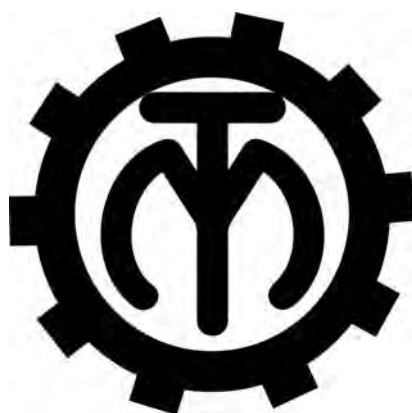


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки  
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»  
дневной формы обучения*



Могилев 2019

УДК 621.01  
ББК 34.5  
О38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «5» ноября 2019 г.,  
протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. А. М. Федоренко

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

Представлены задания к проведению практических занятий по дисциплине «Основы программирования на станках с ЧПУ», а также приведены рекомендации по их выполнению, перечень литературы.

Учебно-методическое издание

## ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

1 Практическое занятие № 1. Программирование перемещений. Линейная интерполяция.....	4
2 Практическое занятие № 2. Программирование перемещений. Круговая интерполяция.....	12
3 Практическое занятие № 3. Программирование перемещений. Относительная система координат.....	16
4 Практическое занятие № 4. Программирование обработки валов.....	17
5 Практическое занятие № 5. Программирование обработки отверстий.....	28
6 Практическое занятие № 6. Программирование фрезерной обработки.....	35
Список литературы.....	46



# 1 Практическое занятие № 1. Программирование перемещений. Линейная интерполяция

**Цель практической работы** – приобретение навыков разработки управляющих программ обработки на основе применения G-кодов (в соответствии со стандартами ISO).

## 1.1 Общие сведения о программировании

### 1.1.1 Символ.

Символ – это число, буква или знак, используемые для выражения информации.

**Пример** – I, G, %, Z, X, LF...

Используемые символы должны соответствовать символам, которые описаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Символы, используемые для составления кадра

Описание	Символ
Заглавные буквы	A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
Строчные буквы	a b c d l m o p r s t u v w
Десятичные цифры	от 0 до 9
Математические действия	+, -, *, /
Десятичная точка	.
Сепаратор	"
Открытая скобка	(
Закрытая скобка	)
Пояснительный знак	;
Разделительный знак	,
Знак	=
Конец или начало ленты	%(ISO)
Терминатор	L.F. (ISO)
Особые символы	:
Символы-приставки	# (запрос синхронизации) & (аннулирует синхронизацию)

### 1.1.2 Адрес.

Адрес представлен буквой, которая определяет тип инструкции.

**Пример** – G, Z, X,

### 1.1.3 Слово.

Слово состоит из адреса, за которым следует цифровое значение.

**Пример** – G1 X50.5 Y-3.15 F200 T1.1

Все цифровые значения, которые записаны за адресным словом, выражены своей системой измерения. В общем случае нули в начале и в конце могут быть опущены. Если величины имеют десятичную часть, она должна быть записана после десятичной точки. Формат слова должен соответствовать ГОСТ 20999–83, раздел 9.

#### 1.1.4 Кадр.

Программа состоит из последовательности кадров, которые позволяют описать цикл обработки. Каждый кадр – это последовательность слов, определяющих операции, которые необходимо выполнить.

В языке можно определить четыре типа кадров:

- 1) комментирующие кадры;
- 2) кадры ISO;
- 3) кадры назначения;
- 4) кадры с трехбуквенными кодами.

Комментирующий кадр дает возможность программисту вводить в программу фразы, описывающие функции, которые он должен выполнить, делая, таким образом, программу более легко читаемой. Такой кадр не выдает послышки оператору и не учитывается в стадии выполнения программы. Формат состоит из последовательности алфавитно-цифровых символов, из которых первым элементом в обязательном порядке должен быть символ «;».

**Пример** – ;ЭТО – ПРИМЕР

Кадры ISO – это кадры, операторы которых предусмотрены стандартом ISO.

**Пример** – G1 X500 Y20 F200

*Кадры назначения* непосредственно из программы пользователя позволяют определить величину нескольких глобальных параметров системы.

Впоследствии эти параметры могут быть использованы в других кадрах того же или другого класса. В зависимости от типа переменных кадры назначения могут быть подразделены на три класса:

- 1) кадры назначения с переменными вычисления; например: E30 = 28.5;
- 2) кадры назначения с геометрическими переменными; например: p2 = X10 Y25;
- 3) кадры назначения с глобальными переменными системы; например: UOV = 1.5.

*Кадры с трехбуквенными кодами* – это кадры, в которых тип операции, выполнение которой предусмотрено, определен трехбуквенной командой (кодом), согласованной со стандартом EIA 1177 В.

**Пример** – (URT, 45).

#### 1.1.5 Начало и конец программы.

В первом кадре обычно программируется информация о замене инструмента (T...D...). В конце обработки необходимо установить оси в позиции, удобной для демонтажа детали. Затем следует остановить вращение шпинделя



и охлаждающий поток и осуществить управление автоматической установкой («СБРОС») программы при помощи функции M30.

N1 (DIS,".....")

N2 T1.1 M6 S800

N3 G Z80 X80 M13

...

N236 G Z250 X50 M5

N237 M30

Можно вставить во внутрь программы сообщение, заключенное в кавычки и предназначенное для оператора станка. Это сообщение программируется трехбуквенным кодом следующим образом:

**MSG("текст сообщения")**

#### *1.1.6 Функция F.*

Программируется от 0.01 до 99999.99.

G94 определяет скорость подачи осей в мм/мин или дюйм/мин; с помощью символа «t» можно запрограммировать время в секундах, необходимое для отработки элемента, определенного в кадре («F» для кадра является отношением между длиной элемента и запрограммированным «t»).

G93 определяет обратное время, т. е. отношение скорость подачи/расстояние.

G95 определяет скорость осей в мм/оборот.

#### *1.1.7 Функция S.*

Программируется от 0.01 до 99999.99. Может выражать:

- число оборотов в минуту шпинделя (G97);
- скорость резания в метрах в минуту (G96).

#### *1.1.8 Функция T.*

Определяет требуемый для обработки инструмент и номер коррекции для данного инструмента.

Используется совместно с функцией D – определяет номер режущей кромки (корректор).

#### *1.1.9 Подготовительные функции G.*

G00 – быстрое позиционирование осей определяет линейный тип движения, скоординированный по всем осям, запрограммированным в кадре с быстрым ходом. (**G0 X10 Z50**).

G01 – линейная интерполяция определяет линейное одновременное движение, скоординированное по всем осям, которые запрограммированы в кадре, с заданной скоростью обработки (**G1 X10 Z50**).

G70 – программирование в дюймах.

G71 – программирование в миллиметрах.

G90 – абсолютное программирование.



### *1.1.10 Вспомогательные функции М.*

М00 – останавливает выполнение программы после выполнения операций, содержащихся в кадре. Останавливает вращение шпинделя и охлаждающий поток. Сохраняет всю информацию, накопленную в памяти.

М01 – условная остановка программы: если трехбуквенный код USO=1 занесен с клавиатуры, функция М01 интерпретируется управлением как М00; если трехбуквенный код USO=0 подтвержден, функция М01 не учитывается.

М02 – определяет конец программы без перемотки ленты на начало.

М03 – вращение шпинделя по часовой стрелке.

М04 – вращение шпинделя против часовой стрелки.

М05 – остановка шпинделя и подачи охлаждения. Осуществляется после выполнения операций, содержащихся в кадре.

М06 – замена инструмента. Останавливает вращение шпинделя, подачу охлаждения и выполнение программы. Подтверждает корректировки, выбранные функцией Т. Осуществление функции возможно после выполнения информации, содержащейся в кадре. Не стирает М03, М04, М08, М13, М14.

М07 – подача вспомогательного охлаждения.

М08 – подача основного охлаждения.

М09 – остановка охлаждения. Осуществляется после выполнения операций, содержащихся в кадре.

М10 – блокировка линейных и вращающихся осей. При помощи этой функции осуществляется блокировка осей, не участвующих в процессе обработки.

М11 – отмена М10.

М12 – блокировка вращающихся осей. При помощи этой функции осуществляется блокировка осей, не участвующих в процессе обработки.

М13 – вращение шпинделя по часовой стрелке и подача охлаждения.

М14 – вращение шпинделя против часовой стрелки и подача охлаждения.

М19 – остановка вращения шпинделя с угловой ориентацией осуществима после операций, содержащихся в кадре. Отменяется функциями М03, М04, М13, М14.

М30 – автоматический «СБРОС» в конце программы. При помощи функции М30 стирается вся информация, находящаяся в динамическом буфере системы. Подтверждаются автоматически: начальная точка «0» и возобновление выбранной программы. Корректировка инструмента в шпинделе не стирается.

М40 – отмена диапазона вращения шпинделя.

М41–М42–М43–М44 – активизирует диапазон вращения шпинделя 1–2–3–4.

М45 – автоматическая смена диапазона вращения шпинделя.

М60 – замена детали.

В каждом кадре можно программировать до четырёх функций М.

## *1.2 Подготовительный этап программирования*

Подготовка всей необходимой геометрической и технологической информации для осуществления предусмотренного цикла обработки требует от

программиста проведения подготовительной работы, которая состоит из следующих операций:

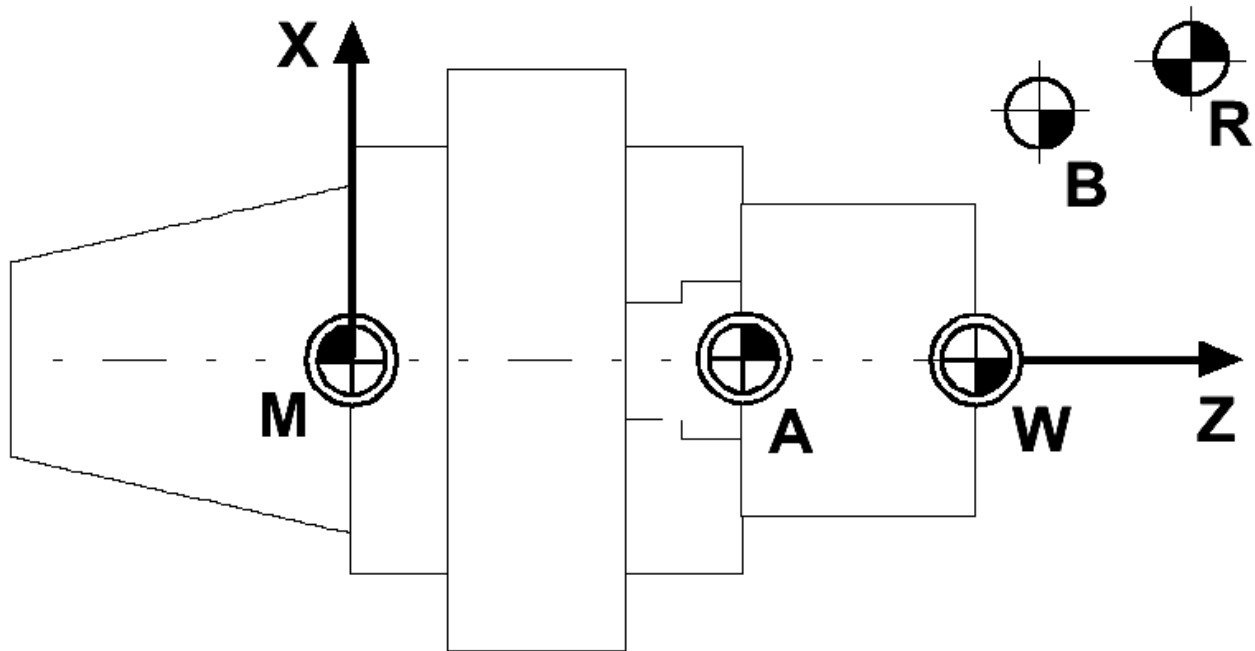
1) определить на чертеже начальную точку осей (нуль детали), относительно которой должны быть измерены все перемещения. Этот выбор должен быть осуществлен в соответствии с фактическими размерами чертежа. Надо иметь в виду, что, если чертеж был выполнен с учетом одной точки, будет возможно выбрать нуль детали, совпадающий с этой точкой. В обратном случае выбирается точка, которая позволяет осуществить наиболее легкий переход от данного измерения к новому измерению (условные обозначения типовых точек представлены на рисунке 1.1);

2) определить на чертеже детали точки отсчета и точки зажима самой детали;

3) убедиться в том, что все операции, которые необходимо выполнить, находятся в пределах рабочего поля станка;

4) составить список требуемых инструментов в строгой последовательности, необходимой для выполнения программы;

5) определить технологические условия резания (скорость вращения шпинделя и скорость подачи) для каждого инструмента; вышеуказанные данные заносятся программистом в карточку инструмента.



M – нулевая точка станка; A – точка крепления заготовки; W – нулевая точка детали; B – начальная точка; R – точка реферирования (привязки)

Рисунок 1.1 – Типовые точки системы координат станка и их условные обозначения на чертежах



### ***1.3 Порядок разработки управляющей программы***

Прежде чем приступить непосредственно к написанию УП, необходимо проделать значительную предварительную работу, позволяющую в конечном итоге получить в кратчайшие сроки эффективную УП.

На первом этапе устанавливаются параметры заготовки, которую предстоит обработать: качественное состояние поверхностей (предварительно обработанные, литейная корка и т. п.), свойства материала заготовки (вид материала, его твердость), геометрические характеристики (величина размеров, допуска); затем устанавливаются параметры детали, требуемые после обработки (геометрические размеры с допусками, шероховатость поверхности, требования к форме и пространственному положению).

После получения полного представления о том, что и из чего предстоит сделать, приступают ко второму этапу: устанавливают, как и чем это будет достигаться. На основании рекомендаций и положений, изложенных ранее в настоящем пособии, устанавливают технологию обработки: определяют состав переходов предстоящей обработки, устанавливают порядок выполнения переходов, выясняют тип применяемого режущего и вспомогательного инструмента, его геометрические и механические характеристики; определяют режимы резания (подачу, скорость резания). При выполнении данного этапа следует учесть: режимы резания желательнее определять не только для каждого инструмента, но и для каждой обрабатываемой элементарной поверхности. Учет этих требований позволит максимально использовать возможности станка и инструментов, что окупит затраты времени на проектирование.

На третьем этапе определяют траектории перемещений каждого инструмента – строят схемы движения инструментов, определяют координаты точек (устанавливают положение нуля детали, исходной точки, опорных точек) и порядок обхода их инструментом (рисунок 1.2).



