм	4	6	10	16	20

При невозможности выполнить технологические базовые отверстия в детали следует предусмотреть у заготовки специальные технологические приливы, в которых и разместить базовые отверстия.

При анализе шероховатости поверхностного слоя обработанной детали следует иметь в виду, что после обработки концевыми фрезами на горизонтальных поверхностях остаются заметные на глаз следы фрезерования. В большинстве случаев высота уступов и микронеровностей не превышает 0,01...0,05 мм. Определено, что лучше иметь такие микроне-

ровности, чем риски от слесарной доработки поверхности абразивными кругами: микронеровности после фрезерной обработки как концентраторы напряжений менее опасны, чем риски. Поэтому по возможности при проектировании ТП слесарную доработку поверхностей, обработанных на станках с ЧПУ, вводить не следует. Это сохранит поверхностный слой обработанной детали, который упрочнен наклепом при фрезеровании и имеет сравнительно хороший микрорельеф.

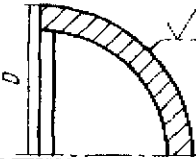
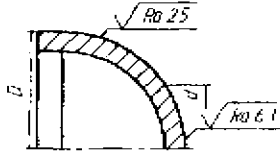
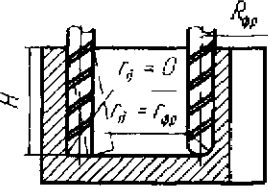
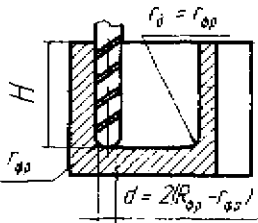
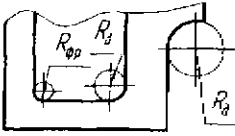
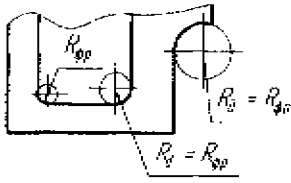
К чертежам деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, не предъявляют никаких требований, противоречащих стандартам ЕСКД. Однако необходима некоторая дополнительная информация о детали, в связи, с чем требуется выполнять ряд правил, облегчающих программирование:

1. Все размеры проставляет на детали в прямоугольной системе координат от конструктивных единичных баз детали.

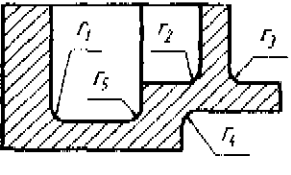
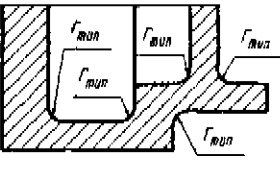




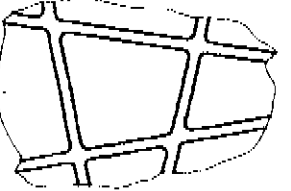
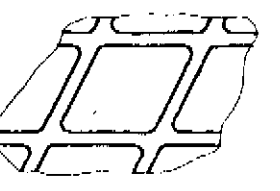
Таблица 6.3

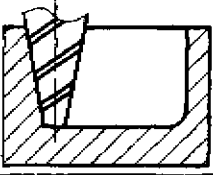
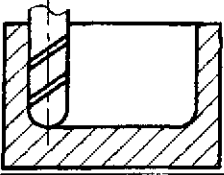
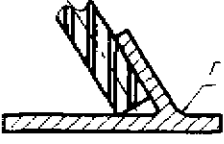
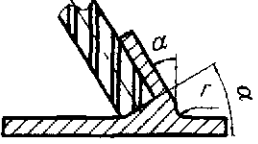
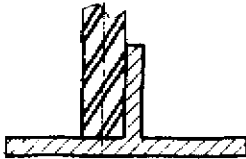
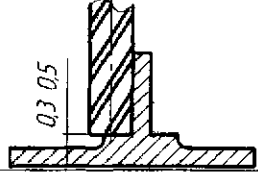
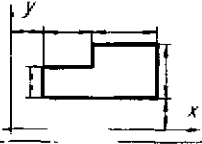
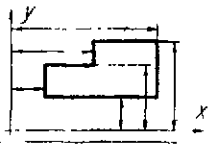


Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.

