

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт  
Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»

Утверждено на заседании кафедры  
«Промышленная автоматика  
и робототехника»  
«17» января 2023 г., протокол № 2

И.о. заведующего кафедрой

\_\_\_\_\_ О.А. Ерзин

**Сборник лабораторных работ**  
**«Технологические процессы автоматизированных производств»**  
**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования –программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**  
с направленностью (профилем)  
**Автоматизация технологических процессов и производств**

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150304-01-23

Тула 2023 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
**рабочей программы дисциплины (модуля)**

**Разработчик:**

Ерзин О.А., доцент, канд. техн. наук  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ)

**Цель работы:** изучить последовательность проектирования технологического процесса механической обработки отливки.

### 13.1

#### Общие сведения

Для механической обработки заготовки необходимо сделать технико-экономический анализ в условиях единичного производства с точки зрения коэффициента использования металла, маршрута обработки и количества необходимых металлорежущих станков различных типов.

При анализе на отливку необходимо составить укрупненный маршрут ее механической обработки, в котором дать наименование и последовательность операции для достижения заданных чертежом параметров точности и шероховатости сопрягаемых поверхностей детали, необходимые типы станков для выполнения операций.

Параметры шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-73 приведены в таблице 13.1

Таблица 13.1

Классы шероховатости поверхности

Класс шероховатости	Параметры шероховатости, мкм		Класс шероховатости	Параметры шероховатости, мкм	
	$R_z$	$R_a$		$R_z$	$R_a$
1	320	80	8	3.2	0.63
2	160	40	9	1.6	0.32
3	80	20	10	0.8	0.16
4	40	10	11	0.4	0.08
5	20	5	12	0.2	0.04
6	10	2.5	13	0.1	0.02
7	6.3	1.25	14	0.05	0.01

Таблица 13.2

Параметры некоторых видов механической обработки

Методы обработки	Квалитет точности	Шероховатость $R_a$
1. Наружные поверхности тел вращения (цилиндрическая, коническая)		
Точение	Черновое	14-12
	Чистовое	10-8
	Тонкое	8-6
		50-6,3
		6,3-0,4
		1,6-0,2

Шлифование	Предварительное	9-8	6,3-0,4
	Чистовое	7-6	3,2-0,2
	Тонкое	6-5	1,6-0,1
Суперфиниш		5-3	0,1-0,012
II. Неглубокие отверстия			
Сверление, рассверливание		13-9	25-0,8
Зенкерование	Черновое	13-12	25-0,6
	Чистовое	10-8	6,3-0,4
Развертывание	Нормальное	11-10	12,5-0,8
	Точное	9-7	6,3-0,4
	Тонкое	6-5	3,2-0,1
Растачивание	Черновое	13-11	25-1,6
	Чистовое	10-8	6,3-0,4
	Тонкое	7-5	3,2-0,2
Протягивание	Черновое	11-10	12,5-0,8
	Чистовое	9-6	6,3-0,2
Шлифование	Предварительное	9-8	6,3-0,4
	Чистовое	7-6	3,2-0,4
	Тонкое	6-5	1,6-0,1
Хонингование		6-5	1,6-0,1
III. Плоские поверхности			
Строгание	Черновое	13-11	12,5-3,2
	Чистовое	10-9	1,6-0,8
Фрезерование	Черновое	13-11	12,5-3,2
	Чистовое	10-8	1,6-0,8
	Тонкое	8-6	1,6-0,2
Шлифование	Черновое	9-8	1,6-0,4
	Чистовое	8-7	0,4-0,1

Для классов с 1-го по 5-й, 13-го и 14-го на чертежах указывают Rz, для классов с 6-го по 12-й – значения Ra(выделено).

Основные методы обработки некоторых типовых (элементарных) поверхностей, значения шероховатости и экономическая точность, достигаемые при использовании этих методов, приведены в таблице 13.2.

Для достижения высоких показателей точности и шероховатости обработка производится в несколько этапов: черновая (предварительная), чистовая и тонкая. При этом тонкая обработка производится на специально выделенных станках, обеспечивающих большие скорости обработки, малую подачу и имеющих повышенную жесткость и точность.

Последовательность операций обработки для наружных поверхностей тел вращения приведена в таблице 13.3.

Таким образом, для достижения точности качества 5-6 необходимо последовательно

выполнить черновое (предварительное) и чистовое точение; предварительное и чистовое шлифование. Весь припуск на механическую обработку распределяется между проходами операций. При черновой и чистовой обработке припуск делиться в соотношении соответственно

0,7/0,3;

При черновой, получистовой и чистовой обработках:

0,7/0,2/0,1.

Таблица 13.3

Последовательность операций обработки тел вращения

Квалитет точности	Точение		Шлифование	
	Однократное (предварительное)	Чистовое	Однократное (предварительное)	Чистовое
	Пропуски на обработку, мм			
	2-8	0,2-20	0,2-0,6	0,05-0,2
14-12	+	-	-	-
11-9	+	+	-	-
9-6	+	+	+	-
6-5	+	+	+	+

Таблица 13.4

Последовательность обработки отверстий

Квалитет точности	Сверление, рассверливание	Зенкерование (расточивание)	Развертывание (тонкое расточивание)	Шлифование (протягивание)
	Пропуски на обработку, мм			
	До 15	0,5-3 (1-3)	0,05-0,5	0,05-0,5 (0,2-1,5)
13-12(11)	+	-	-	-
12-11(10)	+	+	-	-
10-9(6)	+	+	+	-
8-6	+	+	+	+

Таблица 13.5

Последовательность обработки плоских поверхностей

Фрезерование		

Квалитет точности	Строгание	однократное	чистовое	Шлифование
	Припуски на обработку, мм			
	1-5	1-5	0,5-1,5	0,3-0,5
13-11(10)	+	-	-	-
	-	+	-	-
10-8(6)	+	-	+	-
	-	+	+	-
9-7	+	-	+	+
	-	+	+	+

Операционные припуски можно так же назначить по следующей методичке: в зависимости от заданных значений точности и шероховатости назначается вид окончательной обработки и припуск на эту операцию. Затем оставшееся значения припуска на обработку делят между предварительными видами обработки в соотношении, указанном выше. Последовательность операция обработки для неглубоких отверстий и плоских поверхностей тел вращения приведена, соответственно, в таблицах 13.4 и 13.5.

Для каждой операции выбирается группа станков (токарно-винторезный, вертикально-сверлильный, плоско-шлифовальный и т.д.) в зависимости от типа обрабатываемой поверхности.

Коэффициент использования металла можно оценивать по величине припусков на основные поверхности детали, которые необходимо удалить в процессе механической обработки.

После анализа обработки заготовки разрабатывается технологическая карта по форме:

Эскиз операции (схема обработки)	Наименование и содержание операций, переходов	Станок	Инструмент

Наименование операции определяется типом станка и записывается кратко, например «токарная», «фрезерная» и т.д. Содержания переходов записываются в повелительной форме (подрезать, точить и т.д.). На эскизе операции обрабатываемые поверхности выделяются цветным карандашом или утолщенной линией. Станок указывается полным наименованием с указанием модели (марки). Выбор конкретной модели станка производится в соответствии с размерами обрабатываемой детали, характером обработки. При этом необходимо стремиться к более полному использованию возможностей станка по мощности, частоте вращения, точности и др.

При составлении маршрута механической обработки необходимо руководствоваться следующими положениями:

- 1) В первую очередь обрабатывают поверхности, которые будут базовыми для последующих операций;

- 2) После базовых обрабатывают поверхности , с которых снимаются наибольшие припуски;
- 3) Вид окончательной обработки определяется требованиями по точности шероховатости и назначается в конце обработки;
- 4) Резьбы, шлицы, зубья шестерен, лыски, канавки, отверстия выполняются на ранее обработанных поверхностях; обработка их выделяется в самостоятельную операцию;
- 5) При наличии упрочняющей термообработки (закалка) ее проводят перед шлифованием, а отжиг или нормализацию проводят перед обработкой отливок или поковок.

## 13.2

### **Пример проектирования механической обработки детали**

Для назначения схем обработки необходимо проанализировать требования к элементарным (типовым) поверхностям детали, величины припусков на них и выбрать способы обработки этих поверхностей, необходимый тип станка и инструменты.

1. Анализ обрабатываемых поверхностей и требования к ним (рис. 13.1):
  - 1) А- резьбовая, М36, припуск  $\delta=3,5$  мм на сторону;
  - 2) Б- цилиндрическая,  $\varnothing 65$ , Rz 40, не обрабатывается ;
  - 3) В- плоская, 40мм, Rz 20, припуск  $\delta=3,5$ мм на сторону
  - 4) Г- отверстие  $\varnothing 32, 5$ , Rz 20, припуск  $\delta=3,5$ мм на сторону
  - 5) Д - коническая,  $20 \times 45^0$ , Rz 40;
  - 6) Е- торец уступа, Rz 20, припуск  $\delta=3,0$ мм
2. Выбор способов обработки поверхностей, тип станка:
  - 1) Поверхность А- точение, станок токарно-винторезный;
  - 2) Поверхность Б- Фрезерование, станок вертикально-фрезерный;
  - 3) Поверхность Г- Зенкерование, станок вертикально-сверлильный;
  - 4) Поверхность Д – точение, станок токарно-винторезный.
3. Определение последовательности операции и переходов:
  - 1) Подрезка торца  $\varnothing 65$  ( со стороны конуса);
  - 2) Точение конуса  $20 \times 45^0$ ;
  - 3) Подрезка торца  $\varnothing 43$  ( со стороны резьбы);
  - 4) Точение цилиндра под резьбу с черновой подрезкой торца уступа;
  - 5) Чистовой точение торца уступ Б,;
  - 6) Фрезерование плоскости В с обеих сторон;
  - 7) Зенкерование отверстий  $\varnothing 32,5$ ;
  - 8) Зенкерование фаски  $0,5 \times 45$  с обеих сторон;
  - 9) Нарезание резьбы М36.

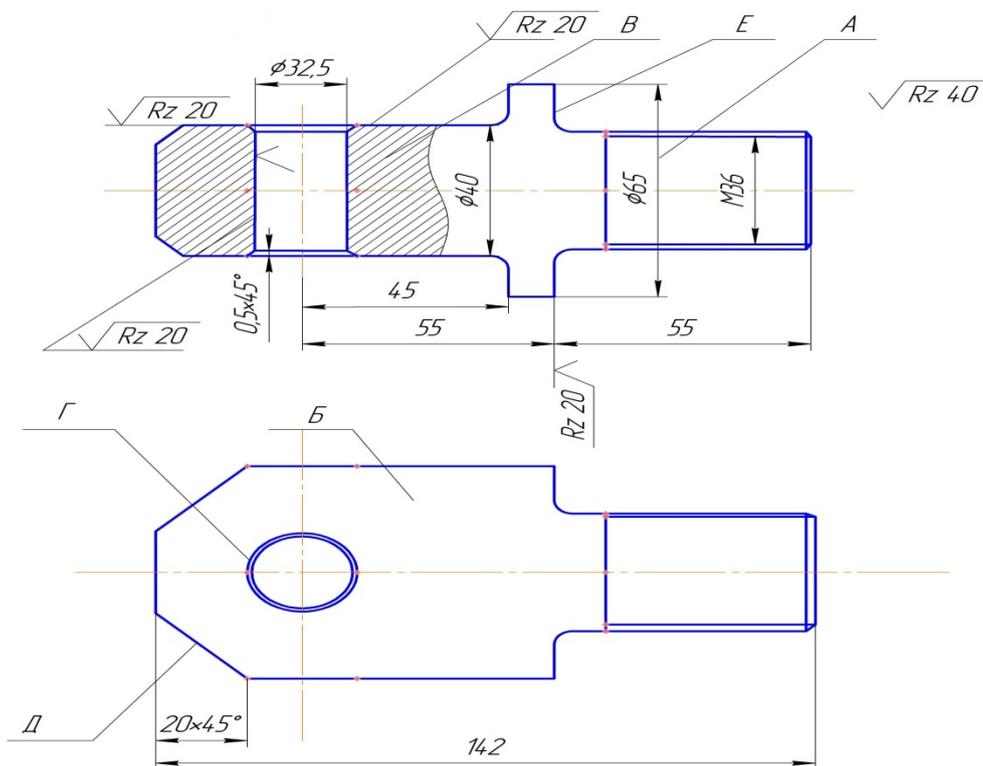


Рис. 13.1  
 «Ушко 7018-0595 ГОСТ 4739-68»,  
 Материал- КЧ 35-10, ГОСТ 1215-79

4. Определение типов станов:

- 1) Токарно-винторезный;
- 2) Вертикально-фрезерный;
- 3) Вертикально-сверлильный.

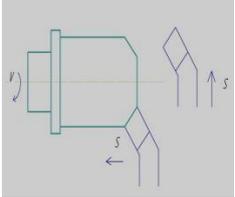
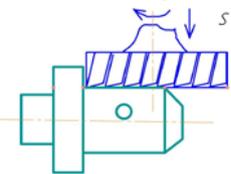
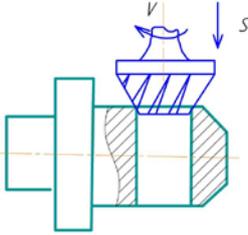
5. Выбор инструментов и приспособлений для токарной операции:

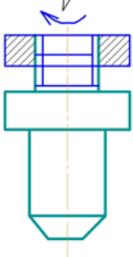
- 1) Резец проходной отогнутый;
- 2) Резец проходной упорный.

После анализа обработки заготовки разрабатывается технологическая карта (таблица 13.6)

Таблица 13.6

## Технологическая карта обработки детали

Эскиз операции	Наименование операции и содержание переходов	Оборудование	Инструменты
	<p><i>1. Токарная</i></p> <p>1.1. Подрезать торец</p> <p>1.2. Точить конус.</p> <p>1.3. Подрезать торец на размер 142мм</p> <p>1.4. Точить поверхность А на <math>\varnothing 35,83</math> по длине 54 мм.</p> <p>1.5. Точить торец уступа как чисто на длине 55 мм</p>	Токарно-винторезный станок	Резец проходной отогнутый, резец проходной упорный
	<p><i>2. Фрезерная</i></p> <p>2.1. Фрезеровать плоскости с обеих сторон, размер 40 мм</p>	Вертикально-фрезерный станок	Фреза торцевая $\varnothing 100$ , Р6М5
	<p><i>3. Сверлильная</i></p> <p>3.1. Зенкеровать отверстие <math>\varnothing 32,5</math> мм. Зенковать фаски <math>0,6 \times 45^\circ</math> с обеих сторон</p>	Вертикально-сверлильный станок	Зенкер цилиндрический $\varnothing 32,5$ , зенкер конический $\varnothing 45$

	<p>4. Слесарная 4.1. Нарезать резьбу М36</p>	<p>—</p>	<p>Плашка М36</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------	----------	-------------------

### Порядок выполнения работы

#### И содержание отчета

1. Спроектировать маршрутную технологию механической обработки отливки, предложенной в лабораторной работе 4.
2. Сделать технологический анализ.
3. Составить укрупненный маршрут механической обработки и заготовки.
4. Разработать технологическую карту процесса обработки
5. Составить письменный ответ по работе. Содержание отчета:  
Название работы, цель работы, основные теоретические сведения, укрупненный маршрут механической обработки отливки, технологическая карта процесса обработки.

#### Контрольные вопросы

1. В какой последовательности разрабатывается технологический процесс механической обработки?
2. Какие методы механической обработки вы знаете?
3. Как назначаются припуски на механическую обработку?
4. Как определяется коэффициент использования металла?
5. Какие поверхности обрабатывают в первую очередь?
6. Какая операция выполняется первой: точение или закалка?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Цель работы: изучить последовательность и методику назначения режимов резания при точении.

#### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Назначение режимов резания является важным элементом при разработке технологических процессов изготовления или ремонта деталей на металлорежущих станках, причем самой распространенной является обработка на токарных станках.

**Классификация токарных резцов.** Токарные резцы классифицируют по ряду отличительных признаков: виду обработки, инструментальному материалу, характеру обработки и др. (таблица 2.1). Большинство резцов изготовляют составными: режущая часть — из инструментального материала, крепежная часть — из обычных конструкционных сталей (У7, сталь 45 и др.).

**Основные виды точения.** К основным видам точения относятся: продольное наружное точение, поперечное наружное точение (подрезка торца), отрезание, прорезание, внутреннее продольное точение (расточка). На рис. 2.1 приведена схема продольного наружного точения, на которой обозначены поверхности заготовки при резании и указаны главное движение резания, движение подачи и элементы режима резания.

На рис. 2.2-2.3 приведены некоторые схемы точения. Для различных видов точения применяются резцы определенных типов. Для продольного наружного точения — проходные прямые и проходные упорные; для поперечного — подрезные, фасонные; для отрезания заготовки и прорезания канавок — отрезные и канавочные; для внутреннего продольного точения — расточные.

Таблица 2.1

Классификация токарных резцов

Отличительный признак	Наименование резца
По виду обработки	Проходные, подрезные. Упорные, прорезные, расточные, отрезные, галтельные, фасонные, резьбовые
По инструментальному материалу	Из быстрорежущей стали, с пластинками из твердого сплава (металлокерамика и минералокерамика), из сверхтвердых материалов
По положению главного режущего лезвия	Правые, левые
По характеру обработки	Обдирочные (черновые), чистовые, для тонкого (алмазного) точения
По сечению стержня	Прямоугольные, квадратные, круглые

По конструкции головок	Прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые
По способу изготовления	Цельные, с приваренной встык головкой, с припаянной пластинкой, с приваренной пластинкой, с наплавленной головкой, с механическим креплением пластинок, вставки для державок

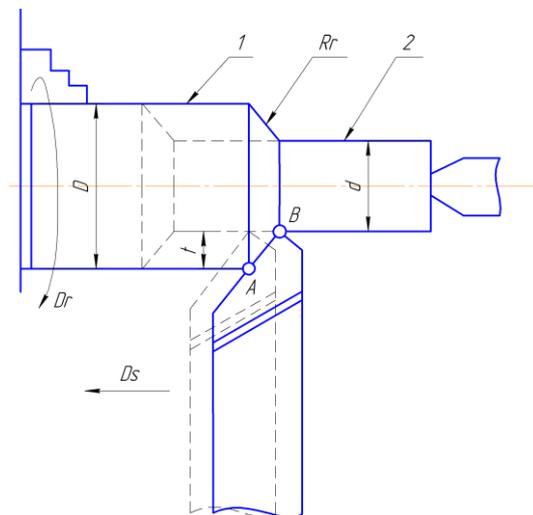


Рис. 2.1 Схема наружного точения (обтачивания):

$1$  — обрабатываемая поверхность;  $2$  — обработанная поверхность;  $R_r$  — поверхность резания;  $D$  — диаметр обрабатываемой поверхности;  $d$  — диаметр обработанной поверхности;  $D_r$  — главное движение резания;  $D_s$  — движение подачи;  $t$  — глубина резания;  $A, B$  — точки обрабатываемой и обработанной поверхностей, находящиеся на поверхности резания.

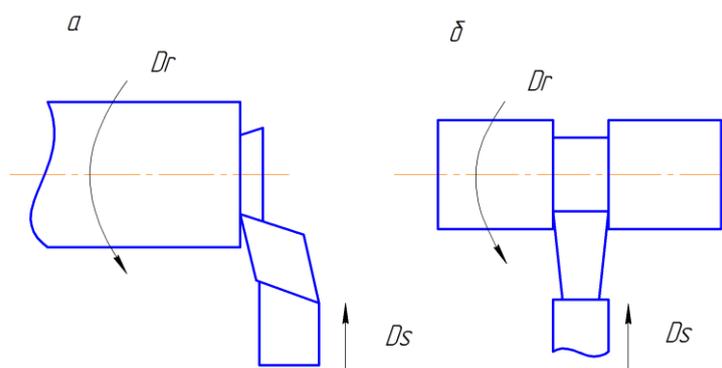


Рис. 14.2 Схемы точения:

$a$  — поперечное точение;  $б$  — отрезание (прорезание).

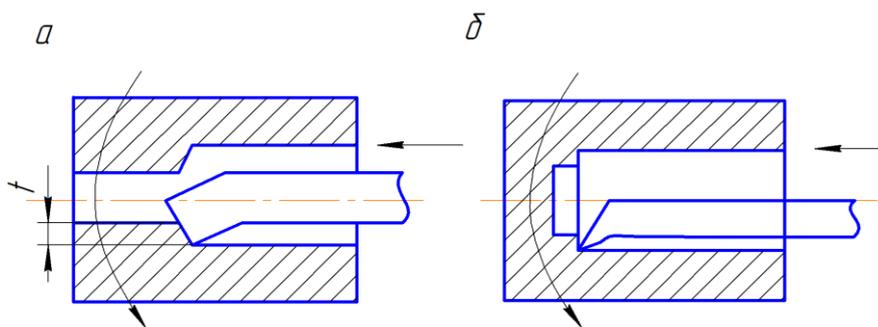


Рис. 14.3 Растачивание отверстий:  
а — сквозных; б — глухих.

## МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

Выбор материала режущей части резца. На выбор материала режущей части токарных резцов оказывают влияние условия и вид обработки (прерывистое или непрерывное резание, наличие литейной корки, чистовое, черновое и др.)» а также обрабатываемый материал. Режущая часть токарных резцов изготавливается из металлокерамических, минералокерамических, безвольфрамовых твердых сплавов, реже из быстрорежущей стали и сверхтвердых материалов. Твердые сплавы в виде пластин соединяют с крепежной частью с помощью пайки или специальных высокотемпературных клеев, многогранные твердосплавные пластины закрепляют прихватами, винтами и т. п.

Рекомендуемые материалы для режущей части токарных резцов приведены в таблице 14.2.

Определение геометрических параметров режущей части и размеров резца. Размеры резцов определяют в зависимости от их отличительных признаков (таблица 14.1). Размеры поперечного сечения державки резца берут в зависимости от высоты центров станка, на котором выполняется работа. При высоте центров 150-160 мм рекомендуется сечение державки  $B \times H = 12 \times 20$  мм ( $B$  — ширина,  $H$  — высота), при высоте центров 180-200 мм — от  $12 \times 20$  до  $16 \times 25$  мм, при высоте центров 250-300 мм — от  $16 \times 25$  до  $20 \times 32$  мм.

Для токарных станков моделей 1А62, 1А62Б, 1А62Г, 1В62Г, 1К62, 16К20 высота центров составляет 200 мм, для модели 1А616 — 160 мм.

Размеры токарных проходных отогнутых резцов с пластинками из твердого сплава приведены на рис. 14.4 и в таблице 14.3. Пример условного обозначения правого резца сечением  $H \times B = 25 \times 16$  мм, с углом врезки пластинки в стержень  $0^\circ$ , с пластинкой из твердого сплава марки Т15К6: Резец 2102-0055 Т15К6 ГОСТ 18877-73.