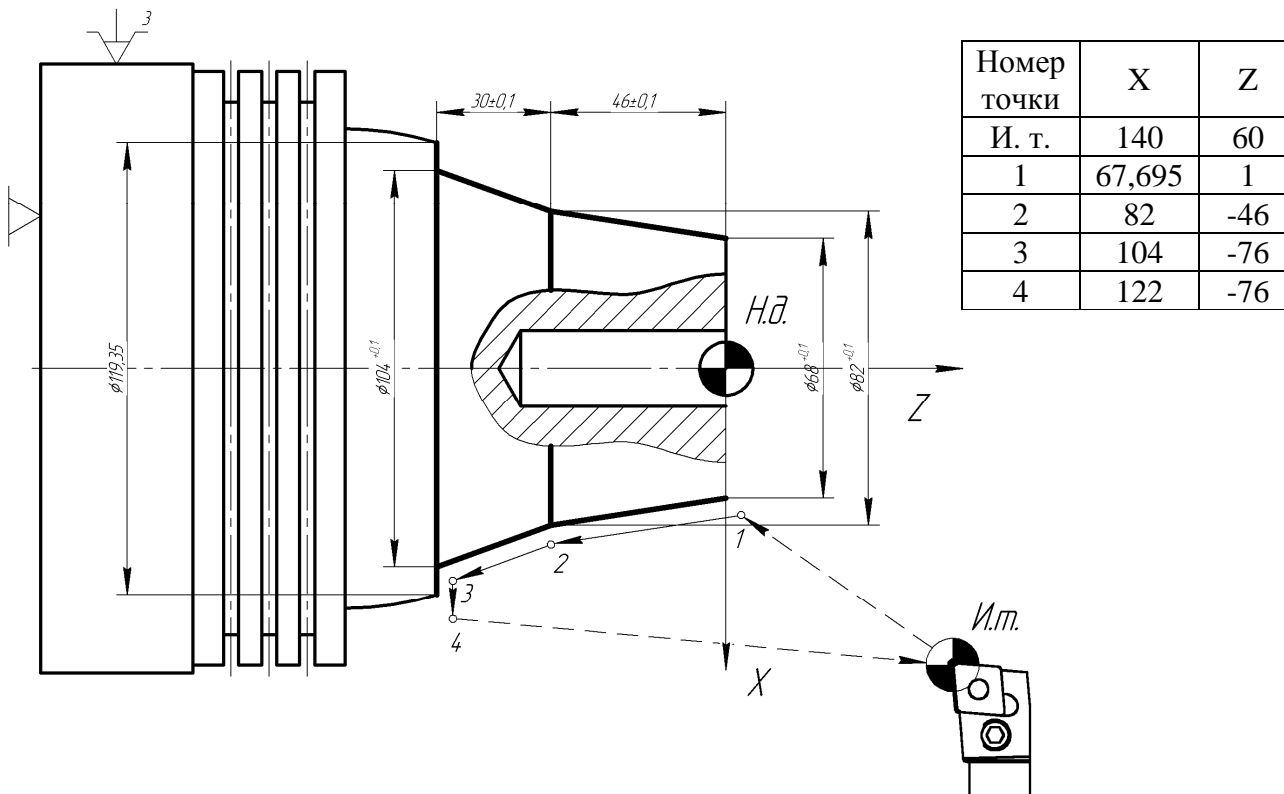


Рисунок 1.2 – Траектория перемещения инструмента

#### 1.4 Разработка схемы движения режущих инструментов

Разработка схемы движения начинается с определения положения нуля детали и исходной точки. За нуль детали можно принять любую точку, но обычно принимают точку, расположенную на правом торце детали с координатой X, равной 0 (для токарной обработки) (см. рисунок 1.2). Из нуля детали строятся оси системы координат и наносится их обозначение (см. рисунок 1.2). При выборе нуля детали нужно учитывать следующие рекомендации:

- нуль детали должен по возможности находиться на физической поверхности детали – сокращаются затраты времени на наладку;
- должен совпадать с конструкторской базой – тем самым отпадает необходимость в пересчетах размерных цепей;
- должен обеспечивать удобство программирования.

После выбора нуля детали выбирают положение исходной точки – точки, в которой находится инструмент перед началом обработки. Она должна быть выбрана таким образом, чтобы суппорт (шпиндель) и закрепленный инструмент не мешали смене заготовок, но при этом она должна быть как можно ближе к заготовке с целью сокращения затрат времени на холостые ходы. Положение наносится на эскизе с обозначением ее координат (см. рисунок 1.2).

На схеме движения инструментов изображаются траектории движения режущих кромок инструментов, участвующих в обработке детали. Сплошными

линиями указываются рабочие движения, а пунктирными – холостые. Последовательно расположенные опорные точки, в которых происходит изменение направления движения инструмента, обозначают арабскими цифрами. Цифра соответствует номеру точки. Направление движения указывается стрелкой (см. рисунок 1.2).

Схема движения инструментов предназначена для учета всех без исключения перемещений инструментов, как по величине, так и по направлению. Если в обработке детали участвуют до трех инструментов при небольшом количестве опорных точек, то вычерчивается общая схема для всех инструментов. При большом числе инструментов и значительном количестве опорных точек следует вычерчивать схему движения для каждого инструмента отдельно. Проектирование схем движения инструментов должно завершиться вычерчиванием обрабатываемого контура детали и соответствующей ему траектории инструмента с нанесением осей координат детали и указанием координат ее базовых поверхностей, т. е. расстояния от нулевой точки детали до исходной точки программы. При построении траектории в обязательном порядке необходимо учитывать следующий момент: начинаться и заканчиваться движение инструмента с рабочей подачей должно на некотором расстоянии от заготовки (запас на врезание и перебег – обычно 0,5...2 мм).

На этом этапе устанавливают также необходимые вспомогательные команды на смену режущего инструмента, изменение числа оборотов шпинделя и подач, включение подачи смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону обработки и другие технологические команды.

Составление программы осуществляется по инструкции по программированию конкретного станка.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель практической работы.
- 2 Чертеж детали с указанием способа базирования, положения нуля детали и направления осей.
- 3 Эскизы необходимых инструментов с указанием точек привязок.
- 4 Попереходные эскизы обработки с указанием опорных точек и траектории перемещения инструмента.
- 5 Таблица опорных точек.
- 6 Текст управляющей программы.
- 7 Выводы.



## 2 Практическое занятие № 2. Программирование перемещений. Круговая интерполяция

**Цель практической работы** – приобретение навыков разработки управляющих программ обработки на основе применения G-кодов (в соответствии со стандартами ISO).

### 2.1 Общие сведения о программировании круговой интерполяции

Круговая интерполяция (G02–G03) определяет круговое движение по часовой стрелке (G02) или против часовой стрелки (G03).

Формат:

$$G02(G03) Xx Zz Rr,$$

где  $r$  – радиус дуги окружности.

Значение радиуса может быть положительным или отрицательным: «+» – для дуги до 179.9990; «-» – для дуги от 180 до 359.9990.

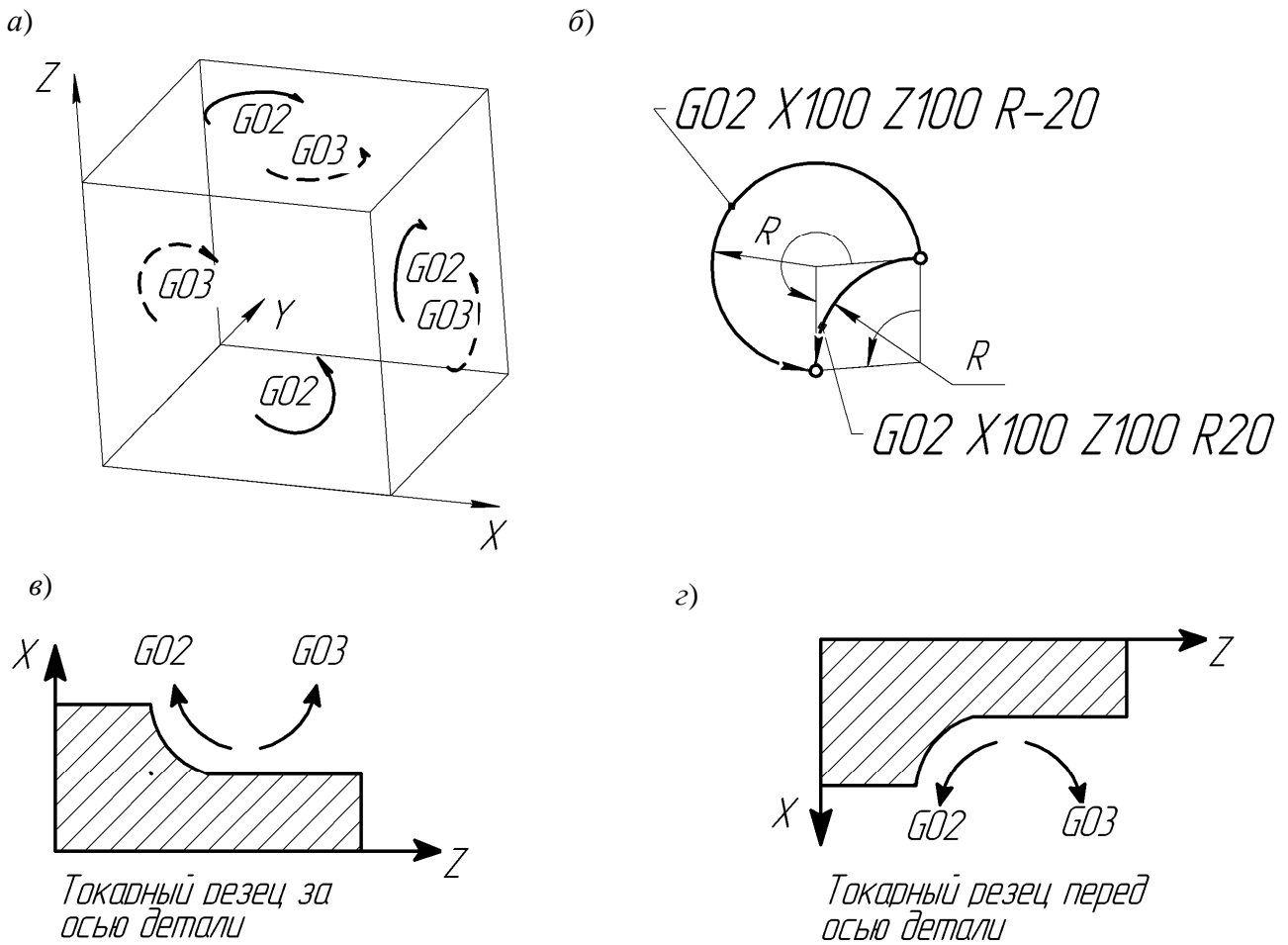
Направление кругового движения (по часовой или против часовой стрелки) определяется по направлению в плоскости интерполяции, если смотреть со стороны положительной полуоси, перпендикулярной к плоскости интерполяции в соответствии с рисунком 2.1.

В качестве примера можно представить обработку заготовки детали, изображенной на рисунке 2.2, текст управляющей программы приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Пример обработки вала

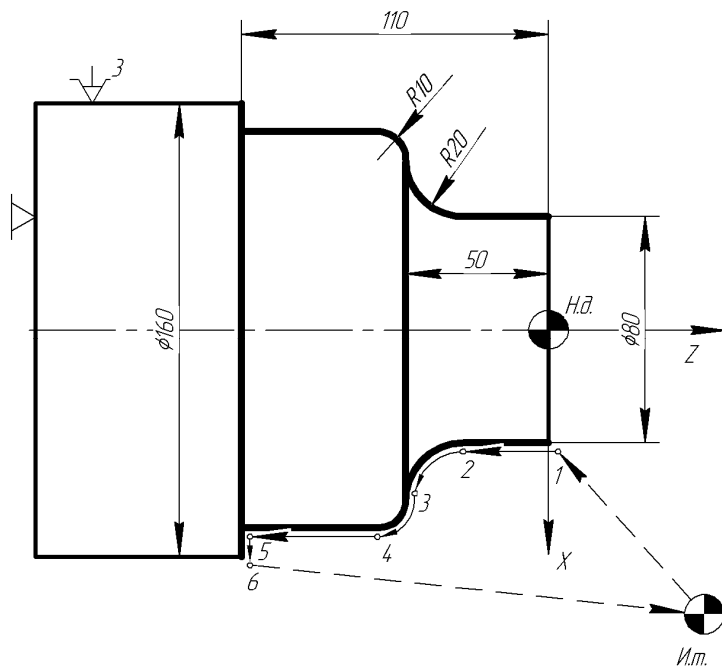
Программа	Комментарий
N1 T1.1M6	Установить на обработку первый инструмент
N2 SSL=2200	Ограничить частоту вращения шпинделя до 2200 об/мин
N3 G96 F0.1 S140 M13	Режимы резания: подача – 0,1 мм/об, скорость – 140 м/мин; включить вращение шпинделя по часовой стрелке и подачу СОЖ
N4 G0 X80 Z1	Переместить инструмент на ускоренной подаче в точку 1
N5 G1 Z-30	Точить цилиндрическую ступень Ø80 до точки 2
N6 G2 X120 Z-50 R20	Обрабатывать галтель радиусом 20 мм по часовой стрелке
N8 G3 X140 Z-60 R10	Обрабатывать скругление радиусом 10 мм
N10 G1 Z-110	Точить цилиндрическую ступень Ø140 до точки 5
N11 X166	Подрезать торец до точки 6
N12 G0 X170 Z60	Переместить ускоренно инструмент в исходную точку
N13 M30	Выключить шпиндель, подачу СОЖ





*a* – в соответствии с плоскостью интерполяции; *б* – установление знака радиуса; *в, г* – для токарного станка

Рисунок 2.1 – Схема определения типа круговой интерполяции



Номер точки	X	Z
И. т.	170	60
1	80	1
2	80	-30
3	120	-50
4	140	-60
5	140	-110
6	166	-110

Рисунок 2.2 – Обработка поверхностей детали с применением круговой интерполяции



## 2.2 Исходные данные для выполнения практической работы

Студент в соответствии со своим вариантом выбирает задание для нечетных вариантов (рисунок 2.3) – из таблицы 2.2, а для четных (рисунок 2.4) – из таблицы 2.3. Обработку наружных поверхностей выполнить в абсолютной системе координат, внутренних поверхностей – в приращениях.

Таблица 2.2 – Варианты заданий

Вариант	D1	D2	D3	D5	L1	L2	L3	L4	C1	C2	R1	R2	R3	A	B
1	152	140	90	40	70	10	16	20	3	10	2	5	70	15	45
3	126	100	50	20	88	16	18	18	2	8	5	7	88	25	60
5	124	104	54	22	60	14	20	20	4	6	3	4	60	40	50
7	132	112	52	28	90	20	22	22	5	3	4	5	90	35	45
9	138	108	58	22	120	28	24	5	3	9	8	8	20	30	60
11	112	90	40	20	100	18	26	8	2	7	6	3	30	20	50
13	142	110	72	48	110	16	28	10	4	5	5	6	40	10	45
15	120	98	60	30	92	30	30	15	5	10	4	4	52	25	60
17	110	90	60	28	86	12	32	12	3	8	4	7	66	15	50
19	150	120	76	42	74	26	34	10	2	4	10	8	44	25	45
21	140	112	60	40	80	22	18	5	4	3	7	2	20	40	60
23	130	106	52	22	108	12	20	15	5	9	4	6	58	35	50
25	128	104	54	26	112	8	22	10	3	7	6	5	72	30	45
27	144	108	70	42	104	20	24	10	2	5	12	3	64	20	60
29	120	88	60	40	96	18	20	10	4	6	8	4	46	10	50

Таблица 2.3 – Варианты заданий

Вариант	D1	D2	D3	D4	D5	D6	L1	L2	L3	L4	L5	R1
2	100	90	70	50	40	80	10	10	16	24	5	20
4	120	100	76	52	48	90	12	16	18	26	9	24
6	110	100	72	54	46	84	14	14	20	28	8	22
8	150	130	100	56	44	110	16	20	22	30	10	40
10	140	120	80	58	42	100	18	28	24	32	12	25
12	130	110	74	60	40	90	20	18	26	34	10	15
14	128	122	88	62	48	100	22	16	28	18	9	14
16	144	130	96	64	46	110	24	30	30	40	15	20
18	90	84	60	50	44	70	26	12	32	50	6	10
20	160	130	90	66	42	110	28	26	34	30	13	18
22	158	140	106	68	40	120	30	22	18	32	11	24
24	98	92	70	52	46	80	32	12	20	34	6	14
26	104	88	70	54	44	60	34	8	22	36	4	14
28	124	112	80	70	42	90	36	20	24	38	10	10
30	114	100	74	60	40	90	40	18	20	42	9	12