Требования	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичные	Технологичные
Станки токарной группы		
1 Минимальная разнотипность геометрических элементов, образующих наружные и внутренние контуры деталей		
2 Рациональная геометрическая форма детали, обеспечивающая возможность минимального числа чистовых проходов, обработку одним инструментом (исключаются риски и уступы на обрабатываемой поверхности), а также удобства при базировании и креплении заготовки		
3 Задание отдельных участков образующей уравнениями, а не координатным способом		

Требования	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичные	Технологичные
4 Некоторое снижение требований по шероховатости обрабатываемой поверхности у оси вращения		
Станки фрезерной группы		
<p>1 Сопряжения стенок наружных и внутренних обрабатываемых контуров детали по возможности следует выполнять одинаковыми (типowymi для данного контура) радиусами</p> $R_d = R_{фр} * (1/4 \cdot 1/6) * H,$ $r_d = r_{фр}$ <p>Это сокращает количество типоразмеров режущего инструмента при обеспечении его жесткости и высокой производительности обработки. При обработке деталей из легких сплавов $R_{фр} > H/8$, из труднообрабатываемых материалов $R_{фр} > H/4$.</p> <p>При назначении радиусов сопряжения для детали (R_d и r_d) соотношение между ними и радиусами фрезы (R_f и r_f) необходимо обеспечивать на торце инструмента (концевой фрезы) плоского участка d, что необходимо для качественной обработки. Следует избегать соотношения $R_d = r_d = R_{фр} = r_{фр}$, при котором требуются концевые сферические фрезы.</p>	 	 

Продолжение табл. 6.3

Требования	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичные	Технологичные
<p>2 Сопряжение стенок с полками и подсечками, одинаковыми для данного контура радиусами $r_{\text{тип}}$, что исключит необходимость обработки различными инструментами и возможность появления следов зарезания</p>		
<p>3. Обеспечение конструкцией детали обработки с наименьшим числом установов. Наиболее технологична односторонняя конструкция с базовой плоскостью (а), в этом случае деталь обрабатывается одним инструментом на одном приспособлении без переустановки. Следующей по технологичности является двусторонняя симметричная конструкция (б), симметричная относительно оси ОО деталь обрабатывается с двух сторон по одной и той же программе одним инструментом. Менее технологичными являются двусторонняя несимметричная (в) и многосторонняя (г) конструкции деталей</p>	<p>а</p>  <p>б</p> 	<p>в</p>  <p>г</p> 
<p>4 Упрощение геометрических форм и типизация основных повторяющихся геометрических элементов детали, например карманов, колодцев, панелей, рам, балок и т.п. Это сокращает затраты на программирование. При конструировании деталей следует максимально использовать зеркально отраженные и симметричные элементы</p>		

Требования	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичные	Технологичные
5 Следует по возможности избегать наклонных (так называемых малкованных) стенок, а также имитации штамповочных уклонов		
6 Конфигурация детали должна обеспечивать свободный доступ к поверхностям для обработки их одним инструментом при минимальном числе рабочих ходов		
7 В местах сопряжения обрабатываемой стенки с дном предусматривать завышения 0,3-0,5 мм. Это уменьшает объем обработки и предотвращает "зарезы"		
8 Простановка размеров от одной базы		
9 Обеспечение сопряжений линий контура плавным радиусом		

2. Желательно проставлять размеры от оси детали к центрам всех окружностей, если это не требует от конструктора трудоемких дополнительных вычислений.

3. Проставлять размеры следует так, чтобы данные о каждом контуре были по возможности на одной проекции, а предельные отклонения на размеры задавались симметрично, что облегчает программирование.

4. В случае, если контуры изделия заданы аналитически или таблицей координат точек, в чертеже не должно быть ссылок на плаз. Вместо указаний "Контур снять с плаза" следует писать "Контур рассчитать по данным теоретического чертежа, первую деталь сверить с плазом".