Таблица 2.2

Материалы режущей части резцов

Характер обработки	Марка сплава при обработке			
	стали		чугуна	
	углеродистой и легированной	закаленной	HB240	HB400-700
Черновое точение по корке и окалине при неравномерном сечении среза и прерывистом резании с ударами	T5K11 T5K12B BK8 BK83		BK8 BK8B BK4	BK8 BK8B
Черновое точение по корке при неравномерном сечении среза и непрерывном резании	T14K8 T5KYU		BK4 BK8 BK6	BK6M BK4
Получистовое и чистовое точение при прерывистом резании	T15K6 T14B8 T5K10 BCK-60 BCK-63 B3	T5K10 BK4 BK8 THM-20 B3	BK4 BK6 BK8	BK6M
Точное точение при прерывистом резании	T30K4 T15K6	T14K8 T5K10 BK4	BK3 BK3 BK4	BK6M BK3
Точное точение при непрерывном резании	TЭ0K4	T30K4 T15K6 BK6M BK3M	BK3 BK3M	BK6M BK3M BK3
Отрезка и прорезка канавок	T15K6 T14K8 T5K10	BK6M BK4	BK3 BK3M	BK6M BK3M

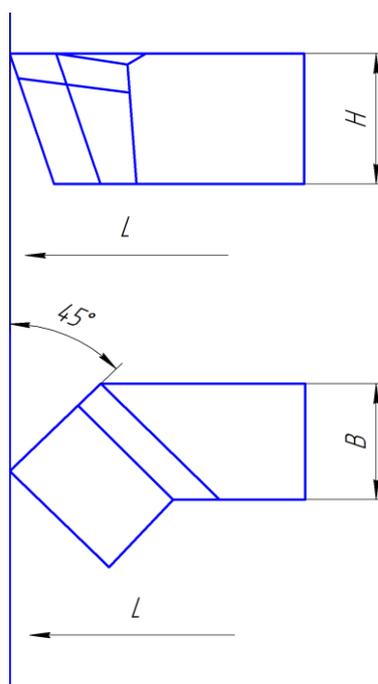


Рис. 2.4 Основные параметры проходного отогнутого резца

Таблица 2.3

Размеры токарных проходных отогнутых резцов

Обозначение	Сечение резца НхВ, мм	Длина резца, мм	Форма пластинки, ГОСТ 2209-69
2102-0071	16x10	100	01Б
2102-0073	16x12	100	01Б
2102-0075	20x12	120	01Б
2102-0077	20x16	120	02Б
2102-0055	25x16	140	02Б
2102-0079	25x20	140	02Б
2102-0059	32x20	170	02Б
2102-0081	32x25	170	02Б
2102-0063	40x25	200	02Б

В условиях серийного и массового производства применяются резцы с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок и минералокерамики. Применение многогранных твердосплавных неперетачиваемых пластинок на резцах обеспечивает:

- 1) сокращение вспомогательного времени на смену и переточку резцов;
- 2) повышение стойкости на 20-25% по сравнению с напаянными резцами;
- 3) сокращение затрат на инструмент в 2—3 раза и потерь вольфрама и кобальта в 4-4,5 раза;
- 4) упрощение инструментального хозяйства;

5) уменьшение расхода абразивов на заточку.

Многогранные пластины различных форм имеют плоскую переднюю поверхность с выкружкой или вышлифованные лунки и могут быть с отверстием или без него.

Сверхтвердые инструментальные материалы предназначены для чистовой обработки материалов с высокими скоростями резания (свыше 500 м/мин), а также материалов с большой твердостью ( $HRC > 60$ ). Наиболее распространенными сверхтвердыми материалами являются материалы на основе кубического нитрида бора.

Изготавливают резцы, оснащенные режущими пластинами из композита, причем режущие элементы могут быть как перетачиваемыми, так и в виде многогранных непетачиваемых пластин.

## **2.2. НАЗНАЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ**

Глубину резания  $1$  следует брать равной припуску на обработку на данной операции. Если припуск нельзя снять за один рабочий ход, то число проходов должно быть возможно меньшим (два рабочих хода: черновой и чистовой).

При чистовой обработке глубина резания зависит от требуемых точности и шероховатости обработанной поверхности. При параметре шероховатости поверхности до  $Rz = 20$  мкм включительно глубина резания рекомендуется  $0,5-2$  мм, при  $Rz < 0,8$  мкм —  $0,1-0,4$  мм.

В свою очередь, величина припуска зависит от ряда факторов, а именно от размера изготавливаемой детали, метода получения заготовки, масштабов производства (числа изготавливаемых деталей) и т. д.

Заготовками могут являться: прокат (круглый, квадратный и др.)» поковки, штамповки, отливки. Припуск на сторону для штамповок колеблется в пределах  $1,5-7$  мм, для поволоков —  $2,5-20$  мм, для отливок —  $3-30$  мм.

## **2.3. НАЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ**

При черновой обработке выбирают максимально возможную подачу, исходя из прочности и жесткости системы «станок-приспособление-инструмент-деталь», мощности привода станка и других ограничивающих факторов.

Таблица 2.4

Подачи при черновом наружном точении, мм/об

Диаметр детали, мм	Подача в, мм/об, при глубине резания $l$ , мм					
	До3	3-5	5-8	До3	3-5	5-8
	Сталь			Чугун и медные сплавы		
До 20	0,3-0,4					
20-40	0,4-0,5	0,3-0,4		0,4-0,5		
40-60	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7
60-100	0,6-1,2	0,5-1,1	0,5-0,9	0,8-1,4	0,7-1,2	0,6-1,0
100-400	0,8-1,3	0,7-1,2	0,6-1,0	1,0-1,5	0,8-1,9	0,8-1,1
400-Б00	1,1-1,4	1,0-1,3	0,7-1,2	1,3-1,6	1,2-1,5	1,0-1,2
500-600	1,2-1,5	1,0-1,4	0,8-1,3	1,5-1,8	1,2-1,6	1,0-1,4

Таблица 2.5

Подачи при чистовом точении, мм/об

Параметр поверхности, мкм		Радиус при вершине резания $r$ , мм					
Ra	Rz	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
2,5		0,14	0,20	0,25	0,29	0,32	0,35
	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,00	1,14

При чистовой обработке подачу выбирают в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обработанной поверхности.

Значения подач приведены в таблицах 2.4 и 2.5. После выбора подачи по справочным таблицам ее уточняют по паспорту станка и выбирают фактическую — ближайшую (меньшую).

## 2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ

Скорость резания, допускаемую режущими свойствами инструмента, рассчитывают по следующим формулам: 1) при наружном продольном и поперечном точении и растачивании:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v ;$$

2) при отрезании, прорезании и фасонном точении:

$$v = \frac{C_v}{T^m S^y} K_v ;$$

где  $v$  — скорость резания, м/мин;  $C_v$  — коэффициент, зависящий от механических свойств и структуры обрабатываемого материала, материала режущей части резца, а также от условий обработки;  $T$  — стойкость инструмента, мин (среднее значение стойкости проходных резцов при одноинструментной обработке — 30-60 мин; для резьбовых, фасонных резцов — 120 мин);  $t$  — глубина резания, мм;  $S$  — подача, мм/об;  $m, x, y$  — показатели степеней;  $K_v$  — общий поправочный коэффициент.

Значения постоянной  $C_v$  для данных табличных условий резания и показатели степени  $x, y, m$  приведены в таблице 2.6.

Общий поправочный коэффициент  $K_u$  представляет собой произведение отдельных коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора на скорость резания:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv}$$

где  $K_{mv}$  — поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала (таблицы 2.7, 2.8);  $K_{uv}$  — материал режущей части (таблица 2.9).

Коэффициент  $K_{nv}$  учитывает состояние поверхности заготовки. Для поверхностей без корки он равен 1,0. Для поверхностей с коркой: прокат — 0,9; поковка — 0,8; медные и алюминиевые сплавы — 0,9; стальные и чугунные отливки — 0,8-0,85 (нормальная корка) и 0,5-0,6 (сильно загрязненная корка).

Зная допустимую (расчетную) скорость резания и, определяют расчетную частоту вращения:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

где  $n$  — частота вращения детали, мин ;  $D$  — диаметр детали, мм; и берут ближайшую фактическую частоту вращения по паспорту станка при условии  $n_{\phi} < n$ .

По выбранной частоте вращения шпинделя станка подсчитывают фактическую скорость резания:

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000}$$

Таблица 26

Коэффициенты для определения скорости резания

Материал детали	Вид обработки	Материал резца	Подача S	$c_{..}$	X	y	t
Углеродистая сталь с $\sigma_B = 750$ МПа	Точение	Т15К6	$S < 0,3$	420		0,20	
			$S > 0,3$	350	0,15	0,35	0,20
	Отрезание	Т5К10		47		0,80	0,20
Серый чугун НВ190	Точение	ВК6		292	0,15	0,20	0,20
			$S > 0,4$	243		0,40	
	Отрезание	ВК6		68,5		0,40	0,20
	Нарезание резьбы	ВК18		83	0,45		0,33

Таблица 2.7

Поправочный коэффициент  $K_{mv}$ , учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{mv} = Kr \cdot (750 / \sigma_B)^{mv}$
Серый чугун	$K_{mv} = (190 / HB)^{mv}$
Ковкий чугун	$K_{mv} = (150 / HB)^{mv}$

Таблица 2.8

Коэффициенты для определения  $K_{mv}$ 

Обрабатываемый материал	Коэффициент $K_r$ для материала инструмента		Показатели степени пи, при обработке резцами	
	из быстрореж. стали	из твердого сплава	из быстрореж. стали	из твердого сплава
Сталь углеродистая ( $C < 0,6\%$ ):				
$\sigma_B < 450$ МПа	1,0	1,0	-1,0	
$\sigma_B = 450-550$ МПа	1,0	1,0	1,75	
$\sigma_B > 550$ МПа	1,0	1,0	1,75	

Обрабатываемый материал	Коэффициент $K_r$ для материала инструмента		Показатели степени $\nu_v$ , при обработке резцами	
	из быстрореж. стали	из твердого сплава	из быстрореж. стали	из твердого сплава
Сталь повышенной и высокой обрабатываемости резанием, хромистая	0,85	0,95	1,76	
Сталь углеродистая ( $C > 0,6\%$ )	0,8	0,9	1,5	
Сталь хромоникелевая, хромомолибденованадиевая	0,7	0,8	1,25	1,0
Чугун:				
серый			1,7	1,26
ковкий			1,7	1,26

Таблица 14.9

Поправочный коэффициент  $K_{mv}$ , учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Марка резца	$K_{mv}$
Сталь конструкционная	T5K10	0,66
	T15K6	1,0
	T30K4	1,4

	ВК8	0,4
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	ВК8	1,0
	T5K10	1,4
	T15K6	1,9
	P18	0,3
Серый и ковкий чугун	ВК8	0,83
	ВК6	1,0
	ВК4	2,5
	ВК3	1,15
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	P6M5	1,0
	ВК4	2,6
	ВК6	2,7
	XBG	0,6

### Порядок выполнения работы и содержание отчета

Рассчитать режимы резания на одну из поверхностей отливки (по указанию преподавателя).

1. Выбрать материал режущей части резца по таблице 14.2.
2. Определить геометрические параметры режущей части и размеры резца.
3. Рассчитать значения глубины резания для каждого прохода.
4. Выбрать величину подачи  $S$  для каждого прохода по таблицам 14.4 и 14.5.
5. Рассчитать поправочный коэффициент  $K_v$  по таблицам 14.7-14.10.
6. Выбрать значения  $C_{,,}$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $m$  по таблице 14.6.
7. Рассчитать по формулам значение скорости резания  $u$  и частоту вращения шпинделя  $n$ .
8. Составить письменный отчет по работе.
9. *Содержание отчета:* название работы, цель работы, основные теоретические сведения, расчеты режимов обработки.

### Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируют токарные резцы?
2. Какие виды точения вы знаете?
3. Опишите конструкцию токарных резцов и материалы, из которых они изготавливаются.
4. Как назначается глубина резания при точении?
5. От каких факторов зависит величина подачи при точении?

**6.** Как определяется скорость резания при точении?

**7.** В чем состоит проверка по мощности привода шпинделя станка

## **Лабораторная работа №3**

### **. Структура управляющей программы в станках с ЧПУ**

#### **3.1 Цель и задачи работы**

Ознакомиться с системами координат, типом и общими принципами организации управляющих программ (УП), используемых в металлорежущих станках с ЧПУ для обеспечения их функционирования в полуавтоматическом и автоматическом режимах.

#### **3.2. Основные теоретические сведения**

Управляющая программа записывается в виде последовательности кадров, имеющих свою структуру и состоящих из слов, расположенных в определенном порядке. Каждый кадр УП содержит слово < Номер кадра> и одно или несколько слов, расположенных в определенном порядке. Кадр УП может содержать слово <Подготовительная функция>, <Размерное перемещение>, <Функция подачи>, <Скорость главного движения>, <Функция инструмента> и <Вспомогательная функция>. Слово, в свою очередь, состоит из буквенного символа (адреса) и следующей за ним числовой информации, представляющей собой число со знаком или целочисленный код. Буквенный адрес указывает вид описываемой словом информации. Обозначение символов адресов приведено в табл.1. Например, слово X-001500 означает команду на перемещение инструмента по оси X в отрицательном направлении на 1500 единиц дискретности.

Таблица 1.

Символы адресов	Значения символов
A, B, C	Угловые перемещения, соответственно, вокруг осей X,Y,Z. Угловое перемещение вокруг специальной оси (или третья функция подачи, или коррекция инструмента). Угловое перемещение вокруг специальной оси (или вторая функция подачи или номер кадра перехода). Функция подачи. Подготовительная функция.
D	
E	
F	
G	
Символы адресов	Значения символов
I, J, K	Параметры интерполяции или шаг резьбы, соответственно, вдоль осей X,Y,Z Вспомогательная функция Номер кадра Третьи функции перемещений, параллельных, соответственно, осям X и Y (или параметры коррекции инструмента, или параметры подпрограмм) Третья функция перемещения, параллельного оси Z (или параметр коррекции инструмента) Скорость главного движения (шпинделя) Функция инструмента Вторые функции перемещений, параллельных, соответственно, осям X,Y,Z Обращение к подпрограмме Количество повторений участков программы
M	
N	
P, Q	
R	
S	
T	
U, V, W	
L	
H	

**Примечания:**

1.Символы H и L могут быть не определены.

2.Если символы D,E,P,Q,R,U,V,W не используются в системе ЧПУ в указанных в таблице значениях, то они могут быть применены в качестве других специальных значений.

Управляющая программа составляется таким образом, чтобы в одном кадре записывалась только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру.

Каждая управляющая программа должна начинаться символом <Начало программы>. Слова в каждом кадре УП должны записываться в следующем порядке: <Номер кадра>, <Подготовительная функция>, <Размерные перемещения>, <Функции подачи>, <Скорость главного движения>, <Функции инструмента>, символ <Конец кадра>.

Слово <Номер кадра> используется для обозначения элементарного участка УП и служит вспомогательной информацией. Номер кадра задается адресом N и целым десятичным числом. Рациональна последовательная нумерация кадров, однако допускаются любые переходы номеров и строго оговаривается лишь их не повторяемость в пределах одной УП. Во избежание изменения в процессе редактирования ранее установленной последовательности практикуется производить запись номеров кадров основной программы в старших разрядах слова <Номер кадра>. Тогда при нумерации новых кадров используются младшие разряды этого слова. Например, если между 15-м и 16-м кадрами УП необходимо вставить два новых кадра, последовательность кадров будет выглядеть так:

N 150, N 151, N 152, N 160.

Слово <Подготовительная функция> определяет режим работы системы ЧПУ. Это

слово задается адресом G и двузначным десятичным кодовым числом. Функция G действует до тех пор, пока она не будет заменена или отменена другой функцией. В кадре не может быть записано более одной подготовительной функции из основной группы. Значения различных подготовительных функций приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Вспомогательные функции	Область действия функции	Наименование	Значение
G00	I	Позиционирование	Перемещение на быстром ходу в заданную точку. Ранее заданная рабочая подача не отменяется. Перемещения по осям могут быть не координированы.
G01	I	Линейная интерполяция	Перемещение с запрограммированной подачей по прямой к точке
G02, G03	I	Круговая интерполяция	Движение по дуге окружности соответственно в отрицательном и положительном направлении с запрограммированной подачей.
G04	-	Пауза	Выдержка в отработке на определенное время, установленное на пульте или заданное в кадре
G06	I	Параболическая интерполяция	Движение по параболе с запрограммированной подачей
G08	-	Разгон	Плавное увеличение скорости подачи до запрограммированного ее значения в начале движения
G09	-	Торможение в конце кадра	Плавное уменьшение скорости подачи до фиксированного значения при приближении к заданной точке
G17,G18, G19	II	Плоскость обработки	Задание соответственно плоскостей XY,ZX,YZ для таких функций, как круговая интерполяция, коррекция режущего инструмента и др.
G33,G34, G35	I	Нарезание резьбы	Нарезание резьбы соответственно с постоянным, увеличивающимся или уменьшающимся шагом
G63	XIX	нарезание реьбы	Метчиком
G64	-	обработка	Контурная обработка
G90	VII	Абсолютный размер	Отсчет перемещений в абсолютной системе координат с началом в нулевой точке системы ЧПУ
G91	VII	Размер в приращениях	Отсчет перемещений относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	-	Установка абсолютных накопителей положения	Изменение состояния абсолютных накопителей положения т.е. задание новой системы координат
G94, G95	VII	Единица измерений подачи	Скорость подачи соответственно в мм/мин и в мм/об
G96 G97	XIV	Скорость	Скорость резания постоянная Отмена G96
G41,G42 G40 G43,G44 G49	IV  XV	Коррекция инструмента	На радиус, соответственно, левая и правая Отмена Положительная и отрицательная Отмена

Функции G94, G97 - обрабатываются по умолчанию.

Слово <Размерное перемещение> предназначено для задания геометрической информации. Это слово записывается в кадре в следующем порядке адресов:

X,Y,Z,U,V,W,P,Q,R,I,J,K,A,B,C,D,E.

Числа, стоящие после буквенных адресов в словах <Размерные перемещения>, означают либо координаты опорных точек траектории инструмента (абсолютные размеры), либо приращения координат этих точек (размеры в приращениях). Размеры записываются целыми числами со знаком с учетом дискретности задания размеров для конкретной системы ЧПУ. При этом знак "+" может не указываться. Траектория инструмента может содержать участки перемещений на быстром ходу и участки линейной, круговой или параболической интерполяции, которые инструмент проходит на рабочей подаче. Характер перемещения задается в кадре соответствующей подготовительной функцией G00, G01, G02, G03 или G06, если она не была запрограммирована в предыдущих кадрах УП, с адресами размерных перемещений (X,Y,Z).

Начальная точка каждого участка интерполяции (кроме первого, в начальной точке которого инструмент должен находиться перед началом обработки) является одновременно конечной точкой предыдущего участка, поэтому в кадрах УП задается информация только о конечных точках.

Размерные перемещения на участке траектории, который инструмент проходит на быстром ходу, записывается в одном кадре для выполнения одновременного движения по заданным осям или в нескольких кадрах, если движение осуществляется раздельно вдоль каждой из осей.

Слово <Функция подачи> может определять как результирующую скорость подачи, так и составляющие этой скорости, разложенной по координатным осям. В кадре результирующая скорость подачи записывается под адресом F после всех слов <Размерное перемещение>. Слово <Функция подачи>, относящееся к определенной оси координат, записывается непосредственно за словом <Размерное перемещение> по этой координате. Размерность скорости подачи кодируется подготовительной функцией G94, если единицей ее измерения является мм/мин, или подготовительной функцией G95, если подача задается в мм/об.

Слово <Скорость главного движения> записывается с адресом и определяет линейную скорость точки приложения инструмента в мм/мин или частоту вращения шпинделя в об/мин.

Для кодирования скоростей подачи и главного движения <скорости резания> применяются методы прямого обозначения, геометрической и арифметической прогрессии и символический.

Слово <Функция инструмента> используется для указания инструмента и корректора. В этом случае с адресом T записывается кодовое число одной или двумя группами цифр. Одна группа цифр в слове <Функция инструмента> задает только номер инструмента и его позицию, а корректор для этого инструмента определяется другим словом с адресом D. Если групп две, то вторая группа цифр определяет номер корректора длины, положения или диаметра инструмента. Например, в слове T0914: T - адрес, 09 - номер инструмента, 14 - номер корректора. Если программируется номер инструмента без указания корректора, то вторая группа цифр содержит нули (T0900), а если программируется корректор для заданного в одном из предыдущих кадров инструмента, то нули содержит первая группа цифр (T0014).

Слово <Вспомогательная функция> задает команду исполнительному органу станка или системе ЧПУ. Вспомогательные функции задаются словами с адресом M и двузначным десятичным кодовым числом. Вспомогательные функции разделены на группы в зависимости от того, начинает ли данная функция действовать до начала перемещения, запрограммированного в данном кадре или после выполнения перемещения в данном кадре. Значения некоторых вспомогательных функций приведены в таблице 3.

Таблица 3

Вспомогатель-	Начало	Продолжитель-		
---------------	--------	---------------	--	--

ная функция	действия	ность действия	Наименование	Значение
M00	II	II	Программируемый останов	Останов шпинделя и выключение охлаждения. Работа УП возобновляется после нажатия соответствующей кнопки на пульте управления
M01	II	II	Останов с подтверждением	То же, что и M00, но выполняется при предварительном нажатии кнопки на пульте управления.
M02	II	II	Конец программы	Останов шпинделя и выключение охлаждения. Приведение в исходное состояние управляющего устройства и возврат рабочих органов станка в исходное положение, а также протягивание перфоленты, склеенной в кольцо, или обратная перемотка.
M03, M04	I	I	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включение шпинделя соответственно в отрицательном или положительном направлении вращения
M05	II	I	Останов шпинделя	Останов наиболее эффективным способом, например, торможением
M07, M08	I	I	Включение охлаждения	Включает охлаждение соответственно N2 и N1
M09	II	I	Отключение охлаждения	Отменяет команды, заданные функциями M07, M08, M50, M51
M10, M11	I	I	Зажим и разжим	Относятся к зажимным приспособлениям подвижных органов станка, например, стола, патрона и т.п.
M19	II	I	Останов шпинделя в заданной позиции	Команда на останов шпинделя в определенном угловом положении
M30	II	II	Конец ленты	То же, что и M02, но с возможностью обращения ко второму считыванию информации с перфоленты
M38, M39	I	I	Диапазон частот вращения шпинделя	Задаёт диапазон частот вращения соответственно шпинделя N1 и N2

Программирование любого движения системы станок- приспособление- инструмент- деталь (СПИД) осуществляется в некоторой системе координат. Для составления управляющей программы используется система координат детали, которая совмещается с системой координат станка. Стандарты ISO (International Standart Organization) определяют выбор координатных осей для различных типов станков с ЧПУ. Указание направления перемещений режущего инструмента производится в предположении, что движется только инструмент, а обрабатываемая деталь остается неподвижной. На самом деле часто происходит наоборот -перемещается деталь (закрепленная, например, на столе сверлильного или фрезерного станка) относительно инструмента, занимающего фиксированное положение в пространстве. Однако при программировании движений системы СПИД несущественно, каким образом обеспечивается движение инструмента по одной из осей: его собственным перемещением в заданном направлении или движением стола станка в противоположном направлении. На рис.1 показано расположение координатных осей на токарных станках, а на рис.2 - на сверлильных и фрезерных станках,

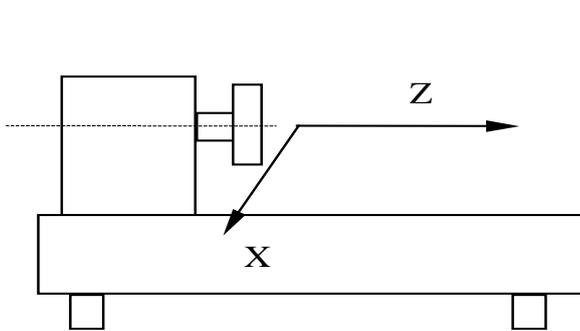


Рис. 1.