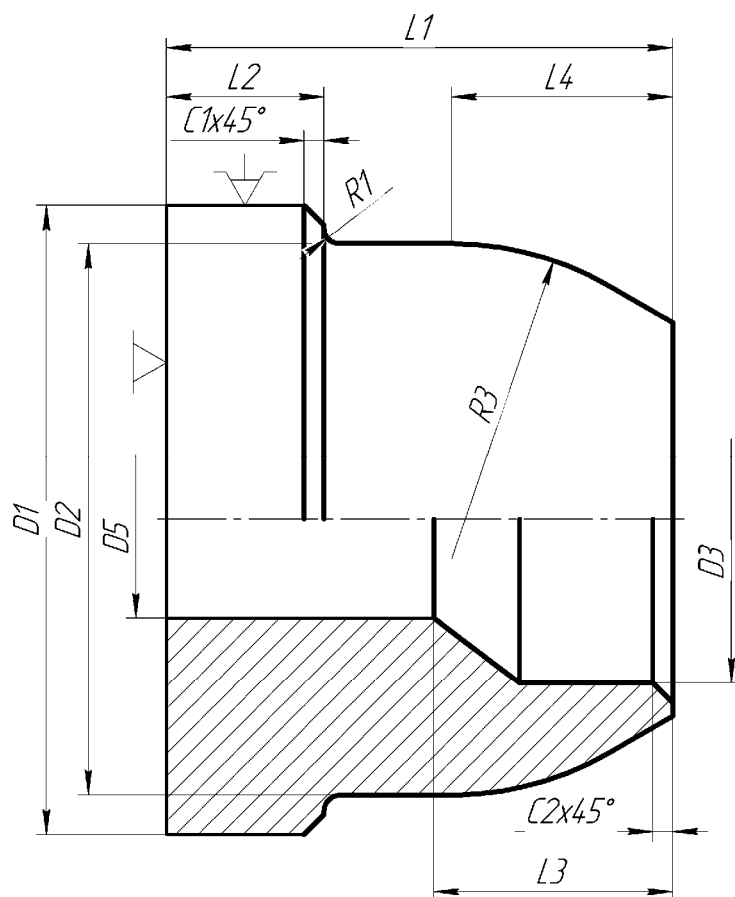


Рисунок 2.3 – Схема обработки для нечетных вариантов

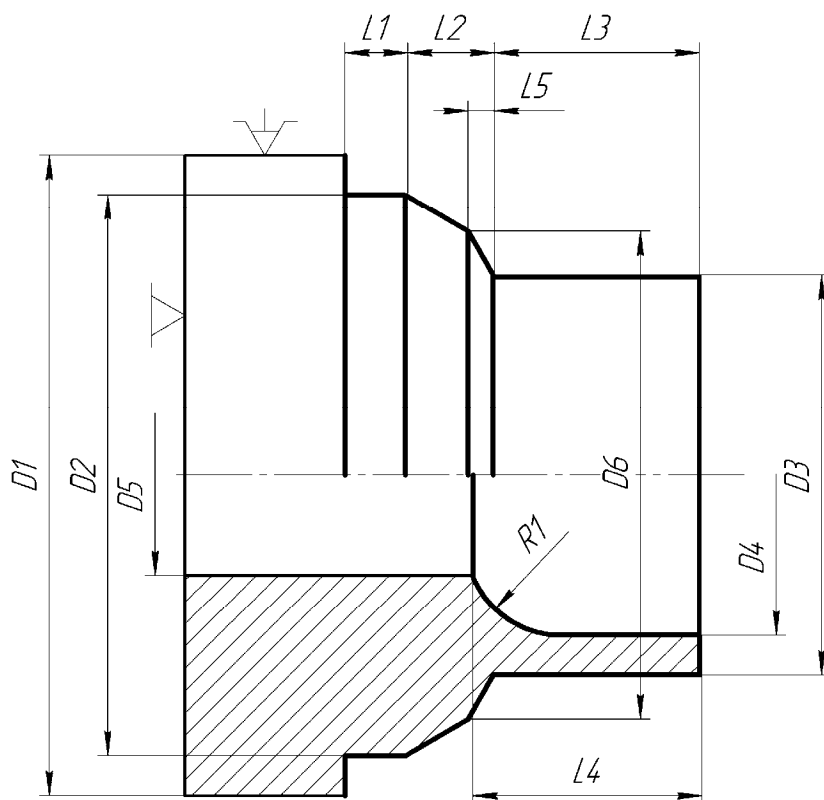


Рисунок 2.4 – Схема обработки для четных вариантов

### 3 Практическое занятие № 3. Программирование перемещений. Относительная система координат

**Цель практической работы** – приобретение навыков разработки управляющих программ обработки на основе применения G-кодов (в соответствии со стандартами ISO).

#### 3.1 Общие сведения о программировании

Система ЧПУ позволят выполнять программирование в абсолютной системе, по приращениям путем использования подготовительных функций:

G90 – программирование в абсолютной системе (движения относительно нуля детали, действует по умолчанию);

G91 – программирование в системе по приращениям (движения относительно последнего местоположения);

G79 – программирование относительно нуля станка (применяется редко и рассматриваться не будет).

Программирование по приращениям удобно применять, когда размеры на чертеже указаны не от одной базы, а в виде размерной цепи. При таком методе программирования координаты последующей точки записываются относительно предыдущей, при этом если перемещение осуществляется против положительного направления оси, то перед числовым значением координаты ставится знак «-». В качестве примера (таблица 3.1) запишем УП для детали, изображенной на рисунке 2.2, в приращениях.

Таблица 3.1 – Пример обработки вала

Программа	Комментарий
N1 T1.1M6	Установить на обработку первый инструмент с первым корректором
N2 SSL=2200	Ограничить максимальную частоту вращения шпинделя до 2200 об/мин
N3 G96 F0.1 S140 M13	Режимы резания: подача – 0,1 мм/об, скорость резания – 140 м/мин; вращение шпинделя по часовой стрелке и включить подачу СОЖ
N4 G90 G0 X80 Z1	Переместиться на ускоренной подаче в точку 1 в абсолютной системе координат
N5 G91 G1 Z-31	Осуществить точение цилиндрической ступени Ø80 до точки 2
N6 G2 X40 Z-20 R20	Обработать галтель радиусом 20 мм – движение инструмента по часовой стрелки
N8 G3 X20 Z-10 R10	Обработать скругление радиусом 10 мм – движение инструмента против часовой стрелки
N10 G1 Z-50	Осуществить точение цилиндрической ступени Ø140 до точки 5
N11 X26	Подрезать торец до точки 6
N12 G90 G0 X170 Z60	Ускоренно возвратить инструмент в исходную точку
N13 M30	Завершить программу, выключить шпиндель, подачу СОЖ





## ***Содержание отчета***

- 1 Цель практической работы.
- 2 Чертеж детали с указанием способа базирования, положения нуля детали и направления осей.
- 3 Эскизы необходимых инструментов с указанием точек привязок.
- 4 Попереходные эскизы обработки с указанием опорных точек и траектории перемещения инструмента.
- 5 Таблица опорных точек.
- 6 Текст управляющей программы.
- 7 Выводы.

## **4 Практическое занятие № 4. Программирование обработки валов**

**Цель практической работы** – приобретение практических навыков разработки управляющих программ обработки на основе применения токарных технологических циклов.

### ***4.1 Сведения о программировании***

Программирование многопроходных черновых операций по съему большого количества материала (особенно при обработке деталей из проката) средствами языка ISO может оказаться достаточно трудоемкой задачей. В связи с этим практически любая система ЧПУ содержит вспомогательные технологические циклы, автоматизирующие многопроходную обработку типовых поверхностей. При использовании подобных циклов система автоматически выполняет разделение снимаемого припуска на отдельные ходы инструмента, осуществляет расчет и автоматическое выполнение траектории перемещений инструмента.

Основные циклы токарной обработки системы ЧПУ NC-201:

TGL – цикл нарезания пазов;

FIL – цикл нарезания резьбы;

SPA – осепараллельная черновая обработка без чистовой обработки;

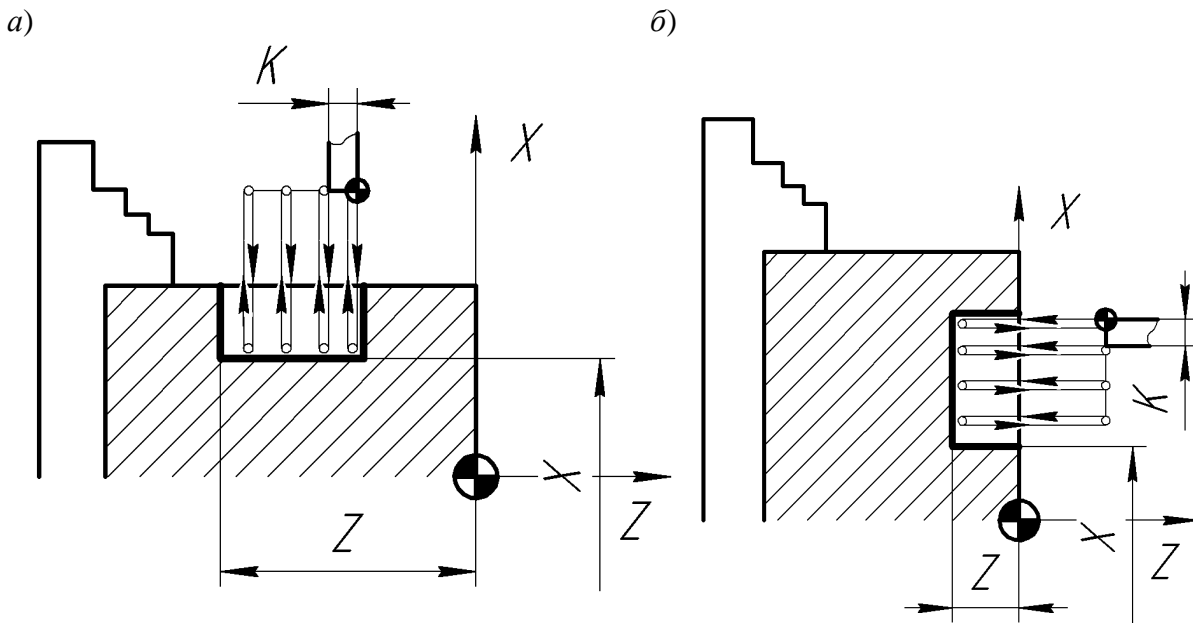
SPF – осепараллельная черновая обработка с предварительной чистовой обработкой;

SPP – черновая обработка параллельно профилю;

CLP – чистовая обработка профиля.

*Цикл нарезания канавок.* Этот цикл осуществляет обработку внешних или внутренних канавок, параллельных оси X или Z (рисунок 4.1).





*a* – схема обработки канавки параллельно оси *Z*; *б* – схема обработки канавки параллельно оси *X*

Рисунок 4.1 – Программирование обработки канавок

Чтобы получить паз, параллельный оси *Z*, используется следующий формат:

$$(TGL, Zz, Xx, Kk),$$

где *z* – конечный размер паза;

*x* – внутренний диаметр;

*k* – ширина инструмента.

Чтобы запрограммировать обработку паза, параллельного оси *X*, необходимо использовать следующий формат:

$$(TGL, Xx, Zz, Kk),$$

где *x* – конечный размер паза;

*z* – внутренний размер паза;

*k* – ширина инструмента.

Кадр с командой *TGL* должен предшествовать кадр с перемещением типа *G0/G1* в начальную точку цикла. Устройство управления автоматически устанавливает остановку в конце паза. Длительность остановки определяется параметром *TMR*. В конце паза инструмент возвращается в начальную точку цикла, определяемую в предыдущем кадре.

*Цикл нарезания резьбы.* Цикл нарезания резьбы позволяет программировать в одном кадре цилиндрическую или коническую резьбу (рисунок 4.2). Формат

$$(FIL, Zz, Xx, Kk, Ll, Rr, Tt, Pp, ao, bv),$$

где  $z$  – конечный размер  $Z$ ;

$x$  – конечный размер  $X$ ;

$k$  – шаг резьбы;

$l$  – число ходов инструмента при черновой и чистовой обработках, разделенных десятичной точкой (например, L11.2);

$r$  – расстояние между инструментом и поверхностью детали (по умолчанию  $R = 1$ ) при холостых ходах инструмента;

$t$  – 4-цифровой код, определяющий тип нарезания резьбы (по умолчанию T0000, таблица 4.1);

$p$  – число заходов (по умолчанию P1);

$o$  – угол резьбы (только для нестандартной);

$v$  – глубина резьбы.

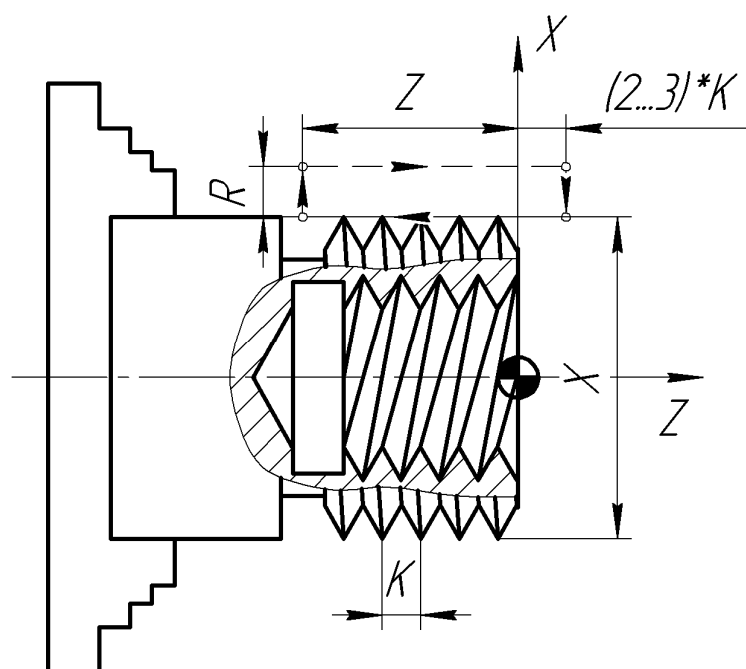


Рисунок 4.2 – Схема обработки резьб

При выполнении резьбы на торцевой поверхности следует адреса  $Z$  и  $X$  поменять местами.

Величина шага резьбы имеет знак «+» или «-». Знак шага определяет ось, вдоль которой выполняется резьба: «+» - вдоль оси  $Z$ ; «-» – вдоль оси  $X$ .

В случае конической резьбы знак для шага устанавливается в зависимости от величины перемещения по осям, определяющим конус: «+» – перемещение больше вдоль оси  $Z$ ; «-» – перемещение больше вдоль оси  $X$ .

Устройство управления автоматически вычисляет позиции, скользя вдоль края резьбы, так что часть результирующей стружки остается постоянной. Для резьб с несколькими заходами необходимо только определить шаг каждого витка.

Таблица 4.1 – Назначение четырехзначного кода T

T0000					
1-я и 2-я цифры	Технологические особенности	3-я цифра	Поверхность	4-я цифра	Вид резьбы
00	Нарезание с конечным пазом, врезание под углом	0	Внешняя резьба	0	Метрическая
01	Нарезание без конечного паза, врезание под углом			1	Дюймовая
10	Нарезание без конечного паза, врезание под углом	1	Внутренняя резьба	2	Нестандартная, с глубиной и углом, определяемыми параметрами «a» и «b»
11	Нарезание без конечного паза, врезание радиально				

Для резьб с конечным пазом необходимо программировать теоретический конечный Z, т. к. фиксированный цикл обеспечивает увеличение хода, равное половине шага. В резьбах без конечного паза инструмент достигает программируемого размера и затем перемещается обратно с конической резьбой вдоль обратного диаметра. Перед обработкой резец необходимо поместить в начальную точку: по оси X – наружный диаметр, по оси Z – должна отстоять минимум на один шаг резьбы.

