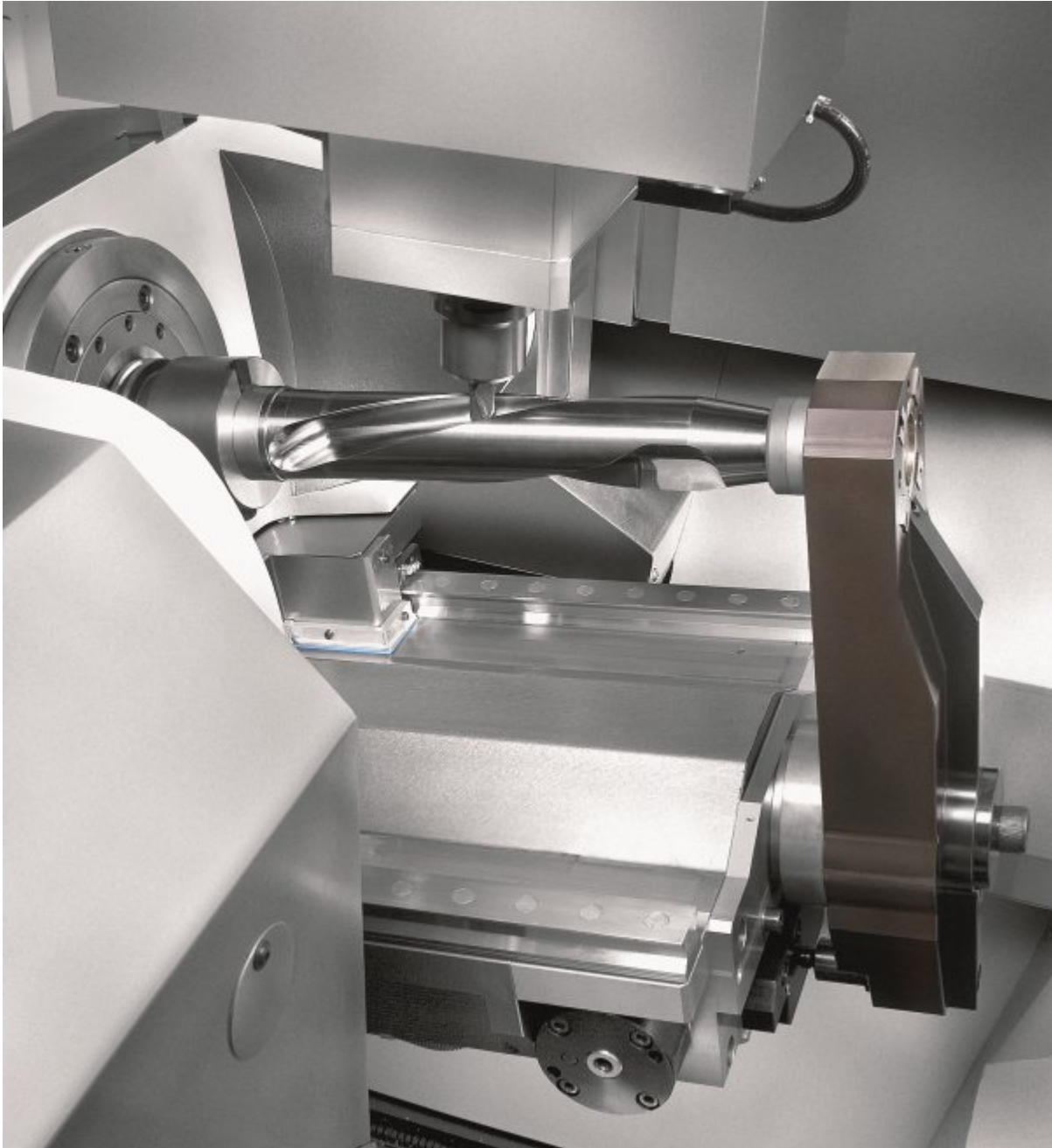


А. Б. Чуваков

**Современные тенденции развития
и основы эффективной эксплуатации
обрабатывающих станков с ЧПУ**



Нижний Новгород 2013

Чуваков А.Б. Современные тенденции развития и основы эффективной эксплуатации обрабатывающих станков с ЧПУ

Нижний Новгород: НГТУ, 2013. - 174 с.

Описаны принципы подготовки, программирования и выполнения технологических операций на обрабатывающих станках с ЧПУ. Рассмотрены конструкции современных многофункциональных станков, тенденции развития и общие принципы их эффективного применения. Отдельное внимание уделено практическим вопросам программирования и пуско-наладки производственного процесса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ПРИНЦИПЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ.....	6
1.1. Базовые конструктивные схемы станков фрезерной группы.....	6
1.2. Системы координат фрезерного оборудования.....	8
1.3. Ориентация деталей на рабочем столе ОЦ.....	9
1.4. Обработка детали комплектом инструментов.....	14
1.5. Комбинированная многопозиционная обработка.....	19
2. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ ОПЕРАЦИЙ.....	25
2.1. Общие положения.....	25
2.2. Программирование отрезков перемещений.....	27
2.3. Коррекция диаметра инструмента.....	30
2.4. Внутренняя расточка.....	34
2.5. Постоянные циклы сверления.....	37
3. СОКРАЩЕННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР.....	42
3.1. Модульное построение управляющих программ. Подпрограммы.....	42
3.2. Переменные параметры и операторы программирования.....	45
3.3. Программирование стандартных видов обработки.....	46
3.4. Программирование на базе закона изменения переменных.....	47
3.5. Применение логических функций.....	49
4. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ.....	53
4.1. Обработывающие центры со сменными рабочими столами.....	53
4.2. Корректировка условий выполнения операции.....	53
4.3. Узлы крепления детали.....	57
4.4. Поворотные шпиндельные головки.....	60
5. ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ.....	63
5.1. Конструктивные схемы и координатные системы станков.....	63
5.2. Подготовка комплекта инструментов.....	66
5.3. Коррекция радиуса рабочей вершины токарного резца.....	70
5.4. Программирование режимов резания.....	73

5.5. Смещение траекторий движения инструментов.....	75
6. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ.....	77
6.1. Рабочая зона станка и установка инструментов.....	77
6.2. Виртуальный пульт системы ЧПУ « <i>Mach3</i> ».....	80
6.3. Привязка системы координат детали к системе станка.....	83
6.4. Коррекция длины инструментов.....	87
6.4.1. Определение приведенного корректора длины по оси <i>X</i>	88
6.4.2. Определение приведенного корректора длины по оси <i>Z</i>	93
6.5. Специальный корректор длины инструмента.....	94
6.6. Выполнение размера в пределах заданного поля допуска.....	95
6.7. Пример выполнения детали.....	99
7. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ.....	110
7.1. Работа станков в составе гибких производственных модулей	110
7.2. Токарно-фрезерные многофункциональные центры.....	114
7.3. Совершенствование токарно-фрезерного оборудования.....	117
7.4. Совмещение технологических переходов на станках с двухканальными системами управления.....	121
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ. Программирование выполнения детали на станке фрезерной группы типа «Обрабатывающий центр».....	126

ВВЕДЕНИЕ

В современном производстве все больший удельный вес занимает номенклатура деталей, выпускаемых мелкими и средними партиями [1]. В этих условиях широкое применение находят интегрированные производственные системы, основанные на применении станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Быстрое развитие производственных систем в последнее время явилось причиной возникновения проблем с подготовкой производственных кадров. Это обусловлено, в первую очередь, отставанием в развитии материально-технической базы обучения, отсутствием научно обоснованной системы подготовки, нехваткой квалифицированных преподавателей, низким уровнем учебно-методической литературы.

К настоящему времени многие учебные пособия и научно-практические монографии устарели и базируются на описании принципов работы устаревшего оборудования. При этом практически отсутствует обучающая литература, содержащая обобщенную информацию по конструктивным схемам, принципам управления и программированию современных станков. Отсутствие системного подхода к подготовке специалистов существенно снижает эффективность работы интегрированных производственных систем и уровень рентабельности производства в целом.

В настоящей книге в сжатой и доступной форме описаны принципы подготовки, программирования и выполнения технологических операций на обрабатывающих станках с ЧПУ. Основы программирования описаны на базе следующих языков: **Fanuc** для станков фрезерной группы и **Mach3** для станков токарной группы. Рассмотрены конструкции современных многофункциональных станков и общие принципы их эффективного применения. Отдельное внимание уделено практическим вопросам программирования и пуско-наладки производственного процесса.

Книга предназначена для студентов, обучающихся по направлению «Технология машиностроения», слушателей курсов переподготовки специалистов, а также производственного персонала современного обрабатывающего производства.

1. ПРИНЦИПЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Обрабатывающие станки с ЧПУ, способные осуществлять автоматическое управление комбинированной обработкой детали, выпускаются в широком спектре структурных схем и конструктивных исполнений. Конструкции и программное обеспечение оборудования с ЧПУ постоянно совершенствуются, и в настоящее время существенная часть станков выполняется с возможностью совмещения различных видов обработки. При этом продолжает сохраняться традиционное разделение станков на две основные группы: фрезерную и токарную. Рассмотрим современные тенденции развития станочного оборудования с ЧПУ с учетом этого условного разделения.

1.1. Базовые конструктивные схемы станков фрезерной группы

Станки с ЧПУ фрезерной группы, имеющие инструментальный магазин и устройство автоматической смены инструментов в шпинделе называют ОБРАБАТЫВАЮЩИМИ ЦЕНТРАМИ (ОЦ). В ОЦ принята правосторонняя прямоугольная система координат, в которой оси X, Y, Z соответствуют БОЛЬШОМУ, УКАЗАТЕЛЬНОМУ и СРЕДНЕМУ пальцам кисти правой руки (рис.1.1,а). В общем случае программирования ось Z совпадает с осью вращения шпинделя, а ее положительное направление принимается *ОТ ДЕТАЛИ*. Обычно ОЦ обрабатывает деталь последовательно несколькими инструментами. Контуры фрезерной обработки в большинстве процедур формируются в плане $X-Y$ (рис1.1,б), сверление производится при движении инструментов вдоль оси Z .

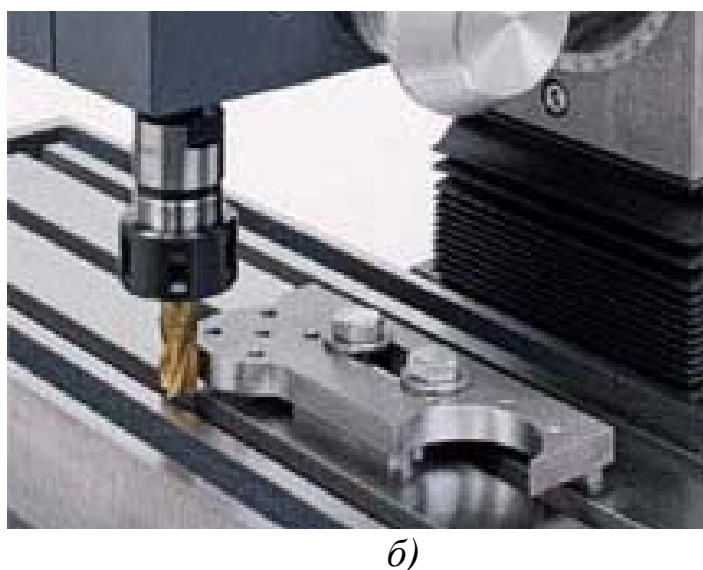
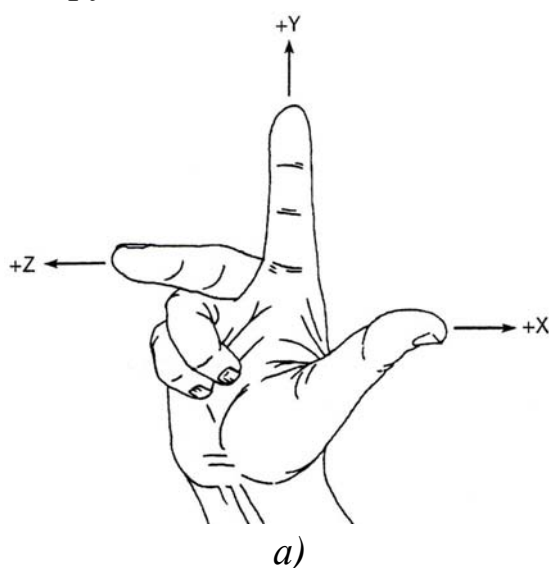


Рис.1.1. Расположение координатных осей и формирование контура обработки
а) расположение координатных осей прямоугольной системы координат;
б) движение фрезы в рабочей плоскости

В процессе выполнения операции по управляющей программе (УП) инструменты осуществляют поступательные перемещения вдоль трех осей X , Y , Z . При этом все перемещения инструментов однозначно увязаны с системой координат станка X_c - Y_c - Z_c . Нулевая точка системы координат станка, которую называют «НОЛЬ СТАНКА» или «НУЛЕВАЯ ТОЧКА СТАНКА», обычно располагается в крайних точках перемещения рабочего стола и шпинделя (рис.3).

Станки типа ОЦ можно разделить на два типа:

- станки с вертикальным расположением шпинделя (вертикальные ОЦ), предназначенные для обработки поверхностей в плоскости рабочего стола;
- станки с горизонтальным расположением шпинделя (горизонтальные ОЦ), предназначенные для обработки поверхностей, перпендикулярных плоскости рабочего стола.

В большинстве вертикальных станков (рис.1.2) движение инструмента относительно детали в направлении оси Z обеспечивается перемещениями подвижного элемента 10 со шпинделем 1 вдоль направляющих 3. Движение в плане X - Y обеспечивается перемещениями подвижных элементов 11, 12 с установленным на них рабочим столом 2 вдоль направляющих 4 и 5.

Наиболее широко применяемая структурная схема горизонтального ОЦ (рис.1.3) обеспечивает движение инструмента вдоль оси X перемещениями подвижного элемента 4 станка вдоль направляющих 7. Движение инструмента вдоль оси Y обеспечивается перемещениями подвижного элемента 3 со шпинделем 1 вдоль направляющих 6. Движение инструмента вдоль оси Z обеспечивается перемещениями подвижного элемента 5 станка вдоль направляющих 8. В качестве элемента крепления шпинделя во многих станках используется телескопическое устройство 11, дающее дополнительные возможности перемещения шпинделя вдоль оси Z .

Рабочий стол 2 в большинстве горизонтальных ОЦ (рис.1.3) устанавливается на подвижном элементе 4 с применением поворотного механизма 9. Конструкция станка позволяет осуществлять дискретный повороты рабочего стола по командам УП и его фиксацию в различных заданных угловых положениях. Ось поворота рабочего стола располагается в его центре симметрии. Такая конструкция позволяет программировать многопозиционную обработку деталей с одного установа.

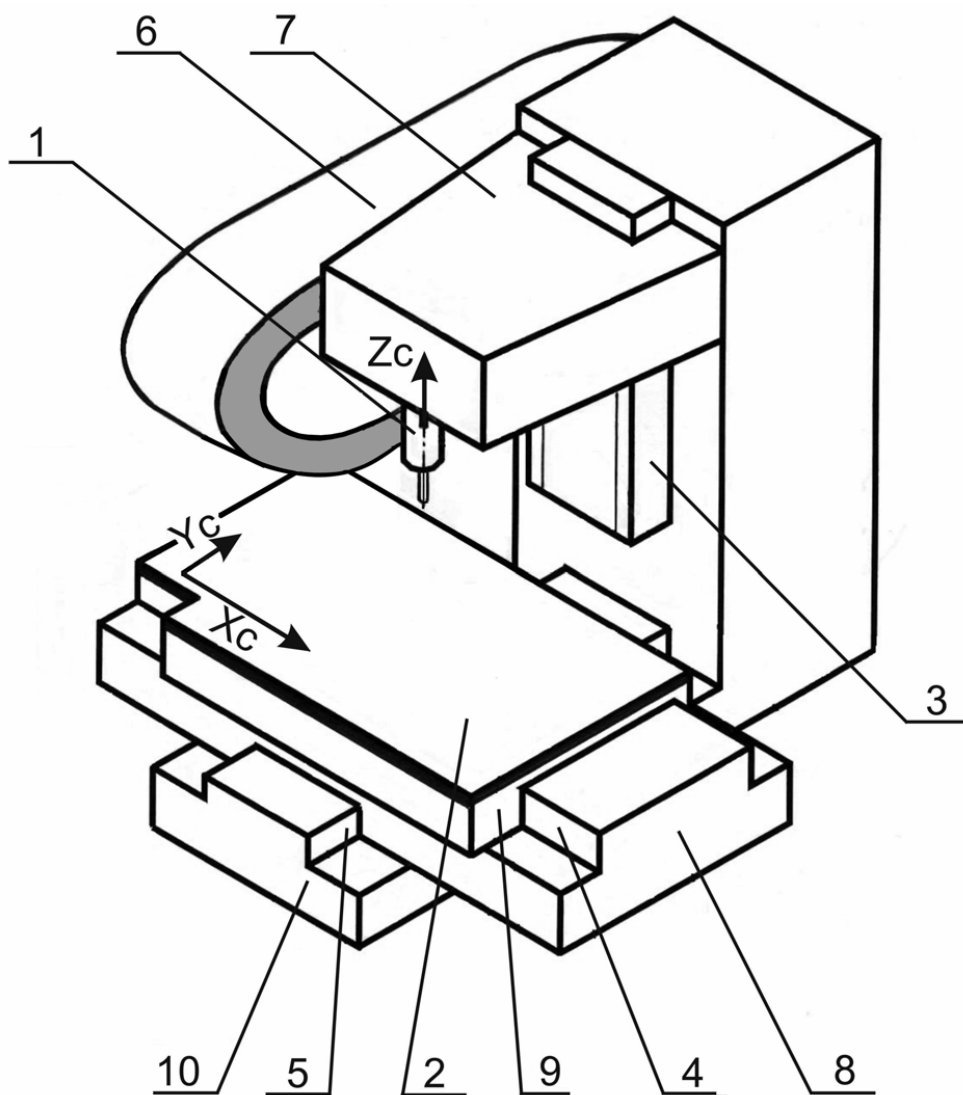


Рис.1.2. Структурная схема вертикального ОЦ:

1 – шпиндель; 2 – рабочий стол; 3, 4, 5 – направляющие; 6 – инструментальный магазин; 7, 8, 9 – подвижные элементы; 10 – основание; X_c , Y_c , Z_c – координатные оси системы координат станка

1.2. Системы координат фрезерного оборудования

При разработке УП обработки детали на станке с ЧПУ программист принимает за точку отсчета перемещений инструментов какую-то реальную или мнимую точку детали. В процессе наладки технологического оснащения для выполнения операций на станке наладчик должен сообщить системе ЧПУ станка, место расположения этой точки.

Положение нулевой точки системы координат детали $X-Y-Z$, которую называют «НОЛЬ ДЕТАЛИ» или «НУЛЕВАЯ ТОЧКА ДЕТАЛИ», относительно нуля станка $X_c-Y_c-Z_c$ фиксируется КОНСТАНТАМИ СМЕЩЕНИЯ X_0, Y_0, Z_0 (рис.1.4). Константы смещения X_0, Y_0, Z_0 обозначают расстояние от нуля станка до нуля детали по соответствующим координатным осям. Константы смещения

определяются и вводятся в систему ЧПУ станка отдельно для каждой из обрабатываемых деталей в процессе проведения наладки технологического оснащения.

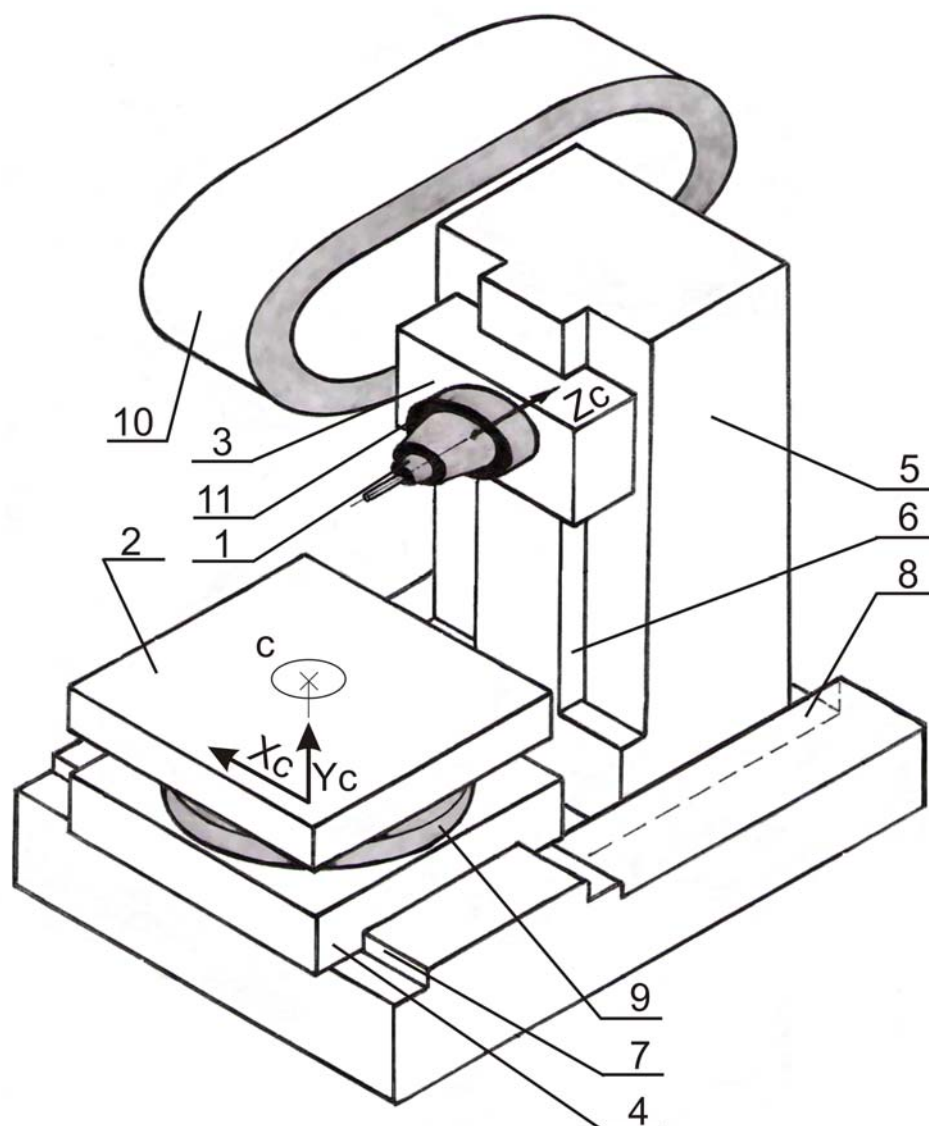


Рис.1.3. Структурная схема горизонтального ОЦ:

1 – шпиндель; 2 – рабочий стол; 3, 4, 5 – подвижные элементы; 6, 7, 8 – направляющие; 9 – поворотный механизм; 10 – инструментальный магазин; 11 – телескопическое устройство крепления шпинделя; C – обозначение поворота детали; X_c, Y_c, Z_c – координатные оси системы координат станка

1.3. Ориентация деталей на рабочем столе ОЦ

Позиция нуля детали X - Y - Z (рис.1.4) задается разработчиком УП из соображений удобства расчетов траекторий инструментов. Привязка координатной системы детали к координатной системе станка осуществляется в ручном режиме на этапе выполнения пуско-наладочных работ. Рассмотрим различные варианты задания позиции нуля детали в плоскости обработки детали X - Y . Отметим, что применяемые наладчиком методы привязки обусловлены в первую очередь местоположением начала координат на детали.

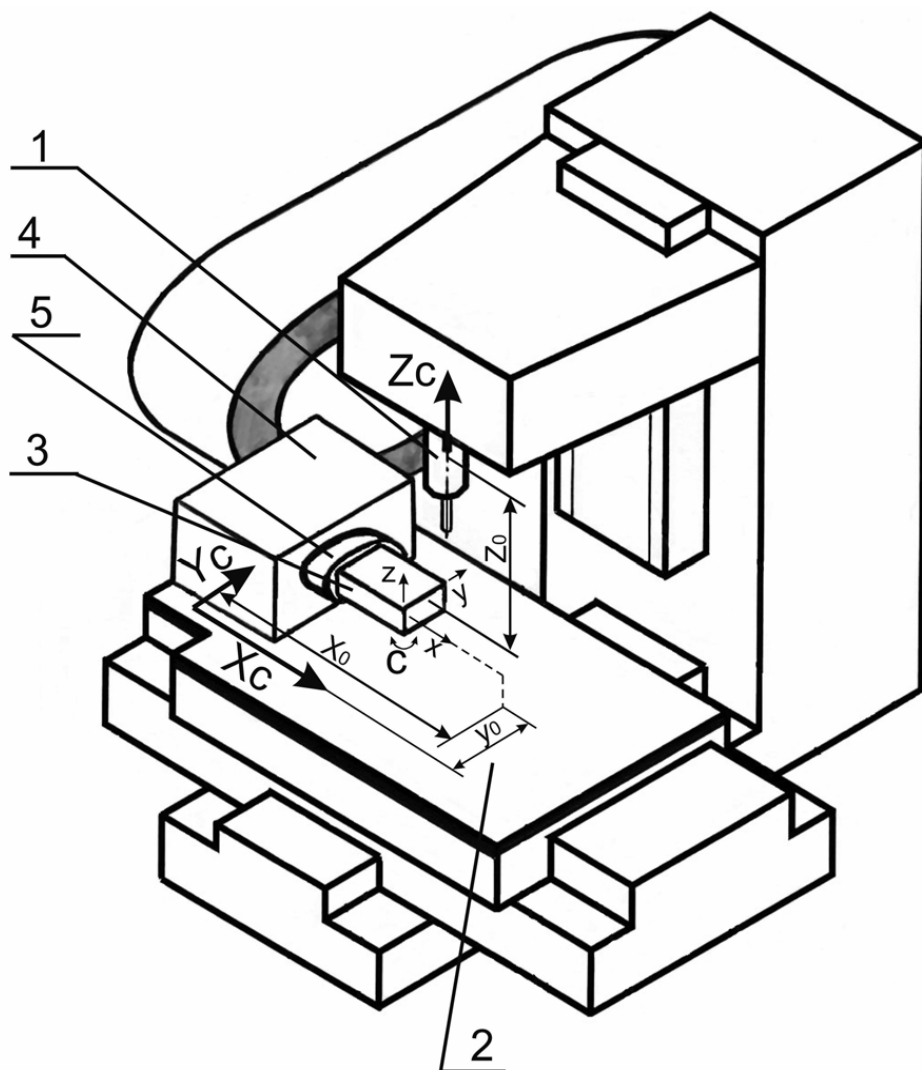


Рис.1.4. Система координат станка и система координат детали:

1 – шпиндель; 2 – рабочий стол; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – поворотная головка; 5 – патрон; C – обозначение поворота детали; X_c, Y_c, Z_c – координатные оси системы координат станка; X, Y, Z – координатные оси системы координат детали; X_0, Y_0, Z_0 – константы смещения нуля детали

Если ноль детали задан на оси цилиндрической поверхности (внутренней или наружной), которая расположена перпендикулярно плану $X-Y$, определение ее позиции осуществляется с помощью индикатора часового типа 3, который устанавливается в свободно вращающийся шпиндель 4 (рис.1.5). Определение позиции нуля детали производится при перемещении шпинделя относительно рабочего стола в плоскости $X-Y$. Одновременно с перемещениями шпинделя производится ручной поворот индикатора. Касание заданной цилиндрической поверхности в различных поперечных сечениях осуществляется рычагом 5 индикатора.

Перемещая шпиндель вдоль осей X и Y , наладчик станка ищет такое положение, в котором показания индикатора в различных угловых

сечениях остается неизменными. Это означает, что найдена точка, в которой ось вращения шпинделя 4 совпадает с осью цилиндрической поверхности – тела вращения 1 или отверстия детали 2 (рис.1.5). В этой точке с помощью системы индикации станка фиксируется положение шпинделя в плоскости $X-Y$ относительно нуля станка $X_C-Y_C-Z_C$.

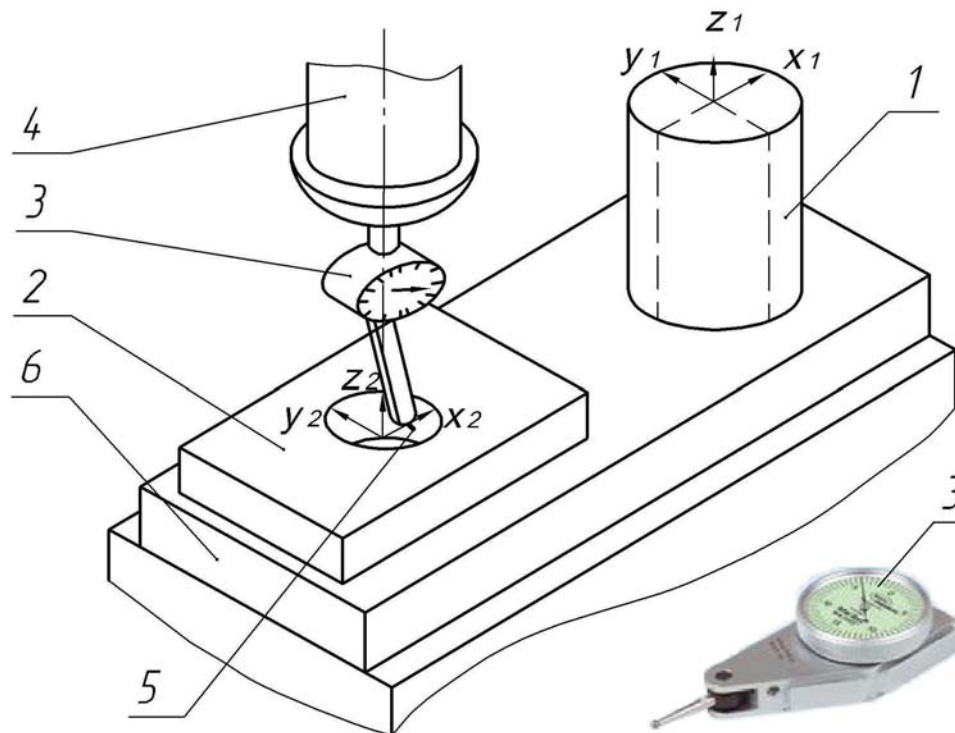


Рис.1.5. Определение нуля детали с помощью индикатора:

1 – деталь «тело вращения»; 2 – корпусная деталь; 3 – индикатор часового типа; 4 – шпиндель; 5 – рычаг; 6 – рабочий стол

Два других метода определения нуля детали в плане $X-Y$ обычно осуществляются с помощью датчиков контакта: электронного (рис.1.6,а) или механического (рис.1.6,б). Щуп электронного датчика контакта (рис.1.6,а) представляет собой твердосплавный или рубиновый шарик, закрепленный на оконечности валика. В процессе поиска нуля детали электронным датчиком шпиндель должен быть неподвижен. Сигнальное устройство датчика реагирует на любой контакт щупа.

Механический датчик действует при частоте вращения шпинделя 400...600 об/мин. Он состоит из двух цилиндрических тел, скрепленных между собой пружиной (рис.1.6,б). Верхнее цилиндрическое тело датчика крепится в шпинделе соосно оси его вращения. Участок поверхности в районе оконечности нижнего цилиндрического тела предназначена для контакта с деталью и играет роль щупа. В момент касания поверхности детали нижнее цилиндрическое тело датчика резко смещается в плоскости $X-Y$ относительно оси вращения шпинделя (рис.1.7).

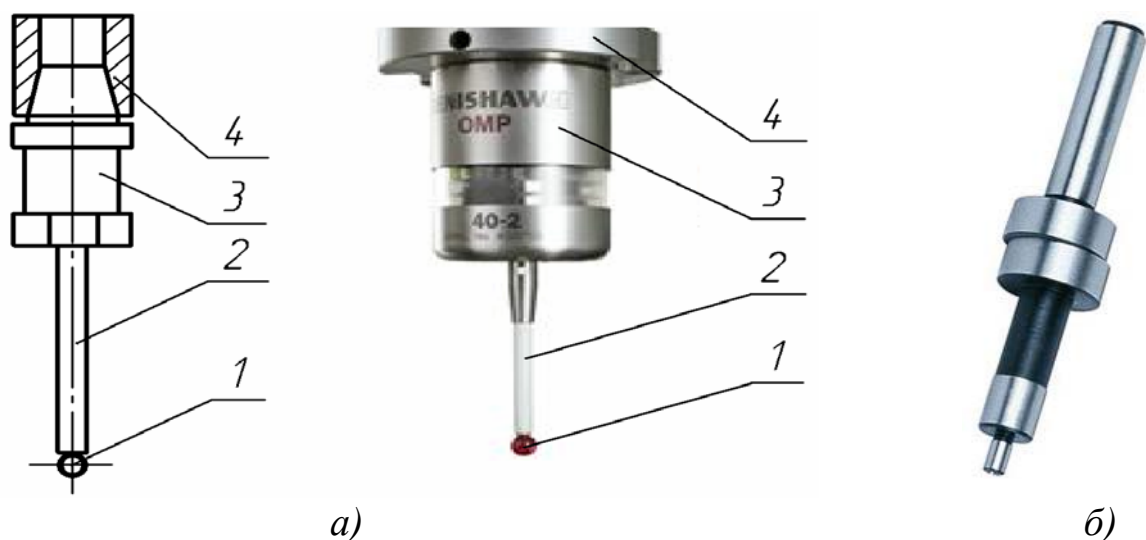


Рис.1.6. Датчики контакта:

а) электронный датчик контакта; б) механический датчик контакта;
1 – щуп; 2 – валик; 3 – сигнальное устройство; 4 – шпиндель



Рис.1.7. Поиск позиции нуля детали механическим датчиком контакта

В точке касания детали щупом датчика с помощью системы индикации станка фиксируется положение шпинделя в плоскости $X-Y$ относительно нуля станка $X_C-Y_C-Z_C$. Далее (после необходимых пересчетов) полученные величины констант смещения X_0 и Y_0 вносятся в ТАБЛИЦУ СМЕЩЕНИЯ НУЛЕВЫХ ТОЧЕК системы ЧПУ станка.

Если ноль детали задается в центре симметрии прямоугольной детали (рис.1.8), то определение констант смещения X_0 и Y_0 осуществляется с помощью поочередного касания щупом всех ее боковых плоскостей. В моменты контакта фиксируются значения координат шпинделя в системе координат станка X'_0, X''_0, Y'_0, Y''_0 . Константы смещения X_0 и Y_0 определяются из выражений:

$$X_0 = (X'_0 + X''_0) / 2;$$

$$Y_0 = (Y'_0 + Y''_0) / 2.$$

При обработке несимметричной детали ее ноль X - Y - Z обычно задается на одной из ее оконечностей (рис.1.9). В этом случае определение констант смещения X_0 и Y_0 осуществляется с помощью поочередного касания щупом двух взаимно перпендикулярных поверхностей детали. В моменты касания фиксируются координаты шпинделя в системе координат станка X'_0, Y'_0 . Ноль детали располагается на расстоянии половины диаметра щупа $D/2$ от точки касания вдоль осей X и Y . В приведенном примере константы смещения X_0 и Y_0 определяются из выражений:

$$X_0 = X'_0 + D/2;$$

$$Y_0 = Y'_0 + D/2.$$

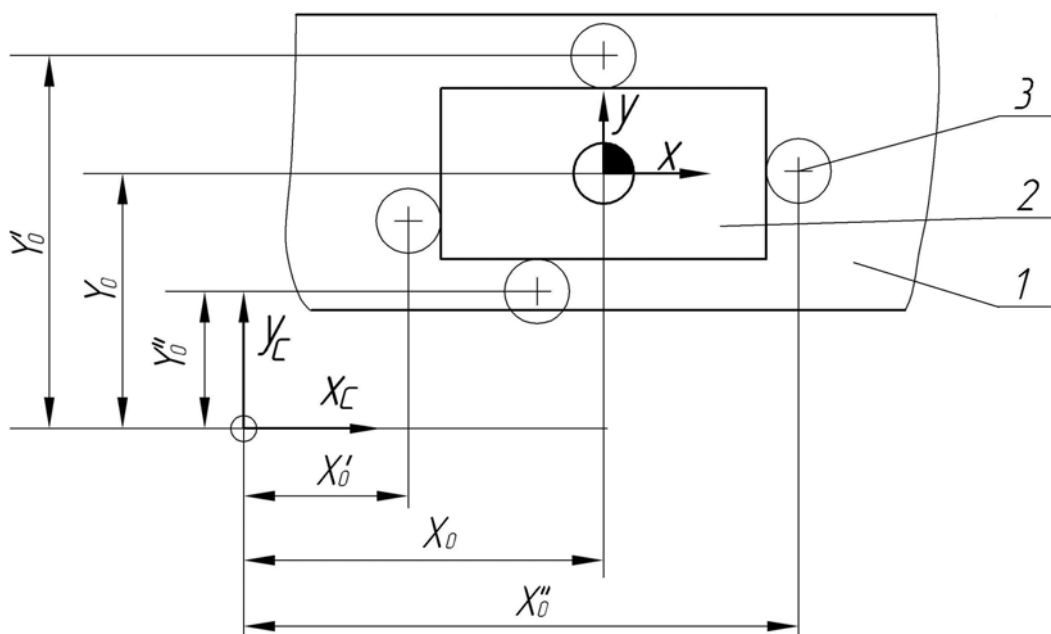


Рис.1.8. Определение нуля в центре симметрии прямоугольной детали:
1 – рабочий стол; 2 – деталь; 3 – датчик контакта

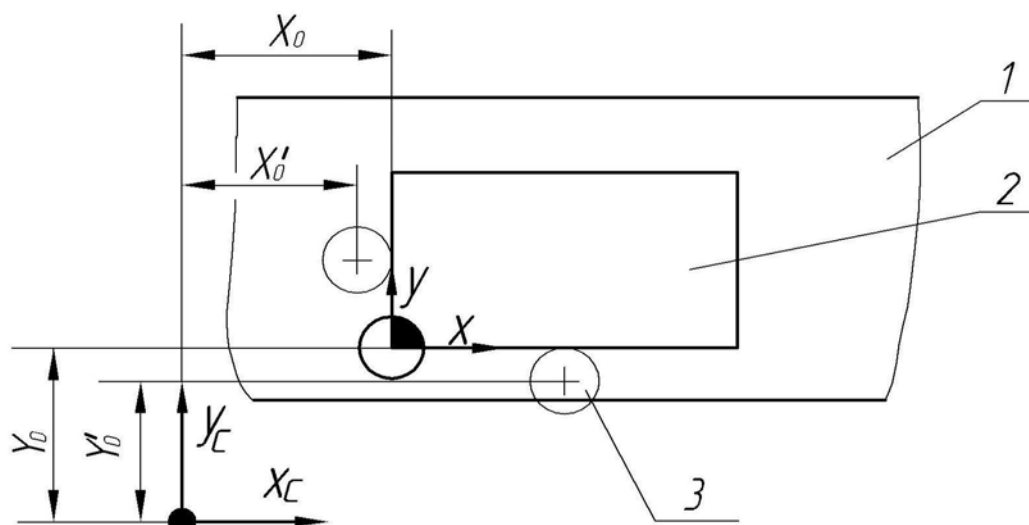


Рис.1.9. Определение нуля на оконечности прямоугольной детали:
1 – рабочий стол; 2 – деталь; 3 – датчик контакта

Определение константы смещения по оси Z производится путем касания базовой плоскости обрабатываемым инструментом (рис.1.10). В качестве базовой выбирают плоскость, имеющую относительно нуля детали координату $Z=0$, или другой привязанную к ней плоскость. В большинстве УП начало координат по оси Z программируется на верхней обработанной плоскости детали. В момент касания инструментом базовой плоскости с помощью системы индикации станка фиксируется положение шпинделя по оси Z относительно нуля станка $X_C-Y_C-Z_C$. Далее (после необходимых пересчетов) полученная величина Z_0 вносятся в таблицу смещения нулевых точек системы ЧПУ станка.

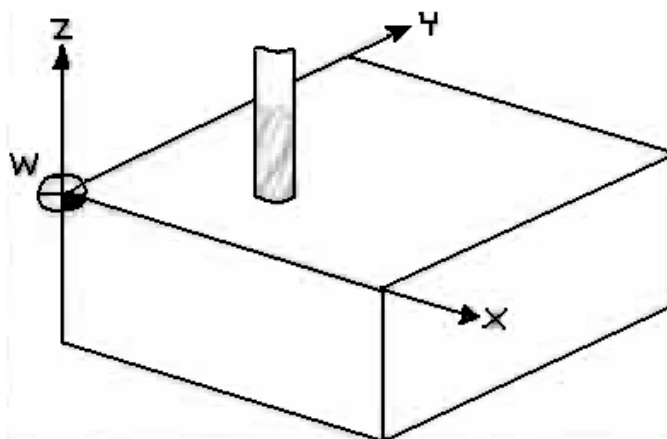


Рис.1.10. Определение нуля детали по оси Z

При работе станка по УП командный кадр вызова системы координат детали $X-Y-Z$ осуществляет считывание констант смещения X_0, Y_0, Z_0 из соответствующих параметрических ячеек таблицы смещения нулевых точек. Далее все перемещения обрабатывающих инструментов осуществляются относительно нуля обрабатываемой детали.

1.4. Обработка детали комплектом инструментов

Комбинированная обработка детали на ОЦ осуществляется, как правило, путем выполнения последовательных переходов, выполняемых различными инструментами. Для обеспечения работы комплектом инструментов современные станки типа ОЦ имеют в своем составе отдельно расположенный ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МАГАЗИН и устройство автоматической смены инструментов в шпинделе. Инструменты также могут быть размещены в револьверной головке (рис.1.11). Выбор станка обычно определяется его технологическими возможностями и стоимостью.

РЕВОЛЬВЕРНАЯ ГОЛОВКА станка жестко скреплена со шпинделем. Во время работы станка эти два элемента совершают совместные перемещения. Конструкция револьверной головки проста и надежна, однако ее емкость невелика и обычно составляет не более 16

единиц. Вызов инструмента на рабочую позицию производится простым поворотом револьверной головки и может осуществляться в любой точке на линии движения шпинделя.

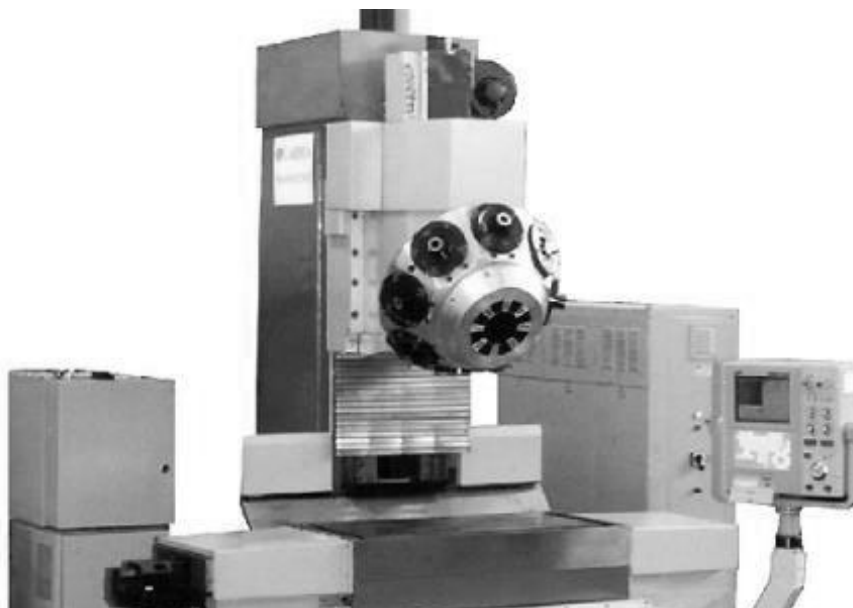


Рис.1.11. Вертикальный ОЦ с револьверной инструментальной головкой

Устройства автоматической смены инструментов, работающие совместно с инструментальным магазином, производят заданные манипуляции при фиксации шпинделя в строго установленной точке.

Магазин типа «ЗОНТИК» (рис.1.12) представляет собой барабан с инструментами, емкость (количество мест для установки инструментов) которого составляет 20...30 позиций. Положение магазина – горизонтальное, над рабочим столом, в стороне от шпинделя. Передача инструментов между магазином и шпинделем осуществляется в процессе взаимных перемещений шпинделя и барабана. Время смены инструментов составляет 6...10 секунд. Магазины типа «ЗОНТИК» в горизонтальных ОЦ не применяются.



Рис1.12. Инструментальный магазин типа «ЗОНТИК»

Механизм смены инструментов типа «РУКА» включает в себя манипулятор, действующий совместно с инструментальным магазином, выполненным в виде барабана или цепного конвейера. Магазины относительно небольших станков обычно выполняются в виде барабанов (рис.1.13), емкость которых составляет 20...40 позиций. В крупных станках инструменты содержатся в цепных конвейерах (рис.1.14). Их большая емкость (до 200 единиц) позволяет постоянно хранить в станке широкий спектр инструментов, настроенных на обработку сразу нескольких деталей. Наличие инструментов на подготовленных позициях позволяет существенно снизить время наладки технологического оснащения для выполнения операций.

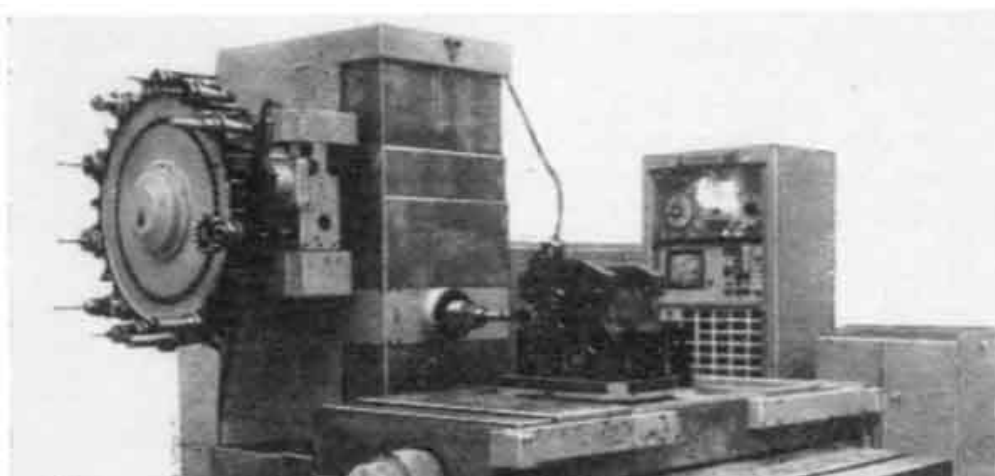


Рис.1.13. Горизонтальный станок с магазином типа «РУКА» барабанного типа

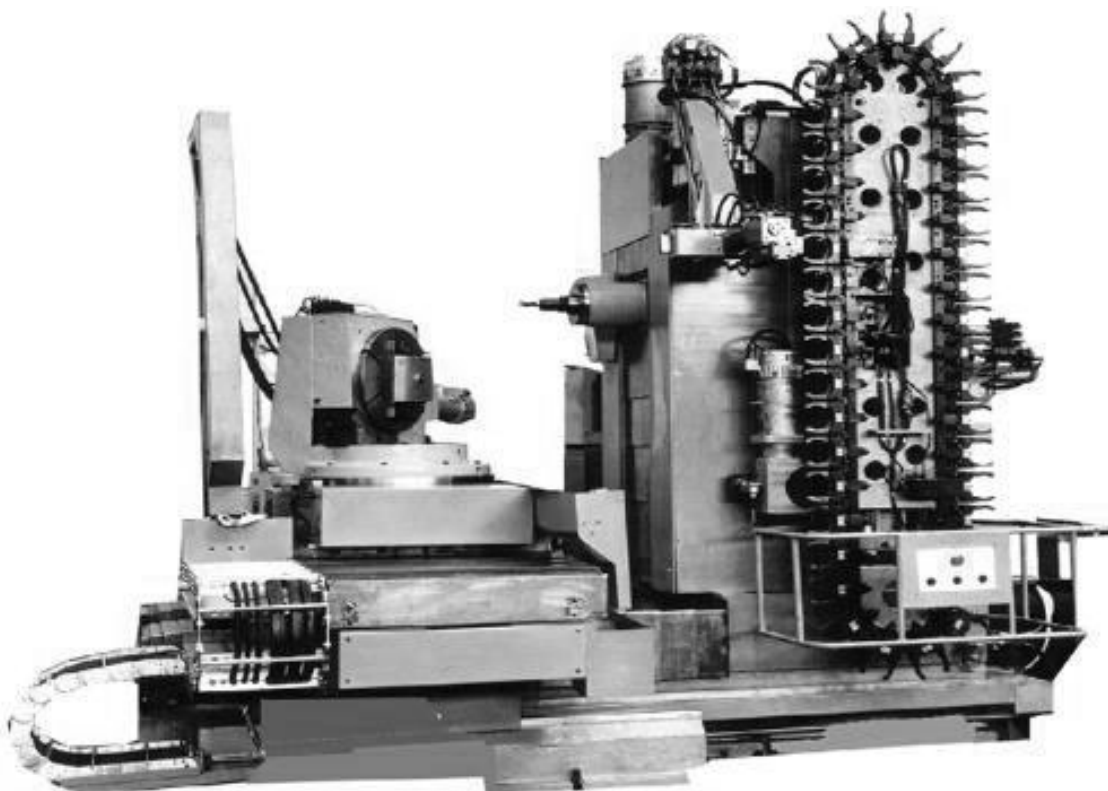


Рис.1.14. Горизонтальный станок с магазином типа «РУКА» конвейерного типа

На рис.1.15 приведен вид механизма смены инструментов типа «РУКА» со стороны манипулятора, осуществляющего передачу инструментов между магазином и шпинделем. С целью вызова в шпиндель инструмент приходит на подготовительную позицию 2 и встает в вертикальное положение. Далее манипулятор 3 осуществляет одновременный захват двух инструментов: из шпинделя 5 и с подготовительной позиции 2. Затем следует разворот манипулятора и смена инструментов местами. Описанные устройства способны осуществлять поиск инструмента в магазине одновременно с обработкой детали другим инструментом. Это позволяет снизить время смены инструмента в шпинделе до 5...8 секунд.

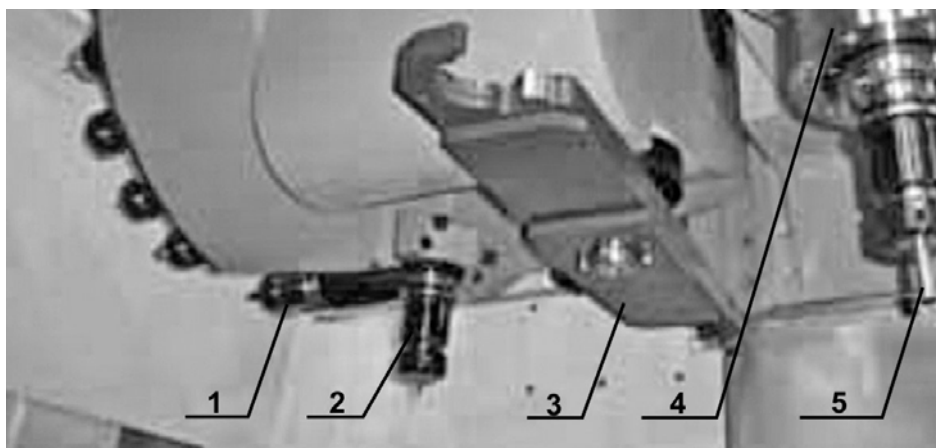


Рис.1.15. Механизм типа «РУКА» (вид со стороны манипулятора):
1 – инструмент в магазине; 2 – инструмент на подготовительной позиции; 3 – манипулятор; 4 – шпиндель; 5 – инструмент в шпинделе

Траектория движения каждого обрабатывающего инструмента задается относительно его ПРОГРАММНОЙ ТОЧКИ P_i . В качестве программной точки может быть выбрана вершина инструмента, как для сверл, либо центр закругления, как для сферических фрез, либо точка пересечения торца с осью вращения, как для концевых и дисковых фрез (рис.1.16). При этом система ЧПУ воспринимает все перемещения инструментов относительно фиксированной точки, расположенной в основании шпинделя. Эта точка называется БАЗОВОЙ ТОЧКОЙ СТАНКА F_i (рис.1.17).

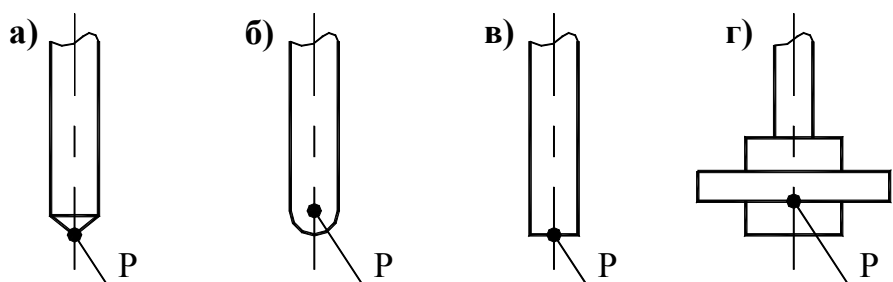


Рис.1.16. Расположение программных точек инструментов

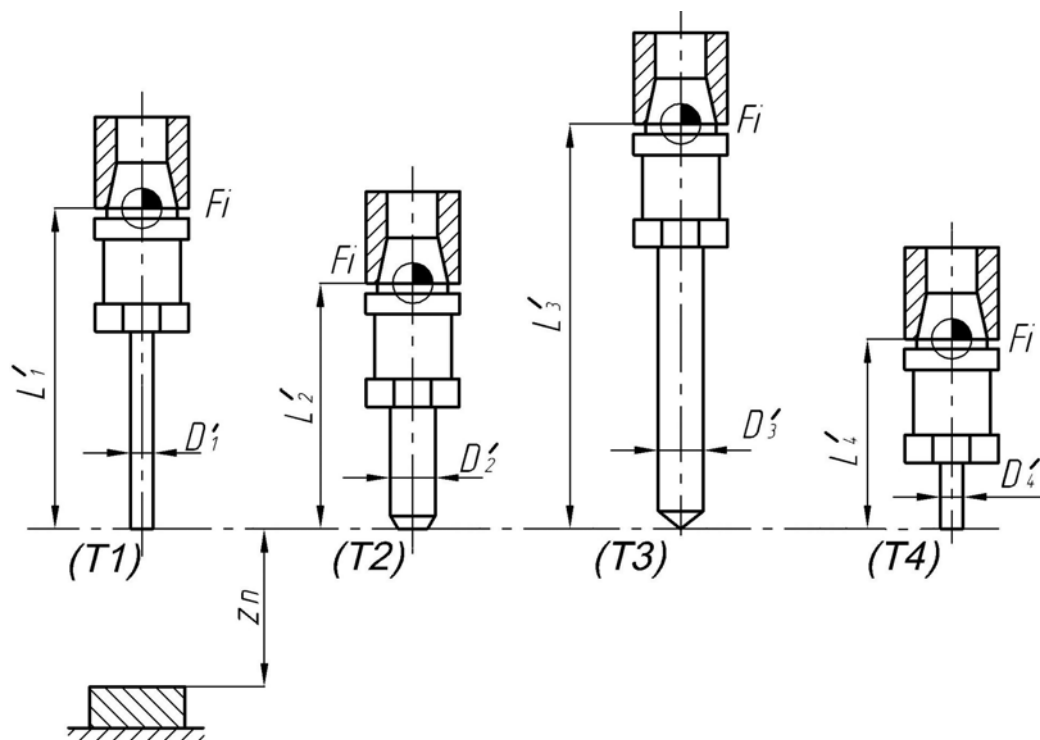


Рис.1.17. Схема коррекции длины инструментов

Подготовленные к работе инструменты, обозначаемые в УП символом « T_i » (T_1, T_2, T_3, \dots), имеют различные величины вылета L_i от базовой точки станка F_i до их программной точки P_i (рис.1.17). Эти величины определяются в снаряженном состоянии инструментов на специальных измерительных устройствах.

В процессе выполнения пуско-наладочных работ величину вылета инструмента L_i , называемую также КОРРЕКТОРОМ его длины, вносят в ТАБЛИЦУ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТОВ (табл.1.1). При вызове очередного инструмента по команде УП система ЧПУ осуществляет считывание величины корректора его длины L_i из таблицы параметров инструментов. В процессе обработки детали программная точка инструмента P_i движется по заданному контуру обработки. При этом базовая точка станка F_i перемещается по тому же контуру со смещением относительно P_i на величину вылета инструмента L_i в направлении « $Z+$ ».

Таблица 1.1

	L_i	D_i
T_1	112.34	10
T_2	94.36	16
T_3	126.78	20
T_4	65.77	8
T_5	-	-
T_6	-	-
T_7	-	-
T_8	-	-

В наиболее широко используемом в современном оборудовании программном обеспечении *FANUC* коррекция длины инструмента вводится в действие в момент его приближения к зоне обработки кадром, содержащим команду *G43_H_i*, где *H_i* – обозначение ячейки таблицы параметров инструментов, в которую внесена величина корректора (табл.1.1). Номер ячейки таблицы, как правило, соответствует номеру инструмента. Так, кадр УП

G0 G43 X20 Y0 Z50 H4

задает быстрое приближение инструмента *T4* к зоне обработки с одновременным включением коррекции его длины, причем величина корректора внесена в ячейку «*H4*».

1.5. Комбинированная многопозиционная обработка

Обработка детали комплектом инструментов в рамках единой УП носит название КОМБИНИРОВАННОЙ. При программировании комбинированной обработки деталей траектории движения инструментов должны быть максимально типизированы. Это необходимо для снижения риска возникновения ошибок и упрощения работы.

Точка смена инструмента в шпинделе считается ИСХОДНОЙ ТОЧКОЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ. Движение каждого инструмента от исходной точки перемещения в направлении детали осуществляется через ПЛОСКОСТЬ БЕЗОПАСНОСТИ. Движение производится по прямолинейному отрезку с одновременным смещением по трем координатным осям на ускоренной подаче. Плоскость безопасности устанавливается на заданном расстоянии от наивысшей точки системы «Деталь-приспособление» в направлении «*Z+*»; это расстояние обычно назначают равным $Z_{II}=20...100$ мм. В момент приближения инструмента к плоскости безопасности вводится в действие коррекция его длины (структура команды на ввод в действие корректора длины инструмента описана в предыдущем разделе). Запуск и останов вращения шпинделя, а также включение и отключение подачи охлаждающей жидкости обычно производятся в момент прохождения инструментами плоскости безопасности.

Дальнейшее приближение инструментов к детали осуществляется на ускоренной подаче строго в направлении «*Z-*». При обработке периферийных поверхностей детали подвод инструмента к зоне обработки осуществляется по возможности в стороне от материала. Все перемещения инструментов в зоне обработки, включая холостые ходы, желательно выполнять на рабочей подаче с заданной скоростью. После окончания цикла обработки детали инструменты отводятся к плоскости безопасности на ускоренной подаче строго в направлении «*Z+*». Далее

инструмент перемещается к исходной точке по кратчайшей траектории. Схема движения инструмента приведена ниже на рис.1.25.

Современные системы ЧПУ позволяют объединять обрабатывающие операции на базе МНОГОПОЗИЦИОННОЙ обработки детали, включающей в себя последовательную обработку детали с ее переустановками на рабочем столе в рамках единой УП. В качестве примера рассмотрим обработку детали (рис.1.18) по нескольким граням. В процессе выполнения детали производится ее многопозиционная обработка на вертикальном ОЦ (рис.1.1,б), а также обработка на универсальном фрезерном оборудовании. Крепление детали в рабочей зоне ОЦ производится в станочных тисках с боковым упором. Для установки в тисках на заготовке предварительно фрезеруются уступы Г (рис.1.19).

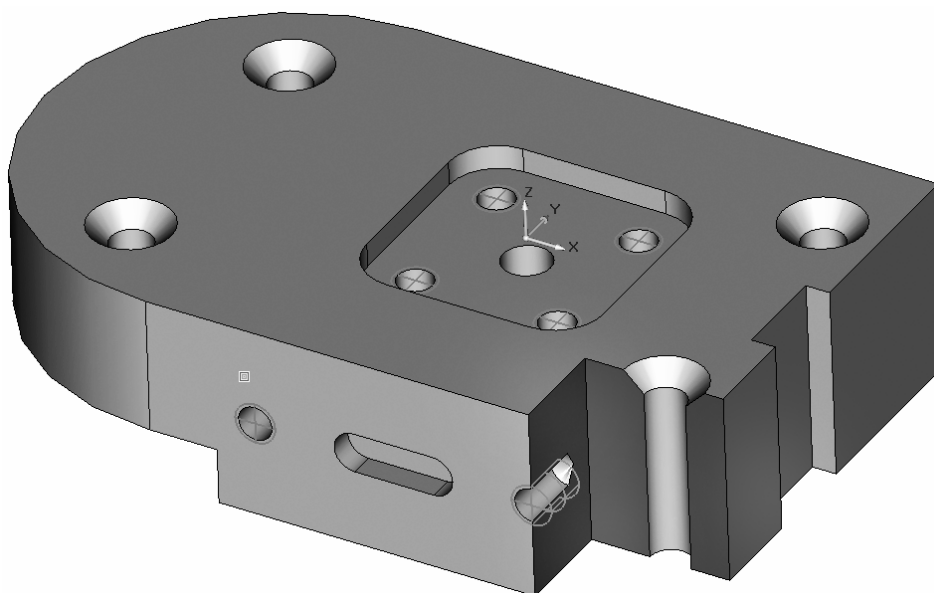


Рис.1.18. Графическая модель детали

Последующая обработка детали осуществляется в автоматическом режиме на рабочем столе ОЦ с ручными переустановками (рис.1.19). На установке А производится обработка торцевой поверхности детали и полного профиля ее боковой грани; деталь фиксируется в тисках на уступах Г. Далее на установке Б деталь обрабатывается с противоположной стороны при условии выполнения заданного чертежного размера Д (рис.1.19); деталь фиксируется в тисках с помощью параллельных планок. На установке В производится обработка детали по длинной боковой грани; деталь фиксируется в тисках без параллельных планок, базирясь на плоскости основания тисков. Графические модели обработки детали приведены на рис.1.20...1.22.

После окончания комбинированной операции деталь переносится на универсальный фрезерный станок, где производится выполнение паза на короткой боковой грани.