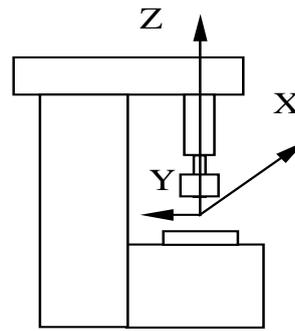


Рис. 2.

Программирование движений инструмента для сверлильных и фрезерных станков с ЧПУ осуществляется в пространстве  $X Y Z$  (рис.2), а для токарных станков в плоскости  $X Z$  (рис.1). Положительные направления вращательных движений инструмента, которые по стандарту ISO обозначаются буквами  $A, B, C$ , определяются по "правилу винта".

Если станок имеет несколько рабочих органов (столов, суппортов, бабок и т.д.), то перемещения вдоль осей координат главного рабочего органа обозначают  $XYZ$ , перемещения вдоль осей в обратном направлении -  $X'Y'Z'$  (рис.3). Данные о конструкции станка с ЧПУ, необходимые для программирования его работы, содержатся в паспорте станка и инструкции по программированию.

Для согласования системы координат детали, в которой заданы координаты опорных точек траектории инструмента, с системой координат станка применяется программируемый сдвиг нуля, который кодируется в кадре УП подготовительной функцией  $G92$ . Этот кадр отрабатывается без перемещения рабочих органов станка. Программируемый сдвиг нуля используется и для учета в УП различных вылетов инструментов при их смене. Например, после поворота резцедержателя для замены инструмента с вершиной, расположенной в точке  $T_1$ , на инструмент с вершиной, расположенной в точке  $T_2$ , превращение координат вершины инструмента также задается функцией  $G92$ .

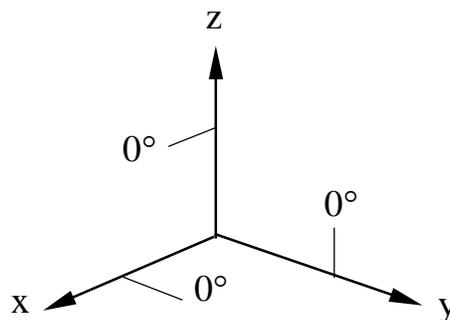


Рис.3

Позиционирование вершины инструмента в заданную точку на быстром ходу кодируется подготовительной функцией  $G00$ . Движение рабочих органов станка при отработке кадра с функцией  $G00$  начинается одновременно по всем заданным осям, и поэтому скорости и направления инструмента относительно детали зависят от приращений координат. Если позиционирование необходимо провести отдельно по осям, то по каждой координате оно задается отдельным кадром.

Пример структуры кадра для системы ЧПУ MC2101 ( 2P32):

$N03 G03 X+53000 Z-53000 ( C=53000) I+53000 J+53000 ( R+53000) F30 S2000 (S05) T03 D15 M03.$

Пример структуры кадра для системы ЧПУ Электроника НЦ31 (символ \*-означает принадлежность элементов к одному кадру, последний элемент которого не имеет указанного символа)

N05 G03 \*

N06 X+53000\*

N07 Z-53000\*

N08 P1+53000\*

N09 P2+53000\*

N10 F30

Несмотря на имеющуюся возможность оперировать кадрами большой длительности на практике стараются приводить их к относительно небольшим размерам. Элементы, требующие большого времени на исполнение, выделяют в отдельные функционально обособленные кадры.

### 3.3. Задание для проверки навыков по данному разделу

Составить начальный и конечный фрагменты управляющей программы, затрагивающие моменты соответственно настройки станка и системы ЧПУ на выполнение первого перехода обработки заготовки и возвращение всех элементов в исходное состояние после окончании обработки.

В качестве базового станка рассмотрим токарный многооперационный станок модели СТМ100, с системой ЧПУ 2P32. Структура кадра в этой системе аналогична за исключением отдельных нюансов рассмотренной ранее системе МС2101. В предлагаемом станке предусмотрена возможность выполнять операции фрезерования. Для чего привод шпинделя может переключаться с главного движения на следящий режим и дополнительно предусмотрен привод фрезерного инструмента. Настройки такого рода проводятся с помощью следующих вспомогательных функций: М83 и М84 соответственно включение и выключение фрезерного инструмента; М85 и М86 - соответственно подключение и отключение датчика резьбы; М89- подключение следящего и отключение токарного шпинделей и М90 - соответственно наоборот. Рассмотрим пример настройки станка на операцию точения (скобки являются символом комментария).

ПС ( перевод строки - начала любой программы )  
 % 1 ( % - символ начала любой программы; 1 - номер программы)  
 N01 M86 (отключение датчика резьбы)  
 N02 M90 (подключение токарного и отключение следящего приводов)  
 N03 G91 M84 (размер в приращениях, отключение фрезерного привода)  
 N04 S2000 M04 T01 (скорость главного движения 2000об/мин, вращение шпинделя против часовой стрелки, установить инструмент №1)  
 N05 G43 D16 Z - 200000 (Z1) (положительная коррекция инструмента, номер корректора -16, перемещение на ускоренной подаче по оси Z)  
 N06 G43 D17 X - 150000 (X1) M07 (новый положительный корректор №17, перемещение на ускоренной подаче по оси X, включение СОЖ)  
 N07 G01 Z - 22000 (Z2) F30 (Линейная интерполяция, перемещение по оси Z с рабочей подачей 30мм/мин)  
 .....  
 N24 G28 G40 X0 Z0 M05 (автоматический выход в нулевую исходную точку, отмена всех корректоров, останов шпинделя)  
 N25 M02 (конец программы)  
 N26 M30 (конец ленты)

Различные варианты заданий требуемых элементов кадров управляющей программы приведены в таблице 4.

Таблица 4.

№ вар. (i)	Размерность подачи	Размерность скорости рез.	Тип коррекция	Направление вращ. ПГД	Величина дискрета
1	мм/мин	об/мин	положит	по час. стрелк.	0.005
2	мм/мин	об/мин	отрицат.	Против час стр.	0.0025
3	мм/мин	м/мин	положит	Против час стр.	0.01
4	мм/мин	м/мин	отрицат.	по час. стрелк.	0.0025
5	мм/об	об/мин	положит	по час. стрелк.	0.005
6	мм/об	об/мин	отрицат.	Против час стр.	0.01
7	мм/об	м/мин	положит	Против час стр.	0.005
8	мм/об	м/мин	отрицат.	Против час стр.	0.0025
9	мм/об	об/мин	положит	по час. стрелк.	0.005

Номер конкретного задания определяется в соответствии с порядковым номером

студента в списке группы журнала учёта лабораторных работ (n). Для n=1-9 первая операция - точение  $i=n$ ; для n=10—19 первая операция фрезерование  $i=n/10$ ; для n=20—29 первая операция - резьбонарезание  $i=n/20$ . Координаты опорных точек X1, Z1, Z2 в соответствии с рассмотренным примером определяются по следующим формулам (размерности координат приведены в миллиметрах, скорость резания - в об/мин; подача - в мм/мин, для перевода в другие системы отсчёта использовать условное значение диаметра  $D=40$ мм):

$X1=40+n$ ;  $Z1=130+n$ ;  $Z2=30+n$ ;  $S=100n$ ;  $F=10+n$ ;  $T=n$ ;  $D=10+n$ ; №программы=n.

### 3.4 Контрольные вопросы

1. Какие функции в УП определяют геометрию обрабатываемой поверхности?
2. Чем отличаются настроечные и основные подготовительные функции?
3. Поясните структуру кадра круговой интерполяции?
4. Какую информацию несёт функция смены инструмента?
5. Какие действия производятся в станке при наличии M-функции в кадре УП?
6. Что такое и зачем задаётся плоскость интерполяции?
7. Что такое кадр управляющей программы?
8. Какого типа слова используются в кадрах управляющей программы?
9. С помощью каких функций могут изменяться системы координат?
10. Чем должна заканчиваться управляющая программа?

## Лабораторная работа №4

# Построение траектории движения инструмента

### 4.1 Цель и задачи работы

Ознакомиться с основами интерполяции и построения траекторий движения инструмента, используемых в металлорежущих станках с ЧПУ для реализации размерных перемещений рабочего органа в процессе формообразования обрабатываемых поверхностей.

### 4.2 Основные теоретические сведения

Траекторией движения инструмента называют путь, проходимый точкой, совпадающей с центром инструмента (осью фрезы, центром окружности при вершине резца и др.) при его перемещении относительно обрабатываемой детали.

В плоскости обработки деталь образует плоский контур- контур детали, который, как правило, ограничен отрезками прямых, дугами окружностей и участками кривых более высокого порядка (эллипса, гиперболы, параболы и др.). Однако сложные кривые встречаются довольно редко. В подавляющем большинстве случаев контур детали ограничен отрезками прямых и дугами окружностей. Каждая линия ограничивает какой-то элементарный участок контура.

Граничные точки смежных элементарных участков называют опорными (или узловыми). Таким образом, контур детали включает в себя определенное число элементарных участков, разделенных опорными точками. Обычно рабочий участок траектории движения инструмента совпадает с эквидистантой к контуру детали.

Эквидистантой называют кривую, все точки которой находятся от контура детали на некотором постоянном расстоянии. Эквидистанта может быть наружной, если обрабатываются наружные поверхности детали, и внутренней - при обработке внутренних поверхностей. Эквидистанту можно разделить на отдельные элементарные участки.

Траектория между двумя соседними опорными точками определяется путём решения геометрических задач интерполяции. Интерполяцию производят на определенной части заданной траектории, которая называется участком интерполяции и может быть описана в одном или нескольких кадрах программы управления. Функциональный характер интерполируемого участка траектории определяется соответствующей подготовительной функцией. Для задания параметров интерполяции применяются адреса, которые используются для определения геометрических характеристик кривых.

Если система ЧПУ допускает задание размеров и в абсолютных значениях и в приращениях, то режим работы выбирается применением соответствующего слова <Подготовительная функция>.

Прямолинейный участок интерполяции задается конечной точкой с координатами в абсолютных значениях или приращениях. Кадр программы, описывающий участок траектории с линейной интерполяцией, должен содержать подготовительную функцию G01 (если она не была задана в предыдущих кадрах УП) и координаты конечной точки с соответствующими адресами перемещений.

Круговая интерполяция. Дуга окружности, лежащая в плоскости, параллельной одной из координатных плоскостей, задается в одном или нескольких кадрах УП. При программировании дуги окружности первый кадр УП должен содержать <Подготовительную функцию> G02 (круговая интерполяция по часовой стрелке) или G03 (круговая интерполяция против часовой стрелки), если она не была задана в предыдущих кадрах программы и соответствующими параметрами интерполяции.

Если дуга окружности на участке интерполяции задана координатами трех точек, то

промежуточная и конечная точки должны быть записаны в двух кадрах УП, следующих друг за другом, с использованием одного и того же способа задания координат (в абсолютных значениях или в приращениях).

Различают следующие способы определения координат опорных точек:

1) если два смежных участка контура детали ограничены отрезками прямых, то опорную точку эквидистанты располагают на биссектрисе угла между прямыми в месте пересечения эквидистанты с биссектрисой (рис.4а);

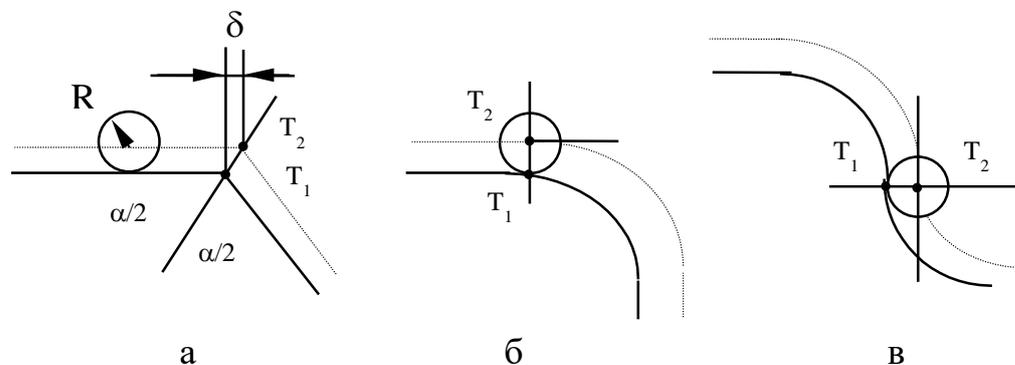


Рис. 4

2) если два смежных участка контура ограничены прямой и дугой окружности, то опорную точку эквидистанты T2 с координатами

$$X = X_1 + R,$$

$$Z = Z_1$$

располагают на нормали к прямой (рис.4б). Нормали проводят через точку пересечения (или касания) прямой и окружности T1(X1, Z1); эта точка расположена на контуре детали;

3) если два смежных участка контура ограничены дугами касающихся окружностей, то опорную точку эквидистанты T2 располагают на нормали к совместной касательной (рис.4в).

Координаты опорных точек для различных видов обработки (точение, сверление или фрезерование) могут быть представлены в относительной либо в абсолютной системе координат, что зависит от выбранного типа системы управления станком. Для контурной обработки (точение, фрезерование) могут использоваться абсолютные значения координат, когда значения каждой координаты задается относительно начала координат. Для позиционной обработки (сверление, растачивание) с относительной системой отсчета требуется относительные значения координат, т.е. приращение каждой новой координаты по сравнению с ее предыдущим значением.

Рассмотрим пример программирования участка линейной интерполяции (рис. 5) для системы ЧПУ MC2101 (или H33).

Пусть :

$$X_1 = -20 \text{ мм}, \quad X_2 = +60 \text{ мм}, \quad X_3 = -50 \text{ мм};$$

$$Y_1 = +50 \text{ мм}, \quad Y_2 = -10 \text{ мм}, \quad Y_3 = -30 \text{ мм}.$$

Для перемещения из точки A1 в точку A3 требуется два кадра.

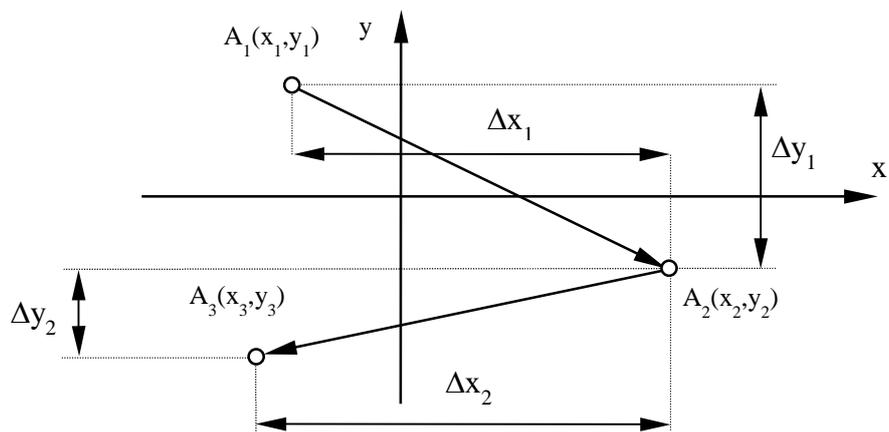


Рис. 5. Пример линейной интерполяции

Вычислим перемещения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  для первого и второго кадров:

$$\Delta x_1 = x_2 - x_1 = +60 \text{ мм} - (-20 \text{ мм}) = +80 \text{ мм};$$

$$\Delta y_1 = y_2 - y_1 = -10 \text{ мм} - 50 \text{ мм} = -60 \text{ мм};$$

$$\Delta x_2 = x_3 - x_2 = -50 \text{ мм} - 60 \text{ мм} = -110 \text{ мм};$$

$$\Delta y_2 = y_3 - y_2 = -30 \text{ мм} - (-10 \text{ мм}) = -20 \text{ мм}.$$

Принимая дискретность УЧПУ равной 0.01 мм, получим параметры перемещения в первом кадре:

$$\Delta x_1 + 008000, \Delta y_1 - 006000, +80/0.01 +8000 \text{ имп.};$$

во втором кадре:

$$\Delta x_2 - 011000, \Delta y_2 - 002000, -60/0.01 = -6000 \text{ имп.}$$

Кадры перемещения для ЧПУ MC2101 запишутся следующим образом:

N 015 G01 X + 008000 Y - 006000 LF;

N 016 X - 011000 Y - 002000 LF.

Пример: На рис. 6. показаны две дуги окружностей, по которым нужно переместить центр инструмента с использованием круговой интерполяции для СЧПУ Электроника MC 2101

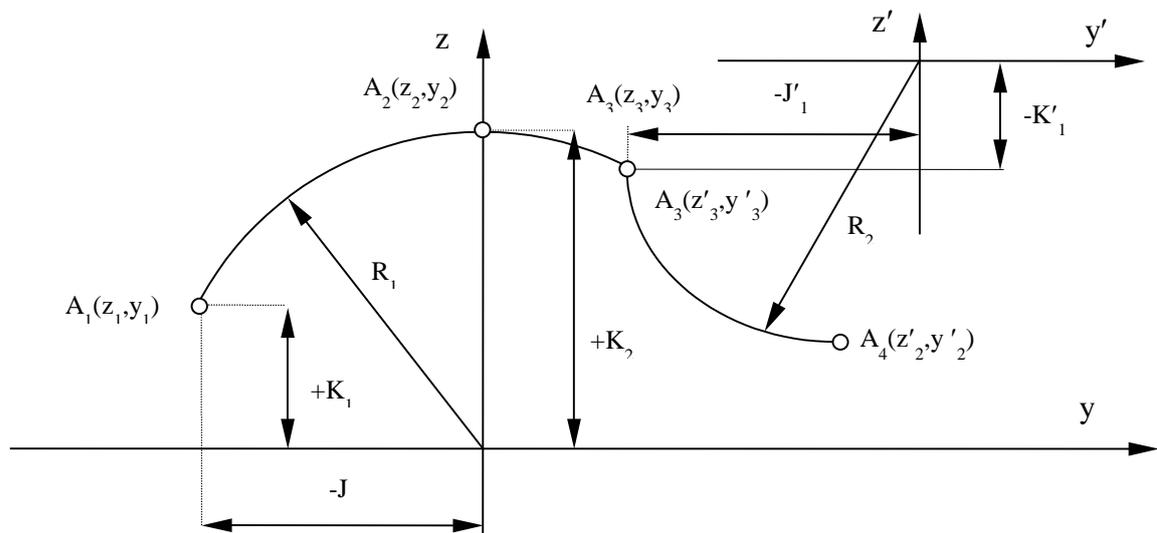


Рис. 6. Участки круговой интерполяции радиусами  $R_1$  и  $R_2$ .

Сведем координаты точек в таблицу 1 .

Таблица 1

Координаты, мм	Система координат
(-120; + 50)	YZ
( 0; + 130)	YZ
(+ 50; + 120)	YZ
(- 80; - 60)	Y'Z'
(- 60; - 80)	Y'Z'

Можно отметить, что знаки параметров I,J,K УЧПУ не воспринимаются и им рекомендуется присваивать знак "плюс".

При расчете приращений, как и прежде, из координат конечной точки будем вычитать координаты начальной точки дуги.

При обработке траектории от точки  $A_1$  к точке  $A_4$

N 015 G19LF

N 021 G02 Y+ 012000; Z+ 008000; J + 012000; K + 005000LF;

N 022 Y+ 005000; Z- 001000; K + 013000LF;

N 023 G03 Y+ 002000; Z- 002000; J + 008000; K + 006000LF.

В пятнадцатом кадре указана плоскость ( интерполяции) обработки G19.

От точки  $A_1$  к точке  $A_2$  движение происходит по часовой стрелке (команда G02) в кадре N 021. Эта же команда остается для кадра N 022.

В кадре N 023 движение происходит против часовой стрелки, поэтому подана команда G03.

J и K - координаты начальной точки дуги относительно ее центра. LF - символ конца кадра.

Параметры перемещения X, Y, Z и параметры интерполяции I, J, K необходимо рассчитывать с точностью не менее одной дискреты, пользуясь обычными правилами округления.

Рассмотрим случай, который довольно часто встречается на практике (рис.7).

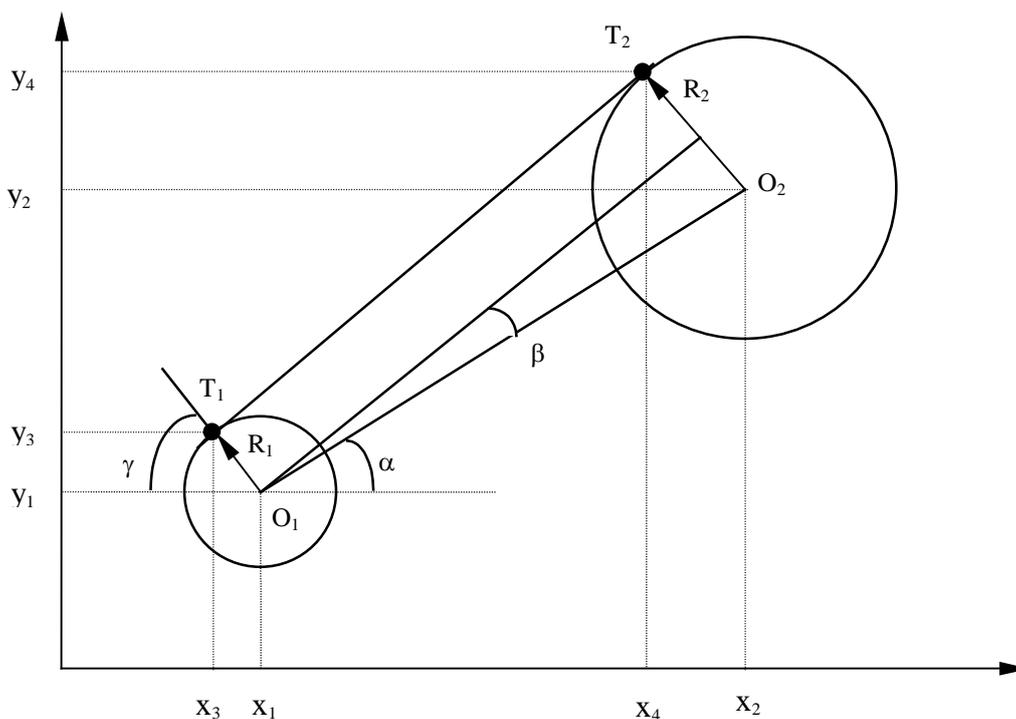


Рис. 7

Участок контура детали образован отрезком прямой ПР1 и дугами двух окружностей (окружности ОКР1 радиуса R1 с центром в точке O1 и окружности ОКР2 радиуса R2 с центром в точке O2). Найдем координаты опорных точек T1 и T2, которые являются точками касания прямой и окружностей, для чего произведем вычисления в таком порядке:

1.  $\operatorname{tg} \alpha = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$  ;
2.  $\alpha = \operatorname{Arctg}[(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)]$
3.  $O_1O_2 = (y_2 - y_1) / \sin \alpha$  ;
4.  $(R_2 - R_1) / O_1O_2 = \sin \beta$  ;
5.  $\beta = \operatorname{Arcsin}[(R_2 - R_1) / O_1O_2]$
6.  $\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta)$  ;
7.  $y_3 - y_1 = R_1 \sin \gamma$  ;
8.  $y_3 = y_1 + R_1 \sin \gamma$  ;
9.  $x_3 = x_1 - R_1 \cos \gamma$  ;
10.  $y_4 = y_2 + R_2 \sin \gamma$  ;
11.  $x_4 = x_2 - R_2 \sin \gamma$  ;

### 2.3. Задание для проверки навыков по данному разделу

Составить фрагмент УП для обработки элементов поверхности, состоящих из двух сопрягаемых участков, на станке с ЧПУ (аналогично рис. 5, рис. 6, рис. 7.).