*Определение профиля.* Для успешного выполнения остальных технологических циклов необходимо заранее установить профиль обрабатываемой детали с помощью команды DFP. Формат

$$(DFP, n),$$

где  $n$  – номер профиля, может принимать значения от 1 до 8.

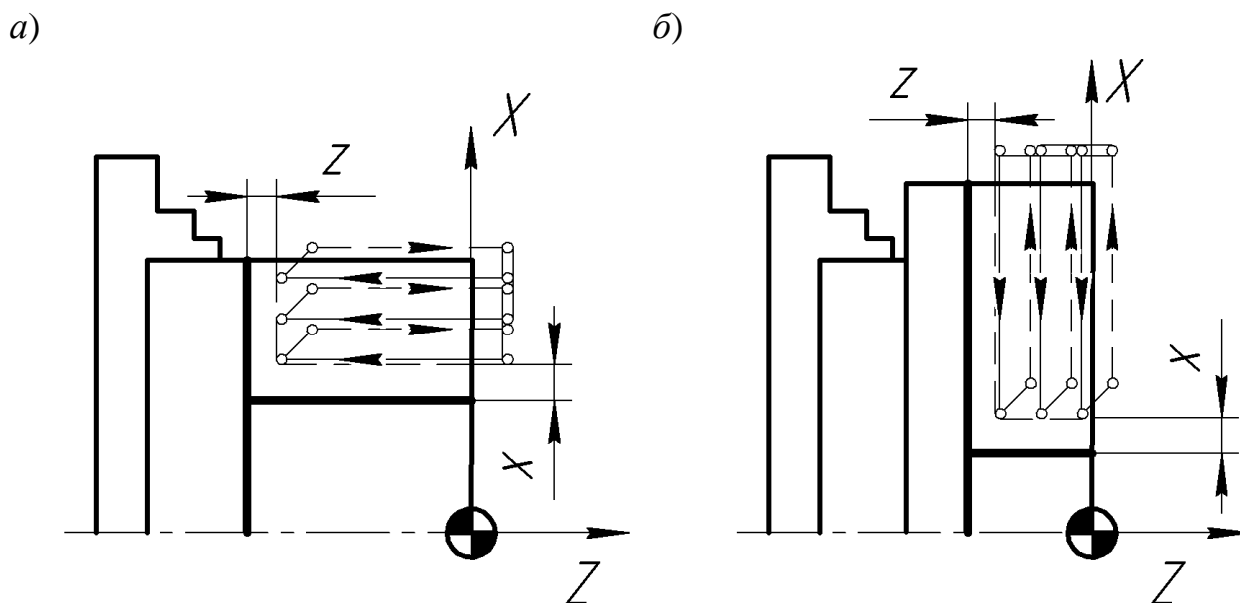
Этот код позволяет определить и сохранить до восьми профилей. Внутри каждого профиля можно определить до 16 элементов по стандартам ISO или GTL. Заданные профили могут вызываться из циклов черновой или чистовой обработки.

При описании профиля следует помнить, что:

- по стандарту ISO все кадры профиля должны содержать контурные коды (G1, G2, G3). Код быстрого хода G0 может появляться только в первом кадре;
- учитывая, что функции F могут программироваться внутри профиля, они только будут активизироваться во время цикла чистовой обработки профиля;
- DFP всегда должен предшествовать соответствующему циклу обработки;
- направление описания профиля должно совпадать с направлением рабочих ходов инструмента (если инструмент при снятии припуска перемещается справа налево, то и профиль необходимо описывать справа налево; если от периферии к оси, то и профиль также);
- для использования компенсации радиуса инструмента программируется G40/G41/G42 внутри цикла DFP;
- описание профиля заканчивается командой EPF.



Многопроходная осепараллельная черновая обработка. Чтобы запрограммировать черновую обработку параллельно оси X, используется следующий формат (рисунок 4.3, а):

$$(SPA, X, n, Ll, Xx, Zz).$$


а – параллельно оси X; б – параллельно оси Z

Рисунок 4.3 – Схема многопроходной осепараллельной обработки:

Чтобы запрограммировать черновую обработку параллельно оси Z, используется формат (рисунок 4.3, б)

$$(SPA, Z, n, Ll, Xx, Zz),$$

где X или Z – признак оси (без значения), параллельно которой производится обработка;

n – номер профиля, ранее запомненного с DFP;

x – радиальный припуск по оси X под последующую обработку;

z – припуск по оси Z под последующую обработку;

l – число черновых ходов (от 1 до 255). Припуски можно не указывать, опустить. Если они присутствуют, то всегда должны иметь положительную величину.

На основе начальной точки и направления профиля устройство управления автоматически решает, какой должна быть черновая обработка – внутренней или внешней, и присваивает соответствующий знак припуску.

Начальная точка должна быть внешней относительно поля черновой обработки, по крайней мере, на величину программируемого припуска. Если профиль не монотонный, т. е., если он включает в себя выемки, инструмент автоматически обходит выемки во время черновой обработки. После окончания

обработки инструмент находится в точке, отстоящей от конечной точки профиля на расстоянии припуска плюс величина отскока (рисунок 4.4).

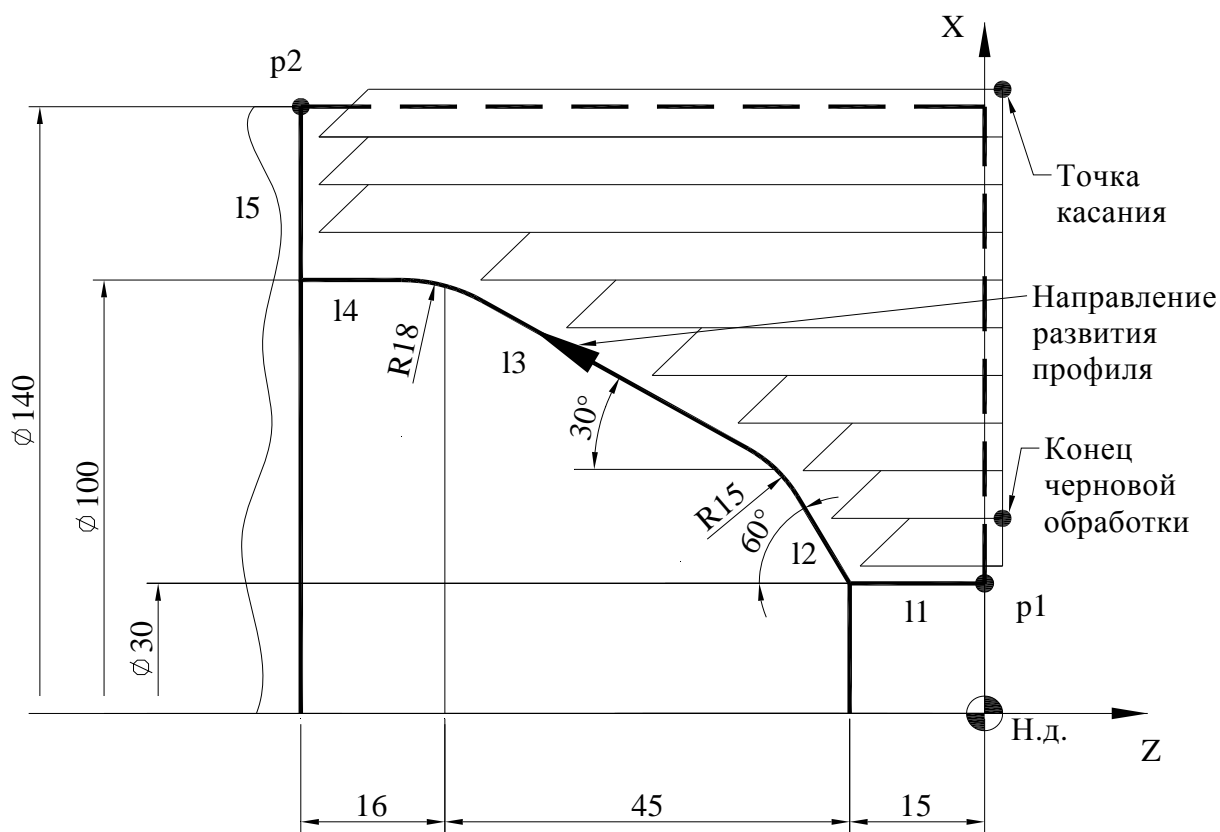


Рисунок 4.4 – Схема перемещений инструмента при многоходовой обработке по циклу SPA

Осепараллельная черновая обработка с последующей получистовой обработкой. Для программирования черновой обработки, параллельной оси X с конечной обработкой вдоль профиля, используется следующий формат:

$(SPF, X, n, Ll, Xx, Zz).$

Для программирования черновой обработки, параллельной оси Z, используется формат

$(SPF, Z, n, Ll, Xx, Zz).$

Параметры цикла имеют те же значения, что и в SPA.

Отличие обработки по циклу SPF от SPA заключается в том, что обработка завершается ходом инструмента вдоль контура детали и после обработки инструмент перемещается в точку начала цикла.

*Черновая обработка параллельно профилю.* Если заготовка имеет форму, приближенную к детали (поковка, отливка и т. п.), использование циклов обработки параллельно оси является неэффективным: значительное число

холостых перемещений на рабочей подаче, большое количество врезаний инструмента в металл. В таком случае рекомендуется обработка параллельно профилю: инструмент в каждом ходе перемещается по траектории, повторяющей профиль детали (рисунки 4.4, 4.5).

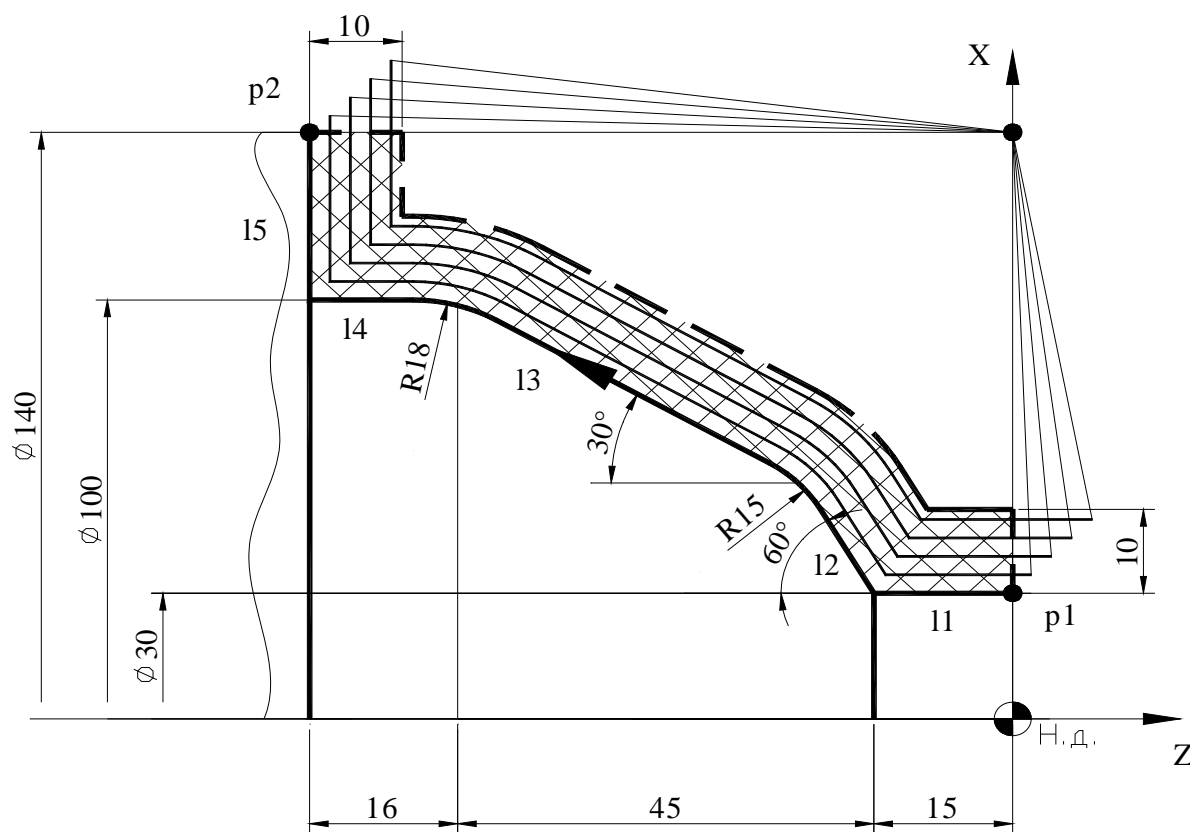


Рисунок 4.5 – Схема удаления припуска при черновой обработке, параллельной профилю

Приведенный алгоритм обработки реализуется с помощью цикла SPP.  
Формат

$$(SPP, n, Ll, Xx Xw, Zz Zu),$$

где  $n$  – номер профиля;

$l$  – число ходов;

$x, z$  – припуск по оси X и Z, оставленный под последующую обработку;

$w, u$  – припуск по оси X и Z перед обработкой.

*Цикл чистовой обработки профиля.* Для программирования чистовой обработки профиля используется следующий формат:

$$(CLP, n),$$

где  $n$  – имя профиля, ранее определенного с DFP;

CLP – это единственный цикл обработки, во время которого могут активизироваться функции F, программируемые внутри DFP.

В процессе выполнения данного цикла инструмент перемещается вдоль запрограммированного профиля в направлении его развития. Рассматриваемый цикл позволяет использовать для чистовой обработки ранее запрограммированный профиль для многопроходной обработки, облегчая программирование и сокращая затраты на разработку УП.

## 4.2 Пример выполнения работы

В качестве примера приведена программа обработки детали, представленной на рисунке 4.6.

В качестве заготовки принят прокат  $\text{Ø}50 \times 196,4$ .

Токарная обработка выполняется на станке 16К20Ф3 в два установа.

Установ А – черновая и чистовая токарные обработки вала с левой стороны.

Переход 1 – черновая обработка  $\text{Ø}30$  на длине 22,4 мм,  $\text{Ø}40$  на длине 23 мм,  $\text{Ø}49$  на длине 36 мм. Режущий инструмент – проходной упорный резец.

Переход 2 – чистовая обработка  $\text{Ø}30$  на длине 22,4 мм,  $\text{Ø}40$  на длине 23 мм,  $\text{Ø}49$  на длине 36 мм, обработка фасок  $1 \times 45^\circ$  на диаметрах 40 и 49 мм, фаски  $2 \times 45^\circ$  на диаметре 30 мм. Режущий инструмент – проходной упорный резец.

Переход 3 – точение канавок под стопорное кольцо и под выход шлифовального круга. Режущий инструмент – канавочный резец.

Выбираем схему базирования: обработка в центрах – задний центр вращающийся, передний центр плавающий с упором, вращение передается поводковым патроном.

Количество и состав инструмента, закрепляемого в револьверной головке, и его точки привязки приведены на рисунке 4.7.

Разработанная расчетно-технологическая карта на установ А приведена на рисунке 4.8.

Координаты опорных точек:

– И. т. – X60 Z20;

– в соответствии с требованиями применения цикла черновой обработки (SPF) координаты точки начала цикла 1 – X57 Z2;

– координаты остальных точек (2–20) рассчитывать нет необходимости, т.к. они определяются устройством ЧПУ.

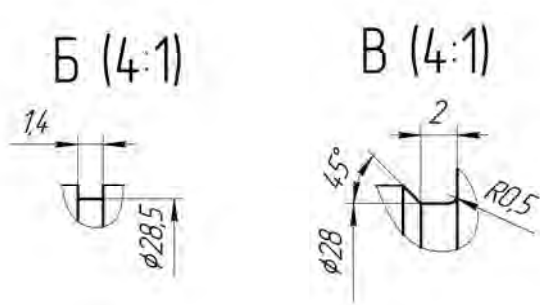
Расчет координат остальных опорных точек сведены в таблицу (см. рисунок 4.8).

Запись УП с комментариями приведена в таблице 4.2.

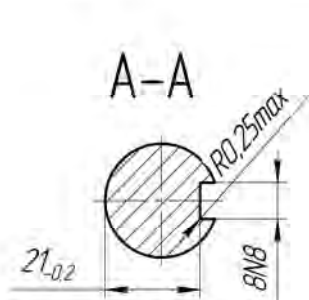
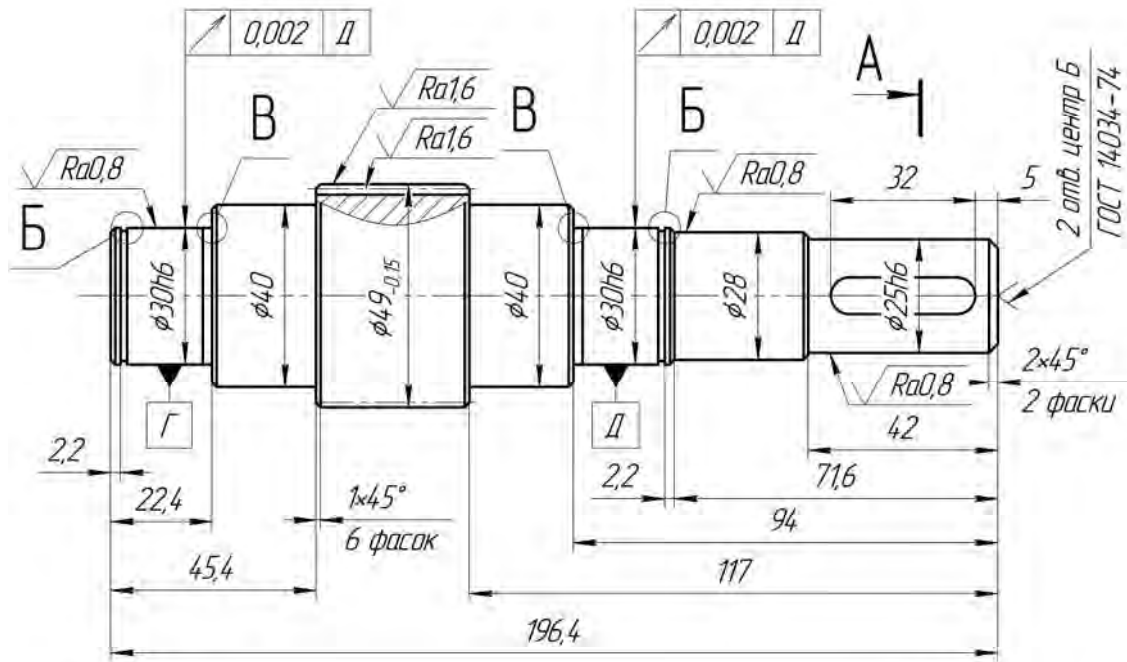




$\sqrt{Ra\ 6,3}$  (✓)



Модуль	m	1
Число зубьев	z	47
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	8-E
Делительный диаметр	d	47



1. 230...260 НВ НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: Н14, h14, ±IT14/2
3. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

Рисунок 4.6 – Чертеж вала-шестерни

T1 – черновой проходной упорный

T3 – чистовой проходной упорный

T5 – канавочный  
B = 1,4 мм

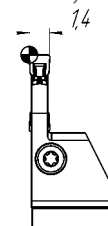
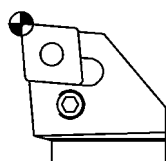
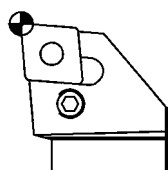
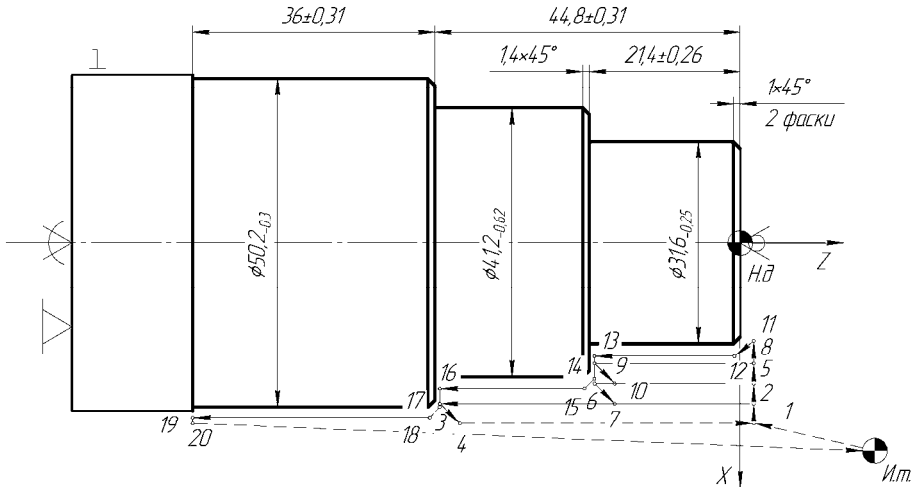


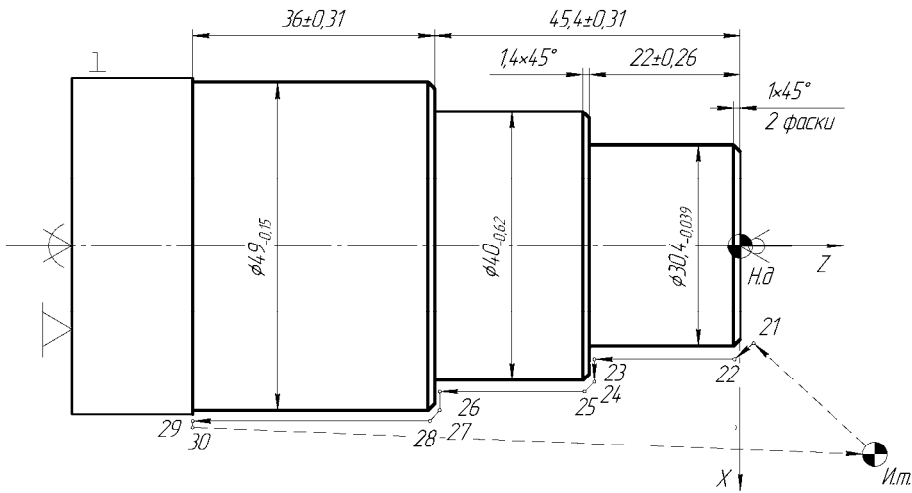
Рисунок 4.7 – Перечень инструмента для обработки вала



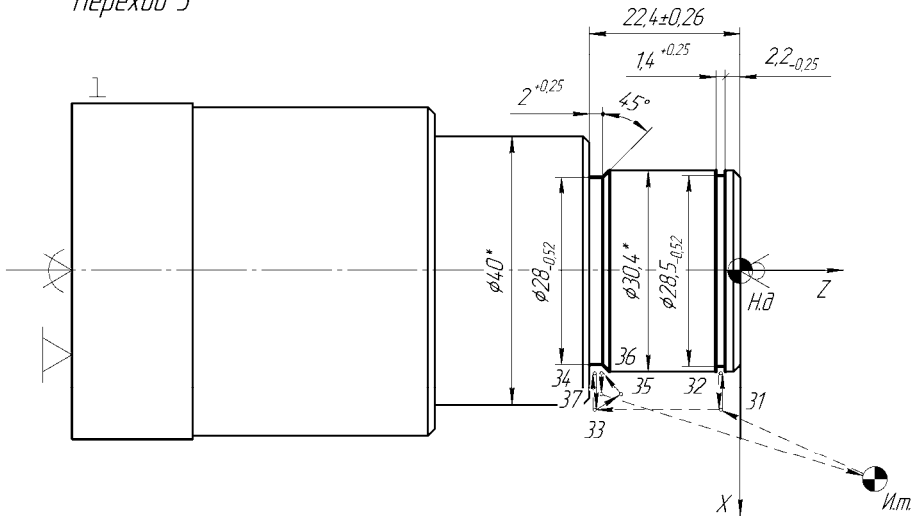
Переход 1



Переход 2



Переход 3



№	X	Z
И.м.	60	20
Переход 1		
1	57	2
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	-	-
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	-	-
Переход 2		
21	26,38	1
22	30,38	-1
23	30,38	-22
24	36,89	-22
25	39,69	-23,4
26	39,69	-45,4
27	46,92	-45,4
28	48,92	-46,4
29	48,92	-81,4
30	56	-81,4
Переход 3		
31	32	-3,6
32	28,2	-3,6
33	42	-22,4
34	27,8	-22,4
35	32	-19,7
36	27,8	-21,8
37	32	-21,8

Рисунок 4.8 – Расчетно-технологическая карта установка А



Таблица 4.2 – Управляющая программа с комментариями для выполнения обработки вала

Программа	Комментарий
1	2
N2 (DFP,1)	Задать профиль под номером 1, соответствующий размерам детали после чистовой обработки
N3 G0 X26.38 Z1	
N4 G1 X30.38 Z-1	
N5 Z-22	
N6 X36.89	
N7 X39.69 Z-23.4	
N8 Z-45.4	
N9 X46.92	
N10 X48.92 Z-46.4	
N11 Z-81.4	
N12 X56	
N14 (EPF)	
N16 T1.1 M6	Установить на обработку первый инструмент
N18 SSL=1500	
N19 G96 S100 F1 M3	Режимы резания для черновой обработки: подача – 1 мм/об, скорость резания 100 м/мин; вращение шпинделя по часовой стрелке
N21 G0 X57 Z2	Установить инструмент в точку начала цикла
N23 (SPF, Z, 1, L3, X0.5, Z0.5)	Обработать поверхности начерно параллельно оси Z, в соответствии с профилем 1, обработку выполнить за 3 черновых и один получистовой ходы, припуск под чистовую обработку оставить в размере 0,5 мм
N24 G0 X60 Z20	
N26 T3.3 M6	Установить чистовой резец
N28 G96 S160 F0.5	Установить чистовые режимы резания
N30 (CLP, 1)	Выполнить чистовую обработку по профилю 1
N31 G0 X60 Z20	
N33 T5.5 M6	Установить канавочный резец
N35 G96 S160 F0.1	Режимы резания для точения канавок
N37 TMR=0.5	Величина паузы для проточки дна канавки
N39 X32 Z-3.6	В связи с тем, что ширина резца равна ширине канавки, обработку программировать без применения технологического цикла
N40 G4 G1 X28.2	
N41 G0 X32	

Окончание таблицы 4.2

1	2
N42 X42 Z-22.4	Обработка канавки под выход шлифовального круга
N43 G4 G1 X27.8	
N44 X42	
N45 G0 X32 Z-19.7	
N46 G4 G1 X27.8 Z-21.8	
N47 G0 X32	
N45 X60 Z20 M30	

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель практической работы.
- 2 Чертеж детали с указанием способа базирования, положения нуля детали и направления осей.
- 3 Эскизы необходимых инструментов с указанием точек привязок.
- 4 Попереходные эскизы обработки с указанием опорных точек и траектории перемещения инструмента.
- 5 Таблица опорных точек.
- 6 Текст управляющей программы.
- 7 Выводы.

## **5 Практическое занятие № 5. Программирование обработки отверстий**

**Цель практической работы** – приобретение практических навыков разработки управляющих программ обработки отверстий на основе применения G-кодов (в соответствии со стандартами ISO).

### ***5.1 Программирование обработки отверстий***

Функции постоянных циклов G81–G89 позволяют программировать ряд переходов (сверление, нарезание резьбы метчиком, растачивание и т. д.) без повторения для каждой из них размеров отверстия (таблица 5.1).

Формат кадра постоянного цикла (G81, G82, G85, G86, G89) следующий:

$$\begin{aligned}
 &G8n \ Rr \ Rq \ Zz \\
 &Xx \ Yy \\
 &Xx \ Yy \\
 &\dots \\
 &G80,
 \end{aligned}$$


где  $n$  – номер цикла (1, 2, 5, 6, 9);

$r$  – координата по оси  $Z$  начала движения инструмента с рабочей подачей при обработке отверстия;

$q$  – координата по оси  $Z$  вывода инструмента из отверстия в конце обработки; если  $Rq$  отсутствует, то  $Rr$  считается конечной координатой;

$z$  – глубина отверстия;

$x, y$  – координаты отверстий, подлежащих обработке;

**G80** – код закрытия цикла.

Таблица 5.1 – Характеристики постоянных циклов

Постоянный цикл	Подход	Функция на дне отверстия		Возврат
		Выдержка времени	Вращение шпинделя	
G81 сверление	Рабочая подача	Нет	Рабочая скорость	Быстрый ход
G82 растачивание	Рабочая подача	Да	Рабочая скорость	Быстрый ход
G83 глубокое сверление	В прерывистой работе	Нет	Рабочая скорость	Быстрый ход
G84 нарезание резьбы метчиком	Рабочая подача, начало вращения шпинделя	Нет	Изменение направления	Рабочая подача
G85 рассверливание	Рабочая подача	Нет	Рабочая скорость	Рабочая подача
G86 развертывание	Рабочая подача, начало вращения шпинделя	Нет	Останов	Быстрый ход
G89 развертывание с растачиванием	Рабочая подача	Да	Рабочая скорость	Рабочая подача

Последовательность движений при выполнении постоянного цикла можно представить следующим образом (рисунок 5.1).

1 Быстрое позиционирование к оси отверстия.

2 Быстрый подход к плоскости обработки (размер R1).

3 Перемещение со скоростью рабочей подачи до запрограммированного размера (Z).

4 Функции цикла на дне отверстия.

5 Возвращение на быстром ходу или со скоростью рабочей подачи к координате R1 (R2), если координата возврата отличается от координаты подхода R1.

При использовании постоянных циклов следует учитывать ограничения.

В кадре, содержащем функцию G постоянного цикла, не программируется никакое дополнительное движение осей, кроме самого цикла; цикл не приводится в действие, а кадр заносится в память системы. Цикл стартует координатами, запрограммированными сразу после кадра, содержащего постоянный цикл (после выполнения первого цикла для того, чтобы выполнить



последующие циклы, идентичные первому, достаточно запрограммировать координаты точек отверстия).

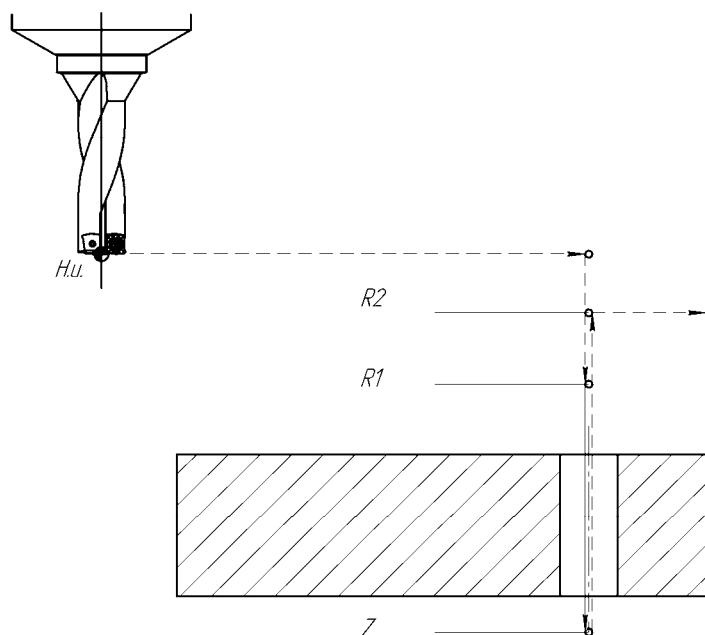


Рисунок 5.1 – Схема перемещений инструмента по циклам G81–89

Продолжительность паузы на дне отверстия программируется трехбуквенным кодом TMR.