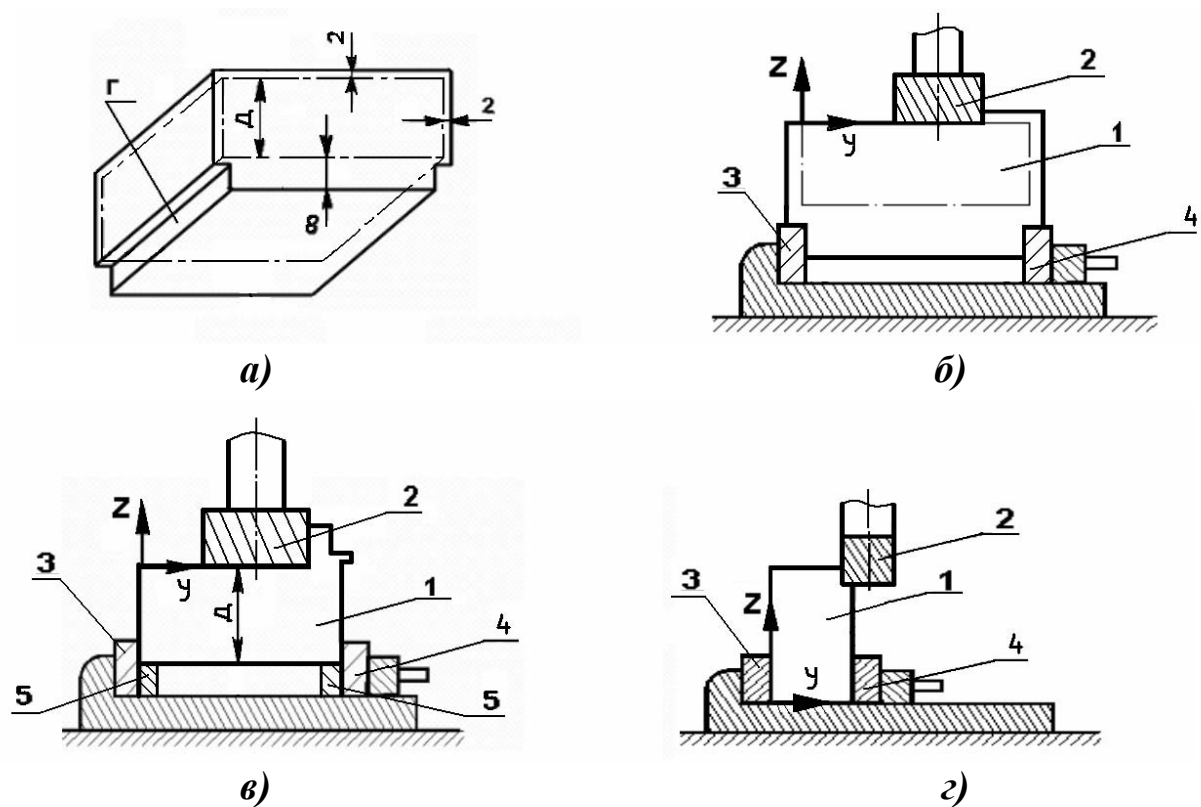


Рис.1.19. Принципы выполнения комбинированной операции на ОЦ:
 а) – подготовка заготовки к комбинированной операции; б) – установ А; в) – установ Б; г) – установ В; 1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – неподвижная губка тисков; 4 – подвижная губка тисков; 5 – параллельные планки; Г – уступ

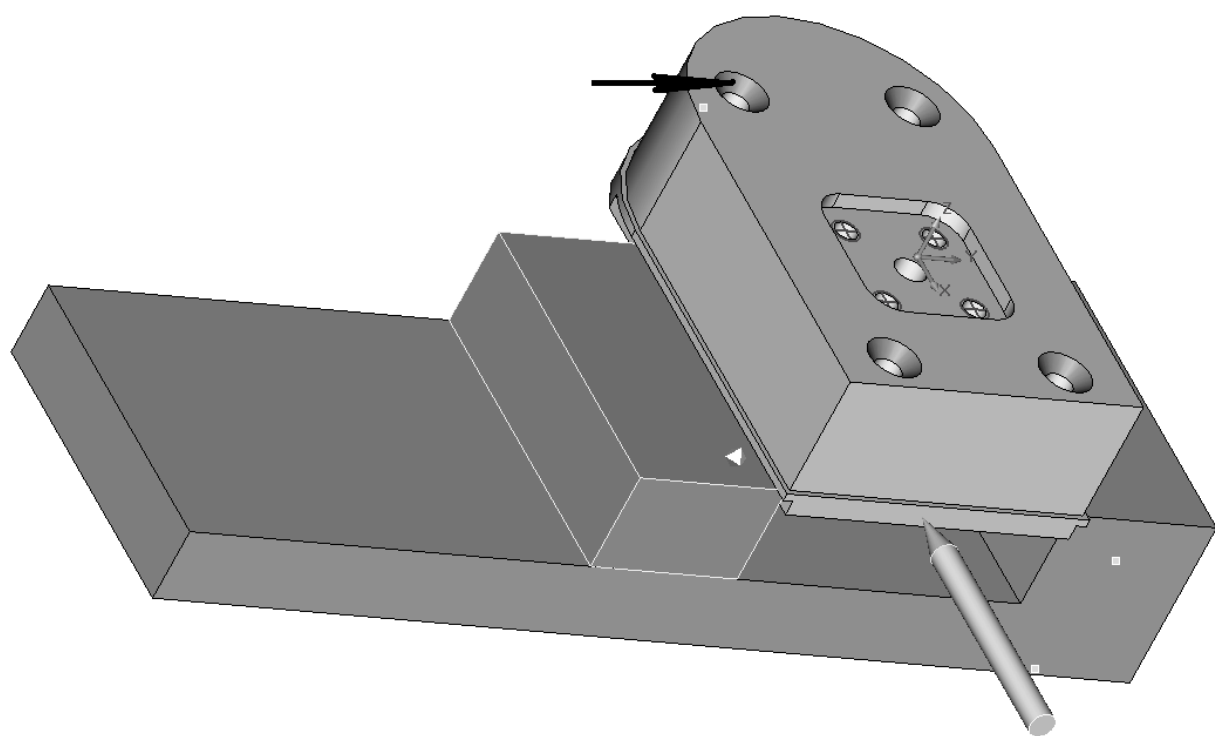


Рис.1.20. Графическая модель обработки детали на установе «А»

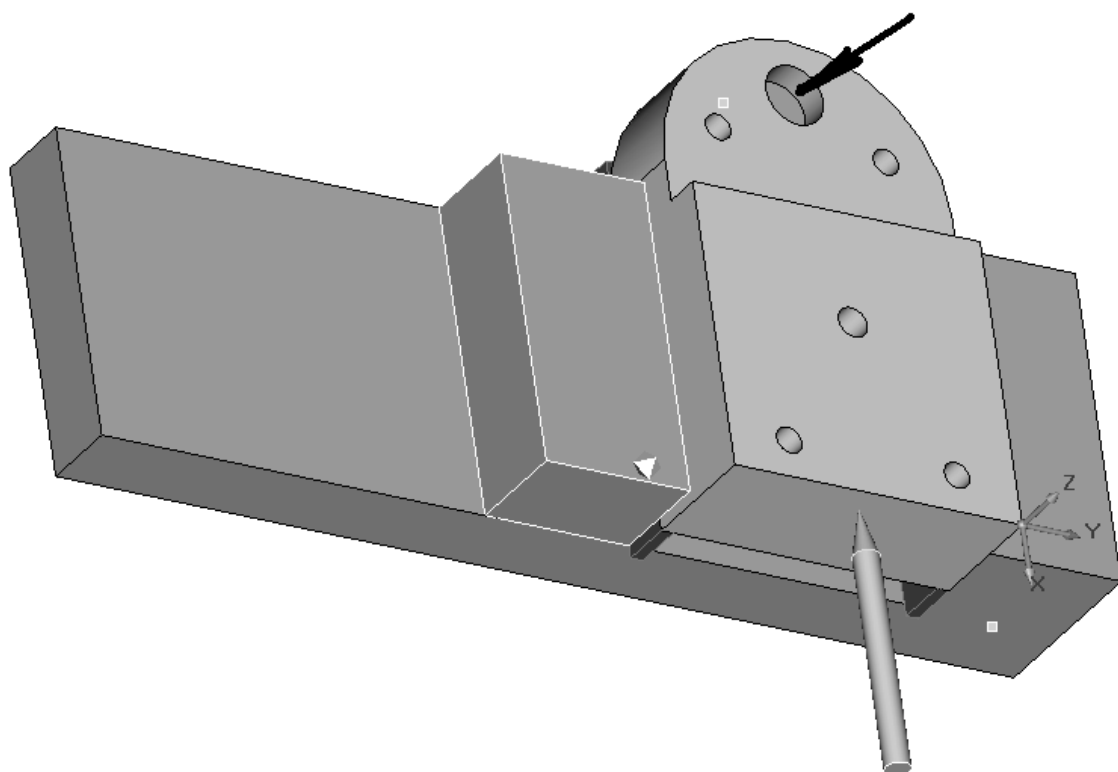


Рис.1.21. Графическая модель обработки детали на установе «Б»

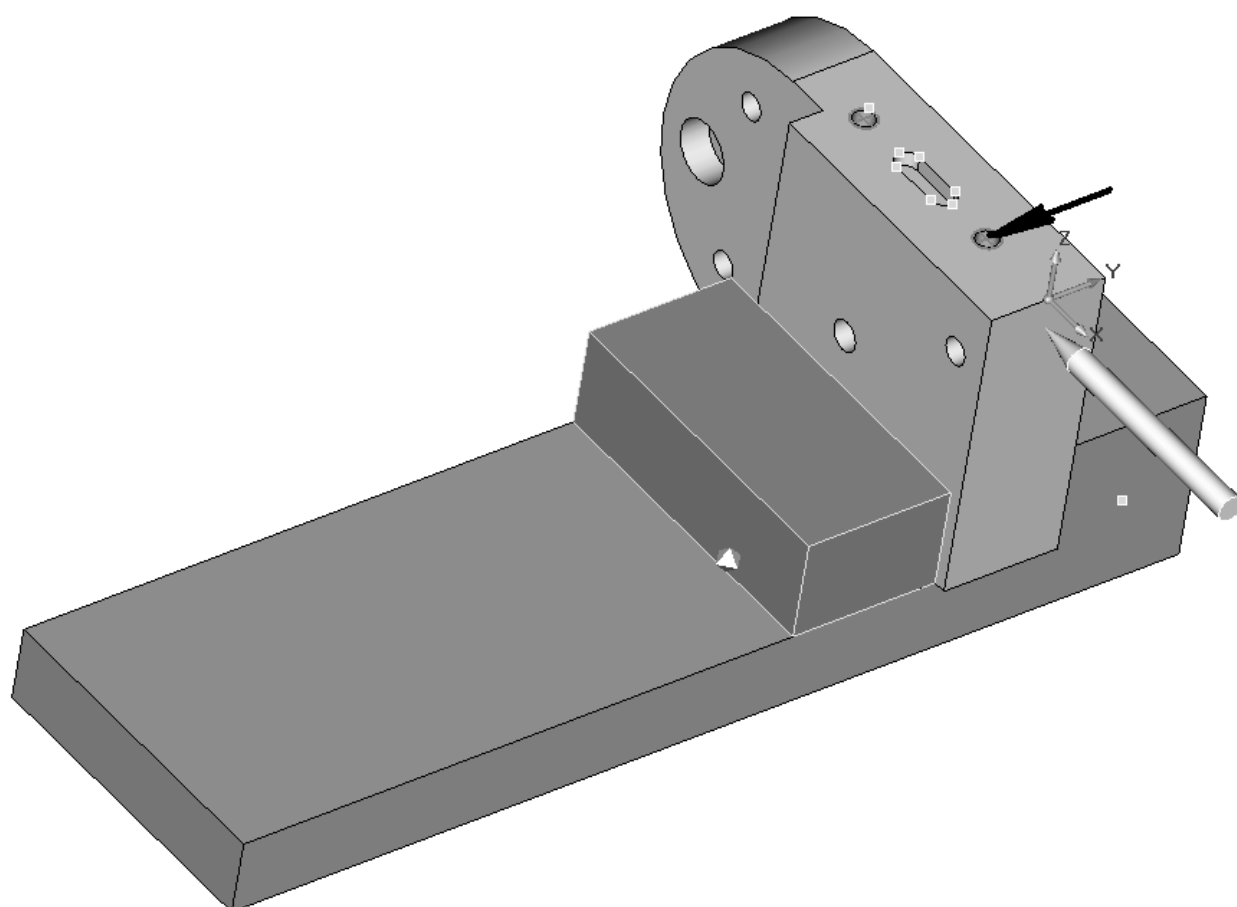


Рис.1.22. Графическая модель обработки детали на установе «В»

Возможности ОЦ по многопозиционной обработке детали обеспечиваются тем, что современные системы ЧПУ позволяют задействовать в программировании обработки сразу несколько систем координат. Каждая из них вызывается из текста УП в заданной точке цикла обработки детали. В базовом варианте большинство систем ЧПУ настроено на возможность одновременного кодирования шести систем координат детали **X-Y-Z**. Вызов систем координат детали осуществляется командами, задаваемыми функциями «**G54...G59**». Функция вызова систем координат детали является модальной, т.е. действует на все последующие кадры УП вплоть до ее отмены вызовом системы координат другой детали.

В рассматриваемом примере обрабатываемая деталь на каждом установе имеет свои, независимые от других, координаты нулевых точек детали. Система координат на установе **А** кодируется функцией **G54**, на установе **Б** – **G55**, на установе **В** – **G56** (рис.1.23). Пример компоновки рабочей зоны ОЦ приведен на рис.1.24; Далее приведен соответствующий пример таблицы констант смещения нулевых точек детали (табл.1.2).

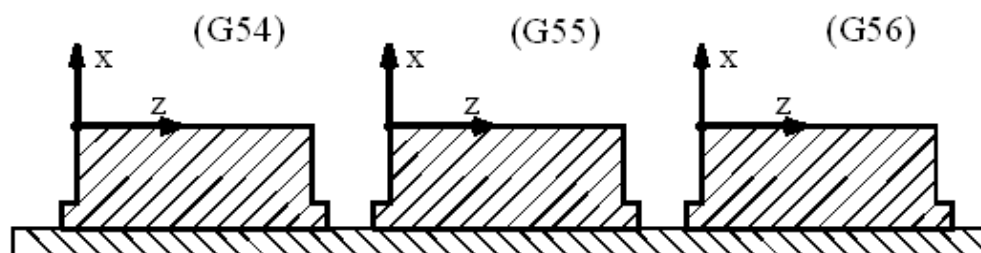


Рис.1.23. Координатные системы детали при многопозиционной обработке на ОЦ

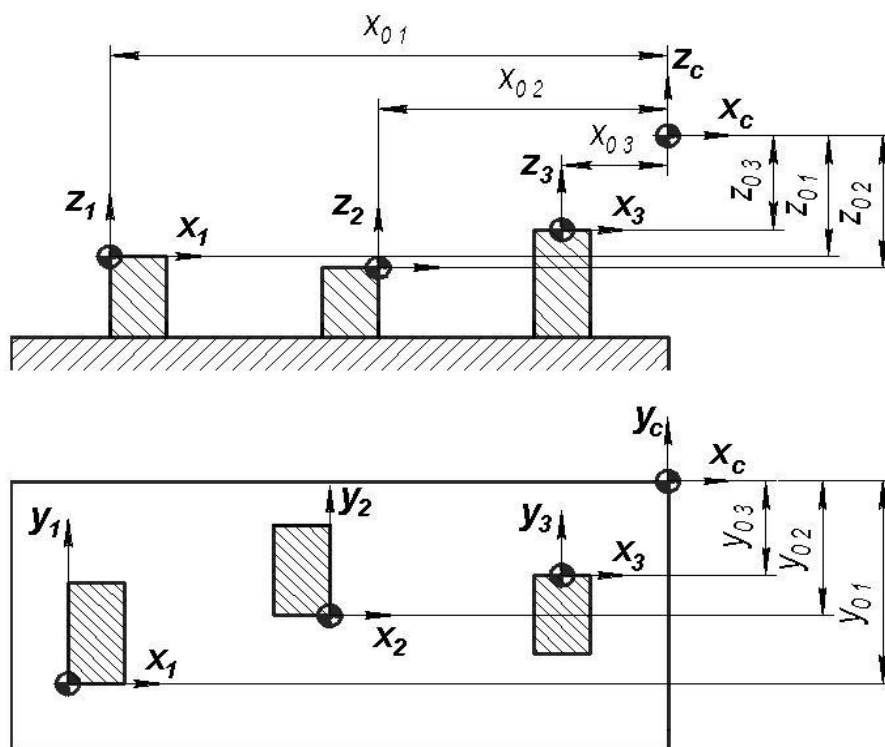


Рис.1.24. Компоновка рабочей зоны станка

Таблица 1.2

	X_{0i}	Y_{0i}	Z_{0i}
G54	-654.42	-381.51	-377.08
G55	-498.72	-220.18	-409.47
G56	-231.97	-189.64	-301.86
G57	0	0	0
G58	0	0	0
G59	0	0	0

Сразу после включения действия УП по команде **G54** активируется система координат детали на установе «А», поддерживаемая константами смещения X_{01} , Y_{01} , Z_{01} . Далее производится обработка детали на установе «А» (рис.1.25). Затем по команде УП **G55** активируется система координат детали на установе «Б», поддерживаемая константами смещения X_{02} , Y_{02} , Z_{02} . Далее производится обработка детали на установе «Б». Затем по команде УП **G56** активируется система координат детали на установе «В», поддерживаемая константами смещения X_{03} , Y_{03} , Z_{03} . Далее производится обработка детали на установе «В». Затем шпиндель выходит из рабочей зоны станка, и действие УП заканчивается. Структура УП приведена в табл.1.3.

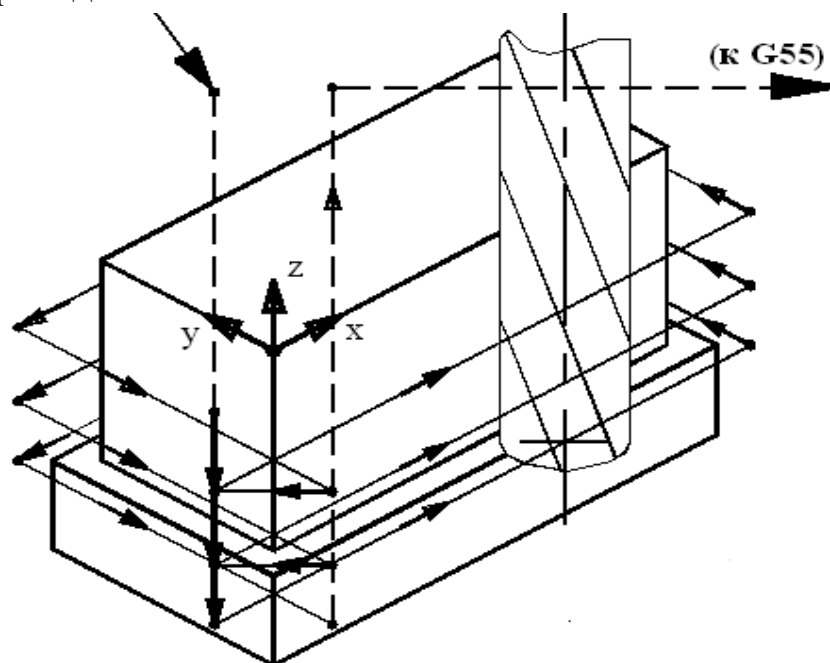


Рис.1.25. Схема обработки детали на установе «А»

Таблица 1.3

(Старт управляющей программы) «G54»	(Обработка детали на установе «Б»)
(Приближение к установу «А»)	(Отвод от детали)
(Обработка детали на установе «А»)	«G56»
(Отвод от детали)	(Приближение к установу «В»)
«G55»	(Обработка детали на установе «В»)
(Приближение к установу «Б»)	(Выход из рабочей зоны станка)
	(Окончание управляющей программы)

2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

2.1. Общие положения

ОЦ, как и другие станки с ЧПУ, управляется компьютером, преобразующим дискретные сигналы информации в дискретные сигналы управления. УП обработки детали на станке с ЧПУ представляют собой набор кодированных команд органам станка. В международном коде *ISO-7bit*, в частности в языке *FANUC*, команды программирования станков включают в себя совокупность подготовительных (обозначаемых *G*) и вспомогательных (обозначаемых *M*) функций. Значения символов системы кодирования УП, принятые в языке *FANUC* и соответствующие ГОСТ 20999-83, приведены в табл.2.1. Подготовительные и вспомогательные функции языка *FANUC*, применяемые в пособии при описании основ разработки УП, сведены в табл.2.2.

Таблица 2.1

Символ	Значение
<i>X, Y, Z</i>	Координата по осям <i>X, Y, Z</i> прямоугольной системы координат
<i>I, J</i>	Расстояние центра интерполяции от точки начала интерполяции по осям <i>X, Y</i>
<i>R</i>	Радиус интерполяции; угловое смещение координатных осей
<i>N</i>	Номер кадра управляющей программы
<i>G, M</i>	Подготовительная и вспомогательная функция
<i>F</i>	Величина подачи инструмента (мм/мин)
<i>S</i>	Величина частоты вращения инструмента (об/мин)
<i>T</i>	Номер инструмента в инструментальном магазине
<i>D, H</i>	Ячейки корректоров диаметра и длины инструмента в таблице параметров инструментов (<i>D_i, H_i</i> для <i>T_i</i>)
<i>O</i>	Обозначение имени управляющей программы
<i>(...)</i>	Информация для оператора
<i>L</i>	Число вызовов подпрограммы

УП состоит из последовательно расположенных командные кадры. КОМАНДНЫЙ КАДР – это набор команд, задающих элементарные отрезки траектории движения и технологические параметры инструмента при выполнении перехода (частота вращения и подача). Командный кадр УП обрабатывается системой ЧПУ как единое целое.

Таблица 2.2

Код	Значение
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ	
G0	Перемещение к точке на ускоренной подаче (позиционирование) в прямоугольной системе координат
G1(...F)	Перемещение к точке на рабочей подаче в прямоугольной системе координат
G2(...F)	Циркуляция по часовой стрелке
G3(...F)	Циркуляция против часовой стрелки
G17	План обработки X-Y
G18	План обработки X-Z
G19	План обработки Y-Z
G40	Отмена коррекции диаметра инструмента
G41(...D_i)	Ввод коррекции диаметра – контур справа от инструмента
G42(...D_i)	Ввод коррекции диаметра – контур слева от инструмента
G43(...H_i)	Ввод коррекции длины вылета инструмента
G54...G59	Перемещения в заданной системе координат детали
G68	Временное смещение координатных осей
G69	Отмена смещения координатных осей
G81	Цикл короткого сверления
G83	Цикл длинного сверления
G84	Цикл нарезания резьбы
G85	Цикл развертывания №1
G86	Цикл развертывания №2
G80	Отмена циклов сверления
G90	Абсолютная система отсчета
G91	Относительная система отсчета
G98	Перемещения сверлильных инструментов между отверстиями на высоте плоскости безопасности
G99	Перемещения сверлильных инструментов между отверстиями на высоте точки начала сверления
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ	
M0	Программный останов станка
M2 (M30)	Окончание программы
M3	Запуск вращения шпинделя по часовой стрелке
M4	Запуск вращения шпинделя против часовой стрелки
M5	Останов вращения шпинделя
M8	Включение подачи охлаждающей жидкости
M9	Отключение подачи охлаждающей жидкости
M98	Вызов подпрограммы
M99	Окончание подпрограммы

Отрезки траектории движения инструмента кодируются АДРЕСНЫМ МЕТОДОМ, при котором задаются координаты конечных точек элементарных отрезков перемещений, называемых ОПОРНЫМИ ТОЧКАМИ. Также задается вид перемещения – прямолинейный или циркуляционный. Координаты опорных точек перемещения инструмента задаются в системе координат детали $X-Y-Z$. Совокупность отрезков перемещений инструмента образует траекторию его движения, которая рассчитывается относительно ПРОГРАММНОЙ ТОЧКИ ИНСТРУМЕНТА P_i (рис.1.16).

Траектории движения инструментов отображаются на операционных эскизах в виде ЦИКЛОГРАММ. Вспомогательные перемещения инструмента (позиционирование) наносятся на эскиз пунктирными линиями, рабочие (контурные) перемещения – сплошными линиями.

2.2. Программирование отрезков перемещений

При программировании движения инструмента каждый командный кадр УП содержит координаты конечной точки элементарного отрезка перемещения. В большинстве случаев программирования отрезки перемещений задаются в прямоугольной системе координат $X-Y$. Отсчет координат конечной точки перемещения может вводиться двумя различными функциями:

- **G90** – в абсолютной системе, когда отсчет производится относительно нулевой точки системы координат детали $X_i-Y_i-Z_i$;
- **G91** – в относительной системе, когда отсчет производится по приращениям координат относительно начальной точки текущего отрезка перемещения.

Начало технологического перехода и отвод инструмента от детали кодируются в абсолютной системе отсчета. Ввод относительной системы функцией **G91** обычно производится на ограниченных участках траектории из соображений удобства расчета перемещений инструмента.

На рис.2.1 изображен контур линейных перемещений, разбитый на элементарные отрезки, а в табл.2.1...2.2 – номера конечных точек перемещения и их координаты, заданные следующим образом:

- в табл.2.1 – в абсолютной системе отсчета (по координатам опорных точек X, Y, Z);
- в табл.2.2 – в относительной системе отсчета (по приращениям координат опорных точек $\delta X, \delta Y, \delta Z$).

Прямолинейное движение инструмента (линейная интерполяция) вводится одной из следующих функций:

- ***G0*** – перемещение к точке на ускоренной подаче (позиционирование);
- ***G1*** – перемещение к точке на рабочей подаче ***F*** (мм/мин).

В табл.2.1...2.2 приведены кадры УП, выполненные в различных системах отсчета; кадры размещены напротив соответствующих координат опорных точек перемещения.

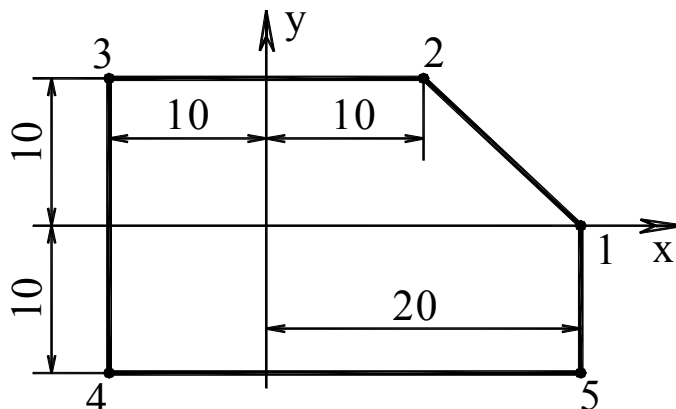


Рис.3.1. Контур линейных перемещений инструмента

Таблица 2.1

	 <i>G90</i> <i>G1 X10 Y10 F100</i> <i>X-10</i> <i>Y-10</i> <i>X20</i> <i>Y0</i>
(1-2)	<i>X=10 Y=10</i>	
(2-3)	<i>X=-10 Y=10</i>	
(3-4)	<i>X=-10 Y=-10</i>	
(4-5)	<i>X=20 Y=-10</i>	
(5-1)	<i>X=20 Y=0</i>	

Таблица 2.2

	 <i>G91</i> <i>G1 X-10 Y10 F100</i> <i>X-20</i> <i>Y-20</i> <i>X30</i> <i>Y10</i>
(1-2)	<i>δ X=-10 δ Y=10</i>	
(2-3)	<i>δ X=-20 δ Y=0</i>	
(3-4)	<i>δ X=0 δ Y=-20</i>	
(4-5)	<i>δ X=30 δ Y=0</i>	
(5-1)	<i>δ X=0 δ Y=10</i>	

Циркуляционное перемещение инструмента (круговая интерполяция) с рабочей подачей ***F*** по дуге или окружности в плане ***X-Y*** задается функциями:

- ***G2*** – круговая интерполяция по часовой стрелке;
- ***G3*** – круговая интерполяция против часовой стрелки.

Координаты центра интерполяции задаются относительно координат точки начала вращения (табл.1.1):

- $\pm I$ – приращение координаты по оси X ;
- $\pm J$ – приращение координаты по оси Y .

Если конечная точка перемещения в кадре с функциями **G2** или **G3** не указана, то инструмент совершает полный оборот. На рис.2.2 изображены различные варианты траекторий циркуляционного движения инструмента.

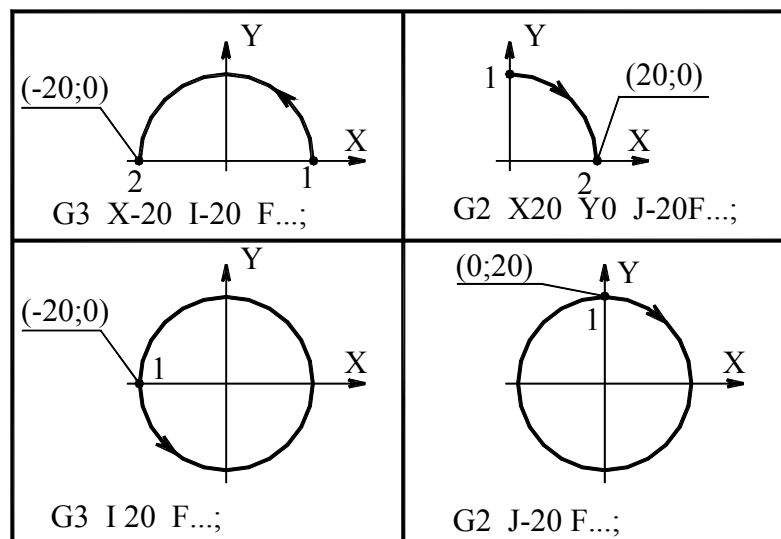


Рис.2.2. Циркуляционное движение инструмента по дуге и окружности

В языке программирования **FANUC** имеет место и более удобная структура командного кадра УП круговой интерполяции по дуге, угловая величина которой менее **180°**. В таком кадре указываются только координаты конечной точки перемещения (X,Y), направление вращения (**G2** или **G3**) и радиус дуги **R**.

На рис.2.3 приведен пример замкнутого контура, разбитого на элементарные отрезки опорными точками. В табл.2.3 приведены координаты этих точек и фрагмент УП на перемещение инструмента вдоль контура.

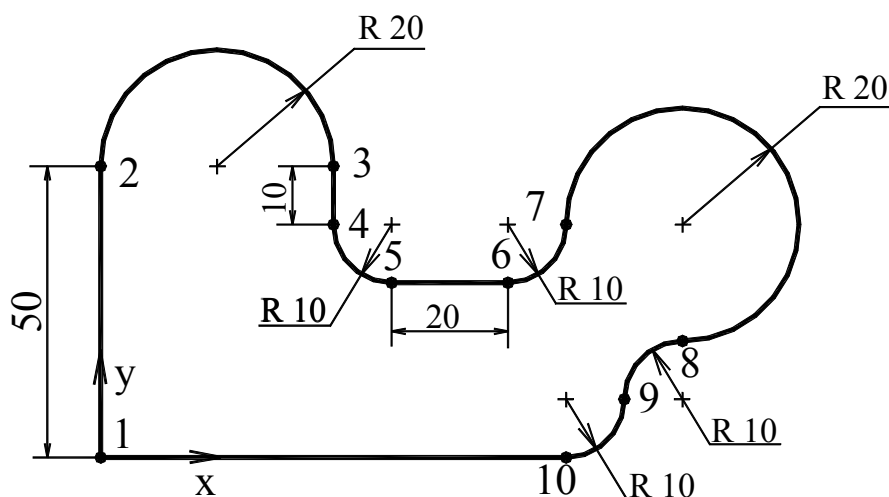


Рис.2.3. Контур линейных и циркуляционных перемещений

Таблица 2.3

N	Координата	Фрагмент УП	N	Координата	Фрагмент УП
---		G90	8	X100 Y20	G2 X100 Y20 I20
2	X0 Y50	G1 Y50 F100	9	X90 Y10	G3 X90 Y10 J-10
3	X40 Y50	G2 X40 I20			(или)
4	X40 Y40	G1 Y40			G3 X90 Y10 R10
5	X50 Y30	G3 X50 Y30 I10	10	X80 Y0	G2 X80 Y0 I-10
		(или)			(или)
		G3 X50 Y30 R10			G2 X80 Y0 R10
6	X70 Y30	G1 X70	1	X0 Y0	G1 X0
7	X80 Y40	G3 X80 Y40 J10	---		
		(или)			
		G3 X80 Y40 R10			

Отметим, что описанные в разделе функции имеют модалый характер, т.е. сохраняют свое действие на все последующие кадры УП (вплоть до их отмены вызовом другой функции). Так, функция **G90** отменяет действие функции **G91**; функция **G1** отменяет действие функции **G0**; функция **G2** отменяет действие функции **G1** и т.д.

2.3. Коррекция диаметра инструмента

Обработка детали по контуру в плоскости **X-Y** обычно осуществляется цилиндрической поверхностью концевой фрезы. Траектория центра ее вращения эквидистантна контуру обработки; при этом центр вращения отстоит от контура на расстоянии равном половине диаметра фрезы. Процесс пересчета технологических размеров детали в координаты опорных точек траектории движения инструментов весьма трудоемок. Осуществляя этот пересчет, разработчик УП может совершать большое число немотивированных ошибок.

Системы ЧПУ современных станков позволяют вводить коррекцию диаметра инструмента, т.е. осуществлять смещение программной точки с центра вращения инструмента на его цилиндрическую поверхность в направлении контура. Величина смещения, называемая **КОРРЕКТОРОМ ДИАМЕТРА ИНСТРУМЕНТА**, равна $[(D_i / 2)]$, где D_i – диаметр инструмента. Значения D_i вносятся в таблицу параметров инструментов (табл.1.1) перед началом обработки детали по УП. Коррекция диаметра инструмента позволяет описывать траекторию его движения, пользуясь непосредственно параметрами контура обработки.

Различные варианты коррекции диаметра инструмента приведены на рис.2.4. Коррекция вызывается функцией **G41**, когда обрабатываемый контур расположен справа от фрезы; функцией **G42** – когда контур слева от фрезы. Указанные функции действуют на последующие кадры УП; отмена коррекции и возвращение программной точки инструмента на линию оси вращения осуществляется функцией **G40**.

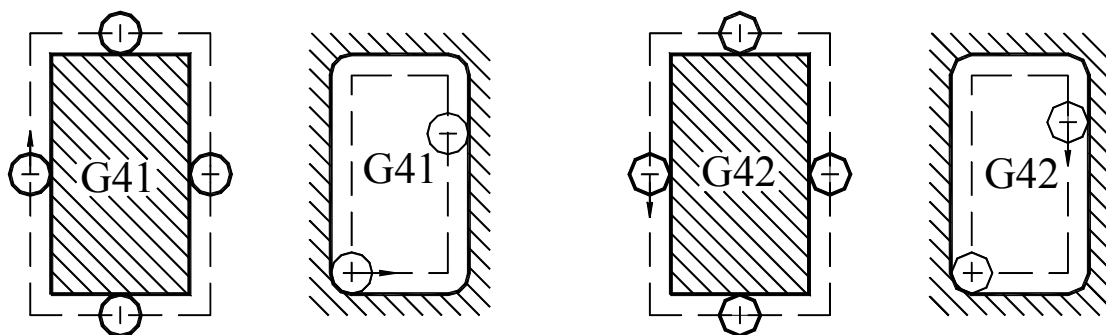


Рис.2.4. Различные варианты применения корректоров диаметра

Коррекция диаметра инструмента обычно вводится во время его прямолинейного перемещения в направлении контура обработки (в плоскости $X-Y$) и отменяется при отходе от него. По команде **G41** или **G42** система ЧПУ станка вызывает величину D_i из соответствующей ячейки таблицы параметров инструментов (табл.1.1), которая обозначена в кадре вызова корректора диаметра адресом D . Например, ячейка D_2 относится к фрезе T_2 (табл.1.1). Одновременно с этим система ЧПУ производит расчет смещения программной точки фрезы относительно центра ее вращения. Величина смещения рассчитывается по формуле;

$$D'_i/2 = [(D_i \pm \delta D_i)/2].$$

Приведем в качестве примера кадр УП:

G1_G41(G42)_X80_Y20_D2_F100,

который обозначает следующее:

- линейная интерполяция центра вращения инструмента со скоростью 100 мм/мин эквидистантно контуру обработки на расстоянии половины диаметра фрезы;
- контур обработки расположен справа (по **G41**) или слева (по **G42**) от траектории движения центра фрезы;
- точка-адрес перемещения имеет координату: $X=80$, $Y=20$;
- величина диаметра инструмента D_2 считывается станком по функции **D2** из ячейки таблицы параметров инструментов для фрезы T_2 (табл.1.1);
- величина смещения центра вращения фрезы T_2 относительно обрабатываемого контура равна $[(D_2 / 2)]$ и рассчитывается системой ЧПУ станка автоматически.

На рис.2.5 представлен контур обработки, варианты циклограмм и таблицы расчета траекторий, который был выполнен с применением коррекции диаметра: по **G41** (рис.2.5,а) и по **G42** (рис.2.5,б). Как видно из рисунка, корректор диаметра включается на отрезке $(\theta_a - \theta_b)$ и отменяется на отрезке $(\theta_c - \theta_d)$ при перемещении инструмента за пределы детали; при этом фреза подходит к контуру с угла заготовки по касательной.

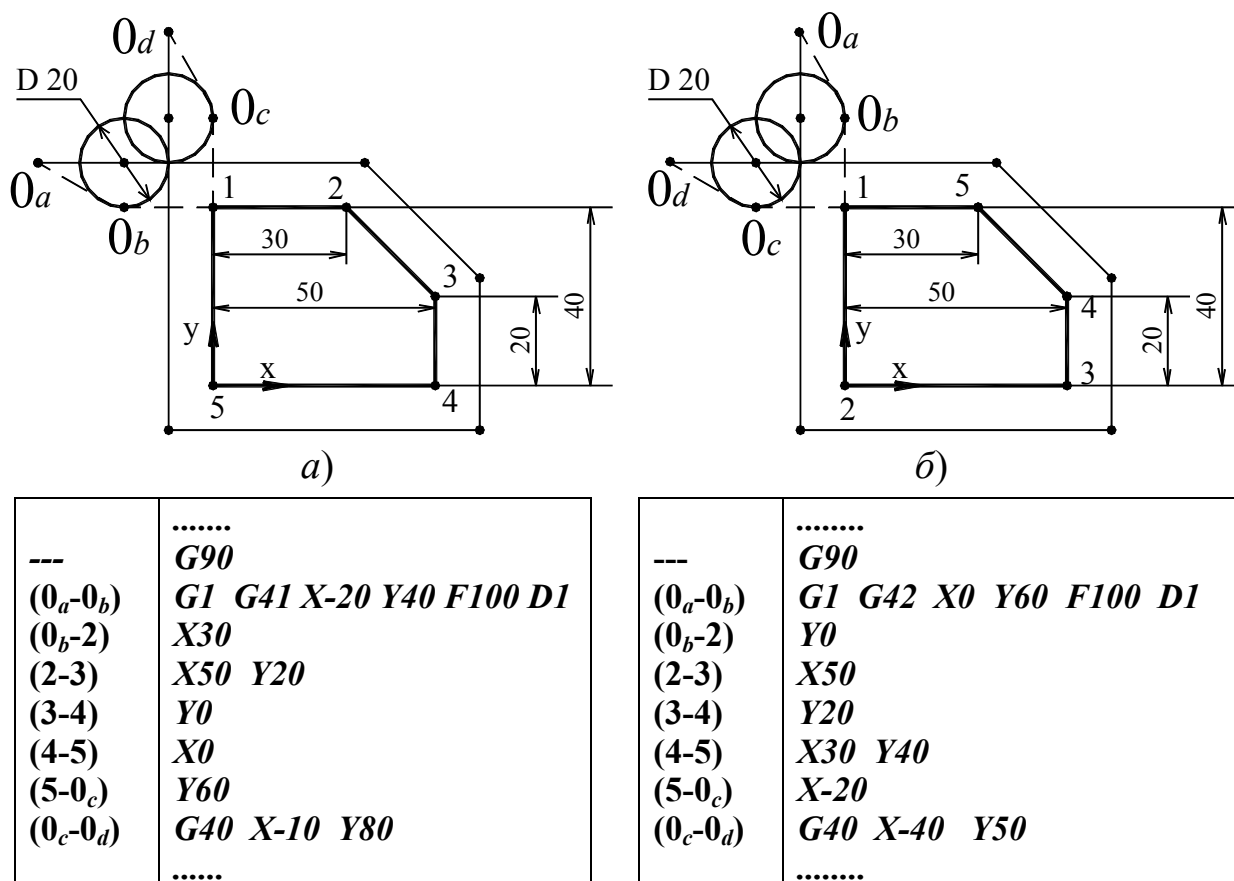


Рис.2.5. Циклограммы движения фрезы с включенным корректором диаметра:
а – для **G41**; б – для **G42**

Применение коррекции диаметра также позволяет упрощать расчет траектории инструмента при обработке боковых поверхностей детали с технологическим припуском материала (черновую обработку). Программировать траекторию возможно непосредственно по технологическим размерам детали, без перерасчета координат опорных точек. С целью выполнения контура с припуском заданной величины в ячейку **D** таблицы параметров инструментов (табл.1.1) вносится величина, превышающая реальный диаметр фрезы: $D'_i = [D_i + \delta D_i]$. Так, если в систему ЧПУ станка ввести диаметр с поправкой $\delta D = +0.4$, то, допустим, для фрезы диаметром 20 мм по команде **G41** или **G42** траектория центра вращения инструмента пройдет эквидистантно заданной боковой поверхности на расстоянии не 10 мм, а 10,2 мм (рис.2.6). Это обеспечит заданный припуск на сторону, равный 0,2 мм.

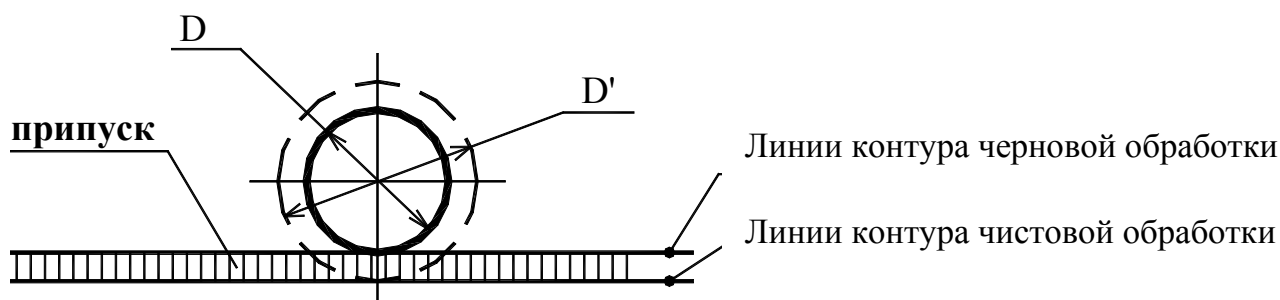


Рис.2.6. Фрезерная обработка контура с технологическим припуском

Рассмотрим основы формирования УП, содержащей коррекцию диаметра фрезы, на примере разработки простейшего перехода – выполнения паза в концевой фрезой **T2** диаметром 16 мм (рис.2.7). Заготовка закреплена в патроне, установленном горизонтально на рабочем столе. Ноль детали **X-Y-Z** расположен на пересечении оси детали с ее боковой плоскостью. В табл.2.4 приведен текст УП «**o4318**», а также соответствующие каждому кадру УП координаты опорных точек перемещений инструмента. При разработке УП были применены общие принципы, описанные в разделе 1.5. Расчет траектории фрезы был выполнен непосредственно по технологическим размерам детали. Точки включения и отключения корректора диаметра обозначены символом (*).

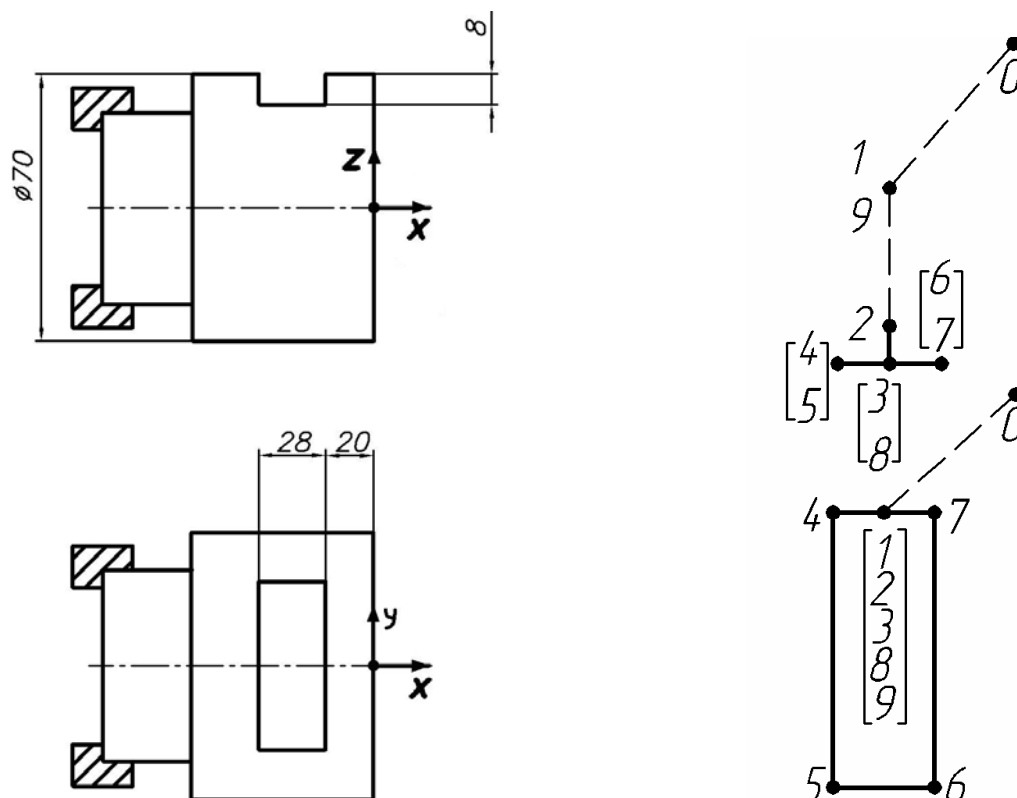


Рис.2.7. Эскиз выполнения паза в поверхности детали

Таблица 2.4

Номера опорных точек		Номера опорных точек	(продолжение УП)
	o4318		
	G54	6	X-20
0	M6 T2 (фреза Ø16)	7	Y45
1	G90 G0 G43 X-34 Y45 Z85 H2	8*	G40 X-34 F1000
	M3 S600 M8	9	G0 Z85
2	Z37		M5 M9
3	G1 Z27 F1000	0	M6 T0 (освобождение шпинделя)
4*	G41 X-48 D2		M30
5	Y-45 F80		

2.4. Внутренняя расточка

Программирование внутренней расточки, в частности выполнение карманов, требует применения специальных правил врезания фрезы в материал. Наиболее простым, но при этом наименее эффективным является врезание фрезы при ее движении в направлении «**Z**-» на пониженной рабочей подаче **F**. Станки с ЧПУ позволяют заменить эту процедуру более производительным входом фрезы в материал под углом **10-20°** к плоскости обработки. Врезание рекомендуется производить на рабочей подаче **F**, величина которой на **20-30%** ниже расчетной. Относительно неглубокое врезание производится при движении инструмента в одном направлении (рис.2.8,*а*). При относительно глубоком врезании для достижения заданной глубины применяется несколько отрезков перемещения фрезы. В примере (рис.2.8,*б*) вход в материал на глубину 15 мм осуществляется равномерно тремя отрезками по 5 мм. Отметим, что процедуру врезания удобнее рассчитывать, применяя относительную систему отсчета по **G91**.

При обработке глухих отверстий наиболее эффективным и безопасным для фрезы является врезание в материал по спирали, когда к описанному выше циркуляционному движению (рис.2.2) добавляется поступательное перемещение вдоль оси **Z**.

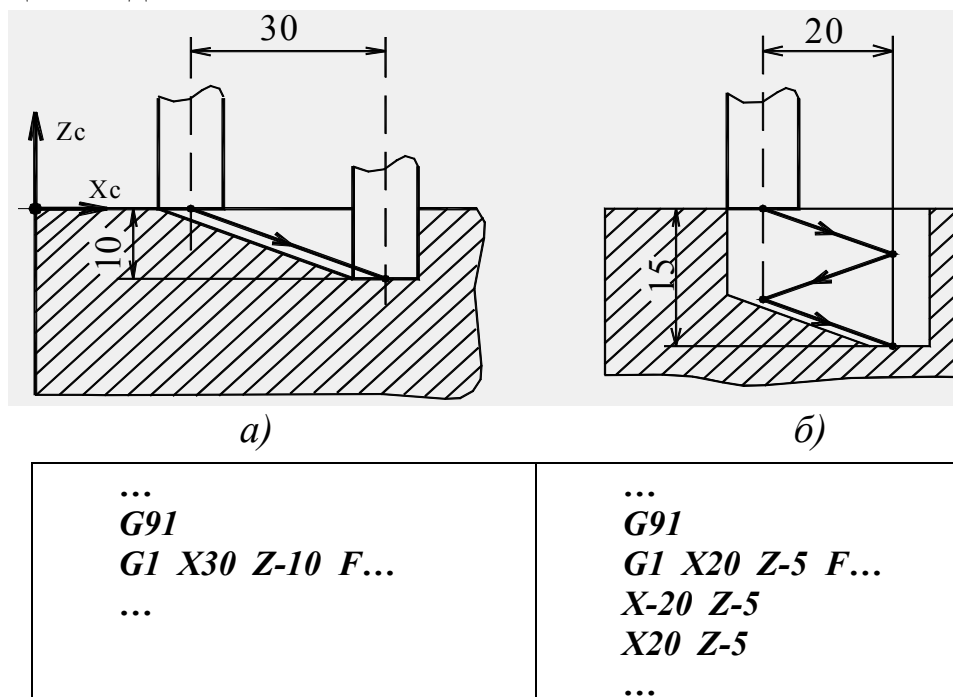
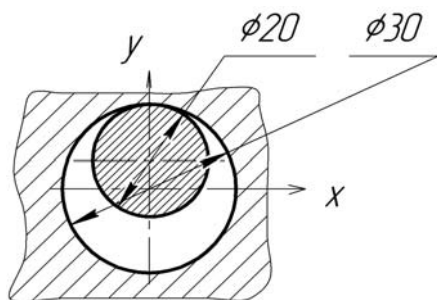


Рис.2.8. Траектория движения фрезы при диагональном входе в материал

На рис.2.9 приведен пример выполнения отверстия диаметром 30 мм и глубиной 5 мм. На первоначальном участке траектории фреза подходит к точке центра отверстия, имеющей координаты: **X=0**, **Y=0**, **Z=1**. Далее производится приближение фрезы к цилиндрической стенке с одновременным

включением коррекции диаметра (например, **G41...D1** для фрезы **T1**). Смещение фрезы по оси **Z** на величину 1.5 мм (**Z=-1.5 мм** в кадре УП) при осуществлении одного полного витка циркуляции радиусом 15 мм (**J=-15**) задано в относительной системе отсчета (по **G91**). Начало процедуры врезания осуществляется с высоты 1 мм над деталью (**Z=1**). Таким образом, при выполнении четырех витков спирали происходит врезание фрезы в материал на глубину 5 мм (**Z=-5** в абсолютной системе отсчета). Последний (пятый) виток циркуляции производится без смещения фрезы вдоль оси **Z** и предназначен для получения плоскости дна глухого отверстия в плане **X-Y**. Далее производится отвод фрезы от материала с одновременным отключением коррекции.



... G90 ...	G3 J-15 W-1.5
G1 X0 Y0 Z1 F100	G3 J-15 W-1.5
G41 Y15 D1 (для T1)	G3 J-15
G91	G90
G3 J-15 W-1.5	G1 G40 Y0
G3 J-15 W-1.5	...

Рис.2.9. Траектория движения фрезы при входе в материал по спирали

Обработка карманов включает в себя, как правило, черновую и чистовую расточку. Обработка обычно производится фрезами, радиус которых меньше радиуса скругления кармана. Черновая расточка должна обеспечивать величину заданного технологического припуска для окончательной обработки плоскости дна кармана. При тяжелых режимах резания, применяемых при черновой обработке, предпочтительно задавать движение фрезы в плане **X-Y** с общим направлением спирали. Такой вид перемещения задает неизменное положение инструмента относительно снимаемого материала (рис.2.10,а) и поддерживает постоянную нагрузку на фрезу в течение всего черного перехода. Чистовая обработка плоскости дна кармана обычно формируется фрезой при ее движении в двух встречных направлениях (рис.2.10,б). Отметим, что для процедур, изображенных на рис.2.10, траектория фрезы рассчитывается для ее центра вращения (без включения корректора диаметра инструмента). В процессе черновой расточки и при чистовой обработке дна кармана фреза не должна касаться его боковых стенок. Обработка стенок при выполнении кармана обычно выделяется в отдельную процедуру, выполняемую с включенным корректором диаметра фрезы. Рассмотрим один из наиболее широко применяемых подходов к чистовой расточке боковых стенок кармана на примере, изображенном на рис.2.11. Фрагмент УП обработки кармана фрезой **T1** с корректором диаметра **D1** приведен в табл.2.5.

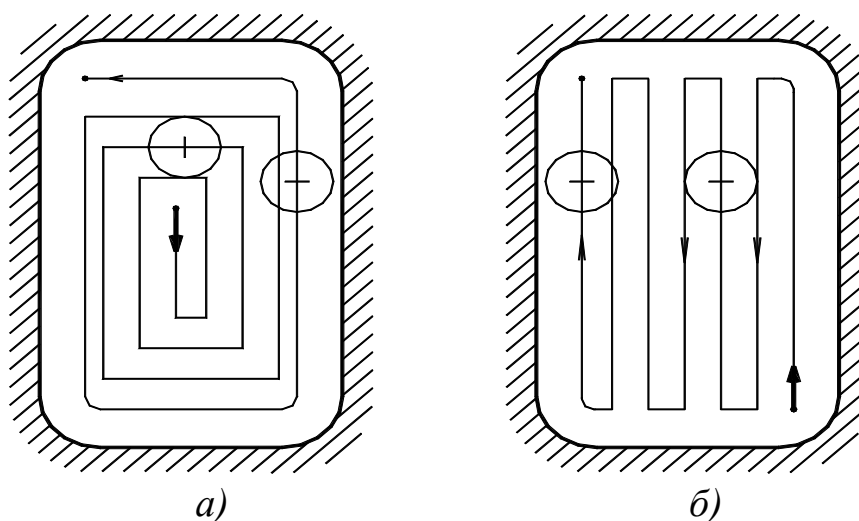


Рис.2.10. Траектория движения фрезы при формировании карманов:
а) черновая обработка; б) чистовая обработка

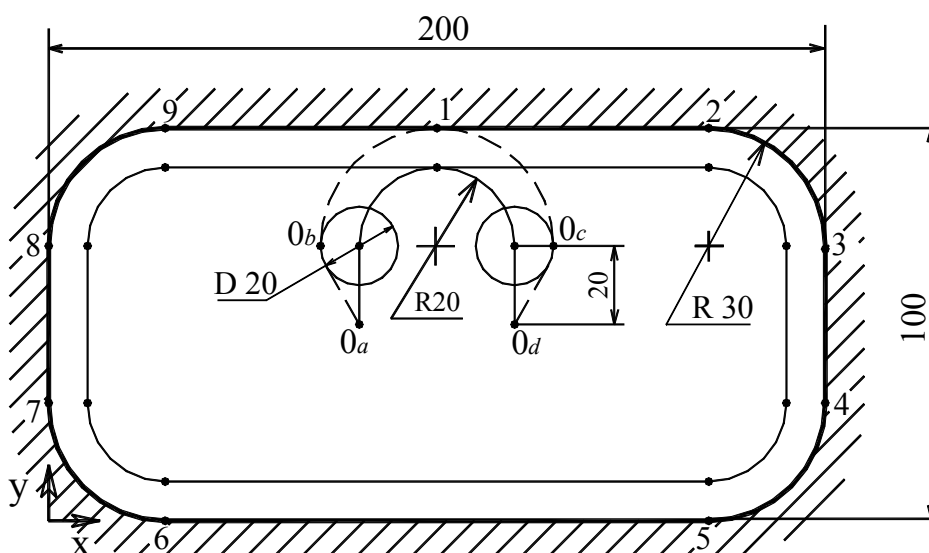


Рис.2.11. Фрагмент циклограммы при внутренней расточке кармана

Таблица 2.5

 G90
(0_a-0_b)	G1 G42 X70 Y70 D1 F100
(0_b-1)	G2 X100 Y100 I 30
(1-2)	G1 X170
(2-3)	G2 X200 Y70 J-30
(3-4)	G1 Y30
(4-5)	G2 Y0 X170 I-30
(5-6)	G1 X30
(6-7)	G2 X0 Y30 J30
(7-8)	G1 Y70
(8-9)	G2 X30 Y100 I 30
(9-1)	G1 X100
(1-0_c)	G2 X130 Y70 J-30
(0_c-0_d)	G1 G40 X120 Y50

Как видно из рисунка, подход фрезы к материалу и отход от него обычно осуществляется по дуге окружности, касательной к контуру. Это обеспечивает плавное изменение сил резания и высокую чистоту поверхности в районе точки касания контура инструментом. При программировании перемещения фрезы корректор диаметра включается и выключается за пределами контура обработки на прямолинейных отрезках $\theta_a-\theta_b$ и $\theta_c-\theta_d$.

Применение описанного принципа формирования траектории (рис.2.9) позволяет не только выполнять карманы круглой формы, но и растачивать резьбы больших диаметров (нарезание таких резьб метчиками технологически невозможно). На рис.2.12 представлен способ нарезания резьбы, при котором ее формирование производится при движении специальной фрезы по спирали вдоль заранее подготовленной цилиндрической поверхности. Перемещение шпинделя вдоль оси цилиндра (в направлении **Z**-) на один виток циркуляции равно величине шага резьбы. Включение корректора диаметра фрезы производится при ее приближении к стенке цилиндра, а выключение – при отводе от нее.

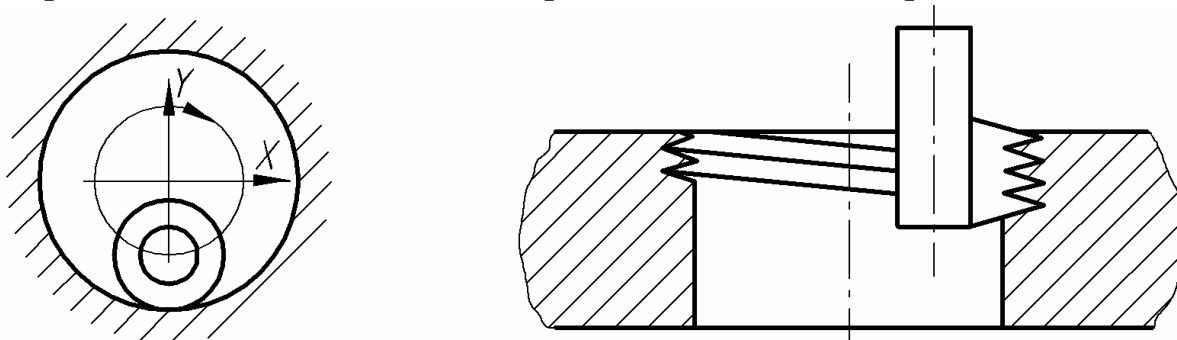


Рис.2.12. Фрезерование резьб больших диаметров

2.5. Постоянные циклы сверления

В рассматриваемой системе кодирования ряд перемещений инструментов могут задаваться **ПОСТОЯННЫМИ ЦИКЛАМИ**, позволяющими осуществлять обработку отдельных элементов детали по набору обобщенных параметров. К таким циклам относятся, прежде всего, циклы процедур сверления. Циклы задаются функциями **G81...G86**, **G76** и некоторыми другими. В циклах задаются следующие перемещения инструмента: быстрый подвод к детали, рабочие перемещения вдоль оси **Z**, быстрый отвод от детали, быстрое перемещение между отверстиями. Осуществление цикла начинается с той точки, к которой инструмент подведен к детали по предшествующей команде. Цикл действует в кадре, в котором записана соответствующая команда, а также во всех последующих кадрах, в которых указываются изменения параметров цикла, например, координат выполняемых отверстий. Отмена цикла

производится функцией **G80**. Представленный в качестве примера фрагмент УП:

<p>... G90...</p> <p>N105 G43 X20 Y0 Z50 H4 M8</p> <p>N110 G81 G98(G99) R2 Z-5 F100</p>	<p>N115 X60</p> <p>N120 X100</p> <p>N125 G80 ...</p>
--	---

задает подвод сверла **T4** к плоскости безопасности и дальнейшее сверление отверстий с координатами: (**X=20, Y=0**), (**X=60, Y=0**), (**X=100, Y=0**) с высоты **Z=2** мм на глубину **Z=-5 мм** за один проход. Перемещение сверла между отверстиями, возможно, задавать двумя способами:

- на высоте плоскости безопасности (**Z=50** в рассматриваемом примере) – функцией **G98**;
- на высоте точки начала сверления **R** (**Z=2** в рассматриваемом примере) – функцией **G99**.

Графическая интерпретация основных циклов сверления приведена на рис.2.13: перемещения на рабочей подаче обозначены сплошными линиями, ускоренные перемещения – пунктирными линиями. Цикл короткого сверления по функции **G81** (а) включает в себя команды на подачу инструмента в материал с высоты **R** на рабочей подаче **F** до точки окончания сверления **Z** и далее его быстрое возвращение на высоту **R**. Циклы по функциям **G85** и **G86** (расточка отверстия разверткой), а также по **G84** (нарезание резьбы метчиком) имеют запись в кадре, абсолютно идентичную записи по **G81**, при этом каждая из команд задает свои, отличные от других, параметры движения инструмента. Цикл движения развертки по **G85** (б) задает вход и выход в отверстие инструмента, вращающегося в одном направлении, с рабочей подачей **F**. Цикл по **G86** (в) задает другой тип движения развертки: инструмент входит в материал с рабочей скоростью, затем происходит остановка вращения и далее быстрый выход из отверстия.

Цикл по **G83** (д) задает многозаходное (ступенчатое) сверление глубоких отверстий, которое невозможно выполнить за 1 проход. По сравнению с другими циклами здесь появляется дополнительный параметр, обозначенный **Q**, задающий шаг подачи инструмента, т.е. величину его последовательных углублений до конечной точки сверления.

Цикл по **G84** (з) задает нарезание резьбы метчиком, когда рабочая подача **F** и частота вращения инструмента **n** жестко связаны между собой: их отношение (**F/n**) соответствует шагу резьбы. При выходе метчика из отверстия обеспечивается реверсивное вращение шпинделя. Отметим, что при нарезании резьбы метчик следует крепить в специальный патрон с компенсатором.

Цикл по **G76** задает цикл чистовой расточки, которая выполняется специальными расточными головками (рис.2.14). Цикл включает в себя

подвод инструмента (*а*), подачу инструмента в отверстие на рабочем ходу (*б*), останов вращения шпинделя и отвод резца от обработанной поверхности (*в*), быстрый выход инструмента из отверстия (*г*). При программировании чистовой расточки в стандартный кадр цикла сверления вводится дополнительный параметр, определяющий величину и направления отвода резца от обработанной поверхности (смещения) в приращениях:

- $\pm I$ – смещение резца в направлении оси X ;
- $\pm J$ – смещение резца в направлении оси Y .