Различные варианты заданий требуемых элементов поверхностей приведены в таблице 2.

Таблица 2.

№ варианта (i)	Тип участков поверхности
1	выпуклый—линейный
2	вогнутый—линейный
3	линейный—выпуклый
4	линейный—вогнутый
5	линейный—линейный
6	выпуклый—выпуклый
7*	вогнутый—вогнутый
8	вогнутый—выпуклый
9	выпуклый—вогнутый

Номер конкретного задания определяется по порядковому номеру студента в списке группы журнала учёта лабораторных работ (n). Для n=1-9 i=n; для n=10—19 i=n/10; для n=20—29 i=n/20. Координаты опорных точек A1, A3, A4 и радиусы дуг окружностей R1, R2 в соответствии с рис. 2 определяются по следующим формулам:

$$X1=-140+n; Y1=30+n; X3=70-n; Y3=140-n; X4=110+n; Y4=30+n;$$

$$R1=160-n; R2=80+n.$$

#### 2.4. Контрольные вопросы

1. Какие функции в УП определяют геометрию обрабатываемой поверхности?
2. С помощью каких функций задаётся характер траектории между двумя опорными точками?
3. Какой тип геометрической информации присутствует в кадре круговой интерполяции?
4. Как определяются координаты опорной точки между двумя дугами окружностей?
5. Как определяются координаты опорной точки между двумя отрезками прямых?
6. Что такое эквидистанта, чем она характеризуется?

# **Лабораторная работа №4**

## **Составление управляющих программ для станков с системой ЧПУ «Электроника НЦ31»**

### **4.1 Цель и задачи работы**

Ознакомиться с способами и принципами составления управляющих программ для технологического оборудования с УЧПУ «ЭЛЕКТРОНИКА НЦ-31». Получить навыки составления программ для токарного станка модели 16К20ФЗ.

### **4.2. Основные теоретические сведения**

Специфика отдельных видов технологического оборудования привела к созданию двух основных типов программного управления: позиционного (дискретного) и непрерывного (контурного).

Позиционное управление находит применение в оборудовании, где для перемещения или установки рабочего инструмента можно использовать независимо действующие серводвигатели. Такое оборудование предназначено, как правило, для выполнения сравнительно простых операций-прямолинейного точения валиков, сверления отверстий в печатных платах, растачивания отверстий в корпусных деталях, нарезания резьб и т.п.

Контурное управление используется там, где требуется обеспечивать произвольные траектории движения режущего инструмента в плоскости или в пространстве. Характерными типами этого оборудования являются токарные и фрезерные станки с ЧПУ. Токарные управляются по двум осям (продольное и поперечное движения суппорта); фрезерные, как правило, имеют три, а иногда и более управляемых координат. При этом способ реализации движений по координатным осям может быть различным в зависимости от конструктивных особенностей конкретного станка.

Для операций обработки деталей на станках с ЧПУ целый ряд традиционных этапов может отсутствовать. При разработке технологической операции определяют:

- 1) поверхности детали, которые должны быть обработаны;
- 2) величину припуска(заготовка уже выбрана);
- 3) режущие инструменты;
- 4) режимы резания;
- 5) число проходов по каждой из поверхностей;
- 6) исходное положение инструментов;
- 7) траекторию движения инструментов.

При токарной обработке (рис. 8) центр инструмента совпадает с центром окружности при вершине резца, а траектория движения инструмента совпадает с эквидистантой к контуру детали и отстоит от него на величину радиуса при вершине резца. Эквидистанта состоит из отдельных участков, разделенных опорными точками (1...6). Перемещения 0'-1 и 6-0' - холостые ходы.

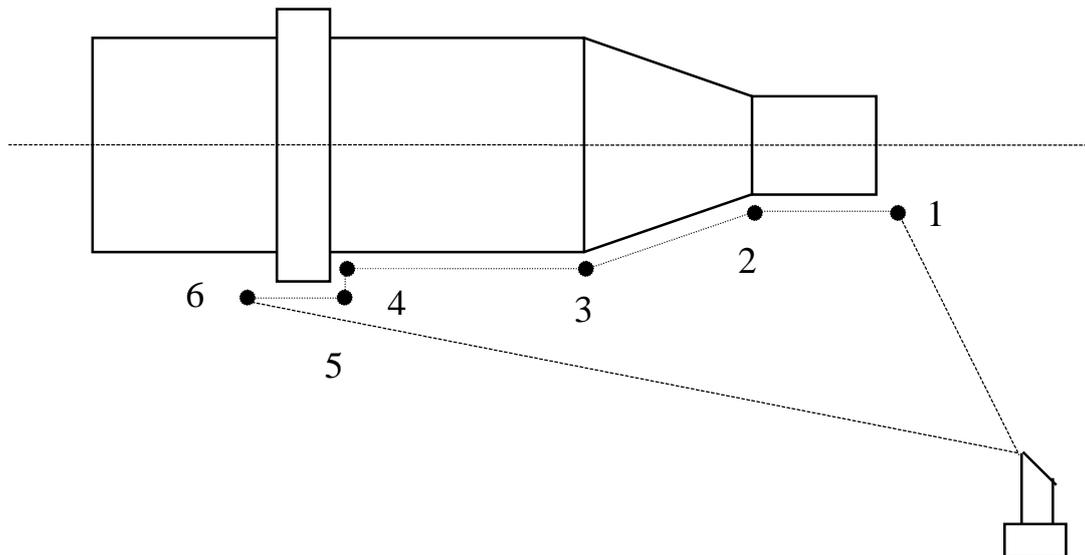


Рис. 8

Схема, представленная на рис.1, иллюстрирует чистовую обработку. При черновой обработке траектория, как правило оказывается более сложной, появляются черновые проходы, после которых назначается чистовой проход.

При расчете траектории инструмента основным является определение координат опорных точек траектории движения инструмента.

Управляющая программа в устройстве ЧПУ «Электроника НЦ-31» представляет собой последовательность строк. Строка называется кадром. Каждый кадр имеет:

- цифровой адрес (номер кадра N);
- буквенный адрес (один из: G, F, X, Z, P, M, S, T,);
- числовой код или целочисленная цифровая информация;
- при необходимости, дополнительно указывается один из следующих признаков:
- признак относительной системы отсчета ОАСО («ОТМЕНА АБСОЛЮТНОЙ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА»);
- признак модификаций («БЫСТРЫЙ ХОД», ФАСКА - «+45», «-45»);
- признак принадлежности к группе кадров «ЗВЕЗДОЧКА» (внешний вид клавиш, используемых в лабораторной работе, приведен в п. 7).

Номер кадра N может принимать значение от 0 до 249. Максимальная величина может быть изменена введением нового значения параметра (до 999). Кадры управляющей программы нумеруются с любого допустимого значения N.

Буквенный адрес в кадре определяет, в общем случае, тип операции, которую устройство ЧПУ должно осуществить при отработке кадра в автоматическом режиме, т. е. качественную сторону операции, которую устройство осуществляет при обработке кадра.

Значение числовой информации представляет собой целое число заданной разрядности со знаком в диапазоне  $\pm 999999$  или двухразрядный десятичный код.

Признак системы отсчета задается в кадре при переходе из абсолютной системы отсчета в относительную и наоборот – при отмене относительной системы отсчета и восстановления абсолютной.

Признак модификации указывает на особенность отработки операции.

Буквенный адрес задает следующие типы операции:

- технологические команды (M,S,T);
- задание рабочей подачи (F);
- задание геометрических перемещений (X,Z,G);
- задание последовательности и траекторий перемещений (G, P).

Каждый кадр может рассматриваться как самостоятельная операция. При необходимости объединения нескольких кадров в группу и выполнения их как один кадр

составляющие разделяются знаком «ЗВЕЗДОЧКА».

В системе ЧПУ “Электроника НЦ-31” задается контурная обратная или минутная подача. Под контурной подачей следует понимать скорость перемещения инструмента, направленную по касательной к запрограммированной траектории перемещения. Режим обратной подачи (мм/об) устанавливает функция G95 (при включении УЧПУ она устанавливается автоматически) и действует до установки режима минутной подачи. Установка минутной подачи производится функцией G94. Задание значения подачи осуществляется адресом F. Формат адреса F зависит от того, каким образом задана подача, а именно: отдельным кадром или в командах с линейной, круговой интерполяцией или в стандартных циклах.

Примеры:

.....

N11 G94 – режим минутной подачи

N12 F200 – подача 200мм/мин

.....

N11 G94 – режим минутной подачи

N12 X2000\* - перемещение по оси X

N13 F1000 – подача 10 мм/мин

.....

N11 G95 – режим обратной подачи (при включении устанавливается автоматически)

N12 F150 – подача 1,5 мм/об

Подача введения в одной кадре, распространяется на все последующие кадры вплоть до задания новой подачи. Исключение составляет кадры с признаком «БЫСТРЫЙ ХОД» и группы кадров включающие в себя задание подачи, распространяющееся только на них.

Технологические команды в управляющей программе представляются одним кадром с использованием буквенных адресов M, S или T. Цифровые коды M, S, T изменяются от 0 до 99, в соответствии с рекомендациями ISO. Так, например, для станка 16К20 используются следующие функции с адресом «M»:

M3- включение привода главного движения и задание правого вращения;

M4 – включение привода главного движения и задание левого вращения;

M5 – останов шпинделя;

M17 – возврат из подпрограммы;

M38 - M41 - определяют поддиапазоны ручного изменения скорости ПГД;

M00- используется для технологического останова управляющей программы, например, для контрольных обмеров детали и т.п. После нажатия клавиши «ПУСК» выполнение программы продолжается, начиная с кадра, идущего вслед за M00;

M30 - организует остановку выполнения управляющей программы, главного привода, приводов подач, а также переход на кадр N00, т. е. готовит УЧПУ к повторному выполнению управляющей программы (если она начинается с кадра N00).

Адрес S задает скорость вращения шпинделя. Значение цифровой информации в кадре соответствует числу об/мин шпинделя (для станков с регулируемым приводом главного движения) или коду ступени автоматической коробки скоростей (АКС), задающей определенное число оборотов.

Для станков с АКС число оборотов шпинделя задается в формате SXX, где XX – код, которому соответствует определенное число оборотов шпинделя.

Для станков с регулируемым приводом главного движения число оборотов шпинделя задаются непосредственно в об/мин в формате SXXXX.

Примеры:

.....

N10 M3 – включить привод главного движения;

N11 S560 – скорость 560 об/мин

.....  
N10 M3

N11 M38 - определяет поддиапазон ручного изменений скорости

N11 S7 – код скорости 560 об\мин (для станка с АКС).

Адрес T указывает номер позиции в резцедержателе с установленным в ней инструментом. Использованию инструмента должна предшествовать размерная привязка инструмента.

Задание на перемещения вдоль оси X (поперечное) или вдоль оси Z представляется, соответственно, кадрами с буквенными адресами X и Z. Значения числовой информации в кадрах этих типов задают перемещения в сотых долях миллиметра (в дискретах). Диапазон значений буквенных адресов X и Z изменяется от 0 до  $\pm 999999$ . При этом одной дискрете по оси Z соответствует перемещение 0,01 мм, а по оси X – 0,005 мм. Поэтому следует помнить, что значение X задается не на радиус, а на диаметр.

Например, кадры:

.....

N3 X15000

N4 Z15000

.....

задают в абсолютных значениях сначала перемещение инструмента по оси X в точку с диаметром 150 мм (радиус 75 мм), затем по оси Z в точку с координатой 150 мм.

В некоторых случаях (например, при отводах и подводах инструмента к детали) требуется запрограммировать перемещения инструмента не на рабочей подаче (F), а на быстром ходу. Для этого достаточно кадры, на которых подразумевается отработка перемещений на быстром ходу, снабдить признаком «БЫСТРЫЙ ХОД».

Например, кадры:

.....

N5 X 15000 BX – (BX – признак «БЫСТРЫЙ ХОД»)

N6 Z15000

осуществляют перемещения, аналогичные предыдущему примеру, но при этом движение по оси X производится на быстром ходу, а по Z – на рабочей подаче (признак «БЫСТРЫЙ ХОД» не меняет значение подачи, устанавливаемое адресом F).

Если необходимо осуществить прямолинейное перемещение одновременно по двум осям, то задание на обработку такого перемещения программируется в виде группы из двух кадров: один – с адресом X, другой – с Z, с заданием признака «ЗВЕЗДОЧКА» у первого кадра.

Например, кадры:

.....

N4 X15000 (ОАСО)\*

N5 Z15000

.....

представляют собой программу одновременного перемещения на 15мм по оси Z и на 7,5 мм по оси X. Признак ОАСО здесь и далее в примерах показывает, что значение буквенных адресов в кадрах задаются в относительной системе отсчета.

Обработка контура с дугами окружностей менее 90 градусов осуществляется с помощью функций:

G2 – движение инструмента по часовой стрелке;

G3 – движение инструмента против часовой стрелки.

Задание на обработку записывается группой кадров из шести кадров:

1. G2 или G3 - вид обработки

2. X -координата X конечной точки дуги (с учетом системы отсчета)

3. Z- координата Z конечной точки дуги.

4. P- координата X исходной точки дуги относительно ее центра.

5. P- координата Z исходной точки дуги относительно ее центра.

6. F подача при обработке дуги (может отсутствовать, при этом используется ранее заданное значение)

Последовательность задания адресов P в группах кадров G2 и G3 должна строго соблюдаться.

Обработка контура дуги в 90 градусов находящегося в одном квадранте (скругление) задается упрощенно с помощью функций G12 и G13::

G12 – скругление в направлении движения резца по часовой стрелке;

G13 – скругление в направлении движения резца против часовой стрелки.

Задание состоит из четырех кадров, где:

1. G12 или G13 – вид обработки
2. X координата X конечной точки
3. Z координата Z конечной точки
4. F величина подачи при выполнении скругления

Примеры способов задания дуг окружности:

.....	.....
N22 G2 (OACO)*	N22 G13 (OACO)*
N23 X20*	N23 X-20*
N24 Z10*	N24 Z-10*
N25 P-20*	N25 F 10
N26 P10*	
N27 F 25	

.....

Радиус дуги при обработке G12 и G13, устройство ЧПУ рассчитывает самостоятельно.

Кроме рассмотренных возможностей УЧПУ «ЭЛЕКТРОНИКА НЦ-31» даёт возможность применять более развитые технологические циклы, значительно упрощающие процедуру составления управляющей программы обработки заготовок:

- G77 многопроходный цикл продольного точения;
- G78 многопроходный цикл поперечного точения;
- G31 многопроходный цикл резьбонарезания с автоматическим распределением припусков по проходам;
- G32 программирование отдельных проходов резьбонарезания, если они не соответствуют G31;
- G33 нарезание резьбы плашкой или метчиком.

Более подробное знакомство со способами упрощённого программирования траектории движения инструмента с использованием стандартных циклов может быть осуществлено с помощью инструкции по программированию в системе «ЭЛЕКТРОНИКА НЦ-31».

### 5.3.Задание для проверки навыков по данному разделу

Каждый студент составляет или получает от преподавателя контур обрабатываемой детали. Изображает данный контур на бланке отчета со всеми необходимыми размерами, траекторией движения инструмента, опорными и исходной точками.

Разрабатывает управляющую программу движения инструмента и записывает её на бланке отчёта.

Различные варианты контура обрабатываемой детали приведены в таблице 1.

### 3.4 Контрольные вопросы

1. Как задается в управляющей программе скорость перемещения инструмента.?
2. Каким образом изменить скорость перемещения инструмента с рабочей подачи на быстрый ход и наоборот?
3. Как программируются технологические команды в управляющей программе?
4. Что такое 'группа кадров'?
5. Как меняется формат задания значения подачи при использовании группы кадров?
6. Приведите последовательность команд при задании траектории движения инструмента при обработке конуса?
7. Назовите типы стандартных циклов, используемых при задании траектории движения инструмента.?
8. Приведите пример использования признака OACO. Как меняются числовые значения в программе при выполнении одних и тех же действий с использованием признака и без него?
9. Укажите в Вашей программе кадры изменяющие скорость вращения шпинделя. Какие действия вы предприняли, чтобы не испортить инструмент в этот момент?
10. Почему циклы G12 и G13 используют меньше данных чем циклы G2 и G3? Как, в последнем случае, рассчитать радиус обрабатываемой дуги?

## Лабораторная работа №6

### Примеры реализации управляющих программ

4.1. Пример разработки УП для обработки детали типа фланец (рис. 9).

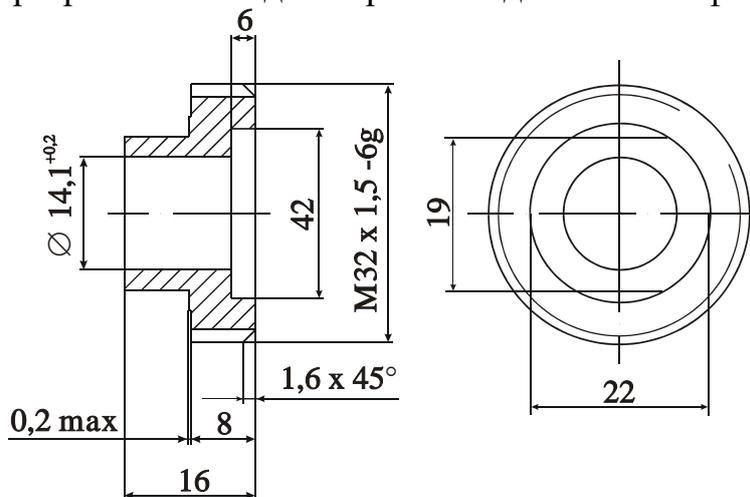


Рис.9.

#### Управляющая программа для системы ЧПУ обработки фланца

№99 M40

№100 L0201

№101 G 25\*

№102 P2008

№103 ~S 109114 // Определение участков

№104 ~S109131 // элементов повтора программы

№105 ~S 109138

№106 ~S 109151

№107 ~S 109165

№108 P 110 //Тело программы

№109 ~Z 5000

№110 T2

№111 S 1600

№112 F 50

№113 ~X 34000\*

№114 ~Z 5000

№115 Z -5000#,

'№116 F 15

№117 X 10000

№118 F 50

№119 X 28500

№120 F 20

№121 -45° X 32000

№122 Z -9000#

№123 ~X 34000

№124 ~Z 15000#

№125 ~X -11 0000\*

№126 ~Z 59000

№127 T3

№128 S 1600

№129 F 9  
№130 ~X 0\*  
№131 ~Z 5000  
№132 Z -25000#  
№133 ~Z 25000#  
№134 T4  
№135 S 1600  
№136 F 30  
№137 ~X 21800\*  
№138 ~Z 5000  
№139 Z -5000#  
№140 F 10  
№141 -45° X 21100  
№142 Z 5500#  
№143 X 14850  
№144 ~45° X 14000  
№145 ~Z 12000#  
№146 ~X  
№147 ~Z  
№148 T7  
№149 S 1600  
№150 ~X 38000\*  
№151 ~Z 5000  
№152 G31\*  
№153 X 31460\*  
№154 Z -17000#\*  
№155 F 14751\*  
№156 P812\*  
№157 P300\*  
№158 P0  
№159 ~X -106000\*  
№160 ~Z 58000  
№161 T8  
№162 S 1600  
№163 F 10  
№164 ~X 34000\*  
№165 ~Z 5000  
№166 ~Z -20900#  
№167 X 19000  
№168 ~X 34000  
№169 ~Z 4000#  
№170 X 22100  
№171 ~X 34000  
№172 ~Z 4000#  
№173 X 21900  
№174 F 7  
№175 Z -7700#  
№176 -45° Z -400#  
№177 M24  
№179 X 9000  
№180 M25  
№181 Z 1000#

№182 ~X  
№183 ~Z  
№185 ~S 191114\* //Изменение положения нулевой точки  
№186 ~S 191131 \*  
№187 ~S 191138\*  
№188 ~S 191151 \*  
№189 ~S191165\*  
№190 P192  
№191 P 21000  
№192 G 25\*  
№193 P 101189\*  
№194 R12 //Задание числа повторов  
№195  
№196 M5  
№197 P101  
№198 M30  
№199

### **Подпрограмма определения длины заготовки**

L01

№200 R1#N100. R2#G01. R3#M30. R4#Z. R5#9999999. R6#G00. R7#1. R8#Z. R9#-  
9999999 //Описание переменных

№201 R1#N1 //Анализ n-ого кадра УП  
№202 R2=G01 E206 //Поиск функции интерполяции  
№203 N1+1  
№204 R3=M30 E218 //Проверка окончания программы  
№205 E201  
№206 R4<R5 E208 //Определение длины заготовки  
№207 E203  
№208 R5#R4  
№209 N1-1  
№210 R6=G00 E213  
№211 R7+1  
№212 E209  
№213 R8<R9 E215  
№214 R9#R8  
№215 N1+R7  
№216 N1+1  
№217 E204  
№218 R9-R5  
№219 R10#R9  
№220 M17

### **Подпрограмма определения диаметра и вылета заготовки из зажимного патрона многоцелевого токарного станка с ЧПУ**

L02

№300 R1#N100. R2#G01. R3#M30. R6#G00. R7#1. R11#X. R12#-9999999

//Описание переменных

№301 R1#N1 //Анализ n-ого кадра УП  
№302 R2=G01 E306 //Поиск функции интерполяции

№303 N1+1  
№304 R3=M30 E315 //Проверка окончания программы  
№305 E301  
№306 N1-1  
№307 R6=G00 E310 //Определение длины заготовки  
№308 R7+1  
№309 E306  
№310 R11<R12 E312 //Определение диаметра заготовки  
№311 R12#R11  
№312 N1+R7  
№313 N1+1  
№314 E304  
№315 R12\*2 //Расчет габаритных размеров заготовки  
№316 R13#R12  
№317 R14\*R13  
№318 R15#14  
№319 R15:R10 //Определение число повторений основной УП  
№320 R16#R15  
№321 M17

## 6.2 Пример разработки УП для системы ЧПУ 2P32

### 6.2.1. Особенности цикла поиска и смены инструмента в системе ЧПУ 2P32

Поиск инструмента в револьверной головке осуществляется командами с адресом T.

После адреса T следует двухрядное число, которое определяет номер инструмента. Можно задавать номера от 1 до 99 включительно. Каждый номер инструмента соответствует определенной позиции револьверной головки.