Невозможно запрограммировать новый постоянный цикл без закрытия предыдущего постоянного цикла с помощью G80.

*Постоянный цикл глубокого сверления (G83). Формат кадра*

***G83 Rr Rq Zz Ii Kk Jj,***

где  $i$  – приращение размера Z после каждого цикла удаления стружки;

$j$  – минимальное приращение цикла удаления стружки; после достижения запрограммированного значения следуют постоянные приращения;

$k$  – коэффициент уменьшения параметра I (до достижения величины J).

Присутствие или отсутствие этих параметров определяет два разных цикла.

1 Если заданы параметры I, K, J, цикл имеет следующие шаги:

- быстрый подход к оси отверстия для обработки;
- быстрый подход к точке Rr;
- подход с рабочей подачей к точке Rr + I;
- быстрый возврат к точке Rr (удаление стружки);
- вычисление нового значения Rr:  $Rr = Rr + I - 1$ ;
- вычисление нового значения I:  $I = I \cdot K$ , если  $I \cdot K \geq J$ , и  $I = J$ , если  $I \cdot K < J$ .

Шаги, начиная со второго, выполняются один за другим до получения запрограммированного размера глубины сверления. Для сохранения параметра I неизменным (постоянное приращение) нужно запрограммировать  $K = 1$  при отсутствии параметра J.

2 Если параметры К и J не заданы (дробление стружки без удаления) – подача с постоянным приращением и выдержка времени при любом приращении обеспечивается следующими шагами:

- быстрый подход к центру отверстия для обработки;
- быстрый подход к размеру Rr;
- рабочая подача к точке Rr + I;
- выдержка времени, запрограммированная с TMR;
- подход по другой величине I (три последних шага следуют один за другим до достижения запрограммированного размера глубины);
- быстрый выход из отверстия к точкам Rr или Rq, если Rq запрограммирована.

*Постоянный цикл нарезания резьбы метчиком (G84) может быть выполнен двумя способами.*

1 При шпинделе без датчика.

Формат кадра цикла G84

***G84 Rr Rq Zz,***

где z – конечная координата нарезания резьбы.

При программировании необходимо учитывать следующее:

- размер перемещения быстрого хода инструмента к заготовке детали в операциях нарезания резьбы метчиком должен всегда заканчиваться на расстоянии от заготовки детали, равном пяти шагам резьбы, если глубина до трёх диаметров, или семи шагам, если глубина больше трёх диаметров;
- скорость подачи F, которую следует запрограммировать, вычисляется следующим образом:

$$F = S \cdot p \cdot 0,9,$$

где S – скорость вращения шпинделя;

p – шаг резьбы;

0,9 – коэффициент уменьшения скорости для сохранения упругости пружинного компенсатора резцедержателя.

Окончательный размер по оси Z должен быть уменьшен на величину, равную 10 % от фактического рабочего хода метчика.

2 При шпинделе с датчиком.

В данном случае существует два способа программирования функции G84:

1) использование программирования скорости подачи F, как в случае для шпинделя без датчика;

2) использование программирования шага резьбы K. В этом случае система автоматически вычисляет подачу, умножая шаг K на частоту вращения шпинделя.



Формат кадра цикла G84

**G84 Rr Rq Zz Kk,**

где  $k$  – шаг резьбы.

### 5.2 Пример выполнения работы

В качестве примера приводится программа обработки (таблица 5.2) детали, представленной на рисунке 5.2.

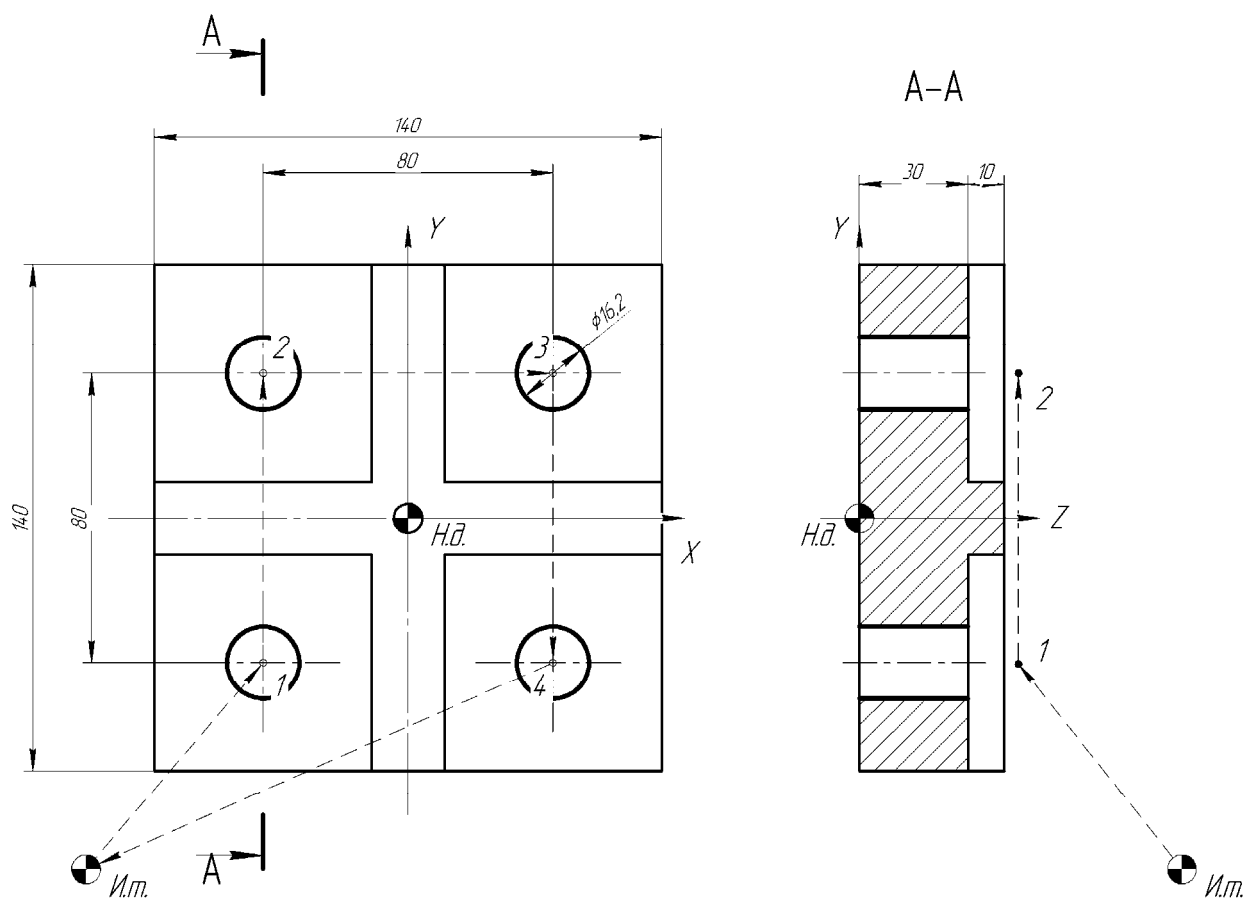


Рисунок 5.2 – Расчетно-технологическая карта сверления отверстий

Таблица 5.2 – Управляющая программа с комментариями для обработки отверстий (см. рисунок 5.2)

Программа	Комментарий
N1 T1.1 M6	
N2 S1100 F95 M13	
N3 Z45	
N4 G81 R33 R43 Z-5	Постоянный цикл сверления
N6 X-40 Y-40	Движение к точке 1 и выполнение цикла
N8 Y40	Движение к точке 2 и выполнение цикла



## Окончание таблицы 5.2

Программа	Комментарий
N10 X40	Движение к точке 3 и выполнение цикла
N12 Y-40	Движение к точке 4 и выполнение цикла
N14 G80 X-90 Y-90 Z80	Отмена действия цикла, возврат в исходную точку
N16 M30	

**Содержание отчета**

- 1 Цель практической работы.
- 2 Чертеж детали с указанием способа базирования, положения нуля детали и направления осей.
- 3 Эскизы необходимых инструментов с указанием точек привязок.
- 4 Попереходные эскизы обработки с указанием опорных точек и траектории перемещения инструмента.
- 5 Таблица опорных точек.
- 6 Текст управляющей программы.
- 7 Выводы.

**5.3 Исходные данные для выполнения практической работы**

Студенты выполняют практическую работу согласно рисунка 5.3 с размерами, указанными в таблице 5.3.

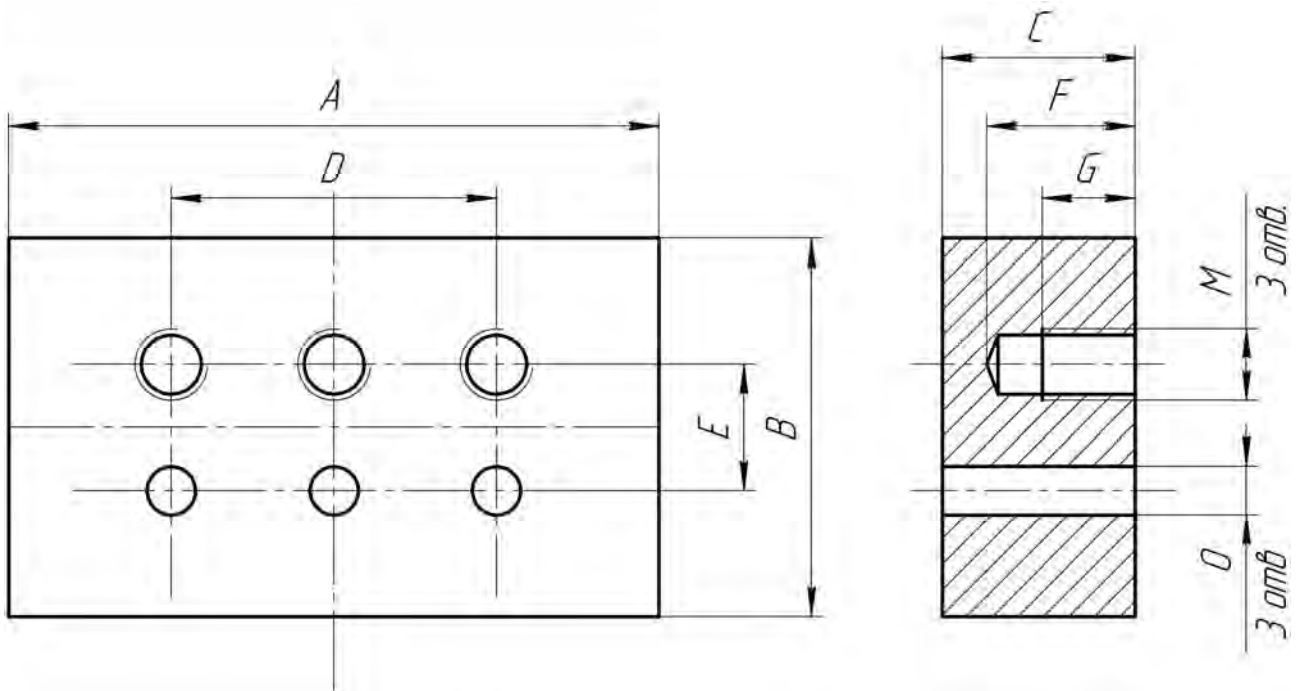


Рисунок 5.3 – Эскиз обрабатываемой детали

Таблица 5.3 – Размеры обрабатываемой детали

Вариант	A	B	C	D	E	F	G	O	M
1	140	100	50	70	32	33	25	16	M18
2	120	100	56	60	32	37	28	18	M18
3	200	130	42	100	42	28	21	14	M18
4	200	120	54	100	40	36	27	14	M16
5	160	140	40	80	46	26	20	14	M12
6	140	80	54	70	26	36	27	12	M18
7	120	70	52	60	22	34	26	8	M10
8	120	100	48	60	32	32	24	18	M16
9	150	80	40	75	26	26	20	18	M16
10	130	80	52	65	26	34	26	14	M18
11	190	160	60	95	52	40	30	12	M12
12	180	120	52	90	40	34	26	18	M12
13	170	90	42	85	30	28	21	10	M12
14	100	80	58	50	26	38	29	8	M20
15	100	90	48	50	30	32	24	8	M10
16	200	140	42	100	46	28	21	8	M18
17	140	100	52	70	32	34	26	18	M16
18	120	70	56	60	22	37	28	12	M18
19	200	110	44	100	36	29	22	18	M18
20	150	130	54	75	42	36	27	10	M10
21	170	120	50	85	40	33	25	8	M12
22	140	110	42	70	36	28	21	10	M18
23	190	130	60	95	42	40	30	12	M14
24	190	130	52	95	42	34	26	10	M12
25	180	150	46	90	50	30	23	18	M12
26	200	120	56	100	40	37	28	10	M12
27	140	80	52	70	26	34	26	8	M10
28	200	110	50	100	36	33	25	12	M20
29	140	90	44	70	30	29	22	14	M14
30	120	100	42	60	32	28	21	12	M10



## 6 Практическое занятие № 6. Программирование фрезерной обработки

**Цель практической работы** – приобретение навыков разработки управляющих программ фрезерования поверхностей закрытых и полукрытых карманов корпусных деталей на станке типа «обрабатывающий центр».

### 6.1 Типовые схемы переходов при фрезерной обработке

При программировании фрезерной обработки областей (зон) используют типовые схемы технологических переходов, определяющих правила построения траектории инструмента.

Существует две основные схемы формирования траектории движения фрезы при фрезерной обработке: зигзагообразная и спиралевидная.

Зигзагообразная схема (рисунок 6.1) характеризуется тем, что инструмент в процессе обработки совершает движение в противоположных направлениях вдоль параллельных строчек с переходом от одной строки к другой вдоль границы области. Эта схема достаточно распространена, но имеет ряд недостатков. Один из недостатков – переменный характер фрезерования: вдоль одной строки инструмент работает в направлении подачи, а вдоль следующей – против, что ведет к изменению сил резания и качества обработки. Другой недостаток схемы – повышенное число изломов на траектории инструмента. Это отрицательно сказывается на динамике резания и ведет к увеличению времени обработки, т. к. необходимо выполнять многочисленные операции по разгону и торможению привода подачи станка с ЧПУ.

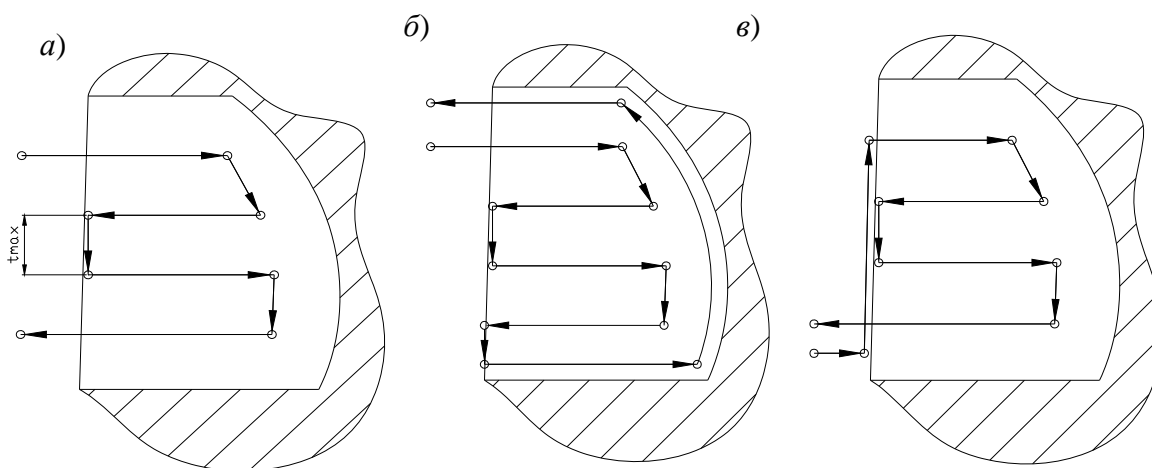


Рисунок 6.1 – Схемы зигзагообразных фрезерных переходов

Зигзагообразная схема имеет несколько разновидностей, связанных с порядком обработки границ: без обхода границ (см. рисунок 6.1, а), с проходом вдоль границ в конце обработки области (см. рисунок 6.1, б), с предварительным проходом вдоль границ (см. рисунок 6.1, в).