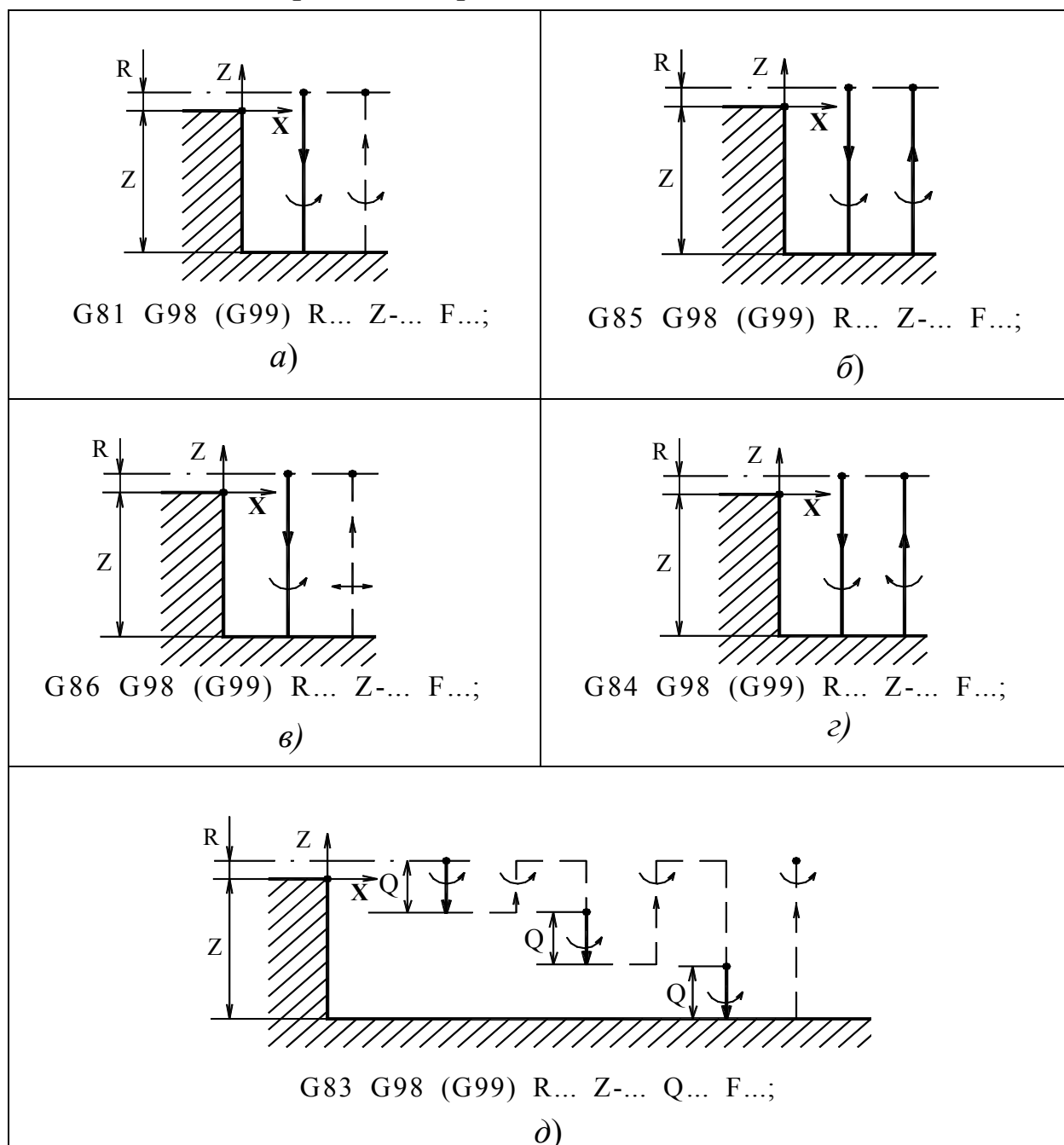


Рис.2.13. Графическая интерпретация циклов сверления:

а – цикл короткого сверления; *б*, *в* – циклы развертывания;

г – цикл нарезания резьбы метчиком; *д* – цикл ступенчатого сверления

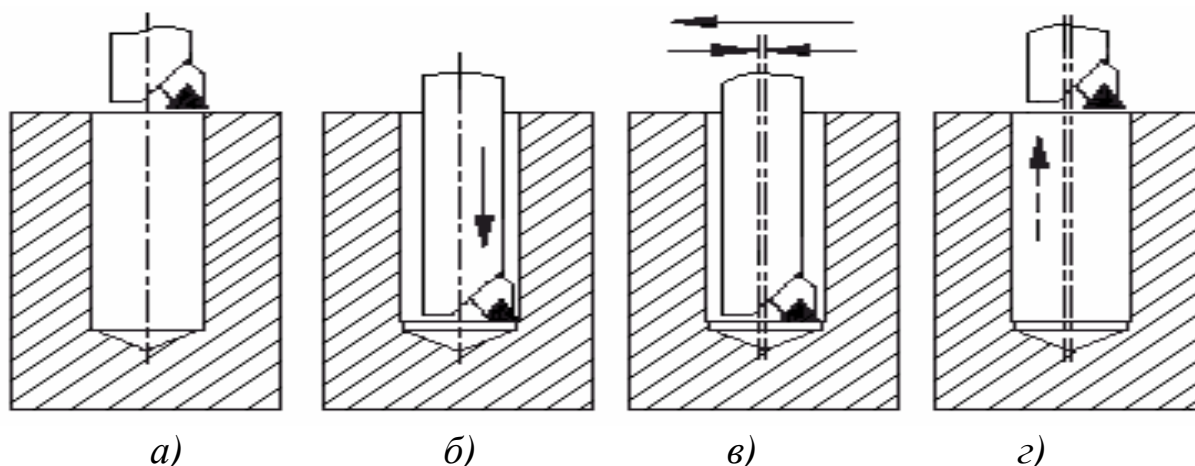


Рис.2.14. Графическая интерпретация цикла чистовой расточки:
а – подвод инструмента; *б* – подачу инструмента; *в* – отвод резца от поверхности; *з* – выход инструмента

Рассмотрим программирование выполнения группы резьбовых отверстий на примере, представленном на рис.2.15 и в табл.2.6. Отверстия выполняются в заранее подготовленных карманах глубиной 10 мм ($Z=-10$). Координата отверстий по оси Y : $Y=0$.

В рамках поставленной задачи ноль детали размещен на верхней плоскости заготовки. Плоскость безопасности имеет координату: $Z=50$. В операции участвуют четыре инструмента, осуществляющие следующие действия по обработке детали:

- центровое сверло **T4** диаметром 4 мм выполняет заходные отверстия;
- сверло **T5** диаметром 8,8 мм выполняет сверление отверстий под резьбу глубиной 26 мм ($Z=-26$);
- зенковка **T6** диаметром 16 мм с углом при вершине 90° выполняет заходную фаску резьбы величиной $1,5 \times 45^\circ$;
- метчик **T7** выполняет нарезание резьбы M10x1,25 глубиной 20 мм ($Z=-20$).

В рамках рассматриваемой УП координаты точки начала сверления R и точки окончания сверления Z задаются в абсолютной системе отсчета. Глубина входа зенковки в материал рассчитана с учетом заданного размера фасок $1,5 \times 45^\circ$ на плоскости выполнения отверстий. При расчете перемещений метчика учитывается сбег резьбы – предусмотрен его вход в материал на глубину 22 мм при заданной глубине резьбы 20 мм. Все перемещения инструментов между отверстиями выполняются по команде **G98** через плоскости безопасности: $Z=50$. Как видно из эскиза, перемещения инструментов между отверстиями по **G99** (на координате

точки начала сверления $R=-9$) были бы невозможны из-за наличия препятствий на их пути в виде стенок карманов. Отношение подачи метчика $F125$ (мм/мин) к частоте его вращения $S100$ (об/мин) определяет величину шага резьбы $P=1,25$ (мм/об).

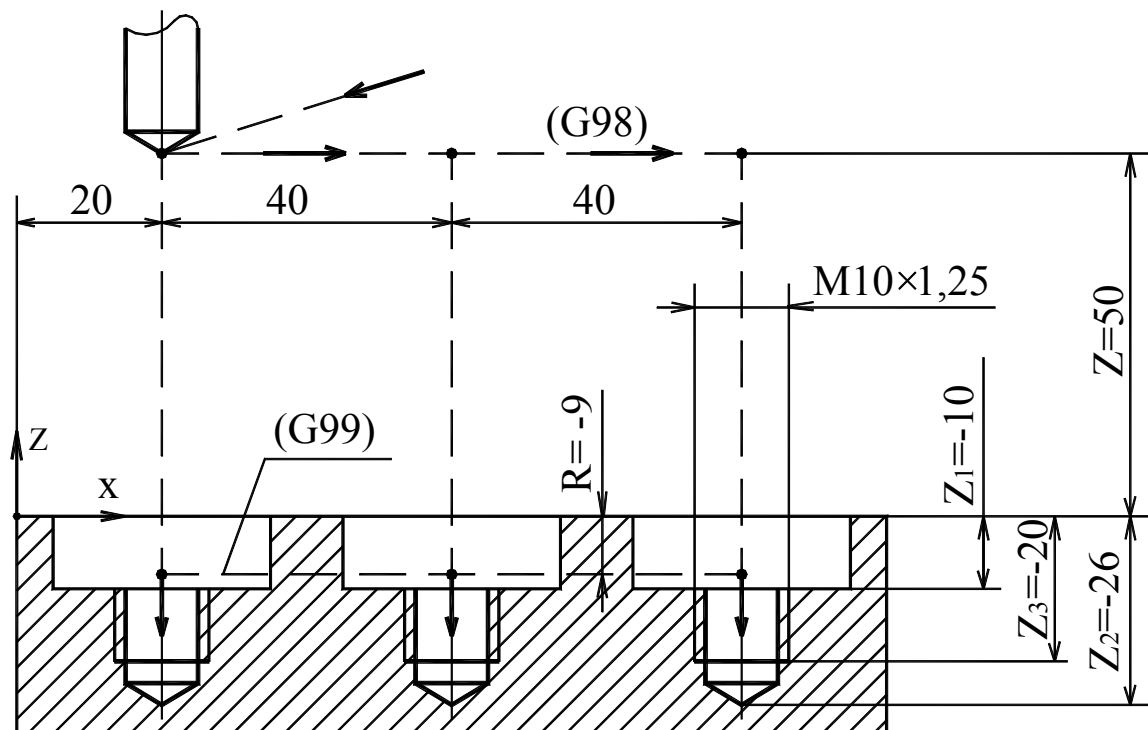


Рис.2.15. Пример выполнения группы резьбовых отверстий

Таблица 2.6

<p> G54 M6 T4 (центровка d4) G90 G0 G43 X20 Y0 Z50 H4 M3 S800 M8 G81 G98 R-9 Z-14 F100 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 M6 T5 (сверло d8.8) G43 X20 Y0 Z50 H5 M3 S600 M8 G83 G98 R-9 Z-26 Q3 F70 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 </p>	<p> M6 T6 (зенковка d16) G0 G43 X20 Y0 Z50 H6 M3 S800 M8 G81 G98 R-9 Z-15,9 F120 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 M6 T7 (метчик M10x1,25) G43 X20 Y0 Z50 H6 M3 S100 M8 G84 G98 R-9 Z-22 F125 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30 </p>
---	---

3. СОКРАЩЕННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР

3.1. Модульное построение управляющих программ. Подпрограммы

При разработке программ следует уделять отдельное внимание их логическому построению. Структура программ не должна создавать проблем при их доработке и модернизации. УП должны иметь небольшой размер, легко читаться и иметь возможность разбивки на отдельные независимые компоненты. В частности, повторяющиеся циклы командных кадров, кодирующие идентичные переходы инструментов, целесообразно оформлять в виде отдельных ПОДПРОГРАММ, структурно независимых от УП. Выделим некоторые случаи эффективного применения подпрограмм:

- групповая обработка идентичных элементов детали или идентичных деталей;
- обработка одного контура несколькими проходами фрезы;
- последовательная обработка одного контура несколькими фрезами.

В программном обеспечении *FANUC* подпрограммы вызываются из текста УП функцией *M98* с обозначением ее имени буквой *P*. Например, подпрограмма *o9901* вызывается командным кадром *M98_P9901*. Каждая подпрограмма завершается кадром с функцией *M99*, которая переводит считывающее устройство системы ЧПУ станка в кадр УП, следующий непосредственно за кадром вызова подпрограммы.

В примере (рис.3.1, табл.3.1, табл.3.2) рассматривается структура программирования обработки идентичных элементов, размещенных на рабочем столе. Обрабатываемые элементы могут принадлежать как одной, так и нескольким деталям. УП (табл.3.1) задает вызов фрезы и ее поочередное приближение к контурам обработки (рис.3.1) и отвод в исходную точку перемещений. Непосредственно в зоне обработки включается подпрограмма *o9910* (табл.3.2), которая задает все рабочие перемещения инструмента, предназначенные для обработки верхней плоскости детали. Отметим, что каждый обрабатываемый участок имеет свою независимую систему координат.

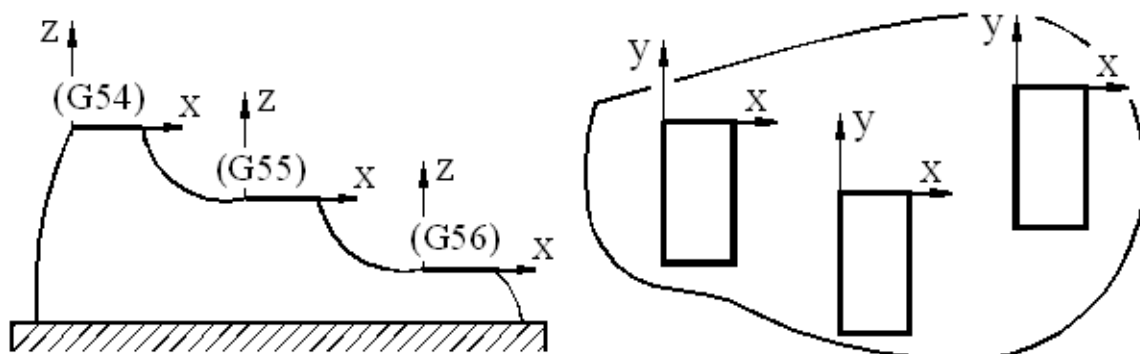


Рис.3.1. Эскиз обработки детали с применением подпрограммы

Таблица 3.1

G54 M6 T1 (фреза d30) G90 G0 G43 X10 Y-160 Z50 H1 M3 S600 M8 Z2 M98 P9910 G55 X10 Y-160	Z2 M98 P9910 G56 X10 Y-160 Z2 M98 P9910 M5 M9 M6 T0 M30
--	--

Таблица 3.2

o9910 G1 Z0 F100 Y20	G0 Z50 M99
---	-----------------------------

В примере (рис.3.2, табл.3.3, табл.3.4) рассматривается структура программирования черновой и чистовой обработки контура комплектом инструментов. В рамках рассматриваемого примера в обработке детали (рис.3.2) задействованы фреза **T7**, выполняющая черновую обработку наружного контура детали с заданным припуском за три прохода, и фреза **T8**, выполняющая чистовую обработку этого же контура за один проход.

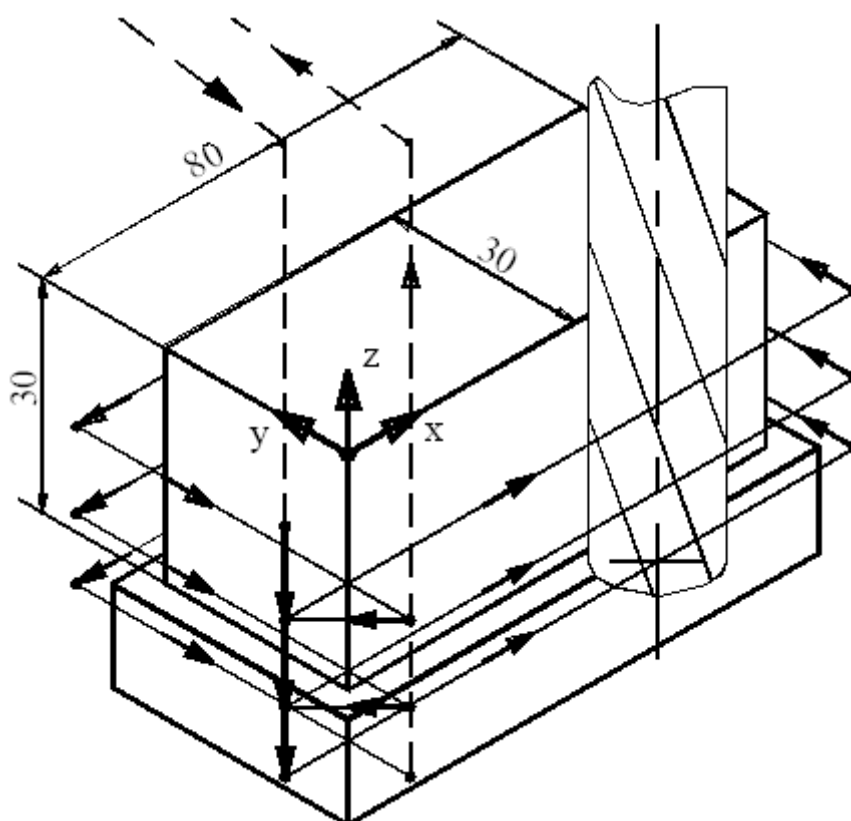


Рис.3.2. Обработка детали и траектории движения инструментов по контуру

УП (табл.3.3) задает вызов обеих фрез, их приближение к контурам обработки и отвод в исходную точку перемещений. Непосредственно в зоне обработки включается подпрограмма **o9901** (табл.3.4), которая задает рабочие перемещения инструментов (рис.3.2), предназначенные для обработки наружного контура детали. Припуск на чистовую обработку обеспечивается внесением в ячейку **D7** таблицы параметров инструментов величины диаметра, превышающей его истинное значение на δD_7 :

$$D'_7 = [D_7 + \delta D_7].$$

Таблица 3.3

G54 M6 T7 (фреза d20) G90 G0 G43 X-20 Y-10 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2 G1 Z-10 F1000 G42 X-10 Y0 D7 F100 M98 P9901 X-20 Y-10 F1000	Z-20 G42 X-10 Y0 F100 M98 P9901 X-20 Y-10 F1000 Z-30 G42 X-10 Y0 F100 M98 P9901 G0 Z50 M5 M9 M6 T8 (фреза d18)	G43 X-20 Y-10 Z50 H8 M3 S600 M8 Z2 G1 Z-30 F1000 G42 X-10 Y0 D8 F120 M98 P9901 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
--	---	--

Т а б л и ц а 3.4

o9901 X80 Y30	X0 Y-10	G40 Y-20 X-10 M99
--	--------------------------	------------------------------------

Рассмотрим еще один пример применения подпрограммы. Выполняемая операция – фрезерование четырех пазов в детали (рис.3.3, табл.3.5, табл.3.6). Толщина материала задана равной 4 мм.

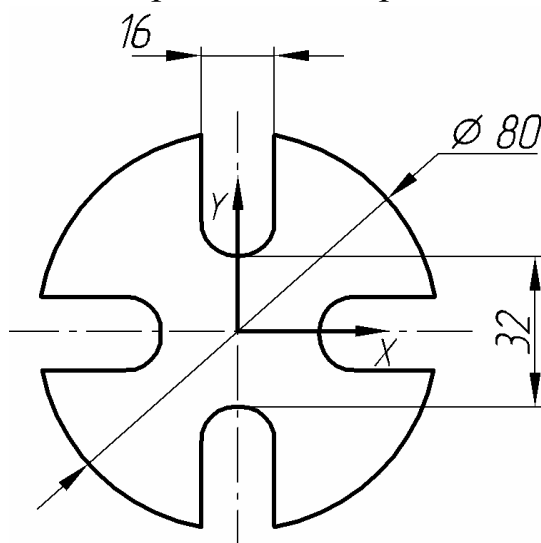


Рис.3.3. Деталь с четырьмя прорезями

Программирование операции выполняется с помощью функции **G68**, задающей временное смещение – линейное и угловое –координатных осей. По кадру УП **G68_X0_Y0_R...** (табл.3.5) оси **X** и **Y** занимают новое угловое положение, обозначенное **R**, относительно нуля детали. Далее следует вызов подпрограммы **o9960** (табл.3.6), которая задает рабочие перемещения инструментов. После четырех последовательных вызовов УП угловое смещение координатных осей отменяется функцией **G69**. Таким образом, фреза выполняет обработку четырех пазов с взаимным угловым смещением **90°**.

Таблица 3.5

G54 M6 T7 (фреза d12) G90 G0 G43 X0 Y48 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2	M98 P9960 G68 X0 Y0 R90 M98 P9960 G68 X0 Y0 R180 M98 P9960 G68 X0 Y0 R270	M98 P9960 G69 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
---	--	---

Таблица 3.6

o9960 X0 Y48 G1 Z-5 F100 G41 X-8 D7	Y16 X8 Y48	G40 X0 G0 Z2 M99
--	---------------------------------------	---

3.2. Переменные параметры и операторы программирования

Современные станки с ЧПУ позволяют применять программирование однотипных видов обработки при помощи одной УП, выполненной с использованием ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ. Переменные представляют собой цифровые значения, которые могут обозначать различные параметры обработки: координаты программной точки инструментов, технологические параметры обработки и др. Переменные могут быть использованы в УП совместно с логическими функциями или без таковых. Ячейки памяти, содержащие переменные, обозначаются в УП символом **#**. Внесенные в них параметры действуют при их вызове из командного кадра УП, например: **X#14**. Это означает, что значение координаты **X** равна величине параметра, заложенной в ячейку памяти **#14**. При программировании деталей на станках с ЧПУ активно используются следующие группы ячеек переменных параметров.

1. В ячейках однократного использования **#1...#33** содержатся параметры, которые вносятся в текст УП и изменяются оператором

станка в процессе наладки технологического оснащения для выполнения операций на станке. Для внесения переменных в УП применяется запись типа: **#14=60**, где **#14** – номер ячейки памяти; **60** – значение переменной.

2. В ячейках многократного использования **#100...#149** содержатся переменные параметры, которые способны изменять свое значение по заданному в тексте УП закону. Этот закон является основным элементом ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ, осуществляющей сравнение переменной с заданным цифровым значением или другим параметром.

В логических функциях применяются следующие ОПЕРАТОРЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ:

- знаки равенства и неравенства – **EQ** (равно), **NE** (не равно), **GT** (больше), **LT** (меньше), **GE** (больше или равно), **LE** (меньше или равно);
- условия сравнения **IF** (если) и **WHILE** (в то время как), задающие условие, в зависимости от выполнения или невыполнения которого система ЧПУ станка осуществляет некоторое программное действие;
- метки **DO(i) END(i)**, обозначающие соответственно начало и конец тела цикла; для одного цикла метки должны быть объединены общим цифровым значением **i**;
- оператор **GO_TO(j)**, направляющий считывающее устройство системы ЧПУ к кадру, обозначенному номером **j**.

3.3. Программирование стандартных видов обработки

В практике часто встречаются случаи групповой обработки деталей, поверхности которых имеют сходную геометрическую конфигурацию. Обработка таких деталей во многих случаях может осуществляться по стандартизованным УП, в которых изменяемые параметры заложены в виде переменных. Переменные вводятся в отдельные параметрические ячейки памяти, подразделяемые на несколько групп. Использование переменных, размещаемых в ячейках памяти первой группы **#1...#33**, позволяет варьировать отдельные параметры обработки детали без корректировки текста УП. Для внесения изменения в значение какого-либо параметра оператору станка достаточно заменить соответствующую величину переменной. Такой метод корректировки УП значительно ускоряет проведение наладки станка при выполнении различных деталей, принадлежащих к одной группе.

В качестве примера использования переменных в ячейках памяти первой группы рассмотрим УП, программирующую выполнение рассмотренной выше детали (рис.2.15). УП общего вида приведена в табл.2.6; УП, с переменными приведена в табл.3.7.

Таблица 3.7

#1=0 #2=20 #3=60 #4=100 #5= - 9 #6= - 14 #7= - 26 #8= - 15.9 #9= - 22 G54 M6 T4 (центровка d4) G90 G0 G43 X#2 Y#1 Z50 H4 M3 S800 M8 G81 G98 R#5 Z#6 F100 X#3 X#4 G80 G0 Z50 M5 M9 M6 T5 (сверло d8.8) G43 X#2 Y#1 Z50 H5 M3 S600 M8 G83 G98 R#5 Z#7 Q3 F70 X#3 X#4 G80	G0 Z50 M5 M9 M6 T6 (зенковка d16) G0 G43 X#2 Y#1 Z50 H6 M3 S800 M8 G81 G98 R#5 Z#8 F120 X#3 X#4 G80 G0 Z50 M5 M9 M6 T7 (метчик M10x1,25) G43 X#2 Y#1 Z50 H6 M3 S100 M8 G84 G98 R#5 Z#9 F125 X#3 X#4 G80 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
---	---

Задействованные в УП переменные обозначают следующее:

#1 – координата отверстий по оси **Y**;

#2...#4 – координаты отверстий по оси **X**;

#5 – координата точки начала сверления **R**;

#6...#9 – координаты точек окончания сверления **Z** для различных инструментов.

УП выполнена таким образом, что для изменения геометрических параметров деталей (координат и глубин отверстий) достаточно лишь поменять цифровые значения в соответствующих ячейках памяти. Это может существенно снизить время подготовки операции при групповой обработке деталей.

3.4. Программирование на базе закона изменения переменных

Переменные второй группы, размещаемые в ячейках памяти **#100...#149**, способны изменять свое значение по закону, установленному в тексте УП. Точкой отсчета при программировании закона изменения переменных является некоторая исходная величина, которая фиксируется в ячейке памяти системы ЧПУ станка. Например, запись в тексте УП:

#100=0;
#105=-20,

означает, что исходная величина переменной в ячейке **#100** равна 0, а в ячейке **#105** равна -20. Закон изменения переменных может выглядеть следующим образом:

#100=#100+90;
#105=#105-10.

Это означает, что величины переменных в ячейках **#100** и **#105** получают приращения, соответственно +90 и -10 по отношению к предыдущим значениям параметров.

Проведем описание действия закона изменения переменных на примере выполнения детали (рис.3.3). В рассмотренной выше программе общего вида (табл.3.5, табл.3.6) поворот системы координат детали, а также вызов подпрограммы осуществляется четыре раза. Более рациональной является структура УП (табл.3.7, табл.3.8), при которой четырехкратный вызов подпрограммы (табл.3.8) осуществляется в одном командном кадре:

M98_P9961_L4,

где **L4** – число вызовов подпрограммы (табл.2.1).

В качестве переменной величины принимается временное угловое положение системы координат детали; его значение записывается в ячейку памяти **#100**. Исходная величина переменной **#100=0** зафиксирована непосредственно перед вызовом подпрограммы **o9961**, содержащей описание непосредственно цикла обработки. В тексте подпрограммы **o9961** после группы команд, задающих перемещение инструмента, выполнена запись заданного закона изменения переменной:

#100 = #100 + 90.

Далее следует команда на поворот системы координат детали:

G68_X0_Y0_R#100,

вводящая в ячейку **#100** параметр «90», который устанавливает угловое положение системы координат детали 90°. Затем считывающее устройство системы ЧПУ смещается к кадру начала подпрограммы. После второй отработки подпрограммы угловое положение системы координат детали становится равным 180°; после третьего – 270°; после четвертого – 360°. Таким образом, цикл фрезерования выполняется станком четыре раза с последовательными угловым поворотом системы координат детали. После четырехкратного прочтения подпрограммы считывающее устройство по требованию счетчика (**L4**) возвращается в текст УП **o3446** к кадру отмены поворота осей **G69**. Затем следует окончание УП. Таким образом, фреза выполняет обработку четырех пазов с взаимным угловым смещением 90°.

Таблица 3.7

<i>G54</i> <i>M6 T7 (фреза d12)</i> <i>G90 G0 G43 X0 Y48 Z50 H7</i> <i>M3 S400 M8</i>	<i>Z2</i> <i>#100=0</i> <i>M98 P9960 L4</i> <i>G69</i>	<i>G0 Z50</i> <i>M5 M9</i> <i>M6 T0</i> <i>M30</i>
--	---	---

Таблица 3.8

<i>o9961</i> <i>X0 Y48</i> <i>G1 Z-5 F100</i> <i>G41 X-8 D7</i>	<i>Y16</i> <i>X8</i> <i>Y48</i> <i>G40 X0</i>	<i>G0 Z2</i> <i>#100 = #100 + 90</i> <i>G68 X0 Y0 R#100</i> <i>M99</i>
--	--	---

3.5. Применение логических функций

Рассмотрим основы применения наиболее часто встречающихся логических функций с операторами **IF** и **WHILE**. Оператор **IF** применяется в функции, задающей условие и адрес перемещения считывающего устройства системы ЧПУ станка. Оператор **WHILE** применяется в функции, задающей условие работы помеченного в УП цикла командных кадров. Рассмотрим действие этих операторов на примере выполнения детали (рис.3.3). В программах с обоими операторами в качестве переменной величины принимается временное угловое положение системы координат детали; ее значение заложено в ячейку памяти **#100**. В УП зафиксирована исходная величина переменной **#100=0**.

УП (табл.3.9) разработана с применением оператора **IF**. Цикл задает обработку одного паза. По окончании первого прочтения цикла значение переменной в ячейке памяти **#100** изменяется по закону:

$$\#100 = \#100 + 90$$

и становится равной **90**. В следующем кадре УП записана функция, задающая условие выполнения операции:

$$IF_ \#100GT270_ GO_ T02.$$

Это условие при первом прочтении цикла обработки (**90<270**) не выполняется. Соответственно система ЧПУ его игнорирует и направляет считывающее устройство к очередному кадру **G68_X0_Y0_R#100**. Следуя этой команде, координатные оси **X** и **Y** занимают новое угловое положение **90°**. Далее считывающее устройство по команде **GO_T01** возвращается к кадру начала цикла, обозначенному **N1** с целью возобновление обработки.

Цикл фрезерования выполняется станком четыре раза с последовательным поворотом системы координат детали. При пятом прочтении цикла система ЧПУ фиксирует, что текущее значение

переменной в ячейке памяти **#100** становится равным **360**. Условие неравенства **#100>270**, заложенное в логической функции **IF_#100GT270_GO_TO2**, впервые оказывается выполненным (**360>270**). Поэтому система ЧПУ, следуя команде **GO_TO2**, направляет считывающее устройство к кадру за пределами цикла, обозначенному **N2**.

Таблица 3.9

G54 M6 T7 (фреза d12) G90 G0 G43 X0 Y48 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2 #100=0 N1 X0 Y48 G1 Z-5 F100	G41 X-8 D7 Y16 X8 Y48 G40 X0 G0 Z2 #100 = #100 + 90 IF #100GT270 GO TO2	G68 X0 Y0 R#100 GO TO1 N2 G69 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
--	--	---

УП (табл.3.10) разработана с применением оператора **WHILE**. Цикл задает обработку одного паза. Тело цикла обработки образовано кадрами, которые размещены между метками **DO1** и **END1**. По окончании первого прочтения цикла значение переменной в ячейке памяти **#100** изменяется по закону:

$$\#100 = \#100 + 90$$

и становится равным 90. Далее, следуя команде:

G68_X0_Y0_R#100,

система координат детали занимает новое угловое положение **90°**. Затем считывающее устройство возвращается к кадру начала цикла с меткой, помеченному меткой **DO1**.

Таблица 3.10

G54 M6 T7 (фреза d12) G90 G0 G43 X0 Y48 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2 #100=0 WHILE #100LE270 DO1 DO1	X0 Y48 G1 Z-5 F100 G41 X-8 D7 Y16 X8 Y48 G40 X0 G0 Z2	#100 = #100 + 90 G68 X0 Y0 R#100 END1 G69 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
--	--	---

Цикл фрезерования выполняется станком четыре раза с последовательными угловым поворотом системы координат детали. Параллельно с отработкой командных кадров система ЧПУ осуществляет постоянный контроль соответствия величины переменной в ячейке **#100** условию функции:

WHILE_#100LE270_DO1.

При пятом прочтении цикла система ЧПУ фиксирует, что текущее значение переменной в ячейке **#100** становится равным 360. Неравенство **#100≤270** впервые оказывается невыполненным (**360>270**). Вследствие этого считывающее устройство не возвращается к метке **DO1**, а выходит за пределы метки **END1**, т.е. за пределы цикла.

В рассмотренных выше УП переменный технологический параметр, внесенный в ячейку **#100**, выполняет две функции:

- задает временное угловое положение системы координат детали:

G68_X0_Y0_R#100;

- является аргументом логических функций:

- **IF_#100GT270_GOTO2** в УП (табл.3.9) при условии **#100>270**;

- **WHILE_#100LE270_DO1** в УП (табл.3.10) при условии **#100≤270**.

При подготовке сложных процедур программирование логической функции по технологическому параметру может быть проблематичным для разработки и трудным для восприятия. В качестве альтернативы аргументом функции может быть принята другая переменная, например, число повторений цикла обработки, которая является счетчиком. Рассмотрим методы применения счетчика на примере выполнения детали (рис.3.3) в программах, выполненных с операторами **IF** и **WHILE**. В программах (табл.3.11, табл.3.12) введены две переменные:

- значение временного углового положения системы координат детали, заложенное в ячейку **#100**;
- число выполненных циклов, заложенное в ячейку **#101**.

Исходным значением переменной для счетчика принята цифровая величина 1: **#101=1**. В процессе работы по программе система ЧПУ станка считывает исходные значения обеих переменных: **#100=0** и **#101=1**. Затем производится обработка первого паза. Далее осуществляется изменение величин переменных:

#100=#100+90,

#101=#101+1;

при этом значение показания счетчика становится равным 2. После завершения первого прочтения цикла система ЧПУ возвращается к его началу и дает команду на обработку второго паза. В логических функциях заданы следующие условия сравнения:

#101>4 в функции: **IF_#101GT4_GOTO2;**

#101≤4 в функции: **WHILE_#101LE4_DO1.**

Показания счетчиков являются аргументом этих функций: система ЧПУ сравнивает их с требуемым числом повторений цикла 4. Такая структура логических функций удобна как для разработчика, так и для пользователей УП деталей.

Таблица 3.11

G54 M6 T7 (фреза d12) G90 G0 G43 X0 Y48 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2 #100=0 #101=1 N1 X0 Y48 G1 Z-5 F100	G41 X-8 D7 Y16 X8 Y48 G40 X0 G0 Z2 #100 = #100 + 90 #101=#101+1 IF #101GT4 GOTO2	G68 X0 Y0 R#100 G0 T01 N2 G69 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
---	---	---

Таблица 3.12

G54 M6 T7 (фреза d12) G90 G0 G43 X0 Y48 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2 #100=0 #101=1 WHILE_#101LE4_DO1 DO1	X0 Y48 G1 Z-5 F100 G41 X-8 D7 Y16 X8 Y48 G40 X0 G0 Z2 #100 = #100 + 90	#101=#101+1 G68 X0 Y0 R#100 END1 G69 G0 Z50 M5 M9 M6 T0 M30
---	---	--

Таким образом, во всех рассмотренных выше УП (табл.3.9...3.12) фреза выполняет обработку четырех пазов с взаимным угловым смещением **90°**. После окончания работы по циклу считывающее устройство выходит за его пределы и следует к кадру отмены поворота координатных осей **X** и **Y** по функции **G69**. Далее следует окончание УП.

4. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Основными задачами совершенствования оборудования с ЧПУ в настоящее время являются расширение их технологических возможностей, повышение производительности операций, улучшение качества выполняемых деталей. Проведем описание некоторых направлений развития конструкций и программного обеспечения ОЦ, направленных на повышение эффективности их применения.

4.1. Обрабатывающие центры со сменными рабочими столами

В условиях гибкого автоматизированного производства особое место занимают ОЦ со сменными рабочими столами – паллетами. В практике чаще всего используются станки с двумя (рис.4.1) и более паллетами. Вызов паллеты на рабочую позицию может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

В процессе производства деталей на станках с шестью паллетами (рис.4.2) пять из них, как правило, заняты технологическими приспособлениями. Эти приспособления установлены на подготовленных позициях и предназначены для выполнения наиболее часто повторяющихся деталей. Шестая паллета обычно свободна и предназначен для выполнения текущей работы. Такая организация работы сводит к минимуму время запуска в производство партий деталей, выполняемых на пяти упомянутых паллетах. Это снижает вспомогательное время выполнения операций за счет устранения затрат на пуско-наладку оборудования.

Наиболее эффективное использование станков с двумя паллетами (рис.4.1) достигается при одновременном использовании в производстве обеих паллет. На этих паллетах обычно настраивается выпуск двух различных деталей, которые выполняются поочередно. Во время обработки одной из деталей другая (готовая) деталь оказывается выведенной из рабочей зоны. Оператор имеет возможность осуществлять ее проверку и снятие с приспособления, а также установку в приспособление новой заготовки. Такая организация работы снижает вспомогательное время выполнения операций за счет устранения затрат на манипуляции с деталями и заготовками при остановленном станке.

4.2. Корректировка условий выполнения операции

В разделе 1.3. были рассмотрены действия по наладке станка с ЧПУ на выполнение деталей. После выполнения описанных процедур, производится выпуск первой (наладочной) детали партии. Эта деталь проходит контроль на соответствие требованиям технологической документации. В случае успешного прохождения проверки начинается производство партии деталей.

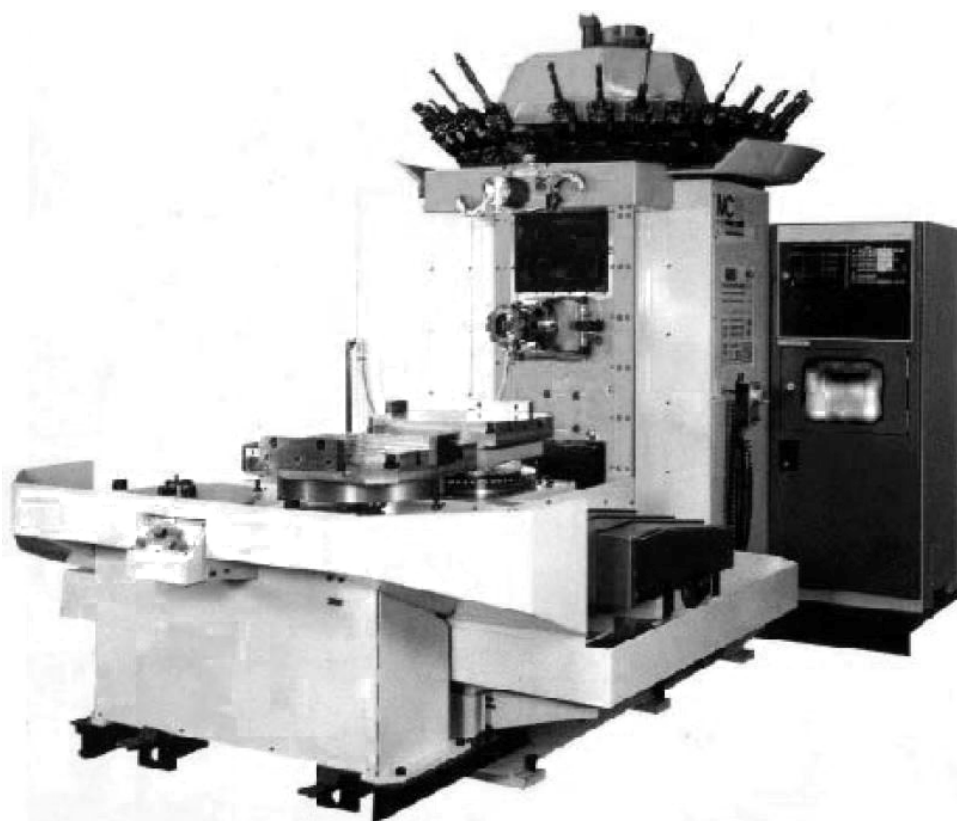


Рис.4.1. Обрабатывающий центр с двумя паллетами

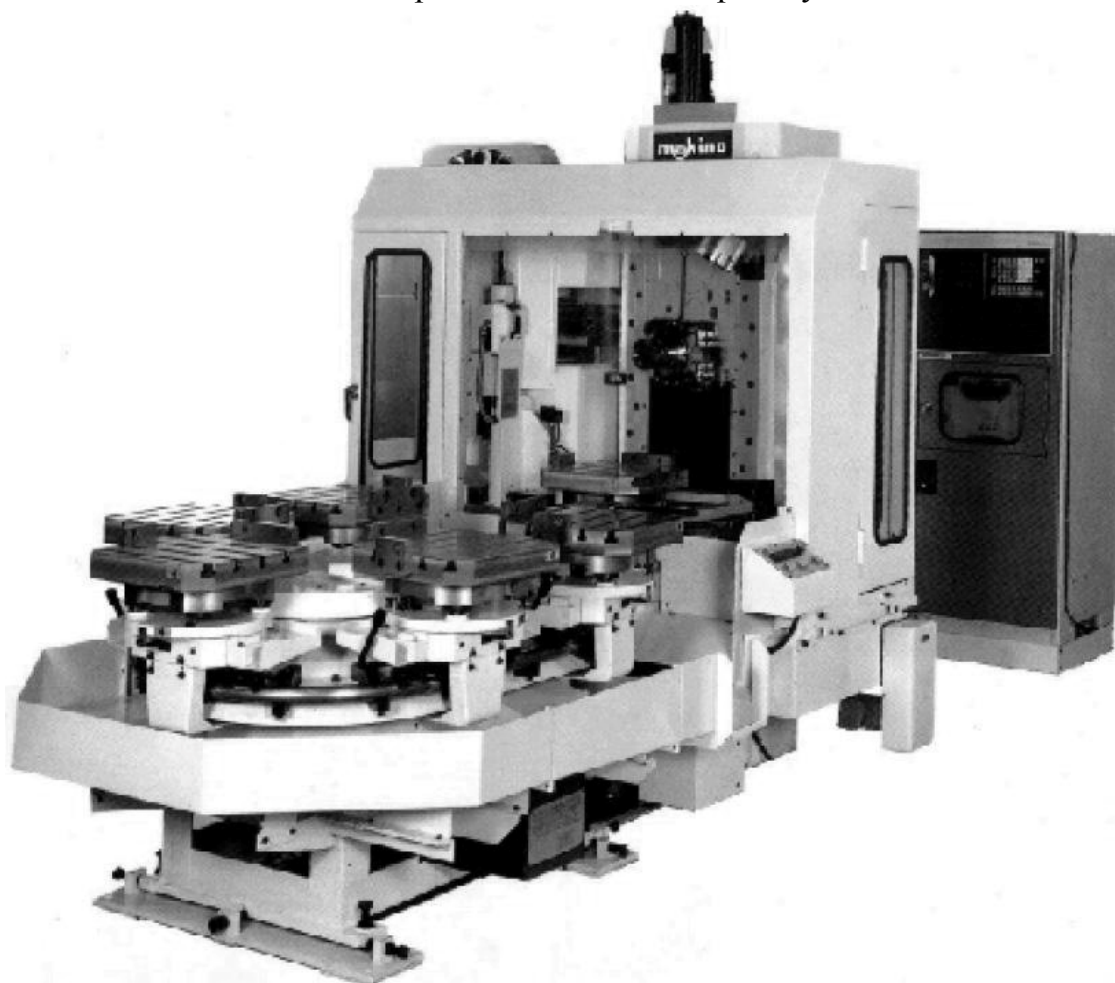


Рис.4.2. Обрабатывающий центр с шестью паллетами

Однако, при выполнении партии деталей следует учитывать, что первоначальные условия выполнения операции, получаемые в процессе пуско-наладочных процедур, могут изменяться от заготовки к заготовке. В частности, каждая из выпускаемых серийных деталей при установке на технологическое приспособление имеет некоторую погрешность в позиции нулевой точки по отношению к позиции нулевой точки наладочной детали; эта погрешность называется **ПОГРЕШНОСТЬЮ БАЗИРОВАНИЯ**. Кроме того, на качество выполняемых деталей негативное воздействие может оказывать текущий износ инструментов.

Современные станки с ЧПУ позволяют разрешить указанные проблемы путем применения **СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ** процессом обработки. Эти системы осуществляют активный контроль детали, включающий в себя отслеживание условий выполнения операции и автоматическую, с помощью механизма обратной связи, корректировку этих условий. Системы адаптивного управления имеют общий принцип работы, но могут различаться по структурным схемам, конструктивному исполнению и механизму воздействия на процесс обработки детали. Рассмотрим пример применения и принцип действия системы адаптивного управления на примере механизма устранения погрешности базирования серийных деталей.

Механизм устранения погрешности базирования (рис.4.3) включает в себя устройство отслеживания перемещений 4, а также описанный в разделе 1.3 электронный датчик контакта. Каналы передачи информации обозначены на рис.4.3 линиями со стрелками. Датчик контакта обычно хранится в инструментальном магазине станка, его геометрические параметры вносятся в систему ЧПУ в процессе выполнения пуско-наладочных работ.

Для устранения погрешности базирования в УП вводится специальный цикл, задающий автоматический поиск позиции нулевой точки перед началом выполнения каждой серийной детали. Цикл работает следующим образом. После установки очередной детали на станок и запуска автоматического режима работы по УП электронный датчик контакта вызывается на рабочую позицию и автоматически «обходит» деталь, производя касание детали в заданных точках (рис.4.4). В момент каждого касания происходит срабатывание сигнального устройства 6 с одновременной регистрацией положения датчика отслеживающим устройством 4. Результаты выполненных измерений передаются в преобразователь сигналов 8. Далее обновленные данные по позиции нуля детали автоматически вводятся в систему ЧПУ, и станок приступает к обработке детали.

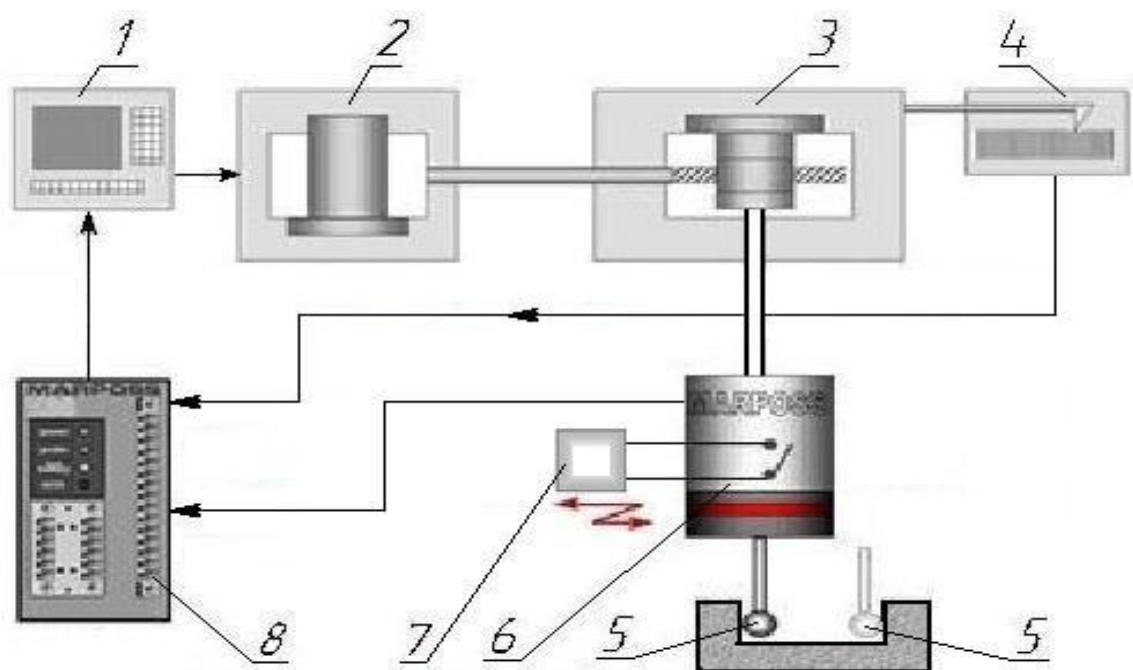


Рис.4.3. Структурная схема механизма обратной связи, задействованного в системе активного контроля:

1 – система ЧПУ; 2 – привод движения; 3 – механизм перемещений; 4 – устройство отслеживания перемещений; 5 – щуп датчика контакта; 6 – сигнальное устройство датчика контакта; 7 – автономный источник питания; 8 – преобразователь сигналов

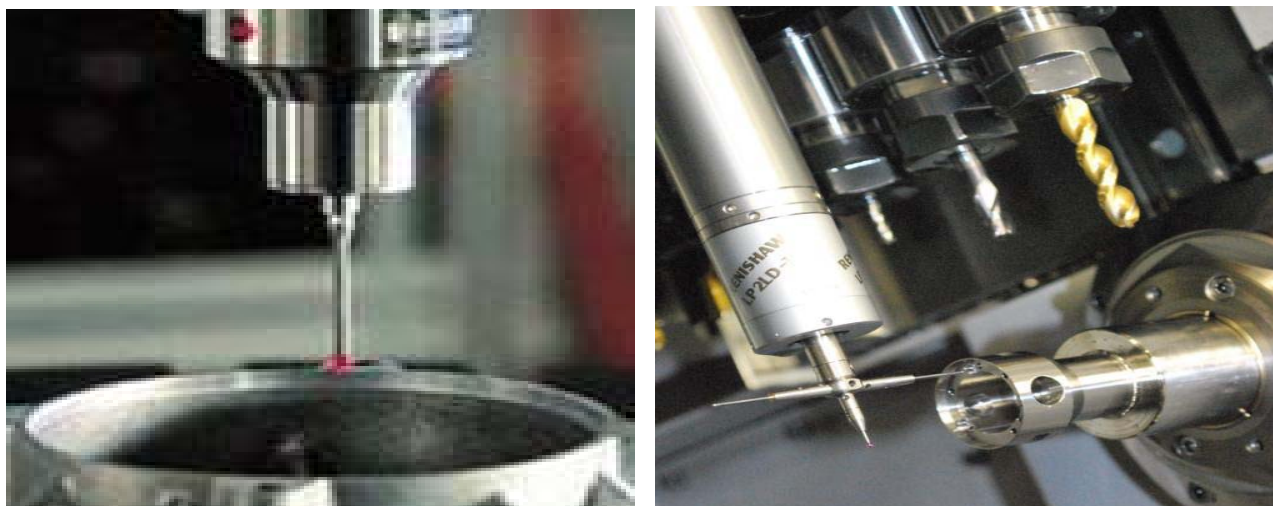


Рис.4.4. Варианты положения датчика в процессе поиска положения нуля детали

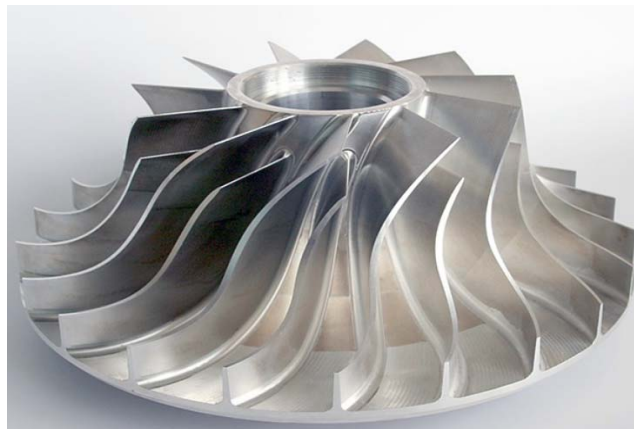
Контролируемая и корректируемая таким образом позиция нулевой точки серийных деталей получила название ПЛАВАЮЩИЙ НОЛЬ. Применение механизма устранения погрешности базирования позволяет существенно упростить конструкцию технологической оснастки, снизить время установки детали на станок и повысить качество выпускаемой продукции.

4.3. Узлы крепления детали

В разделе 1.5. была рассмотрено комбинированная многопозиционная обработка детали, в рамках которой предусмотрена ее переустановка детали на рабочем столе УП. Такой метод обработки в недостаточно производителен, не всегда способен обеспечить требуемого качества выпускаемых деталей и имеет существенные ограничения по возможностям выполнения поверхностей сложных геометрических форм. Поэтому большинство разработок последнего времени было направлено на концентрацию технологических переходов в рамках как можно меньшего числа установов, а также на увеличение технологических возможностей оборудования. С этой целью, в частности, были разработаны узлы крепления детали, способные разворачиваться относительно одной или двух координатных осей и осуществлять фиксацию в заданном угловом положении. Это позволило программировать многопозиционную обработку деталей с одного установа (рис.4.5,а). Узлы крепления детали могут быть выполнены в виде поворотных головок с одной (рис.4.6) или двумя (рис.1.7) осями вращения. Поворотные головки крепления деталей действуют совместно с рабочими органами станка по единой УП. Схема установки поворотной головки на рабочем столе вертикального ОЦ приведена на рис.1.4.



а)



б)

Рис.4.5. Обработка деталей повышенной сложности на ОЦ:
а) многопозиционная обработка; б) пятикоординатная обработка

Кроме фиксации обрабатываемой детали в заданном угловом положении, современные системы ЧПУ способны осуществлять контролируемый поворот детали, синхронно с линейными перемещениями рабочих органом станка. Это обеспечивает возможность выполнения поверхностей сложных геометрических форм. (рис.4.5,б).

Основным недостатком поворотных головок является существенные ограничения по габаритным размерам выполняемых деталей. Это

потребовало создания пятикоординатных станков, объединяющих в себе ОЦ традиционной конструктивной схемы (рис.1.1,б) и пятикоординатную поворотную головку (рис.4.7). Схема рабочей зоны станка с вертикальным расположением шпинделя и встроенным в него поворотным механизмом приведена на рис.4.8.

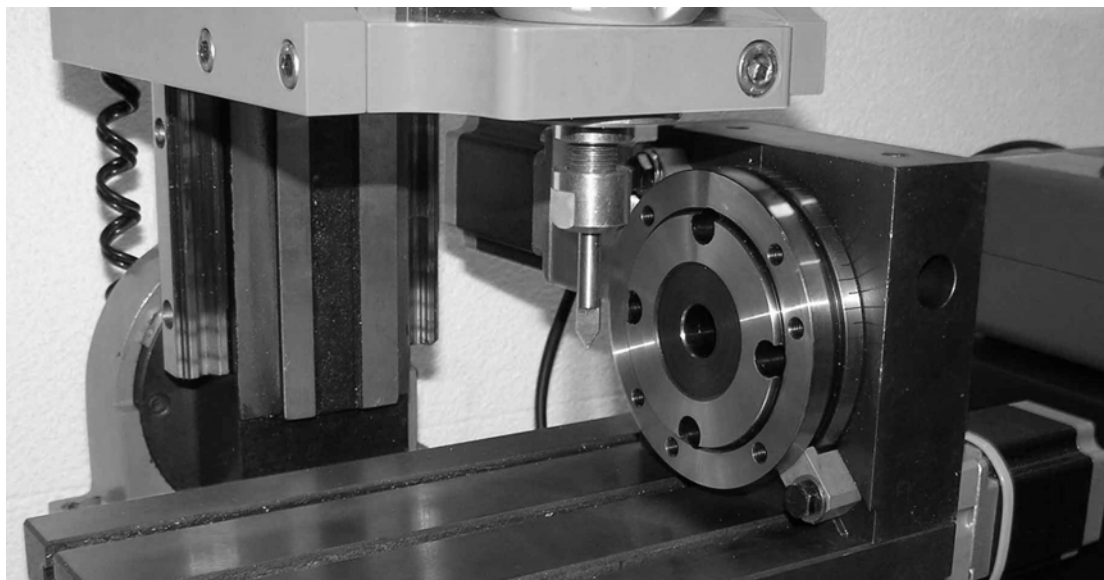


Рис.4.6. Поворотная головка с одной осью вращения



Рис.4.7. Пятикоординатная поворотная головка

Станок содержит качалку 2 и механизм поворота узла крепления детали 1 относительно оси Z . В свою очередь, качалка 2 крепится к направляющим станка с помощью механизма 3, имеющего возможность поворота относительно оси Y . Угловые перемещения зажимного устройства 1 могут выполняться согласованно с рабочими линейными перемещениями шпинделя. Примеры многопозиционной (а) и пятикоординатной (б) обработки детали на станке приведен на рис.4.9.

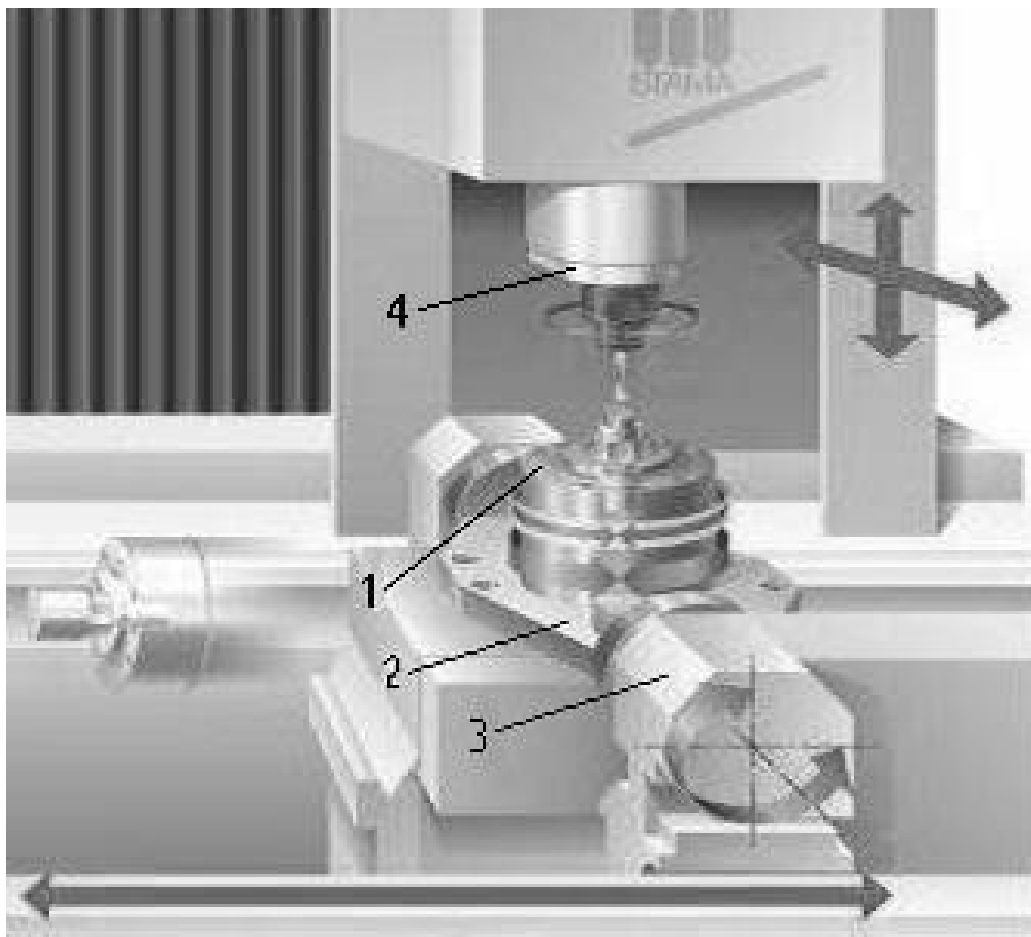
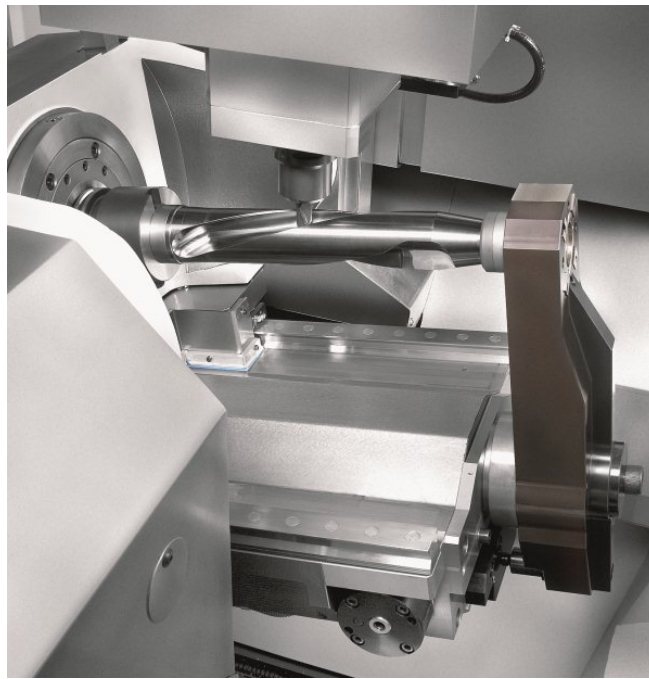


Рис.4.8. Схема рабочей зоны пятикоординатного вертикального ОЦ:
 1 – зажимное устройство с механизмом поворота детали; 2 – качалка;
 3 – механизм поворота качалки; 4 – шпиндельная головка



а)



б)

Рис.4.9. Примеры обработки детали на современном пятикоординатном ОЦ:
 а) многопозиционная обработка; б) пятикоординатная обработка

Зажимное устройство детали *1* (рис.4.8) имеет возможность осуществления не только контролируемого поворота, но и вращения относительно оси *Z* с заданной угловой скоростью. Это обеспечивает возможность осуществления токарной обработки резцами, которые крепятся к шпиндельной головке 4. Пример токарной обработки детали на ОЦ приведен на рис.4.10.



Рис.4.10. Пример токарной обработки детали

4.4. Поворотные шпиндельные головки

Рассмотренные выше пятикоординатные устройства крепления заготовок не предназначены для обработки крупногабаритных деталей. Технологические возможности ОЦ по их выполнению могут быть расширены с помощью специальных конструкций крепления обрабатывающих инструментов. Наиболее простой из таких конструкций является **УГЛОВАЯ ШПИНДЕЛЬНАЯ ГОЛОВКА**, применяемая в горизонтальных ОЦ (рис.4.11,*а*). Головка позволяет изменять рабочее положение инструмента в пространстве. Горизонтальное положение шпинделя считается штатным; его часто обозначают «*1*». Вертикальное положение считается вспомогательным; его часто обозначают «*2*». В положении *1* станок осуществляет обычную для горизонтальных ОЦ (рис.1.3) обработку деталей в плане *X-Y*. Этот план лежит в плоскости перпендикулярной рабочему столу (рис.4.11,*б*) и в международной системе кодирования **ISO-7bit** кодируется функцией **G17**. В положении *2* головка осуществляет перемещения с помощью телескопического крепления; обработка деталей производится в плоскости рабочего стола *X-Z* (рис.4.11,*в*), план которого кодируется функцией **G18**.