За каждой позицией револьверной головки закреплен определенный корректор. Позиции 1 соответствует корректор 381, позиции 2 корректор 382 и т.д., позиции 12 - корректор 392. В соответствии с технологической картой необходимо указать оператору станка какие номера инструментов следует занести в таблицу (в соответствующие корректора). Поиск инструмента по кратчайшему пути в прямом и обратном направлении. Всего в программе может быть 11 инструментов. Позиция 7 используется для установки блока со щупом для измерения детали (рис.8).

Пример 1. Инструмент находится в позиции 1, а в корректоре 383 занесено число 12. В кадре N17T12 по этим командам произойдет поворот револьверной головки на две позиции против часовой стрелки в позицию 3, в которой установлен инструмент под номером 12.

Пример 2. Инструмент находится в позиции 3, а в корректоре 392 занесено число 41. N153T41 по этим командам произойдет поворот револьверной головки на две позиции по часовой стрелке в позицию 12, в которой установлен инструмент с кодом 41.

### 6.2.2. Примеры программирования

Пример 1. Составить программу для обработки ступенчатого валика, изображенного на рис. 10. Режимы обработки с учетом мощности развиваемого приводом шпинделя токарного, привода продольной и поперечной подач, надежности закрепления заготовки в патроне, получения необходимой точности и шероховатости представлены в таблице 15.

Неуказанные предельные отклонения по ГОСТ 1.76253-78

Для обточки валика используется проходной резец, закрепляемый в резцедержателе 2210.0356.000. (рис. 11). Такая установка резца позволяет обойти заданный наружный контур данной детали при малом вылете резца и без столкновения резцом и резцедержателем с заготовкой или элементом станка.

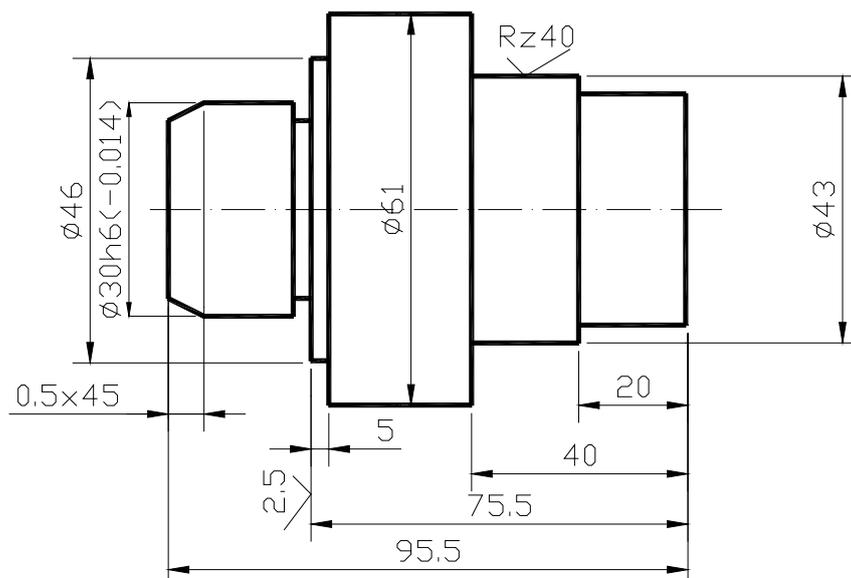


Рис. 10. Ступенчатый валик и наладка для его обработки

Рассмотренному резцовому блоку задается код 11, который заносится в корректор 391. Исходному положению револьверной головки присваивается код 1, который заносится в корректор 381.

Наладка на обработку ступенчатого валика представлена на рис. 8, где показано базирование заготовки в патроне. На основании намеченных переходов с учетом режущей части инструмента рассчитаны абсолютные и относительные размеры.

При работе в приращениях (G91) используются относительные размеры, а при работе в абсолютных координатах (G90) – абсолютные размеры.

Программа обработки ступенчатого валика написана при задании размеров в приращениях. Для учета положения инструмента используются корректора 17 и 16. Корректорам присвоены следующие значения (рис. 10) D17+28000, D16+42000.

Перемещения по координатам из исходной точки рассчитываются следующим образом:

$$X = 170 - \left( \frac{d_{\text{заг}}}{2} - h \right) = 170 - \left( \frac{34.4}{2} - 0.6 \right) = 153.4 \text{ мм}$$

$$Z = 431 - (145 + 60 + 1) = 431 - (145 + 77.5 + 2) = 208.5 \text{ мм}$$

где  $d_{\text{заг}} = 34,4$  – начальный диаметр заготовки ступенчатого валика;  $h$  – величина снимаемого припуска;  $l = 2$  мм – величина недохода до заготовки (принимается в пределах от 1 до 5 мм в зависимости от точности изготовления заготовки).

Программа обработки приведена ниже и имеет номер 1.

ПС

% 1 (% - комментарий, начало программы; номер программы)

N1 M86 (отключение датчика резьбы)

N2 M90 (подключение токарного шпинделя и отключение следящего шпинделя)

N3 G91 M84 (размер в приращениях, отключение инструмента фрезерного)

N4 S2000 M4 (скорость главного движения, вращение шпинделя против часовой стрелки)

N5 G G43 D16 Z-208500 (коррекция длины инструмента положительная, перемещение инструмента по оси Z)

N6 G43 D17 X-153400 (коррекция длины инструмента отмена ранее заданных смещений нулевой точки, перемещение инструмента по оси X)

N7 G1 Z-22000 F30 (линейная интерполяция – перемещение с запрограммированной скоростью по прямой от исходной точки к точке заданной координатами в данном кадре; перемещение по оси Z с подачей 30 мм/мин)

N8 X + 500 (перемещение по оси X)

N9 Z-20000 (перемещение по оси Z)

N10 X+10000 (перемещение по оси X)

N11 G9 Z+42000 F3000 (торможение в конце кадра; перемещение по Z)

N12 X-10000 (перемещение по оси X)

N13 G9 Z-1900 X-13000 F3000 ()

N14 Z-200 F18 (перемещение по Z с подачей 18 мм/мин)

N15 X+7600 F 70 (перемещение по X с подачей 0,7 мм/мин)

N16 G9 Z-300 X+300 (перемещение по Z и X с торможением в конце кадра)

N17 G4 X+4000 (выдержка по времени; перемещение по X)

N18 Z-19700 (перемещение по Z)

N19 X+4700 (перемещение по X)

N20 G9 Z-300 X+300 (перемещение по Z и X с торможением в конце кадра)

N21 G4 X+4000 (перемещение по X с выдержкой времени)

N22 Z-19700

N23 X+10000

N24 G20 G40 X0 Z0 M5 (G28 – автоматический выход в исходную точку через промежуточную точку; G40 – отмена коррекции; нулевые положения X и Z; останов шпинделя)

N25 M2 (конец программы)

N26 M30 (конец ленты)

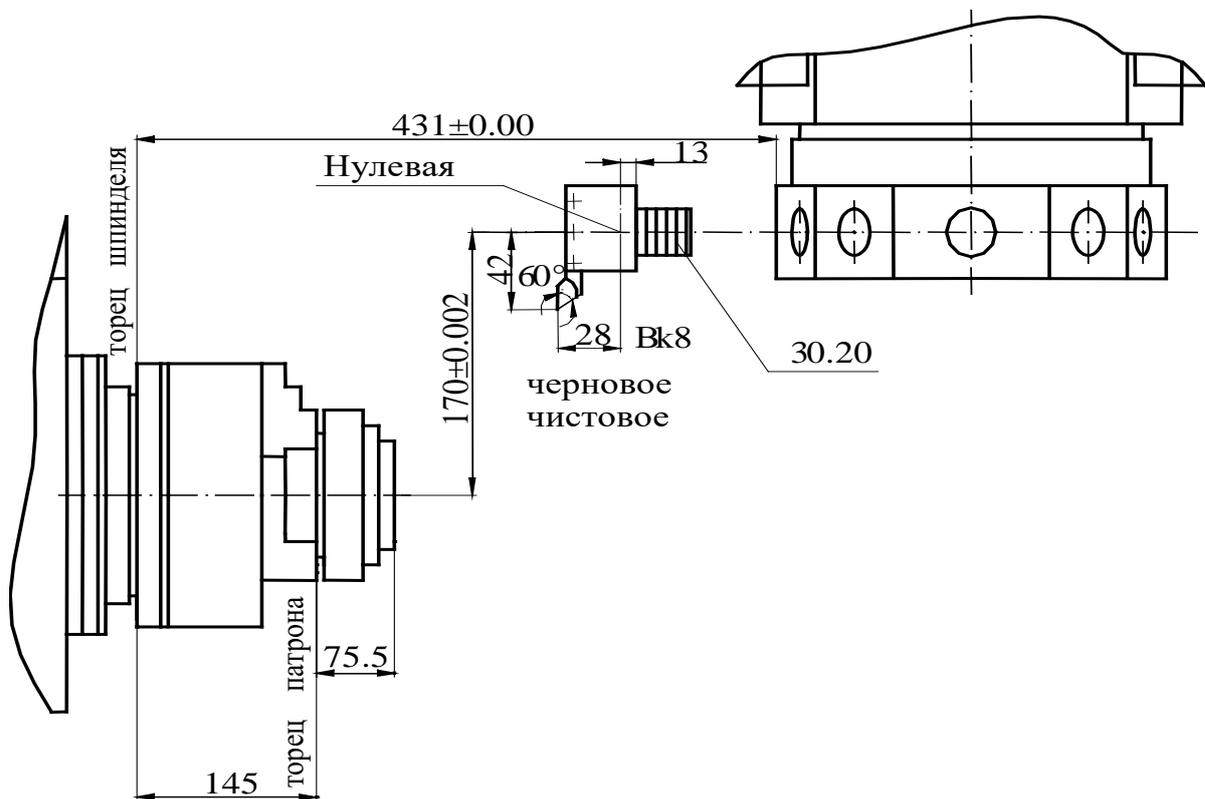


Рис. 11. Наладка на обработку ступенчатого валика

Пример 2. Составить программу для обработки макетной программы (рис. 12).

Для выполнения токарно-фрезерной обработки используется 6 инструментов. Порядок выполнения операций, вид режущего инструмента и технические данные указаны на рис. 12, 13.

#### Режимы резания

№	Вид обработки	№ налад Резц.блок	Режущий инструмент	D <sub>обр</sub> , мм	Режимы резания						
					L <sub>мм</sub>	V <sub>м/мин</sub>	t <sub>мм</sub>	n <sub>об/мин</sub>	S <sub>мм/об</sub>	S <sub>мм/об</sub>	
1	Наружная обт.	30.100	1	Резец Т30К4	92	520	4	1800	180	0,1	
2	Чистовая обт.	30.100	1	То же	90	650	1	2300	30	0,013	
3	Сверление Ø 12	30.400	3	Сверло Ø12 мм	12	30	49	6	1300	520	0,4
4	Сверление Ø 6	30.500	4	Сверло Ø 6 мм	6	20	32	3	1700	510	0,3
5	Фрезерование	30.600	5	Фреза Ø 8 мм	8	36	43	4	1700	45	0,027
6	Сверление	30.600	6	Сверло Ø 6 мм	6	15	32	3	1700	45	0,027
7	Фрезерование	30.500	8	Фреза Ø 8 мм	8	38	43	4	1700	45	0,027
8	Фрезерование	30.500	8	То же	8	52	43	4	1700	45	0,027
				M <sub>кр</sub> , Нм	P <sub>з</sub> , кг		P <sub>о</sub> , кг		N <sub>з</sub> , кВт		
1	Наружная обт.	30.100	1	40	90		-		7,5		J <sub>max</sub>
2	Сверление Ø 12	30.400	6	9	-		190		1,2		21,5
3	Сверление Ø 6	30.500	7	2	-		75		0,35		

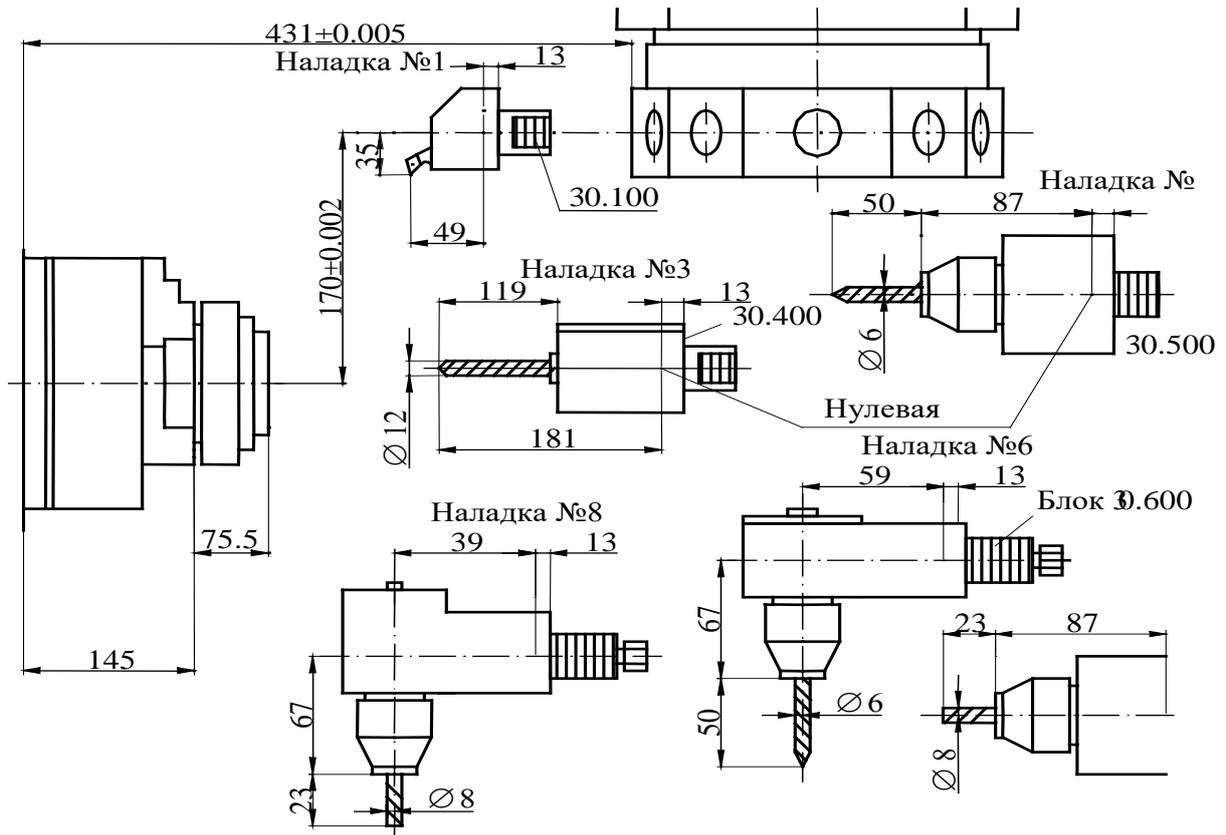


Рис. 12. Наладка на обработку заданной детали

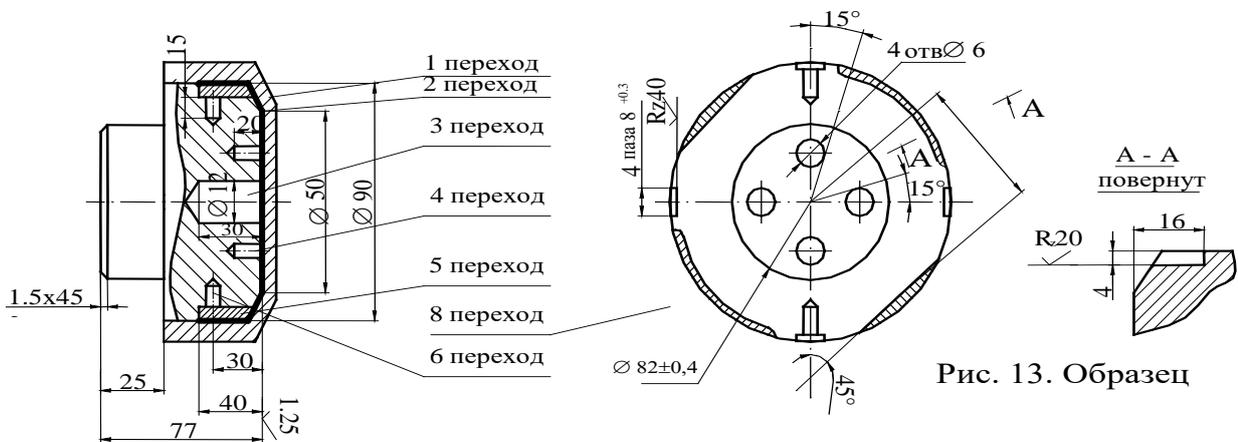
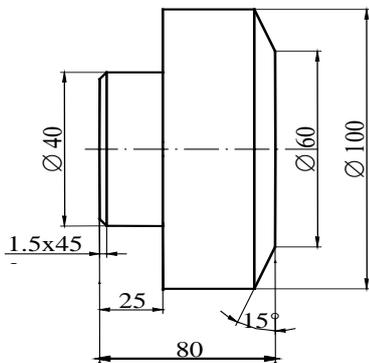


Рис. 13. Образец

1. Материал: пруток Д16 ГОСТ



%,3  
N1

M86

N44  
N45

X1000  
G9 Z 36000 F2000

N2	M90	N46	Y 90000
N3	G91 M84	N47	G1 X-1000 F30
N4	S1800 M4	N48	Z-36000
N5	G G43 D1 Z-147700	N49	X1000
N6	G43 D2 X-87291 M8	N50	G9 Z36000 F2000
N7	G1 Z-66000 F30	N51	G Y9000
N8	X+1000	N52	G1 X-1000 F30
N9	G9 Z+66000 F2000	N53	Z-36000
N10	X-2000 F100 S2300	N54	X1000
N11	Z-66000 F20	N55	G9 Z36000 F2000
N12	G9 X+7000 Z+54265 F1000	N56	G Y90000
N13	X-27000 Z+7235 F20	N57	G1 X-1000 F30
N14	X-20000	N58	Z-36000
N15	Z+1000 M9	N59	G9 X10000 F1000
N16	G28 X0 Z0 G40 M5	N60	G28 X0 Z0 G40 M5
N17	T2	N61	G28 Y0 M9
N18	S1300 M3	N62	T5
N19	G G43 D5 X-170291 G43 D6 Z-1100 M8	N63	M83
N20	G1 Z-40000 F45	N64	R27 – 4910 R26+0
N21	G9 Z+40000 F2000 M9	N65	S500 M3
N22	G28 X0 Z0 G40 M5	N66	G4 X20
N23	M89	N67	G91 G Y-20660
N24	G1 Y-50000 F500	N68	G G43 D9 X-115291
N25	G28 Y0	N69	G43 D10 Z-108000 M8
N26	T3	N70	G1 X+R27 F45
N27	M83	N71	G1 X-132 Y340 F20
N28	S1300 M3	N72	X-373 Y-1000
N29	G G43 D7 Z-50000	N73	X-352 Y-1000
N30	G43 D8 X-152791 M8	N74	X-333 Y-1000
N31	G91 Z-27000 F45	N75	X-314 Y-1000
N32	G9 Z+27000 F1000	N76	X-293 Y-1000
N33	Y90000	N77	X-277 Y-1000
N34	G1 Z-27000 F45	N78	X-260 Y-1000
N35	G9 Z+27000 F1000	N79	X-243 Y-1000
N36	G28 X0 Z0 G40 M5	N80	X-226 Y-1000
N37	G28 Y0 M9	N81	X-210 Y-1000
N38	T4	N82	X-194 Y-1000
N39	M83	N83	X-178 Y-1000
N40	S2000 M3	N84	X-163 Y-1000
N41	G G43 D13 Z-143000	N85	X-148 Y-1000
N42	G43 D14 X-37291 M8	N86	X-133 Y-1000
N43	G1 Z-36000 F30	N87	X-119 Y-1000
N88	X-104 Y-1000	N121	E+166 ω02 R25
N89	X-90 Y-1000	N122	G Y-35660 R25+1
N90	X-76 Y-1000	N123	G1 X-4390 F10
N91	X-62 Y-1000	N124	Y-60000 F20
N92	X-48 Y-1000	N125	X4390F100
N93	X-34 Y-1000	N126	G X-35660
N94	X-21 Y-1000	N127	E-108 ω00
N95	X-7 Y-1000	N128	G Y-35660 R25+0
N96	X+7 Y-1000	N129	G1 X-4390 F10
N97	X+21 Y-1000	N130	Y-60000 F20

N98	X+34 Y-1000	N131	X4390 F100
N99	X+48 Y-1000	N132	G Y-90000
N100	X+62 Y-1000	N133	G28 X0 Z0 G40 M5
N101	X+76 Y-1000	N134	G28 Y0 R27+0 M9
N102	X+90 Y-1000	N135	G4 X200
N103	X+104 Y-1000	N136	E+176 ω02 R27+0
N104	X+119 Y-1000	N137	R26+0 R27+0
N105	X+133 Y-1000	N138	G4 X20
N106	X+148 Y-1000	N139	T8
N107	X+163 Y-1000	N140	M83
N108	X+178 Y-1000	N141	S800 M3
N109	X+194 Y-1000	N142	G G43 D11 Z-176000 M8
N110	X+210 Y-1000	N143	Y-90000
N111	X+226 Y-1000	N144	G1 X-25000 F45
N112	X+243 Y-1000	N145	G9 X25000 F1000
N113	X+260 Y-1000	N146	G Y-180000
N114	X+277 Y-1000	N147	G1 X-25000 F45
N115	X+293 Y-1000	N148	G9 X20000 F1000
N116	X+314 Y-1000	N149	G28 X0 Z0 G40
N117	X+333 Y-1000	N150	G28 Y0 M5
N118	X+352 Y-1000	N151	T1
N119	X+373 Y-1000	N152	M2
N120	X+132 Y-1000	N153	M30

## 6.3. Особенности разработки УП для системы ЧПУ

### 6.3.1. Структура кадра

Каждый кадр программы должен начинаться с одного из следующих слов: "Номер кадра", "Главный кадр", "Пропуск кадра". Каждый кадр программы должен задаваться отдельной строкой.

**Примечание.** При вводе программы с пульта оператора перевод строки в конце кадра не выполняется.

В пределах одного кадра не должны использоваться слова с одинаковыми адресами, за исключением слов "Подготовительная функция", "Вспомогательная функция", "Коррекция".

В пределах одного кадра программы не должны использоваться слова "Подготовительная функция", входящие к одну группу (см. раздел 4).

Формат кадра согласно ГОСТ 20999-83:

%04 / N04 G02 X+043 Y+043 Z+043 A(B,C,U,V,W)+043 I+043 J+043 K+043 L04 F05 S04 R03#-7 E04 T02 M02 D03

**Примечание.** Особенности формата кадра при работе с переменными и подпрограммами даны в разделах 10 и 11 данной инструкции.

Любое слово может быть пропущено, если оно необязательно в кадре программы.

Символ "Главный кадр" (:) используется при программировании какого-либо перехода или фрагмента обработки детали. Он должен записываться вместо символа N в качестве адреса в слове "Номер кадра". После слова "Главный кадр" должна быть записана вся информация, необходимая для возобновления обработки с данного перехода (фрагмента).

3.2.7. Символ "Пропуск кадра" (/) записывается перед символами "Номер кадра" или

"Главный кадр". При наличии подтверждения с пульта оператора кадры, содержащие символ "Пропуск кадра", не обрабатываются.