Спиралевидная схема отличается от зигзагообразной тем, что обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершаемыми вдоль внешней границы области на разном расстоянии от нее (рисунок 6.2, *а, б*). В отличие от зигзагообразной, спиралевидная схема обеспечивает более плавный характер обработки, т. к. направление фрезерования (по или против подачи) неизменно и нет дополнительных изломов траектории. Спиралевидная схема имеет две разновидности: первая характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (см. рисунок 6.2, *а*), а вторая – от границы области к ее центру (см. рисунок 6.2, *б*). Каждая из рассмотренных разновидностей спиралевидной схемы имеет два типа: с движением инструмента в направлении по или против часовой стрелки при наблюдении со стороны шпинделя.

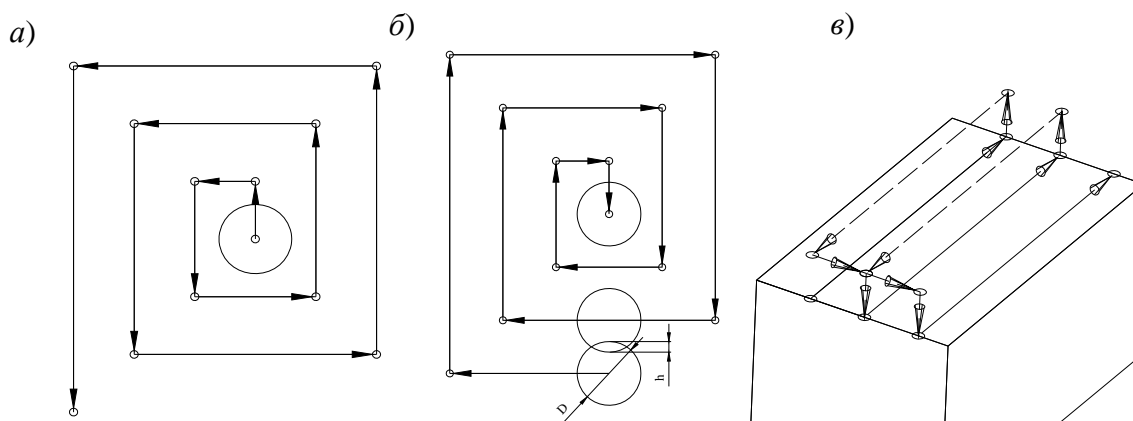


Рисунок 6.2 – Спиралевидные (*а*), (*б*) и Ш-образная (*в*) схемы фрезерных переходов

Одинаковый характер фрезерования можно выдерживать также с помощью схемы Ш-образного типа (рисунок 6.2, *в*). Согласно этой схеме инструмент после выполнения прохода вдоль строки отводится на необходимое расстояние от обработанной поверхности и на ускоренном ходу возвращается назад. Ш-образная схема имеет те же разновидности, что и зигзагообразная. Существенный недостаток этой схемы – большое число вспомогательных ходов.

При построении траектории инструмента на черновых переходах необходимо знать расстояние между соседними проходами фрезы, так как оно определяет глубину резания.

Максимально допустимая величина этого расстояния (см. рисунок 6.2, *а*) зависит от геометрических параметров используемого инструмента:

$$t_{\max} = D - 2r - h_1,$$

где  $D$  – диаметр фрезы;

$r$  – радиус скругления у торца;

$h_1$  – перекрытие между проходами (см. рисунок 6.2, *б*), обеспечивающее отсутствие гребешков.

Определенные трудности при программировании представляет спиралевидная схема, которая в идеальном случае должна иметь форму архимедовой спирали. Практически такую спираль реализовать очень сложно, поэтому обычно обработка ведется по двух- или четырехполюсной спирали (рисунок 6.3).

Такая спираль строится путем сопряжения дуг, имеющих общие центры в виде полюсов А и В (см. рисунок 6.3).

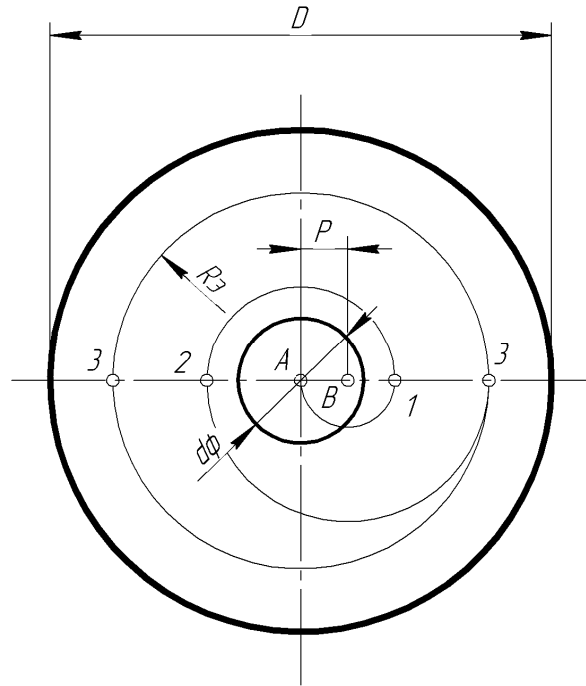


Рисунок 6.3 – Двухполюсная спираль фрезерных переходов

Исходными данными к расчету параметров фрезы являются:  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности;  $d_\phi$  – диаметр фрезы.

Радиус эквидистанты определяется по формуле

$$R_э = \frac{D - d_\phi}{2}.$$

Далее вычисляется коэффициент  $a$ :

$$\frac{R_э}{0,6d_\phi} \geq a \geq \frac{R_э}{0,8d_\phi}.$$

Коэффициент  $a$  принимается как меньшее целое из полученного интервала (например,  $5,7 \geq a \geq 3,4$ , принимаем  $a = 4$ ).

Определяем шаг спирали:

$$h = R_0 / a .$$

Расстояние между полюсами

$$P = h / 2 .$$

После того, как определены параметры спирали, выполняем ее построение: наносим первый полюс А в центр обрабатываемой окружности, второй полюс В располагаем на расстоянии Р от первого. Выполняем построение первой дуги: началом служит полюс А, а центром – полюс В; ведем ее до пересечения с осевой, проходящей через полюса (точка 1, рисунок 6.3). Строим следующую дугу: в качестве центра берем противоположный полюс, а началом дуги является окончание предыдущей (полюс А и точка 1 на рисунке 6.3). Построение проводим до тех пор, пока спираль не выйдет на эквидистанту.

При программировании фрезерной обработки важно выбрать способ врезания инструмента в металл. Наиболее простой способ – это врезание с подачей вдоль оси инструмента. Однако данный способ, во-первых, не пригоден для фрез, имеющих технологические центровые отверстия, во-вторых, из-за того, что фрезы работают плохо на засверливание, – не эффективен. Для использования этого способа рекомендуется предварительно обработать места врезания сверлом (см. рисунок 6.3, а).

К технологическому способу относят врезание при движении инструмента вдоль одной из строк с постепенным его снижением (см. рисунок 6.3, б). Этот способ также применяют при движении инструмента по окружности или вдоль границы обрабатываемой области.

В случае чистовой обработки контуров, как правило, врезание осуществляется по дуге окружности, касательной к контуру в точке, с которой должно быть начало движения инструмента вдоль контура (рисунок 6.4, в). Такой способ обеспечивает наиболее плавное изменение сил резания и минимальную погрешность обработки в упомянутой точке; он наиболее удобен с точки зрения ввода в управляющую программу коррекции на радиус инструмента.



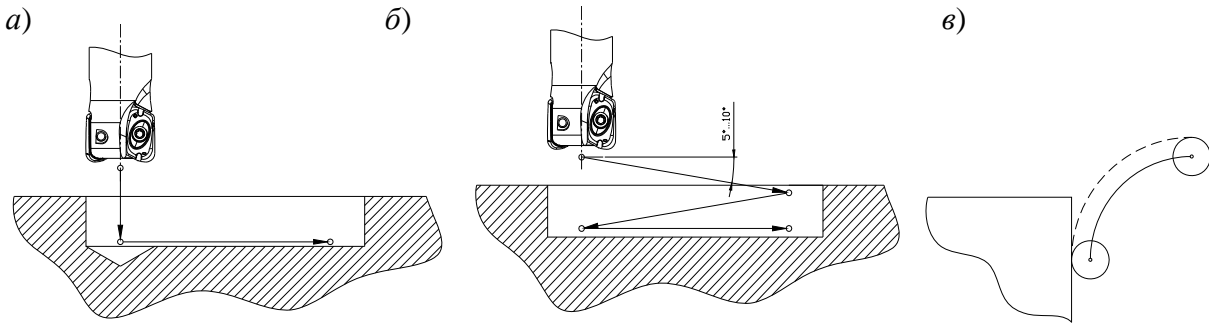


Рисунок 6.4 – Схемы способов резания фрезы в металл

## 6.2 Пример выполнения работы

В качестве примера приводится программа обработки детали, представленной на рисунке 6.5.

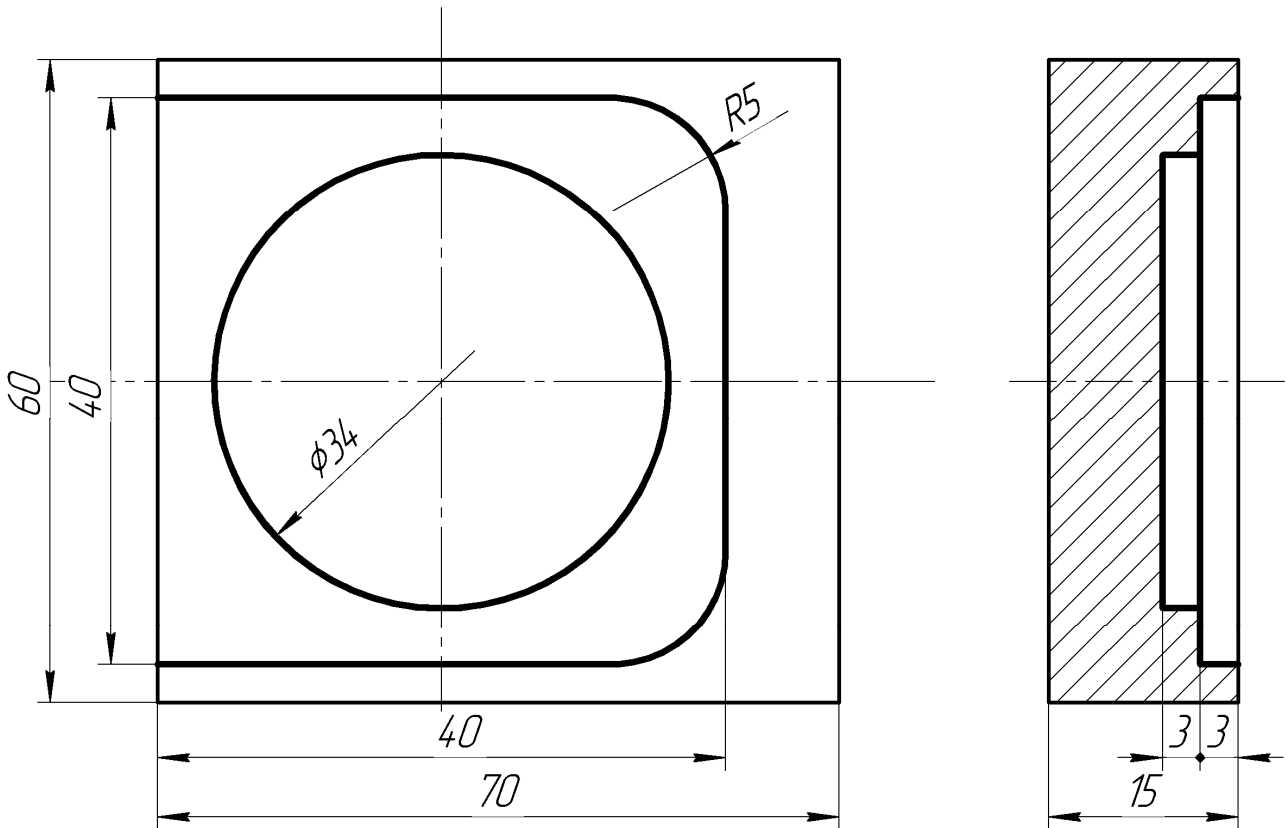


Рисунок 6.5 – Эскиз обрабатываемой детали

Определяем технологию обработки детали исходя из требований чертежа.

Переход 1 – сверлить технологическое отверстие  $\text{Ø}12$  мм глубиной 6 мм под последующий ввод фрезы на обработку закрытого кармана.

Переход 2 – фрезеровать полузакрытый карман  $40 \times 40$  высотой 3 мм – в качестве метода обработки принимаем зигзагообразную схему.

Переход 3 – фрезеровать закрытый карман  $\varnothing 34$  мм глубиной 3 мм – в качестве метода обработки принимаем спиралевидную схему.

Рассчитываем параметры траекторий.

Переход 2:

– расстояние между соседними ходами фрезы

$$t_{\max} = D - 2r - h_1 = 10 - 2 \cdot 0,5 - 0,2 = 8,8 \text{ мм};$$

– число ходов

$$N = \frac{A - d_{\text{фрезы}}}{t_{\max}} = \frac{40 - 10}{8,8} = \frac{30}{8,8} = 3,4 \text{ хода.}$$

Принимаем число ходов – 4.

Тогда окончательно расстояние между ходами

$$t_{\max} = \frac{A - d_{\text{фрезы}}}{N} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ мм.}$$

Переход 3.

Радиус эквидистанты

$$R_3 = \frac{D - d_\phi}{2} = \frac{34 - 10}{2} = 12 \text{ мм.}$$

Коэффициент  $a$

$$\frac{R_3}{0,6d_\phi} \geq a \geq \frac{R_3}{0,8d_\phi};$$

$$2 \geq a \geq 1,5.$$

Принимаем  $a = 2$ .

Определяем шаг спирали:

$$h = R_3 / a = 12 / 2 = 6.$$

Расстояние между полюсами

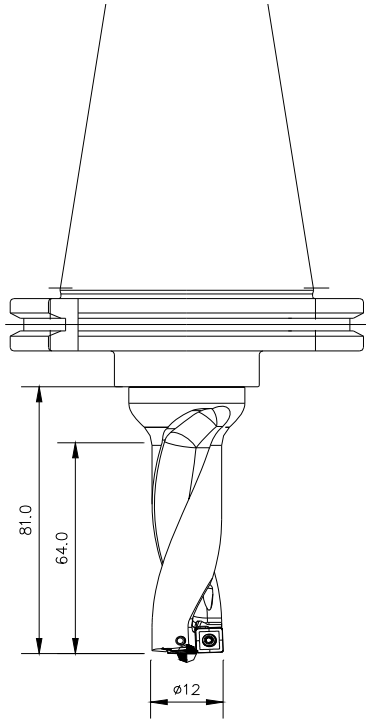
$$P = h / 2 = 6 / 2 = 3.$$

Указываем точки привязки инструмента, номера позиций (рисунок 6.6).