5. Чертеж выполняют в масштабе, соблюдая его по всему полю чертежа.

6. На поле чертежа рекомендуется помещать надпись "Изготавливать на станке с ЧПУ" или "Контур фрезеровать на станке с ЧПУ".

6.4. Подготовка технологической документации на операции, выполняемые на станках с ЧПУ.

При проектировании документов на операции, выполняемые на станках с ЧПУ, следует применять в соответствии с ГОСТ 3.1404-86 следующие виды документов:

- карту технологического процесса (КТП) – формы 1 и 1а;
- операционную карту (ОК) – формы 2,3 и 2а;
- карту наладки инструмента (КН/П) – форма 4 и 4а;
- карту кодирования информации (ККИ) – формы 5 и 5а.

По усмотрению разработчика допускается применять следующие вспомогательные документы:

- карту заказа на разработку управляющей программы (КЗ/П) – формы 6 и 6а;
- ведомость обрабатываемых деталей (ВОД) – формы 7 и 7а

Карту технологического процесса (КТП) применяют для операционного описания при разработке единичных, типовых и групповых технологических процессов. Пример КТП приведен на рис. 6.1.

Операционную карту (ОК) применяют для описания единичных технологических операций (типовых и групповых). Ее составляют по результатам проектирования технологической операции. В этом первичном документе приводят операционный эскиз; указывает все переходы операции, используемый станок, шифр приспособления и инструмента; отмечают координаты исходных точек траектории движения инструмента и время обработки.

Операционная карта является основным документом, по которому определяет требуемые материалы, оснастку, рабочую силу, решают вопросы организации и планирования производства.

На основании операционных карт обработки детали на станках с ЧПУ и на обычных станках с ручным управлением окончательно формируют технологический маршрут с включением в него специальных операций термообработки и покрытия. Предварительную работу по проектированию схемы маршрута выполняют на начальной стадии разработки технологического процесса. На заключительном этапе, когда определены условия выполнения операции и переходов, рассчитывают основное и штучное время, окончательно упорядочивают состав каждой операции и их рациональную последовательность в маршруте. При необходимости вносят коррективы в операционную технологию, после чего оформляют всю остальную технологическую документацию. Пример оформления ОК для станка с ЧПУ приведен на рис. 6.2.

Карту наладки инструмента (КН/П) применяют для указания полного состава вспомогательного и режущего инструмента в технологической последовательности его применения совместно с документом, содержащим описание операции (ОК, МК, КТП). КН/П используют при наладке инструмента вне станка и установке его на станке в соответствии с выбранной наладкой.

В карту записывают координаты вершин всех инструментов наладки и показания прибора для их настройки вне станка. На рис. 6.3, 6.4 приведен пример оформления КН/П совместно с картой эскизов (КЭ).

Карту кодирования информации (ККИ) применяют для кодирования информации при разработке управляющих программ совместно с ОК, МК, КТП и КЭ.

Карту заказа на разработку управляющей программы (КЗ/П) применяют для указания исходных данных, необходимых при разработке УП для станка с ЧПУ. На основании КЗ/П разрабатывают расчетно-технологическую карту (РТК), которая содержит полную информацию о всех решениях, принятых на этапах проектирования маршрутной и операционной технологии.

Операционная расчетно-технологическая карта (РТК) предназначена для ручной подготовки УП. В эту карту, представляющую собой "рукопись" программы, в принятой для операции последовательности обработки записывают:

- номера, координаты или приращения координат опорных точек траектории;
- подачи;
- частоты и направления вращения шпинделя; номера корректоров и технологические команды.

К операционной расчетно-технологической карте прилагают эскиз траектории инструмента. На нем траекторию инструмента вычерчивают для всех переходов с нумерацией опорных точек, обозначением начала системы координат, а также точек, в которых выполняются технологические команды. Пример выполнения РТК на токарную обработку приведен на рис. 6.5; на сверлильно-расточную обработку приведен на рис. 6.6, на фрезерную обработку приведен на рис. 6.7.