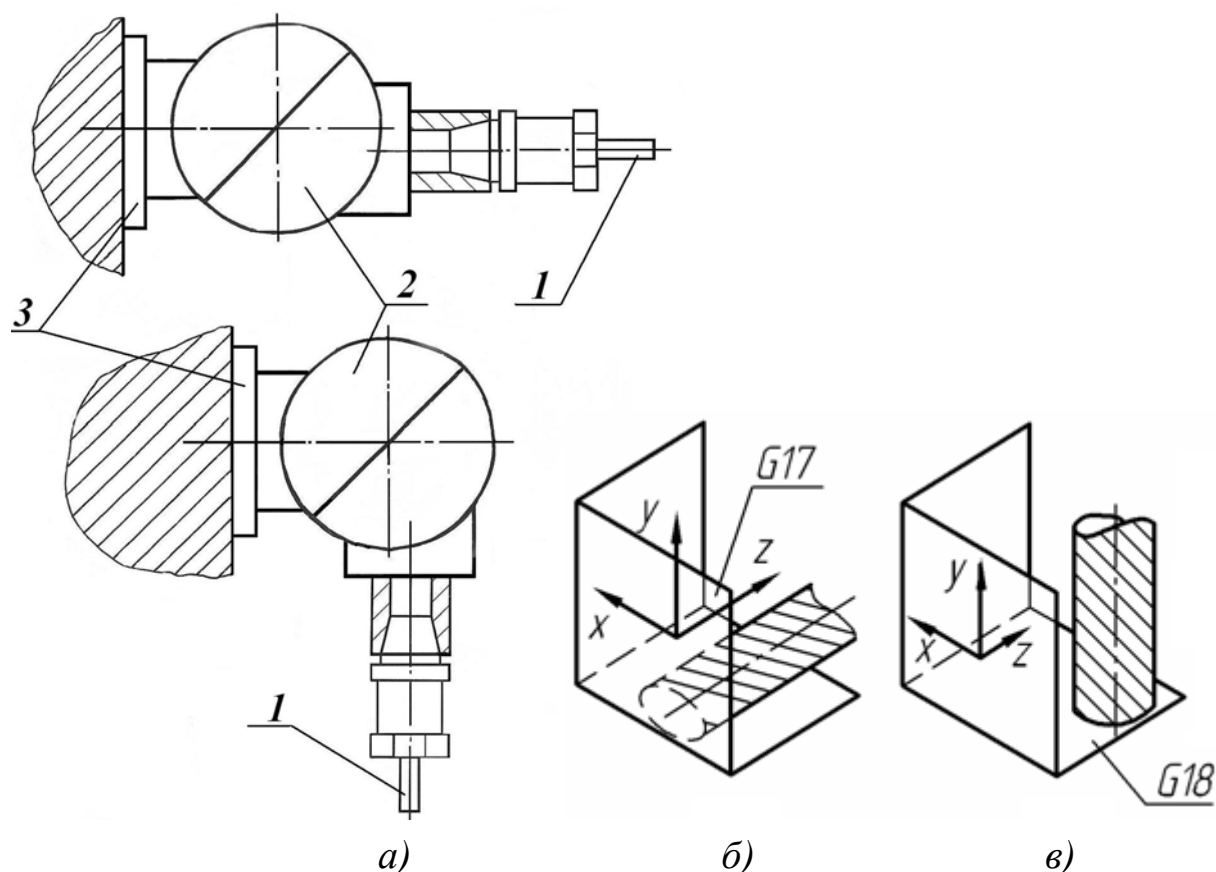


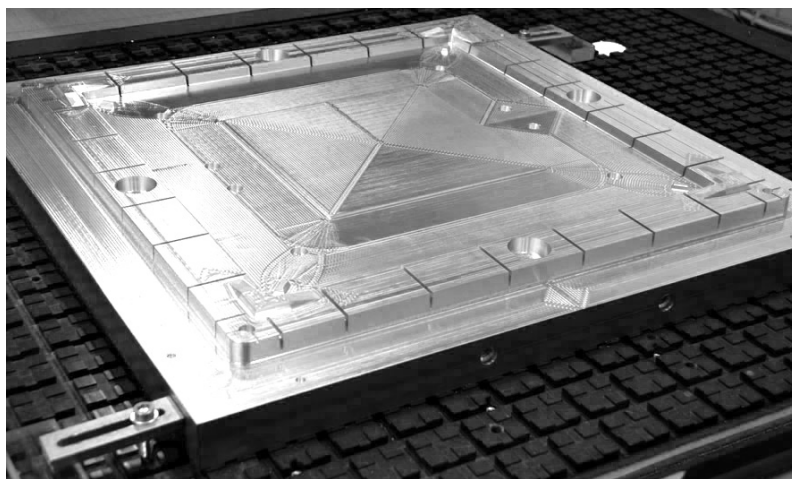
Рис.4.11. Угловая шпиндельная головка и планы обработки горизонтального ОЦ:
а – основной план обработки горизонтального ОЦ «*X-Y*» (Положение 1);
б – вспомогательный план обработки горизонтального ОЦ «*X-Z*» (Положение 2)
1 – инструмент; *2* – поворотный механизм; *3* – телескопическое устройство

Более совершенные станки работают с пятикоординатными шпиндельными головками (рис.4.12,*а*), способными осуществлять угловые перемещения инструмента в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Шпиндельные головки выполняют угловые перемещения, согласованные с линейными перемещениями заготовки. Вертикальные ОЦ с пятикоординатными головками предназначены для выполнения крупногабаритных деталей с поверхностями сложных геометрических форм. Такими деталями являются, например, элементы пресс-форм (рис.4.12,*б*), матрицы и пуансоны штампов, литьевые модели и др.

Съемные поворотные шпиндельные головки (рис.4.13,*а*), предназначены для обработки поверхностей деталей на внутренних малогабаритных участках. Такие головки чаще всего применяются в качестве дополнительных элементов шпиндельных узлов вертикальных ОЦ (рис.1.2). Установка углового положения инструмента в съемных поворотных головках чаще всего выполняется вручную в процессе пуско-наладки оборудования. Пример использования головки приведен на рис.4.13,*б*.

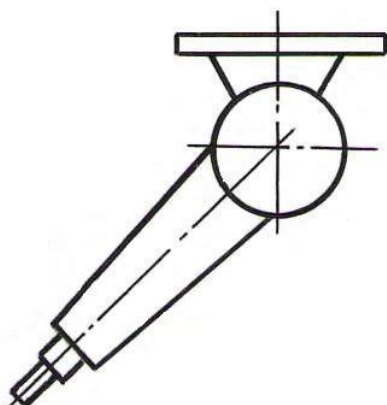


а)

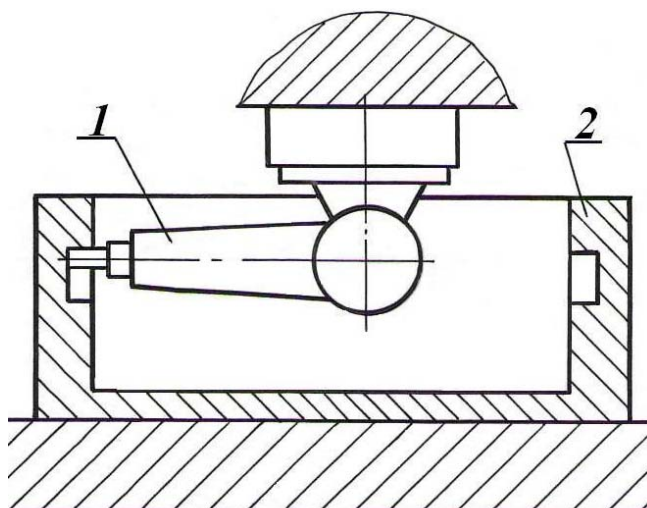


б)

Рис.94. Вертикальный ОЦ с пятикоординатной шпиндельной головкой:
а – процедура обработки детали; *б* – элемент пресс-формы на рабочем столе



а)



б)

Рис.4.13. Съемная поворотная шпиндельная головка:
а – поворотная головка как конструктивный элемент;
б – съемная поворотная головка в рабочем положении;
1 – шпиндельная часть головки; *2* – обрабатываемая деталь

5. ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

5.1. Конструктивные схемы и координатные системы станков

Большинство станков с ЧПУ токарной группы имеет компоновку, сходную с компоновкой традиционных универсальных станков: токарный патрон располагается слева от оператора и имеет горизонтальную ось вращения, а обрабатывающие инструменты крепятся в подвижных узлах напротив обрабатываемой детали. Формирование контура обработки в токарных станках осуществляется в процессе перемещения инструментов в плане X - Z прямоугольной системы координат. Ось Z совпадает с осью вращения детали и направлена ОТ ШПИНДЕЛЯ; ось X направлена ОТ ДЕТАЛИ [2].

В относительно небольших станках в качестве узла крепления инструмента чаще всего применяется револьверная головка (РГ), содержащая от 8 до 16 позиций для установки инструментов (рис.5.1,а).

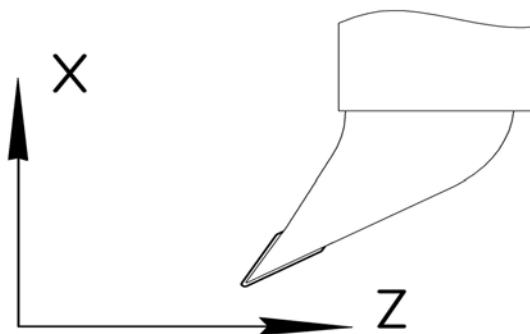
В станках, предназначенных для обработки крупногабаритных деталей типа «Вал», резцы устанавливаются в горизонтальном суппорте (рис.5.2). Суппорт имеет всего 4 позиции для установки инструмента; при этом он обеспечивает более жесткое, чем РГ, крепление инструмента.

Станки, предназначенные для обработки крупногабаритных корпусных деталей, выполняются с горизонтальным рабочим столом и вертикальной осью вращения (рис.5.3).

Как видно из приведенных примеров, станки с ЧПУ токарной группы могут существенно различаться по взаимному расположению основных конструктивных элементов. В частности, обрабатывающие инструменты станков токарной группы могут подходить к детали в процессе обработки сверху, снизу либо со стороны оператора. Поэтому во избежание ошибок при программировании траекторий инструментов необходимо следовать записанному ниже универсальному правилу, определяющему расчетное положение инструмента в рабочей зоне станка.



а)



б)

Рис.5.1. Станок с горизонтальной осью вращения и револьверной головкой:
а) рабочая зона станка; б) определение расчетного положения инструмента в станках

При программировании траекторий своего движения инструмент предполагается расположенным в вертикальной плоскости над деталью вне зависимости от конструкции станка (рис.5.1,б).



Рис.5.2. Станок с горизонтальной осью вращения и горизонтальным суппортом



Рис.5.3. Станок с горизонтальным рабочим столом и вертикальной осью вращения

Особенности процедур пуско-наладки и программирования токарных станков с ЧПУ будут рассмотрены на примере работы станка фирмы «РЕАБИН», работающего в системе ЧПУ «*Mach3*». Отметим, что язык программирования *Mach3* отличается от *Fanuc* незначительно.

Ноль станка X_C-Z_C обычно располагается в основании патрона на оси детали (рис.5.4). Нулевая точка детали X_i-Z_i при этом размещена со смещением относительно нулевой точки станка X_C-Z_C вдоль оси Z . Величина этого смещения фиксируется константой, обозначаемой ZMW_i , и вносится в таблицу смещения нулевых точек системы ЧПУ станка.

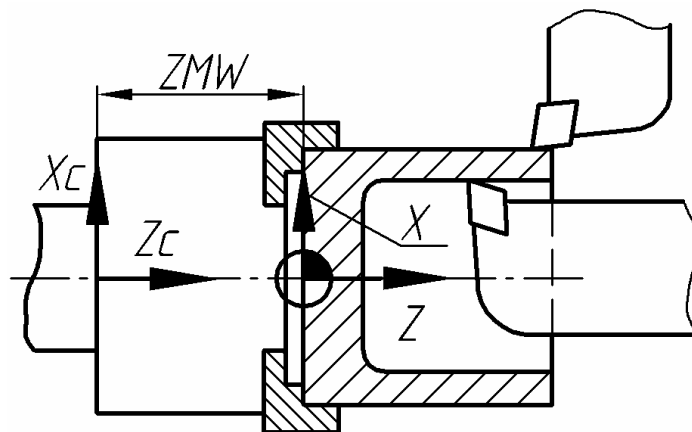


Рис.5.4. Смещение нулевой точки обрабатываемой детали

Во многих станках токарной группы, в том числе и в «РЕАБИН», ноль станка располагается за пределами зоны возможных перемещений инструментов и является условной точкой. В этих станках системы ЧПУ производят отсчет перемещений инструментов относительно другой точки, расположенной внутри рабочего пространства. Эта точка называется ИСХОДНОЙ ТОЧКОЙ СТАНКА или БАЗОЙ; координаты базы постоянны и соотнесены с нулевой точкой станка. С целью калибровки системы индикации станка необходимо при его включении отводить суппорт с инструментами в исходную точку станка.

На рис.5.5 изображены точки, задействованные в пуско-наладочных процедурах и в расчетах траекторий движения инструментов. Как и при программировании фрезерных процедур, в токарных процедурах все расчеты траекторий производятся для программных точек инструментов 5; эти точки также называют УСЛОВНЫМИ ВЕРШИНАМИ РЕЗЦОВ.

Как и в ОЦ, системы токарных станков с ЧПУ допускают одновременное кодирование шести и более систем координат детали X_i-Z_i . В большинстве систем программирования шесть базовых систем координат детали вводятся функциями: $G54...G59$. Эти функции модальные; они действуют во всех последующих кадрах УП после ввода в действие вплоть до их отмены.

Перемещение в системе координат станка кодируется немодальной, действующей в единственном кадре, функцией $G53$. Эта система координат чаще всего задействуется в кадрах с командой на отвод суппорта в точку смены инструментов. Расчет в системе координат станка осуществляется относительно его исходной точки.

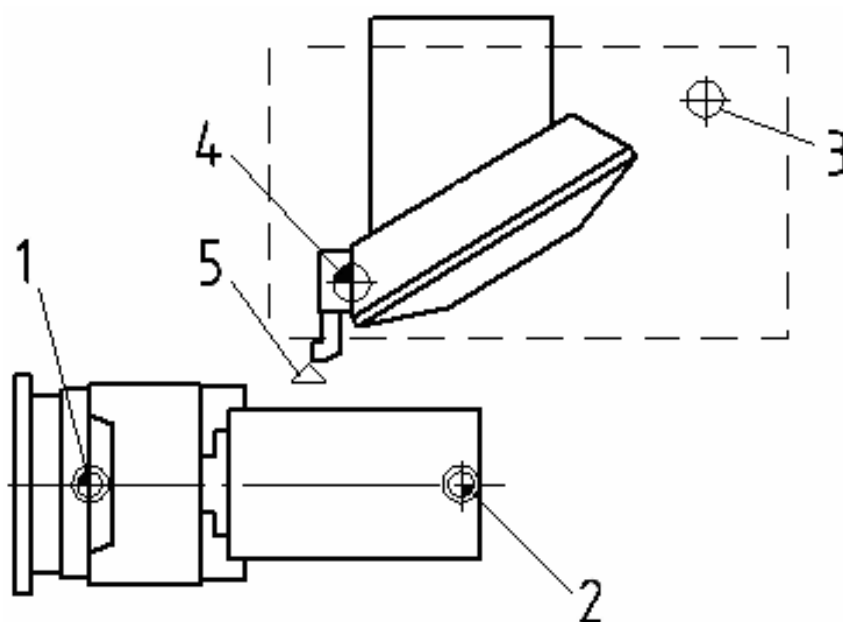


Рис.5.5. Нулевые и исходные точки программного управления:
 1 – нулевая точка СК станка; 2 – нулевая точка СК детали; 3 – исходная точка станка (база); 4 – нулевая точка инструментов F_i ; 5 – условная вершина (программная точка) инструмента

5.2. Подготовка комплекта инструментов

Комбинированная обработка деталей на токарных станках с ЧПУ осуществляется несколькими инструментами, обозначаемыми в УП соответственно их позициям в инструментальном магазине или в РГ: T_1, T_2, \dots, T_i . Каждый из задействованных инструментов имеет набор геометрических параметров, на базе которых система ЧПУ производит автоматический пересчет контура обработки в траекторию движения НУЛЕВОЙ ТОЧКИ ИНСТРУМЕНТОВ 4 (рис.5.5). Эта точка обозначается F_i и располагается в основании крепления инструментов (рис.5.6).

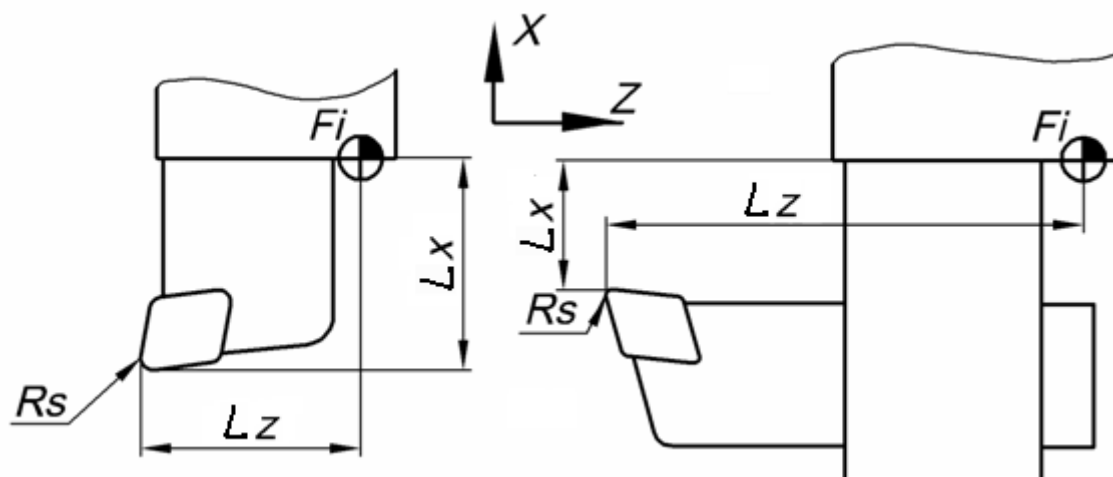


Рис.5.6. Геометрические параметры токарных резцов

Параметры задействованных инструментов вносятся в ТАБЛИЦУ ИНСТРУМЕНТОВ системы ЧПУ станка. В примере (табл.5.1) приведена таблица, в которую внесены параметры шести инструментов. Таблица содержит ячейки, в которые вносятся величины вылетов рабочих вершин по осям X и Z относительно нулевой точки инструментов L_{Xi} и L_{Zi} ; эти величины называют также КОРРЕКТОРАМИ ДЛИНЫ инструментов. В таблицу инструментов также вносятся значения радиусов РАБОЧИХ ВЕРШИН РЕЗЦОВ R_s (рис.5.6) и коды их расположения в плане X - Z , обозначаемые « A » (см. ниже).

Траектория движения каждого инструмента задается в УП относительно его программной точки P_i (поз. 5 на рис.5.5). При этом система ЧПУ воспринимает эти перемещения относительно нулевой точки инструментов F_i (поз. 4 на рис.5.5). В процессе обработки детали нулевая точка инструментов F_i перемещается эквидистантно контуру обработки со смещением вдоль осей X и Z на величины соответственно L_{Xi} и L_{Zi} . Геометрические значения этих параметров могут непосредственно определяться в снаряженном состоянии на специальных измерительных устройствах. Если такой прибор отсутствует, корректоры длин могут определяться с помощью поочередного касания инструментами заданных поверхностей заготовки. Практические аспекты определения позиции системы координат детали, а также корректоров длины инструментов будут рассмотрены в разделе 6.

Расположение рабочих вершин резцов в плане X - Z обозначается « A » и кодируется цифровыми значениями от 1 до 9. На рис.5.7 приведена графическая интерпретация кодирования расположения рабочих вершин инструментов в плане X - Z .

Таблица 5.1

D	T	L_x	L_z	R_s	A
01	1	105.64	49.56	1.2	3
02	2	74.15	113.87	0.8	2
03	3	90	134.7	0	7
04	4	100.48	49.32	0.5	3
05	5	65.42	128.56	0.5	2
06	6	77.36	98.31	0.2	3
07	-	-	-	-	-
...
23	-	-	-	-	-
24	4	100.48	44.32	0.5	4
25	5	65.42	128.56	0.5	1
26	6	73.36	98.31	0.2	2

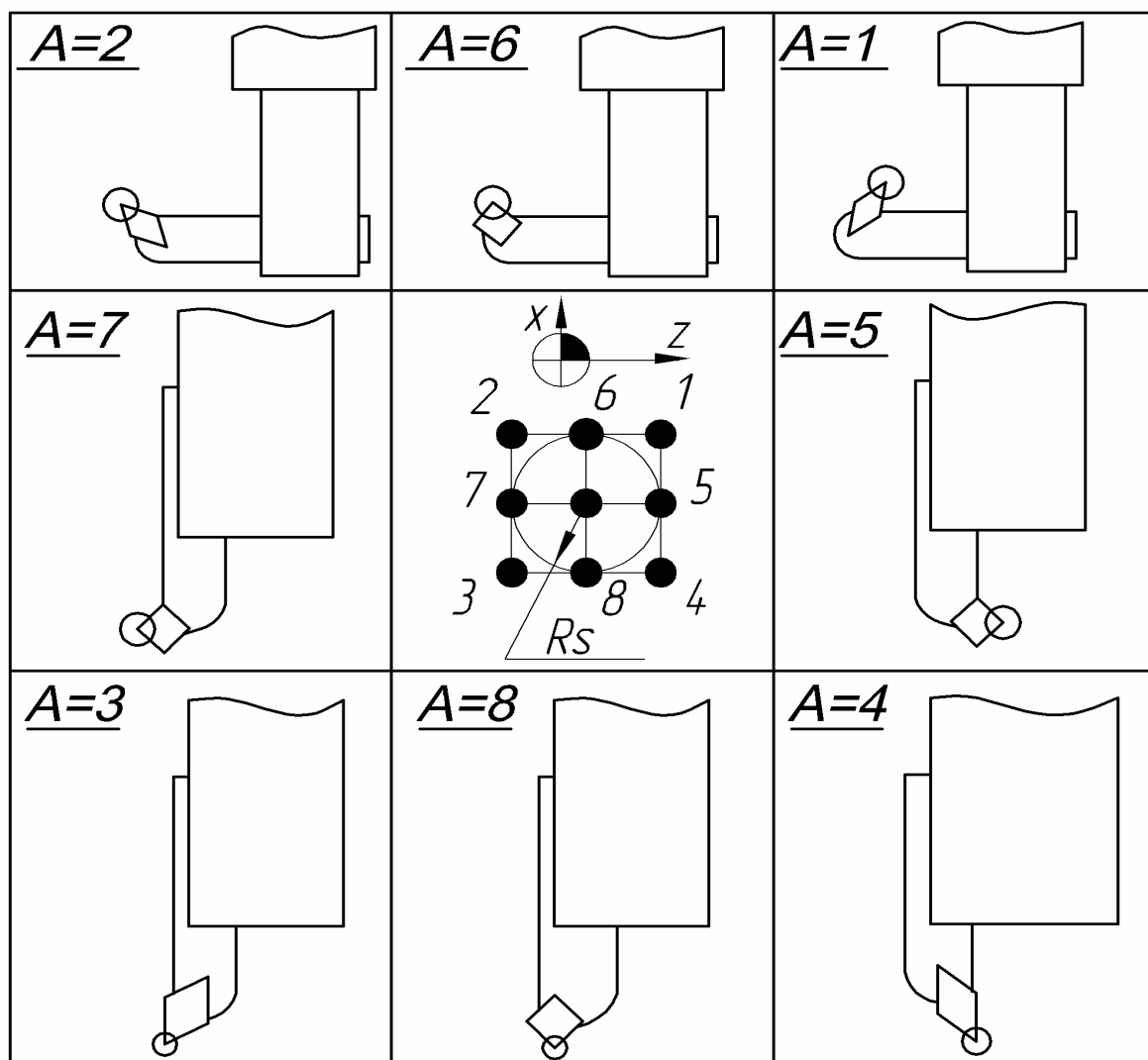


Рис.5.7. Кодирование расположения рабочих вершин инструментов в плане $X-Z$

Таким образом, наименования ячеек в таблице инструментов (табл.5.1) обозначают следующее:

D – номер ячейки таблицы инструментов;

T – номер инструмента;

L_{Xi} – вылет инструмента (корректор длины) в направлении оси X ;

L_{Zi} – вылет инструмента (корректор длины) в направлении оси Y ;

R_s – радиус рабочей вершины инструмента;

A – код расположения рабочей вершины инструмента в плане $X-Z$.

Номера ячеек D_i в большинстве случаев соответствуют позициям инструментов в инструментальном магазине. Так, параметры инструмента T_1 размещены в ячейке D_{01} , параметры инструмента T_2 – в ячейке D_{02} и т.д. Исключением являются канавочные резцы, содержащие по две рабочие вершины. Система ЧПУ воспринимает эти вершины как два отдельных инструмента. Очевидно, что вершины канавочных резцов различаются между собой по величинам корректоров длины и имеют

разные значения кода их расположения « A ». Большинство перемещений инструментов рассчитывается относительно вершины, обращенной к шпинделю. Эта вершина считается главной; величина корректора ее длины записывается в ячейку, номер которой соответствует номеру инструмента. Величина корректора второй (вспомогательной) вершины канавочного резца записывается в любую свободную ячейку таблицы инструментов. В рассматриваемом примере (табл.5.1) параметры вспомогательных вершин канавочных резцов занимают следующие ячейки таблицы инструментов:

D_{24} для T_4 ; D_{25} для T_5 ; D_{26} для T_6 .

На рис.5.8 изображены инструменты, параметры которых внесены в табл.5.1. На эскизе обозначены корректоры длины L_{Xi} и L_{Zi} , а также коды расположения рабочих вершин инструментов A_i . На позициях 4...6 инструментального магазина размещены канавочные резцы с различно расположенными рабочими вершинами.

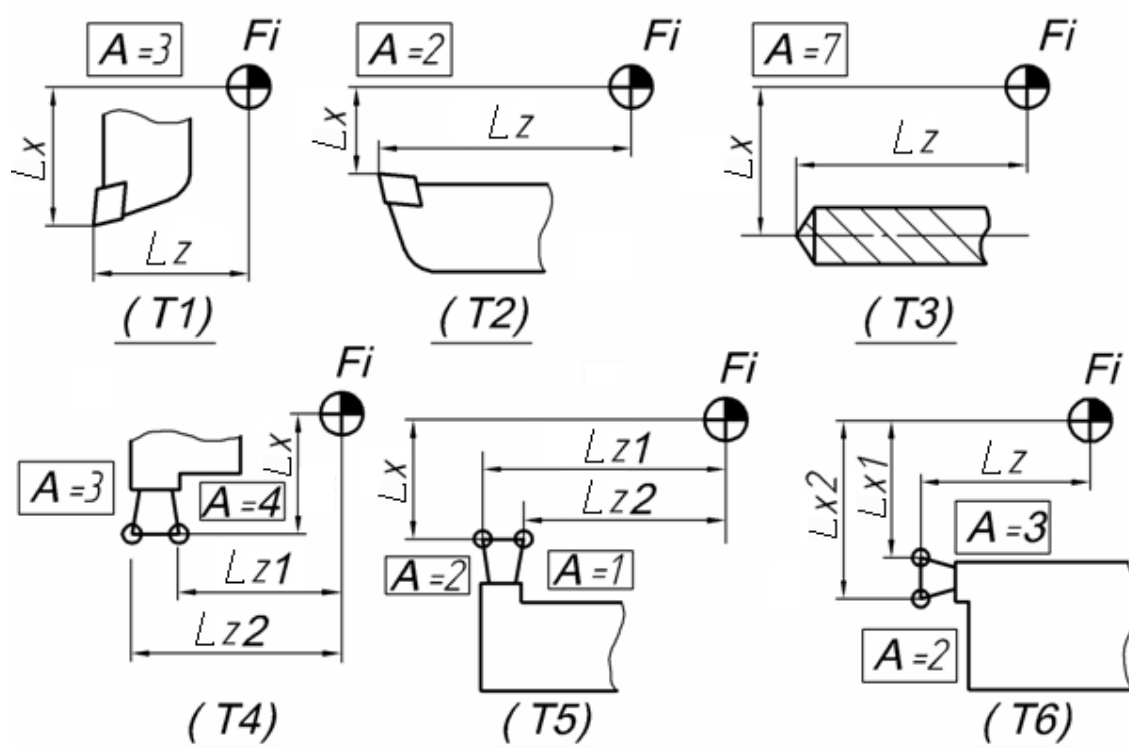
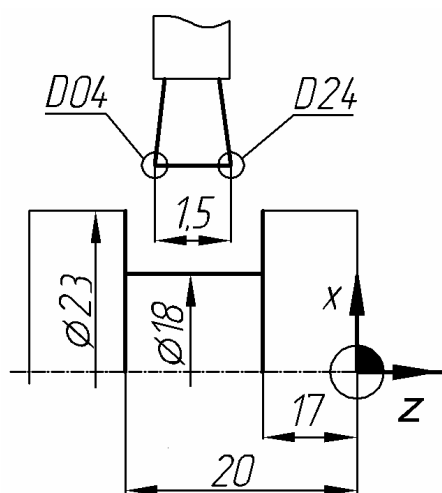


Рис.5.8. Изображения инструментов, параметры которых внесены в табл.5.1

В программном обеспечении **Mach3** в отличие от описанного выше **Fanuc** отсутствуют команды раздельного вызова инструмента «**M6**» и корректора его длины «**M43**»; их вызов осуществляется совмещенной командой «**Ti Oi**», например: «**T1 01**», «**T3 03**», «**T5 05**» (главная вершина канавочного резца), «**T5 15**» (вспомогательная вершина канавочного резца) и т.д. В левой части выражения (**Ti**) номер «**i**» обозначает номер позиции инструмента в РГ; в правой части выражения (**Oi**) номер «**i**» обозначает номер строки таблицы

инструментов, содержащей ячейки с корректорами L_{Xi} и L_{Zi} данного инструмента. Программное обеспечение «*Mach3*» позволяет активизировать параметры любой из вершин непосредственно в процессе движения резца в автоматическом режиме по УП. В момент активизации параметров вершины резца происходит автоматическое смещение на нее программной точки P_i .

На рис.5.9 изображен пример выполнения канавки резцом «*T4*» (табл.5.1). Резец с включенным корректором «*D04*» врезается в канавку по центру ее симметрии. Далее, поочередно включая главную и вспомогательную рабочие кромки, резец производит чистовую обработку канавки. Как видно из текста УП, переключение корректора, такое как «*D04* → *D24*» и «*D24* → *D04*», может осуществляться в любой точке траектории движения резца.



УП в системе ЧПУ « <i>Mach3</i> »	
<i>G54</i>	<i>G0 X13</i>
<i>M3 S700</i>	<i>T4 24</i>
<i>G90 G95</i>	<i>Z-17</i>
<i>T4 04</i>	<i>G1 X9</i>
<i>G0 X13 Z10</i>	<i>T4 04</i>
<i>Z-19.25</i>	<i>Z-19.8</i>
<i>G1 X9.1 F0.05</i>	<i>G0 X13</i>
<i>G0 X13</i>	<i>Z10</i>
<i>Z-20</i>	<i>G53 G0 X0 Z200</i>
<i>G1 X9 F0.08</i>	<i>M30</i>
<i>Z-19.5</i>	

Примечание. Действие функции «*G95*» будет рассмотрено ниже.

Рис.5.9. Пример выполнения канавки

5.3. Коррекция радиуса рабочей вершины токарного резца

Как было отмечено выше, рабочая вершина токарного резца P_i (поз.5 на рис.5.5) является его программной точкой. При этом очевидно, что реальная рабочая вершина резца не может быть абсолютно острой и имеет некоторый радиус скругления. При движении резца параллельно осям X и Z заданная геометрия контура отображается на заготовке без искажений. Однако при обработке поверхностей, расположенных под некоторыми углами к осям X и Z , резец осуществляет касание контура некоторой плавающей точкой, лежащей на скруглении его рабочей вершины. Таким образом, возникает погрешность между теоретической траекторией и реальным контуром обработки.

С целью устранения геометрических погрешностей при обработке контурных поверхностей в систему ЧПУ станка вводится поправка,

переносящая программную точку P_i непосредственно на скругленную поверхность вершины резца. Эта поправка называется **КОРРЕКТОРОМ РАДИУСА РАБОЧЕЙ ВЕРШИНЫ РЕЗЦА** или (сокращенно) **КОРРЕКТОРОМ РАДИУСА**. Корректировка делает точку P_i «плавающей», перемещающейся вдоль радиуса рабочей вершины резца. Эта точка располагается непосредственно напротив контура обработки (в плане $X-Z$) в каждый текущий момент времени. Как было упомянуто выше, величина радиуса скругления обозначается « R_S » и вносится в таблицу параметров инструментов (табл.5.1). Корректор радиуса вводится в действие в момент подвода резца к контуру обработки на прямолинейном участке траектории командой УП, содержащей одну из указанных ниже функций:

- «**G41**», когда контур обработки расположен справа от резца;
- «**G42**», когда контур обработки расположен слева от резца.

В командном кадре, содержащем ввод в действие корректора радиуса, система ЧПУ осуществляет вызов раздела таблицы инструментов (табл.5.1), содержащей параметры заданного резца. Указанный кадр УП выглядит следующим образом:

G1 G42 X8.85 Z-11 D05 F0.05,

где **D05** – вызов раздела таблицы инструментов с параметрами резца **T5**.

Отключение корректора радиуса производится функцией «**G40**» в момент отвода инструмента от контура обработки на прямолинейном участке траектории движения инструмента.

Сторона обработки (контур справа или слева) определяется по правилу аналогичному правилу определения направления циркуляции (см. выше). Варианты кодирования корректора радиуса приведены на рис.5.10.

На рис. 5.11 приведена графическая интерпретация механизма возникновения погрешности на рабочей вершине токарного резца. Пунктирными линиями обозначены теоретические контуры обработки, сплошными утолщенными линиями – реальные выполняемые контуры. Как видно из приведенной схемы обработки наружного и внутреннего сегментов окружности, геометрическая погрешность при обработке контура может быть весьма существенной. Погрешность эта тем больше, чем больше радиус скругления рабочей вершины резца R_S .

Ввод в действие *корректора радиуса* осуществляется системой ЧПУ станка по следующим параметрам резца:

- радиус скругления рабочей вершины резца R_S ;
- сторона обработки контура («справа» по **G41** или «слева» по **G42**);
- код «A» расположения рабочей вершины резца в плане $X-Z$ (рис.5.7).

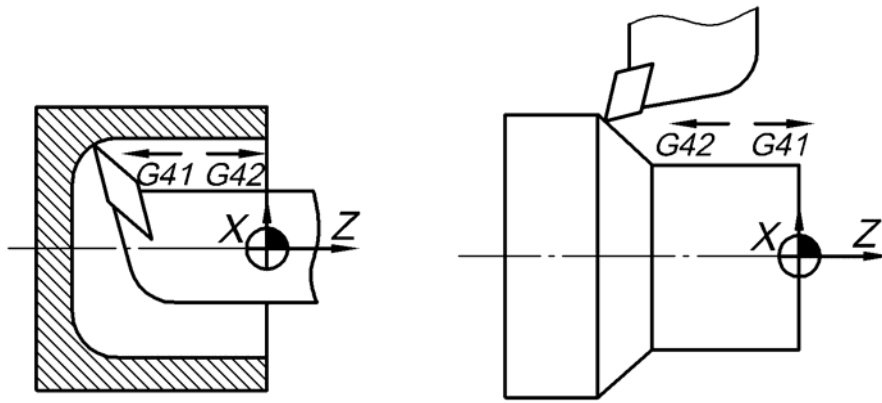


Рис.5.10. Варианты кодирования корректора радиуса

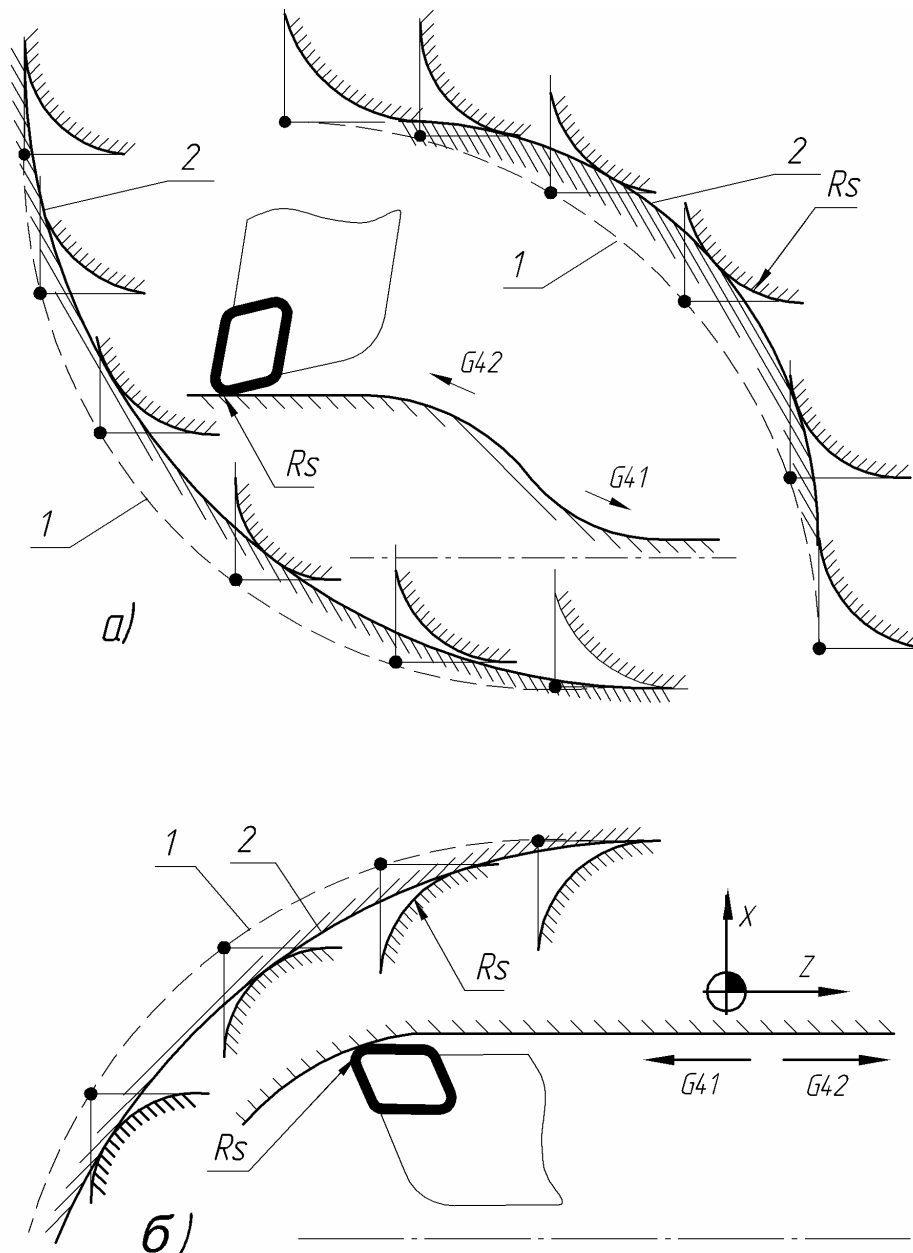


Рис.5.11. Погрешность при токарной обработке контура:
 а) движение радиально расположенного резца; б) движение расточного резца;
пунктирные линии – теоретические контуры обработки;
сплошные утолщенные линии – реально выполняемые контуры

Примечания.

1. Параметры « A » и « R_S » вносятся в таблицу инструментов (табл.5.1) в процессе выполнения пуско-наладочных работ.
2. Примеры программирования с применением коррекции радиуса рабочей вершины резца будут рассмотрены ниже в разделе 6.

5.4. Программирование режимов резания

Одним из важнейших вопросов программирования обработки деталей является расчет и назначение режимов резания. Основными расчетными параметрами являются (рис.5.12,а):

- **ПОДАЧА ИНСТРУМЕНТА** вглубь заготовки « S », которая может задаваться в «мм/мин» или в мм «мм/об»; для программирования цикла сверления центрального отверстия более актуальным является параметр «мм/мин», а для программирования переходов точения – «мм/оборот»;
- скорость резания « V » (м/мин), представляющая собой скорость перемещения обрабатываемой поверхности относительно рабочей вершины резца;
- глубина резания « t » (мм), представляющая собой толщину снимаемой стружки в расчете на радиус обрабатываемой детали; отметим, что при назначении глубины резания следует учитывать мощность главного привода станка, а также жесткость узла крепления инструментов.

В токарных станках с ЧПУ величина подачи инструмента S (в тексте УП она обычно обозначается « F ») может задаваться как «мм/мин», так и в «мм/оборот». Эти величины связаны между собой зависимостью:

$$F(\text{мм/оборот}) = F(\text{мм/мин}) : n(\text{об/мин}).$$

Вид программирования подачи инструмента может быть задан одной из двух представленных команд:

- «**G94**» определяет подачу инструмента S в «мм/мин» при постоянной частоте вращения шпинделя n (об/мин). Метод применяется при программировании цикла сверления центрального отверстия;
- «**G95**» определяет подачу инструмента S в «мм/оборот» при постоянной частоте вращения шпинделя n (об/мин). Метод применяется при программировании переходов точения. Рекомендуется задавать $S=0,1 \dots 0,3$ при черновом точении и $s=0,05 \dots 0,1$ при чистовом точении.

При токарной обработке рабочая вершина резца может смещаться с одного вращающегося диаметра на другой. Допустим частота вращения n постоянна. В этом случае резец перемещается вдоль обрабатываемого контура с изменением текущего диаметра (рис.5.12,б). Тогда в соответствии с формулой:

$$V=\pi Dn/1000,$$

где D – диаметр резания, мм; n – частота вращения, об/мин, скорость резания V является переменной величиной. Она может оказываться нерасчетной на отдельных участках траектории, что снижает качество выполнения детали.

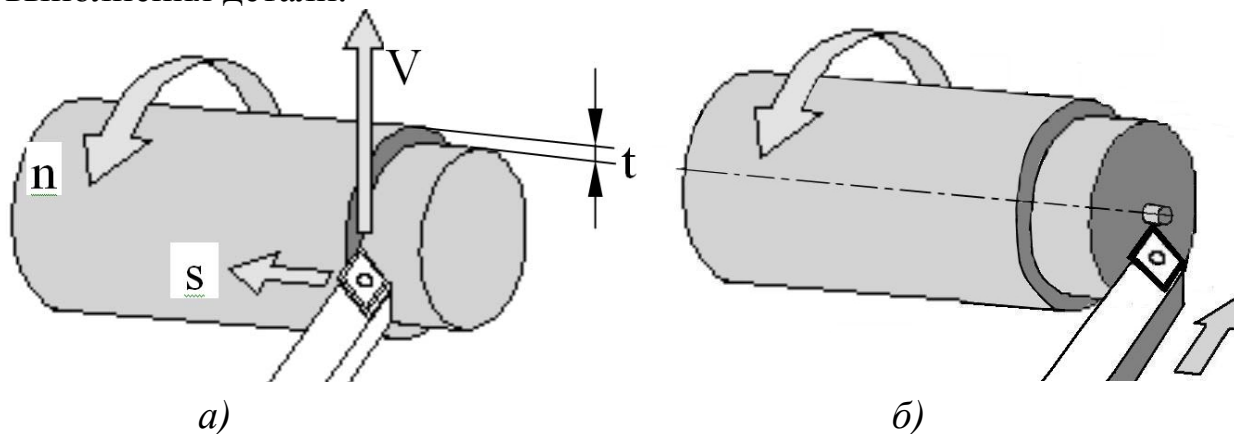


Рис.5.12. Виды перемещений резца вдоль обрабатываемых поверхностей:
 а) графическая интерпретация параметров расчета режимов резания;
 б) движение резца с изменением текущего диаметра обработки

Для обеспечения оптимальных режимов обработки поверхностей, лежащих на различных диаметрах, в системах ЧПУ современных станков предусмотрен механизм обеспечения заданной постоянной скорости резания V . Постоянная скорость резания задается по команде «**G96**»; при этом подача инструмента S определяется в расчете «мм/оборот». Отметим, что в тексте УП, совместно с функцией **G96**, скорость резания V обозначается «**S**». Например, командный кадр:

G96 S120

задает скорость резания $V=120$ м/мин. Следует учитывать, что режим обработки с постоянной скоростью резания (по функции **G96**) отменяется любой из описанных выше режимов: **G94** или **G95**. Отметим, что в системе ЧПУ «**Mach3**» обработка при заданной постоянной скорости резания V (по команде «**G96**») не предусмотрена.

При токарной обработке с постоянной скоростью резания (по функции **G96**) частота вращения шпинделя n является переменной величиной и увеличивается при движении рабочей вершины резца от периферии к центру вращения (рис.5.12,б). Это требует введения в систему ЧПУ станка дополнительного ограничительного параметра – максимальной частоты вращения, выше которой шпиндель разгоняться не может: n_{\max} (об/мин). Величина n_{\max} задается в УП функцией «**G92**» символом «**S**». Например, максимальная частота вращения $n_{\max}=2000$ об/мин устанавливается кадром:

G92_S2000

5.5. Смещение траекторий движения инструментов

Как известно, при высоких требованиях к качеству выполняемых поверхностей их обработка осуществляется за два и более технологических перехода инструмента. При этом каждый черновой переход должен производиться с заданным припуском по отношению к контуру чистовой обработки. Программное обеспечение **Mach3** позволяет использовать при программировании траектории чернового перехода токарного резца непосредственно контур обрабатываемой поверхности; дополнительных геометрических построений не требуются.

На рис.5.13 приведен пример программирования черновой и чистовой обработки поверхности с использованием контура готовой детали. Для выполнения чернового перехода инструмента производится временное смещение системы координат детали (а вместе с ней и контура обработки). Направление и величина смещения задаются командой «**G52**». В рассматриваемом примере для черновой обработки поверхности с припуском 0.1 мм система координат детали смещается в направлении «**X+**» (от детали) командным кадром «**G52_X0.1**». Контур черновой обработки обозначен на рис.5.13 пунктирными линиями.

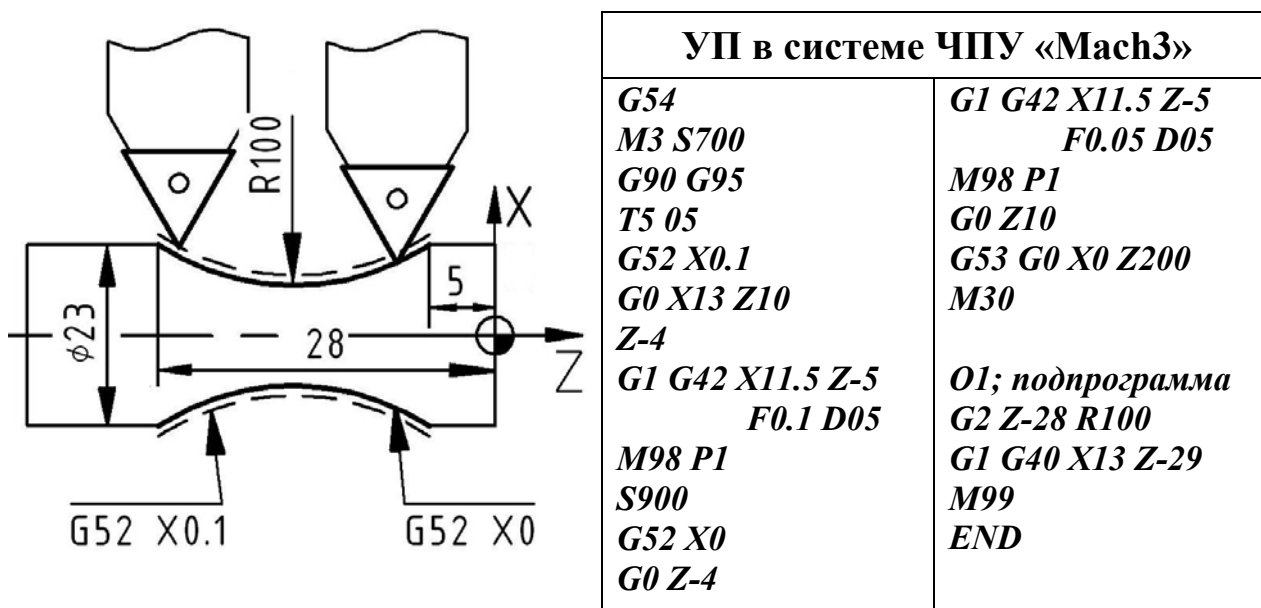


Рис.5.13. Программирование контура с применением временного смещения системы координат детали

По окончании черновой обработки контура система координат детали должна быть возвращена на ось вращения шпинделя. Смещение системы координат в обратном направлении производится по команде «**G52_X0**», в которой «**X0**» обозначает нулевое смещение системы координат детали. Отмена временного смещения системы координат происходит также при вызове очередного инструмента, либо при аварийном сбросе УП, либо при завершении УП.

После возвращения системы координат детали на прежнюю позицию производится чистовая обработка контура. В приведенном примере повторяющиеся кадры УП, задающие черновую и чистовую обработку поверхности детали, выделены в подпрограмму. В программном обеспечении ***Mach3*** текст подпрограммы записывается в общем файле с текстом УП после ее окончания. При этом, как показано в примере, вслед за кадром на окончание подпрограммы «***M99***» существует необходимость ввода дополнительного кадра с записью «***END***».

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

В настоящем разделе будут рассмотрены общие принципы выполнения пуско-наладочных работ и программирования операций на станках с ЧПУ токарной группы. Описание проведено на примере работы станка фирмы «РЕАБИН» с программным обеспечением *Mach3*.

6.1. Рабочая зона станка и установка инструментов

Как и в большинстве токарных станков с ЧПУ, в станке «РЕАБИН» патрон располагается слева от оператора. РГ (рис.6.1) установлена на суппорте со стороны оператора, осуществляет перемещения в горизонтальной плоскости (рис.6.2) и имеет 8 мест для установки инструментов. Радиально расположенные инструменты, предназначенные для наружной обработки деталей, устанавливаются в пазах на позициях #1, #3, #5, #7.

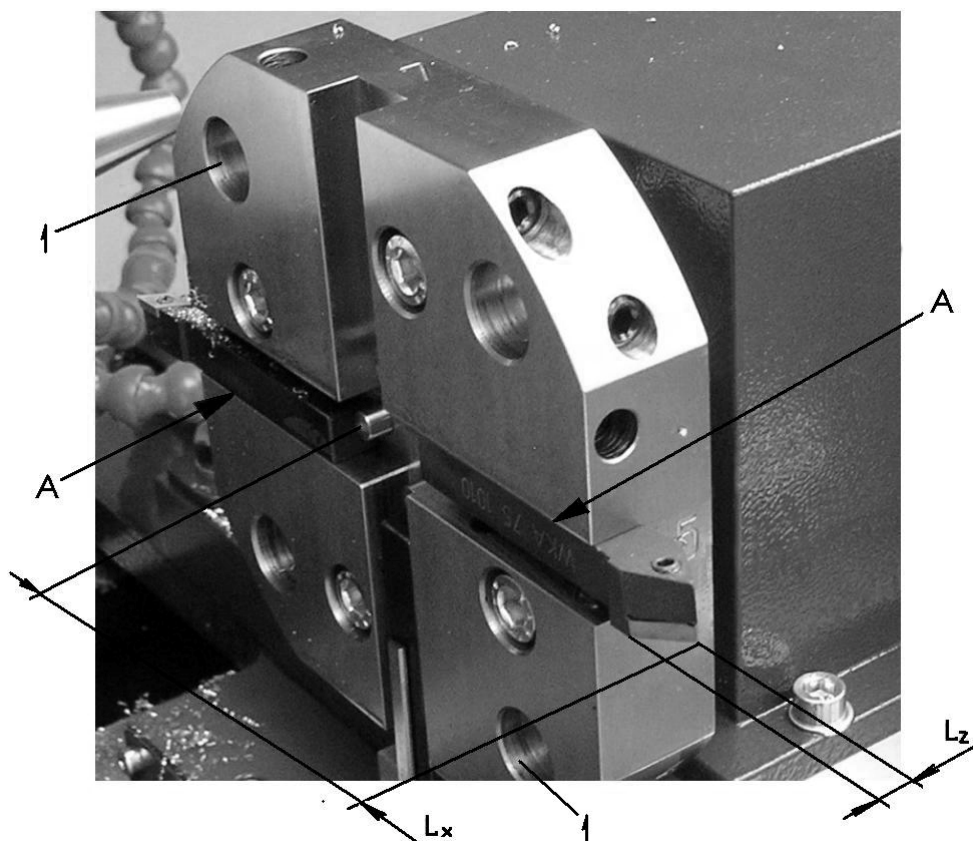


Рис.6.1. Револьверная головка станка «Реабин»

Режущие кромки токарных резцов должны располагаться строго напротив оси вращения детали. Радиальное смещение резца относительно заготовки существенно ухудшает условия его работы и снижает качество обрабатываемых поверхностей. Для радиально расположенных резцов существует несколько способов установки без радиального смещения

режущей кромки. Опишем один из них. Инструмент устанавливается на рабочую позицию и подводится к заготовке. После этого включается вращение патрона и осуществляется сьем стружки с торцевой поверхности заготовки (движение резца в направлении «X-»). Если резец установлен с радиальным смещением, в центральной части заготовки остается необработанный участок (рис.6.3).

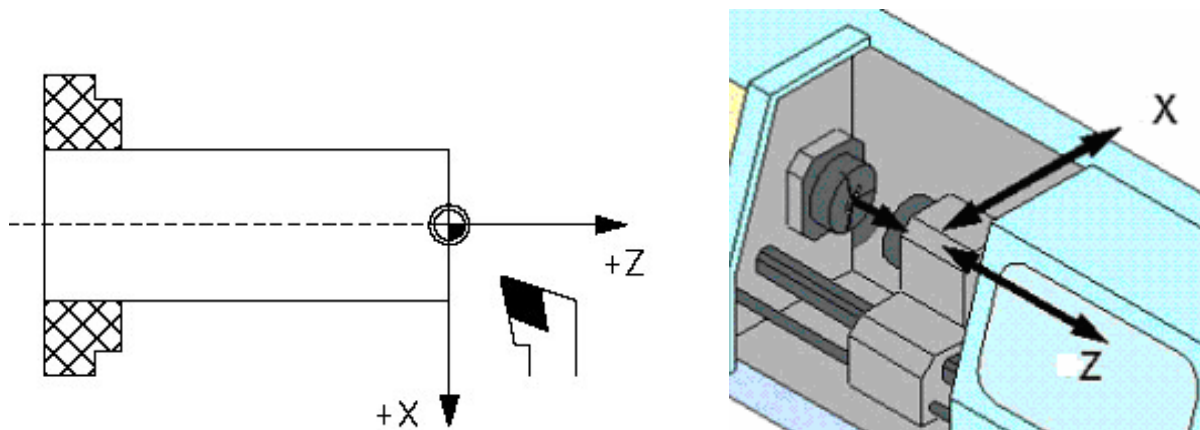


Рис.6.2. Схема рабочей зоны станка и направления перемещений инструментов

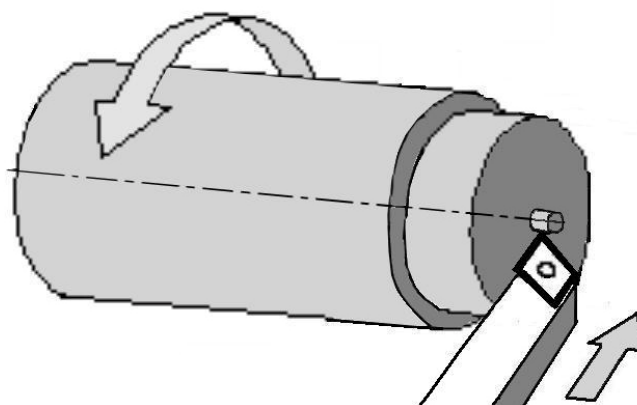


Рис.6.3. Определение величины смещения радиально расположенного резца

Для устранения радиального смещения резца следует приподнять его НА ВЕЛИЧИНУ, РАВНУЮ РАДИУСУ НЕОБРАБОТАННОГО УЧАСТКА. Для этого под оправку резца в паз РГ следует подложить пластину или фольгу заданной толщины (на рис.6.1 место установки пластины или фольги под оправку обозначено «А»). Далее следует повторить процедуру обработки торца (рис.6.3) и убедиться, что величина диаметра необработанного участка не превышает 0,2 мм.

Описанное смещение радиально расположенных резцов в станке «РЕАБИН» вызвано отклонением в установке механизма крепления суппорта. Поэтому режущие кромки всех резцов имеют равные отклонения относительно оси детали. Соответственно, все инструменты, закрепленные в РГ, имеют одинаковую величину радиального смещения.

Поэтому для определения величин радиальных смещений этих инструментов достаточно провести испытание только с одним из них.

Инструменты, предназначенные для обработки внутренних поверхностей (расточные резцы, а также инструменты, осуществляющие сверлильные операции), устанавливаются в отверстия 1 (рис.6.1) на позициях #2, #4, #6, #8. Режущие кромки расточных резцов также должны располагаться напротив оси детали (рис.6.4,а).

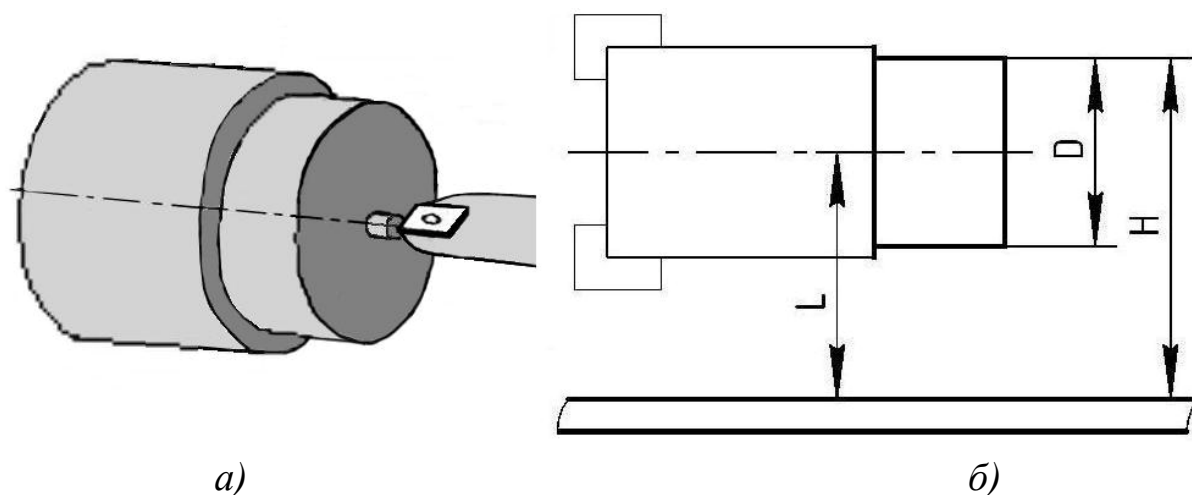


Рис.6.4. Действия по установке углового положения расточного резца

Станок не имеют механизма угловой фиксации расточных резцов в отверстиях 1, поэтому установка режущих кромок этих инструментов напротив оси вращения детали требует выполнения специальных процедур:

1. Установить пруток в патрон станка. Вызвать радиально расположенный упорный резец. Осуществить им проточку участка поверхности прутка со снятием минимального слоя стружки.
2. Измерить диаметр D указанного участка прутка, а также расстояние H от наивысшей точки этого участка до какого-либо элемента основания станка (рис.6.4,б).
3. Определить расстояние L от центра вращения детали до этого же элемента основания станка, используя формулу:

$$L=H-(D/2).$$

4. Вызвать расточной резец на рабочую позицию, ослабить его крепление.
5. Установить штангельциркуль на размер L , зафиксировать его.
6. По хвостовику штангельциркуля установить режущую кромку резца на расстоянии L от вышеупомянутого элемента основания станка.
7. Закрепить резец.

6.2. Виртуальный пульт системы ЧПУ «Mach3»

Управление станком осуществляется с виртуального пульта, многие кнопки которого дублируются клавиатурой компьютера. Виртуальный пульт содержит четыре окна; при включении станка на экран компьютера по умолчанию выходит виртуальное окно «Программа» (рис.6.5). В процессе пуско-наладки и работы станка также могут быть задействованы окна «Траектория» и «Установки». Четвертое окно «Диагностика» предназначено для настройки и ремонта станка и в процессе штатной работы не применяются. Переключение окон виртуального пульта осуществляется кнопками, размещенными в нижней части экрана (рамка поз.1).

Табло «Текущие значения координат», отображающее перемещения по осям **X** и **Z**, размещено в верхней части экрана и имеет две системы отсчета: в системе координат станка (СК станка) и в системе координат детали (СК детали). Переключение между системами отсчета производится кнопками, обозначенными «СК станка» и «СК детали» размещенными в левом верхнем углу окна (рамка поз.2). Кнопки «Базы» слева от этого табло позволяют отводить суппорт в исходную точку отдельно по каждой из двух координатных осей. Отметим, что в станке «РЕАБИН» исходная точка располагается на внешнем ограничителе перемещений по оси **X** и ограничителе по оси **Z** со стороны патрона. Безопасным считается перемещение по оси **X**, затем по оси **Z**.

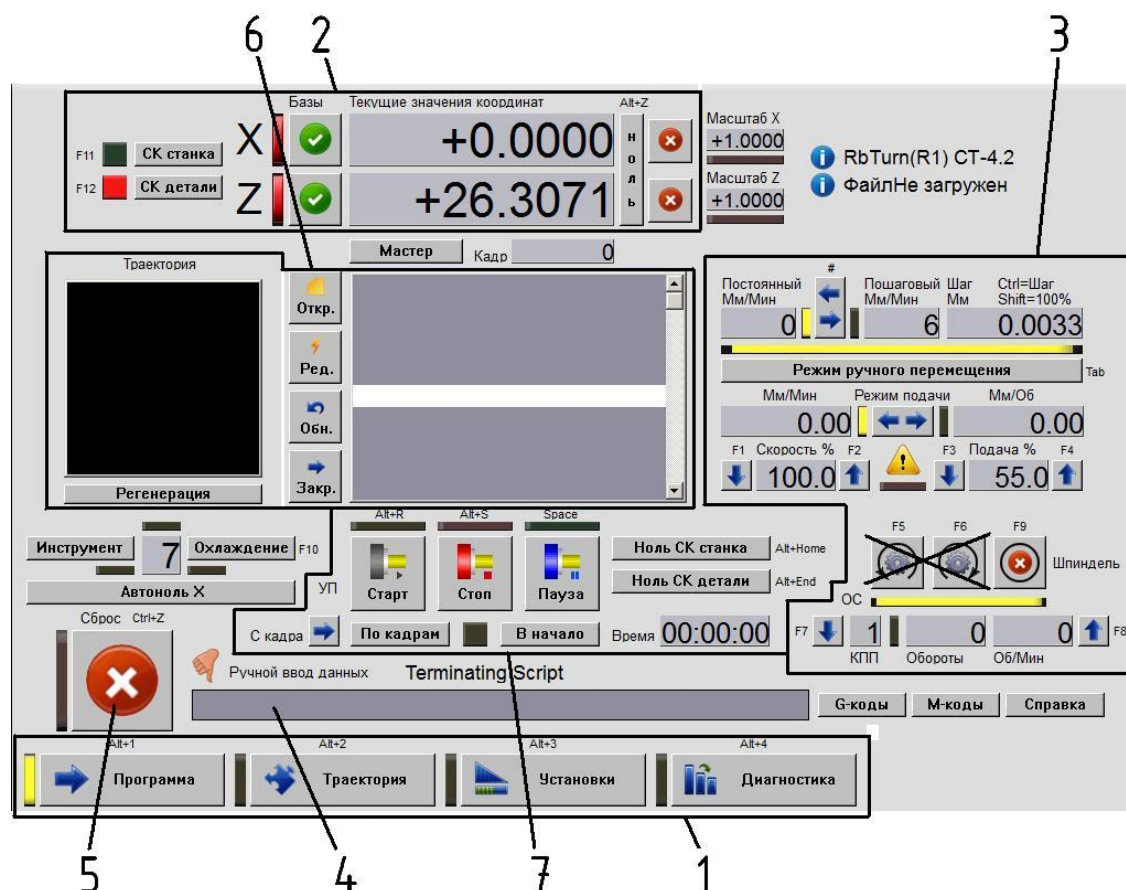


Рис.6.5. Окно виртуального пульта «Программа»

В правой части экрана (рамка поз.3) размещены кнопки ручного управления станка: назначение режима и величины подачи суппорта, назначение направления и частоты вращения патрона, включение и отключение вращения. Рядом с табло ввода частоты вращения расположено табло, отображающее реальные величины частоты вращения станка в текущий момент времени. Максимально возможное значение частоты вращения патрона, задаваемое с пульта либо по УП, равно 900 об/мин.