Т1.1



Т2.2

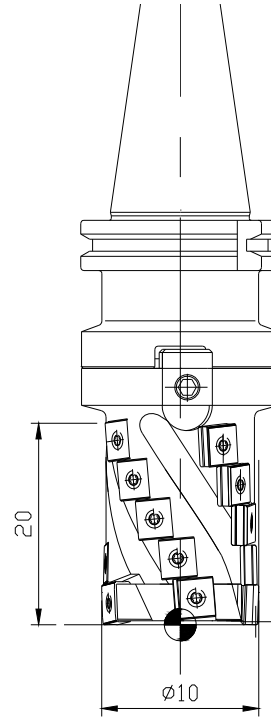


Рисунок 6.6 – Режущий инструмент, принятый для обработки

Выполняем чертеж детали с разработкой расчетно-технологической карты.

Определяем координаты исходной точки (принимая во внимание возможность беспрепятственной смены заготовки и инструмента (рисунки 6.7–6.9): И. Т.  $X = 40$   $Y = 40$   $Z = 40$ .

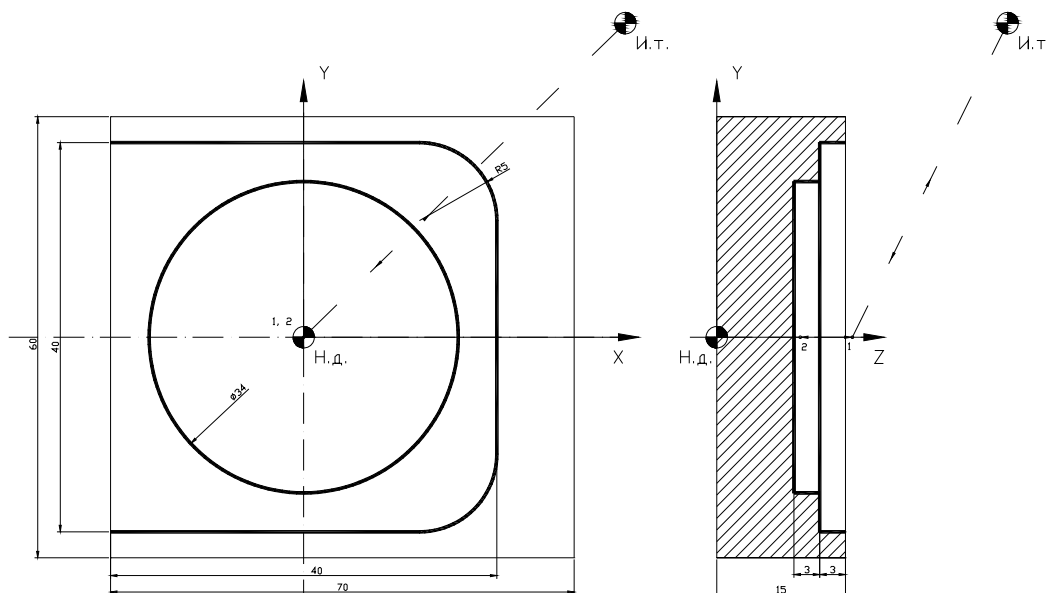


Рисунок 6.7 – Эскиз обработки, выполняемой на первом переходе

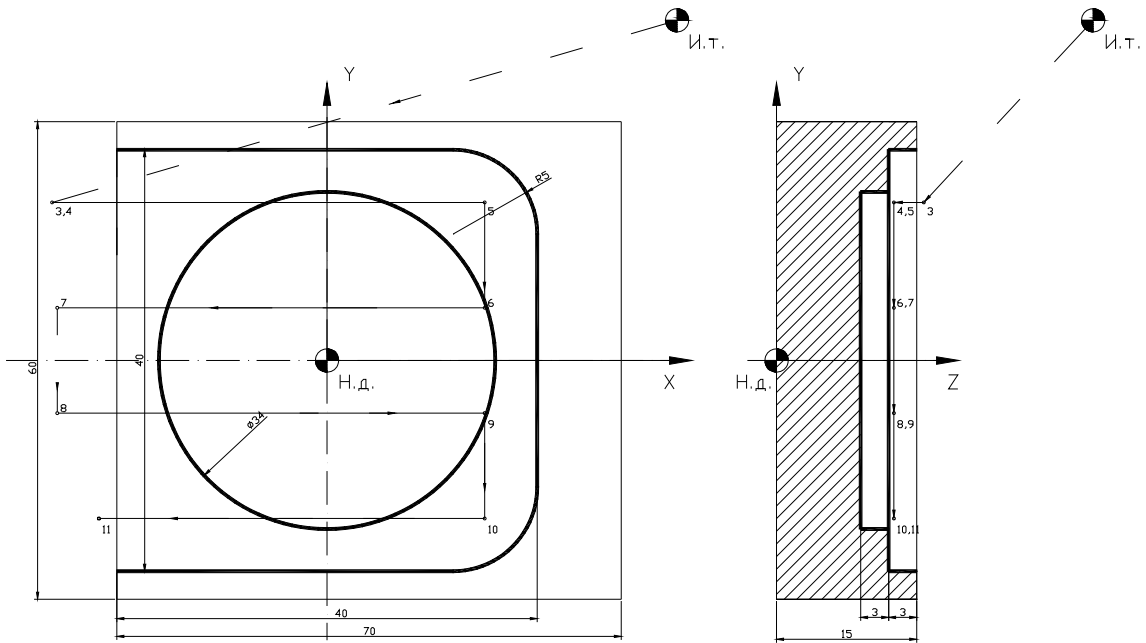


Рисунок 6.8 – Эскиз обработки, выполняемой на втором переходе

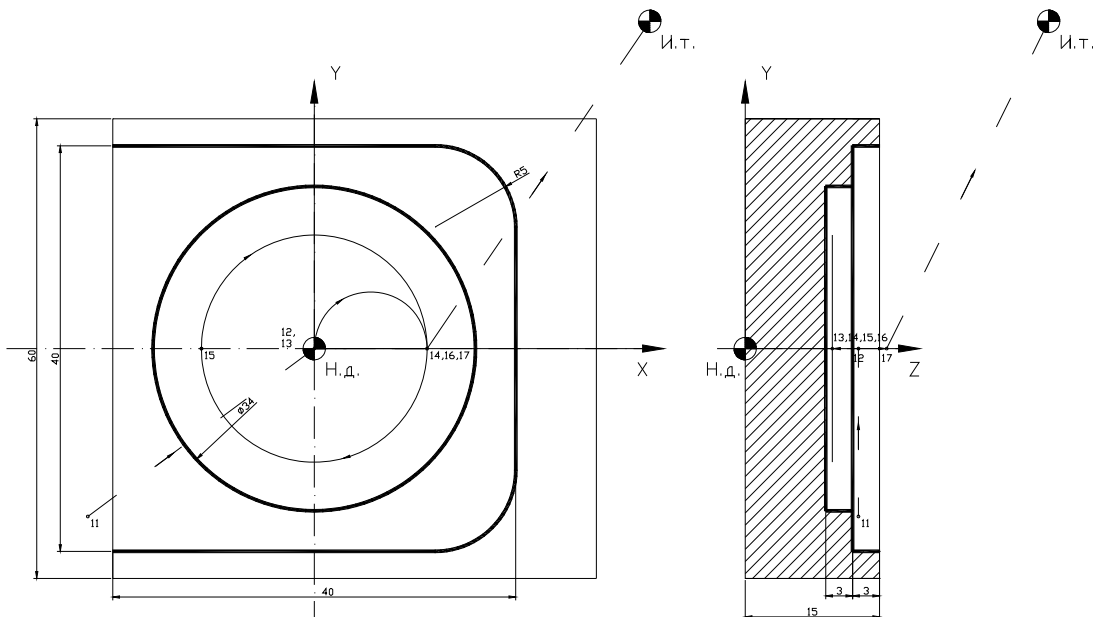


Рисунок 6.9 – Эскиз обработки, выполняемой на третьем переходе

Выполняем расчет опорных точек, результат сводим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Координаты опорных точек

Номер точки	X	Y	Z
И. т.	40	40	40
1	0	0	17
2	0	0	9

## Окончание таблицы 6.1

Номер точки	X	Y	Z
3	-27	11.25	17
4	-27	11.25	12
5	15	11.25	12
6	15	3.75	12
7	-27	3.75	12
8	-27	-3.75	12
9	15	-3.75	12
10	15	-11.25	12
11	-22	-11.25	12
12	0	0	12
13	0	0	9
14	12	0	9
15	-12	0	9
16	12	0	9
17	12	0	17

Разрабатываем текст управляющей программы (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Управляющая программа

Программа	Комментарий
N1 T1.1 M6	Установить первый инструмент – сверло
N2 S1000 F0.1 M13	Задать режимы резания – $n = 1000$ об/мин, $S = 0,1$ мм/об; вращение шпинделя правое; включить подачу СОЖ
N3 G0 X0 Y0 Z17	Переместить ускоренно инструмент в точку 1
N4 G1 Z9	Сверлить технологическое отверстие
N6 G0 Z17	
N8 X40 Y40 Z40	
N10 T2.2 M6	
N12 S700 F0.1 M13	
N14 G17 G0 X-27 Y11.25 Z17	Фрезеровать полузакрытый карман – плоскость интерполяции G17(XY)
N16 Z12	
N18 G1 X15	
N20 Y3.75	
N22 X-27	
N24 G0 Y-3.75	
N26 G1 X15	
N28 Y11.25	
N30 X-22	
N32G0 X0 Y0	

Окончание таблицы 6.2

Программа	Комментарий
N34 Z9	Фрезеровать закрытый карман
N36 G2 X12 Y0 R6	
N38 X-12 Y0 R12	
N40 X12 Y0 R12	
N42 G0 Z17	
N44 X40 Y40 Z40	Вывести инструмент из обработки
N46 M30	Выключить станок

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель практической работы.
- 2 Чертеж детали с указанием способа базирования, положения нуля детали и направления осей.
- 3 Эскизы необходимых инструментов с указанием точек привязок.
- 4 Попереходные эскизы обработки с указанием опорных точек и траектории перемещения инструмента.
- 5 Таблица опорных точек.
- 6 Текст управляющей программы.
- 7 Выводы.

### ***6.4 Исходные данные для выполнения практической работы***

Студенты выполняют практическую работу согласно рисунку 6.10 с размерами, указанными в таблице 6.3.



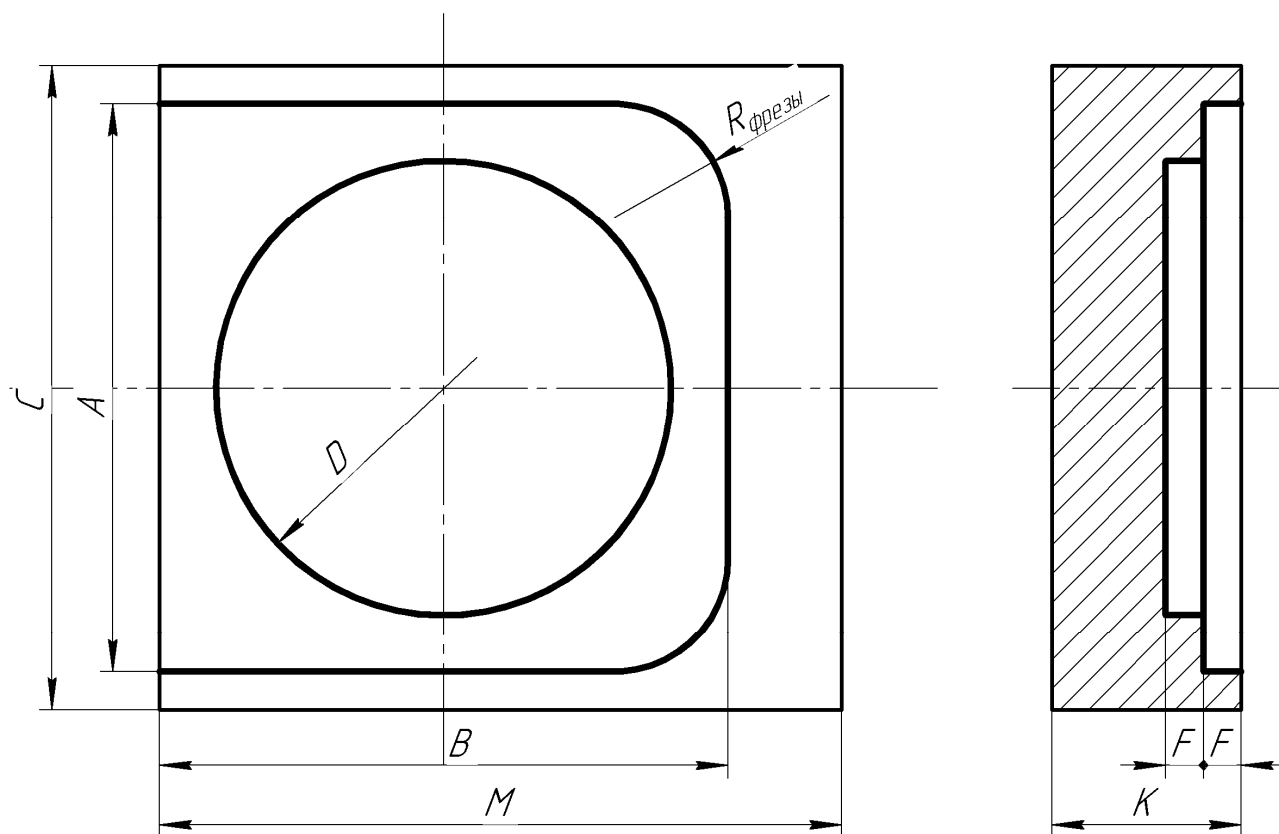


Рисунок 6.10 – Эскиз обрабатываемой детали

Таблица 6.3 – Размеры обрабатываемой детали

Вариант	$d_{\text{фрезы}}$	A	B	C	M	D	F	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	48	97	68	127	34	3	12
2	12	77	116	101	152	56	4	14
3	14	83	150	111	192	56	4	17
4	16	79	101	111	149	50	5	19
5	18	101	193	137	247	68	6	25
6	20	129	248	169	308	91	6	27
7	22	117	158	161	224	80	7	25
8	24	136	247	184	319	90	8	34
9	26	155	313	207	391	117	8	24
10	28	160	307	216	391	113	9	40
11	30	149	266	209	356	109	10	36
12	32	158	223	222	319	126	10	39
13	34	187	290	255	392	126	11	39
14	36	156	237	228	345	112	12	36
15	38	183	355	259	469	132	12	53
16	10	55	64	75	94	41	3	14
17	12	60	81	84	117	44	4	12

Окончание таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	14	77	141	105	183	56	4	17
19	16	73	84	105	132	55	5	20
20	18	117	155	153	209	86	6	21
21	20	110	149	150	209	86	6	21
22	22	99	118	143	184	74	7	27
23	24	149	237	197	309	108	8	27
24	26	143	217	195	295	108	8	38
25	28	156	259	212	343	105	9	40
26	30	181	307	241	397	144	10	46
27	32	216	404	280	500	153	10	48
28	34	153	236	221	338	117	11	42
29	36	192	385	264	493	122	12	47
30	38	197	330	273	444	155	12	49

### Список литературы

1 **Жолобов, А. А.** Программирование процессов обработки поверхностей на станках с ЧПУ: учебное пособие / А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек, А. М. Федоренко. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 339 с.

2 Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ / В. И. Аверченков [и др.]. – Брянск: БГТУ, 2010. – 212 с.

3 Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве: учебное пособие / В. И. Аверченков [и др.]. – Брянск: БГТУ, 2010. – Ч. 1. – 303 с.

4 Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ: учебное пособие / Ю. А. Бондаренко [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 292 с.