Акт внедрения УП является заключительным документом, в котором отражают результаты пробной обработки одной или нескольких заготовок на станке с ЧПУ по подготовленной УП. В акте отмечают соответствие обработанных поверхностей требованиям к их точности и шероховатости, рациональность режимов резания; приводят данные хронометража. Акт подписывают контролер ОТК, мастер участка станков с ЧПУ, технолог ОГТ и начальник БПУ. Если деталь ранее изготавливалась на станке с ручным управлением, то в акте обосновывается экономическая эффективность ее перевода на станок с ЧПУ, после чего акт служит основанием для изменения технологического процесса на предприятии. Акт оформляют в соответствии с рекомендациями ЕСТД Р 50-67-88.

Дубл.							
Взам.							
Подп.							

Изм.	Лист	№ докум	Подп	Дата

ГОСТ 3.1404-86 Форма 4

Разраб.		НПО	АБВГ XXXXXX XXXX	8214233 00045
Н контр			Станок	05 01 - 015

Обозначение программы, оборудования, устройства ЧПУ						
У	Опер	ПИ	Вспомогательный и режущий инструмент (код, наименование)	Наладочные размеры	Корект. разм	ЧК
Т	Пер	15009	12003 управляющ. программа, станок 16К30Ф3, устройство ЧПУ H22-1M			
У 01	-					
Т 02	1	1	АБВГ XXXXXX XXX державка, АБВГ XXXXXX XXX резец	$W_x = 127, W_z = 230$	$70_{-0.74}^{+0.74}$	1Z
03	2	2	АБВГ XXXXXX XXX державка, АБВГ XXXXXX XXX резец	$W_x = 145, W_z = 235$	$\varnothing 425_{-0.37}^{+0.19}$	2X
04					$42_{-0.46}^{+0.46}$	2Z
05	3	3	АБВГ XXXXXX XXX державка, АБВГ XXXXXX XXX резец	$W_x = 137, W_z = 235$	$\varnothing 368_{-0.5}^{+0.5}$	3X
06					$22_{-0.52}^{+0.52}$	3Z
07	4	4	АБВГ XXXXXX XXX державка, АБВГ XXXXXX XXX резец	$W_x = 125, W_z = 185$	$\varnothing 325_{-0.38}^{+0.38}$	4X
08					$22_{-0.52}^{+0.52}$	4Z
09						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

Контр							
-------	--	--	--	--	--	--	--

Рис. 6.3

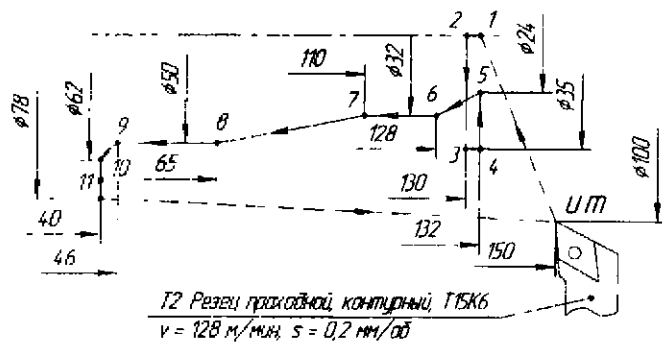
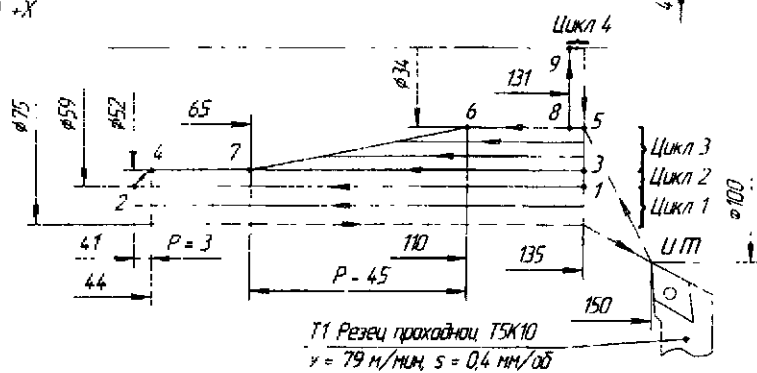
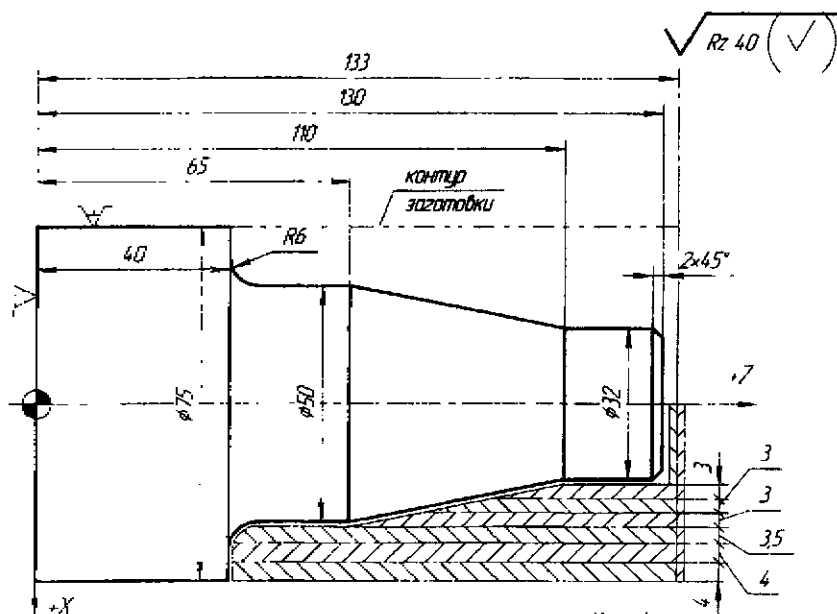
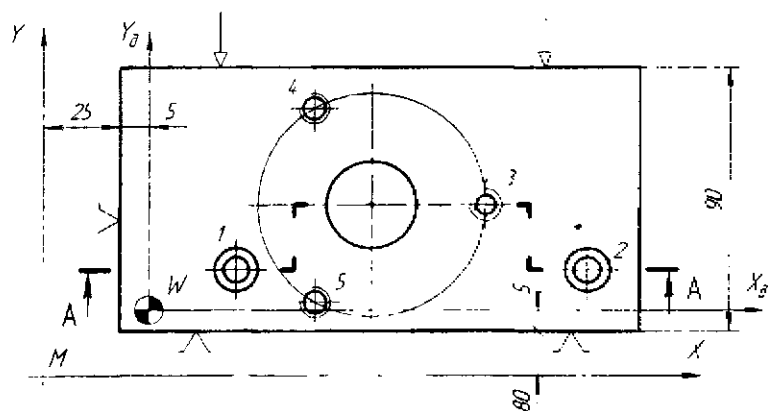
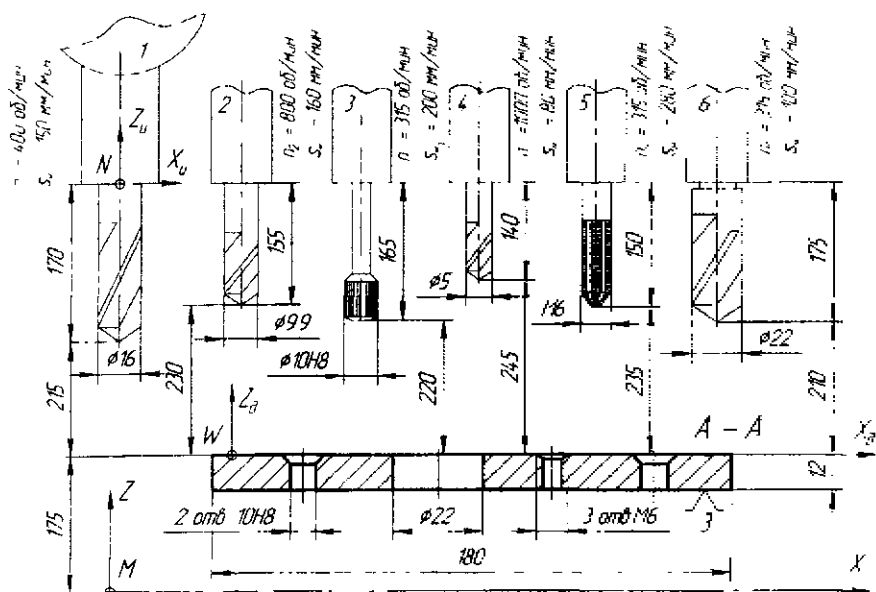


Рис. 6.5



Координаты опорных точек (центров отверстий)

Поперечный срез	Координаты, мм				
	X_0	Y_0	X	Y	Z
1	20	20	50	105	175
2	150	20	180	105	175
3	105	40	135	125	175
4	52,5	70,31	82,3	85,31	175
5	52,5	96,9	82,5	94,69	175
6	70	40	100	125	175

Рис. 6.6

Комплектность и форма технологической документации, используемой при подготовке УП, могут меняться в зависимости от принятого на данном предприятии документооборота и метода программирования - ручного или с помощью ЭВМ. Рекомендуемая комплектность документации в зависимости от типа производства и вида разрабатываемых технологических процессов приведена в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Комплектность документов на технологический процесс (операцию).

Тип производства	Вид технологического процесса по его организации	Вид описания	Условное обозначение документа, входящего в комплект (3.1102 – 81)
Единичное	Единичный	Маршрутное	МК, КЭ, КН/П, ККИ
		Операционное	КТП (ОК), КН/П, КЭ, ККИ
	Типовой (групповой)	Маршрутное	МК, ВТД, КН/П, КЭ, ККИ
		Операционное	КТП, ВТД, КН/П, КЭ, ККИ ОК, ВТД, КН/П, КЭ, ККИ
Серийное (массовое)	Единичный	Операционное	МК, ОК, КЭ, КН/П, ККИ КТП (ОК), КЭ, КН/П, ККИ
	Типовой (групповой)		МК, ОК, КЭ, КН/П, ККИ
			КТП (ОК), КЭ, КН/П, ККИ

Список рекомендуемой литературы

1. Гжиров, Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ/ Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
2. Стискин, Г. М. Токарные станки с оперативным программным управлением/ Г. М. Стискин, В. Д. Гаевский. – Киев: Техника, 1989. – 176 с.
3. Уралов, В. И. Технологическая подготовка многооперационных станков/ В. И. Уралов, Я. А. Юзефпольский – М.: Машиностроение, 1985 – 88 с.
4. Дерябин, А. Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ/ А. Л. Дерябин – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
5. Каштальян, И. А. Обработка на станках с числовым программным управлением/ И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. – Мн.: Выш. шк., 1989. – 271 с.
6. Осипова, С. С. Методы программирования на сверлильных и расточных станках с программным управлением/ С. С. Осипова. – М.: Машиностроение, 1976. – 120 с.
7. Шарин, Ю. С. Обработка деталей на станках с ЧПУ/ Ю. С. Шарин. – М.: Машиностроение, 1983. – 116 с.
8. Шарин, Ю. С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ/ Ю. С. Шарин. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.

**Сергей Иванович Кормилицин
Владимир Анатольевич Солодков
Юрий Николаевич Полянчиков
Александр Георгиевич Схиртладзе**

Технология и программирование обработки на станках с ЧПУ
Учебное пособие

Редактор А. К. Саютина

**Темплан 2007 г. Поз. № 7
Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001.**

**Подписано в печать 10.12.2007. Формат 60х84 1/16.
Бумага газетная. Печать офсетная. Гарнитура Arial
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 7,05 Тираж 250 экз. Заказ 34**

**Волгоградский государственный технический университет.
400131 Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28**

**РПК «Политехник»
Волгоградского государственного технического университета
400131 Волгоград, ул. Советская, 35**