**Пример.**       /:68 ... пропуск главного кадра номер 68  
                  /N215 ... пропуск кадра номер 215

### 6.3.2. Структура слова

Слово состоит из символа адреса и последовательности цифр с предшествующим знаком или без него.

**Пример.**       X500, M12, Z-300

.Нули, стоящие перед первой значащей цифрой, а также знак «плюс» могут быть опущены

Все размерные перемещения должны задаваться в миллиметрах.

Устройство обеспечивает ввод числовых значений с десятичной точкой. Десятичная точка может быть использована только в словах, имеющих размерность "миллиметр" (X, Y, Z, A и т.д.).

**Пример.**       Слова Z15., Z15.0, Z15000 соответствуют размеру 15 мм по координате Z.

Слова X.14, X0.14, X140 соответствуют размеру 0,14 мм по координате X.

**Примечания:** 1.В словах до символа "Десятичная точка" должно стоять не более четырех цифр, а после него - не более трех цифр.

2.В кадре могут быть слова с символом "Десятичная точка" и без него.

Подготовительная функция G28 служит для вывода рабочих органов станка в "0" (в исходное положение). В кадре указываются координаты, по которым нужно выйти в "0", направление перемещения и любое число, например 100.

**Пример.**       N15 G28 X-100 Y100 Z-100

При обработке этого кадра произойдет выход в "0", причем перемещения по координатам X и Z будут осуществляться в отрицательном направлении, а по координате Y - в положительном. После выхода в "0" координатам будет присвоено значение, указанное в параметрах 163-166.

4.8. При обработке на больших скоростях контуров с резкими изменениями траектории движения во избежание возникновения больших рассогласований исполнительных органов станка рекомендуется задавать функцию торможения в конце кадра (функция G9).

Если в следующем кадре скорость не задана, то она автоматически увеличится до ранее запрограммированной.

Если в кадре задана функция G0 (позиционирование), то функция G9 формируется автоматически.

Если при обработке контуров с изменениями траектории движения скорость подачи в следующем кадре больше, чем в текущем, то задание функции G9 в текущем кадре является обязательным.

На участке 1-2 (рис.4.1) необходимо запрограммировать функцию G9, если скорость подачи на участке 2-3 ( $F_2$ ) превышает скорость подачи на участке 1-2 ( $F_1$ ).

.В кадре может быть несколько подготовительных функций при условии, что они принадлежат к разным группам.

В кадре не должно быть двух и более функций, действующих только в том кадре, в котором они заданы.

**Пример.** Нельзя в одном кадре задавать подготовительные функции G4 и G92, G92 и G28 и т.д.

### 6.3.3. Методы программирования интерполяции

#### 6.3.3.1. Основные положения

Интерполяция производится на определенной части заданной траектории. Интерполируемая часть называется участком интерполяции и записывается в одном или нескольких кадрах управляющей программы.

Функциональный характер интерполируемого участка траектории (прямая, окружность или винтовая линия) определяется соответствующей подготовительной функцией.

Начальная точка каждого участка интерполяции совпадает с конечной точкой предыдущего участка.

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

При абсолютном отсчете, программируемом с помощью подготовительной функции G90, размеры задаются относительно начала выбранной системы координат.

При относительном отсчете, программируемом с помощью функции G91, размеры задаются относительно системы координат, начало которой помещено в начальную точку текущего кадра.

Перед началом обработки детали подвижные органы станка выводятся в нулевые положения, которые фиксируются по каждой координате при помощи датчиков.

Дискретность задания информации по линейным координатам составляет 0,001 мм, по круговым координатам - 0,001°.

Максимальные перемещения в одном кадре составляют по линейным координатам ±9999,999 мм, по круговым - ±9999,999 угловых градусов.

Числовые значения по адресам X, Y, Z, A, B, C, U, V, W, I, J, K задаются соответствующим знаком (“плюс” или “минус”).

#### 6.3.3.2. Линейная интерполяция

Прямолинейный участок интерполяции задается одним кадром, который содержит следующую информацию:

- 1) подготовительную функцию G1, если она не была запрограммирована ранее;
- 2) подготовительную функцию G90 или G91 – задание размеров в абсолютных значениях или приращениях, если она не была задана ранее;
- 3) координаты конечной точки в абсолютных значениях или приращениях с соответствующими адресами перемещений;
- 4) скорость подачи, если она не была задана ранее.

Пример. Линейная интерполяция на участке  $P_0P_1$  (рис. 14) может быть задана кадром в абсолютной системе отсчета:

N25 G1 G90 X12.146 Y90.7, где  $X=X_1$ ,  $Y=Y_1$ ;

и в приращениях:

N25 G1 G91 X-60.254 Y79.426, где  $X=X_1 - X_0$ ,  $Y=Y_1 - Y_0$ .

Аналогично программируется линейная интерполяция по другим осям. В одном кадре с линейной интерполяцией может быть задано движение по четырем координатам.

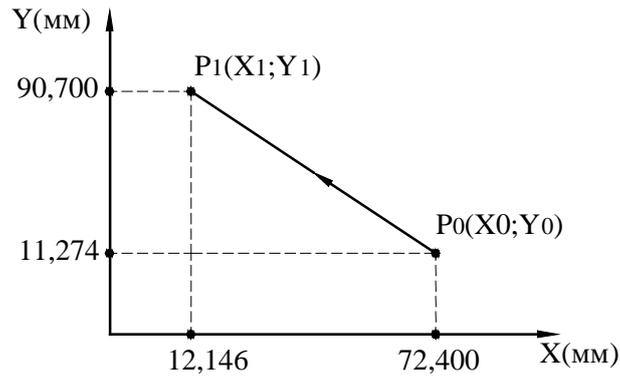


Рис. 14.

#### 4.3.3.2.Круговая интерполяция

Круговую интерполяцию можно задать в одной из следующих плоскостей: XY, XZ, YZ. Выбор плоскости обработки производится в соответствии с рис. 15.

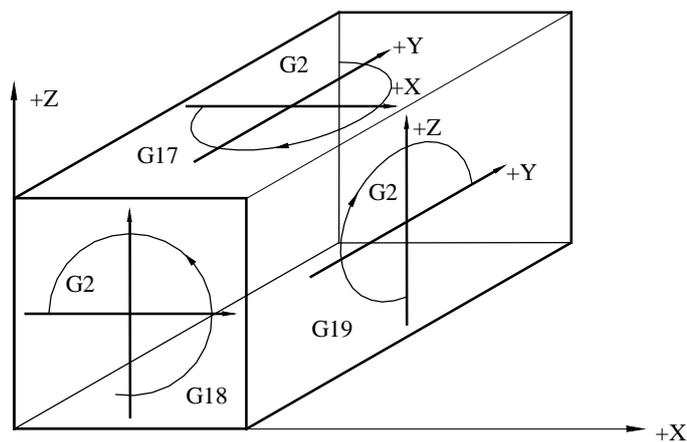


Рис. 15

Дугу окружности программируют одним кадром, который должен содержать следующую информацию:

- 1) подготовительную функцию G2 или G3 - интерполяция по или против часовой стрелки, если она не была задана ранее;
- 2) плоскость обработки (G17, G18, G19), если она не была задана ранее;
- 3) подготовительную функцию G90 или G91 - задание размеров в абсолютной системе отсчета или в приращениях, если она не была задана ранее;
- 4) координаты конечной точки в абсолютных значениях или в приращениях с соответствующими адресами X, Y, Z;
- 5) координаты центра дуги относительно начальной точки (независимо от функции G90 или G91) с соответствующими адресами I, J, K;
- б) скорость подачи, если она не была задана ранее.

**Пример.** Круговая интерполяция на участке  $P_0P_1$  (рис. 16) может быть задана кадром в абсолютной системе отсчета:  
 N31 G2 G17 G90 X40 Y78.722 I28.722 J20,  
 где  $X=X_1$ ,  $Y=Y_1$ ,  $I=X_C - X_0$ ,  $J=Y_C - Y_0$ ;

или в приращениях:  
 $N31 G2 G17 G91 X8.722 Y58.722 I28.722 J20$ ,  
 где  $X=X_1 - X_0$ ,  $Y=Y_1 - Y_0$ ,  $I=X_C - X_0$ ,  $J=Y_C - Y_0$ .

Аналогично задается круговая интерполяция в плоскостях XZ и YZ. В одном кадре УП может быть запрограммирована полная окружность.

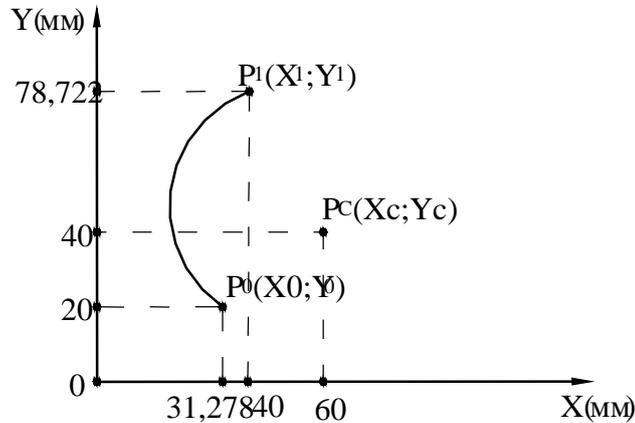


Рис. 16

Геометрические характеристики участка интерполяции и обозначения координат, которые должны быть записаны при программировании полной окружности, показаны на рис. 17.

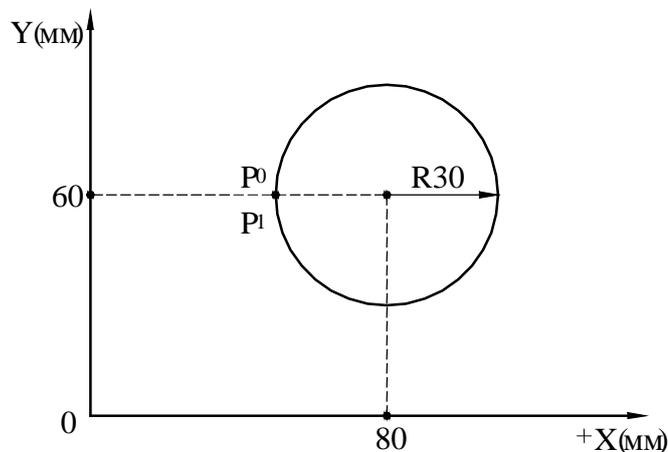


Рис. 17

Начальная точка  $P_0$  и конечная  $P_1$  совпадают.

В абсолютной системе отсчета:

$N51 G2 G90 X50. Y60. I80. J60$ .

В приращениях:

$N51 G2 G91 I30$ .

Максимальный радиус дуги в кадре с круговой интерполяцией составляет 9999,999 мм. При программировании круговой интерполяции можно вместо адресов I, J, K задавать радиус R. При таком задании возможно построение двух дуг: меньше  $180^\circ$  и больше  $180^\circ$  (рис. 16). Если дуга меньше  $180^\circ$  (дуга 1), то следует задавать радиус положительным, если дуга больше  $180^\circ$  (дуга 2), радиус задается отрицательным.

**Пример.** Круговая интерполяция на участке  $P_0P_2$  (рис. 18) может быть задана в абсолютной системе отсчета:

N20 G3 G90 X170. Y90. R40.  
 N21 G2 X120. Y140. R-50.  
 или в приращениях:  
 N20 G3 G91 X-40. Y-40. R40.  
 N21 G2 X-50. Y50. R-50.

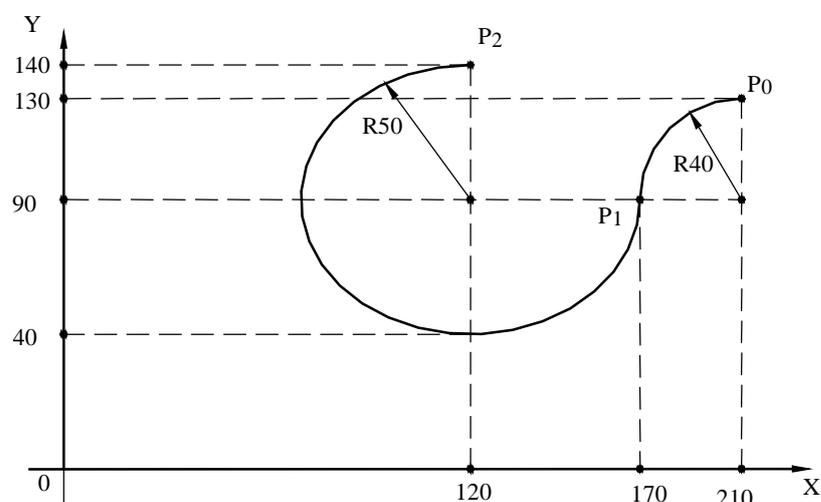


Рис. 18

- Примечания:** 1. При программировании дуги 180° радиус можно задавать как положительным, так и отрицательным.  
 2. Нельзя запрограммировать полную окружность при помощи радиуса. В этом случае возникает ошибка 28. Следует задавать параметры I, J, K.

### 6.3.3. Винтовая интерполяция

Одновременное выполнение круговой интерполяции в плоскости (XY, XZ, YZ) и линейной интерполяции по оси, перпендикулярной этой плоскости (соответственно Z, Y, X), называется винтовой интерполяцией. При этом инструмент описывает в пространстве винтовую линию (рис. 18).

В кадре с винтовой интерполяцией указывается:

- 1) вся информация, необходимая, для задания круговой интерполяции (п. 5.3);
- 2) шаг винтовой линии K, J или I в соответствии с табл. 5.1;
- 3) длина винтовой линии Z, Y или X в соответствии с табл. 5.1 в абсолютной системе отсчета в приращениях.
- 4) скорость подачи, если она не была задана ранее.

Таблица 5.1

Плоскость круговой интерполяции	Шаг винтовой линии	Длина винтовой линии
G17 (XY)	K	Z
G18 (XZ)	J	Y
G19 (YZ)	I	X

Одним кадром можно запрограммировать несколько витков винтовой линии. Количество витков определяется отношением длины винтовой линии к шагу.

**Пример.** Два с половиной витка винтовой линии (рис. 19) можно

запрограммировать кадром:  
N17 G91 G3 X-30. R15. K10. Z25. F100

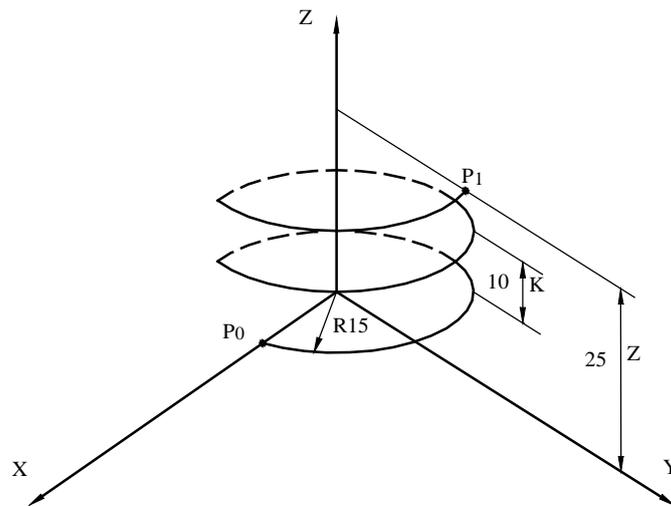


Рис. 19

Скорость подачи  $F$  в кадре с винтовой интерполяцией указывается по дуге окружности. По линейной оси движение происходит со следующей скоростью ( $F_L$ ):

$$F_L = F \cdot \frac{\text{перемещение по линейной оси}}{\text{длина дуги}}$$

#### 4.3.3.4. Задание скорости подачи

Скорость подачи задается методом прямого обозначения. Слово "Функция подачи" содержит адрес  $F$  и следующую за ним информацию, которая может содержать до пяти цифр.

Величина подачи задается в миллиметрах в минуту с дискретностью 1 мм/мин. Величина подачи, заданная в кадре, сохраняется в последующих кадрах до введения новой величины подачи.

**Пример.** N43 G1 G91 X5. Z20. F80 - линейная интерполяция с подачей 80 мм/мин  
N44 X1.5 Y1.2

Максимальная программируемая величина подачи составляет 24000 мм/мин.

Минимальное значение функции подачи составляет 1 мм/мин.

Для быстрого перемещения используется функция  $G0$ . При этом движение в заданную точку осуществляется по прямой с максимальной подачей по наибольшей координате. Согласование скоростей подач соседних кадров производится автоматически, причем разгон происходит в начале кадра, а торможение в конце кадра. Начало торможения определяется автоматически с таким расчетом, чтобы заданная в следующем кадре скорость ( $F2$ ) была достигнута до конца обрабатываемого кадра (рис. 20).

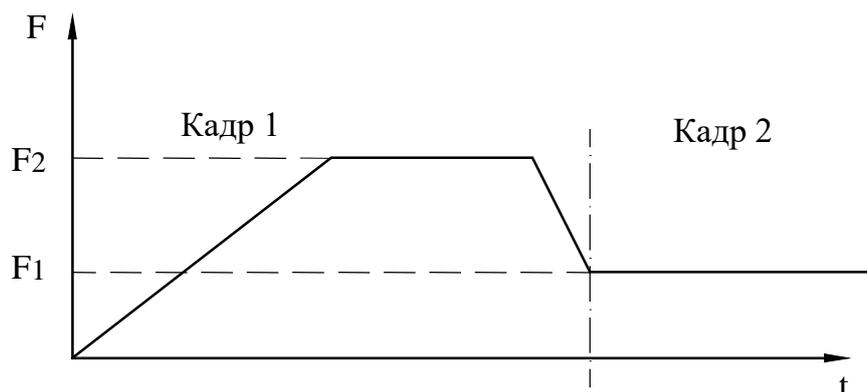


Рис. 20.

Если в следующем кадре нет перемещения или контур имеет излом, то необходимо задавать торможение в конце кадра при помощи функции G9.

При невозможности достичь заданной в кадре скорости из-за недостаточной величины перемещения происходит торможение до скорости следующего кадра, если заданная в следующем кадре скорость меньше скорости, достигнутой в данном кадре (рис. 21).

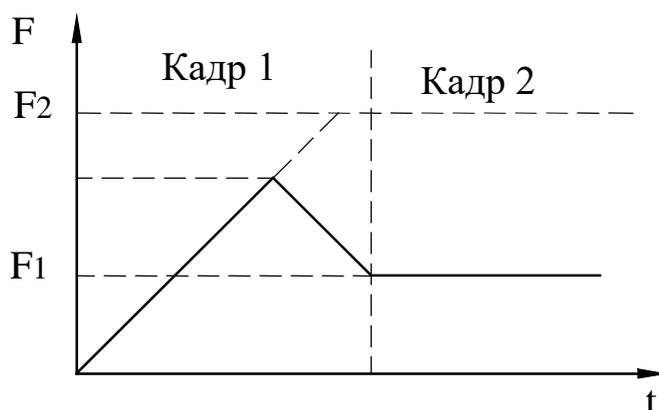


Рис. 21

**Примечание.** Коррекция скорости подачи в процентах действует только в кадрах с линейной и круговой интерполяцией и не действует в кадрах с позиционированием.

#### 4.3.3.5. Система координат

Перед началом обработки программы подвижные органы станка выводятся в одно из крайних положений. Это крайнее положение по каждой координате фиксируется при помощи датчиков и называется исходной точкой.

Станочной системой координат называется система координат, расположение которой относительно исходной точки определяется при помощи станочных параметров 163-166. Начало станочной системы координат называется нулем станка. Иногда нуль станка и исходная точка по всем или нескольким координатам совпадают.

Система координат, начало которой сдвинуто относительно нуля станка, называется рабочей системой координат (рис. 22).

Координатная система станка задается функцией G53, которая действует в течение одного кадра. Если функция G53 не задана, то перемещение задается в одной из двух рабочих систем координат в зависимости от наличия в программе функций G54 или G55. Функция G54 (устанавливается по умолчанию) задает рабочую систему координат 1, функция G55 - рабочую систему координат 2.

Смещение рабочих систем координат относительно пуля станка определяется предварительно записанными значениями в параметры 155-162 в соответствии с табл. 7.1.

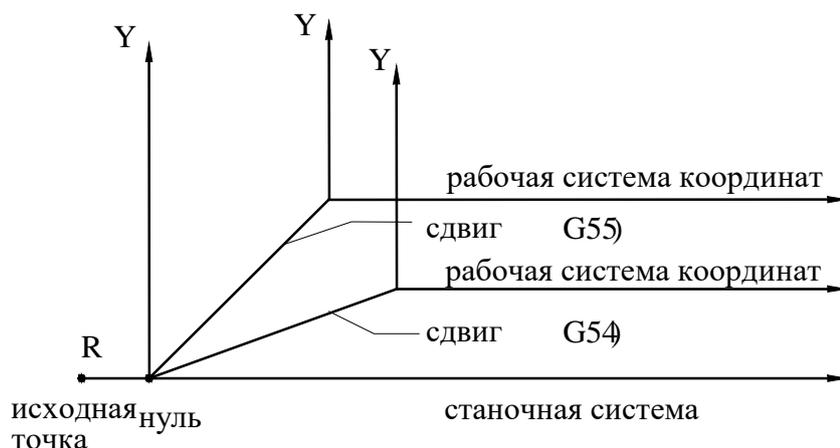


Рис. 22

Таблица 7.1.

Номер параметра	Номер рабочей системы координат	Координата
155	1 (G54)	X
156		Y
157		Z
158		4
159	2 (G55)	X
160		Y
161		Z
162		4

С помощью функции G92 начало рабочей системы координат можно переместить в любую точку в пределах рабочего пространства станка. Для этого необходимо запрограммировать кадр с функцией G92 и координатами, величины которых являются координатами текущего положения инструмента в новой рабочей системе координат. При этом перемещений в кадре, содержащем функцию G92, не происходит.

Например, кадр N20 G92 X50. Y30. определяет новую рабочую систему координат, в которой текущее положение инструмента определяется координатами 50 мм по оси X и 30 мм по оси Y.

При сдвиге рабочей системы координат, действующей в момент отработки функции G92, сдвигается и другая рабочая система координат таким образом, что их взаимное

расположение остается неизменным.

Пример использования различных систем координат представлен на рис. 23.

Фрагмент программы выглядит следующим образом:

N20 G54 G1 X50. Y30.

N21 G92 X20. Y10.

N22 X0 Y-10.

N23 G55 X10. Y10.

N24 G53 X20. Y30.

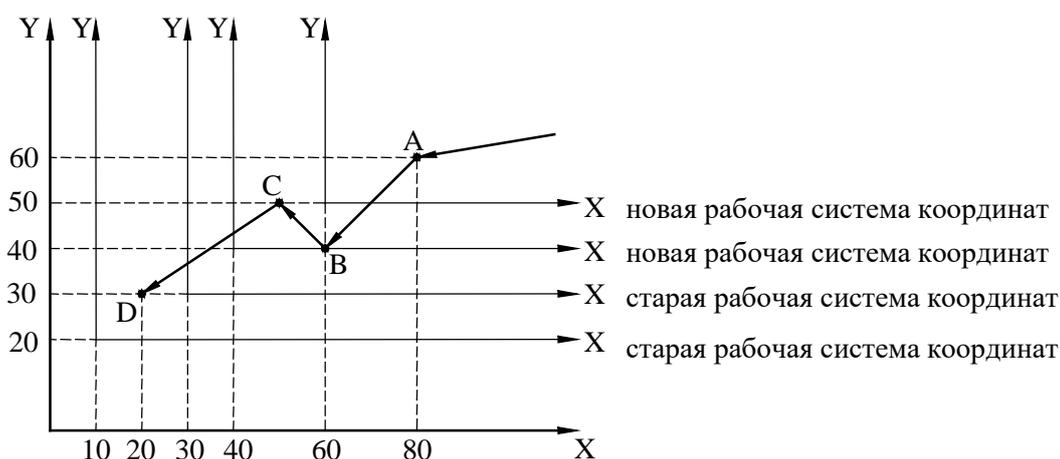


Рис. 23

При этом предполагается, что значение станочных параметров установлено в соответствии с табл. 7.2.