Станок имеет в своем составе двухступенчатый редуктор, определяющий соотношение величин заданной и реальной частоты вращения патрона. Редуктор не связан с системой ЧПУ станка, его положение заблаговременно задается оператором с помощью поворота рычага. Поворот рычага в крайнее левое (по отношению к оператору) положение включает ступень 1 редуктора. В этом случае величина реальной частоты вращения патрона соответствует (в пределах допустимого отклонения) заданному значению (рис.6.6,а). Поворот рычага в вертикальное положение включает ступень 2 редуктора. В этом случае величина реальной частоты вращения патрона вдвое превышает заданное значение (рис.6.6,б). При этом не имеет значения, происходило ли задание частоты вращения в ручном (с пульта) или в автоматическом режиме.

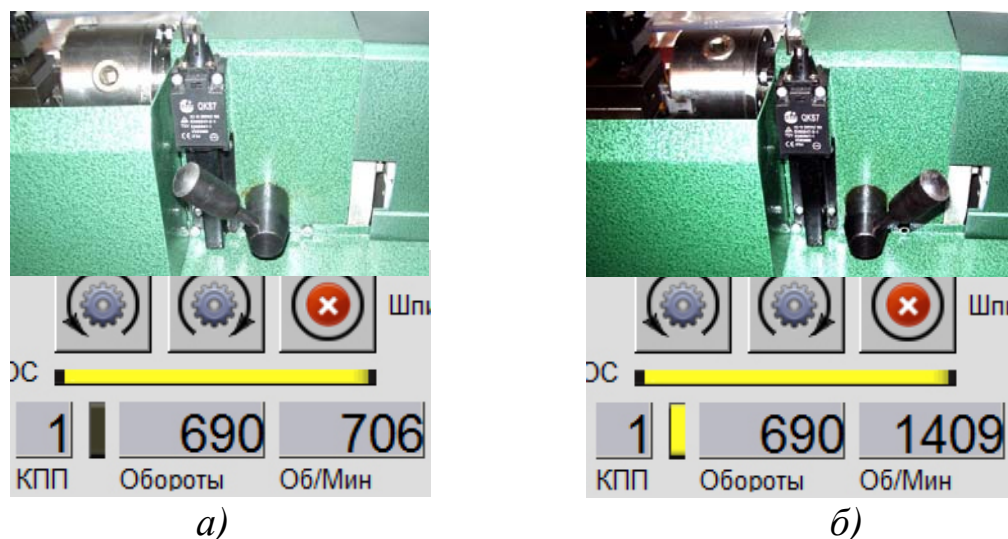


Рис.6.6. Рычаг управления двухступенчатым редуктором:
а) включение ступени 1; б) включение ступени 2

На рис.6.5 виртуальные клавиши ручного включения вращения шпинделя (см. в рамку 3) перечеркнуты. Это означает, что их использование крайне нежелательно. Дело в том, что после хотя бы однократного включения вращения шпинделя с помощью указанных клавиш станок перестает реагировать на команды УП, задающие величину частоты вращения шпинделя. Допустим, в процессе пуско-

наладки вы запускали шпиндель с частотой вращения 300 об/мин, применяя указанные клавиши. Далее вам необходимо использовать станок в автоматическом режиме и задать обработку детали с частотой вращения шпинделя 800 об/мин. Соответственно, вы записываете в тексте УП командный кадр «**M3 S800**». Станок по этой команде включает шпиндель, но не с частотой вращения 800 об/мин, а с установленной ранее в ручном режиме частотой 300 об/мин. Поэтому в процессе настройки станка следует избегать использования клавиш ручного включения вращения шпинделя. Запуск вращения шпинделя следует осуществлять с применением командной строки «Ручной ввод данных» (поз.4), действие которой будет описано ниже.

Перемещение суппорта в ручном режиме могут производиться с клавиатуры (клавиши «влево-вправо» и «вверх-вниз») при включенном пульте «Программа». В верхней части рамки (поз.3 на рис.6.5) размещена кнопка, переключающая режимы пошагового и непрерывного перемещения. При пошаговом перемещении актуальной является величина шага, которая устанавливается кнопкой, расположенной в правом верхнем углу рамки (на рис.6.5 изображена кнопка с включенным минимальным для станка значением равным 0.0033 мм).

Покадровый ввод команд автоматической работы станка (английская аббревиатура этого действия «MDI») производится в командной строке «Ручной ввод данных» (поз.4). Исполнение команд: клавиша «Enter». В левой части экрана размещена кнопка аварийного отключения станка (поз.5), дублирующая красную кнопку, размещенную на станке рядом с патроном. Повторное нажатие кнопки (поз.5) сбрасывает аварийного отключение.

Окно с текстом активной УП размещено в центральной части экрана компьютера (поз.6). Слева от окна расположены кнопки вызова, редактирования и обновления УП. Тексты УП формируются в файлах с расширением «*.txt*» стандартной программы «Блокнот» и хранятся в памяти компьютера. При работе станка по УП на экране появляется курсор, считывающий команды УП в текущий момент времени. Слева от окна с текстом активной УП размещен экран траекторий, отображающий перемещения обрабатывающих инструментов.

В рамке поз.7 (рис.6.5) размещены кнопки управления автоматической работой станка. Они позволяют запускать и останавливать программу, переносить считывающее устройство в начало УП, включать и отменять режим покадрового исполнения команд УП. Рядом располагаются кнопки, позволяющие переносить инструмент, а именно, его условную вершину, в исходную точку станка либо в ноль СК детали (рис.6.2). Отметим, что перемещение в исходную точку станка с

помощью кнопки «Ноль СК станка» осуществляется по небезопасной траектории и к использованию не рекомендуется.

Окно виртуального пульта «Траектория» (рис.6.7) содержит большой экран траекторий. Окно «Траектория» имеет набор кнопок, обеспечивающий работу станка в автоматическом режиме и дублирующий соответствующие кнопки окна «Программа» (рис.6.5). Экраны траекторий окон «Программа» (рис.6.5) и «Траектория» (рис.6.7) предназначены как для отображения траекторий движения инструментов в процессе работы станка, так и для графического моделирования УП (симуляции). При вызове и активации УП на экране появляется запрограммированная траектория. При наличии ошибок программирования на поле окна «Программа» (рис.6.5) появляется соответствующее сообщение. Проверить траекторию пошагово можно, перемещая курсор по кадрам в окне активной УП. При реальной работе станка по УП на экране отслеживается текущее движение инструмента.

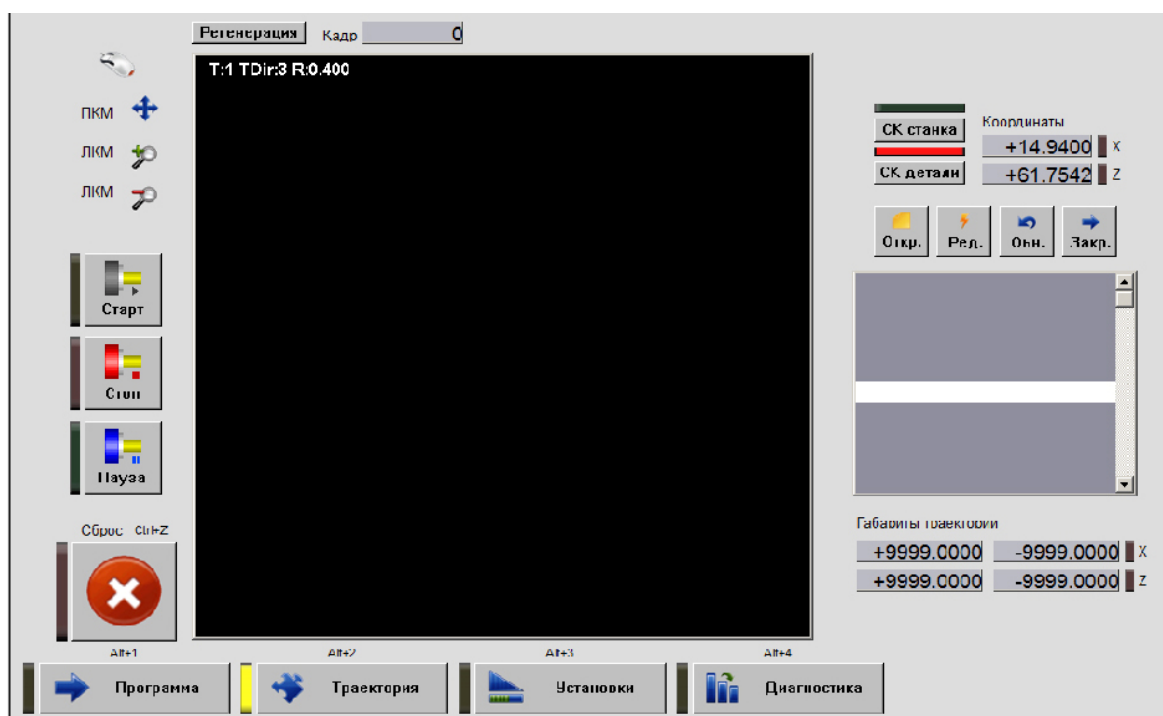


Рис.6.7. Окно виртуального пульта «Траектория»

6.3. Привязка системы координат детали к системе станка

На следующем этапе пуско-наладочных работ осуществляется ПРИВЯЗКА системы координат обрабатываемой детали к системе координат станка с целью совмещения контура обработки детали к реально расположенной заготовке. В общем случае требуется определить КОНСТАНТУ СМЕЩЕНИЯ ZMW_i нулевой точки детали относительно нуля станка (рис.5.4). Привязка производится с помощью касания одним из инструментов плоскости детали, перпендикулярной оси ее вращения

(рис.6.8). Эта плоскость называется НАСТРОЕЧНОЙ БАЗОЙ, а инструмент, которым производится касание, называется ОБРАЗЦОВЫМ.

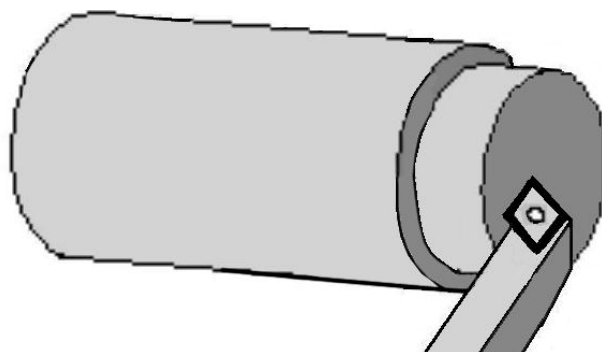


Рис.6.8. Касание настроечной базы образцовым инструментом

Определяемая в процессе измерения величина представляет собой координату рабочей вершины ОБРАЗЦОВОГО инструмента в системе координат станка в момент ее касания настроечной базы. Положение системы координат детали по отношению к настроечной базе, отображаемое корректирующей поправкой « ΔZ », должно быть известно заранее. Величина ΔZ будет задействована в последующих расчетах по определению константы смещения нулевой точки детали.

Перед началом процедуры привязки необходимо из окна виртуального пульта «Установки» (рис.6.9) вызвать таблицу инструментов. Вызов производится одноименной кнопкой, размещенной в левой части экрана. В таблице следует обнулить численные значения величин корректоров всех задействованных инструментов (рис.6.10).

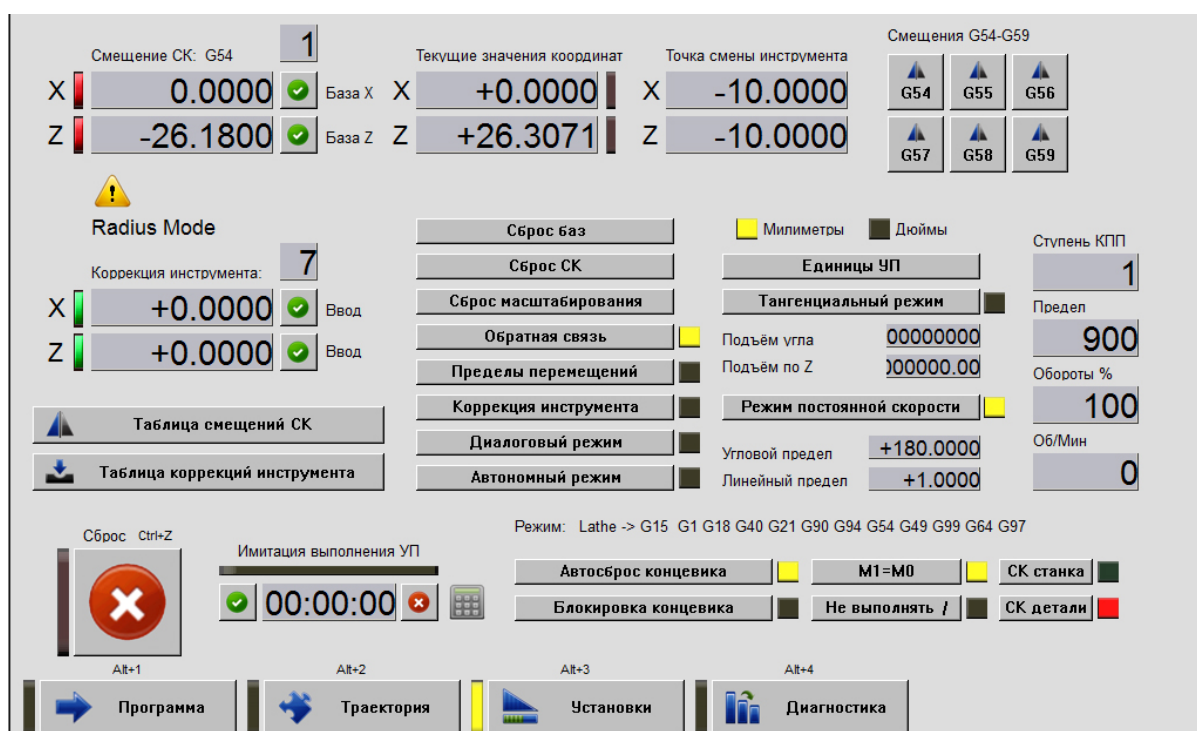


Рис.6.9. Окно виртуального пульта «Установки»




Таблица инструмента									
Tool	Описание	Tip Dir...	Tip Ra...	X Offset	Z Offset	X Wear	Z Wear	Turret...	Post
0	Ref. Tool	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
 1	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 2	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
									

Рис.6.10. Таблица инструментов с обнуленными значениями

В системе ЧПУ *Mach3*, отсчеты перемещений в системе координат станка производится от его ИСХОДНОЙ, а не от НУЛЕВОЙ точки (рис.5.5). Поэтому в процессе пуско-наладки определяется не константа смещения ZMW_i (рис.5.4), а некоторое привязанное к ней число. Назовем его ПРИВЕДЕННОЙ КОНСТАНТОЙ СМЕЩЕНИЯ.

ПРИВЕДЕННАЯ КОНСТАНТА СМЕЩЕНИЯ представляет собой расстояние от нулевой точки детали до ИСХОДНОЙ точки станка по оси *Z* за вычетом вылета программной точки образцового инструмента по этой оси.

Определенная таким образом приведенная константа смещения, вносится в таблицу «Рабочие коррекции» (рис.6.11). При этом смещение нулевой точки детали по оси *X* всегда принимается равным нулю. Отметим, что кроме базовых ячеек «*G54...G59*», предназначенных для ввода констант смещений, система ЧПУ поддерживает дополнительные ячейки «*G59Pi*». Принцип их действия идентичен базовым ячейкам, но применяются они крайне редко.

Рабочие коррекции (смещения)				Рабочие смещения			
G-Code Pos	X	Y	Z	A	B	C	Name
G54	0.	0.	34.925	0.	17.	0.	G54
G55	0.	0.	10.3	0.	17.	0.	G55
G56	0.	0.	7.8	0.	17.	0.	G56
G57	0.	0.	0.	0.	0.	0.	G57
G58	0.	0.	0.	0.	0.	0.	G58
G59	0.	0.	0.	0.	0.	0.	G59
G59P7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	G59P7
G59P8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	G59P8

Рис.6.11. Таблица смещений нулевых точек детали (рабочих коррекций)

Для выполнения привязки системы координат детали к системе координат станка необходимо переключить табло «Текущие значения координат» (рамка 2 на рис.6.5), на режим отсчета перемещений в системе координат станка. Далее следует определить один из инструментов, участвующих в обработке детали, как ОБРАЗЦОВЫЙ и выбрать одну из плоскостей заготовки в качестве НАСТРОЕЧНОЙ БАЗЫ. Отметим, что настроечная база обычно совпадает с плоскостью расположения нулевой точки детали. В случае несовпадения этих плоскостей наладчику заранее должна быть известна вышеупомянутая корректирующая поправка ΔZ , отображающая положение системы координат детали по отношению к настроечной базе.

Касание настроечной базы (рис.6.8) производится при перемещении образцового инструмента кнопками ручного управления (рамка поз.3 на рис.6.5). Существует два способа ввода величины приведенной константы смещения в систему ЧПУ станка. Выбор способа зависит от того, совпадает ли настроечная база с плоскостью расположения нулевой точки СК детали.

1. Ручной ввод данных, который применяется, если настроечная база не совпадает с плоскостью расположения нулевой точки детали.

Табло «Текущие значения координат» (рамка 2 на рис.6.5), переключается в режим «СК станка». Затем производится касания образцовым инструментом настроечной базы. В момент, когда инструмент находится в позиции касания настроечной базы, на табло фиксируется величина приведенной константы смещения по оси Z . К полученному значению добавляется (с учетом направления смещения) корректирующая поправка ΔZ , отображающая положение нуля детали по отношению к настроечной базе. Полученная величина – это приведенная константа смещения. Затем из окна виртуального пульта «Установки» (рис.6.9) кнопкой «Таблица смещений СК» вызывается таблица «Рабочие коррекции» (рис.6.11). Величина приведенной константы смещения вносится в ячейку « Z » таблицы напротив кодированного обозначения системы координат детали ($G54...G59$). Далее параметры этой ячейки активизируются кнопками «Выбрать» и «Сохранить». Наименование активной ячейки ($G54...G59$), а также внесенное в нее значение приведенной константы смещения фиксируются на табло в левом верхнем углу окна виртуального пульта «Установки» (рис.6.9).

2. Автоматический ввод данных; это упрощенная процедура, которую удобно применять в случае совпадения настроечной базы с плоскостью расположения нулевой точки детали.

В этом случае табло «Текущие значения координат» (рамка 2 на рис.6.5), переключается в режим «СК детали». Далее с помощью кнопок «**G54...G59**», виртуального пульта «Установки» (рис.6.9), производится выбор СК детали. Затем производится касание образцовым инструментом настроечной базы. В момент касания следует нажать на кнопку «х», расположенную справа от табло «Текущие значения координат» по оси **Z** (рамка поз.2 на рис.6.5). Табло координат по оси **Z** обнуляется, и таким образом текущее положение программной точка образцового инструмента по оси **Z** становится нулевой точкой детали. Одновременно с этим в соответствующую ячейку таблицы «Рабочие коррекции» автоматически вводится значение приведенной константы смещения системы координат детали. Эта же величина появляется на табло «Смещение СК», размещенного в левой части окна виртуального пульта «Установки». (рис.6.9)

Отметим, что кнопки «**G54...G59**» дублируют кнопку «Выбрать» таблицы «Рабочие коррекции» (рис.6.11). С помощью этих кнопок имеется возможность активизации одной из ранее установленных систем координат детали в процессе переналадки станка.

6.4. Коррекция длины инструментов

Как было отмечено выше, в комбинированной обрабатывающей операции может быть задействовано несколько инструментов, установленных в РГ станка. Эти инструменты различаются по величине вылетов в направлении координатной оси **X** (корректор L_X) и **Z** координатной оси (корректор L_Z) (рис.5.6). Все данные о характеристиках инструментов вносятся в сводную таблицу инструментов (рис.6.10), вызов которой производится кнопкой «Таблица коррекций инструментов» окна виртуального пульта «Установки» (рис.6.9). Определение корректоров длины инструментов производится после назначения образцового инструмента и определения с его помощью приведенной константы смещения для заданной системы координат детали (см. предыдущий раздел).

В общем случае значения вылетов L_X и L_Z (рис.5.6) могут быть определены на специальных измерительных устройствах. При их отсутствии в систему удобнее вводить приведенные величины корректоров, которые рассчитываются по специальным методикам. Опишем практическое применение одного из таких методов в системе ЧПУ *Mach3*. Параметр, соответствующий приведенному корректору длины по оси **X**, вводится в колонку таблицы инструментов (рис.6.10), обозначенную « X_offset »; параметр, соответствующий приведенному

корректору длины по оси *Z*, вводится в колонку, обозначенную «*Z_offset*». Значения приведенных корректоров длины инструментов «*X_offset*» и «*Z_offset*» определяются раздельно.

В колонку «Описание» «Таблицы коррекций инструментов» вносятся краткие технологические характеристики инструментов. В колонку «*Tip Dir.*» (сокращенно «*Tip direction*») вносятся значения кода расположения рабочих вершин в плане *X-Z*, обозначаемого «*A*» (рис.5.7). Радиус режущей кромки резца вносится в столбец «*Turret*» (так настроена система *Mach3*).

В качестве примера рассмотрим формирование таблицы инструментов с шестью задействованными ячейками (рис.6.12):

















- T1* – радиально расположенный упорный резец, выбранный в качестве ОБРАЗЦОВОГО;
- T3* – канавочный резец, содержащий две рабочие вершины;
- T5* – радиально расположенный резец типа «копир»;
- T6* – сверло Ø=6,4 мм;
- T7* – радиально расположенный упорный обратный резец;
- T8* – фреза Ø=8 мм.

Перед началом процедуры определения корректоров длины следует убедиться, что в ячейках «*X_offset*» и «*Z_offset*» таблицы (рис.6.10) в поля измеряемых инструментов предварительно внесены нулевые значения.

6.4.1. Определение приведенного корректора длины по оси *X*

ПРИВЕДЕННЫЙ КОРРЕКТОР длины инструмента по оси *X* (*X_offset*) представляет собой расстояние от его программной точки данного инструмента до центра вращения детали в момент расположения суппорта с резцом в исходной точке станка.

Для каждого из задействованных инструментов определение корректора производится следующим образом. В патрон вставляется заготовка. При этом табло «Текущие значения координат» (рамка 2 на рис.6.5), переключается в режим «СК станка». Затем командой «*Ti_0i*» вызывается очередной инструмент (например, «*T5_05*»). Далее включается вращение патрона, и в ручном режиме производится снятие тонкой стружки с поверхности заготовки. В момент снятия стружки табло «Текущие значения координат» фиксирует величину смещения программной точки резца при движении из исходной точки станка до обрабатываемой поверхности в направлении «*X*-» (эта величина всегда меньше нуля).

Таблица инструмента									
Tool	Описание	Tip Dir...	Tip Ra...	X Offset	Z Offset	X Wear	Z Wear	Turret...	Post
0	Ref. Tool	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
 1	Обточной упорный	3.0000	0.0000	-16.0500	0.0000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 2	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 3	Канав., кромка 1	3.0000	0.0000	-18.7100	-0.3900	0.0000	0.0000	0.2000	Front
 4	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 5	Обточной копир	8.0000	0.0000	-14.4700	-6.4000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 6	Сверло Д_6.4	0.0000	0.0000	-35.7000	78.7800	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 7	Обт. упор. обратн.	4.0000	0.0000	-17.9800	-13.9500	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 8	Фреза Д_8	0.0000	0.0000	-35.7000	38.7100	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 9	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 10	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 11	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 12	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 13	Канав., кромка 2	4.0000	0.0000	-18.7100	-1.8900	0.0000	0.0000	0.2000	Front
 14	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 15	Обт. копир условн.	8.0000	0.0000	-14.3700	-6.4000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 16									

Применить
OK

Рис.6.12. Пример таблицы инструментов

А. Корректор длины (вылет) радиально расположенного резца.

На рис.6.13 изображена процедура снятия тонкой стружки с наружной поверхности заготовки радиально расположенным резцом. Расстояние от программной точки резца в момент его расположения в исходной точке станка до центра вращения детали представляет собой приведенный корректор по оси **X**. В момент снятия стружки координату резца в системе координат станка (на табло в СК станка) следует записать. Чтобы оказаться в центре вращения детали, программной точке резца пришлось бы пройти от этой зафиксированной координаты в направлении «**X-**» дополнительное расстояние, равное радиусу обработанной поверхности заготовки (величина $d/2$ на рис.6.13). Это дополнительное расстояние (также в отрицательном выражении) добавляется к значению, записанному ранее на табло в СК станка.

Полученная расчетная величина вносится в столбец «*X_offset*» для измеряемого инструмента (рис.6.12) как корректор его длины по оси *X*.

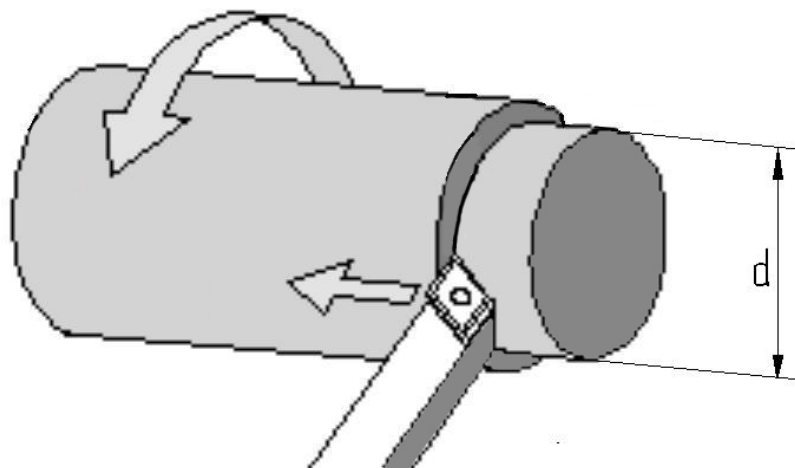


Рис.6.13. Определение корректора по оси *X* радиально расположенного резца

Б. Корректор длины (вылет) расточного резца.

Принцип определения корректора длины по оси *X* для расточных резцов аналогичен соответствующей процедуре для радиально расположенных резцов. При этом следует учитывать, что для расточных резцов обработанной поверхностью является не наружный цилиндр, а стенка отверстия (рис.6.14). Расточной резец способен обрабатывать только заранее подготовленные отверстия, диаметр «*D*» которых превышает расстояние «*B*» от вершины резца до задней стороны его оправки.

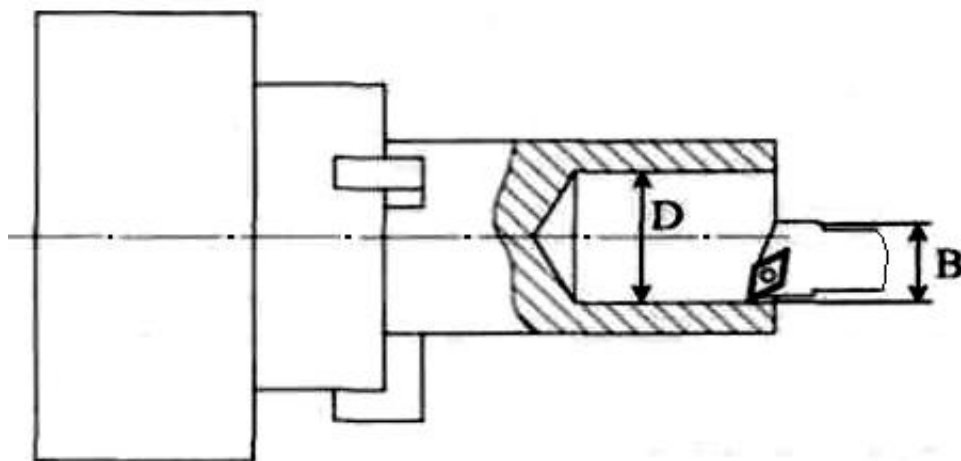


Рис.6.14. Определение корректора по оси *X* расточного резца

Как и при работе радиально расположенного резца, в момент обработки отверстия расточным резцом табло «Текущие значения координат» фиксирует в СК станка величину смещения программной точки резца при движении из исходной точки станка до обрабатываемой

поверхности в направлении «X-». Как и при расчете корректора радиально расположенного резца отрицательная величина, модуль которой равен половине диаметра отверстия $D/2$ (рис.6.14), добавляется к зафиксированному на табло значению. Полученная величина вносится в столбец «*X_offset*» для измеряемого расточного резца (рис.6.12) в качестве корректора его длины по оси X.

В. Корректор длины (вылет) сверлильного инструмента.

По условиям работы сверлильных инструментов (центровки, сверла, метчика и зенковки) все они в рабочем положении должны находиться строго концентрично оси вращения детали. С этой целью сверлильный инструмент должен быть перемещен суппортом по оси X в положение, при котором ось инструмента совпадает с осью токарного патрона.

Назначение процедуры – определение положения суппорта в системе координат станка, при котором сверлильные инструменты концентричны оси вращения токарного патрона.

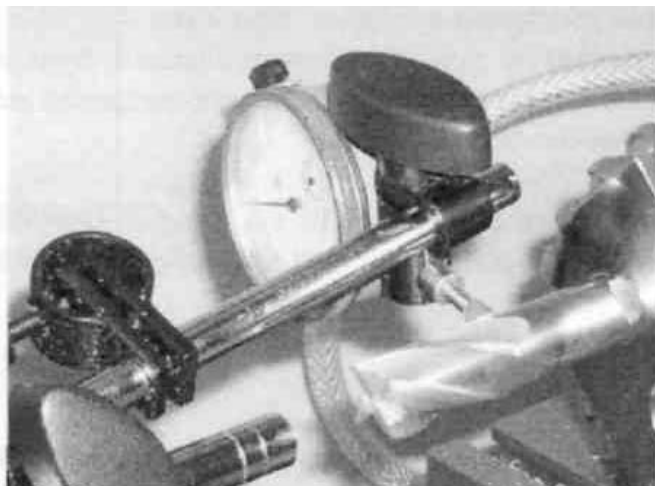
На рис.6.15 и рис.6.16 изображена процедура определения вылета сверлильных инструментов по оси X с применением измерительного приспособления. Перед началом выполнения процедуры табло «Текущие значения координат» (рамка 2 на рис.6.5) переключается в режим «СК станка». В токарном патроне 1 закрепляется стойка 2 (рис.6.15) измерительной головки часового типа. В одном из отверстий поз. #2, #4, #6 либо #8 устанавливается сверлильный инструмент 4 или специальный валик, далее на стойке 2 закрепляется измерительная головка 3. Затем с помощью команд ручного управления следует переместить суппорт в положение, при котором ось инструмента 4 или специального валика, установленного в отверстии РГ 5, визуально совпадет с осью стойки 2.



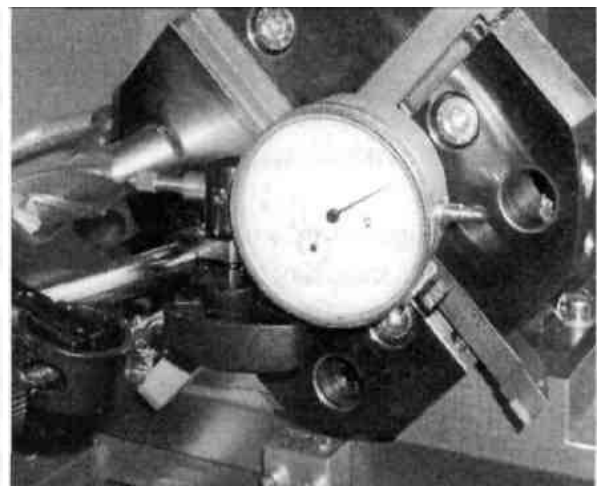
Рис.6.15. Установка измерительного приспособления

Такое взаимное положение рабочих органов станка является исходным для начала процедуры установки инструмента соосно токарному патрону. В рамках данной процедуры требуется выполнить следующие действия:

- выставить на ноль шкалу измерительной головки в положении (рис.6.16,*а*);
- вручную повернуть токарный патрон на половину оборота, чтобы измерительная головка заняла положение, изображенное на рис.6.16,*б*;
- проверить показания измерительной головки; если они не соответствуют нулю, то расположение суппорта должно быть скорректировано с помощью команд ручного управления;
- данные действия повторять до тех пор, пока не будут получены нулевые показания измерительной головки в обоих положениях (взаимное отклонение показаний индикатора в двух крайних положениях не должно превышать 0,02 мм).



а)



б)

Рис.6.16. Определение concentricности расположения сверлильного инструмента

При достижении взаимно concentричного расположения сверлильного инструмента и патрона следует зафиксировать текущее значение координаты X и записать его в столбец « X_offset » таблицы инструментов (рис.6.12).

Полученное значение корректора длины по оси X действительно не только для инструмента, задействованного в измерении, но и для всех остальных сверлильных инструментов.

Полученная величина приведенной константы смещения по оси X равная «-35.7» была внесена в таблицу инструментов (рис.6.12) для всех сверлильных инструментов, задействованных в обработке детали: фрезы *T8* (рис.6.15) и сверла *T6*.

6.4.2. Определение приведенного корректора длины по оси Z

Определение корректоров основных видов инструментов по оси Z производится после определения констант смещения системы координат детали. В момент привязки значения корректоров по оси Z всех измеряемых инструментов устанавливаются равными нулю (рис.6.10).

Коррекция ОБРАЗЦОВОГО инструмента по оси Z отдельно не определяется и остается равной нулю. Корректоры остальных инструментов по оси Z определяются в момент касания их ПРОГРАММНОЙ ТОЧКОЙ плоскости, выбранной в качестве НАСТРОЕЧНОЙ БАЗЫ (рис.6.8). Для приведенного корректора длины резца по оси Z можно применить представленное ниже определение.

ПРИВЕДЕННЫЙ КОРРЕКТОР длины инструмента по оси Z (Z_offset) представляет собой ОТКЛОНЕНИЕ положения суппорта в момент касания программной точкой этого инструмента плоскости НАСТРОЕЧНОЙ БАЗЫ, от положения суппорта в момент касания НАСТРОЕЧНОЙ БАЗЫ программной точкой ОБРАЗЦОВОГО ИНСТРУМЕНТА (рис.6.8).

При определении корректора длины инструмента по оси Z с помощью касания программной точкой этого инструмента плоскости расположения нулевой точки детали следует выполнять следующие действия:

- в окне виртуального пульта «Установки» одной из кнопок ($G54...G59$) активизировать ранее установленную систему координат детали;
- переключить табло «Текущие значения координат» (рамка 2 на рис.6.5) в режим «СК детали»;
- командой « Ti_0i » вызвать измеряемый инструмент;
- подвести инструмент к детали, коснуться программной точкой инструмента настроечной базы детали; записать текущее значение координаты по оси Z в системе координат детали;
- внести полученное значение в соответствующую ячейку таблицы инструментов рис.6.12;

Если настроечная база не совпадает с плоскостью расположения нулевой точки СК детали, корректор длины резца следует рассчитывать с учетом корректирующей поправки ΔZ , отображающей положение системы координат детали по отношению к настроечной базе.

Для КАНАВОЧНОГО РЕЗЦА процедуру определения приведенного корректора по оси Z следует рассмотреть отдельно. Как было отмечено выше, эти резцы содержат две рабочие вершины. Параметры этих вершин

вносятся в различные ячейки таблицы инструментов (табл.5.1); при этом система ЧПУ рассматривает эти вершины как два отдельных инструмента. Пример программирования работы канавочного резца рассмотрен в разделе 5.2 (рис.5.9).

Для главной вершины резца, обращенной к заготовке, приведенный корректор резца по оси **Z** определяется по описанной выше методике. Касание настроечной базы вспомогательной вершиной производить не следует. Очевидно, что это касание потребовало бы смещения суппорта в направлении «**Z-**» на величину ширины резца. Смещение суппорта производится УСЛОВНО, и соответствующее ему значение координаты вносится в таблицу инструментов (рис.6.12).

В рассматриваемом примере ширина канавочного резца «**T3**» равна 1.5 мм. Величина приведенного корректора главной вершины резца, равная «-0.39», была определена с помощью ее касания настроечной базы. Величина приведенного корректора вспомогательной кромки, равна «-1.89». Она была определена вычислением: к суппорту было применено «условное» смещение в направлении настроечной базы (в направлении «**Z-**») на величину ширины резца, равную 1.5 мм.

6.5. Применение специального корректора длины инструмента

В разделе 5.5 был описан метод программирования черновой обработки, основанный на смещении системы координат детали. В практике точения описанный способ не всегда приемлем. В случае невозможности использования этого метода черновые переходы могут быть запрограммированы с применением специального корректора длины токарного резца.

В примере (рис.6.17) черновой и чистовой переходы осуществляются одним токарным резцом **T5**, корректоры его длины закладываются в две различные ячейки таблицы инструментов: «05» и «15» (рис.6.12). В ячейку «05» вводится реальная величина корректора длины резца по оси **X** («**X offset = -14.47**»), а в ячейку «15» – специальный корректор «**X offset = -14.37**». Указанная величина «14.37» вводит в систему ЧПУ значение корректора длины резца по оси **X**, превышающее его реальное значение на 0,1 мм. При вызове резца по командному кадру «**T5_15**» его программная точка временно смещается на расстоянии 0,1 мм в направлении «**X-**» от реального положения рабочей вершины. Это приводит к тому, что при программировании движения резца вдоль заданного контура его вершина будет перемещаться на расстоянии 0,1 мм от обрабатываемой поверхности, будучи смещенной в направлении «**X+**». Соответственно, контур чернового перехода, обозначенный на рис.6.17 пунктирными линиями, будет выполняться с постоянным

припуском равным 0,1 мм. Как и в примере раздела 5.5, дополнительных геометрических построений при программировании движения инструмента по контуру черновой обработки не требуется.

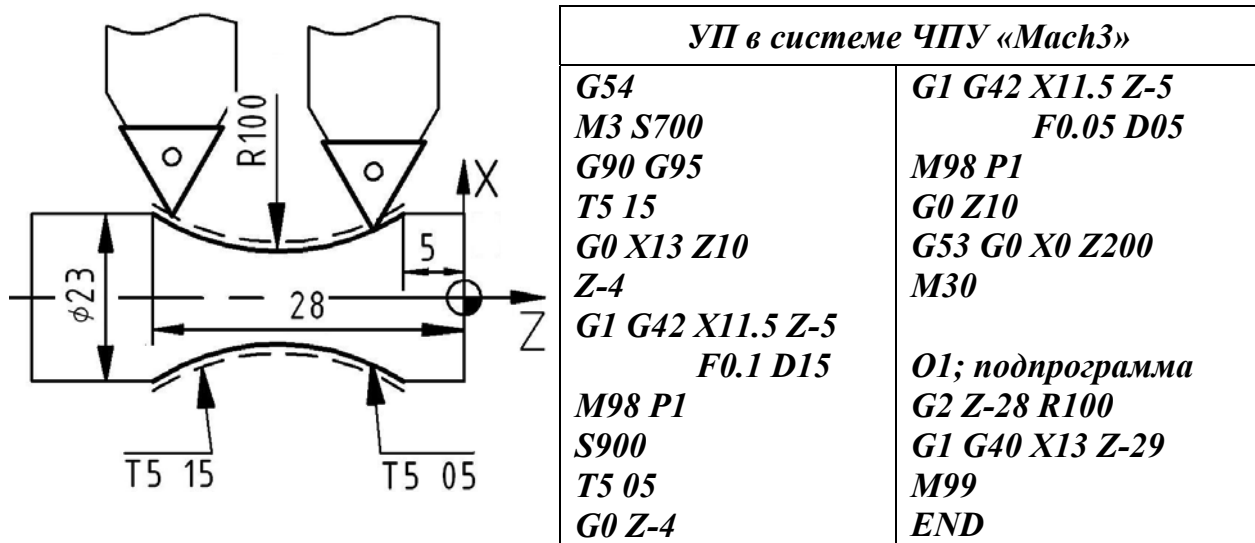


Рис.6.17. Программирование контура с применением специального корректора

После выполнения черновой обработки командным кадром «**T5_05**» в систему ЧПУ вводится реальная величина корректора длины резца по оси **X** из ячейки «05» таблицы инструментов (рис.6.12). Все дальнейшие перемещения резца осуществляются по реальным контурам обработки.

6.6. Выполнение размера в пределах заданного поля допуска

Рассмотрим задачу пуско-наладочной процедуры обработки детали, в рамках которой токарный резец должен выполнить цилиндрическую поверхность в пределах заданного поля допуска. В приведенном примере (рис.6.18) упорный резец «**T1**» выполняет наружную поверхность с размером $\text{Ø}18,5h9(-0,052)$. Технологический припуск на чистовую обработку принят равным 0.15 мм из соображений обеспечения наилучших условий работы токарного резца при выполнении им чистового перехода. Допустим, величина корректора длины резца по оси **X**, которая была определена заранее, составляет $W_X = -16,03$.

Как было показано выше, программирование предварительных токарных переходов целесообразно производить по контуру готовой детали $\text{Ø}18,5$. При этом для выполнения заданного размера в пределах поля допуска требуется выполнение ряда подготовительных действий. Их назначение – получение реального размера обрабатываемой поверхности в максимальном приближении к середине поля допуска (в рассматриваемом примере это $\text{Ø}18,47... \text{Ø}18,48$). Если деталь выполняется без специальной подготовки, результат обработки может быть получен в одном из трех описанных ниже вариантах.

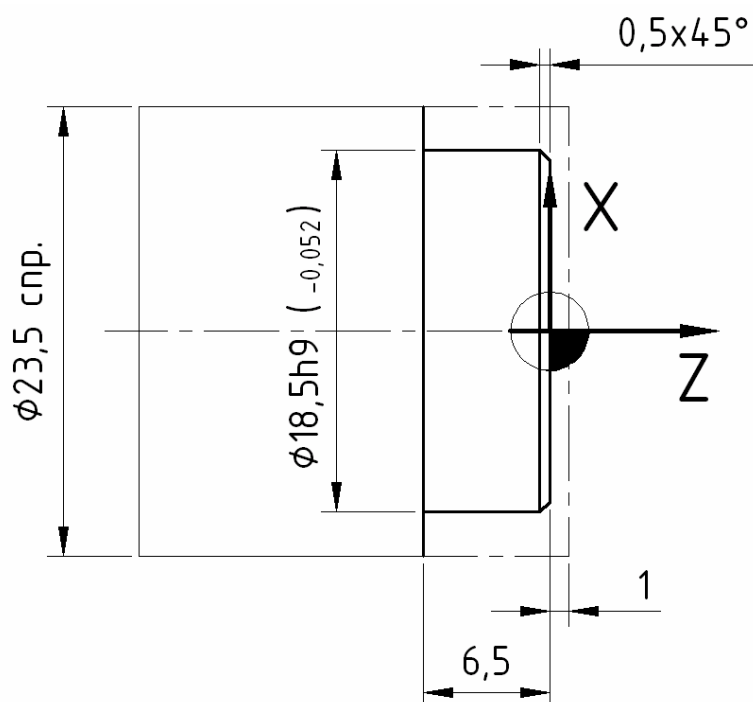


Рис.6.18. Эскиз выполнения детали

А. Получен размер $\varnothing 18,45$, лежащий на краю поля допуска. Это является приемлемым результатом. Наладочная деталь кондиционна, однако перед началом выполнения партии деталей следует немного «отодвинуть» резец от оси вращения шпинделя, внося изменение в величину корректора его длины: $W_X = -16,02$. В последующих деталях будет получен размер $\varnothing 18,47$, близкий к середине поля допуска.

Б. Получен размер $\varnothing 18,51$, лежащий за пределами поля допуска. Резец следует «пододвинуть» к оси вращения шпинделя, внося изменение в величину корректора его длины: $W_X = -16,05$. В последующих деталях будет получен размер $\varnothing 18,47$, близкий к середине поля допуска.

Полученную деталь следует доработать с целью приведения выполненного размера в соответствие требованиям чертежа. Деталь со станка не снимается. После внесения изменения в величину корректора длины резца: $W_X = -16,05$, обработанная ранее поверхность повторно протачивается. В соответствии с геометрическим расчетом размер исправляемой детали должен получиться в пределах поля допуска. Однако в данной ситуации не может быть полной уверенности в успешной доработке детали. Дело в том, что в рамках УП токарный резец выполняет поверхность $\varnothing 18,5h9(-0,052)$, снимая заданный припуск равный 0,15 мм. При вынужденной доработке детали с размером $\varnothing 18,47$ резец снимает припуск 0,02 мм и, таким образом, действует совершенно в других технологических условиях. Поэтому повторяемость выполнения размера $\varnothing 18,5h9(-0,052)$ гарантирована быть не может.

В. Получен размер Ø18,43, лежащий за пределами поля допуска.

Следует «отодвинуть» резец от оси вращения шпинделя, внося изменение в величину его корректора: $W_X = -16,01$. Дефект неисправим, поэтому деталь списывается в брак. Последующие детали будут получаться с размером Ø18,47, близким к середине поля допуска.

Описанные ниже действия, выполняемые в процессе пуско-наладки, предназначены для обеспечения выполнения размера Ø18,5 $h9_{(-0,052)}$ резцом ***T1*** в пределах поля допуска. Указанные действия включают в себя предварительную обработку детали по УП (табл.6.1) с применением специального значения корректора длины резца W'_X , измерение предварительно выполненного размера, уточнение величины корректора длины резца и последующее повторение перехода. Решение задачи требует следующей последовательности выполнения действий.

1. Открыть первоначально разработанную УП обработки детали (табл.6.1, левый столбец).

2. С помощью описанных выше действий определить приведенную константу смещения системы координат детали. Внести полученное значение в ячейку ***G57*** таблицы рабочих коррекций (рис.6.11).

3. С помощью описанных выше действий определить величину корректора длины резца ***T1***. Допустим, полученное значение: $W_X = -16,03$.

4. Рассчитать величину заданного в УП (табл.6.1) припуска на чистовую обработку. Резец на последнем черновом переходе «обдирка, проход 3» выполняет размер Ø18,8 с координатой $X=9.4$, а чистовой переход – размер Ø18,5 с координатой $X=9.25$. Соответственно, припуск на чистовую обработку равен 0,15 мм.

5. Осуществить временное изменение величины корректора длины резца ***T1*** по оси X на упомянутую величину припуска 0,15 мм:

$$W'_X = -16,03 + 0,15 = -15,88.$$

Внести полученное временное значение корректора длины W'_X в таблицу инструментов (рис.6.12).

6. Выполнить обработку детали. При осуществлении чистового перехода резец ***T1*** фактически пройдет по траектории, обеспечивающей выполнение размера Ø18,8 вместо заданного размера Ø18,5.

7. Не снимая деталь со станка, измерить выполненный размер. Допустим, полученное значение: Ø18,81.

8. Определить величину необходимого «смещения» резца в направлении оси вращения шпинделя. С учетом того, что требуется стремиться к достижению размера в середине поля допуска Ø18,47, величина смещения резца должна составлять:

$$(\text{Ø}18,81 - \text{Ø}18,47) : 2 = -0,17 \text{ мм.}$$

Таблица 6.1

<p><i>;первоначально разработанная УП</i></p> <p>G57 G90 G53 G0 X0 Z200</p> <p>M3 S500 G95 T1 01; резец упорный G4 P12 G0 X13 Z10 Z2</p> <p>Z0.2; подрезка черновая G1 X0 F0.07 Z2 G0 X13</p> <p>Z0; подрезка чистовая S700 G4 P2 G1 X0 F0.05 Z2</p> <p>S500 G4 P2 G0 X11; обдирка, проход 1 M98 P20 X10.2; обдирка, проход 2 M98 P20 X9.4; обдирка, проход 3 M98 P20</p> <p>S700 G4 P2 X8.25; чистовой проход G1 G42 Z0.5 F0.05 D01 X9.25 Z-0.5 Z-6.5 X13 G40 G0 Z10 G53 X0 Z200</p> <p>M5 M30</p> <p>O20; подпрограмма "20" G1 Z-6.45 F0.07 X13 G0 Z2 M99 END</p>	<p><i>;УП в окончательном варианте</i></p> <p>G57 G90 G53 G0 X0 Z200</p> <p>M3 S500 G95 T1 01; резец упорный G4 P12 G0 X13 Z10 Z2</p> <p>/Z0.2; подрезка черновая /G1 X0 F0.07 /Z2 /G0 X13</p> <p>/Z0; подрезка чистовая /S700 /G4 P2 /G1 X0 F0.05 /Z2</p> <p>/S500 /G4 P2 /G0 X11; обдирка, проход 1 /M98 P20 /X10.2; обдирка, проход 2 /M98 P20 /X9.4; обдирка, проход 3 /M98 P20</p> <p>S700 G4 P2 X8.25; чистовой проход G1 G42 Z0.5 F0.05 D01 X9.25 Z-0.5 Z-6.5 X13 G40 G0 Z10 G53 X0 Z200</p> <p>M5 M30</p> <p>O20; подпрограмма "20" G1 Z-6.45 F0.07 X13 G0 Z2 M99 END</p>
---	---

9. Рассчитать окончательную величину корректора длины резца $T1$:

$$W_x = -15,88 - 0,17 = -16,05.$$

Внести полученное окончательное значение корректора длины W_x в таблицу инструментов (рис.6.12).

10. Выполнить размер в пределах поля допуска $\varnothing 18,5h9(-0,043)$, осуществив отдельный чистовой переход без повторного выполнения черновой обработки. Для этого следует:

- в тексте УП отсечь символом «/» все кадры, связанные с выполнением черновых переходов (табл.6.1, правый столбец);
- активизировать клавишу «Не выполнять /», размещенную в правой нижней части окна виртуального пульта «Установки» (рис.6.9).

11. Измерить фактически выполненный размер. Он должен оказаться максимально приближенным к величине $\varnothing 18,47$, лежащей в середине поля допуска. Это обусловлено тем, что чистовой переход был выполнен в процессе снятия припуска, величина которого соответствует величине припуска на чистовую обработку 0,15 мм, заложенной в тексте УП. Повторение указанного размера в серийных деталях также может быть гарантировано с высокой степенью вероятности.

12. Отключив клавишу «Не выполнять /» окна виртуального пульта «Установки» (рис.6.9), приступить к выполнению партии деталей. Символ «/» из окончательного текста УП можно не устранять, так как первоначальный и окончательный варианты УП (табл.6.1) при отключенной клавише «Не выполнять /» работают абсолютно идентично.

6.7. Пример выполнения детали

В качестве примера выполнения пуско-наладочных процедур на реальном оборудовании рассмотрим программирование и технологию выполнения детали «Шток» (рис.6.19). Обработка детали производилась на описанном выше станке «Реабин», управление которым осуществлялось с помощью программного обеспечения «*Mach3*». В качестве заготовки выбран прутки из алюминиевого сплава диаметром 23,5 мм; длина заготовки 56...57 мм (рис.6.20). Общее описание каждого из применяемых инструментов приведено в табл.6.2. Описание содержит:

- наименование инструмента и наименование перехода;
- графическое изображение инструмента с указанием на его рабочую вершину;
- команду вызова инструмента с обозначениями его позиции в РГ станка, а также ячейки таблицы инструментов, содержащей величину корректора его длины.

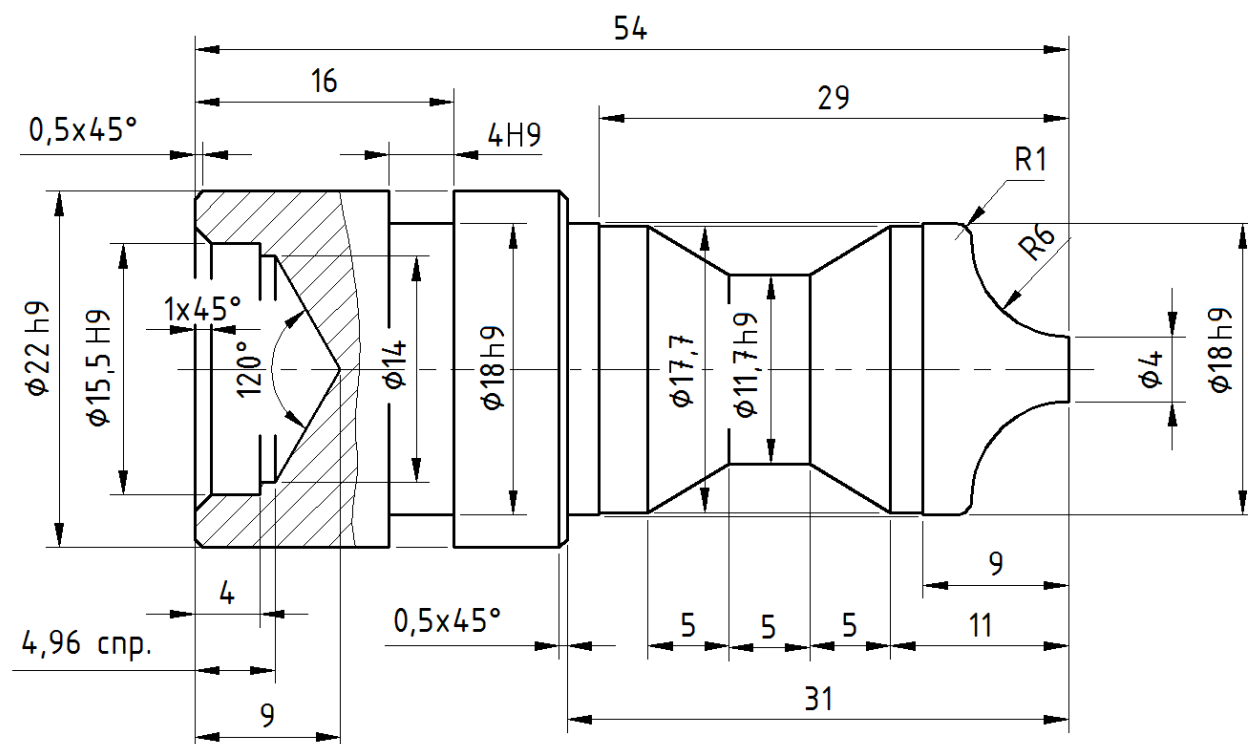


Рис.6.19. Шток

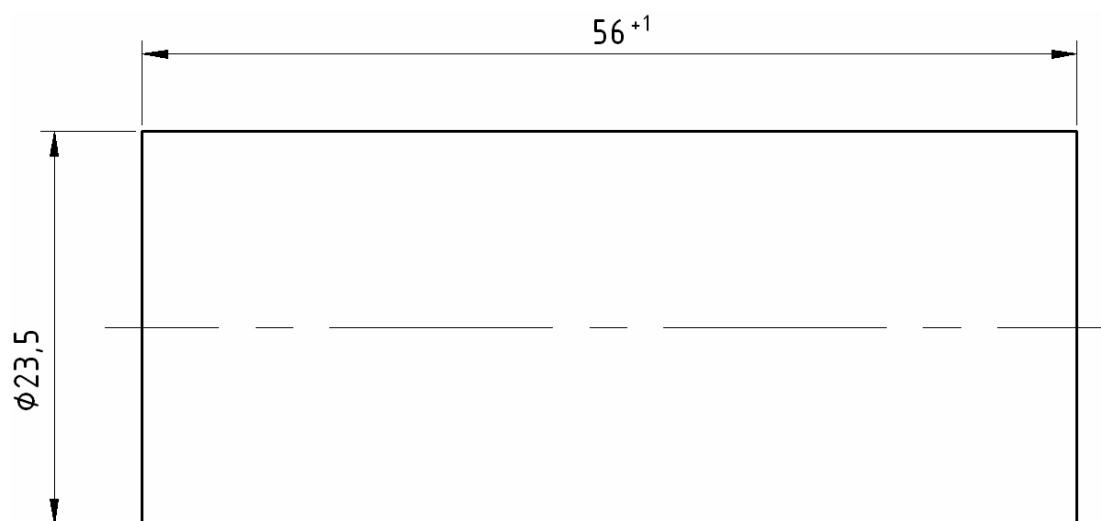

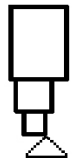


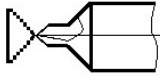

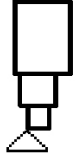
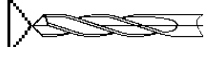
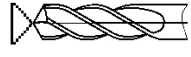



Рис.6.20. Пруток (заготовка)

Деталь выполнялась на двух установках, обозначенных: установ «А» и установ «Б», с креплением в трехкулачковом патроне станка. В процессе выполнения пуско-наладочных работ были определены приведенные константы смещения нулевых точек детали по оси Z , которые были внесены в соответствующие ячейки таблицы рабочих коррекций: **G54** для установа «А» **G55** для установа «Б» (рис.6.21). Кроме того, были определены все необходимые параметры установки инструментов в станке, включая корректоры их длины. Полученные данные были внесены в таблицу инструментов системы ЧПУ «**Mach3**» (рис.6.22).

Таблица 6.2

Наименование, позиция и № корректора	Эскиз и обозначение рабочей вершины		Наименование, позиция и № корректора	Эскиз и обозначение рабочей вершины
Упорный T1_01 (чистовая обработка)			Канавочный, вершина 2 T3_13	
Упорный T1_11 (черновая обработка)			Расточной T4_04	
Центровка Ø6.3 мм T2_02			Копир T5_05	
Канавочный, вершина 1 T3_03			Сверло Ø7 мм T6_06	
			Сверло Ø14мм T8_08	

Примечание. Рабочие вершины инструментов обозначены “”.

Рабочие коррекции (смещения)							
G-Code Pos	X	Y	Z	A	B	C	Name
G54	0.	0.	34.7	0.	0.	0.	G54
G55	0.	0.	33.35	0.	0.	0.	G55

Рис.6.21. Таблица рабочих коррекций системы ЧПУ «Mach3»

Эскизы обработки детали, содержащие исполнительные размеры, а также изображения схем базирования и нулевых точек детали, приведены на рис.6.23, 6.24. Тексты УП обработки детали с соответствующими комментариями приведены в табл.6.3, 6.4 (рис.6.23 и табл.6.3 касаются обработка детали на установе «А»; рис 6.24 и табл.6.4 – обработка детали на установе «Б».














Таблица инструмента									
Tool	Описание	Tip Dir...	Tip Ra...	X Offset	Z Offset	X Wear	Z Wear	Turret...	Post
0	Ref. Tool	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
 1	Упорный	3.0000	0.0000	-15.2900	0.0000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 2	Центровка Д_6.3	7.0000	0.0000	-35.2800	28.2200	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 3	Канав., кромка 1	3.0000	0.0000	-16.2200	0.1300	0.0000	0.0000	0.2000	Front
 4	Расточной	2.0000	0.0000	-42.9100	32.2000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 5	Копир	8.0000	0.0000	-14.2800	-6.4000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 6	Сверло Д_7	7.0000	0.0000	-35.2800	88.3300	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 7	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 8	Сверло Д_14	7.0000	0.0000	-35.2800	47.1200	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 9	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 10	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 11	Упорный с припуском	3.0000	0.0000	-15.0900	0.2000	0.0000	0.0000	0.4000	Front
 12	Empty	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Front
 13	Канав., кромка 2	4.0000	0.0000	-16.2200	-1.3700	0.0000	0.0000	0.2000	Front

Рис.6.22. Таблица инструментов системы ЧПУ «Mach3»

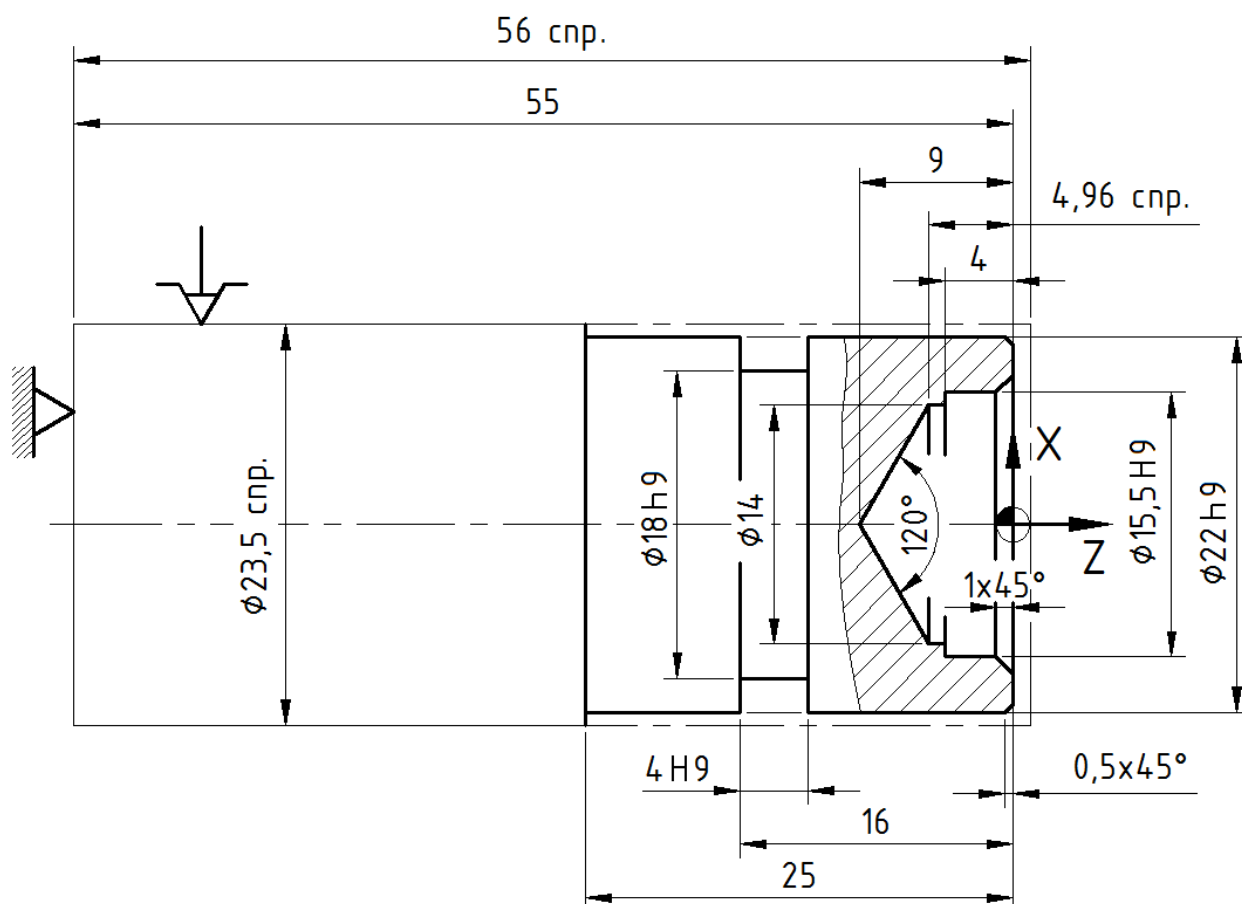


Рис.6.23. Эскиз выполнения детали на установе А

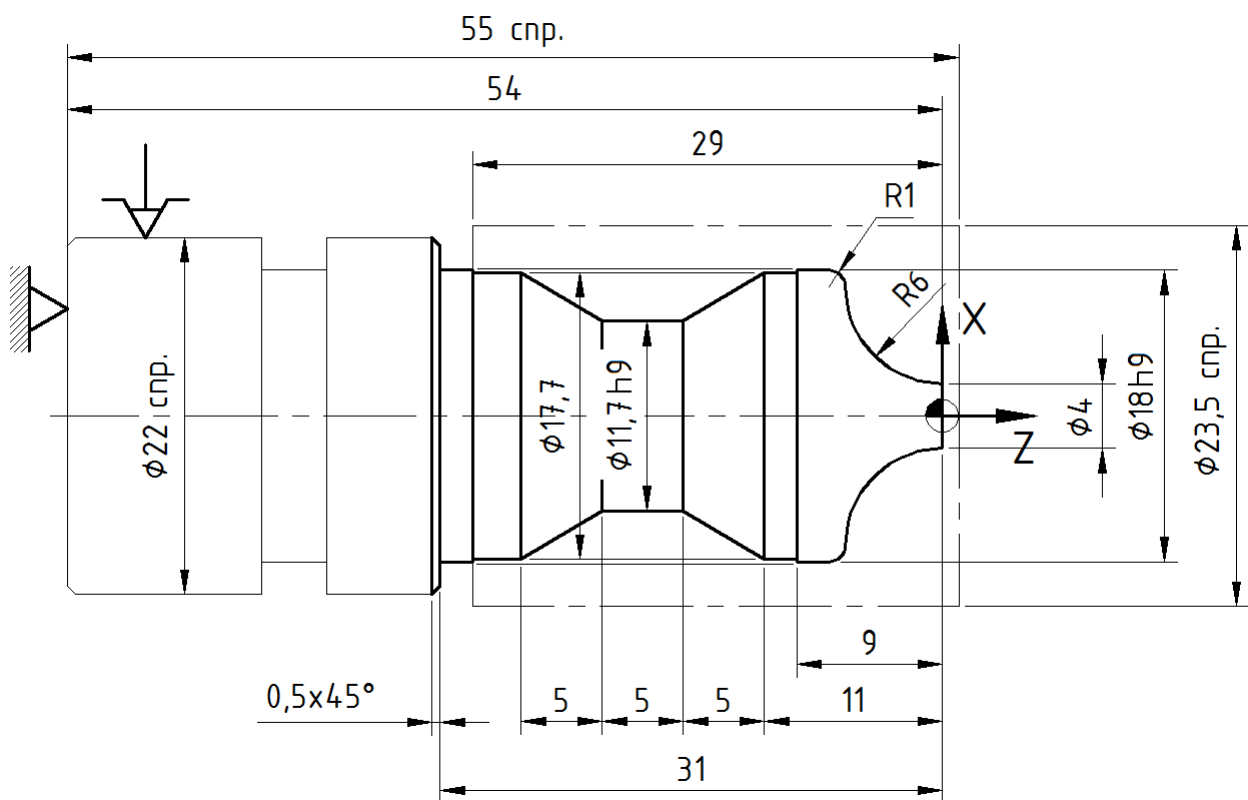


Рис.6.24. Эскиз выполнения детали на установе Б

Таблица 6.3

<p>;обработка на установе А</p> <p>G54</p> <p>G90</p> <p>G53 G0 X0 Z200</p> <p>M3 S500; подрез. и обточ. предв.</p> <p>G95</p> <p>T1 01; резец упорный</p> <p>G4 P12</p> <p>G0 X13 Z10</p> <p>Z1; подрезка черновая, проход 1</p> <p>G1 X0 F0.05</p> <p>Z2</p> <p>G0 X13</p> <p>Z0.2; подрезка чернов., проход 2</p> <p>G1 X5</p> <p>Z2</p> <p>G0 X11.2; наружн. контур чернов.</p> <p>G1 Z-25</p> <p>X13</p> <p>G0 Z10</p> <p>G53 X0 Z200</p>	<p>(продолжение 1)</p> <p>S350; центрирование</p> <p>G94</p> <p>T2 02; центр Д_6.3</p> <p>G4 P12</p> <p>G0 X0 Z10</p> <p>Z3</p> <p>G1 Z-3 F20</p> <p>G0 Z10</p> <p>G53 X0 Z200</p> <p>S700; сверл. предварит.</p> <p>T6 06; сверло Д_7</p> <p>G4 P12</p> <p>G0 X0 Z10</p> <p>Z3</p> <p>G1 Z-3 F40</p> <p>G0 Z3</p> <p>Z-2.5</p> <p>G1 Z-6</p> <p>G0 Z3</p> <p>Z-5.5</p>
--	---

(продолжение 2)	(продолжение 3)
<p>G1 Z-9.2 G0 Z10 G53 X0 Z200</p> <p>S350; сверл. под расточку T8 08; сверло Д_14 G4 P12 G0 X0 Z10 Z3 G1 Z-3 F15 G0 Z3 Z-2.5 G1 Z-6 G0 Z3 Z-5.5 G1 Z-8.8 G0 Z10 G53 X0 Z200</p>	<p>G0 X12 T3 13; резец канав., вершина 2 Z-12.1 G1 X9.1 G0 X12 Z10 G53 X0 Z200</p> <p>S800; расточка окончательно T4 04; резец расточной G4 P12 G0 X8.75 Z10 Z2 G1 G41 Z0 D04 F0.07 X7.75 Z-1 Z-4 X6.5 G0 G40 Z10 G53 X0 Z200</p>
<p>S500; расточка предварит. G95 T4 04; резец расточной G4 P12 G0 X7 Z10 Z2 G1 Z-4 F0.05 X6.5 G0 Z2 X7.6 G1 Z-4 X6.5 G0 Z10 G53 X0 Z200</p>	<p>S800; канавка окончательно T3 03; резец канав., вершина 1 G4 P12 G0 X12 Z10 Z-16 G1 X9 F0.07 Z-15 G0 X12 T3 13; резец канав., вершина 2 Z-12 G1 X9 T3 03; резец канав., вершина 1 G1 Z-15.5 G0 X12 Z10 G53 X0 Z200</p>
<p>S400; канавка предварительно T3 03; резец канав., вершина 1 G4 P12 G0 X12 Z10 Z-15.9 G1 X9.1 F0.03 G0 X12 Z-14.5 G1 X9.1</p>	<p>S800; подрез. и обт. окончат. T1 01; резец упорный G4 P12 G0 X6 Z10 Z2</p>

(продолжение 4)	(продолжение 5)
G1 G42 Z0 D01 F0.07	G0 Z10
X10.5	G53 X0 Z200
X11 Z-0.5	
Z-25	M5
G40 X13	M30

Таблица 6.4

;обработка на установе Б G55 G90 G53 G0 X0 Z200 M3 S500; подрезка и обточка предв. G95 T1 01; резец упорный G4 P12 G0 X13 Z10 Z1; подрезка черновая, проход 1 G1 X0 F0.05 Z2 G0 X13 Z0.2; подрезка черновая, проход 2 G1 X0 Z2 G0 X11.2; обдирка наруж., проход 1 G1 Z-30.9 X12 G0 Z2 X10.2; обдирка наруж., проход 2 G1 Z-30.9 X12 G0 Z2 X9.2; обдирка наруж., проход 3 G1 Z-30.9 X12 G0 Z2 X8; обдирка в точку 1 G1 Z-5.7 X10 G0 Z2	(продолжение 1) X7; обдирка в точку 2 G1 Z-5.6 X9 G0 Z2 X6; обдирка в точку 3 G1 Z-5.3 X8 G0 Z2 X5; обдирка в точку 4 G1 Z-4.9 X7 G0 Z2 X4; обдирка в точку 5 G1 Z-4.1 X6 G0 Z2 X3; обдирка в точку 6 G1 Z-2.7 X5 G0 Z2 T1 11; фигурный контур черновой X2 G1 G42 Z0 D01 G2 X8 Z-6 R6 G3 X9 Z-7 R1 G1 G40 X11 Z-8 G0 Z10 G53 X0 Z200 S800; занижение T3 03; резец канав., вершина 1 G4 P12
--	---

(продолжение 2) G0 X11 Z10 Z-29 G1 X8.85 F0.03 T3 13; резец канав., вершина 2 G1 Z-9 X11 G0 Z10 G53 X0 Z200 S500; внутренний уступ T5 05; резец копир G4 P12 G52 X2; черновой проход 1 G0 X11 Z10 M98 P20; вызов подпрогр. "20" G52 X1; черновой проход 2 M98 P20; вызов подпрогр. "20" G52 X0.2; черновой проход 3 M98 P20; вызов подпрогр. "20" G52 X0; чистовой проход S800 M98 P20; вызов подпрогр. "20" G0 Z10 G53 X0 Z200 S800; подрезка и обточка окончат. T1 01; резец упорный G4 P12 G0 X4 Z10	(продолжение 3) Z0 G1 X0 F0.07 Z2 G0 X2 G1 G42 Z0 D01 G2 X8 Z-6 R6 G3 X9 Z-7 R1 G1 Z-10 G0 Z-28 G1 Z-31 X10.5 X11.5 Z-32 G40 X13 G0 Z10 G53 X0 Z200 M5 M30 O20; подпрограмма "20" G0 X11 Z-10 G1 G42 X8.85 Z-11 D05 F0.05 G91 X-3 Z-5 Z-5 X3 Z-5 G90 G40 X11 Z-27 M99 END
--	---

Описание принципов выполнения УП.

1. При разработке УП были приняты следующие принципы и технологические параметры обработки детали:
 - максимальная толщина стружки при черновом точении – 1 мм;
 - технологический припуск на чистовую обработку – 0,1...0,2 мм;
 - максимальная частота вращения при черновом точении – 500 об/мин, а при чистовом точении – 800 об/мин;
 - подача инструмента при точении задается в единицах «мм/об», а при сверлении – в «мм/мин»;
 - максимально допустимая подача при черновом точении – 0,05 мм/об.

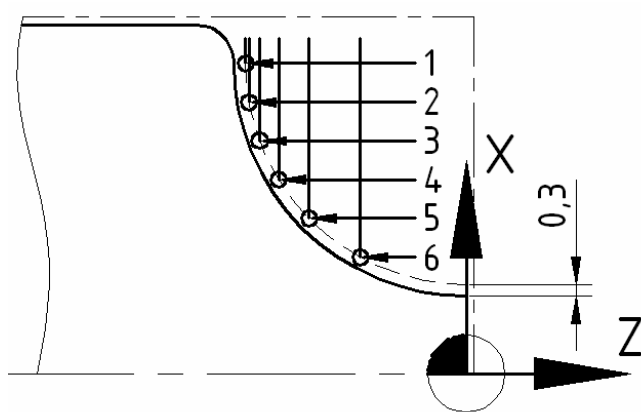
2. Обработка детали осуществляется единым комплектом инструментов. Смена инструментов производится в фиксированной удаленной от детали точке. Выход в точку смены инструмента задается командой: «**G53_X0_Z200**»; по оси «**X**» это координата ограничителя перемещений суппорта, а по оси «**Z**» – координата удаления от исходной точки станка на 200 мм.
3. После каждой команды на вызов инструмента следует пауза 12 сек., которая задается командой «**G4 P12**»; пауза необходима для обеспечения возможности завершения поворота РГ до момента начала перемещения суппорта к детали.
4. Перед началом обработки детали на установе «Б» инструменты **T2** (центровка), **T4** (расточной резец), **T6** (сверло Ø7 мм) и **T8** (сверло Ø14 мм) должны быть извлечены из РГ.
5. При повторной установке сверлильных инструментов **T2**, **T6** и **T8** новая привязки не требуется, а при повторной установке расточного резца **T4** – требуется.
6. На обоих технологических установках «А» и «Б» начало координат располагается на плоскости детали, обращенной к инструментам.
7. Подвод всех инструментов к детали и отвод от нее производится через плоскость безопасности, расположенной на расстоянии 10 мм от нуля детали (**Z=10**).
8. Большинство перемещений инструментов кодируется в абсолютной системе отсчета по функции **G90**.
9. Ширина расточного резца равна 12 мм. Диаметр отверстия под расточку должен превышать указанную величину, поэтому для центрального сверления был выбран диаметр 14 мм.
10. Отверстие Ø14 мм под расточку на установе «А» последовательно выполняется центровкой Ø6,3 мм, сверлом Ø7 (заход) на глубину **Z=-9.2** и сверлом Ø14 на глубину **Z=-8.8**.
11. При выполнении прямолинейных участков траектории, параллельных координатным осям, коррекция радиуса рабочей вершины резца не применяется.
12. При выполнении контуров на установе «Б», содержащих фаски и закругления, применяется коррекция радиуса рабочей вершины резца. В качестве примера приведем один из кадров УП, содержащих вызов коррекции радиуса:

G1 G42 X8.85 Z-11 D05 F0.05,

где ***D05*** – вызов ячейки таблицы инструментов, содержащей величину радиуса рабочей вершины резца ***T5***.

13. Черновая подрезка торцевых поверхностей упорным резцом ***T1*** выполняется за два прохода на обоих установках «А» и «Б» с толщиной стружки не более 1 мм.
14. Канавки на установе «А» и занижение на установе «Б» выполняются канавочным резцом ***T3***. Обработка передних стенок этих элементов программируется с применением главной вершины резца (резец с корректором длины вершины №1 вызывается командой ***T3_03***); обработка их задних стенок программируется с применением вспомогательной вершины резца (резец с корректором длины вершины №2 вызывается командой ***T3_13***).
15. При выполнении канавки на установе «А» применяется черновая и чистовая обработка. Черновая обработка выполняется методом врезания резца ***T3*** при обеспечении технологических припусков. При чистовой обработке канавки применяется движение резца ***T3*** по контуру. Занижение на установе «Б» выполняется за один проход.
16. Обдирка материала упорным резцом ***T1*** в районе фигурного контура на установе «Б» производится при движении его рабочей вершины в направлении ***Z***-» методом ступенчатого точения. Применение метода потребовало построения специального контура, эквидистантного контуру готовой детали. На этом контуре были определены конечные точки перемещений резца (рис.6.25).
17. Программирование черновой обработки фигурного контура на установе «Б», которая следует за обдиркой, выполняется по контуру готовой детали. Для этого корректоры длины упорного резца ***T1*** по обеим координатным осям ***X*** и ***Z*** были увеличены на 0,2 мм (табл.6.2). Измененные значения корректоров длины резца были внесены в ячейку «11» таблицы инструментов (рис.6.22). Перед началом черновой обработки величины измененных корректоров резца ***T1*** вызываются из ячейки «11» командой ***T1_11***. Далее в процессе черновой обработки фигурного контура рабочая вершина резца проходит на расстоянии 0,2 мм по каждой из осей ***X*** и ***Z*** от контура готовой детали. Применение данного метода не требует выполнения дополнительных геометрических построений.

18. При последующей чистовой обработке детали резцом «*T1*» коррекция длины вызывается из его штатной ячейки командой «*T1_01*», что обеспечивает движение рабочей вершины резца непосредственно по траектории контура готовой детали.
19. Обработка внутреннего уступа на установе «Б» выполняется копиром «*T5*» за три прохода, причем движение резца программируется по контуру готовой детали. При программировании траекторий черновой обработки применялось временное смещение системы координат детали на заданную величину по оси *X*. Так, команда «*G52_X2*» смещает систему координат детали, а вместе с ней и контур обработки на 2 мм от детали (в направлении «*X+*»); команда «*G52_X1*» смещает контур обработки на 1 мм от детали; команда «*G52_X0.2*» смещает контур обработки на 0,2 мм от детали. Команда «*G52_X0*» возвращает систему координат детали в штатное положение, после чего производится чистовая обработка контура. Применение данного метода не требует выполнения дополнительных геометрических построений.
20. Траектория внутреннего уступа на установе «Б» кодируется с применением относительной системы отсчета по функции *G91*, что обусловлено особенностью постановки размеров на детали.
21. Повторяющиеся кадры УП, описывающие движение инструмента при выполнении внутреннего уступа на установе «Б», выделены в отдельную подпрограмму «*O20*».



№ точки	Коорд. X	Коорд. Z
1	8	-5.7
2	7	-5.6
3	6	-5.3
4	5	-4.9
5	4	-4.1
6	3	-2.7

Рис.6.25. Специальные построения для выполнения обдирки материала

7. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

7.1. Работа станков в составе гибких производственных модулей

Эффективность работы токарного оборудования в условиях массового производства может быть существенно повышена за счет создания на его базе гибких производственных модулей (ГПМ), обеспечивающих автоматический режим работы станков. В массовом производстве наиболее широко распространены ГПМ, в состав которых входят токарные станки с ЧПУ и работающие совместно с ними БАРФИДЕРЫ. Барфидеры – это загрузочные устройства подачи прутка в рабочую зону токарного станка, размещенные с его задней стороны соосно шпинделю (рис.7.1, левая часть).



Рис.7.1. ГПМ в составе токарного станка с ЧПУ и барфидера

Один из вариантов процесса выполнения детали в автоматическом режиме проиллюстрирован на рис.7.2. Перед началом работы комплекса в барфидер загружаются прутки длиной в несколько метров. В начале цикла обработки прутки 2 подается в рабочую зону станка (рис.7.2,*а*) и проталкивается толкателем 1 до приходящего упора 5 (рис.7.2,*б*). Далее начинается обработка детали (рис.7.2,*в*) по УП контурными резцами 6 и другими инструментами. После окончания обработки происходит отрезка готовой детали 8 отрезным резцом 7 от прутка (рис.7.2,*г*) и ее отвод из рабочей зоны станка с помощью ловителя 10; затем цикл обработки детали возобновляется (рис.7.2,*д*). В конце полного цикла обработки прутка его остаток 9 выталкивается из кулачков 4 патрона 3 и также отводится из рабочей зоны ловителем (рис.7.2,*е*).

В двухшпиндельных станках (рис.7.3,*а*) цикл обработки детали может существенно отличаться от приведенного выше описания. Контр-шпиндели таких станков, размещенные справа от оператора, имеют возможность осевого перемещения. После завершения обработки конечности прутка на первой позиции (рис.7.2,*в*) вращение шпинделя останавливается, контр-шпиндель подъезжает к прутку и фиксирует его

за обработанную поверхность. В этот момент пруток оказывается закрепленным сразу двумя зажимными устройствами: шпинделя и контр-шпинделя. Далее включается совместное вращение шпинделя и контр-шпинделя, и производится отделение заготовки от прутка отрезным резцом (рис.7.3,б). Затем контр-шпиндель с заготовкой возвращается в штатное положение, и станок приступает к ее обработке на второй позиции.

Автоматизация процесса выполнения детали может быть достигнута также за счет использования токарного оборудования совместно с робототехникой. В практике массового производства широкое распространение нашли ГПМ в составе токарного станка с ЧПУ и робота, манипулятор которого предназначен для доставки заготовок в рабочую зону и извлечения от туда готовых деталей (рис.7.4). Робот также может объединять несколько станков с ЧПУ в гибкий автоматизированный участок (рис.7.5). Преимущества ГПМ могут достигаться за счет:

- возможности полной автоматизации работы производственного оборудования;
 - возможности параллельной работы оборудования с ЧПУ и робота;
 - возможности совместного программирования обрабатывающего оборудования и робота как единого комплекса;
- гибкости производственного процесса.

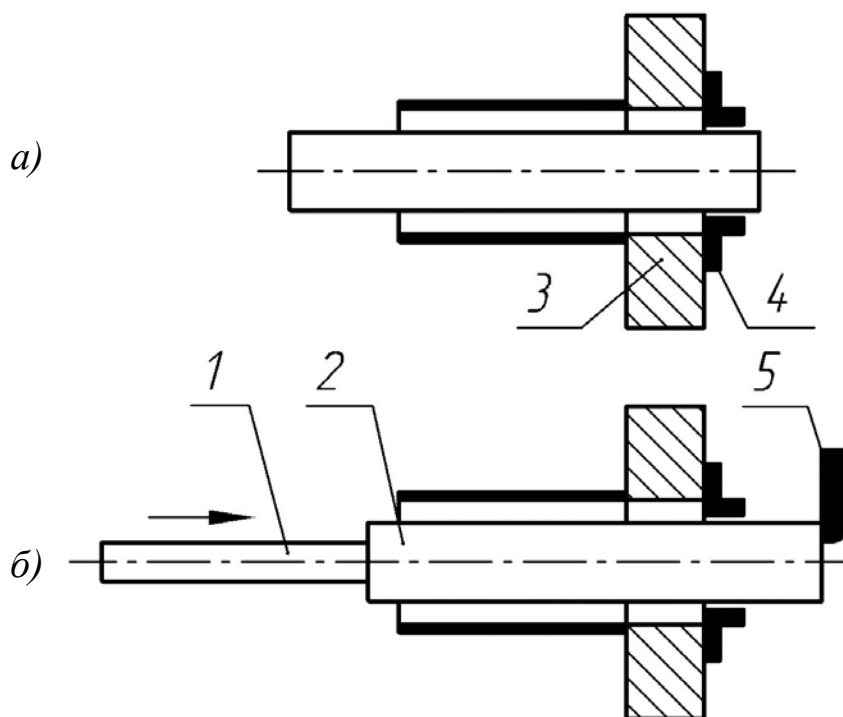


Рис.7.2 (начало). Цикл автоматической работы токарного станка с барфидером:
1 – толкатель; 2 – пруток; 3 – патрон станка; 4 – кулачки; 5 – упор;
а – установка прутка в начале обработки; б – проталкивание прутка до упора

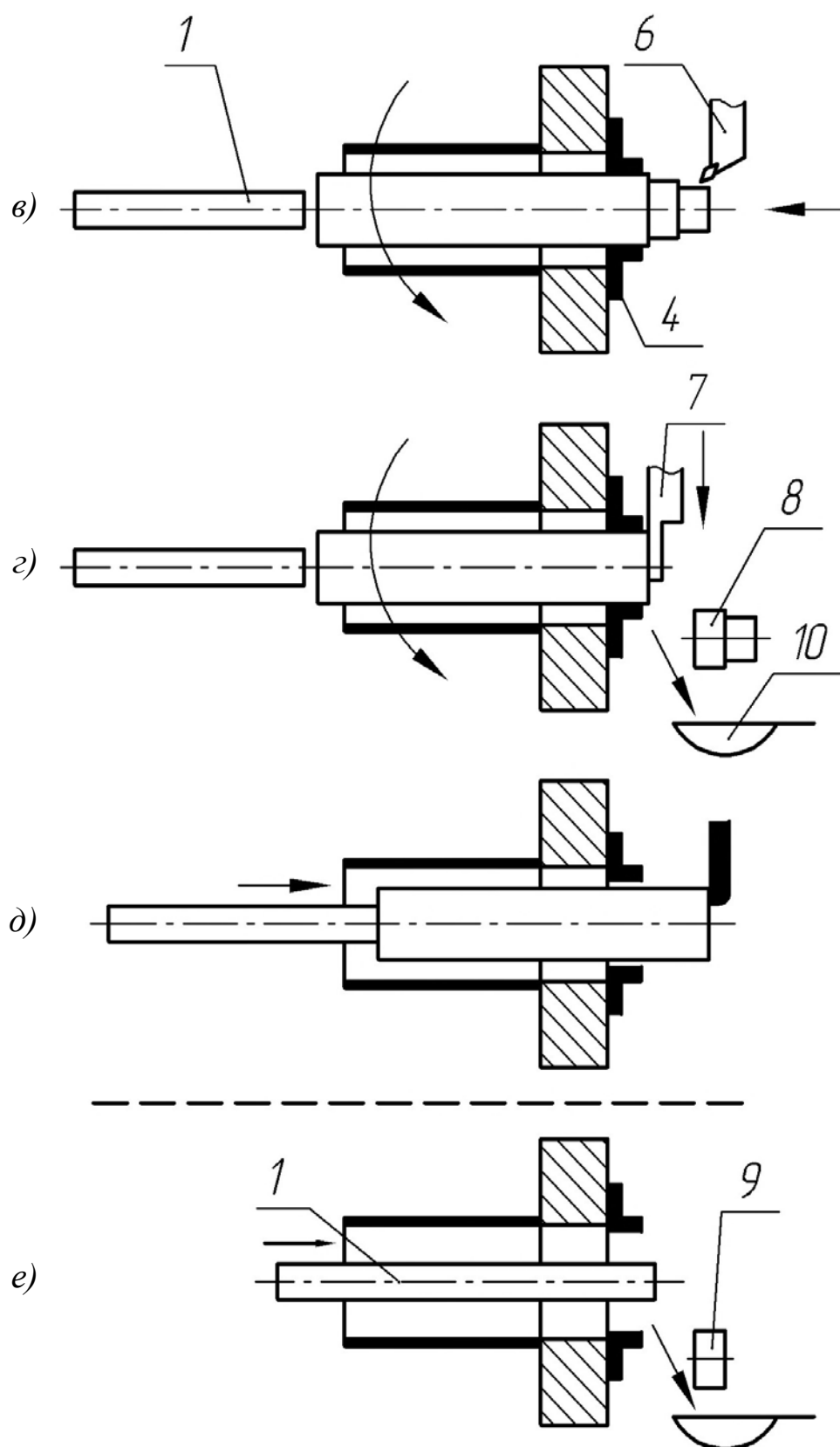
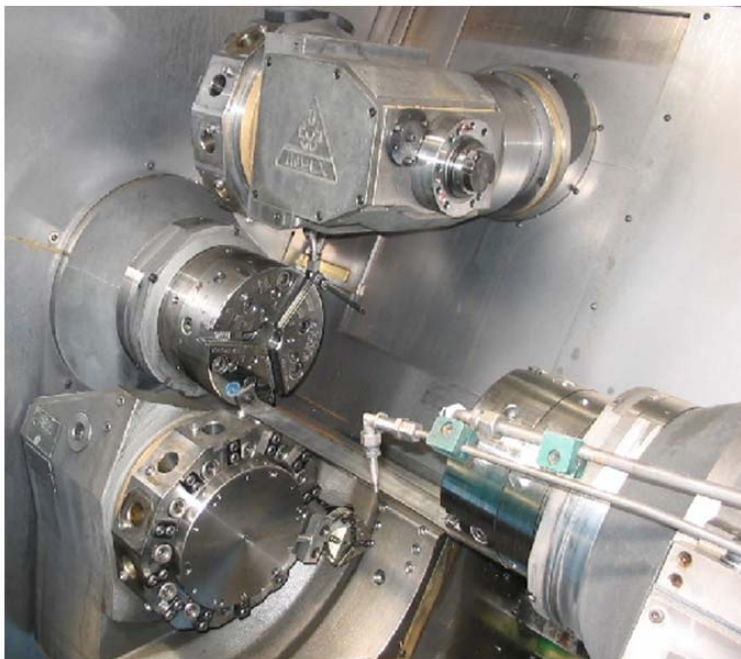


Рис.7.2 (продолжение). Цикл автоматической работы токарного станка с барфидером:

6 – контурный резец; 7 – отрезной резец (рис.7.3,б); 8 – готовая деталь; 9 – остаток прутка; 10 – ловитель;

а – обработка заготовки очередным инструментом; б – отрезка готовой детали; в – проталкивание прутка до упора; г – выемка обрезка прутка в конце обработки



а)



б)

Рис.7.3. рабочая зона двухшпиндельного станка и отрезной резец:
а) рабочая зона двухшпиндельного станка; б) отрезной резец

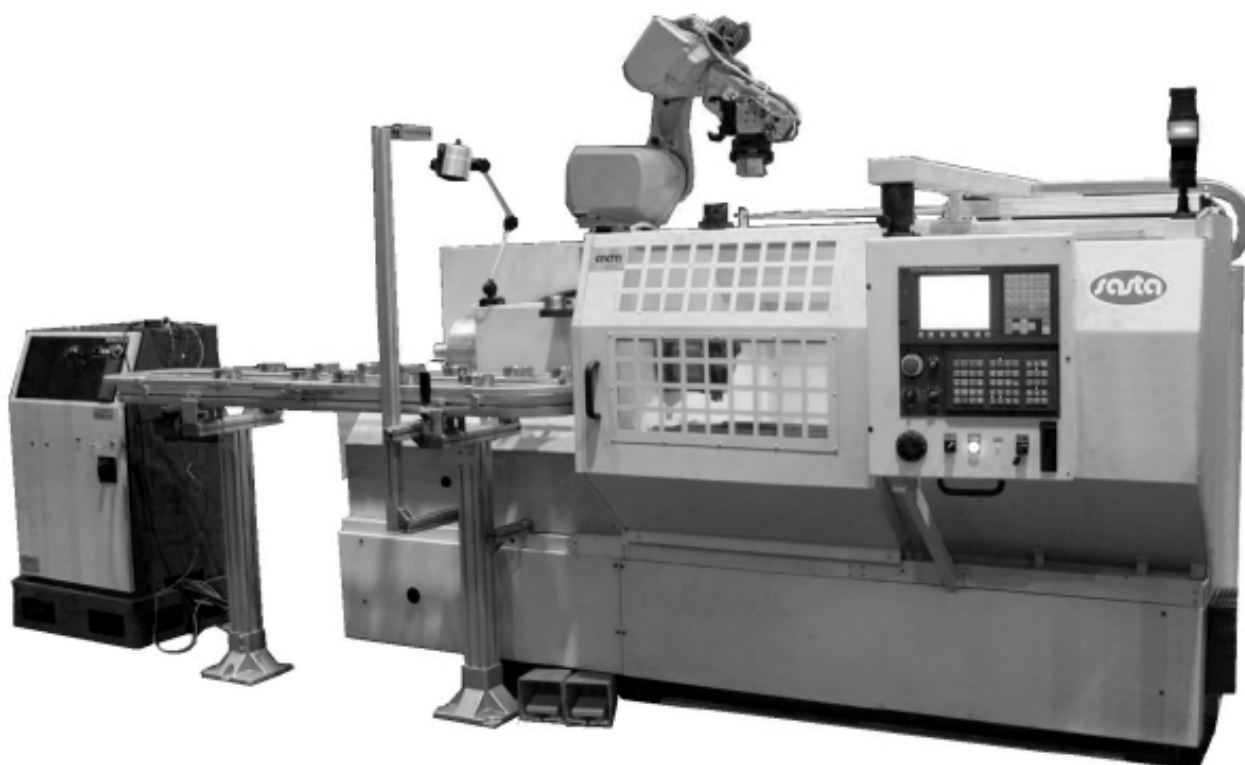


Рис.7.4. ГПМ в составе токарного станка с ЧПУ и робота

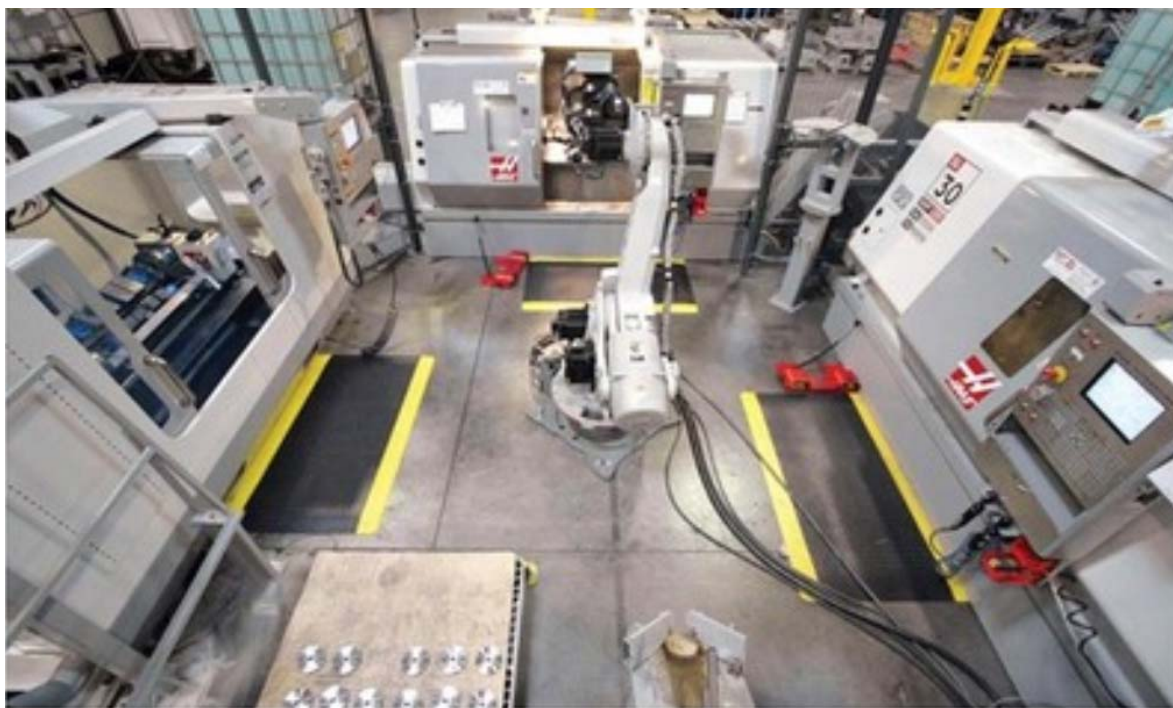


Рис.7.5. Гибкий автоматизированный участок

7.2. Токарно-фрезерные многофункциональные центры

Применение оборудования с высокой концентрацией операций и совмещением различных видов обработки существенно повышает производительность производства и качество выпускаемых деталей. Поэтому все более широкое применение находят многофункциональные обрабатывающие центры, основным назначением которых является комбинированная токарно-фрезерная обработка деталей. Токарно-фрезерные многофункциональные центры внешне и по компоновке практически не отличаются от обычных токарных станков с ЧПУ. При этом с целью выполнения фрезерных процедур они содержат три дополнительных модуля, которые осуществляют:

- перемещение обрабатывающего инструмента вдоль координатной оси Y , перпендикулярной осям плана токарной обработки $X-Z$;
- привод вращения обрабатывающего инструмента;
- контролируемый поворот шпинделя и его фиксацию в заданных угловых положениях.

В своем базовом исполнении (рис.7.6) токарно-фрезерный станок содержит РГ 7 с инструментами, предназначенными для выполнения токарных и фрезерных процедур. РГ установлена на подвижном элементе 6 с возможностью перемещения вдоль третьей координатной оси Y . Направление оси $Y+$ согласно правилу правой руки (рис.1.1,а) определено в сторону оператора.

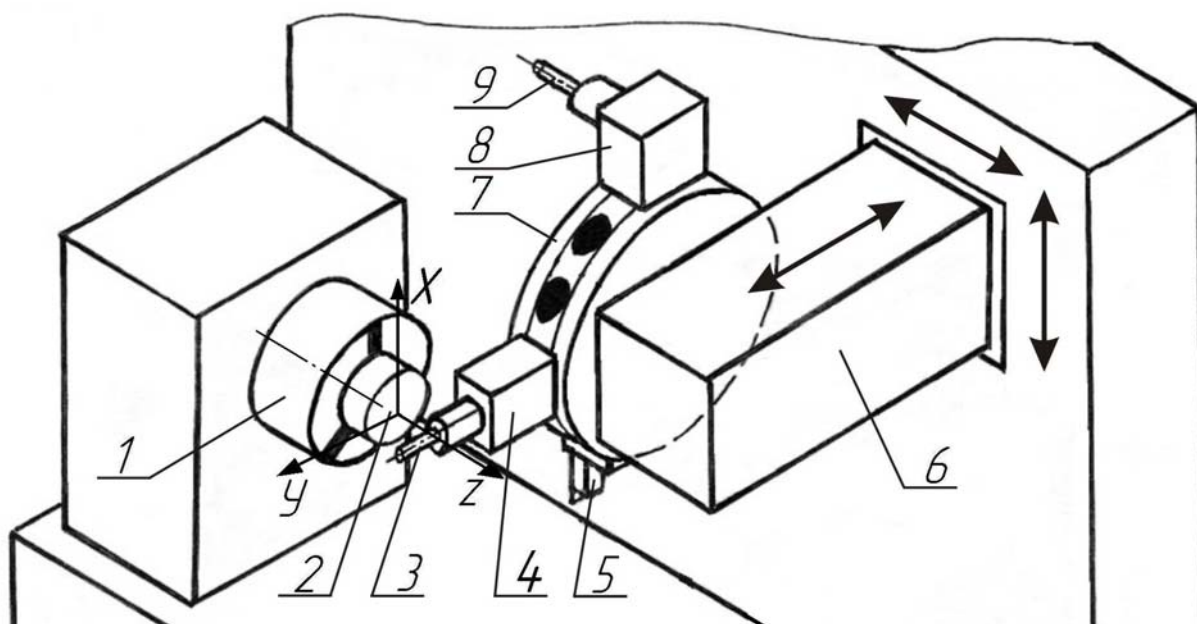


Рис.7.6. Структурная схема токарно-фрезерного многофункционального центра: 1 – шпиндель; 2 – деталь; 3, 9 – фрезы; 4 – фрезерный блок обработки детали в плане $Y-Z$; 5 – токарный резец; 6 – элемент крепления револьверной головки; 7 – револьверная головка; 8 – фрезерный блок обработки детали в плане $X-Y$

В процессе токарных операций инструменты станка перемещаются в плоскости $X-Z$; по оси Y он зафиксирован в положении $Y=0$. При выполнении фрезерных операций шпиндель с закрепленной деталью остановлен и зафиксирован в заданном угловом положении, а инструменты перемещаются в пространстве вдоль трех координатных осей.

На схеме (рис.7.6) изображен пример установки в станке трех инструментов. На рабочей позиции установлен токарный резец 5. В РГ размещены также:

- блок 8 с фрезой 9, предназначенной для обработки детали в плане $X-Y$. Этот план кодируется функцией **G17** (рис.7.7).
- блок 4 с фрезой 3, предназначенной для обработки детали в плане $Y-Z$. Этот план кодируется функцией **G19** (рис.7.8).

При выполнении комбинированных операций токарные и фрезерные переходы инструментов выполняются по единой УП. На первоначальном этапе выполнения операции обычно осуществляется цикл токарной обработки. Далее по команде УП осуществляется останов шпинделя, его фиксация в заданном угловом положении и обработка детали инструментами фрезерной группы (рис.7.7, 7.8). При этом возможность многопозиционной обработки детали обеспечивается изменением углового положения шпинделя. Токарная обработка детали может быть возобновлена и после окончания фрезерной обработки. Рассмотрим особенности программирования токарно-фрезерных операций.

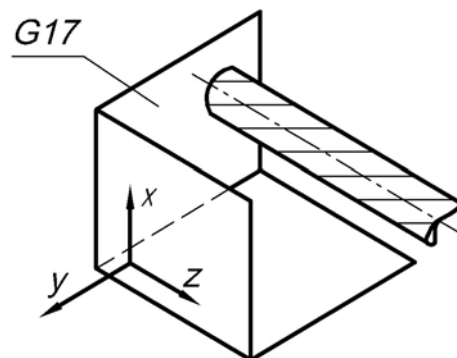
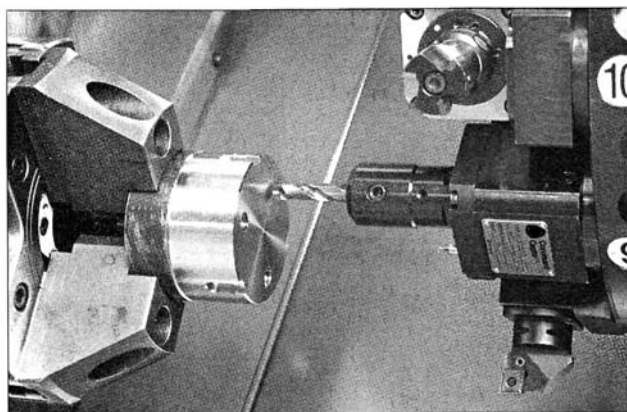


Рис.7.7. Фрезерный инструмент в плане обработки X - Y на многофункциональном центре: рабочая зона станка и схема плана фрезерной обработки детали

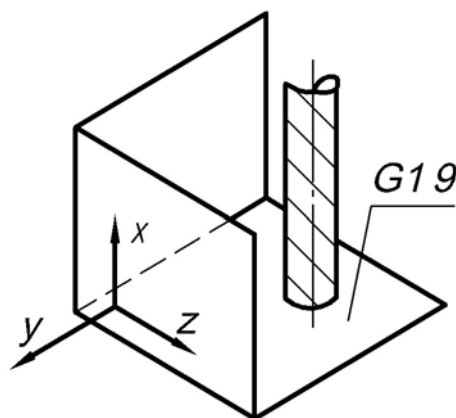
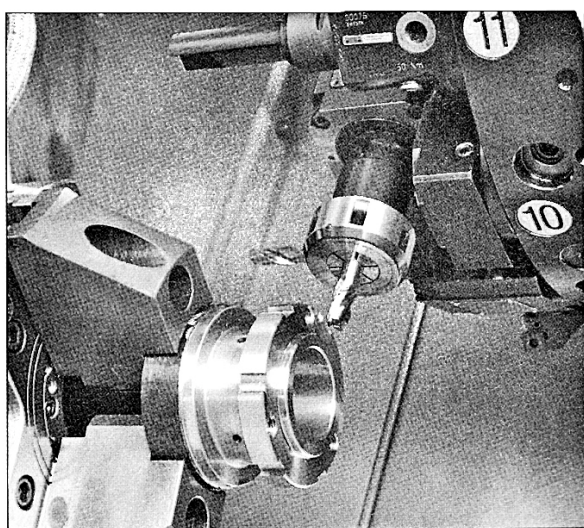


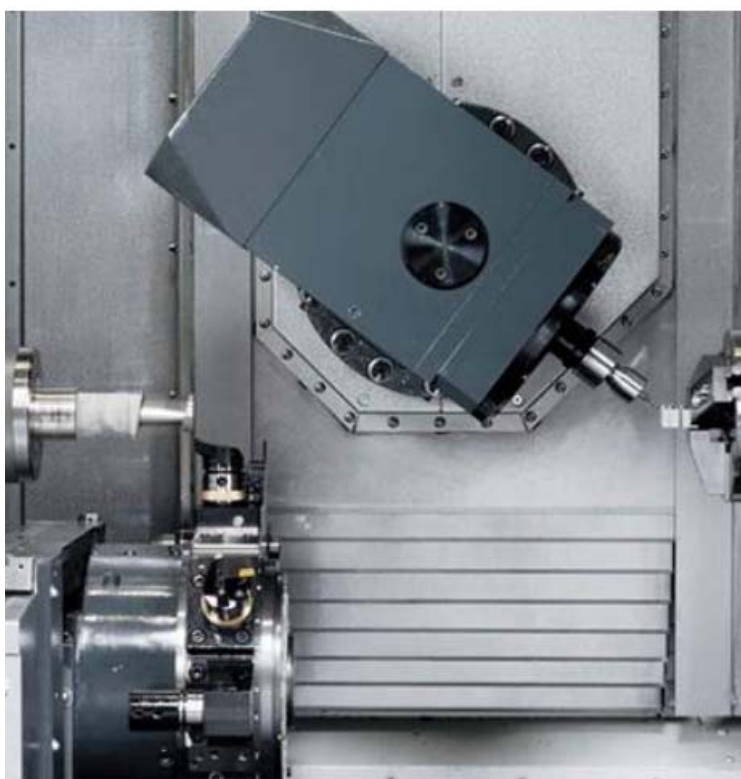
Рис.7.8. Фрезерный инструмент в плане обработки Y - Z на многофункциональном центре: рабочая зона станка и схема плана фрезерной обработки детали

- В систему ЧПУ следует вводить кодирование вида выполняемых переходов: **токарный или фрезерный**. При осуществлении одной только токарной обработки ее кодирование вводится по умолчанию.
- Перед началом токарной обработки в УП вводится специальная метка, адресующая команды «**M3**» и «**M5**» (запуск и останов) на шпиндель. Перед началом фрезерной обработки в УП вводится другая метка, переадресовывающая команды «**M3**» и «**M5**» на приводы инструментов, размещенных в РГ. При осуществлении одной только токарной обработки специальная метка вводится по умолчанию.
- Непосредственно перед началом фрезерной обработки следует задать начальное угловое положение шпинделя и произвести его механическую фиксацию.
- После окончания фрезерной обработки следует снять фиксацию шпинделя.

Как отмечалось выше, рабочие органы станка позволяют выполнять фрезерную обработку в планах $X-Y$ (рис.7.7) и $Y-Z$ (рис.7.8). Обозначение плана обработки (**G17** или **G19**) вводится в УП непосредственно перед началом программирования перемещений фрезерного инструмента.

7.3. Совершенствование токарно-фрезерного оборудования

В настоящее время многофункциональные центры выпускаются в широком спектре структурных схем, модификаций и исполнений. В частности, в базовую схему многофункционального центра (рис.7.6) могут быть введены дополнительные конструктивные элементы, которые существенно расширяют ее технологические возможности. Так, для обработки деталей сложных геометрических форм применяются станки с головками индивидуального крепления инструментов (рис.7.9,а). Такие головки обеспечивают выполнение совмещенных линейных и угловых перемещений и совместно с узлом крепления детали способны выполнять пятикоординатную обработку поверхностей. Инструменты, предназначенные для работы в таких узлах, размещены в инструментальном магазине, который расположен за пределами рабочей зоны станка.



а)



б)

Рис.7.9. Совершенствование структурных схем многофункциональных центров:
а) двухшпindelный станок с головкой индивидуального крепления инструмента;
б) рабочая зона станка с двумя револьверными головками

Рассмотрим структурную схему станка, содержащего две РГ (рис.7.10). Револьверная головка №1 (РГ1) 3, предназначенная для выполнения токарных и фрезерных переходов, установлена в верхней части рабочей зоны станка. Револьверная головка №2 (РГ2) 4 размещена в нижней части рабочей зоны. РГ2 предназначена исключительно для токарной обработки деталей, поэтому возможность ее перемещения в направлении оси Y не предусмотрена. Фотография рабочей зоны станка с двумя РГ приведена на рис.7.9,б.

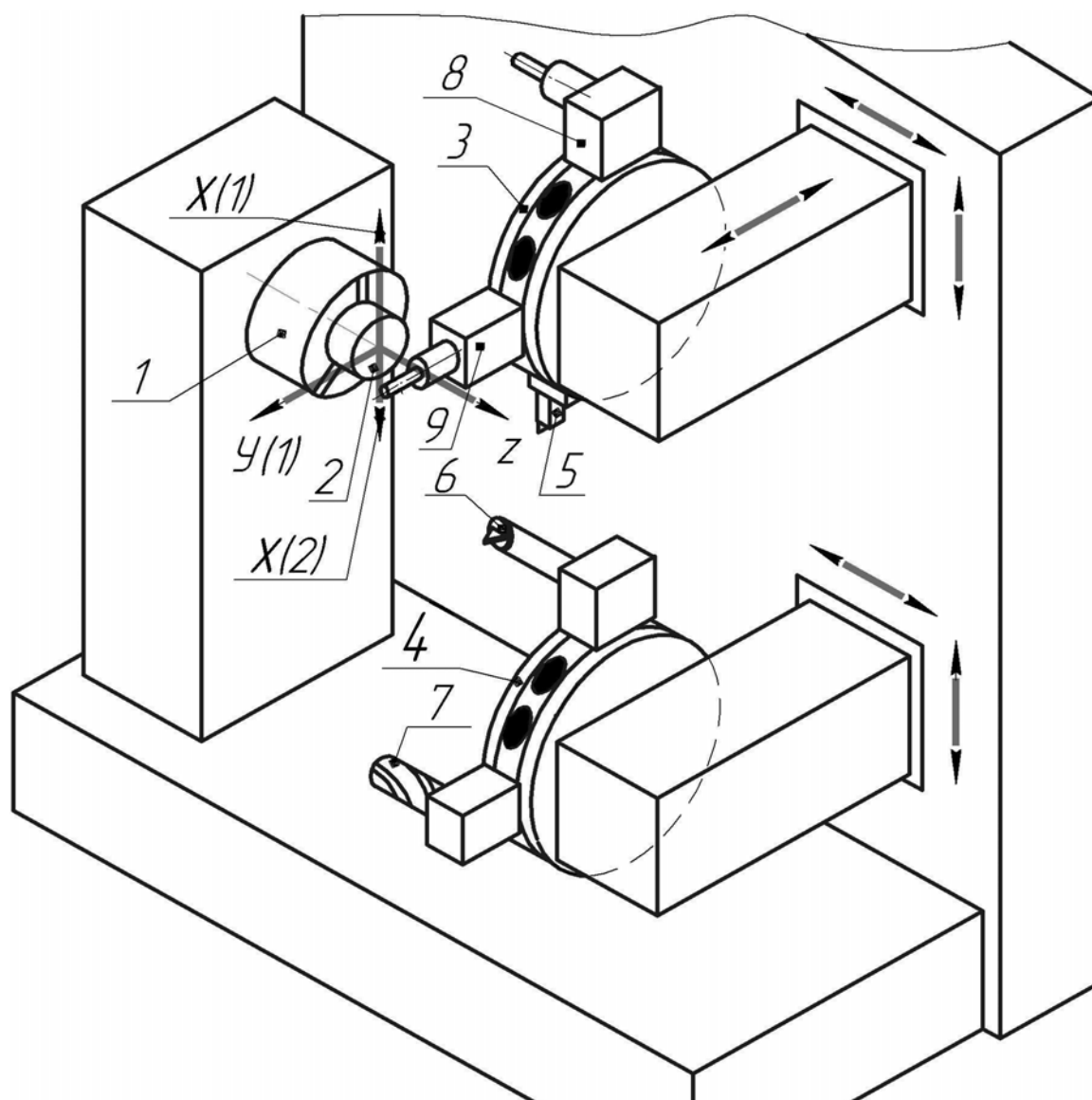


Рис.7.10. Структурная схема токарно-фрезерного многофункционального центра с двумя револьверными головками:

1 – шпиндель; 2 – деталь; 3 – револьверная головка №1 (РГ1); 4 – револьверная головка №2 (РГ2); 5 – радиально расположенный резец; 6 – расточной резец; 7 – сверло для выполнения центрального отверстия; 8 – фрезерный блок для обработки детали в плане $X-Y$ с закрепленным инструментом; 9 – фрезерный блок для обработки детали в плане $Y-Z$ с закрепленным инструментом; X , Y , Z – обозначения координатных осей

Наличие дополнительной РГ дает станку следующие технологические преимущества:

- увеличение числа инструментов, задействованных в обработке детали по одной операции;
- возможность совмещения во времени переходов для инструментов, установленных в разных РГ;
- возможность рационального выбора позиций для установки различных типов токарных инструментов в РГ.

Как уже отмечалось, ось X токарного оборудования направлена от детали в плоскости перемещения токарных инструментов (рис.7.11). В рассматриваемом станке ось X по отношению к инструментам РГ1 (рис.7.11,а) считается направленной вверх, а по отношению к инструментам РГ2 (рис.7.11,б) – направленной вниз (см. также соответствующие обозначения $X(1)$ и $X(2)$ на рис.7.10). Направление оси Y по отношению к РГ1 – $Y(1)$ – соответствует базовой схеме станка (рис.6.6) и определено в сторону оператора.

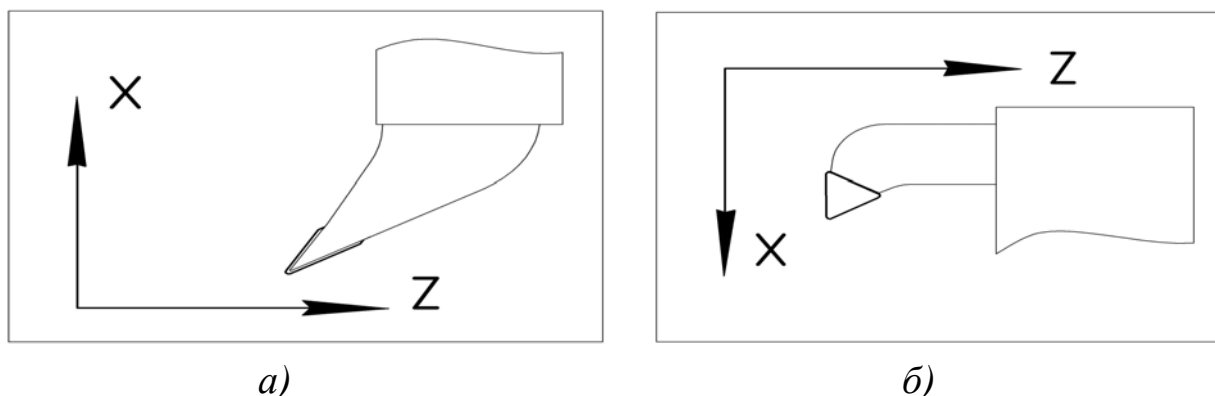


Рис.7.11. Расположение осей координат по отношению к револьверным головкам:
а) для револьверной головки №1; б) для револьверной головки №2

Рассмотрим общие принципы программирования токарно-фрезерных многофункциональных центров с двумя револьверными головками на примере двухканальной системы ЧПУ *Siemens* токарно-фрезерных центров *INDEX* [5]. Две РГ этого станка управляются отдельными УП и работают независимо друг от друга. При этом система ЧПУ обеспечивает жесткое согласование во времени действия двух РГ, в которых размещены обрабатывающие инструменты. Согласование осуществляется кадрами УП, содержащими специальные МЕТКИ [3]. В применяемом языке программирования «*SINUMERIK-840D*» метки имеют вид: *WAITM (5,...)*, *WAITM (10,...)*, *WAITM (15,...)* и т.д., где **5**, **10**, **15** – их порядковые номера. Для дальнейшего описания метода согласованного программирования двух РГ примем условное укороченное обозначение меток: *W5*, *W10*, *W15* и т.д.

Кадр УП, содержащий указанную метку, несет в себе команду на приостановку работы соответствующей РГ. Приостановленная ранее РГ, может быть запущена только командой, переданной по второму каналу управления на другую РГ и содержащей кадр с одноименной меткой. Допустим, система управления **РГ1** достигла кадра с меткой **W10** и приостановила работу. Одновременно с этим, **РГ2** остается «активной» и продолжает работать по «своей» УП, передаваемой по второму каналу управления. После выполнения заданных процедур УП «активной» **РГ2** достигает одноименной метки **W10**. Это – команда для **РГ1** на возобновление работы. Момент достижения «активной» **РГ2** метки с номером, на котором ранее была приостановлена **РГ1**, является условной точкой ВСТРЕЧИ двух РГ. Приостановленная ранее **РГ1** возобновляет работу. При этом активная **РГ2** также продолжает работу. Таким образом точка встречи является моментом начала совмещенной во времени работы **РГ1** и **РГ2**.

Рассмотрим принцип согласованного программирования действий двух РГ на примере обработки детали (рис.7.12). Операция включает в себя подрезку торца, сверление центрального отверстия, черновую и чистовую обработку детали, а также обработку повышенной точности наружной и внутренней поверхностей.

Оптимальным представляется размещение в **РГ1** радиально расположенных инструментов, осуществляющих подрезку торца и точение наружных поверхностей (рис.7.12,*а*), а в **РГ2** – инструментов, осуществляющих сверление центрального отверстия и обработку внутренних поверхностей (рис.7.12,*б*).

Проведем построение циклограммы последовательной обработки детали различными инструментами (рис.7.13,*а*) [4]. Запуск обеих УП осуществляется общей командой «ПУСК». При этом **РГ1** станка приступает к работе, а **РГ2** остается в положении ожидания по команде **W5**. После выполнения переходов **П1** и **П2** система управления **РГ1** достигает одноименной метки **W5**; это – команда на запуск работы **РГ2**. Сама **РГ1** приостанавливает работу по команде следующего кадра: **W10**. **РГ2** выполняет переходы **П3...П5**, после чего система управления **РГ2** достигает одноименной метки **W10**. Это – команда на запуск работы **РГ1**. Сама **РГ2** приостанавливает работу по команде следующего кадра: **W15**. И так далее. Обе РГ завершают работу, предварительно встретившись по метке **W20**. Структура программного управления последовательного цикла выполнения операции приведена в табл.7.1.

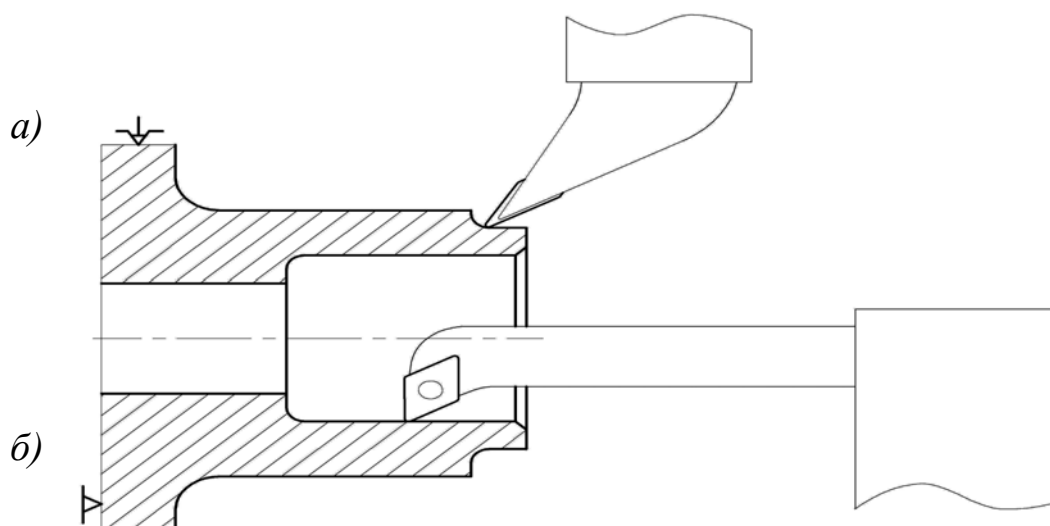


Рис.7.12. Совмещенная обработка наружной и внутренней поверхностей:
 а – инструмент в РГ1; б – инструмент в РГ2

7.4. Совмещение технологических переходов на станках с двухканальными системами управления

В настоящее время одной из важнейших задач технологической подготовки производства на станках с ЧПУ является повышение эффективности работы комплекта обрабатывающих инструментов. В многофункциональных центрах с двумя РГ (рис.7.10) и двухканальной системой управления производительность обработки детали может быть существенно повышена за счет применения комбинированного цикла, в рамках которого переходы инструментов, размещенных в РГ1 и РГ2, совмещены во времени.

Таблица 7.1

Структура УП для РГ1	Структура УП для РГ2
СТАРТ ПЕРЕХОД П1: подрезка ПЕРЕХОД П2: обточка черновая МЕТКА W5 МЕТКА W10 ПЕРЕХОД П6: обточка чистовая ПЕРЕХОД П7: обточка повышенной точности МЕТКА W15 МЕТКА W20 ФИНИШ	СТАРТ МЕТКА W5 ПЕРЕХОД П3: сверление ПЕРЕХОД П4: расточка черновая ПЕРЕХОД П5: расточка чистовая МЕТКА W10 МЕТКА W15 ПЕРЕХОД П8: расточка повышенной точности МЕТКА W20 ФИНИШ

Рассмотрим задачу обработки детали (рис.7.12) с применением совмещенных переходов. Задача включает в себя ряд технологических ограничений:

- подрезка торца должна выполняться отдельно от других переходов;
- переходы по обработке поверхностей повышенной точности должна выполняться отдельно от других переходов;
- черновые переходы не могут выполняться в параллельном режиме с чистовыми переходами.

Было решено выполнять в параллельном режиме:

- черновые переходы обработки внутренних и наружных поверхностей детали;
- чистовая переходы обработки внутренних и наружных поверхностей детали.

В рамках поставленной задачи оптимальным представляется размещение в **РГ1** радиально расположенных инструментов, осуществляющих подрезку торца и точение наружных поверхностей, а в **РГ2** – инструментов, осуществляющих сверление центрального отверстия и обработку внутренних поверхностей.

Комбинированный цикл обработки детали начинается с подрезки торца **П1**. Выполнение этого перехода – необходимое условие для начала работы черновых инструментов. Сверление центрального отверстия **П3** и черновая расточка **П4** выполняются последовательно; одновременно с ними осуществляется черновое наружное точение **П2**. Дальнейшее продолжение операции возможно только при условии окончания обоих переходов черновых резцов **П2** и **П4**. Чистовые переходы инструментов **П5** и **П6** также совмещены во времени. После окончания чистовых переходов система приступает к последовательному выполнению переходов повышенной точности – сначала перехода **П7** и затем перехода **П8**.

Структура программного управления комбинированного цикла выполнения операции приведена в табл.7.2; циклограмма обработки детали изображена на рис.7.13,б. Первой к работе приступает **РГ1** (переход **П1**), а **РГ2** задерживается в положении ожидания по команде **W5**. После окончания перехода **П1** система управления **РГ1** по команде одноименной метки **W5** запускает работу **РГ2**. При этом сама **РГ1** не прерывает работу, а приступает к выполнению перехода **П2**. Такая структура программирования позволяет совместить во времени черновой переход **П2** с другими черновыми переходами: **П3** и **П4**.

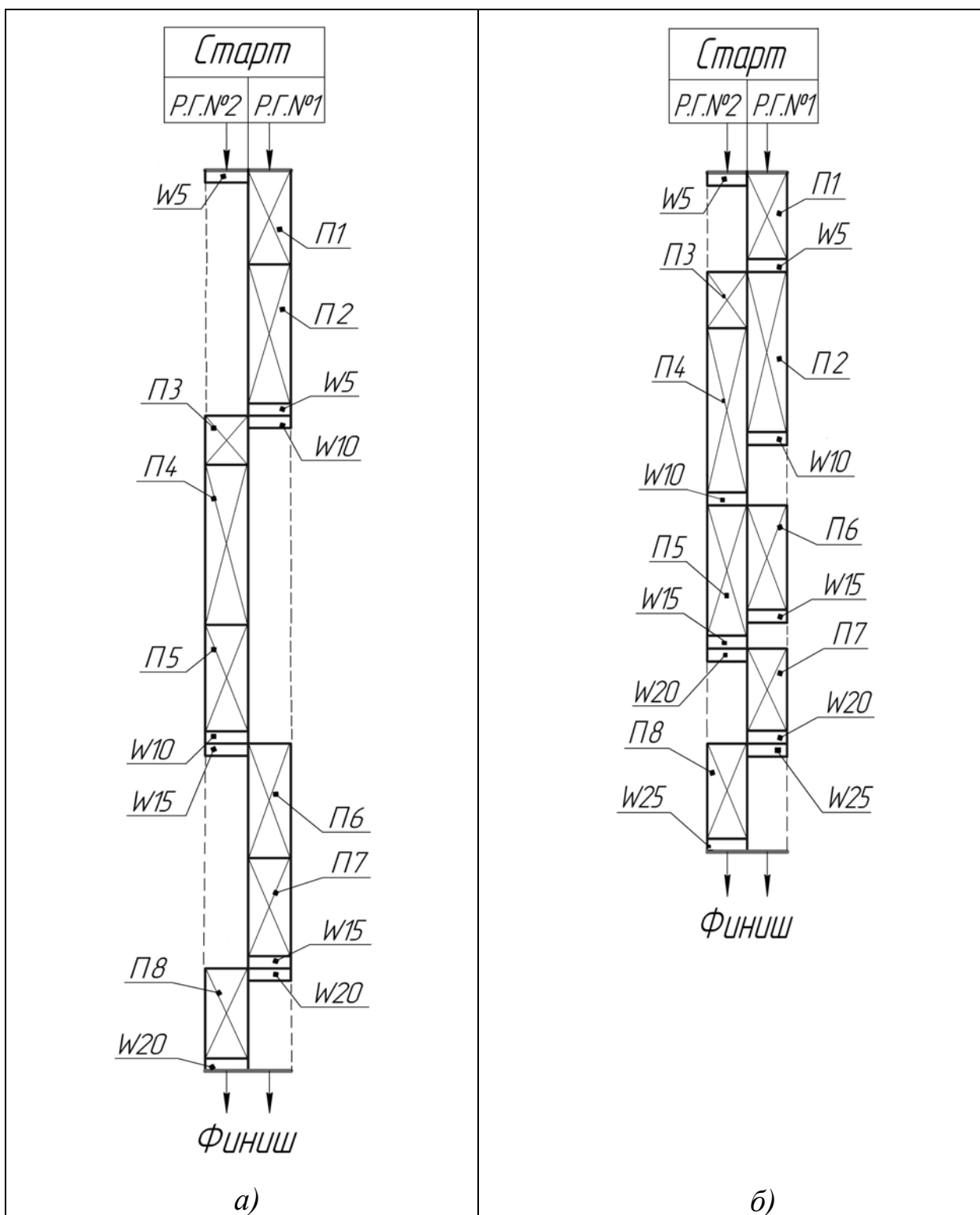


Рис.7.13. Моделирование последовательного и комбинированного цикла обработки детали на станке «INDEX» с двумя револьверными головками:

a – циклограмма при последовательной организации переходов (табл.7.1); *б* – циклограмма при совмещенной во времени организации переходов (табл.7.2); **РГ1** – револьверная головка №1; **РГ2** – револьверная головка №2; **W_i** – метки согласования действий программ во времени; **П_i** – обозначения переходов инструментов: **П1** – подрезка; **П2** – точение черновое; **П3** – сверление; **П4** – расточка черновая; **П5** – расточка чистовая; **П6** – точение чистовое; **П7** – точение повышенной точности; **П8** – расточка повышенной точности

Таблица 7.2

Структура УП для РГ1	Структура УП для РГ2
<p>СТАРТ</p> <p>ПЕРЕХОД П1: подрезка</p> <p>МЕТКА W5</p> <p>ПЕРЕХОД П2: обточка черновая</p> <p>МЕТКА W10</p> <p>ПЕРЕХОД П6: обточка чистовая</p> <p>МЕТКА W15</p> <p>ПЕРЕХОД П7: обточка повышенной точности</p> <p>МЕТКА W20</p> <p>МЕТКА W25</p> <p>ФИНИШ</p>	<p>СТАРТ</p> <p>МЕТКА W5</p> <p>ПЕРЕХОД П3: сверление</p> <p>ПЕРЕХОД П4: расточка черновая</p> <p>МЕТКА W10</p> <p>ПЕРЕХОД П5: расточка чистовая</p> <p>МЕТКА W15</p> <p>МЕТКА W20</p> <p>ПЕРЕХОД П8: расточка повышенной точности</p> <p>МЕТКА W25</p> <p>ФИНИШ</p>

После «встречи» двух систем управления по метке **W10** РГ1 и РГ2 станка возобновляют совместную работу по выполнению чистовых переходов **П5** и **П6**). После новой «встречи» двух систем управления (по метке **W15**) станок переходит к последовательной обработке двух поверхностей повышенной точности. Вначале **РГ1** выполняет переход **П7**, а **РГ2** находится в положении ожидания по команде **W20**. Далее **РГ2** выполняет переход **П8**, а **РГ1** находится в положении ожидания по команде **W25**. После «встречи» двух систем управления по метке **W25** обе РГ одновременно завершают работу.

Визуальное сравнение двух циклограмм (рис.7.13) показало возможность существенного – на величину около 30% – снижения основного времени и, соответственно, повышения производительности обработки детали (рис.7.12) на базе оптимизации структуры УП. Представленный подход к формированию структуры УП достаточно универсален и может широко применяться при подготовке процессов обработки деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бондаренко, Ю.А.** Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ: учеб. пособие / Ю.А. Бондаренко и др. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 292 с.
2. **Серебсеницкий, П. П.** Программирование для автоматизированного оборудования: учеб. пособие / П.П. Серебсеницкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2003. – 592 с.
3. **Иванов, А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.А. Иванов. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – 204 с.
4. **Петровский, А.Н.** Автоматизация производственных процессов в машиностроении: комплекс учебно-методических материалов / А.Н. Петровский, Е.А. Куликова. – Н. Новгород: НГТУ, 2000. – 120 с.
5. **Чуваков, А.Б.** Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ. Производственное оборудование и основы программирования операций: учеб. пособие / А.Б. Чуваков. – Н. Новгород: НГТУ, 2011. – 148 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Программирование выполнения детали на станке фрезерной группы типа «Обрабатывающий центр»

В разделе 1.5 были представлены общие принципы комбинированной многопозиционной обработки детали на вертикальном ОЦ. Трехмерная графическая модель детали приведена на рис.1.18; графическое описание принципов выполнения комбинированной операции – на рис.1.19; схема компоновки рабочей зоны станка – на рис.1.24. Воспользуемся этим примером при рассмотрении реальной производственной задачи программирования комбинированной операции. Эскиз выполняемой детали приведен на рис.П1.

На первоначальном этапе подготовки операции производится выбор ОЦ, технологической оснастки и обрабатывающего инструмента. Основные требования, предъявляемые к станку:

- достаточная площадь рабочего стола, обеспечивающая возможность обработки детали на заданных установках;
- достаточная емкость инструментального магазина, обеспечивающая возможность обработки детали единым комплектом инструментов.

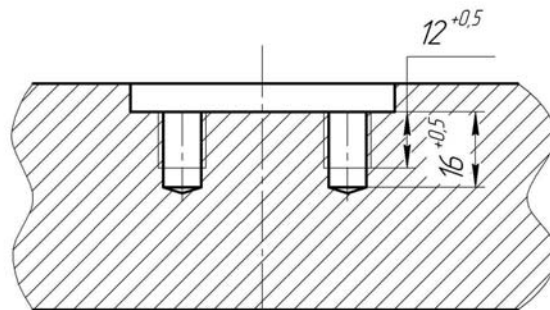
Для комбинированной операции был выбран вертикальный трехкоординатный ОЦ марки **VMC_750** (рис.П.2), характеристики которого приведены на рис.П.3. Выбор тисков осуществлялся с учетом их размеров, точности и величины необходимого усилия зажатия. Для крепления деталей на всех установках были выбраны станочные тиски с ручным приводом марки **GT-125-I** (П.4, П.5). В конструкции тисков предусмотрена возможность крепления и удобной регулировки бокового упора (рис.П5), предназначенного для фиксации детали.

В табл.П.1 приведен список и параметры задействованных инструментов; в табл.П2 – список выполняемых операций и переходов.

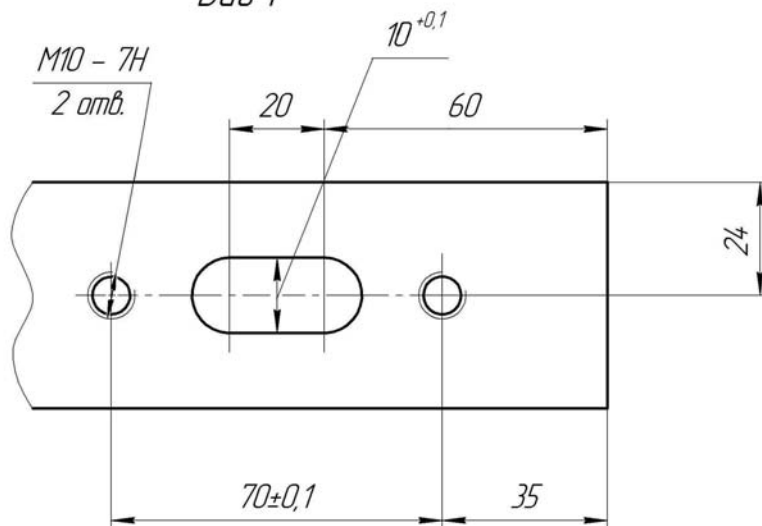
Как было отмечено выше, траектории фрез, выполняющих обработку по контуру, обычно программируются непосредственно по элементам контура чертежа. С этой целью в УП вводится команда на коррекцию диаметров инструментов. Для указанной группы фрез в систему ЧПУ станка был внесен дополнительный параметр: «ЗАДАННЫЙ» диаметр режущей части инструмента. У инструментов, выполняющих чистовую обработку, «заданный» диаметр равен фактическому; для инструментов, выполняющих черновую обработку, «заданный» диаметр должен быть больше фактического (табл.П2). Разность значений двух диаметров равна удвоенной величине припуска материала, формируемого в результате обработки (рис.2.6).

$\sqrt{Ra\ 3,2}\ (\checkmark)$

B - B



Вид Г



Б - Б

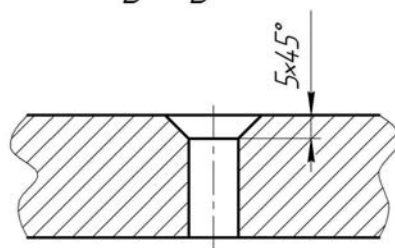


Рис.П1 (правая сторона)



Рис.П2. Трехкоординатный вертикальный станок с ЧПУ типа ОЦ «*VMC 750*»

Описание		Ед. изм.	Параметры
Размеры стола		мм	450*900
Мах нагрузка на стол		кг	600
Конус шпинделя		№	ISO 40
Мощность двигателя шпинделя		кВт	5.5 / 7.5
Скорость вращ шпинделя		об/мин	8000
Система ЧПУ			FANUC
Габариты:	Длина	мм	2800
	Ширина		2300
	Высота		2600

Рис.П3. Основные характеристики станка «*VMC 750*»

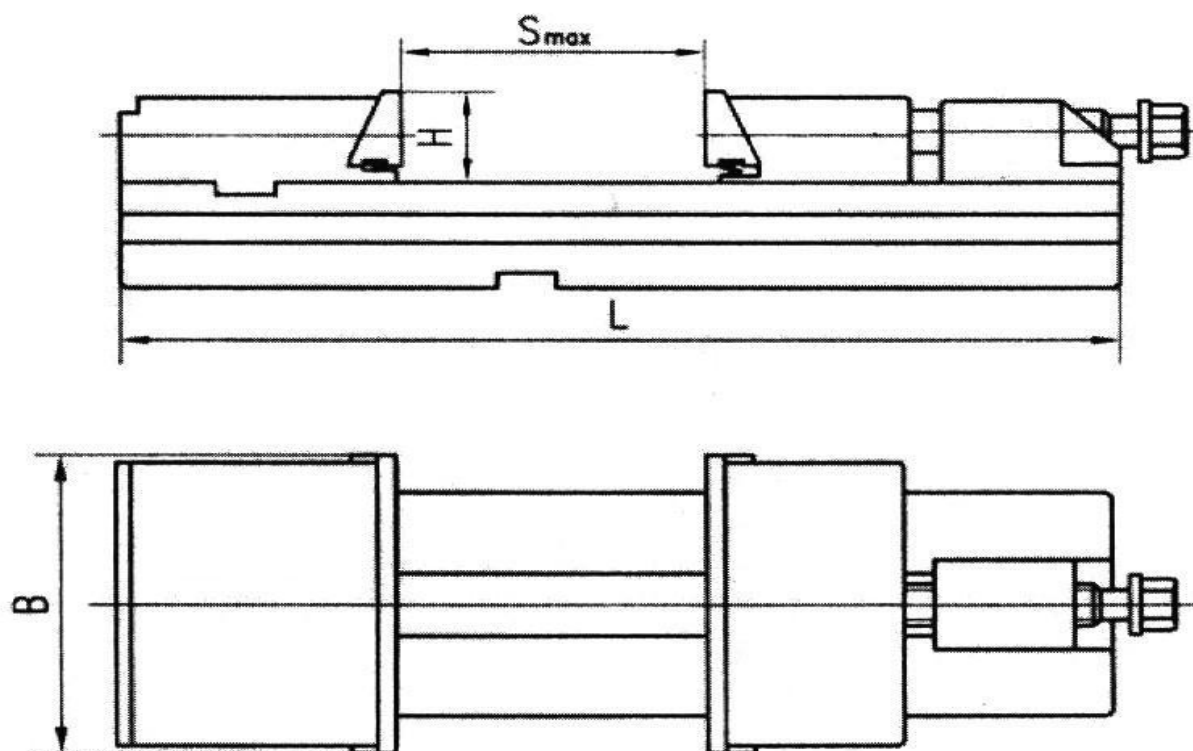


Рис.П4. Станочные тиски **GT-125-I** (структурная схема)

B , мм	125
H , мм	40
S_{MAX} , мм	150
L , мм	345
Усилие зажима, кН	3000
Масса, кг	12.7



Рис.П5. Станочные тиски **GT-125-I** (характеристики и фотография)

Таблица П1

Обозначение	Описание инструмента	Диаметр режущей части, мм		Длина режущей части, мм	Число режущих кромок
		Фактич.	Заданный		
Т1	Фреза торцевая, со сменными пластинами	160	-	-	12-16

Продолжение таблицы П1

T2	Фреза торцово-цилиндрическая со сменными пластинами	40	40,4	50 min	4
T3	Центровка	6	-	-	2
T4	Сверло	11,8	-	55 min	2
T5	Сверло	10,5	-	55 min	2
T6	Фреза концевая, черновая, твердосплавная	20	20,2	15 min	4
T7	Фреза концевая, чистовая, твердосплавная	20	20	50 min	4-6
T8	Сверло	8,5	-	55 min	2
T9	Метчик М10-7Н (шаг Р=1.5)	-	-	20 min	3
T10	Развертка Ø12-Н7	12	-	50 min	3
T11	Зенковка 90°	24 min	-	-	4
T12	Фреза шпоночная, твердосплавная	8	8	8 min	3

Таблица П2

005 ФРЕЗЕРНАЯ ОПЕРАЦИЯ	
Условное обозначение перехода	Описание перехода
Переход П01 (рис.П7)	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры 1 и 4
Переход П02 (рис.П7)	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры 2 и 3

010 КОМБИНИРОВАННАЯ ОПЕРАЦИЯ		
Условное обозначение перехода	Инструмент (корректор длины, корректор диаметра)	Описание перехода
Установ «А» (рис.П8)	-	-
Переход П1 (рис.П9)	T1 (H1)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер 1
Переход П2 (рис.П10)	T2 (H2, D2)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размеры 1...3
Переход П3 (рис.П11)	T3 (H3)	Центровать отверстия на глубину 3 , выдерживая размеры 1...6
Переход П4 (рис.П12)	T4 (H4)	Сверлить отверстие, выдерживая размеры 1...3

Продолжение таблицы П2

Переход П5 (рис.П13)	<i>T5 (H5)</i>	Сверлить отверстия, выдерживая размеры <i>1...7</i>
Переход П6 (рис.П14)	<i>T6 (H6, D6)</i>	Фрезеровать карман, выдерживая размеры <i>1...5</i>
Переход П7 (рис.П15)	<i>T7 (H7, D7)</i>	Фрезеровать карман, выдерживая размеры <i>1...5</i>
Переход П8-1 (рис.П16)	<i>T3 (H3)</i>	Центровать отверстия на глубину 3, выдерживая размеры <i>3...5</i>
Переход П8-2 (рис.П16)	<i>T8 (H8)</i>	Сверлить отверстия, выдерживая размеры <i>1,3...5</i>
Переход П8-3 (рис.П16)	<i>T9 (H9)</i>	Нарезать резьбу, выдерживая размеры <i>2...6</i>
Переход П9 (рис.П17)	<i>T1 (H1)</i>	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер <i>1</i>
Переход П10 (рис.П18)	<i>T7 (H7, D7)</i>	Фрезеровать поверхность, выдерживая размеры <i>1...3</i>
Переход П11 (рис.П19)	<i>T10 (H10)</i>	Развертывать отверстие, выдерживая размеры <i>1...3</i>
Переход П12 (рис.П20)	<i>T110 (H11)</i>	Зенковать отверстие, выдерживая размеры <i>1...6</i>
Установ «Б» (рис.П21)	-	-
Переход П13 (рис.П22)	<i>T1 (H1)</i>	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер <i>1</i>
Переход П14 (рис.П23)	<i>T2 (H2, D2)</i>	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры <i>1,2</i>
Переход П15 (рис.П24)	<i>T7 (H7, D7)</i>	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры <i>1,2</i>
Переход П16 (рис.П25)	<i>T1 (H1)</i>	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер <i>1</i>
Переход П17 (рис.П26)	<i>T7 (H7, D7)</i>	Фрезеровать карман, выдерживая размеры <i>1...3</i>
Установ «В» (рис.П27)	-	-
Переход П18 (рис.П28)	<i>T12 (H12, D12)</i>	Фрезеровать шпоночный паз, выдерживая размеры <i>1...5</i>
Переход П19-1 (рис.П29)	<i>T3 (H3)</i>	Центровать отверстия на глубину 3, выдерживая размеры <i>3...5</i>
Переход П19-2 (рис.П29)	<i>T8 (H8)</i>	Сверлить отверстия, выдерживая размеры <i>1,3...5</i>
Переход П19-3 (рис.П29)	<i>T9 (H9)</i>	Нарезать резьбу, выдерживая размеры <i>2...6</i>

015 ФРЕЗЕРНАЯ ОПЕРАЦИЯ	
Условное обозначение перехода	Описание перехода
Переход П03 (рис.П30)	Фрезеровать паз, выдерживая размеры <i>1,2</i>

Положение нуля детали было выбрано с учетом обеспечения удобства расчетов траекторий инструментов. Позиция нулевой точки по оси **Z** на установках «А» и «Б» (рис.1.19) была назначена на настроечной верхней плоскости детали, формируемая в процессе снятия припуска. Позиция нулевой точки на установке «В» была назначена на плоскости базирования детали в тисках.

В качестве нуля детали в плане **X-Y** на установке «А» была назначена точка, от которой рассчитывается большинство размеров детали – в центре симметрии кармана. На установках «Б» и «В» контуры обрабатываемых поверхностей имеют простую конфигурацию. Поэтому нулевая точка детали была назначена на линии пересечения обработанных боковых поверхностей со стороны неподвижных губок тисков и бокового упора.

В рамках поставленной задачи была принята форма заготовки, отображающая внешний геометрический контур детали с заданными технологическими припусками. Величины припусков – 2 мм по каждой грани заготовки (рис.1.19). Для крепления в тисках по одной из граней заготовки был предусмотрен припуск равный 8 мм (контур готовой детали обозначен на рис.1.19 штрихпунктирной линией). Контуры заготовки воспроизводят только основные контуры детали без учета конфигурации отверстий, мелких уступов, карманов, пазов и т.д. Для выполняемой детали определены следующие габаритные размеры заготовки: **L**=196мм; **B**=124мм; **H**=58мм. Эскиз заготовки приведен на рис.П6.

Эскизы обработки детали по операциям и установкам приведены на рис.П7, рис.П8, рис.П21, рис.П27, рис.П30. Эскизы переходов инструментов приведены на рис.П9...П20, рис.П22...П26, рис.П28...П29. Изображения однотипных переходов (центрирование, сверление и нарезание резьбы одной группы отверстий) были объединены в единых эскизах (рис.П16, рис.П29).

УП комбинированной операции **010** с необходимыми комментариями представлена в табл.П3. Повторяющиеся траектории перехода **П2** (установ «А») и перехода **П17** (установ «Б») выделены в подпрограммы (табл.П4).

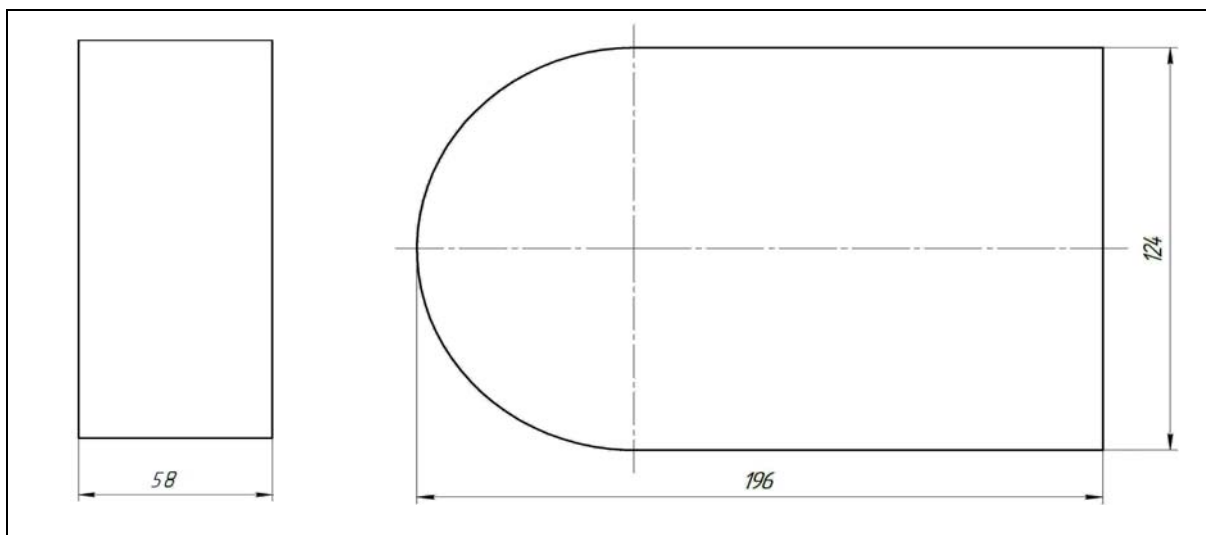


Рис.П6. Заготовка

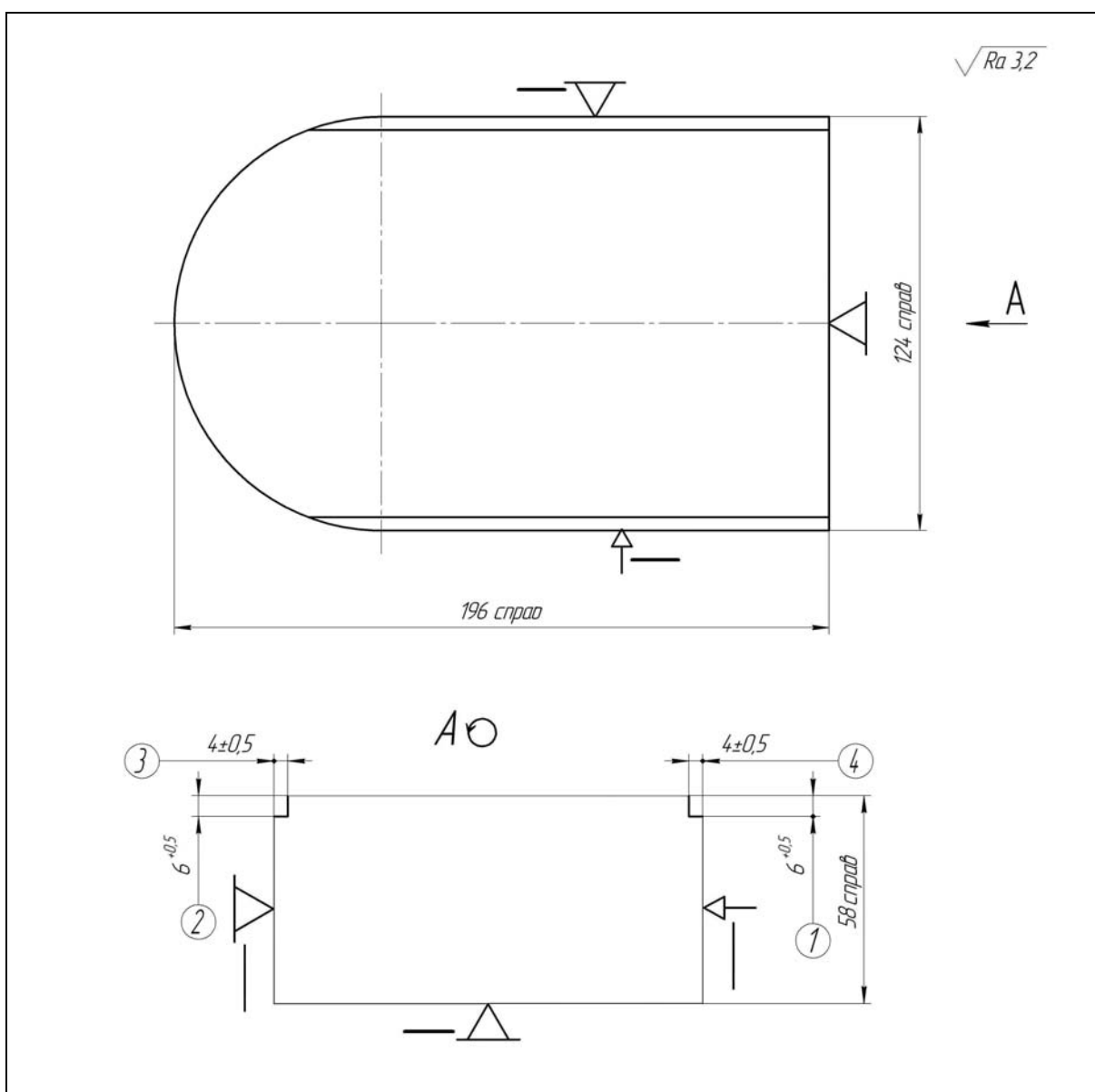


Рис.П7. Фрезерная операция 005

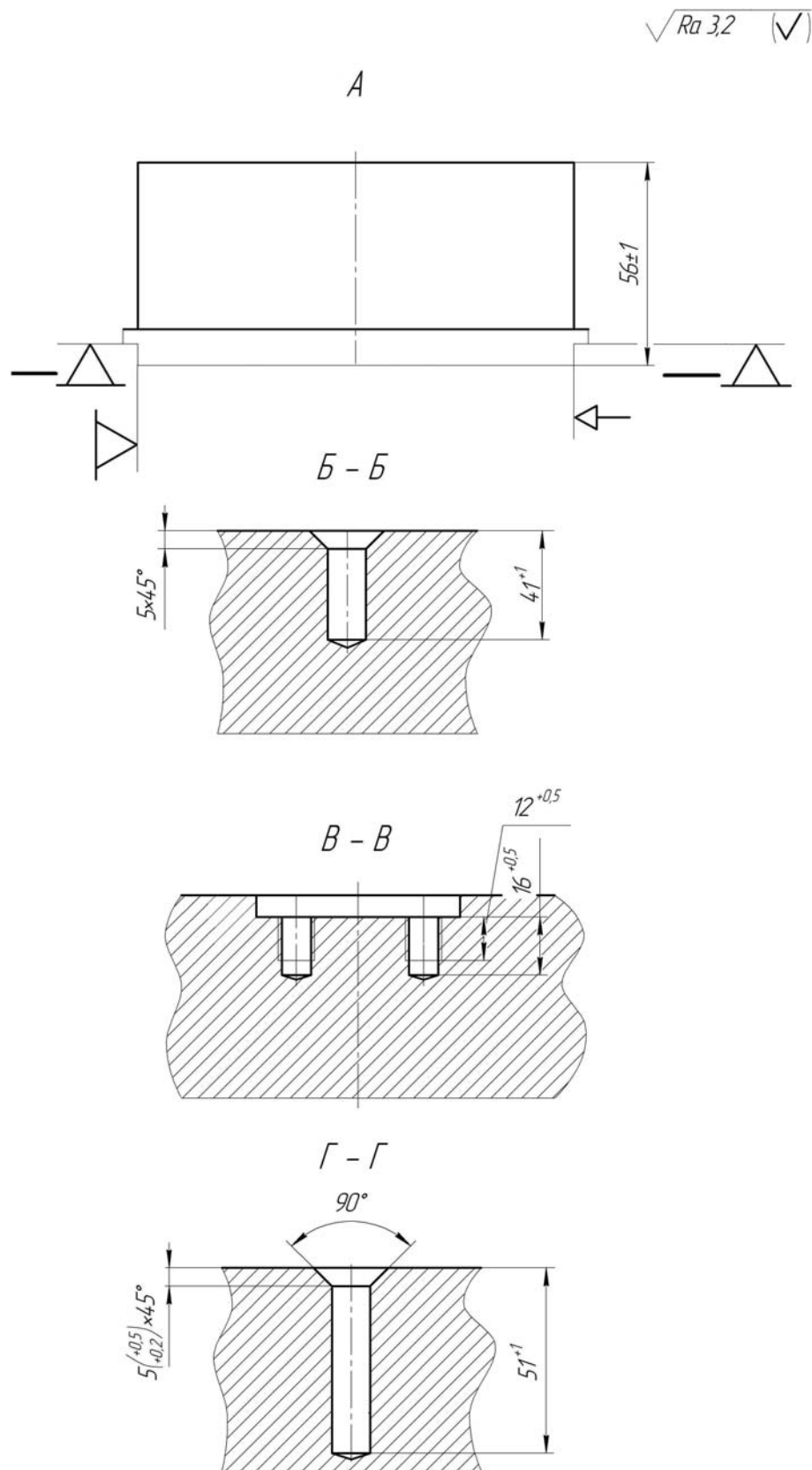


Рис.П8. (правая сторона)

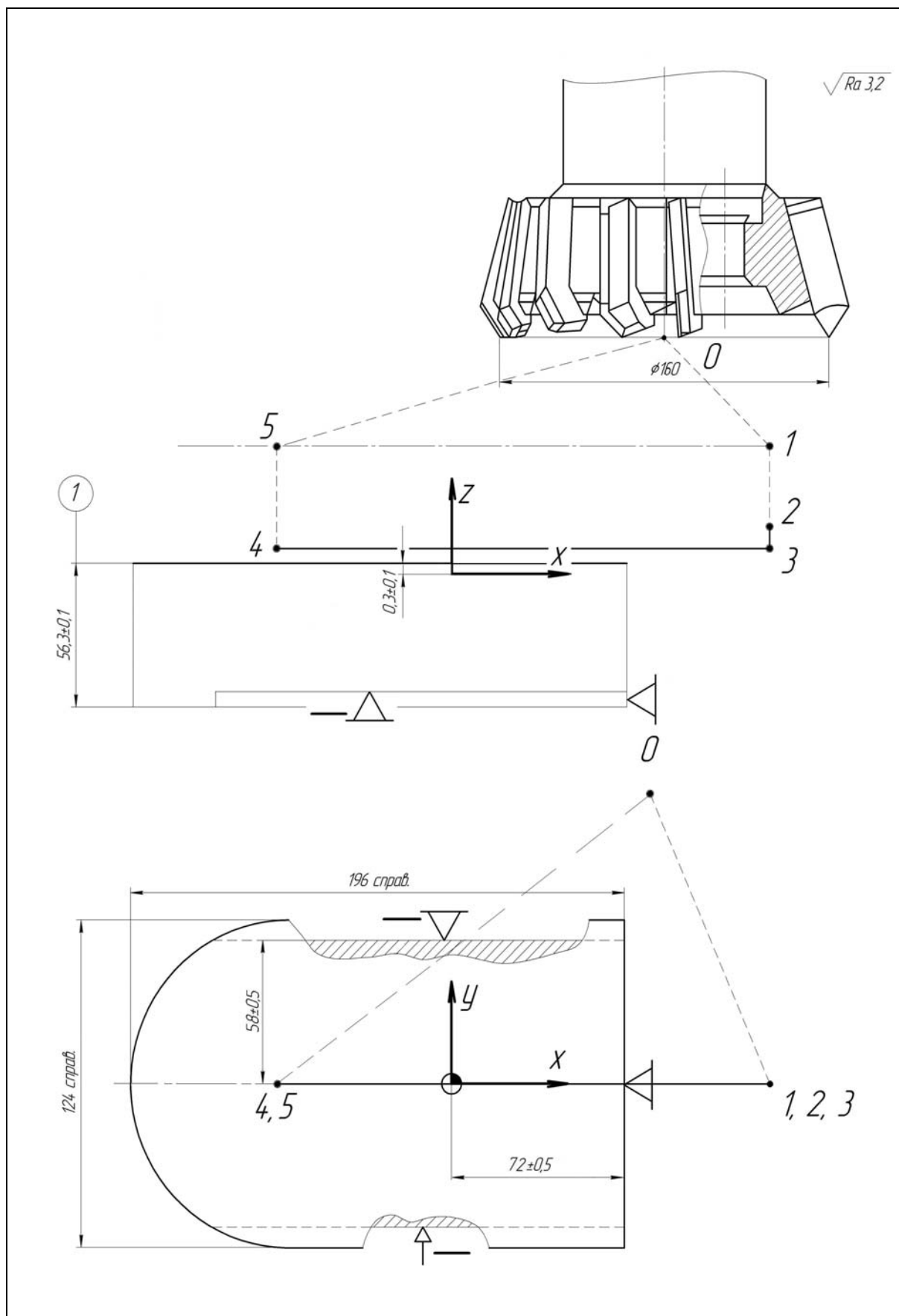


Рис.П9. Установ «А» операции 010, переход П1 (инструмент Т1)

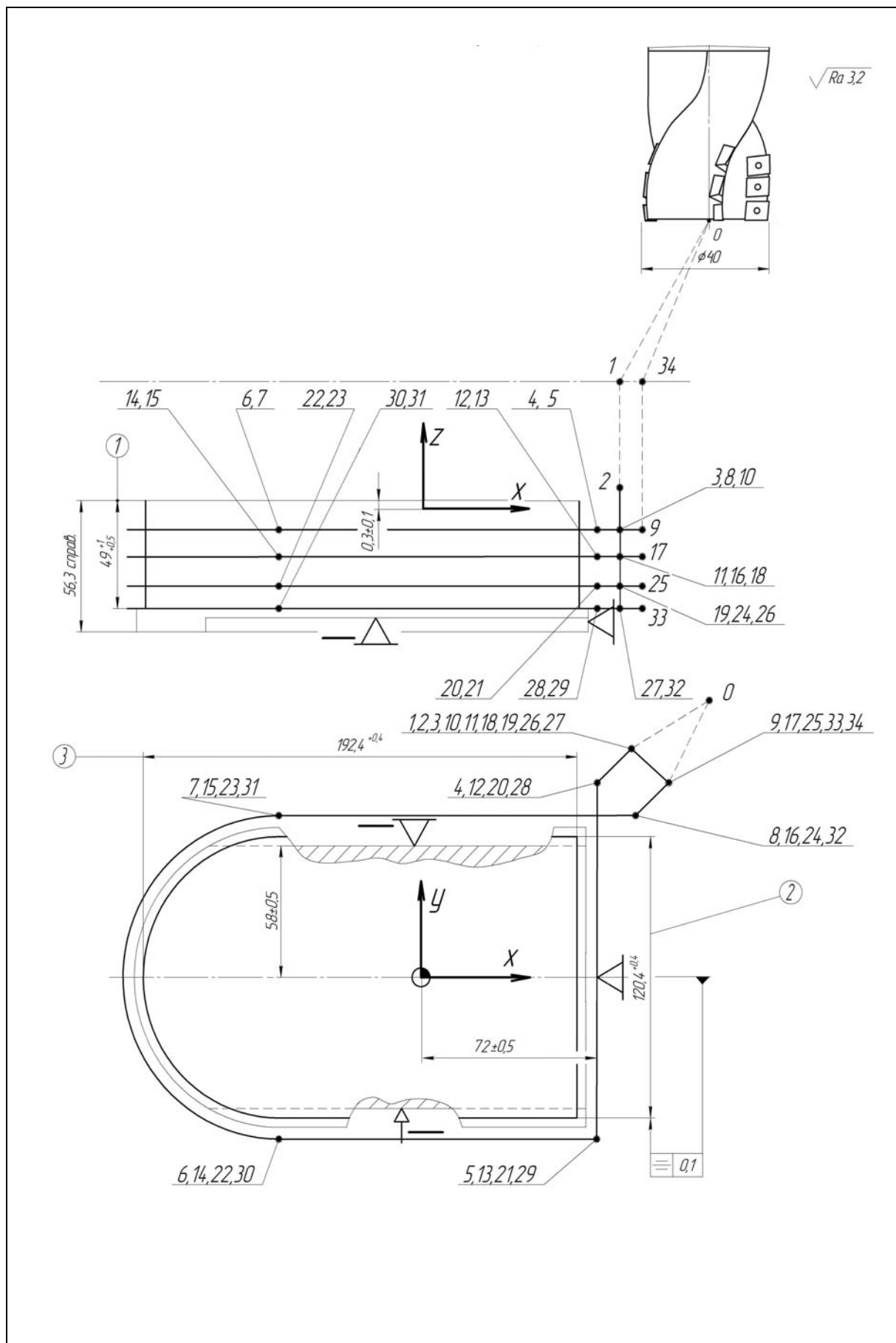


Рис.П10. Установ «А» операции 010, переход П2 (инструмент Т2)

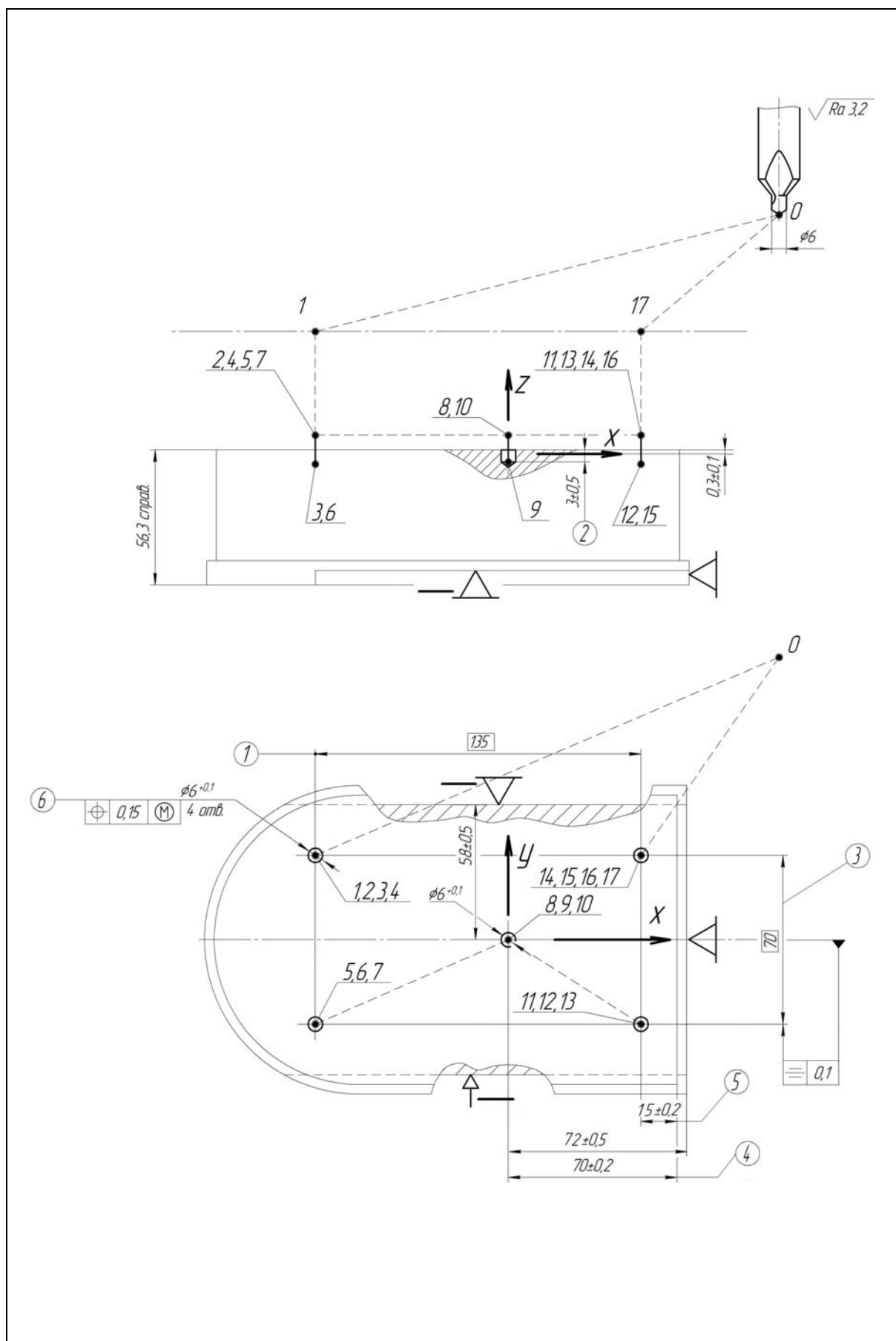


Рис.П11. Установ «А» операции 010, переход ПЗ (инструмент ТЗ)

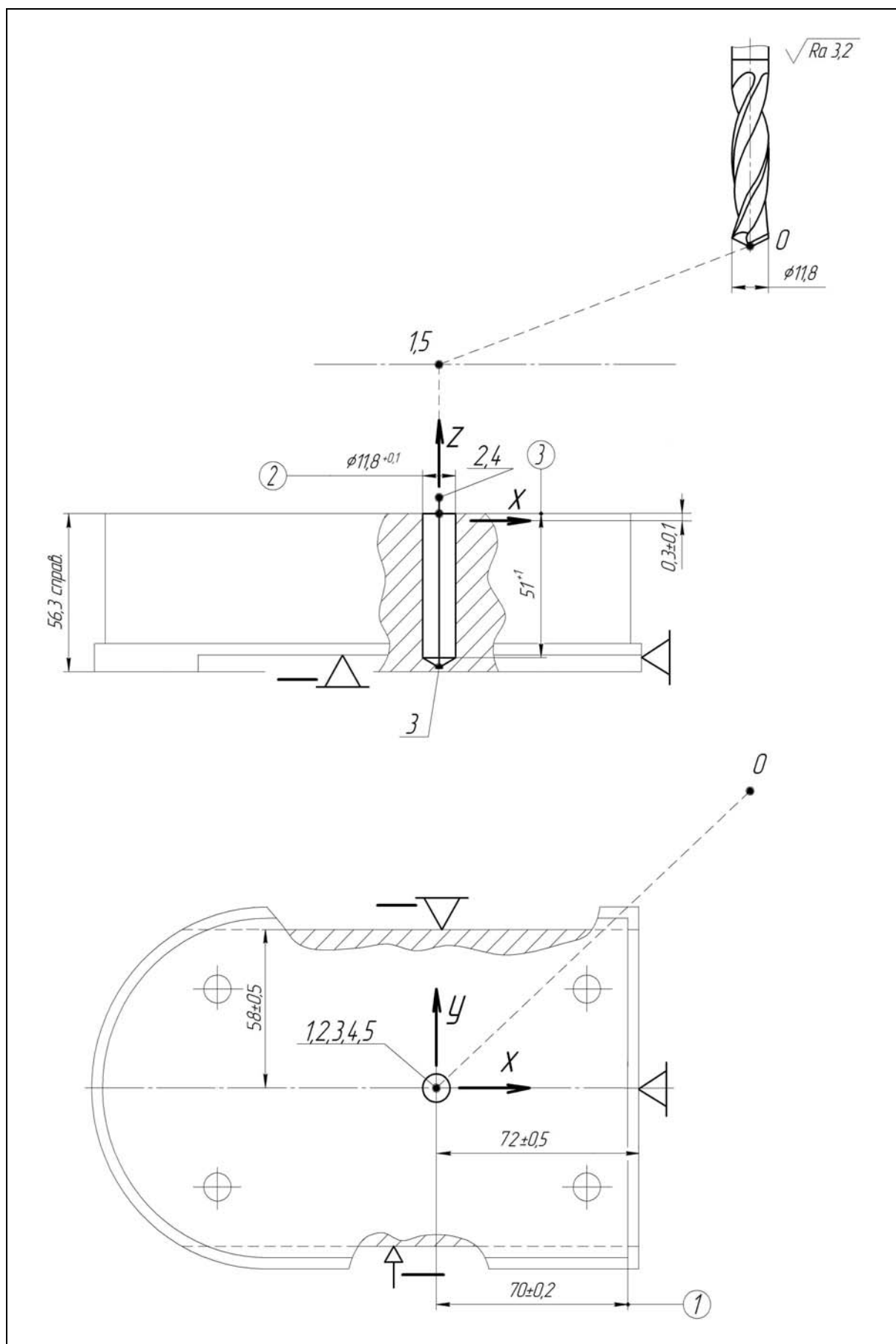


Рис.П12. Установ «А» операции 010, переход П4 (инструмент Т4)

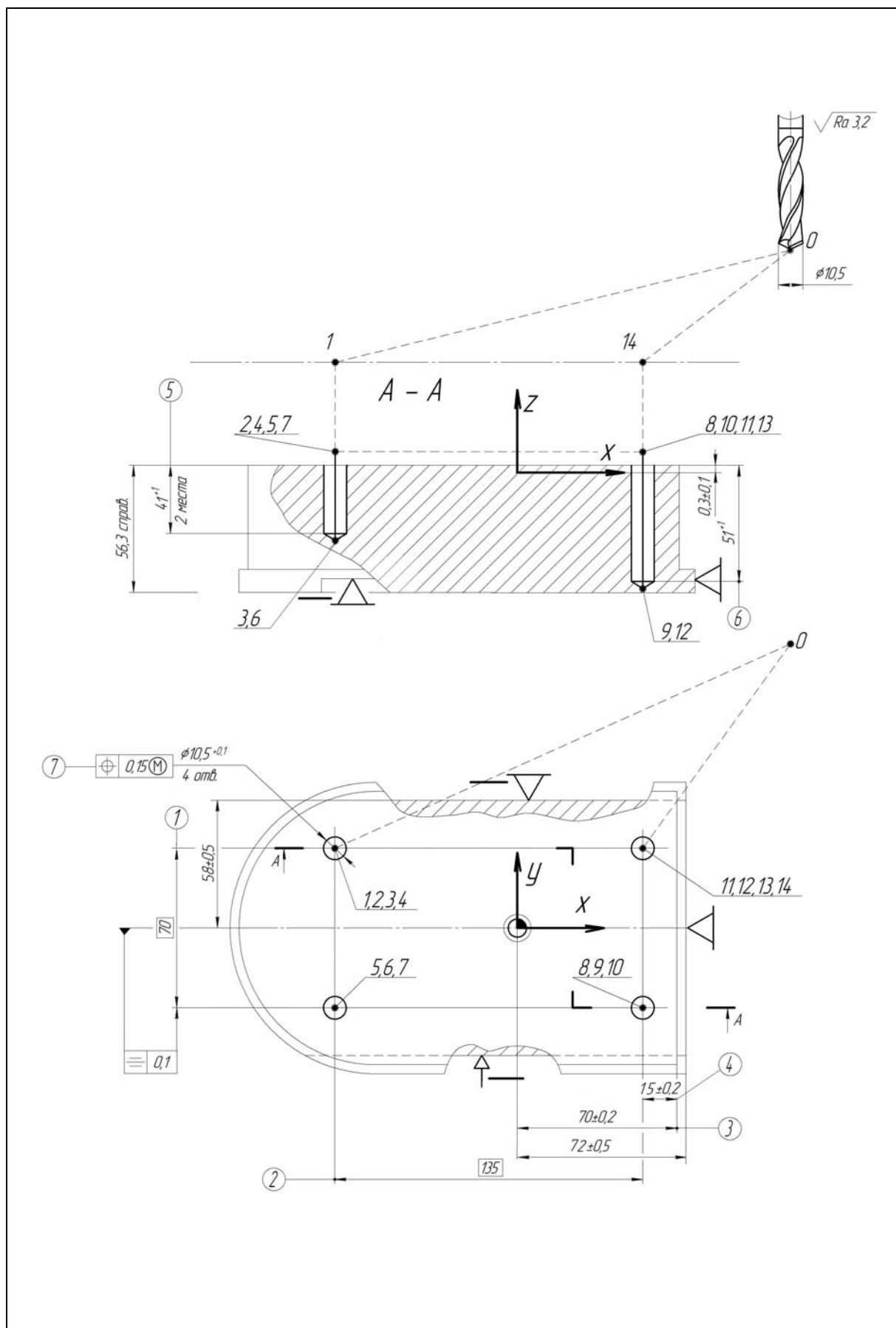


Рис.П13. Установ «А» операции 010, переход П5 (инструмент Т5)

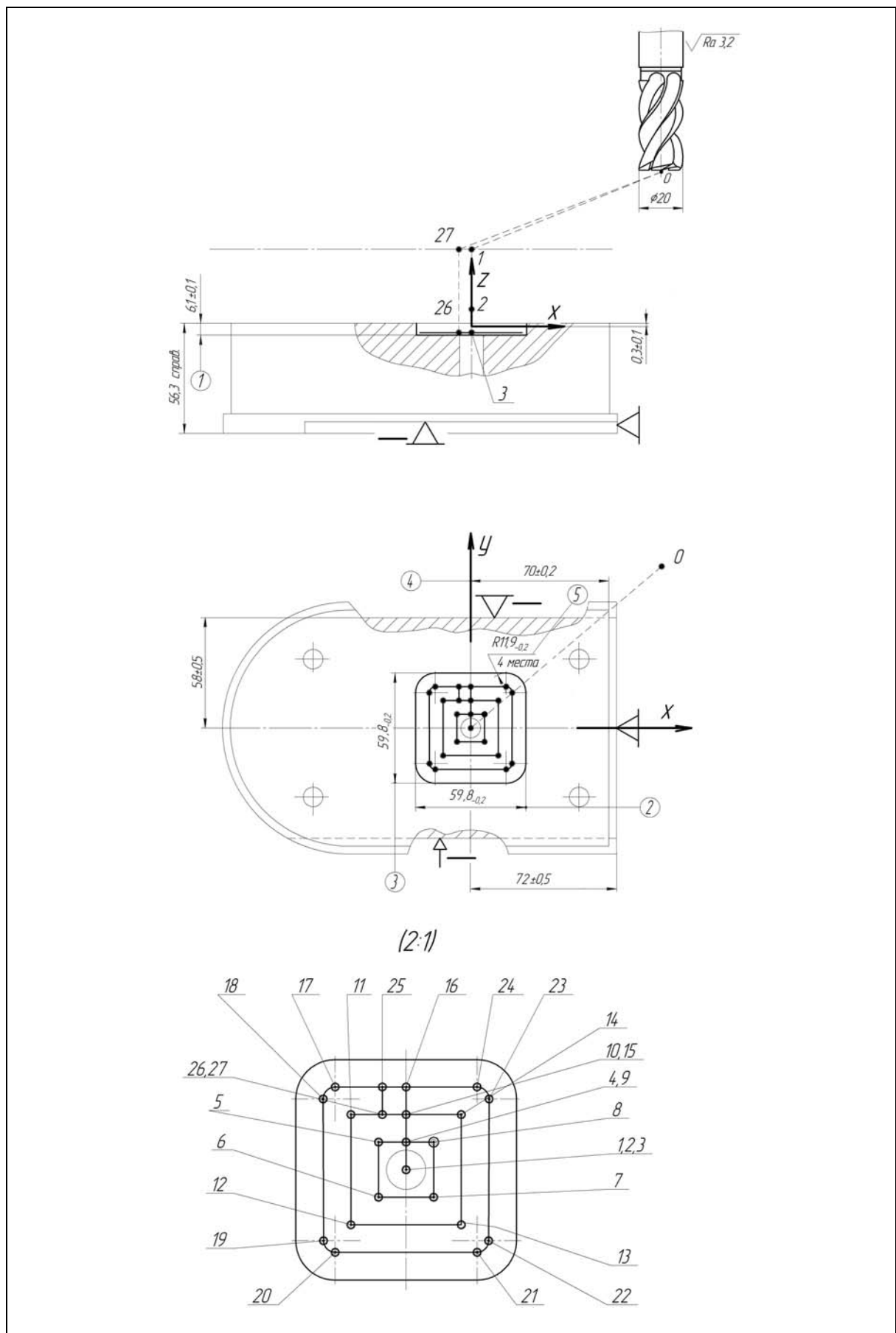


Рис.П14. Установ «А» операции 010, переход П6 (инструмент Т6)

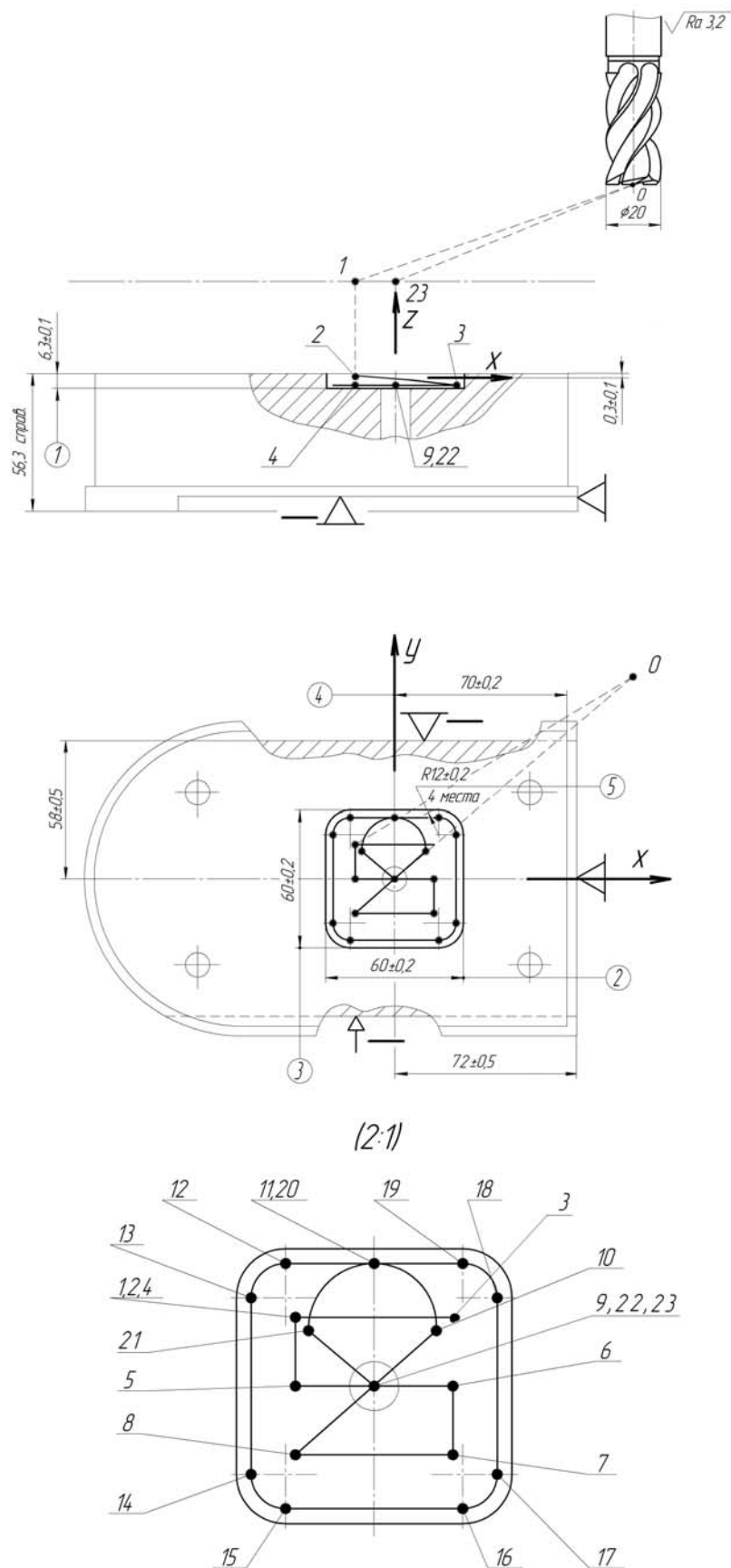


Рис.П15. Установ «А» операции 010, переход П7 (инструмент Т7)

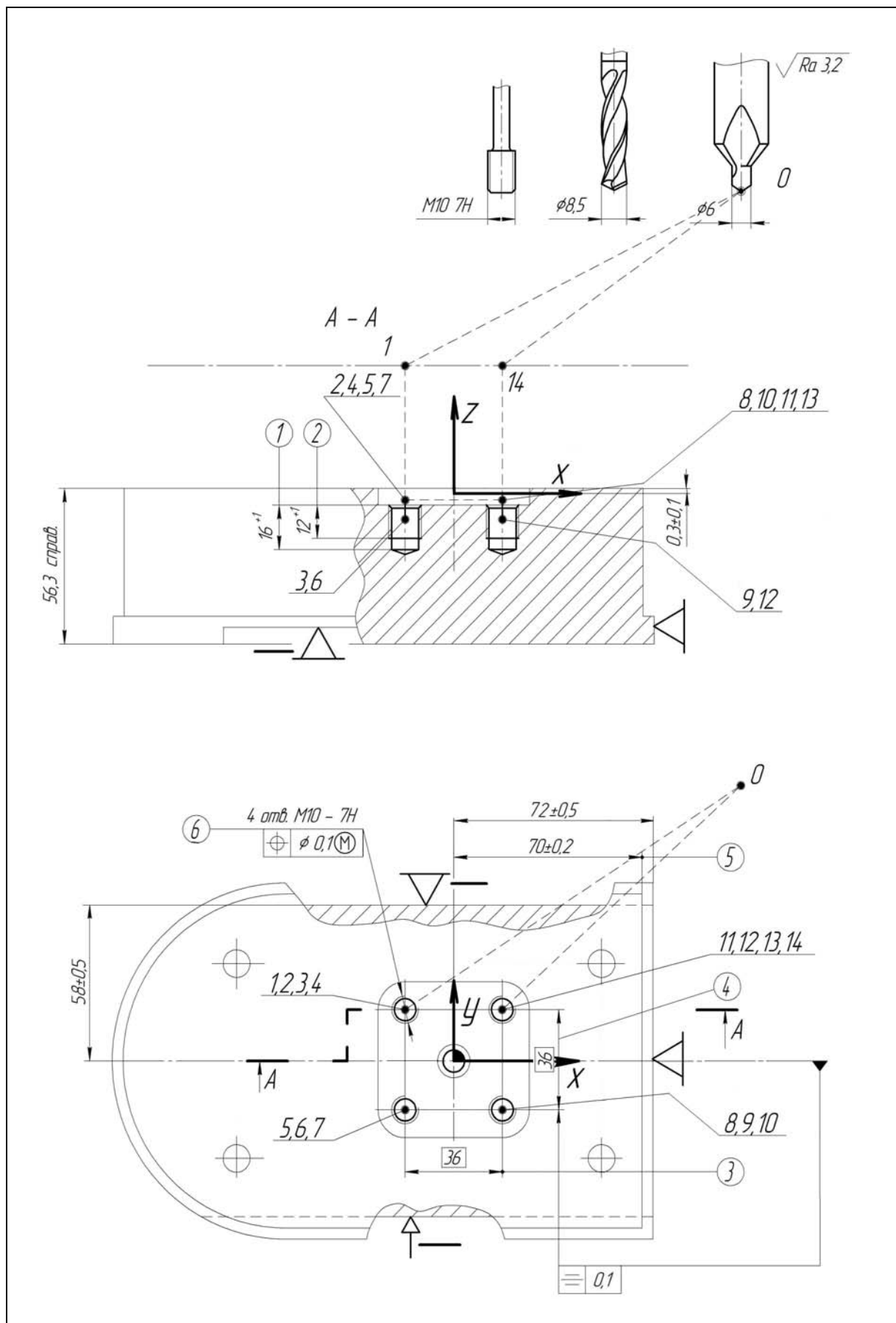


Рис.П16. Установ «А» операции 010, переходы П8-1...П8-3 (инструменты Т3, Т8, Т9)

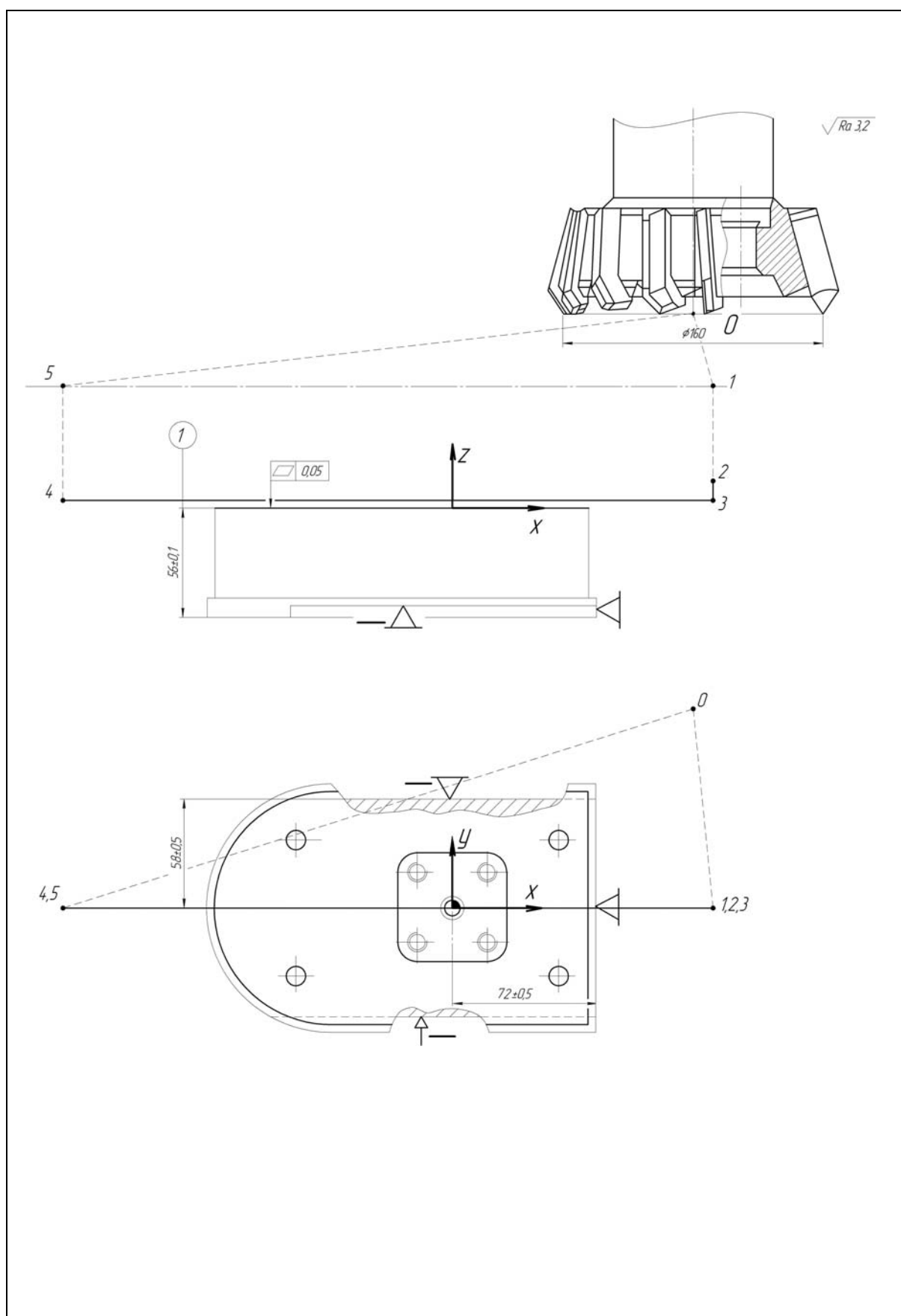


Рис.П17. Установ «А» операции 010, переход П9 (инструмент Т1)

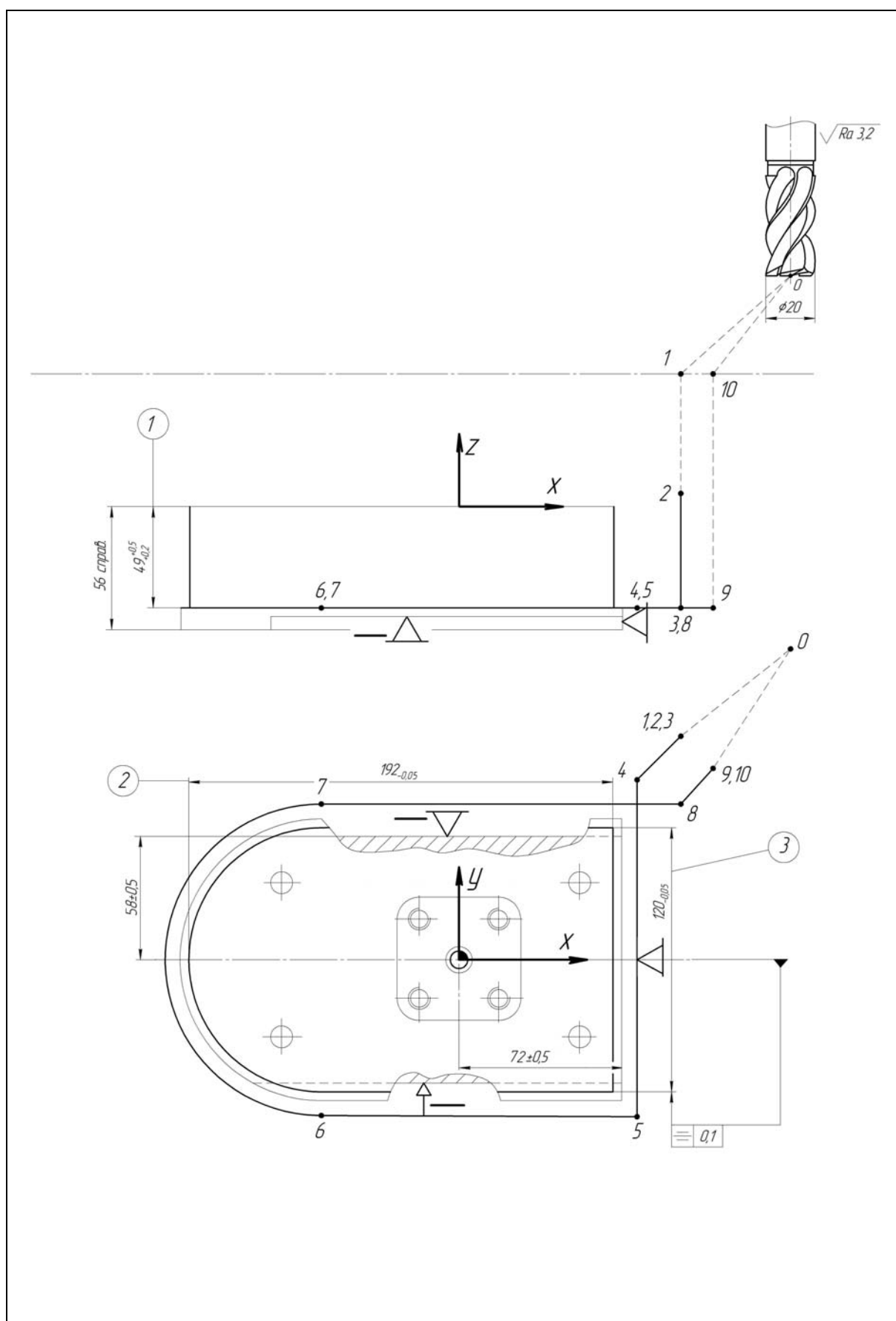


Рис.П18. Установ «А» операции 010, переход П10 (инструмент Т7)

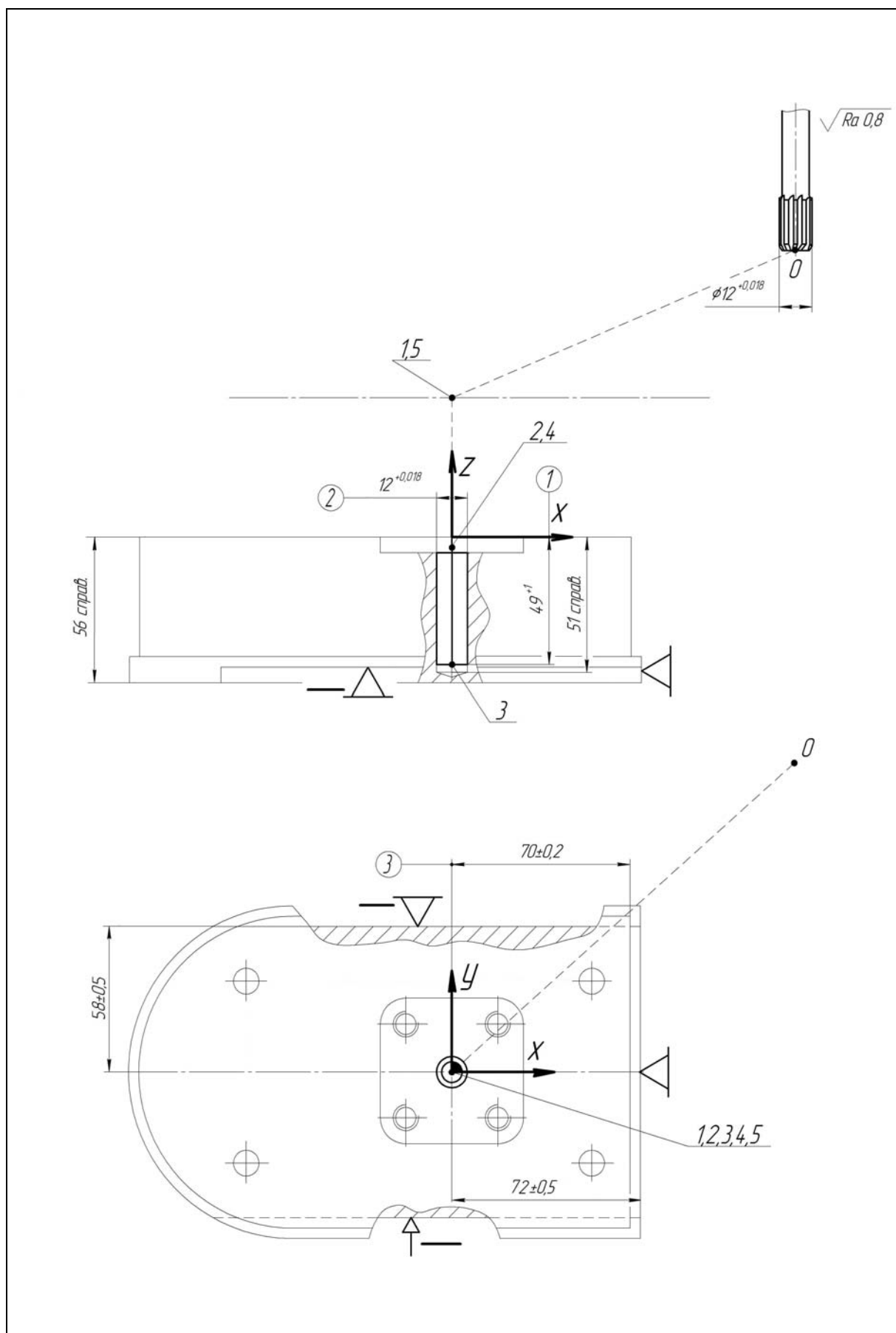


Рис.П19. Установ «А» операции 010, переход П11 (инструмент Т10)

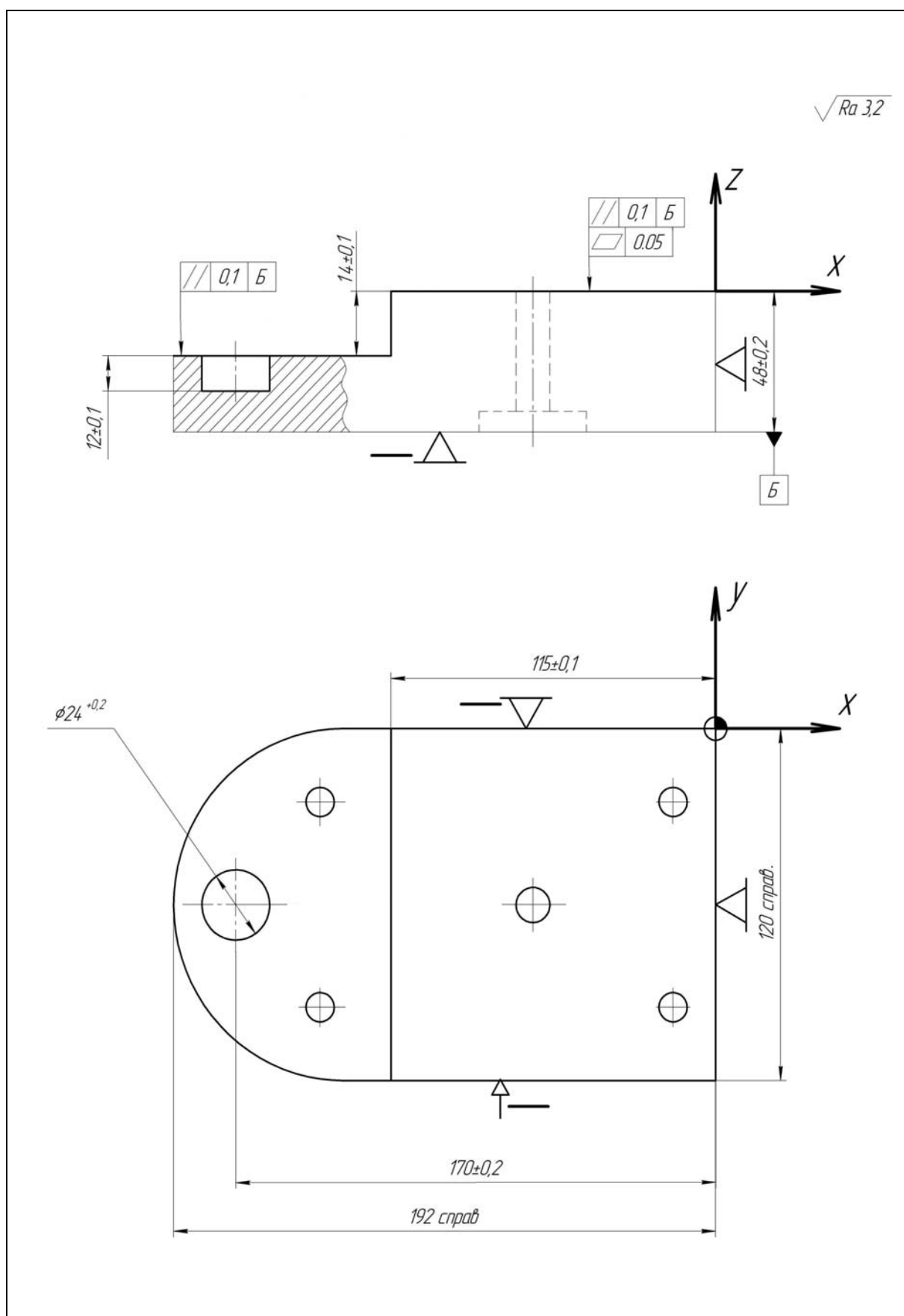


Рис.П21. Комбинированная операция **010**, установ «Б»

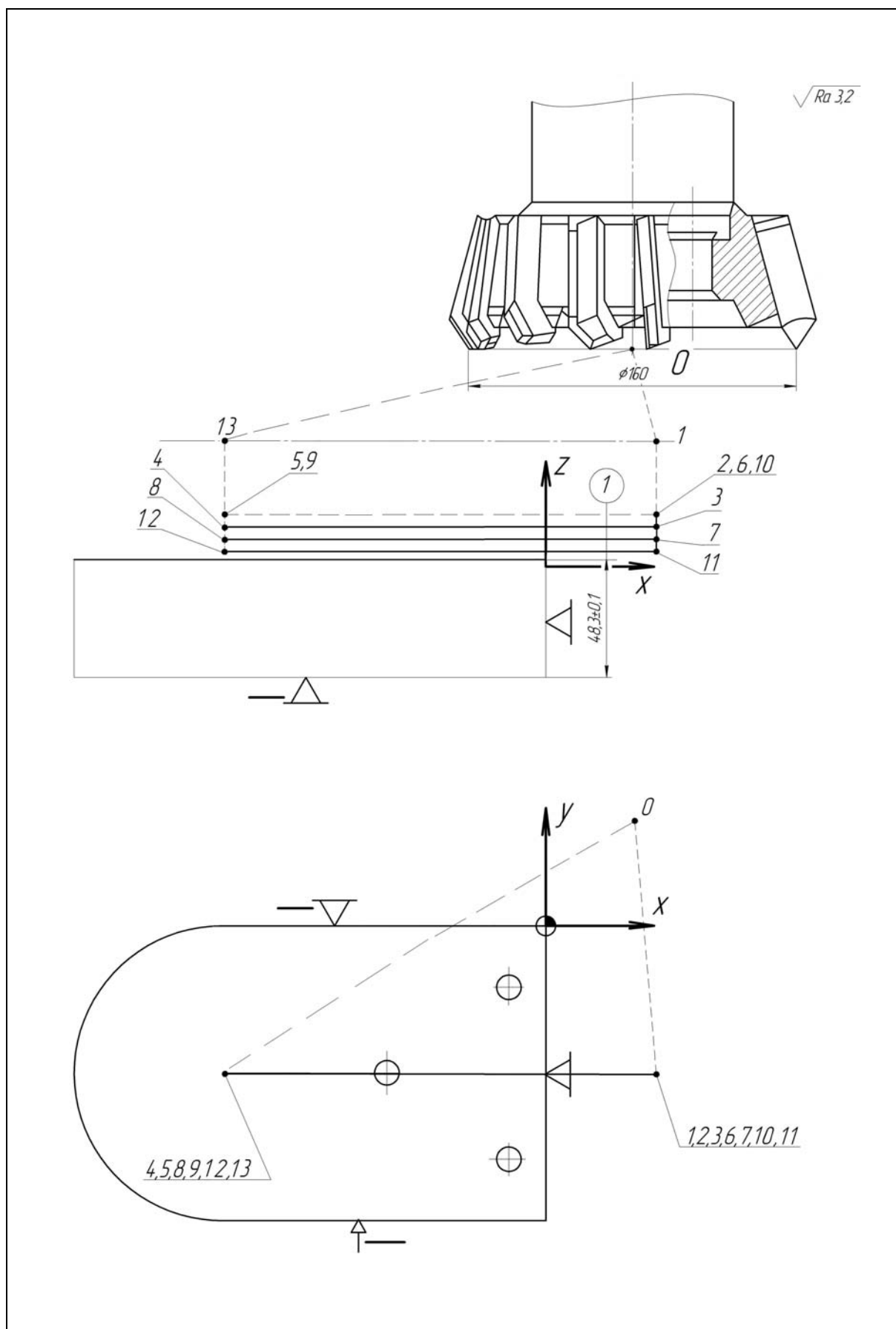


Рис.П22. Установ «Б» операции 010, переход П13 (инструмент Т1)

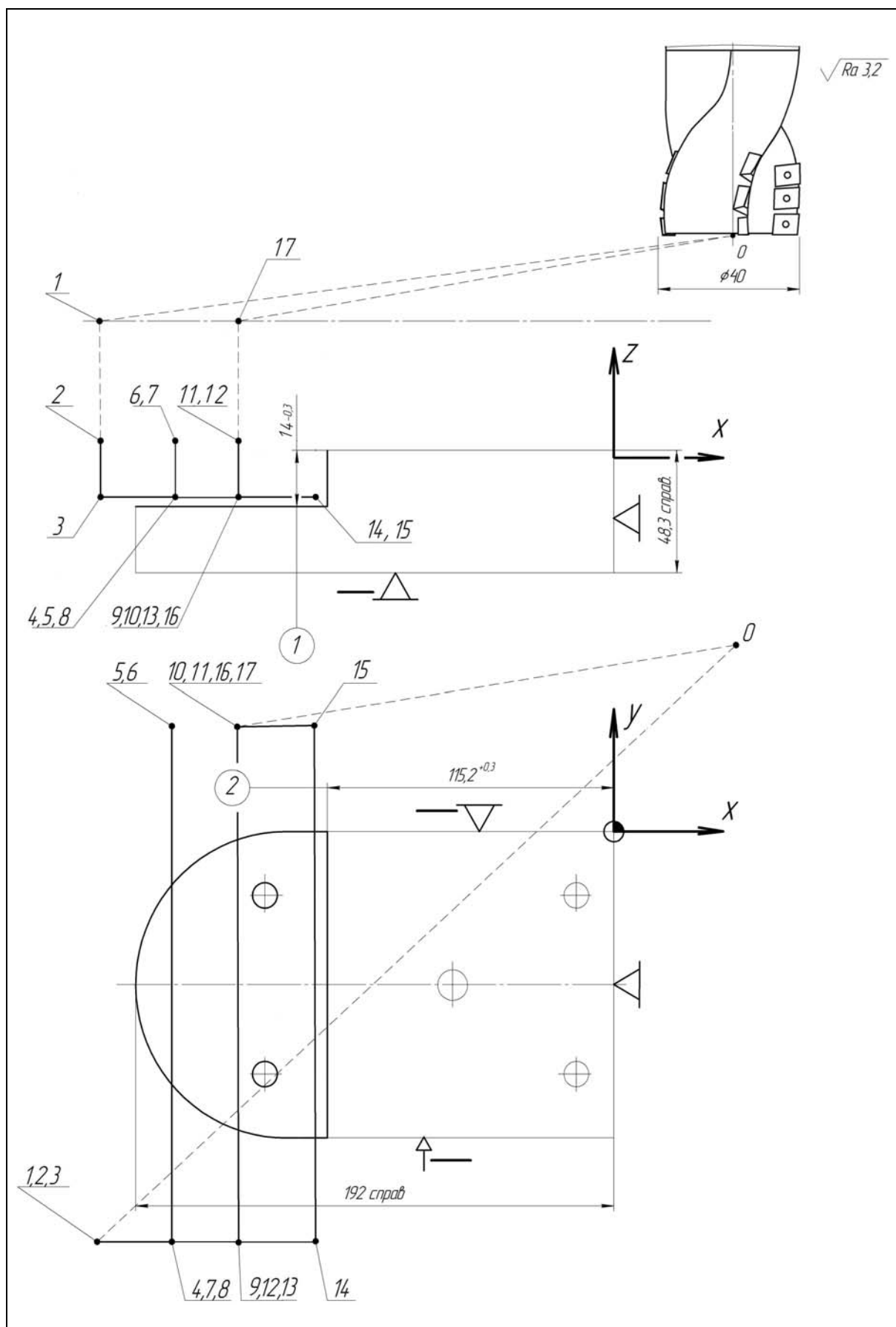


Рис.П23. Установ «Б» операции 010, переход П14 (инструмент Т2)

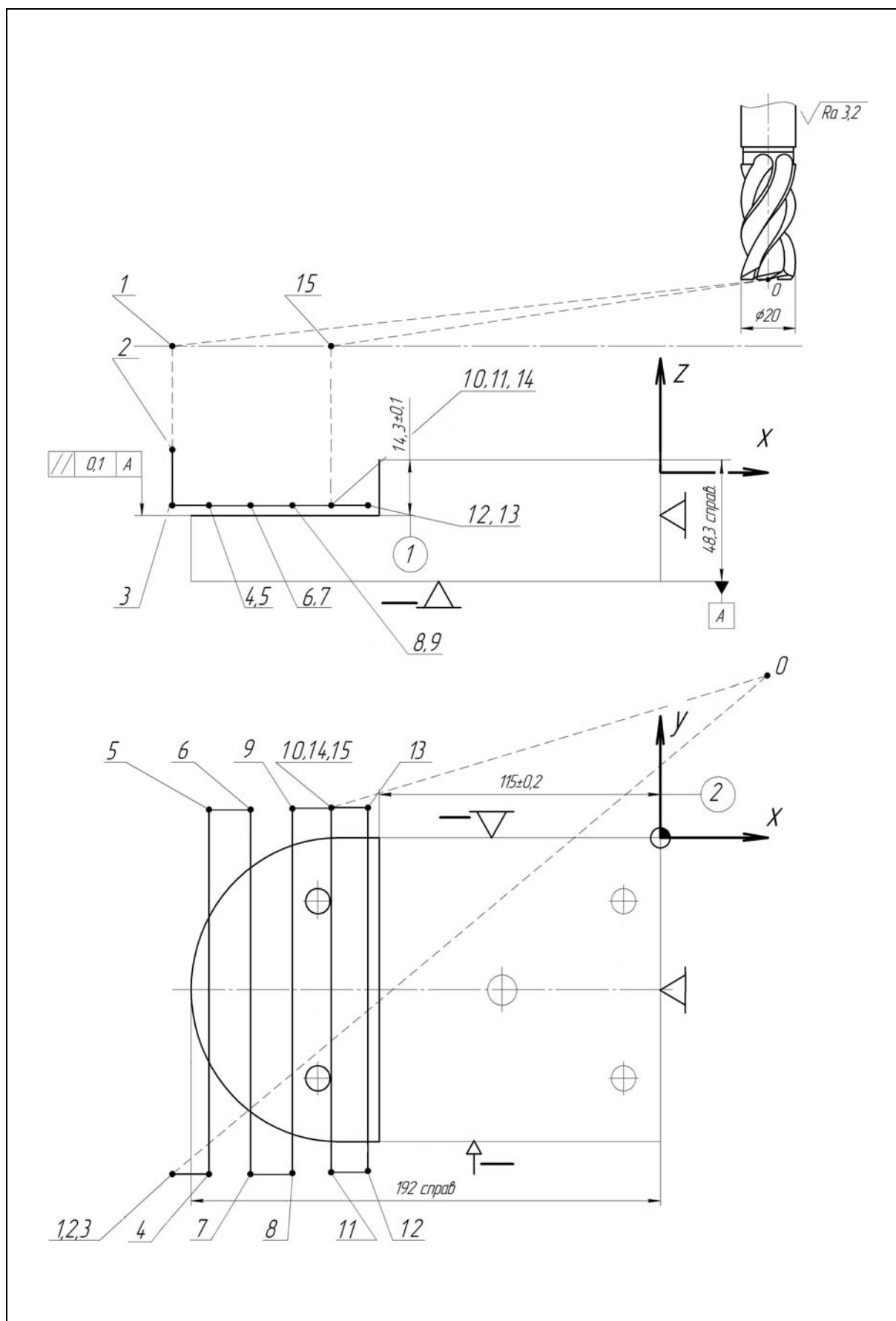


Рис.П24. Установ «Б» операции 010, переход П15 (инструмент Т7)

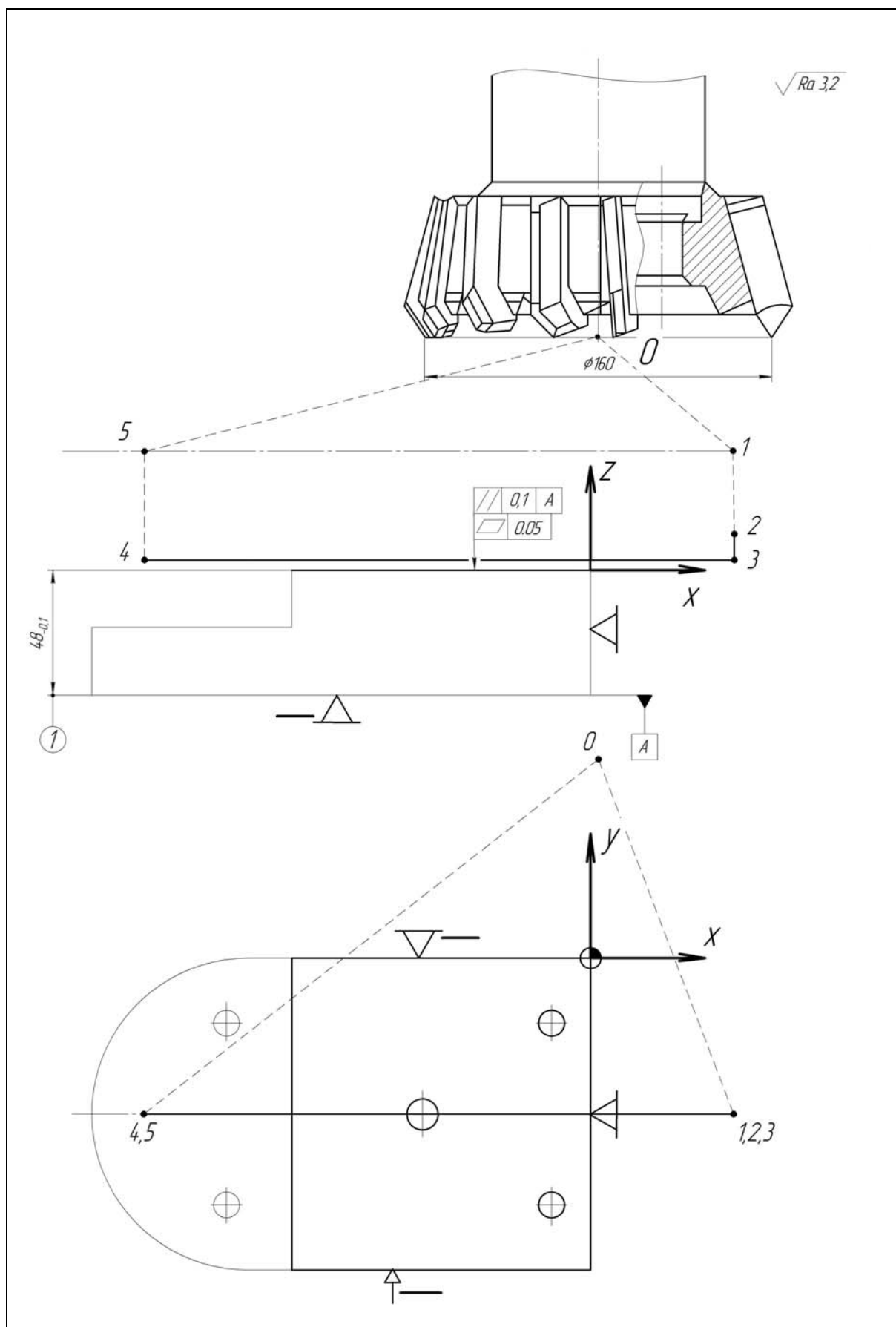


Рис.П25. Установ «Б» операции 010, переход П16 (инструмент Т1)

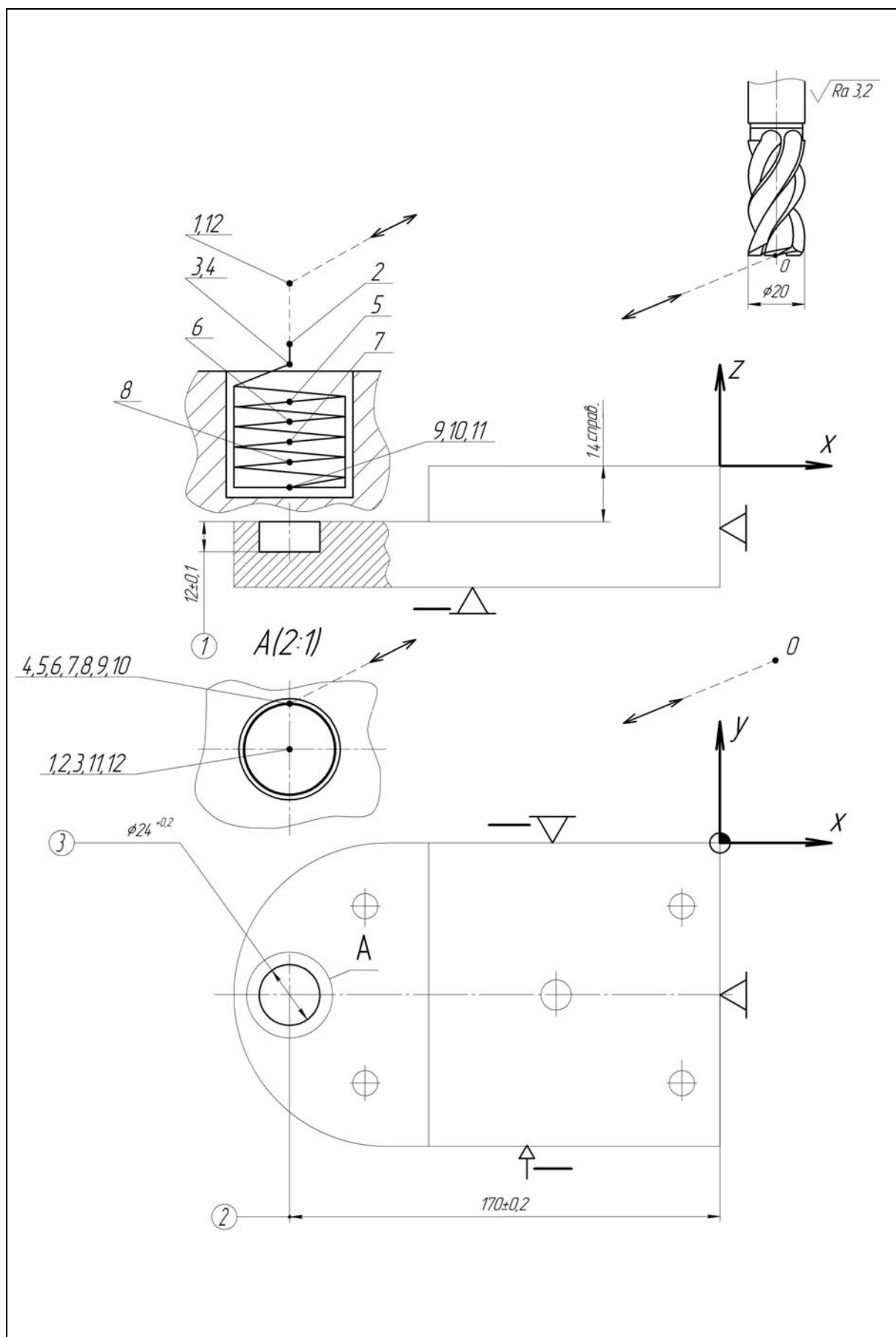


Рис.П26. Установ «Б» операции 010, переход П17 (инструмент Т7)

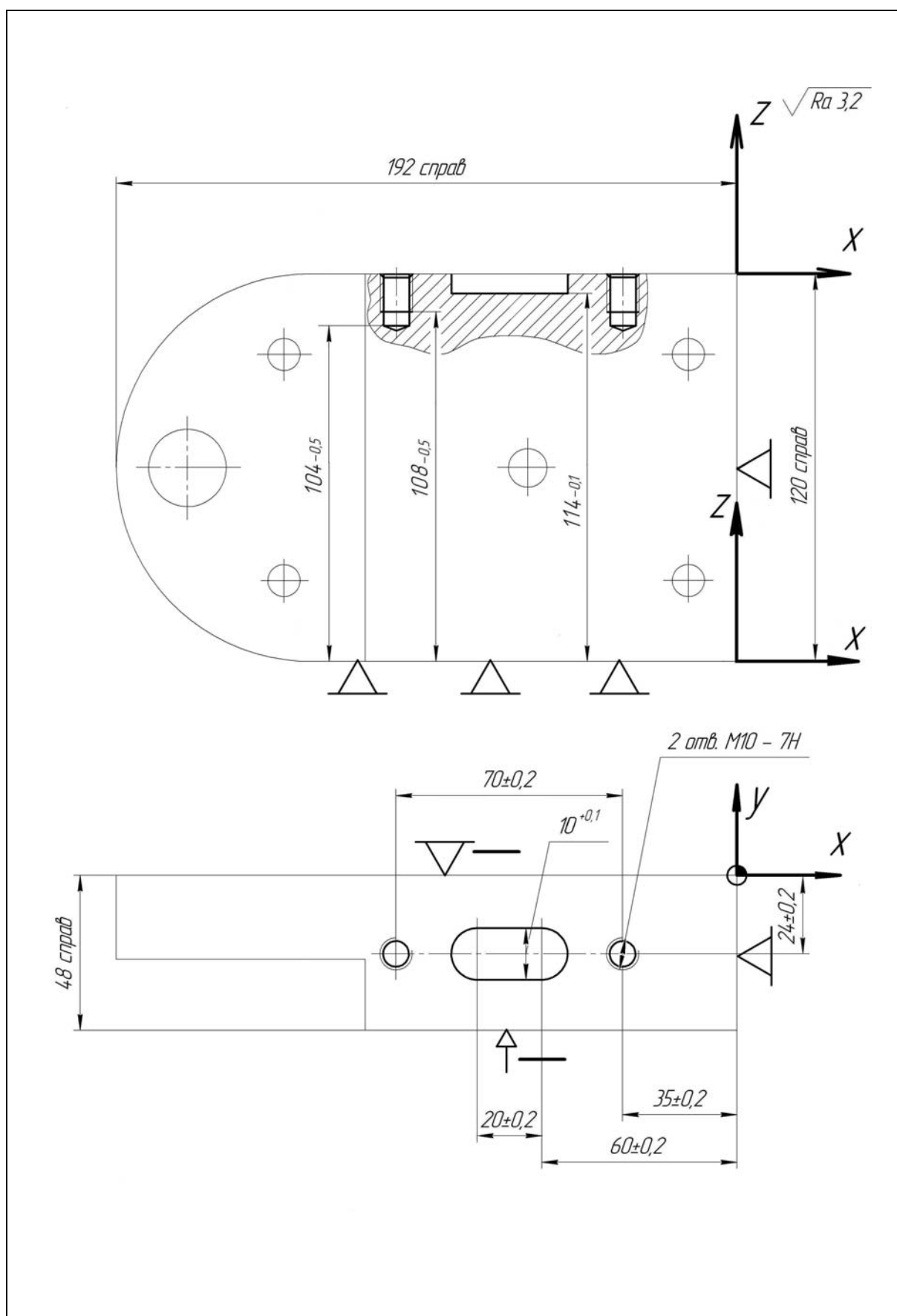


Рис.П27. Комбинированная операция 010, установ «В»

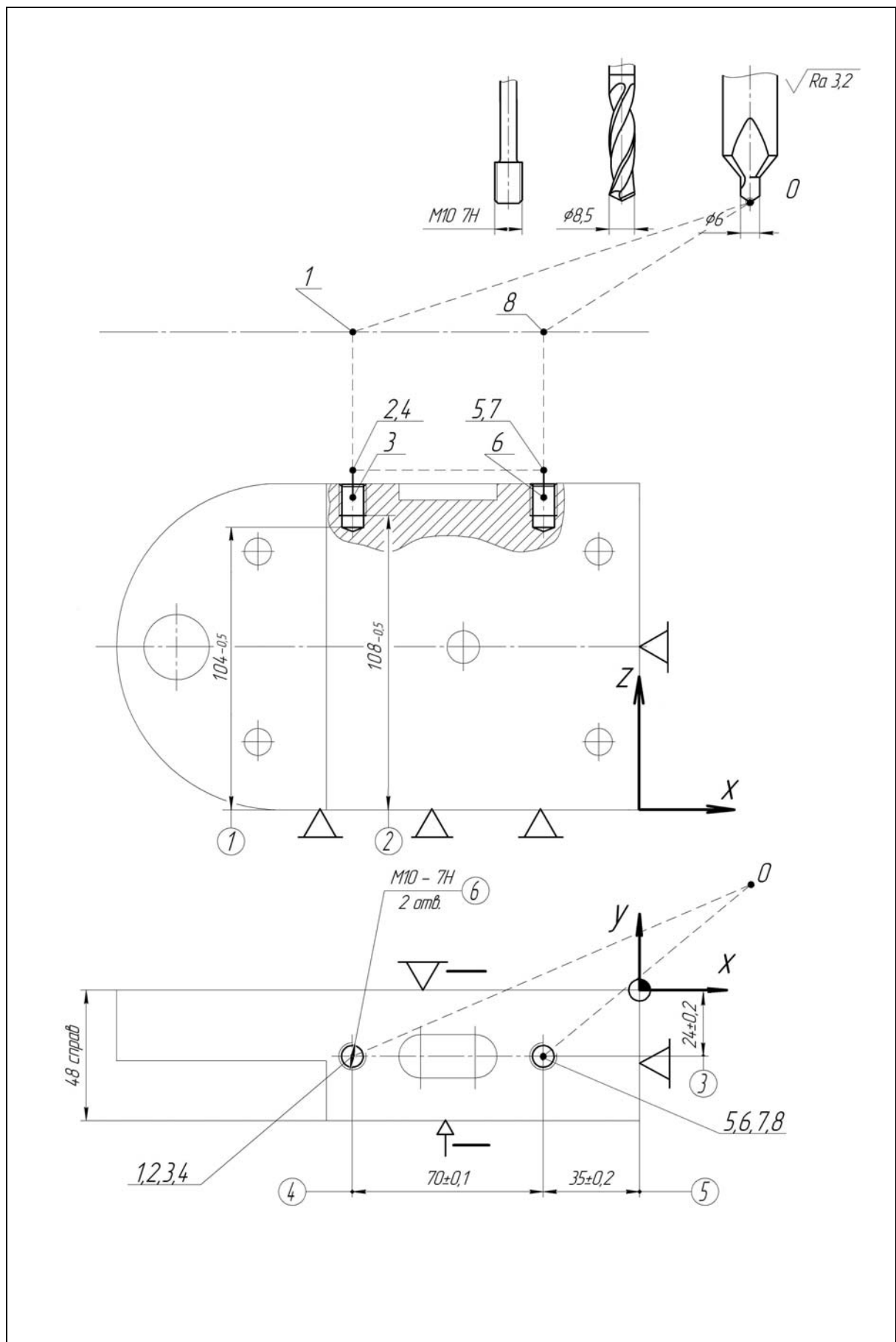


Рис.П29. Установ «В» операции 010, переходы П19-1...П19-3 (инструменты Т3, Т8, Т9)

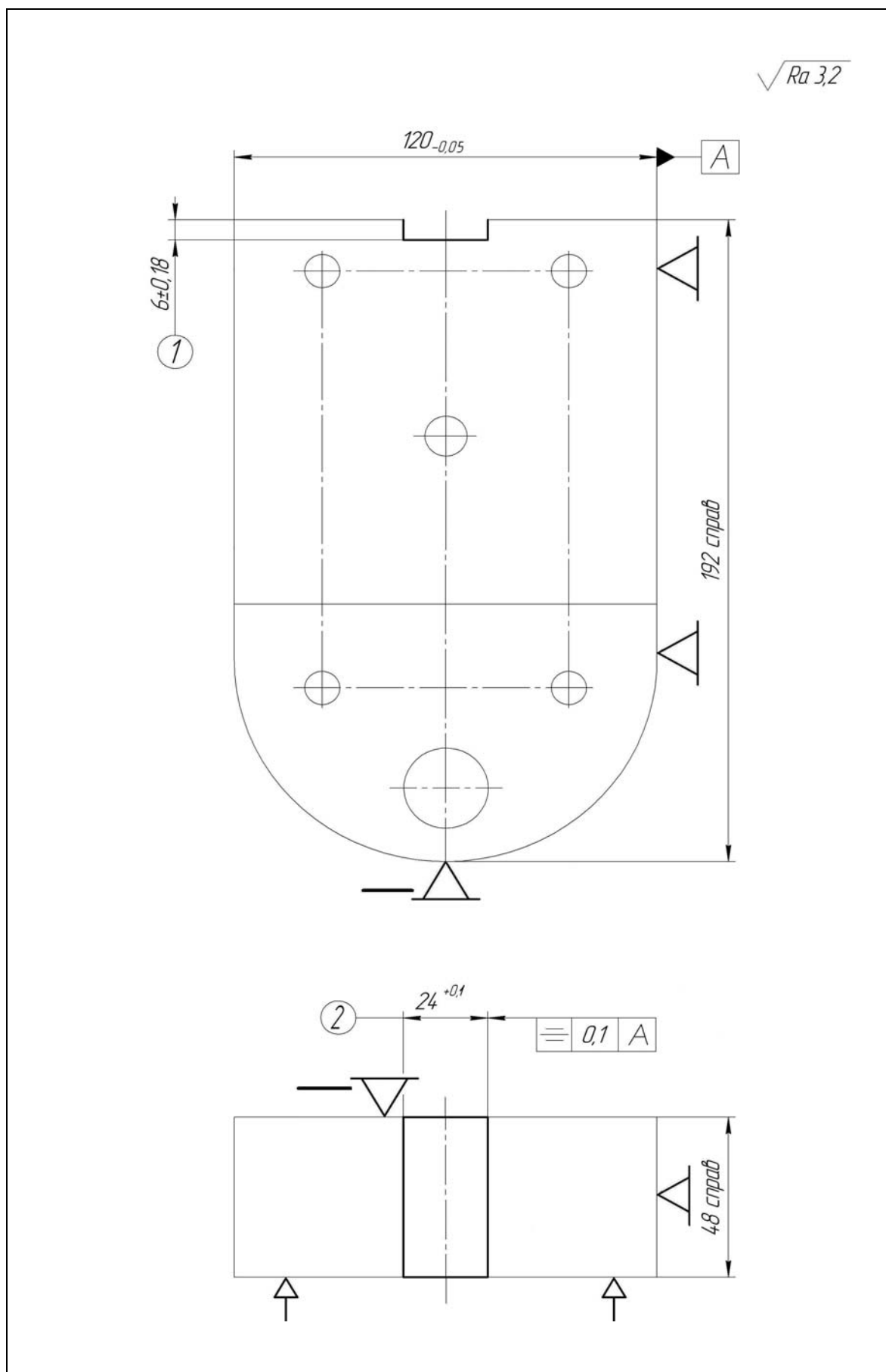


Рис.П30. Фрезерная операция **015**

Таблица ПЗ

Номера опорных точек	X	Y	Z	ТЕКСТ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ	КОММЕНТАРИИ
Обработка на установе «А» (рис.П8)					
-	-	-	-	G54 (Установ А)	Определение позиции нуля детали на установе «А»
-	-	-	-	G90	Ввод абсолютной системы отсчета
Переход П1 (рис.П9)					
-	-	-	-	M6 T1 (фреза Ø160)	Вызов инструмента T1
1	160	0	50	G0 G43 X160 Y0 Z50 H1	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S100 M8	Включение вращения шпинделя (со скоростью S) и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
2	160	0	5	Z5	Приближение к детали
3	160	0	0.3	G1 Z0.3 F1000	Подвод к плоскости обработки с включением контурной подачи F
4	-50	0	0.3	X-50 F200	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-50	0	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П2 (рис.П10)					
-	-	-	-	M6 T2 (фреза Ø40, задана величина диаметра: Ø40.4)	Вызов инструмента T2
1	90	90	50	G43 X90 Y90 Z50 H2	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S300 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	90	90	2	Z2	Приближение к детали
3	90	90	-12.5	G1 Z-12.5 F1000	Подвод к плоскости обработки с включением контурной подачи
-	-	-	-	M98 P9901	Вызов подпрограммы « 09901 »
10	90	90	-12.5	X90 Y90 F1000	Перемещение к точке начала траектории

Продолжение таблицы ПЗ

11	90	90	-25	Z-25	Подвод к новой плоскости обработки
-	-	-	-	M98 P9901	Вызов подпрограммы « o9901 »
18	90	90	-25	X90 Y90 F1000	Перемещение к точке начала траектории
19	90	90	-37.5	Z-37.5	Подвод к новой плоскости обработки
-	-	-	-	M98 P9901	Вызов подпрограммы « o9901 »
26	90	90	-37.5	X90 Y90 F1000	Перемещение к точке начала траектории
27	90	90	-49.5	Z-50	Подвод к новой плоскости обработки
-	-	-	-	M98 P9901	Вызов подпрограммы « o9901 »
34	100	80	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход ПЗ (рис.П11)					
-	-	-	-	M6 T3 (центровка Ø6)	Вызов инструмента T3
1	-80	35	50	G43 X-80 Y35 Z50 H3	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S900 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-80	35	2	G81 G99 R2 Z-4.3 F50	Включение цикла прямого сверления с высоты R на глубину Z ; перемещение между отверстиями на высоте R ; сверление с подачей F . Сверление центровочного отверстия
3			-4.3		
4			2		
5	-80	-35	2	Y-35	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
6			-4.3		
7			2		
8	0	0	2	X0 Y0	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
9			-4.3		
10			2		
11	55	-35	2	X55 Y-35	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
12			-4.3		
13			2		
14	55	35	2	Y35	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
15			-4.3		
16			2		
-	-	-	-	G80	Окончание цикла сверления

Продолжение таблицы ПЗ

17	55	35	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П4 (рис.П12)					
-	-	-	-	M6 T4 (сверло Ø11.8)	Вызов инструмента T4
1	0	0	50	G43 X0 Y0 Z50 H4	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S400 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	0	0	2 -55.3 2	G83 G99 R2 Z-55.3 Q3 F70	Включение цикла ступенчатого сверления: величина шага сверления Q . Сверление отверстия
-	-	-	-	G80	Окончание цикла сверления
5	0	0	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П5 (рис.П13)					
-	-	-	-	M6 T5 (сверло Ø10.5)	Вызов инструмента T5
1	-80	35	50	G43 X-80 Y35 Z50 H5	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S500 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-80	35	2 -44.8 2	G83 G99 R2 Z-44.8 Q3 F70	Включение цикла ступенчатого сверления. Сверление отверстия
5 6 7	-80	-35	2 -44.8 2	Y-35	Перемещение к точке. Сверление отверстия
8 9 10	55	-35	2 -54.8 2	X55 Z-54.8	Перемещение к точке. Сверление отверстия на новую глубину Z
11 12 13	55	35	2 -54.8 2	Y35	Перемещение к точке. Сверление отверстия
-	-	-	-	G80	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности

-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П6 (рис.П14)					
-	-	-	-	M6 T6 (фреза Ø20, задана величина диаметра: Ø 20.2)	Вызов инструмента T6
1	0	0	50	G43 X0 Y0 Z50 H6	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S400 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	0	0	2	Z2	Приближение к детали
3	0	0	-5.8	G1 Z-5.8 F60	Врезание в направлении плоскости обработки с включением контурной подачи
4	0	6	-5.8	Y6 F80	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-6	6	-5.8	X-6	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-6	-6	-5.8	Y-6	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	6	-6	-5.8	X6	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	6	6	-5.8	Y6	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	0	6	-5.8	X0	Перемещение к точке (прямолинейное)
10	0	12	-5.8	Y12	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	-12	12	-5.8	X-12	Перемещение к точке (прямолинейное)
12	-12	-12	-5.8	Y-12	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	12	-12	-5.8	X12	Перемещение к точке (прямолинейное)
14	12	12	-5.8	Y12	Перемещение к точке (прямолинейное)
15	0	12	-5.8	X0	Перемещение к точке (прямолинейное)
16*	0	28	-5.8	G41 Y28 D6	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра (Ø20.2 с учетом припуска на чистовую обработку)
17	-16	28	-5.8	X-16	Перемещение к точке (прямолинейное)
18	-28	16	-5.8	G3 X-28 Y16 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
19	-28	-16	-5.8	G1 Y-16	Перемещение к точке (прямолинейное)
20	-16	-28	-5.8	G3 X-16 Y-28 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
21	16	-28	-5.8	G1 X16	Перемещение к точке (прямолинейное)
22	28	-16	-5.8	G3 X28 Y-16 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
23	28	16	-5.8	G1 Y16	Перемещение к точке (прямолинейное)

Продолжение таблицы ПЗ

24	16	28	-5.8	G3 X16 Y28 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
25	-3	28	-5.8	G1 X-3	Перемещение к точке (прямолинейное)
26*	-3	12	-5.8	G40 Y12	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
27	-3	12	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П7 (рис.П15)					
-	-	-	-	M6 T7 (фреза Ø20)	Вызов инструмента T7
1	-14	9	50	G43 X-14 Y9 Z50 H7	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S550 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-14	9	-4	Z-4	Приближение к детали
3	14	9	-6	G1 X14 Z-6 F80	Врезание – диагональный перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи
4	-14	9	-6	X-14 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-14	0	-6	Y0	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	14	0	-6	X14	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	14	-9	-6	Y-9	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-14	-9	-6	X-14	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	0	0	-6	X0 Y0	Перемещение к точке (прямолинейное)
10*	12	16	-6	G41 X12Y16 D7	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра
11	0	28	-6	G3 X0 Y28 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
12	-16	28	-6	X-16	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	-28	16	-6	G3 X-28 Y16 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
14	28	-16	-6	G1 Y-16	Перемещение к точке (прямолинейное)
15	-16	-28	-6	G3 X-16 Y-28 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
16	16	-28	-6	G1 X16	Перемещение к точке (прямолинейное)
17	28	-16	-6	G3 X28 Y-16 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
18	28	16	-6	G1 Y16	Перемещение к точке (прямолинейное)
19	16	28	-6	G3 X16 Y28 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)
20	0	28	-6	G1 X0	Перемещение к точке (прямолинейное)
21	-12	16	-6	G3 X-12 Y16 R12	Перемещение к точке (циркуляционное)

Продолжение таблицы ПЗ

22*	0	0	-6	<i>G1 G40 X0 Y0</i>	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
23	0	0	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П8-1 (рис.П16)					
-	-	-	-	<i>M6 T3 (центровка Ø6)</i>	Вызов инструмента <i>T3</i>
1	-18	18	50	<i>G43 X-18 Y18 Z50 H3</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S900 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-18	18	-10.3 -4	<i>G81 G99 R-4 Z-10 F50</i>	Включение цикла прямого сверления. Сверление центровочного отверстия
5 6 7	-18	-18	-4 -10.3 -4	<i>Y-18</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
8 9 10	18	-18	-4 -10.3 -4	<i>X18</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
11 12 13	18	18	-4 -10.3 -4	<i>Y18</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
-	-	-	-	<i>G80</i>	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П8-2 (рис.П16)					
-	-	-	-	<i>M6 T8 (сверло Ø8.5)</i>	Вызов инструмента <i>T8</i>
1	-18	18	50	<i>G43 X-18 Y18 Z50 H8</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S600 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-18	18	-4 -25 -4	<i>G99 R-4 Z-25 Q2.5 F70</i>	Включение цикла ступенчатого сверления. Сверление отверстия

5 6 7	-18	-18	-4 -25 -4	<i>Y18</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
8 9 10	18	-18	-4 -25 -4	<i>X18</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
11 12 13	18	18	-4 -25 -4	<i>Y18</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
-	-	-	-	<i>G80</i>	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П8-3 (рис.П16)					
-	-	-	-	<i>M6 T9 (метчик M10-7H)</i>	Вызов инструмента <i>T9</i>
1	-18	18	50	<i>G43 X-18 Y18 Z50 H9</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S400 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-18	18	-4 -20.5 -4	<i>G84 G99 R-4 Z-20.5 F600</i>	Включение цикла нарезания резьбы (шаг резьбы $P=1.5$). Нарезание резьбы. Определение глубины <i>Z</i> с учетом сбег резьбы 2 мм. Примечание: $P=F/S$
5 6 7	-18	-18	-4 -20.5 -4	<i>Y18</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
8 9 10	18	-18	-4 -20.5 -4	<i>X18</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
11 12 13	18	18	-4 -20.5 -4	<i>Y18</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
-	-	-	-	<i>G80</i>	Окончание цикла нарезания резьбы
14	55	35	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ

Переход П9 (рис.П17)					
-	-	-	-	<i>M6 T1 (фреза Ø160)</i>	Вызов инструмента <i>T1</i>
1	160	0	50	<i>G43 X160 Y0 Z50 H1</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S150 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	160	0	5	<i>Z2</i>	Приближение к детали
3	160	0	0.3	<i>G1 Z0 F1000</i>	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи
4	-210	0	0.3	<i>X-210 F250</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-210	0	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П10 (рис.П18)					
-	-	-	-	<i>M6 T7 (фреза Ø20)</i>	Вызов инструмента <i>T7</i>
1	80	80	50	<i>G43 X80 Y80 Z50 H7</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S550 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	80	80	2	<i>Z2</i>	Приближение к детали
3	80	80	-49.4	<i>G1 Z-49.4 F1000</i>	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи
4*	70	70	-49.4	<i>G41 X70 Y70 D7</i>	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра
5	70	-60	-49.4	<i>Y-60 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-62	-60	-49.4	<i>X-62</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	-62	60	-49.4	<i>G2 Y60 J60</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
8	80	60	-49.4	<i>G1 X80</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9*	90	70	-49.4	<i>G40 X90 Y70 F1000</i>	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
10	90	70	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П11 (рис.П19)					
-	-	-	-	<i>M6 T10 (развертка Ø12-H7)</i>	Вызов инструмента <i>T10</i>
1	0	0	50	<i>G43 X0 Y0 Z50 H10</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента

Продолжение таблицы ПЗ

-	-	-	-	M3 S400 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	0	0	2	G86 G99 R-4 Z-50.5 F250	Включение цикла развертки. Развертывание отверстия. Определение глубины Z с учетом заходной фаски 1 мм.
3			-50.5		
4			2		
-	-	-	-	G80	Окончание цикла развертывания
5	0	0	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П12 (рис.П20)					
-	-	-	-	M6 T11 (зенковка Ø24x90°)	Вызов инструмента T11
1	-80	35	50	G43 X-80 Y35 Z50 H11	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S300 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-80	35	2	G81 G99 R2 Z-10.5 F50	Включение цикла прямого сверления. Зенкование отверстия
3			-10.5		
4			2		
5	-80	-35	2	Y-35	Перемещение к точке. Зенкование отверстия
6			-10.5		
7			2		
8	55	-35	2	X55	Перемещение к точке. Зенкование отверстия
9			-10.5		
10			2		
11	55	35	2	Y35	Перемещение к точке. Зенкование отверстия
12			-10.5		
13			2		
-	-	-	-	G80	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
-	-	-	-	M0	Программный останов станка
Переустановка детали ➔ Команда «ПУСК»					
Обработка на установе «Б» (рис.П21)					
-	-	-	-	G55 (Установ Б)	Определение позиции нуля детали на установе «Б»

Переход П13 (рис.П22)					
-	-	-	-	<i>M6 T1 (фреза Ø160)</i>	Вызов инструмента <i>T1</i>
1	90	0	50	<i>G43 X90 Y-60 Z50 H1</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S100 M8</i>	Включение вращения шпинделя (со скоростью <i>S</i>) и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
2	90	0	10	<i>Z10</i>	Приближение к детали
3	90	0	5.4	<i>G1 Z5.4 F1000</i>	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
4	-120	0	5.4	<i>X-120 F200</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-120	0	10	<i>G0 Z10</i>	Отвод от детали
6	90	0	10	<i>X90</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	90	0	2.8	<i>G1 Z2.8 F1000</i>	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
8	-120	0	2.8	<i>X-120 F200</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	-120	0	10	<i>G0 Z10</i>	Отвод от детали
10	90	0	10	<i>X90</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	90	0	0.3	<i>G1 Z0.3 F1000</i>	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
12	-120	0	0.3	<i>X-120 F200</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	-120	0	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П14 (рис.П23)					
-	-	-	-	<i>M6 T2 (фреза Ø40, задана величина диаметра: Ø40.4)</i>	Вызов инструмента <i>T2</i>
1	-190	-150	50	<i>G43 X-190 Y-150 Z50 H2</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S300 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-190	-150	2	<i>Z2</i>	Приближение к детали
3	-190	-150	-13.7	<i>G1 Z-13.7 F1000</i>	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи

Продолжение таблицы ПЗ

4	-185	-150	-13.7	X-185	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-185	30	-13.7	Y30 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-185	30	2	Z2 F1000	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	-185	-150	2	Y-150	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-185	-150	-13.7	Z-13.7	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	-160	-150	-13.7	X-160	Перемещение к точке (прямолинейное)
10	-160	30	-13.7	Y30 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	-160	30	2	Z2 F1000	Перемещение к точке (прямолинейное)
12	-160	-150	2	Y-150	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	-160	-150	-13.7	Z-13.7	Перемещение к точке (прямолинейное)
14*	-115	-150	-13.7	G41 X-115 D2	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра (Ø40.4 с учетом припуска на чистовую обработку)
15	-115	30	-13.7	Y30 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
16*	-140	30	-13.7	G40 X-140 F1000	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
17	-140	30	50	G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П15 (рис.П24)					
-	-	-	-	M6 T7 (фреза Ø20)	Вызов инструмента T7
1	-190	-140	50	G43 X-190 Y-140 Z50 H7	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S550 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-190	-140	2	Z2	Приближение к детали
3	-190	-140	-14	G1 Z-14 F1000	Перемещение к плоскости обработки с включением контурной подачи
4	-185	-140	-14	X-185	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-185	20	-14	Y20 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-170	20	-14	X-170 F1000	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	-170	-140	-14	Y-140 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-155	-140	-14	X-155 F1000	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	-155	20	-14	Y20 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
10	-140	20	-14	X-140 F1000	Перемещение к точке (прямолинейное)

Продолжение таблицы ПЗ

11	-140	-140	-14	<i>Y-140 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
12*	-115	-140	-14	<i>G41 X-115 F1000 D7</i>	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра
13	-115	20	-14	<i>Y20 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
14*	-140	20	-14	<i>G40 X-140 F1000</i>	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
15	-140	20	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П16 (рис.П25)					
-	-	-	-	<i>M6 T1 (фреза Ø160)</i>	Вызов инструмента <i>T1</i>
1	90	0	50	<i>G43 X90 Y-60 Z50 H1</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S150 M8</i>	Включение вращения шпинделя (со скоростью <i>S</i>) и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
2	90	0	2	<i>Z2</i>	Приближение к детали
3	90	0	0	<i>G1 Z0 F1000</i>	Подвод к плоскости обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
4	-280	0	0	<i>X-200 F250</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-280	0	50	<i>G0 Z50</i>	Отвод к плоскости безопасности
				<i>M5 M9</i>	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П17 (рис.П26)					
-	-	-	-	<i>M6 T7 (фреза Ø20)</i>	Вызов инструмента <i>T7</i>
1	-170	0	50	<i>G43 X-170 Y0 Z50 H7</i>	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>M3 S450 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-170	0	2	<i>Z2</i>	Приближение к детали
3	-170	0	-12	<i>G1 Z-12 F1000</i>	Подвод к плоскости обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
4*	-170	12	-12	<i>G91 G42 Y12 D7 F50</i>	Подвод к точке с включением коррекции диаметра, с переходом в относительную систему отсчета
-	-	-	-	<i>M98 P9902 L5</i>	Пятикратный вызов подпрограммы « o9902 »
10	0	12	-26	<i>G2 J-12</i>	Выполнение плоскости (циркуляционное перемещение)
11*	0	0	-26	<i>G1 G40 Y-12</i>	Подвод к точке с отключением коррекции диаметра

12	0	0	50	G90 G0 Z50	Отвод к плоскости безопасности с переходом в абсолютную систему отсчета
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
-	-	-	-	M0	Программный останов станка
Переустановка детали ➔ Команда «ПУСК»					
Обработка на установе «В» (рис.П27)					
-	-	-	-	G56 (Установ В)	Определение позиции нуля детали на установе «В»
Переход П18 (рис.П28)					
-	-	-	-	M6 T12 (фреза Ø8)	Вызов инструмента T12
1	-80	-24	170	G43 X-80 Y-24 Z170 H12	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S1000 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-80	-24	122	Z122	Приближение к детали
3	-60	-24	118	G1 X-60 Z118 F60	Врезание – диагональный вход в материал с включением контурной подачи
4	-80	-24	114	X-80 Z114	Врезание – диагональный подвод к плоскости обработки
5*	-80	-19	114	G91 G41 Y5 D12	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра, с переходом в относительную систему отсчета
6	-80	-29	114	G3 Y-10 J-5 F80	Перемещение к точке (циркуляционное)
7	-60	-29	114	G1 X20	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-60	-19	114	G3 Y10 J5	Перемещение к точке (циркуляционное)
9	-80	-19	114	G1 X-20	Перемещение к точке (прямолинейное)
10*	-80	-24	114	G40 Y-5	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
11	-80	-24	170	G90 G0 Z170	Отвод к плоскости безопасности с переходом в абсолютную систему отсчета
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П19-1 (рис.П29)					
-	-	-	-	M6 T3 (центровка Ø6)	Вызов инструмента T3

Продолжение таблицы ПЗ

1	-105	-24	170	G43 X-105 Y-24 Z170 H3	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S900 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-105	-24	122 115.7 122	G81 G99 R122 Z116 F50	Включение цикла прямого сверления. Сверление центровочного отверстия
5 6 7	-35	-24	122 115.7 122	X-35	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
-	-	-	-	G80	Окончание цикла сверления
8	-35	-24	170	G0 Z170	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П19-2 (рис.П29)					
-	-	-	-	M6 T8 (сверло Ø8.5)	Вызов инструмента T8
1	-105	-24	170	G43 X-105 Y-24 Z170 H8	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S600 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-105	-24	122 101 122	G83 G99 R122 Z101 Q2.5 F70	Включение цикла ступенчатого сверления. Сверление отверстия
5 6 7	-35	-24	122 101 122	X-35	Перемещение к точке. Сверление отверстия
-	-	-	-	G80	Окончание цикла сверления
8	-35	-24	170	G0 Z170	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
Переход П19-3 (рис.П29)					
-	-	-	-	M6 T9 (метчик M10-7H)	Вызов инструмента T9
1	-105	-24	170	G43 X-105 Y-24 Z170 H9	Подвод к плоскости безопасности с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	M3 S400 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ

Окончание таблицы ПЗ

2			122	G84 G99 R122 Z105.5 F600	Включение цикла нарезания резьбы (шаг резьбы $P=1.5$). Нарезание резьбы. Определение глубины Z с учетом сбega резьбы 2 мм. Примечание: $P=F/S$
3	-105	-24	105.5		
4			122		
5			122		
6	-35	-24	105.5	X-35	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
7			122		
-	-	-	-		
8	-35	-24	170		
-	-	-	-	G80	Окончание цикла нарезания резьбы
-	-	-	-	G0 Z170	Отвод к плоскости безопасности
-	-	-	-	M5 M9	Отключение вращения шпинделя и подачи СОЖ
-	-	-	-	M6 T0	Освобождение шпинделя от инструмента
-	-	-	-	M30	Конец программы

Таблица П4

Номера опорных точек	X	Y	Z	ТЕКСТ ПОДПРОГРАММЫ	КОММЕНТАРИИ
Подпрограмма перехода П2 (рис.П10)					
-	-	-	-	o9901	Имя подпрограммы
4* 12* 20* 28*	70	80	-12.5 -25 -37.5 -49.5	G41 X70 Y80 D2 F1000	Перемещение к точке с включением коррекции диаметра (Ø40.4 с учетом припуска на чистовую обработку)
5 13 21 29	70	-60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	Y-60 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
6 14 22 30	-62	-60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	X-62	Перемещение к точке (прямолинейное)

7 15 23 31	-62	60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	G2 Y60 J60	Перемещение к точке (циркуляционное)
8 16 24 32	90	60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	G1 X90	Перемещение к точке (прямолинейное)
9* 17* 25* 33*	100	80	-12.5 -25 -37.5 -49.5	G40 X100 Y80 F1000	Перемещение к точке с отключением коррекции диаметра
-	-	-	-	M99	Конец подпрограммы
Подпрограмма перехода П17 (рис.П26)					
-	-	-	-	o9902	Имя подпрограммы
5 6 7 8 9	0	12	-14.8 -17.6 -20.4 -23.2 -26	G2 J-12 Z-2.8	Врезание (циркуляционное по спирали)
-	-	-	-	M99	Конец подпрограммы

Примечания к таблицам ПЗ, П4.

1. (*) – отрезки включения и отключения коррекции диаметра инструмента.
2. Останов станка с целью переустановки детали производится автоматически по команде УП «**M0**»; возобновление работы осуществляется с пульта управления клавишей «**ПУСК**».
3. При черновой расточке кармана (Переход **П6**) и при черновой обработке уступа (Переход **П14**) применялись траектории, обеспечивающая расположение материала справа от инструмента (попутное фрезерование). Подвод инструмента к стенке кармана осуществлялся в поперечном направлении.
4. При чистовой расточке кармана (Переход **П7**) и при чистовой обработке уступа (Переход **П15**) применялись зигзагообразные траектории. Подвод инструмента к стенке кармана осуществлялся по дуге касательно к обрабатываемому контуру.