Таблица 7.2.

Номер параметра	Величина смещения
155	30000
156	30000
159	10000
160	20000

В кадре N20 инструмент перемещается в точку А в старой рабочей системе координат. В кадре N21 формируется новая рабочая система координат 1 таким образом, что точка А имеет в этой новой рабочей системе координаты по оси X 20 мм, по оси Y 10 мм. Одновременно сдвигается рабочая система координат 2, причем значения линейных сдвигов по осям такие же, как у рабочей системы координат 1. В результате формируются две новые рабочие системы координат.

В кадре N22 перемещение в точку В осуществляется в новой рабочей системе координат 1.

В кадре N23 происходит перемещение в точку С в новой рабочей системе координат 2.

В кадре N24 осуществляется перемещение в точку D в станочной системе координат.

**Примечание.** После выхода в "0" (функция G28) дополнительное смещение осей координат, вызванное действием функции G92, отменяется.

### 6.3.3.6. Коррекция на длину и положение инструмента

При помощи коррекции можно сместить положение конечной точки запрограммированного перемещения на величину, которая записана в корректора, как в положительном, так и в отрицательном направлении без изменения программы. При этом в корректора записываются величины разности между предполагавшимися при программировании значениями длины или положения инструмента и фактическими значениями.

Коррекция задается отдельно по каждой координате.

Слово "Коррекция" состоит из адреса D и цифр, которые определяют номер корректора.

#### **Пример.** D105

Всего в устройстве имеются 300 корректоров. Из них корректора с первого по 150 используются для хранения величин коррекций и переменных (см. разд. 10). Корректор представляет из себя в памяти устройства массив из двух ячеек. Каждому корректору соответствует вводимое с пульта оператора или с дискеты число со знаком.

Величина коррекции может лежать в диапазоне от минус 9999,999 мм до плюс 9999,999 мм.

Перед словом "Коррекция" должна стоять функция G43 или G44.

Независимо от способа программирования (в абсолютных значениях или приращениях) величина коррекции алгебраически добавляется к координатам конечной точки запрограммированного перемещения при использовании функции G43 и алгебраически вычитается при использовании функции G44.

Коррекция относится к той координате, по которой запрограммировано первое перемещение после функции G43 или G44. Если в программе отсутствуют функции G43 и G44, обрабатываться будет функция G43.

**Пример.** Пусть в первом корректоре находится величина 0,5 мм, а во втором - минус 1,2 мм и задан кадр:

N15 G1 G91 G43 D1 X15.4 G44 D2 Z-20.5

Тогда перемещение в кадре по оси X составит

15,4 мм + 0,5 мм = 15,9 мм,

а по оси Z

-20,5 мм - (-1,2 мм) = -19,3 мм.

Заданная в кадре коррекция отменяет предыдущую коррекцию по соответствующей координате.

Коррекция по всем координатам отменяется кадром с функцией G49. Причем отмена коррекции производится независимо от того, задано ли в этом кадре перемещение. В кадре с функцией G49 не должно быть функций G43, G44 и слов "Коррекция". Для отмены коррекции по одной координате следует задать любой корректор, в котором находится нуль.

Функции G43, G44 и слово "Коррекция" действуют до появления другой подготовительной функции (G49, G43, G44) и нового слова "Коррекция".

**Пример.** Пусть задан фрагмент программы:

N1 G92 X0 Y0

N2 G1 G90 G43 D1 X1.0 G44 D12 Y0.5

N3 D2 X0.5 Y1.2

N4 G44 X0.8 G43 Y1.2

N5 X0.01 D15 Y3.0

N6 G49 X2.0 Y8.0

В табл. 8.1 показано действие коррекции в каждом кадре .

Таблица 8.1.

<b>Кадр</b>	<b>Координата X</b>	<b>Координата Y</b>
1	Без коррекции	Без коррекции
2	G43 D1	G44 D12
3	G43 D2	G44 D12
4	G44 D2	G43 D12
5	G44 D2	Без коррекции
6	Без коррекции	Без коррекции

В табл. 8.2. приведены текущие значения по каждой координате в каждой точке, при этом предполагается, что значения корректоров установлены в соответствии с табл. 8.3.

Таблица 8.2.

<b>Кадр</b>	<b>Координата X, мм</b>	<b>Координата Y, мм</b>
1	0	0
2	1,100	0,200
3	0,700	0.900
4	0,600	1,500
5	-0,190	3,000
6	2,000	8,000

В кадрах с круговой интерполяцией коррекция не задается.

При необходимости задания коррекции на контур с круговой интерполяцией коррекция задается в кадре с линейной интерполяцией и весь контур смещается на величину коррекции.

Номер корректора	Величина коррекции, мм
1	0,100
2	0,200
12	0.300
15	0

### 6.3.3.6.Коррекция на радиус инструмента

Для обработки детали с контуром А (рис. 24) центр инструмента перемещается по контуру В, который расположен от контура А на расстоянии радиуса инструмента R и называется эквидистантным контуром.

Положение эквидистантного контура относительно заданного определяется вектором смещения. Вектор смещения имеет величину, равную радиусу R, и направлен к центру инструмента.

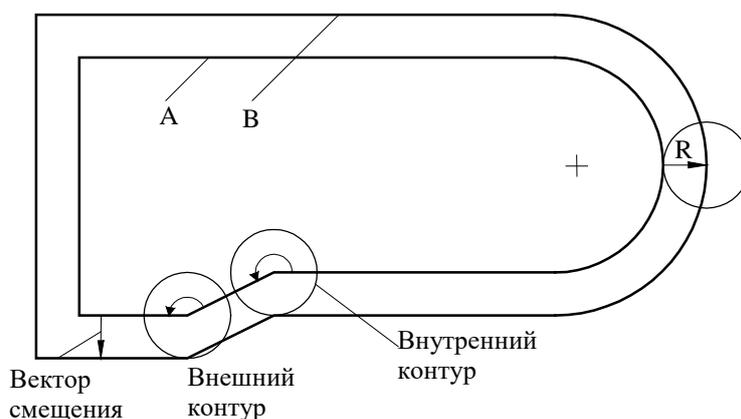


Рис. 24

Указывая радиус инструмента и запрограммировав контур детали, можно обрабатывать контур детали разными инструментами, если использовать функцию коррекции на радиус инструмента (G41, G42).

Функция G41 называется смещением влево (во время обработки инструмент находится слева от детали). Функция G42 называется смещением вправо (инструмент во время обработки находится справа от детали).

Пример определения коррекции инструмента по радиусу слева и справа в случае обработки внешних и внутренних сторон детали изображен на рис. 9.2.

Радиус инструмента задается адресом D и следующим за ним номером корректора.

Для задания радиуса инструмента используется любой из корректоров с первого по 150. Диапазон задания величины радиуса инструмента от 0 до  $\pm 999,999$  мм.

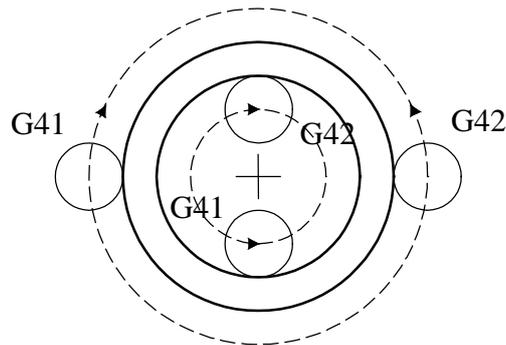


Рис. 25.

Построение эквидистантного контура осуществляется для двух соседних кадров, в которых задано перемещение. В дальнейшем первый кадр будем называть текущим, второй - следующим. Между этими кадрами строится угол  $\alpha$ . Если угол  $\alpha$  со стороны детали меньше  $180^\circ$ , то контур будем называть внешним, при  $\alpha > 180^\circ$  - внутренним (см. рис. 25) при  $\alpha = 180^\circ$  гладким (сопряженным).

Обработка детали внутри или снаружи может состоять как из внутренних, так и из внешних контуров.

При программировании внутреннего контура детали, чтобы избежать зарезки контура, необходимо учитывать следующее:

- 1) если в одном из соседних кадров задана дуга, то радиус инструмента должен быть меньше радиуса дуги окружности (рис. 26), в противном случае появится ошибка 19;
- 2) если в трех соседних кадрах заданы отрезки прямых, то радиус инструмента должен быть меньше радиуса дуги окружности, касающейся этих прямых (рис. 9.4);
- 3) если следующий контур тоже внутренний, то величина перемещения в кадре должна быть больше  $R$ , иначе формируется ошибка 19.

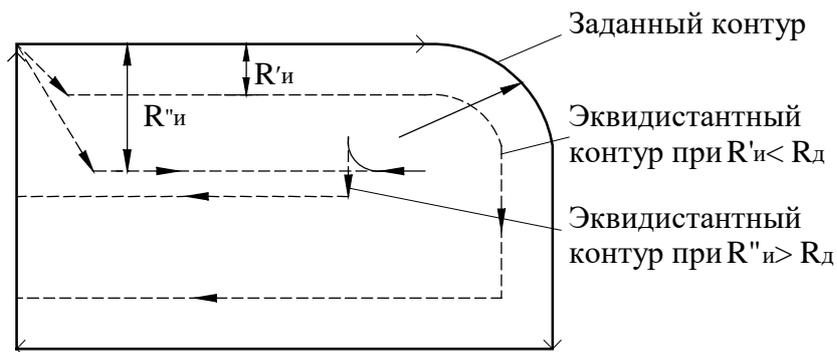


Рис. 26.

При использовании в кадре функций G43 (G44) совместно с функциями G41 (G42), функции G43 (G44) выполняются до расчета эквидистантного контура.

$R_d$  — радиус окружности  
 $R_i, R''_i$  — радиус инструмента

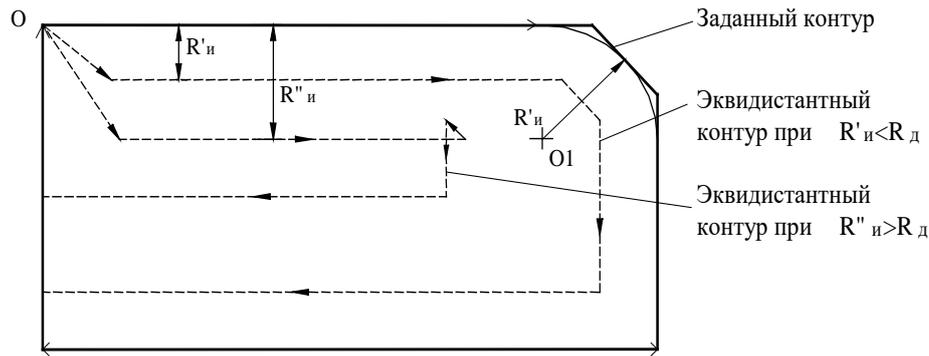


Рис. 27.

$O_1$  – центр вписанной окружности, касающейся прямых

$R_д$  – радиус вписанной окружности, равный максимально возможному радиусу инструмента

$R'_и$  – радиус инструмента

$R''_и$  – радиус инструмента, при котором получается зарезка контура

Величина вектора смещения равна нулю и эквидистантный контур совпадает с заданным в случаях:

До задания функции коррекции на радиус инструмента;

При задании функции G41 (G42) и величины радиуса инструмента, равной нулю.

Для выхода на эквидистантный контур (выход на вектор смещения) в кадре должны быть заданы следующие функции и величины:

1) Функция G0 или G1, определяющая вид ни интерполяции. При задании функции G2 (G3) формируется ошибка 35;

2) функция G41 или G42;

3) функция D с номером корректор, в который заносится величина радиуса инструмента

4) функция G17, G18 или G19, определяющая плоскость эквидистанты, или функция G20, определяющая систему координат XA:

5) радиус детали в 175 корректоре при использовании функции G20. При радиусе детали, равным нулю формируется ошибка 17;

6) величины перемещения в данном кадре, задаваемые в соответствии с выбранной плоскостью интерполяции;

7) скорость подачи F (кроме случая с G0).

Имеется несколько вариантов выхода на эквидистантный контур. В случае перемещения по внутреннему контуру ( $\alpha \geq 180^\circ$ ) траектория проходит через точку S3, где S3 – конец вектора смещения в начальной точке следующего кадра (рис. 28, 29).

*Прямая линия – прямая линия*

R - радиус инструмента

L - перемещение по прямой линии

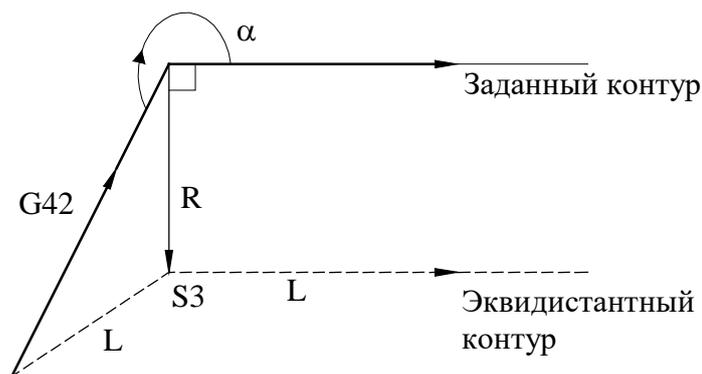


Рис. 28.

*Прямая линия – дуга окружности*

L - перемещение по прямой линии

C - перемещение по дуге окружности

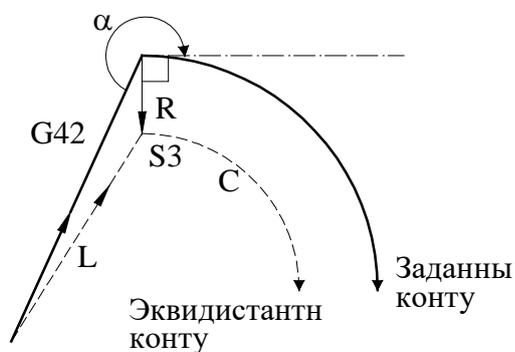


Рис. 29.

В случае перемещения по внешнему контуру под тупым углом ( $90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ ) траектория центра инструмента проходит через точки S1, S2, S3, где здесь и в дальнейшем:

S1 – конец вектора смещения в конечной точке текущего кадра;

S2 – точка пересечения прямых, перпендикулярных векторам смещения в конечной точке текущего и начальной точке следующего кадров и проходящих через концы этих векторов;

S3 – конец вектора смещения в начальной точке следующего кадра (рис. 30, 31).

*Прямая линия – прямая линия*

*Прямая линия – дуга окружности*

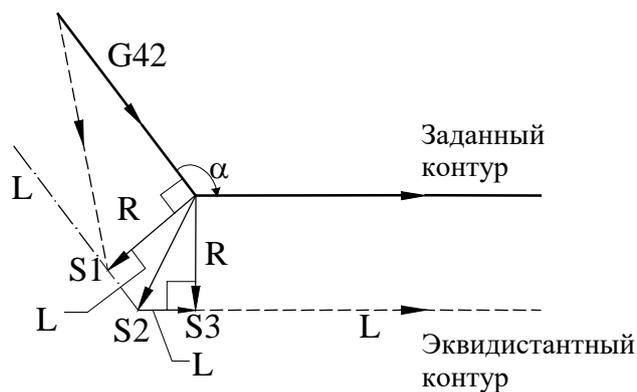


Рис. 30.



Рис. 31.

**Примечание.** В случае, если  $\alpha \approx 180^\circ$  и разность между векторами смещения конечной точки текущего кадра и начальной точки следующего кадра не превышает 0,005 мм, инструмент в текущем кадре сразу перемещается в точку S3 (рис. 9.9, 9.10).

В случае перемещения по внешнему контуру под острым углом ( $\alpha < 90^\circ$ ) траектория центра инструмента аналогична траектории движения центра инструмента под тупым углом, если расстояние между точками S1 и S2 не превышает величину радиуса инструмента более чем на 1 мм. В противном случае траектория центра инструмента проходит через точки S1, S4, S5, S3, где

S4 - точка, находящаяся на расстоянии, равном величине радиуса инструмента, от точки S1 в направлении, перпендикулярном вектору смещения в конечной точке текущего кадра;

*Прямая линия – прямая линия*

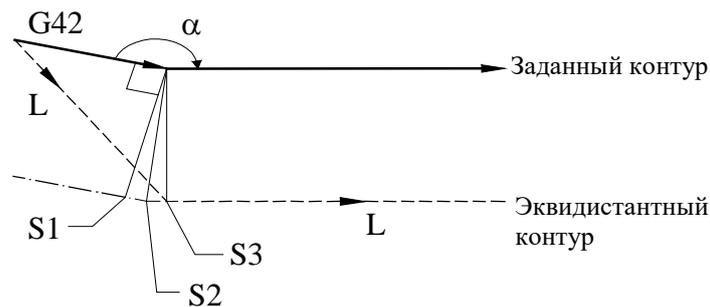


Рис. 32.

### Прямая линия – дуга

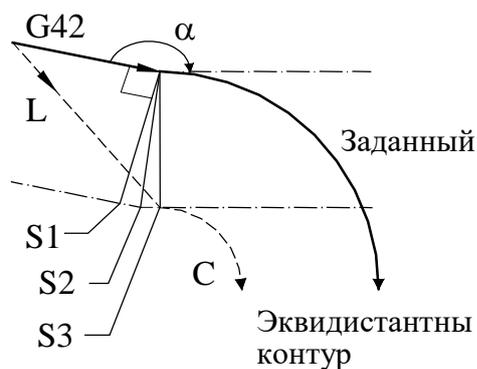


Рис. 33.

S5 - точка, находящаяся на расстоянии, равном величине радиуса инструмента, от точки S3 в направлении, перпендикулярном вектору смещения в начальной точке следующего кадра (рис. 33, 34).

9.11. После выхода на эквидистантный контур программирование осуществляется по контуру детали.

Траектория центра инструмента при движении по эквидистантному контуру проходит через те же точки, что и в случае выхода на эквидистантный контур.

В случае перемещения центра инструмента по внутреннему контуру траектория центра инструмента проходит через точку S2 - точку пересечения прямых, перпендикулярных векторам смещения в конечной точке текущего и начальной точке следующего кадров, и проходящих через концы этих векторов. Варианты движения по эквидистантному контуру при  $\alpha \geq 180^\circ$  показаны на рис. 33, 34.

*Прямая линия - прямая линия*

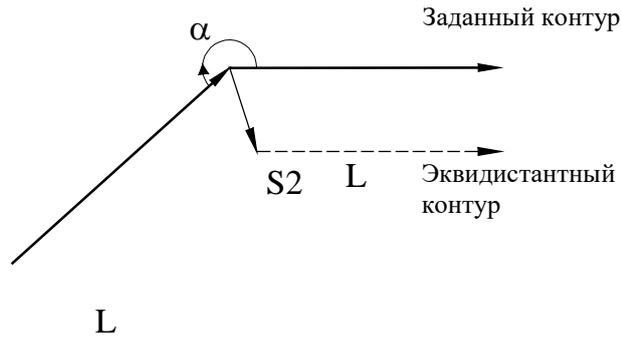


Рис. 34.

*Прямая линия - дуга*

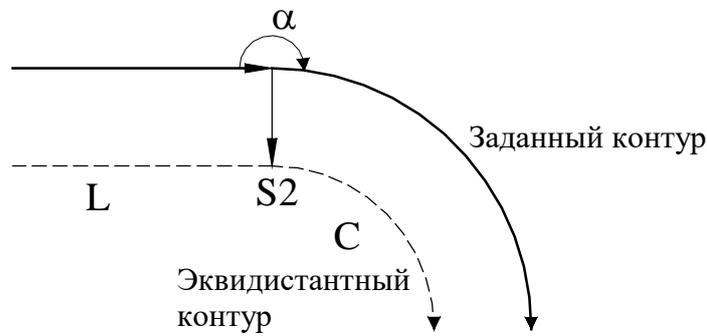


Рис. 35.

*Прямая линия - дуга*

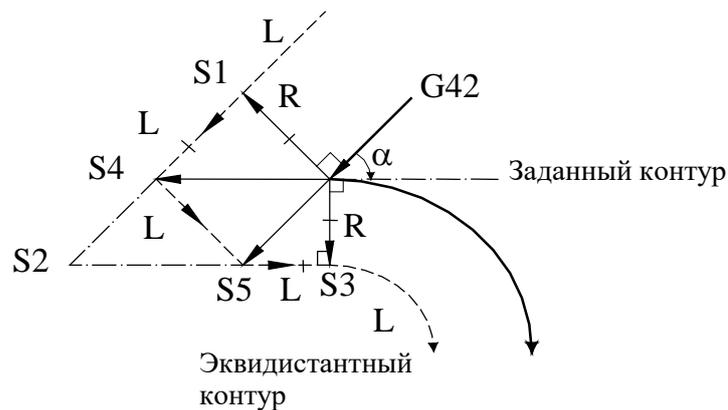


Рис.36.

При движении инструмента по внутреннему несопряженному контуру, если траектория в текущем или следующем кадре проходит по дуге, появляется погрешность  $\delta$  (рис. 37), равная расстоянию от точки S2 до заданной дуги. Величина погрешности тем больше, чем больше угол между прямой и касательной к дуге. Для устранения этой погрешности необходимо в исходной программе вставить между текущим и следующим кадрами кадр сопряжения в виде дуги радиусом, превышающим радиус инструмента (кадр

N10 на рис. 37.). В этом случае  $\alpha=180^\circ$  и погрешность отсутствует.

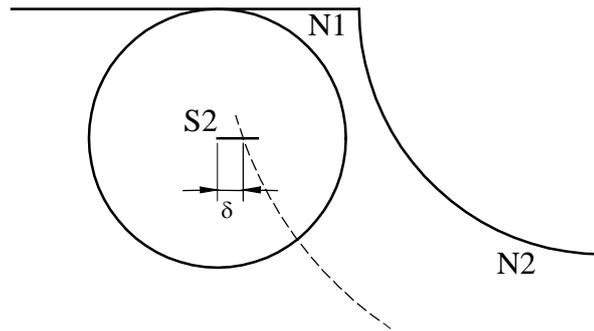


Рис. 37.

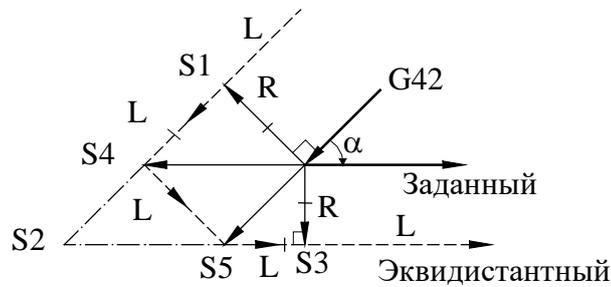
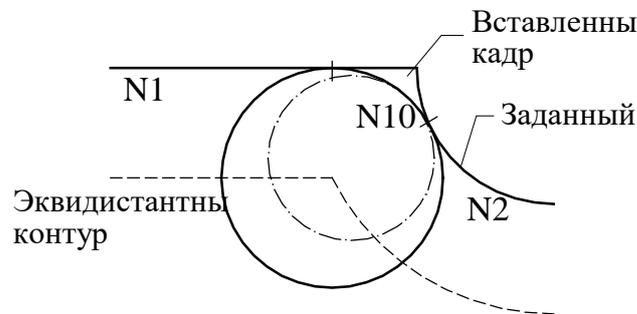


Рис. 38

Функция G40 отменяет функцию G41 (G42). Для отмены вектора смещения (возврата из эквидистантного контура) необходимо задавать, кроме функции G40, хотя бы одну координату из плоскости эквидистанты в кадре с линейной интерполяцией. Тогда инструмент перемещается из текущей точки на эквидистантном контуре к точке, заданной в данном кадре. Если кадр с круговой интерполяцией, то полнится ошибка 35.

Имеется несколько вариантов схода с эквидистантного контура. В случае перемещения по внутреннему контуру ( $\alpha \geq 180^\circ$ ) траектория проходит через

точку  $S1$ , где  $S1$  – конец вектора смещений в конечной точке текущего кадра (рис. 39, 40).

*Прямая линия - прямая линия*

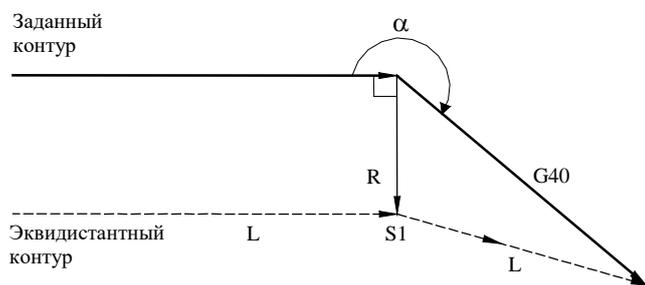


Рис. 39.

*Дуга-прямая линия*

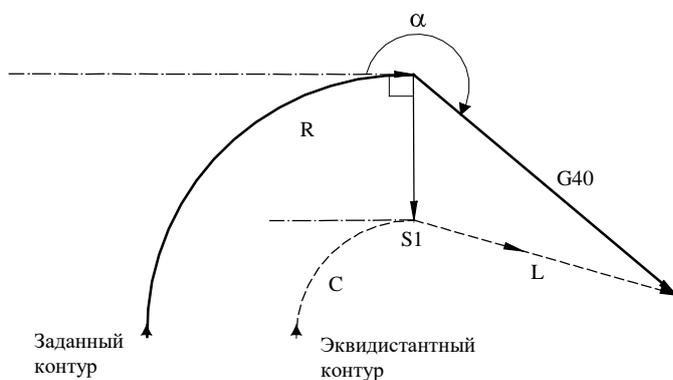


Рис. 40.

В случае перемещения по внешнему контуру под тупым углом ( $90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ ) траектория центра инструмента проходит через точки  $S1, S2, S3$  (рис.41, 42).

### Прямая линия-прямая линия

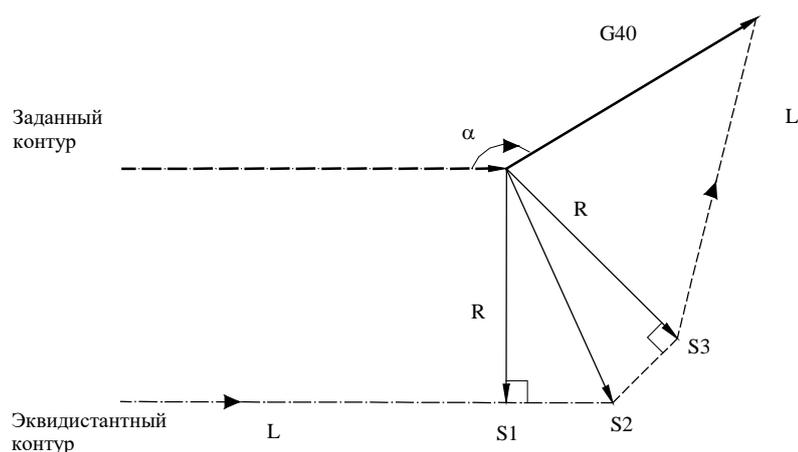


Рис. 41.

### Дуга-прямая линия

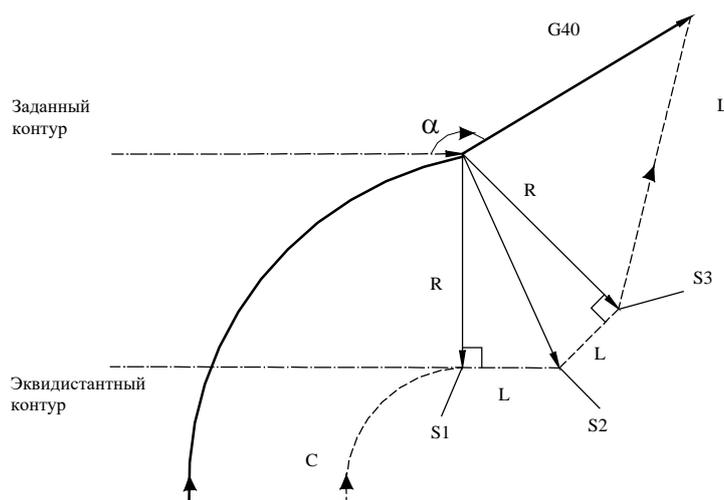


Рис. 42.

В случае перемещения по внешнему контуру под острым углом ( $\alpha < 90^\circ$ ) траектория центра инструмента в общем случае проходит через точки S1, S4, S5, S3 (рис.9.21. 9.22).

Если расстояние между точками S1 и S2 не превышает величину радиуса инструмента более чем на 1 мм, то траектория цен-фа инструмента проходит через точки S1, S2, S3.

9.14. В некоторых случаях бывает необходимость изменить направление при движении по эквидистантному контуру с G41 на G42 или наоборот. В этом случае траектория центра инструмента проходит через точки S1 и S3, где

S1 – конец вектора смещения в конечной точке текущего кадра;

S3 – конец вектора смещения в начальной точке следующего кадра (рис. 9.23, 9.24).

*Прямая линия-прямая линия*

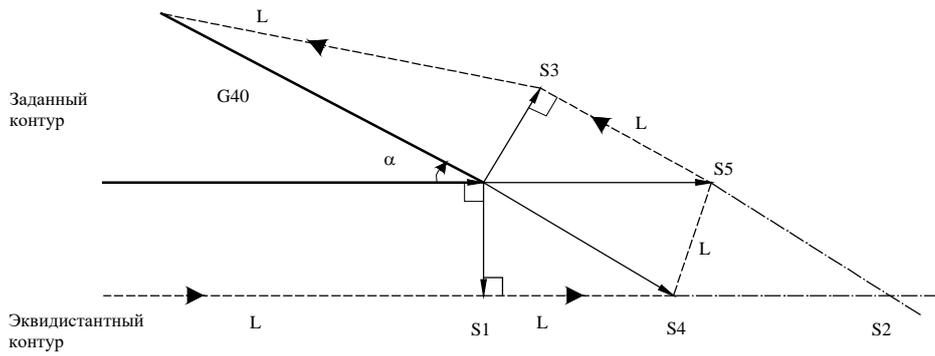


Рис. 43.

*Дуга-прямая линия*

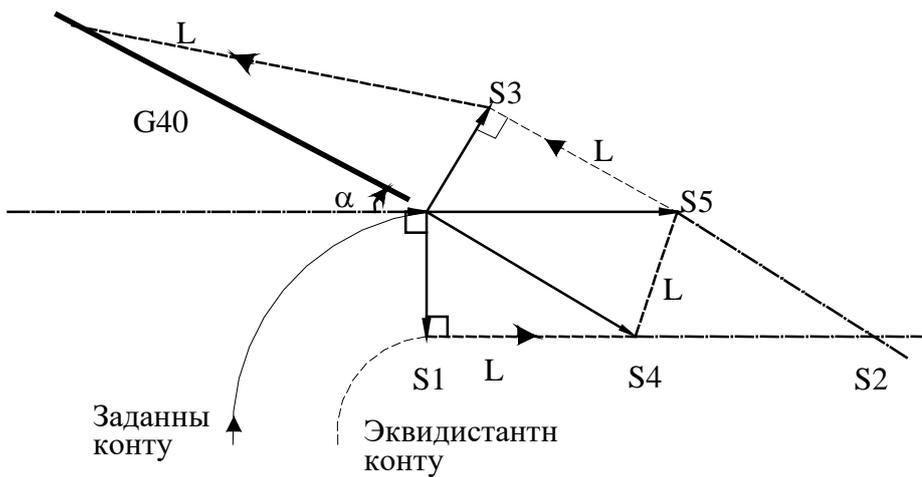


Рис. 44.

При движении по внутреннему эквидистантному контуру (прямая – прямая) с “разрывом” кадр, находящийся перед “разрывом”, должен содержать величины, характеризующие перемещения в кадре после “разрыва”, содержащем координаты в плоскости эквидистанты. Например, при G17 эти величины задаются под адресами I и J, равными или пропорциональными величинам перемещений по координатам X и Y в следующем кадре. При таком задании отработка кадров при “разрыве” будет происходить при нахождении центра инструмента в точке S1 (рис. 45). Соответствие координат X, Y, Z, A адресам I, J, K приведено в табл. 9.1.

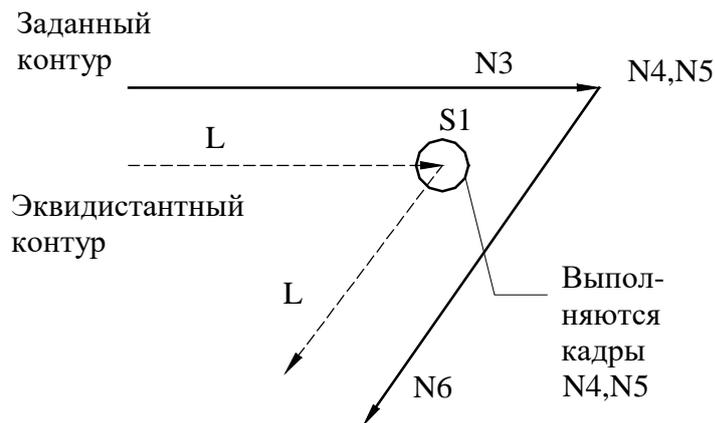


Рис. 45.

Таблица 9.1

Координата	Адрес
X	I
Y	J
Z	K
A	K

**Пример 1.** Программирование внутреннего контура с «разрывом».

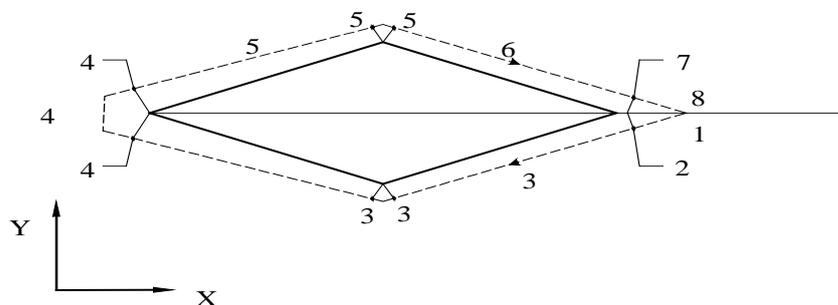


Рис. 46.

%2

```

N1 G1 G91 G17 G41 D30 X-42. F1800I-126. J-73.67
N2 Z-45.
N3 X-126.Y-73.67 F300
N4 X-126. Y73.67
N5 X126.Y73.67
N6 X126. Y-73.67
N7 Z45.
N8 G40 X42. F1200 M2

```

Кадры N1 и N3 в данном примере образуют между собой внутренний контур. Кадр N2 не имеет координат в плоскости эквидистанты (XY), т.е. имеет место "разрыв" контура. Вектор смещения для выхода на эквидистантный контур строится на основе величин перемещений в кадре N3, поэтому в кадре N1 задаем через адреса I и J величины перемещений X, Y кадра N3.

В кадре N2 вектор смещения на координату Z не действует. Кадры N3-N4, N4-N5, N5-N6 образуют между собой внешний контур и поэтому в месте стыка этих кадров образуются вставки.

Кадры N6 и N8 образуют между собой внутренний контур. Кадр N7 не имеет координат в плоскости эквидистанты (т.е. "разрыв").

В кадре N8 задан сход с контура (функция G40). Вектор смещения при сходе с внутреннего эквидистантного контура строится на основе кадра N6, поэтому, хотя и имеет место внутренний контур с "разрывом", величины I, J в кадре N6 задавать не нужно.

9.18. Если контур образован прямой и дугой и между ними имеется "разрыв", то необходимо распределить угол между прямой и дугой:  $\alpha > 180^\circ$  или  $\alpha \leq 180^\circ$ .

При  $\alpha \leq 180^\circ$  траектория эквидистантного контура аналогична движению по внешнему контуру (прямая - дуга) с "разрывом".

При  $\alpha > 180^\circ$  для правильного движения по эквидистантному контуру с "разрывом" необходимо:

- 1) в месте стыка прямой и дуги построить касательную в направлении движения;
- 2) на этой касательной взять отрезок, равный радиусу дуги и построить проекции этого отрезка на координатные оси;
- 3) значения этих проекций с их знаками под адресами I, J или K записать в кадр, находящийся перед кадром с "разрывом" (соответствие координат X, Y, Z, A адресам I, J, K см. в табл. 9.1).

### 6.3.3.7. ПОДПРОГРАММЫ

Подпрограмма - это часть управляющей программы, составленная для неоднократного повторения элементов обрабатываемого контура.

Подпрограммы применяются для сокращения основной программы и оформляются как и основная УП, используя при необходимости все подготовительные функции. •

Для удобства программирования в одной подпрограмме можно вызвать другую подпрограмму. При этом глубина вложения подпрограмм не должна превышать пяти. Всего можно задать 99 подпрограмм.

В начале подпрограммы записывается слово "Начало подпрограммы". Оно состоит из адреса L и четырех цифр. Первые две цифры образуют номер подпрограммы, а вторые две - цифры

**Пример.** L1500 - подпрограмма номер 15.

Если первая цифра в номере подпрограммы - нуль, ее нельзя опускать.

После слова "Начало подпрограммы" должен быть перевод строки.

Далее записывается содержание подпрограммы. При этом остаются в силе все правила про

В конце подпрограммы должен стоять кадр со словом M17 ("Конец подпрограммы"). В нельзя задавать какую-либо геометрическую или технологическую информацию.

**Пример.** L0200

N1 G1 G91 G9 X50.Z30.F40

...

N20 M1 ?

При считывании слова M17 во время выполнения подпрограммы происходит возврат к программе, которая вызвала данную подпрограмму. Слово M17 нельзя использовать в основной программе

Для вызова подпрограммы используется адрес L и четыре цифры. Первые две цифры образуют номер подпрограммы, вторые две - количество повторений данной подпрограммы.

**Пример.L0205**

02 - номер подпрограммы;  
05 - число повторений.

Данная команда означает: вызвать подпрограмму номер 02 подряд пять раз.  
Максимальное количество повторений подпрограммы - 99.

Если первая цифра в номере подпрограммы "ноль", ее нельзя опускать. Запрещается использование обращения к подпрограмме код L с нулевым значением двух последних цифр.

В случае однократного вызова подпрограммы можно использовать адрес L с двумя цифрами, обозначающими номер подпрограммы.

**Пример. L51**

При этом L51 эквивалентно L5101.

Вызов подпрограммы должен стоять обязательно в конце кадра.

•При этом в кадре с вызовом подпрограммы не допускается задание геометрической и технологической информации. В этом кадре можно задавать подготовительные функции и значения переменных

**Пример.N15 G91 R12#-15.5R142#4.3 L1302**

11.2.4. Наиболее эффективным является использование подпрограмм с переменными.

При этом составляется подпрограмма для обработки наиболее часто встречающихся элементов В подпрограмме используются переменные вместо числовых значений некоторых адресов, а переменных определяют в основной программе.

Ниже приводится пример составления основных программ и подпрограмм для контуров, изображенных на рис. 47, 48.

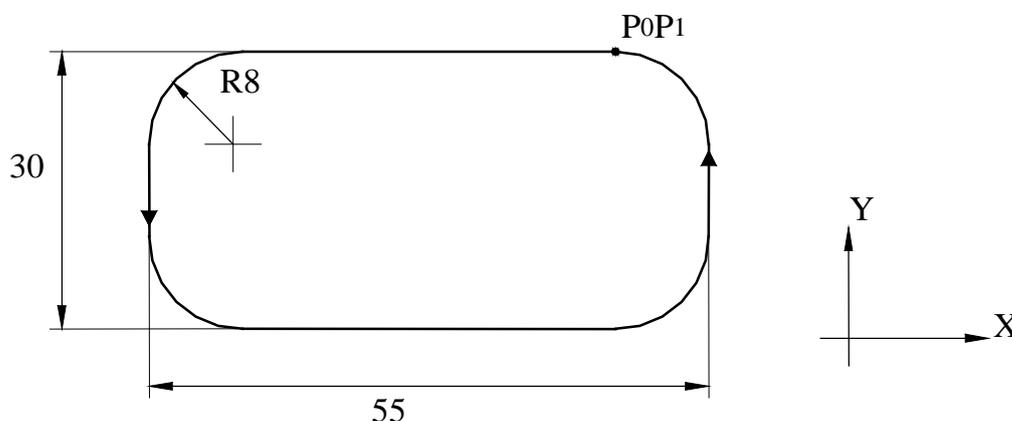


Рис. 47.

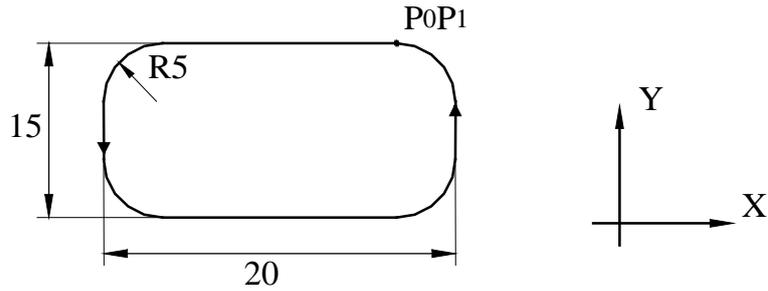


Рис. 48.

.Подпрограмма будет выглядеть следующим образом: L10100  
 J-N101 G1 G91 G17 X-R1 FR4  
 N102 G3 X-R2 Y-R2 J-R2  
 N103 G1 Y-R3  
 N104 G3 XR2 Y-R2 IR2  
 N105 G1 XR1  
 N106 G3 XR2 YR2 JR2  
 N107 G1 YR3  
 N108C53X-R2YR2I-R2  
 N109M17

Основную программу для обработки контура (см. рис. 47) можно представить в виде:

N20R1#39. R2#8. R3#14. R4#300  
 N21 L01

Основная программа для обработки контура (см. рис. 48) выглядит следующим образом:

N20 R1#10. R2#5.R3#7.R4#120 ;  
 N21L0101

**Примечания:** 1. При возврате из подпрограммы в основную программу состояние подготовительных функций, которые были до обращения к подпрограмме, не восстанавливается.

2. Подпрограммы вводятся в память так же, как и основные программы.

#### 4.4 Задания для проверки навыков по данному разделу

Поверхности							
1	2	3	4	5	6	7	8
Конус $D_1 \times D_2 \times l$	Цилиндр $D \times l$	Цилиндр $D \times l$	Цилиндр $D \times l$	Цилиндр $D \times l$	Конус $D_1 \times D_2 \times l$	Внутренний Цилиндр $d \times l$	Внутренний Цилиндр $d$
40x42x2	42x5	70x7	50x5	45x5	45x40x5	30x5	25

50x52x2	52x5	80x10	60x3	55x5	55x53x2	45x3	30
45x50x5	50x10	70x5	55x10	50x8	50x47x3	30x10	10
30x40x20	50x5	60x20	50x4	45x10	40x30x20	-	10
20x40x10	35x3	50x30	45x8	40x10	35x30x20	-	15

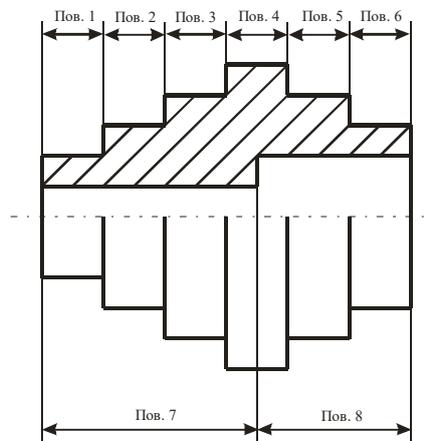


Рис. 49. Комплексный эскиз обрабатываемой заготовки

## **Основная литература**

1. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / под ред. А.С. Ямникова. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. -269с. (41 экз.)
2. Суслов А.Г. Технология машиностроения: учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп/ – М.: Машиностроение, 2007.- 430 с. (24 экз.)
3. Фельдштейн Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд.,испр. – Минск : Новое знание, 2006.- 287с. (20 экз.)
4. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Электронный ресурс]: монография/ Денисенко В.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Горячая линия - Телеком, 2013.— 606 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11990>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю

## **Дополнительная литература**

1. Гжиров, Р.И. Основы программирования обработки на станках с ЧПУ: Учеб.пособие для высш.техн.и сред.спец.учеб.заведений. Ч.1. Технологическое оборудование и оснастка / Р.И. Гжиров, П.П. Серебренецкий; ЦНИИИТИ . – М., 1987 . – 178с. (20 экз.)
2. Гжиров, Р.И. Основы программирования обработки деталей на станках с ЧПУ: Учеб.пособие для вузов и сред.спец.учеб.заведений. Ч.2. Подготовка управляющих программ для токарных станков с ЧПУ / Р.И.Гжиров, П.П.Серебренецкий; ЦНИИИТИ . – Б.м., 1988 . – 158с.: ил. (20 экз.)
3. Серебренецкий, П.П. Программирование для автоматизированного оборудования: Учебник для сред. проф. образования / П.П.Серебренецкий, А.Г.Схиртладзе; Под ред.Ю.М.Соломенцева . – М. : Высш.шк., 2003 . – 592с. : ил. (2 экз.)
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 Т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского и др. 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение-1, 2001.- Т. 1.- 912 с. (14 экз.)
5. Федин, Е.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Е.И.Федин . – Тула, 2006 . – 1опт.диск.(CD ROM).
6. Федин, Е.И. Технологические основы автоматизации машин и оборудования / Е.И.Федин . – Тула, 2007 . – 1опт.диск.(CD ROM).
7. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ В.И. Аверченков [и др.]— Электрон. текстовые данные.— Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012.— 212 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7010>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю
8. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ [Электронный ресурс]: монография/ В.И. Аверченков [и др.]— Электрон. текстовые данные.— Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012.— 148 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6989>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю