

2010

Программирование обработки на станках с ЧПУ с применением специализированного редактора Учебное пособие

В пособии рассматриваются основные способы разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением с помощью редактора кода и средств проверки созданных управляющих программ. Пособие предназначено для студентов механико-машиностроительного факультета ускоренной, очно-заочной и заочной форм обучения.



Оглавление

Введение	5
Занятие 1 Управляющие коды	6
Структура программы	6
Слова.....	7
Числа	8
Вопросы для самопроверки.....	8
Занятие 2 (часть 1) Основные управляющие коды.....	10
Системы координат.....	10
Системы координат при токарной и фрезерной обработке	10
Команды движения по прямой – линейная интерполяция.....	12
Вопросы для самопроверки.....	13
Занятие 2 (часть 2) Основные управляющие коды.....	14
Задание рабочей подачи	14
Линейная интерполяция на рабочей подаче	15
Вопросы для самопроверки.....	16
Занятие 2 (часть 3) Основные управляющие коды.....	18
Круговая интерполяция	18
Вопросы для самопроверки.....	20
Занятие 2 (часть 4) Технологические и вспомогательные коды, общая структура программы	22
Основные вспомогательные коды	22
Структура управляющей программы	23
Начало программы	24
Команды типового начала обработки	24
Завершение программы.....	25
Вопросы для самопроверки.....	25
Занятие 3 (часть 1) Создание управляющей программы в специализированном редакторе	26
Запуск редактора. Интерфейс программы.....	26
Начальные настройки редактора.....	35
Использование макросов.....	35
Вопросы для самопроверки.....	35
Занятие 3 (часть 2) Визуализация кода управляющей программы	35
Переход в режим визуализации. Интерфейс программы	35
Вопросы для самопроверки.....	35
Занятие 4 (часть 1) Разработка элементов управляющей программы в визуальном режиме.....	36

Переход в режим графического программирования. Интерфейс программы	37
Создание и редактирование графических примитивов	38
Практическая работа	39
Вопросы для самопроверки.....	42
Занятие 4 (часть 2) Типовые циклы обработки контуров при фрезерной обработке	43
Основные виды типовых циклов	43
Подготовительные действия	43
Цикл фрезерования по контуру 	44
Черновая обработка.....	44
Комментарии.....	45
Чистовая обработка	46
Подводы и отводы.....	46
Генерация кодов управляющей программы	47
Вопросы для самопроверки.....	47
Занятие 4 (часть 3) Типовые циклы фрезерной обработки – фрезерование плоскостей, выборка карманов.....	48
Выборка кармана  (Pocket milling).....	48
Врезание зигзагом	49
Врезание по спирали.....	49
Задание	50
Фрезерование плоскости (Face milling)	50
Задание	52
Занятие 4 (часть 4) Типовые циклы обработки на многооперационных станках – сверление	53
Задание	55
Программирование цикла глубокого сверления (Peck Drill)	55
Задание	Ошибка! Закладка не определена.
Занятие 5 (часть 1) Программирование токарной обработки	58
Основные программируемые циклы токарной обработки	59
Черновое и чистовое точение (Rough Turning -  , Finish Turning - ).....	60
Точение канавок (Grooving Turning), подрезка торцов (Face Turning), отрезание (Cutoff)	67
Практическая работа	72
Приложение 1 Основные управляющие коды	73
G	73
M	73

Введение

В настоящее время в единичном, мелкосерийном и среднесерийном производстве используется оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Это оборудование может рассматриваться как исполнитель команд определенного входного языка (языка программирования).

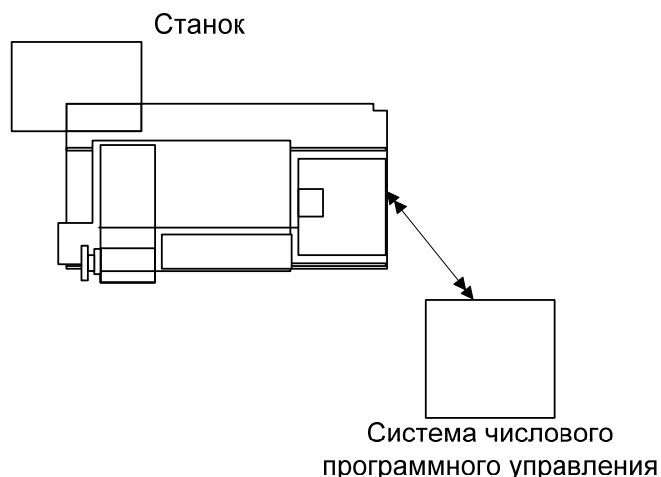
Для специалиста-технолога важно представлять общую последовательность разработки управляющих программ, знать основные команды входного языка и особенности их применения на конкретных устройствах и уметь выполнить отладку управляющей программы на станке.

В связи со сказанным, в настоящей работе рассматриваются: основные управляющие коды станков с ЧПУ, методика разработки управляющей программы без использования специального программного обеспечения, разработка управляющей программы с применением редактора кода, верификация (проверка) управляющей программы и визуальное программирование.

Представленный в работе материал ориентирован, прежде всего, на разработчиков управляющих программ, что определяет как круг рассматриваемых вопросов, так и стиль их изложения. В частности, практически не рассматриваются математические основы расчета траекторий инструмента и особенности реализации систем управления станками с числовым программным управлением.

Занятие 1

Управляющие коды



Станок управляется системой числового программного управления (иногда называется стойкой) и выдает информацию о своем состоянии системе ЧПУ. Станки отличаются друг от друга по назначению, функциональным возможностям, дополнительному оснащению, а также средствам автоматизации.

В связи с этим, представляется, что для каждого вида оборудования, необходим собственный язык управления. С другой стороны, изучать множество различных систем команд проблематично, поэтому получили распространение ряд стандартов, наиболее применяемым из которых можно считать NC коды ISO, здесь NC – сокращение от Numeric Control (числовое управление).

Стандарт был разработан компанией Electronic Industries Alliance еще в начале 60-х годов, окончательно доработан и одобрен в феврале 1980 под названием RS274D. Комитет ISO принял его как стандарт ISO 6983-1:1982, Госкомитет по стандартам СССР — как ГОСТ 20999-83. В советской технической литературе часто указанный код обозначается, как код ИСО 7-бит (ISO 7-bit).

Разработчики оборудования с ЧПУ используют стандарт как базу и расширяют по своему усмотрению. Так, часто встречаются системы управления, поддерживающие команды и особенности их использования, реализованные фирмой FANUC.

Структура программы

Программа, написанная в NC кодах, имеет строгую структуру. Эта структура ориентирована на: во-первых – запись программы на перфоленту, во-вторых – на считывание и исполнение программы устройством с релейным управлением. Порядок отдельных элементов программы и способ записи информации в программе регламентирован стандартом.

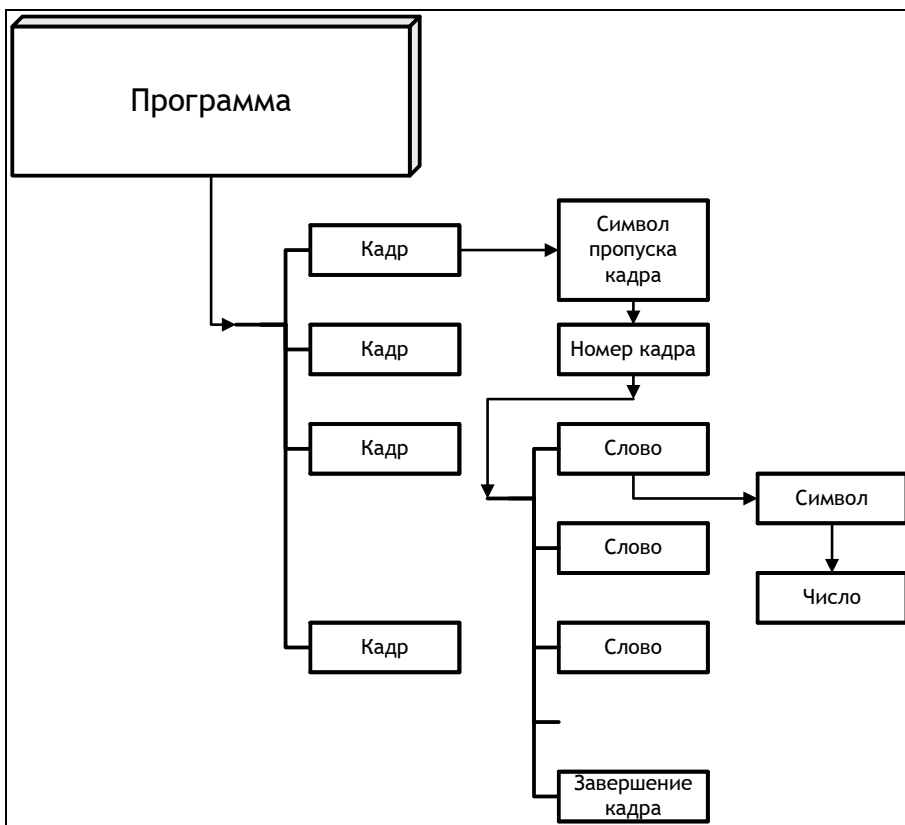


Рисунок 1 Обобщенная структура программы

Текст программы состоит из множества кадров. Кадр может (опционально) начинаться с символа пропуска кадра – «/» косой черты. За символом пропуска кадра (или в первой позиции, если он отсутствует) может следовать номер кадра (также опционально).

За номером кадра следуют специальные инструкции – слова¹ (произвольное количество) или комментарии. Завершает кадр символ окончания строки². Длина кадра ограничена 256 символами по стандарту ISO (примерно 4 строки на листе А4), чего обычно вполне достаточно. Отдельные системы ЧПУ могут иметь другие ограничения, поэтому в документации приводится формат кадра – условная запись кадра с максимальным объемом информации.

Пример кадра управляющей программы: **/N0001 G0 X123.05**

По принятым соглашениям: в программе допускаются пустые строки (они игнорируются), допускаются пробелы и символы табуляции или их отсутствие (например, x 100 эквивалентно x100). Регистр символов не учитывается (g и G эквивалентны).

Слова

Слово состоит из символа и некоторого числового значения. Символы, разрешенные к применению:

A, B, C, D, F, G, H, I, J, K, L, X, Y, Z, M, N, P, Q, R, S, T, U, W³

¹ Формально номер кадра – тоже слово

² Символ перевода строки (Line Feed – LF) обычно не отображается и добавляется при нажатии в конце строки клавиши Enter. Заметим также, что в OS Windows добавляется еще и символ перевода курсора на начало строки (Carriage Return – CR), что сложилось исторически.

³ Значение символов будет рассмотрено далее

Числа

Числа – это последовательность цифр⁴, которая (возможно) разделена десятичной точкой (не запятой). Число может начинаться знаком «+» или «-».

Если у числа нет знака, то оно считается положительным. Если у числа нет десятичной точки, то оно считается целым.

Обычно система ЧПУ ограничивает количество знаков в дробной части чисел в тексте программы, например ограничение может быть равно 0.0001. Помимо максимальной точности дроби в тексте необходимо учитывать дискретность привода – это минимальная величина перемещения рабочего органа при подаче одного управляющего импульса. Если дискретность привода по данной оси 0.01 то размеры необходимо задавать кратными дискретности т.е. 0.01

Незначащие нули в начале и конце числа допускается не указывать. Таким образом, например, **G = G0 = G00, а G1=G01**

Заметим также, что в одном кадре:

- Может находиться от 0 до 4-х слов, начинающихся с буквы G;
- Слова G, входящие в одну модальную группу, не могут встречаться в одном кадре (подробнее см. далее);
- Может находиться от 0 до 4-х M слов, но два слова из одной модальной группы не могут встречаться в одном кадре;
- Остальные символы могут быть в кадре в единственном числе.

Вопросы для самопроверки

Какие строки записаны корректно, а какие – нет:

№	Пример	Корректно?
1	X 1 0 0	
2	X0100	
3	y 0,152	
4	G00	
5	00G	
6	Я315	
7	G59.2	
8	gxYZ	
9	G00 xyz	
10	/g00 X2334 y48.5	

Укажите, какие строки в первом и во втором столбце эквивалентны:

№	Вариант 1	Вариант 2	Эквивалентны?
1	X 1 0 0	X100	
2	Xy	X0y	
3	X1.0y1.0	X1 y1	
4	X100 y10	X1 y1	
5	X 0.1	X 0,1	
6	G	G00	

⁴ Заметим, что буква O и цифра 0 – разные сущности и не могут быть использованы одна вместо другой.

7	M1	M01	
8	T03	T 3	
9	gxyZ 100	G00 x0y0.0 z 100	
10	Z10	X10	

Занятие 2 (часть 1)

Основные управляющие коды

Большую часть управляющей программы составляют перемещения рабочих органов станка либо на рабочей подаче (во время обработки), либо на подаче холостого хода.

В связи со сказанным важно представлять системы координат, применяемые при разработке управляющих программ и знать коды программирования движения.

Системы координат

Напомним (см. материалы курса лекций), что принято оперировать тремя системами координат: система координат станка, система координат инструмента, система координат детали. Базовой является система координат станка. Программа разрабатывается в системе координат детали. Таким образом, чтобы она выполнялась корректно, управляющую программу надо «привязать» к системе координат станка путем установки нуля детали и расположения осей координат детали.

Согласование систем координат осуществляется при наладке станка и в общем случае включает в себя:

1. выход рабочих органов станка в фиксированное положение (однозначно определенное относительно нуля станка)
2. согласование систем координат детали и инструмента относительно системы координат станка.

Аналогичным образом, система координат инструмента настраивается с помощью корректоров на размер инструмента первично и поднастраивается на точный размер по результатам обработки пробной детали (для концевой фрезы, например, задаются корректоры на длину и диаметр инструмента). После этого считается, что обработка производится нулевой точкой идеального инструмента, а расчет реальной траектории его движения возлагается на систему ЧПУ.

Заметим, что в ответственных или сложных случаях рассчитываются реальные координаты движения инструмента (например, при фрезеровании формообразующих поверхностей пресс-форм пластмассового литья), что требует знания точных размеров инструмента еще на этапе разработки управляющей программы.

Системы координат при токарной и фрезерной обработке, принятые в САМ системах

Кинематика и конструктивное исполнение станков с ЧПУ весьма разнообразны, поэтому при программировании условно считается, что деталь неподвижна, а все движения сообщаются инструменту.

При точении считается, что ось вращения шпинделя совпадает с осью Z правой прямоугольной системы координат. Ось X направлена перпендикулярно оси Z – по направлению поперечных салазок суппорта (таким образом, движения по оси Z дают осевые перемещения, а по оси X – радиальные/диаметральные). На экране монитора ось Z направлена вправо, а ось X – вверх.

Направление оси Y определяется известным правилом: при взгляде с оси Y поворот от оси Z к X должен происходить против часовой стрелки, поэтому ось Y условно развернута к зрителю (см. рисунок ниже).

В современных токарных станках, в частности, допускается управление углом поворота шпинделя. Угловые координаты (повороты вокруг осей X,Y,Z) обозначаются как **A,B,C** соответственно, поэтому поворот шпинделя задается координатой C (поворот против часовой стрелки – положительный).

Для ряда токарных обрабатывающих центров используются и другие системы координат. Так, например, при наличии контрсуппорта его координаты обозначаются как Z1,X1.

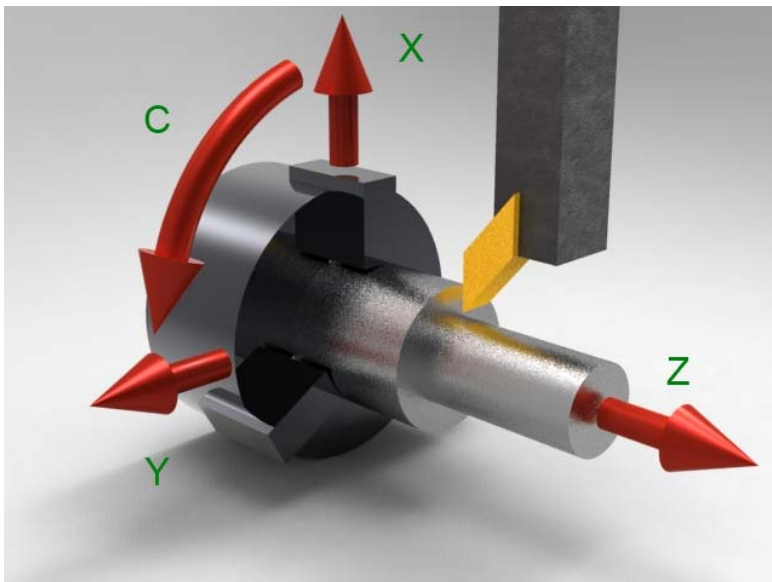


Рисунок 2 Система координат при токарной обработке

При фрезерной обработке считается, что деталь установлена неподвижно в плоскости XY, а фреза изначально установлена вертикально по оси **Z** и перемещается относительно заготовки. При пятикоординатной обработке считается, что ось фрезы наклоняется вокруг осей X и Y (что задается угловыми координатами A и B). Заметим, что конструктивно станок может наклонять не фрезу, а деталь, или и фрезу и деталь.

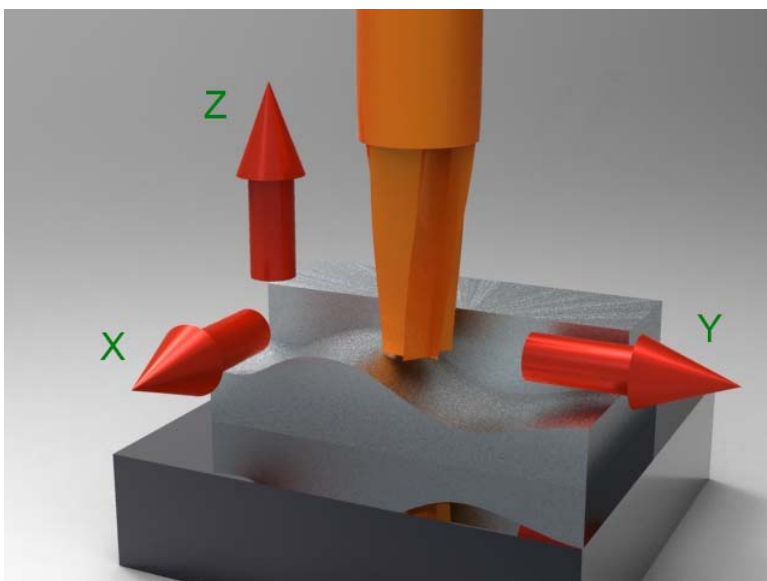


Рисунок 3 Система координат при фрезерной обработке

Независимо от вида обработки координаты могут быть заданы либо в метрической системе (в мм), либо в британской (в дюймах). Переключаются системы измерения кодами **G20** и **G21**.

Перемещения могут быть заданы: в абсолютной системе координат, относительно ее нуля. Заметим, что можно создать несколько систем координат (сдвинутых, развернутых, отраженных по отношению друг к другу) и перемещения задаются относительно активной в данный момент системы.

Часто бывает удобно задавать не координаты точек, а приращения – расстояния от текущей точки до конечной. При этом текущая точка считается временным нулем координат. Таким образом удобно задавать дуги окружностей, прямоугольники и т.п.

Работа в абсолютных координатах и приращениях переключается кодами **G90** и **G91**. Так же как и коды G20/G21 они являются взаимоисключающими и не могут использоваться в одном кадре программы.

Следует учитывать, что слова I,J,K⁵ обозначают приращения по осям X,Y,Z соответственно, причем независимо от установок G90/G91.

Таблица 1

Код	Значение кода	Комментарий	Пример	Расшифровка
G20	Перемещения в программе заданы в дюймах	Как правило, используется однократно в начале программы Коды 20 и 21 – взаимоисключающие	G90 G20	Абсолютная система координат, перемещения заданы в дюймах
G21	Перемещения заданы в миллиметрах			
G90	Абсолютная система координат	Могут использоваться многократно, не могут использоваться в одном кадре	G91 G21	Перемещения в мм, рассматриваются как приращения
G91	Система координат в приращениях			

Команды движения по прямой – линейная интерполяция

Движение по каждой координате обычно осуществляет отдельный привод. Как правило, движение рабочих органов станка отслеживается датчиками положения различных конструкций, а само перемещение не может быть меньше разрешающей способности датчика - дискретности.

Для движения по произвольной прямой линии, вообще говоря, нужна согласованная работа нескольких приводов, которые перемещают рабочий орган станка около теоретической прямой. Таким образом, реальное движение – это лишь приближение, иначе говоря – интерполяция, поэтому команды движения по прямой называются командами линейной интерполяции. Стандарт ограничивает погрешность интерполяции величиной +/- 0,707 или корень из 3/2 от дискретности

Считается, что инструмент перемещается из своего текущего положения в положение, заданное координатами в кадре, либо в абсолютном выражении, либо в приращениях.

⁵ А также U,V,W. Встречаются системы ЧПУ, где абсолютные координаты обозначались суффиксом А (например, абсолютное значение X – XА) а приращения – I (например, X1 – инкремент, т.е. приращение по координате X).

Линейная интерполяция может происходить на максимально возможной подаче (обычно это подача на скорости холостого хода). Такие перемещения программируются кодом **G00**. Так как незначащие нули допускается не печатать, то в текстах программ можно встретить и обозначение **G0** и обозначение **G**.

Движения на подаче холостого хода потенциально опасны. Поэтому их, выполняют в области, где гарантированно отсутствует опасность столкновений. При фрезерной обработке можно указать максимальную высоту по координате Z – так называемую плоскость безопасности, которая заведомо выше самой высокой точки детали вместе с приспособлением. Таким образом, быстрые перемещения фрез, сверел и т.д. программируют в три этапа:

- Подъем по оси Z вертикально на плоскость безопасности
- Быстрые перемещения по осям X,Y
- Быстрое вертикальное перемещение вниз на обрабатываемую деталь с некоторым зазором.

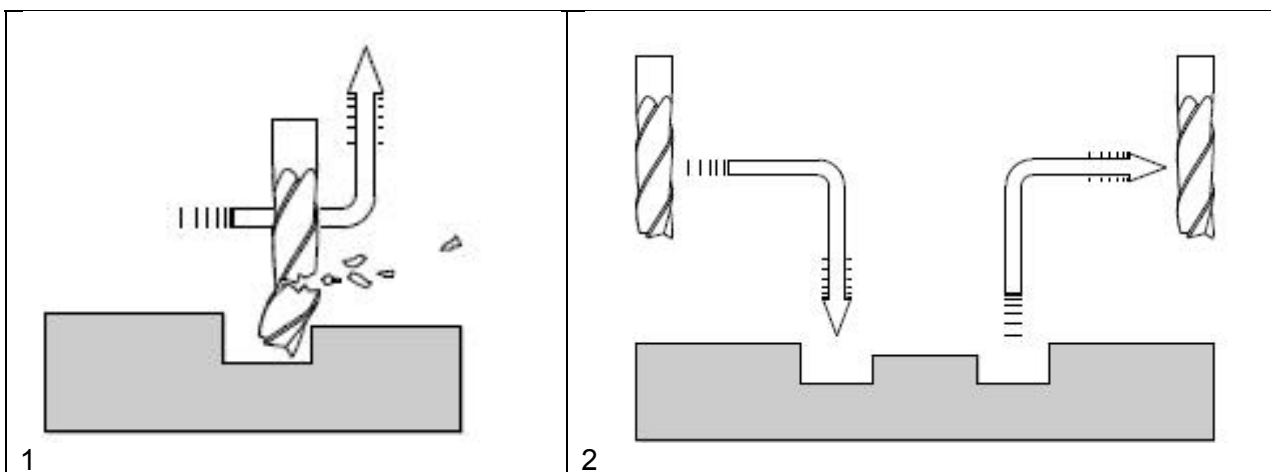


Рисунок 4 Быстрый подвод и отвод фрезы: 1 – неправильно, 2 – правильно

При выполнении задания следует учесть: многие коды (и G00 в том числе) являются модальными. Это означает, что они включают (или выключают) определенный режим (модус) работы станка с ЧПУ. Таким образом, модальные коды, раз включенные, действуют до момента их переключения другим модальным кодом той же группы, и их не требуется печатать в каждом кадре программы.

Следует учесть также, что если в кадре не указано слово перемещения по какой-то из координатных осей, то эта координата в данном кадре не изменяется. Например, при движении резца параллельно оси вращения заготовки, не изменяется координата Z и ее можно не печатать в кадре.

Вопросы для самопроверки

Являются ли модальными коды G20/G21?

Являются ли модальными коды G90/G91?

Нарисуйте траекторию движения центра фрезы в плоскости XY, считая, что инструмент находится в точке с координатами 0,0,0.

Текст программы	Схематичное изображение траектории
G90 G00 X100 Y0 G00 X100 Y100 G00 X0 Y0	
G91 G00 X100 Y100 X-100 Y-100	
G90 GX100 Y100 XY	

Напишите код быстрого перемещения фрезы и нарисуйте ее траекторию, запишите координаты конечной точки:

- На 5 мм вверх по Z от текущего положения;
- На 120 мм в плюс по оси X от текущего положения фрезы;
- На -40 мм по X и 80 мм по Y от последнего положения фрезы.

При выполнении задания первым кадром задать метрическую систему мер и работу в приращениях.

Занятие 2 (часть 2)

Основные управляющие коды

Задание рабочей подачи

При обработке детали инструмент перемещается на рабочей подаче. При фрезеровании стали 45, например, подача может составлять 200-500 мм/мин, тогда как быстрые перемещения происходят на скорости 6000-10000 мм/мин, то есть на порядок быстрее.

Рабочая подача назначается по виду обработки (черновая, получистовая, окончательная) и для токарных станков задается по умолчанию в мм/об, а для фрезерных станков (как правило) в мм/мин. Поддачи на оборот невелики (0,1-10 мм), и в разы отличаются от типичных значений минутной подачи на фрезеровании. Если требуется переключиться к другим единицам измерения подачи, то используют коды:

- **G94** – мм/об;
- **G95** – мм/мин;

Подача задается словом F (от английского Feedrate – величина подачи), например F200 – подача 200 мм/мин (судя по контексту это минутная подача), F0.12 – подача 0,12 мм/об.

Код F – модальный и установленное значение подачи не меняется, пока ее новое значение не будет задано явно.

Существует ряд «тонких мест» при задании рабочей подачи, которые могут быть важны для технолога. Например: как будет меняться рабочая подача на углах траектории? Как выполняется разгон или торможение инструмента до его выхода на рабочую подачу? Однозначного ответа на

эти вопросы нет. Ряд систем ЧПУ позволяет управлять указанными «тонкими» параметрами, некоторые – нет. За более подробной информацией следует обращаться к руководству программиста конкретной системы ЧПУ.

Линейная интерполяция на рабочей подаче

Линейная интерполяция задается кодом G01 (допускается записывать его в виде G1). При этом инструмент из своего текущего положения перемещается в положение, указанное в кадре. Перемещения (см. выше) могут указываться как в приращениях, так и в абсолютных величинах.

Скорость перемещения определяется установленным в текущем кадре или заданном ранее значением подачи.

Например, код **G01 X10 Y10 F100** означает:

- **G01** – линейная интерполяция на скорости рабочей подачи;
- **X10 Y10** – координаты, конечной точки перемещения (в приращениях или абсолютные);
- **F100** – рабочая подача;

Если предыдущий код отработан, то следующий кадр: **X50 Y100** (без указания подачи и кода G01) означает:

- Так как режим движения не задан, то работает режим, установленный в предыдущем кадре, то есть G01
- Так как не указана подача, используется подача, заданная ранее, то есть 100.
- Таким образом, в кадре задана линейная интерполяция на рабочей подаче 100 в точку 50,100.

Разберем, в качестве примера, следующую управляющую программу:

Код	Комментарий	
G90 G21 G94	G90 – абсолютная система координат G21 – метрическая система мер G94 – подача в мм/мин	Полный код программы G90 G21 G94 G00 XYZ X-20 Y-20 G01 X20 F100 Y20 X-20 Y-20 X-50 Y-50 X50 F50 Y50 X-50 Y-50 G00 XYZ Траектория движения:
G00 XYZ	G00 XYZ – линейная интерполяция на скорости быстрых перемещений в точку 0,0,0 (незначащие нули не показаны)	
X-20 Y-20	X-20 Y-20 – так как режим не указан в кадре, то сохраняется ранее заданный режим G00	
G01 X20 F100	G01 X20 F100 – линейная интерполяция на подаче 100 мм/мин в точку с координатами: X20 Y-20 – не изменяется с	

	прошлого кадра	
Y20 X-20 Y-20	Y20, X-20, Y-20 – серия перемещений, образующих квадрат 40*40 с центром в начале координат	
X-50 Y-50	X-50 Y-50 – линейная интерполяция в нижнюю левую вершину квадрата стороной 100*100 мм и центром в начале координат	
X50 F50 Y50 X-50 Y-50	F50 – рабочая подача 50 мм/мин X50, Y50, X-50, Y-50 – движение по сторонам квадрата	
G00 XYZ	G00 XYZ – возврат в начало координат на быстром ходу	

Вопросы для самопроверки

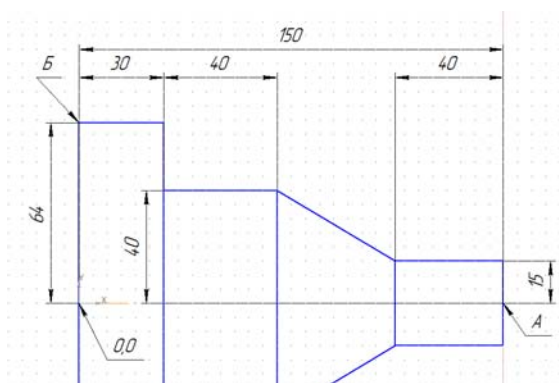
Центр фрезы находится в точке с координатами 0,0,0

Напишите:

Программу обхода прямоугольника с координатами левой нижней и правой верхней вершин: 0,0 и 200,100 на рабочей подаче 100 мм/мин.

Программу обхода вдвое меньшего прямоугольника с левой нижней вершиной в точке 100,50 от левой нижней вершины прямоугольника на рабочей подаче 50 мм/мин, переместите фрезу в начальную точку на быстрой подаче.

Задан эскиз вала, установленного на токарном станке:



Ноль системы координат задан на оси вращения детали, на ее левом торце. Резец необходимо провести по контуру вала из точки А в точку В. При составлении программы необходимо задать размеры в миллиметрах (используя специальный код), а рабочую подачу установить равной 0,15 мм/об.

Напишите программу обхода контура равностороннего треугольника с нижней стороной, параллельной оси X, радиусом вписанной окружности 15 и центром в начале координат

центром фрезы. В начальный момент центр фрезы находится в начале координат, подача по горизонтальной стороне 25 мм/мин, последующих – 50 и 100 мм/мин.

Напишите, в условиях предыдущей задачи, программу обхода контура в виде правильной центральной пятиконечной звезды, одна из наружных вершин которой лежит на оси Y. Подачу принять 50 мм/мин, окружность радиусом 15 мм вписана во внутренний пятиугольник⁶.

При сверлении глубоких отверстий применяют следующий прием: сверлят сначала $\frac{1}{2}$ глубины отверстия, затем выводят сверло, далее сверлят $\frac{3}{4}$ глубины отверстия и поднимают сверло, лишь на третий раз сверлят отверстие целиком. При подъеме сверла происходит удаление стружки и снижается риск поломки сверла. Существуют стандартные циклы глубокого сверления, однако в учебных целях требуется написать программу сверления отверстия в точке 0,0,0 на глубину в 100 мм по оси Z с периодическим выводом сверла. Рекомендуется также снизить осевую подачу с 0,15 мм/об до 0,12 и 0,1 мм/об на соответствующих этапах сверления.

⁶ Задача повышенной сложности

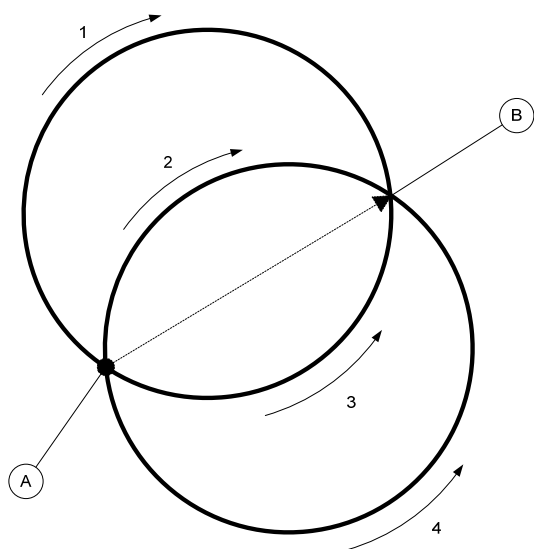
Занятие 2 (часть 3)

Основные управляющие коды

Круговая интерполяция

С помощью круговой интерполяции осуществляется движение инструмента по дуге окружности. Если круговая интерполяция (например, в плоскости XY) совмещена с линейным движением по третьей оси, то траектория движения является спиралью и интерполяцию можно назвать спиральной⁷ (геликоидальной – от англ. helix).

При круговой интерполяции помимо чисто вычислительных задач (подбор алгоритма качественного приближения ступенчатой траектории к окружности) существует и ряд проблем с заданием дуг окружностей. В общем случае дугой одного радиуса начальную (А) и конечную (В) точки траектории можно соединить 4-мя способами.



Для однозначного описания надо задать недостающие параметры: направление движения по дуге – по или против часовой стрелки⁸, положение центра или радиус дуги окружности.

Дуги 1,2 имеют направление по часовой стрелке, а дуги 3,4 – против. Вращение по часовой стрелке кодируется словом G02, а против – G03, таким образом, дуги 1 и 2 будут закодированы как G02..., а 3 или 4 – как G03.

После указания направления вращения остается всего 2 возможных варианта – короткая или длинная дуга (1 или 2, 3 или 4 соответственно). Простейшее решение – указать для определенности координаты центра дуги окружности. Указанные координаты задаются только в приращениях от координат начальной точки дуги словами I и J, где I – приращение по X, а J – приращение по Y.

Рассмотрим пример круговой интерполяции для дуги, представленной на рисунке ниже:

⁷ Спиральная интерполяция доступна не для всех систем числового управления

⁸ Применяются сокращения: CW – clockwise – по часовой стрелке, CCW – counterclockwise – против

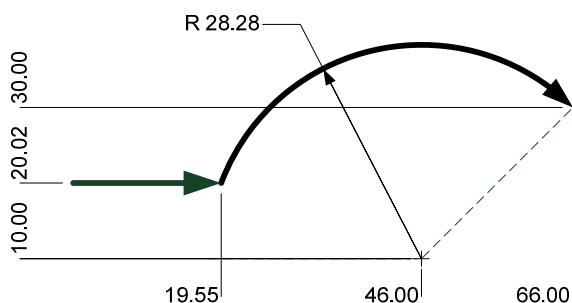


Рисунок 5

Стартовая точка дуги имеет координаты (19,55;20,02). Движение происходит по часовой стрелке, поэтому используем код G02. Координаты центра: (46;10), таким образом, приращения по осям составят: $I = 46 - 19.55 = 26.45$; $J = 10 - 20.02 = -10.02$ ⁹. Координаты конечной точки (66;30), следовательно:

G02 X66 Y30 I26.45 J-10.02

При расчете дуги система ЧПУ использует 6 переменных (координаты центра, начальной и конечной точки) для определения радиуса. Так как дуга задается уравнением второй степени, то получается переопределенная система уравнений и одна из переменных оказывается излишней. В зависимости от особенностей математического обеспечения системы ЧПУ по результатам расчетов конечная точка дуги может не попасть в заданную в кадре программы конечную точку. Если промах оказывается слишком большим (например, свыше 0,1 мм) корректная управляющая программа, при ее прогоне на стойке станка, может завершиться аварийно, с сообщением «профили неконгруэнтны». Чтобы избежать таких ошибок, желательно избегать дуг малой длины, дуг с малыми значениями приращений центра I или J.

Большинство современных систем ЧПУ позволяет задавать дуги через радиус (стойка рассчитывает координаты центра). Направление дуги задается кодом G02/G03. Выбор короткой (дуги с центральным углом менее 180°) или длинной (с центральным углом более 180°) дуги определяется знаком радиуса. Плюс соответствует короткой дуге, а знак «-» - длинной.

В этом случае задача по указанным данным имеет единственное решение, поэтому рекомендуется задавать дуги, программируя именно их радиус, если система ЧПУ это позволяет.

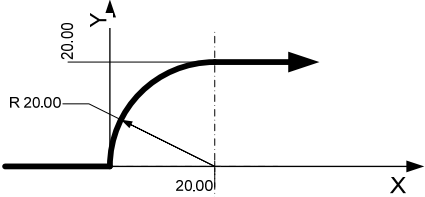
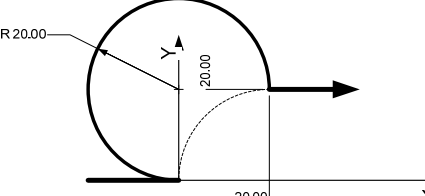
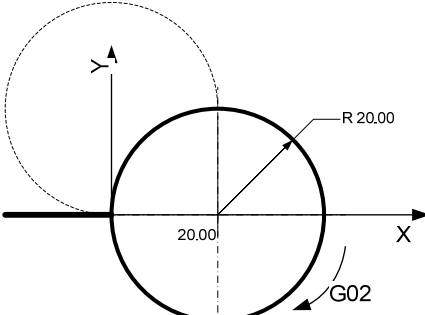
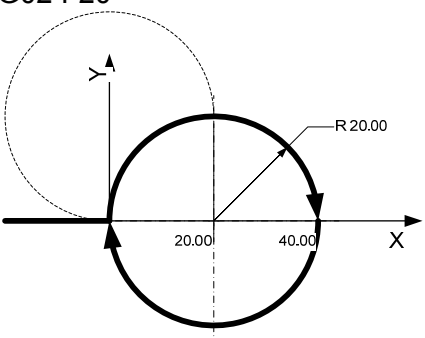
В примере на рисунке – дуга короткая, знак радиуса положительный, радиус равен 28,28 мм:

G02 X66 Y30 R28.8

Некоторые частные случаи (везде предполагается, что начальная точка – 0,0 и интерполяция происходит в плоскости XY):

Центр дуги лежит на одной горизонтали с начальной точкой, приращение по Y равно 0, поэтому его можно пропустить	G02 X20 Y20 I20
---	-----------------

⁹ Обратите внимание на знаки приращений: по X координата центра больше стартовой точки, приращение имеет знак «+», по Y – меньше, приращение отрицательное

	
<p>Аналогично для случая, когда центр дуги расположен на одной вертикали со стартовой точкой</p>	<p>G02 X20 Y20 J20</p> 
<p>При обработке полной окружности начальная и конечная точки совпадают, поэтому их можно не указывать, а задать только приращения координат центра (в примере на рисунке можно пропустить даже приращение J)</p>	<p>G02 I20 J0</p> 
<p>Ряд систем ЧПУ не позволяет пройти полную окружность одной командой (см. руководство программиста). В этом случае программируется две дуги по 180 градусов.</p>	<p>G02 X40 I20 G02 I-20</p> 
<p>Если угол дуги составляет ровно 180 градусов, то знак радиуса не имеет значения</p>	<p>G02 X40 R20 эквивалентно G02 X40 R-20 и дает верхнюю дугу на рисунке выше</p>
<p>Полную окружность нельзя задать одной командой с указанием радиуса</p>	<p>Разбейте окружность на дуги</p>

Вопросы для самопроверки

Запрограммируйте обработку следующих контуров, используя удобную для вас форму команды G02/G03.

Принять, что координата Z не изменяется, фреза находится в точке [0;64] – середина крайней правой стороны контура, коррекцию на диаметр инструмента не производить,

обход контура – против часовой стрелки. Необходимые размеры и координаты точек контура приведены на рисунке¹⁰.

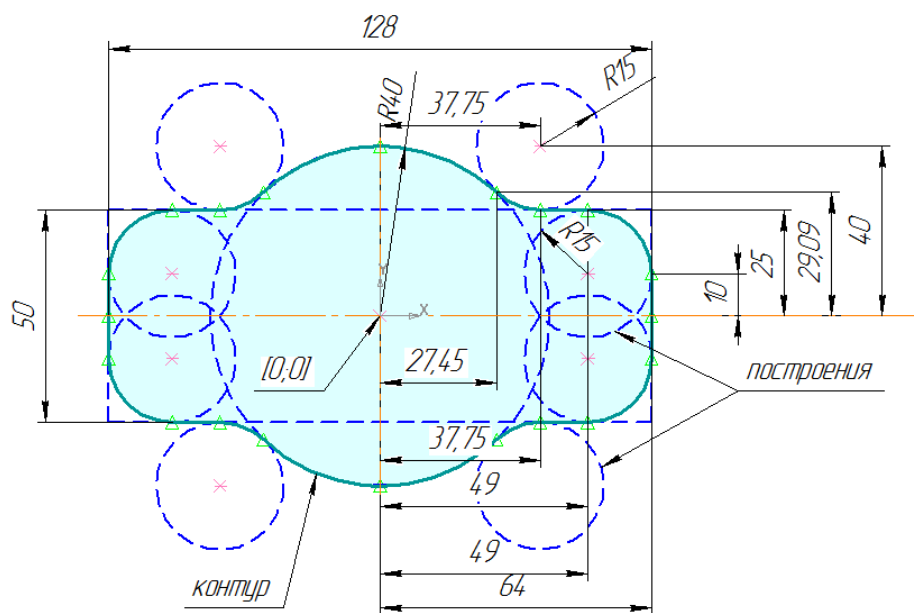


Рисунок 6

Запрограммировать обработку контура за один проход фрезы, не поднимая фрезу над траекторией и так, чтобы ни один участок контура не был обработан дважды¹¹. Начальную точку на контуре выбрать произвольно, с учетом предыдущего условия.

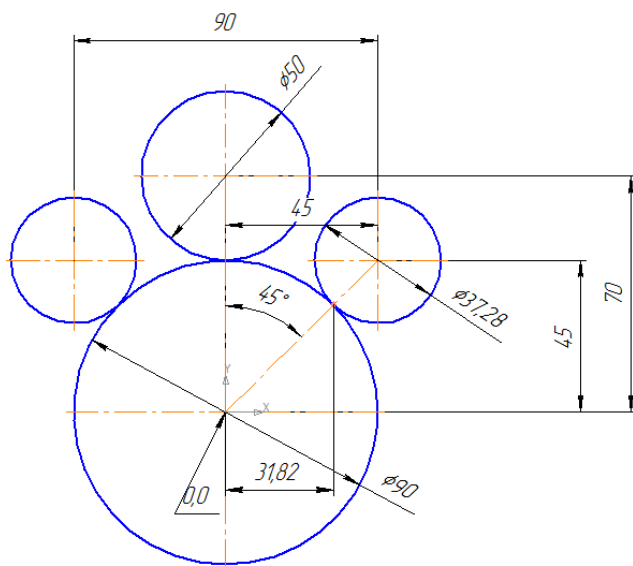


Рисунок 7

¹⁰ Обратите внимание на способ построения траектории: сначала строятся простые элементы (прямоугольник, окружности) нарисованные пунктирными линиями, а рабочий контур получается путем «обхода» указанных элементов до точек их пересечения или касания. Таким образом часто реализуется работа САМ системы на стойках станков с ЧПУ, что позволяет оперативно программировать несложную обработку без чрезмерно сложных построений.

¹¹ Представьте, что фреза – это карандаш и контур требуется обвести карандашом, не отрывая его от бумаги.

Занятие 2 (часть 4)

Технологические и вспомогательные коды, общая структура программы

Основные (G – general) управляющие команды, как следует из их названия программируют, в основном, перемещения рабочих органов станка с ЧПУ и определяют такие параметры перемещений, как система координат, плоскость перемещений и т.д. и т.п. Вместе с тем, управление станком требует осуществления множества дополнительных функций.

Так, например, до использования режущего инструмента его необходимо установить в шпиндель. Прежде чем совершать рабочую подачу, требуется включить вращение шпинделя и подачу СОЖ.

Подобные вспомогательные действия программируются словами M – miscellaneous (то есть вспомогательные) и T – Tool, то есть связанными с инструментом.

Следует заметить, что M коды менее стандартизированы, в сравнении с G словами и часто используются производителями для реализации управления специальными возможностями оборудования. В еще большей степени сказанное относится и к T словам.

Основные вспомогательные коды

Приведенный далее список является справочным, однако приведенные в нем коды являются достаточно общими и распространенными.

Основными M кодами являются:

- 1) Коды останова программы
 - a. M00 – безусловный останов программы (с возможностью ее продолжения от точки останова);
 - b. M01 – условный останов (программа может быть остановлена этим кодом, если включена соответствующая опция на стойке ЧПУ – используется при отладке программы);
 - c. M02 – конец программы;
 - d. M30 – останов программы и «перематка» текущего кадра на первый кадр (имитируется перематка перфоленты с программой, работу программы можно повторить в одно нажатие кнопки «Пуск»);
 - e. M47 – повторить программу с первого кадра.
- 2) Коды включения вращения шпинделя:
 - a. M03 – включить вращение шпинделя до скорости, заданной словом S по часовой стрелке (CW);
 - b. M04 – то же, против часовой стрелки (CCW);
 - c. M05 – останов вращения шпинделя (программа продолжает исполняться без перерыва);
- 3) Коды замены инструмента:
 - a. T Nинструмента (например, T02) – выбор инструмента из инструментального магазина или суппорта с указанным номером или в указанной позиции в магазине;
 - b. M06 – замена инструмента на указанный словом T (обычно происходит путем исполнения двух макрокоманд, записанных в системе УЧПУ: первая

- переводит инструмент в точку его замены ¹², вторая – возвращает инструмент в его текущую позицию;
- с. Из пунктов а) и б) следует, что полная команда на замену инструмента имеет вид: T02 M06, причем (возможно) потребуются и другие действия (например, включение корректора на размер инструмента).
- 4) Коды подачи СОЖ:
- а. M07 – включить подачу СОЖ в виде облака капель;
 - б. M08 – включить подачу СОЖ омыванием;
 - с. M09 – отключить подачу СОЖ (и омыванием и распылением).
- 5) Работа с подпрограммами (может значительно отличаться от описанных здесь кодов)¹³:
- а. M98 – вызвать подпрограмму (по ее номеру кадра, метке кадра или имени подпрограммы; возможен вызов подпрограммы локально – в той же управляющей программе или глобально – в виде внешнего файла);
 - б. M99 – возврат из подпрограммы в точку вызова (в кадр, следующий за инструкцией M98).
- 6) Коды стандартных циклов:
- а. Коды сверления группы отверстий по координатам с различными стратегиями;
 - б. Коды нарезания резьбы;
 - с. Коды черновой/чистовой обработки по контуру, заданному массивом координат.

Так как стандартные циклы отличаются как по номерам, так и по логике их реализации, то здесь они не приводятся, а читатель отсылается к руководству программиста на конкретную систему ЧПУ.

Структура управляющей программы

Приведенные выше основные управляющие конструкции отражают лишь основной набор NC кодов, которого, впрочем, достаточно для написания управляющих программ средней сложности.

Вместе с тем, управляющая программа создается в виде типовой последовательности инструкций, которую принято называть структурой программы. Структура УП может существенно отличаться как для различных систем УЧПУ, так и в зависимости от личных предпочтений программиста, тем не менее, в ней можно выделить некоторые типовые моменты, а именно: начало программы, завершение, ряд обработок-переходов, каждый из которых выполняется без замены инструмента.

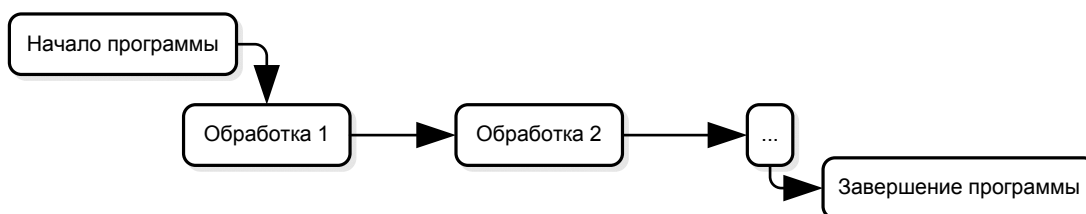


Рисунок 8

¹² Для фрезерной обработки – еще и выключает вращение шпинделя, а после замены – включает его заново.

¹³ Коды приведены в справочных целях, для конкретной системы УЧПУ необходимо уточнить процедуру вызова по руководству программиста.

Начало программы

Традиционно на перфоленте присутствовал специальный символ для начала считывания программы. В настоящее время в начале программы ставится символ «%». За символом начала программы может присутствовать идентификатор программы – ее название (или номер) на стойке УЧПУ, например O1002. Таким образом, первые две строки в программе

имеют вид: $\%$
O1001

Для начала работы требуется выполнить ряд подготовительных действий. Так как они являются типовыми, то, как правило, их добавляют в начало программы автоматически. Как минимум, необходимо обеспечить безопасное начало работы программы и гарантировать, что программа выполняется с определенными «стандартными» начальными установками. Это обеспечивается использованием «строки безопасности», например, следующего вида:

G00 G17 G21 G40 G49 G80 G90

Таблица 2 Разбор кодов строки безопасности

G00	Включить движение на холостом ходу, чтобы сбросить значения рабочей подачи
G17	Плоскость интерполяции – XY (возможно ранее была переопределена)
G21	Метрическая система мер
G40	Отключить коррекцию на диаметр инструмента (чтобы сбросить корректоры на размер инструмента)
G80	Завершить стандартные циклы (например, если программа запущена заново после сбоя внутри цикла, без этой команды будет продолжен сбойный цикл – с катастрофическими последствиями)
G90	Абсолютная система координат – отменяет влияние возможных сдвигов и приращений

Часто в начале программы задают также локальный ноль системы координат.

Команды типового начала обработки

При обработке (предполагается, что инструмент находится в безопасном положении) обычно требуется:

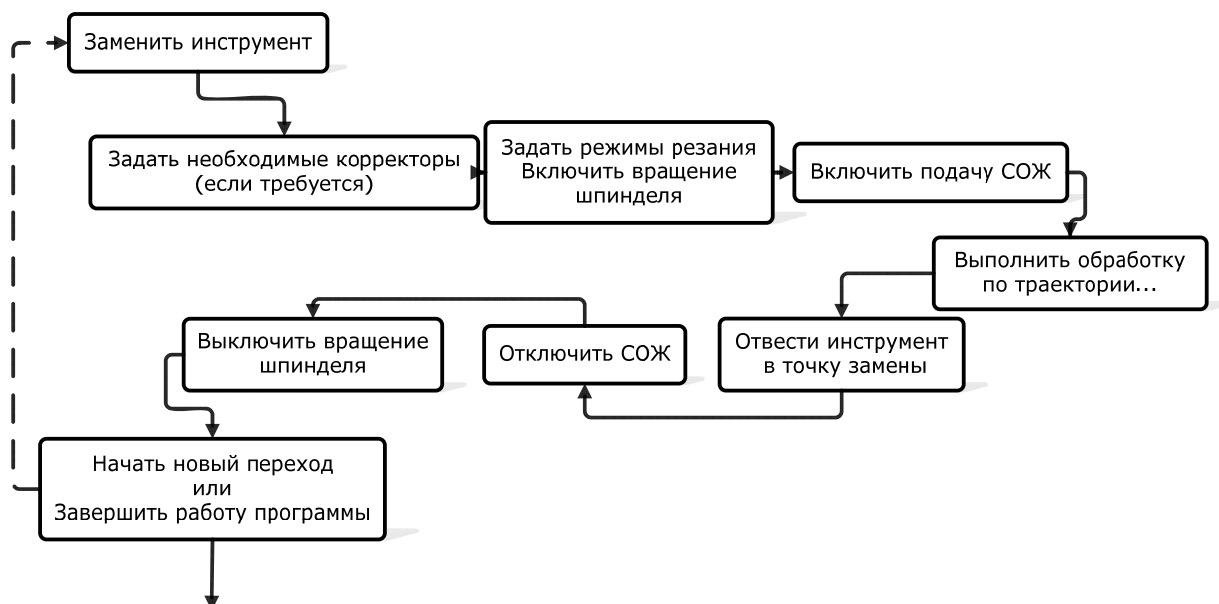


Рисунок 9

Необходимые коды рассматривались выше, поэтому приведем их с минимальными комментариями (в примере рассмотрено начало обработки фрезерованием):

T1 M06	Заменить инструмент на инструмент №01
S800 M03	Установить частоту вращения шпинделя 800 об/мин и включить
G43 H1 Z0 M08	Включить корректор H1 и подачу СОЖ ¹⁴

По завершении обработки инструмент выводится в точку замены инструмента¹⁵, вращение шпинделя останавливается, отключается подача СОЖ.

Завершение программы

Программу могут завершать кадры, подобные следующим:

M09	Выключить подачу СОЖ
M05	Выключить шпиндель
M30	Остановить программу и возвратиться («перемотать») ее на начало
%	Символ окончания программы

Имеет смысл также вернуть инструмент в положение, где он не мешает установу следующей заготовки.

Вопросы для самопроверки

Напишите программу фрезерования по контуру произвольного квадрата (окружности) с рекомендуемыми началом и завершением программы.

¹⁴ Отличается для различных систем ЧПУ

¹⁵ При обработке внутренних поверхностей инструмент выводится из детали в открытое пространство и только затем перемещается в точку смены инструмента

Занятие 3 (часть 1)

Создание управляющей программы в специализированном редакторе

Запуск редактора. Интерфейс программы

CIMCO Software Suite - набор программ-редакторов, программаторов для станков ЧПУ для их отладки и настройки на производстве.



После запуска ярлыка программы «CIMCOEdit» открывается главное

окно программы

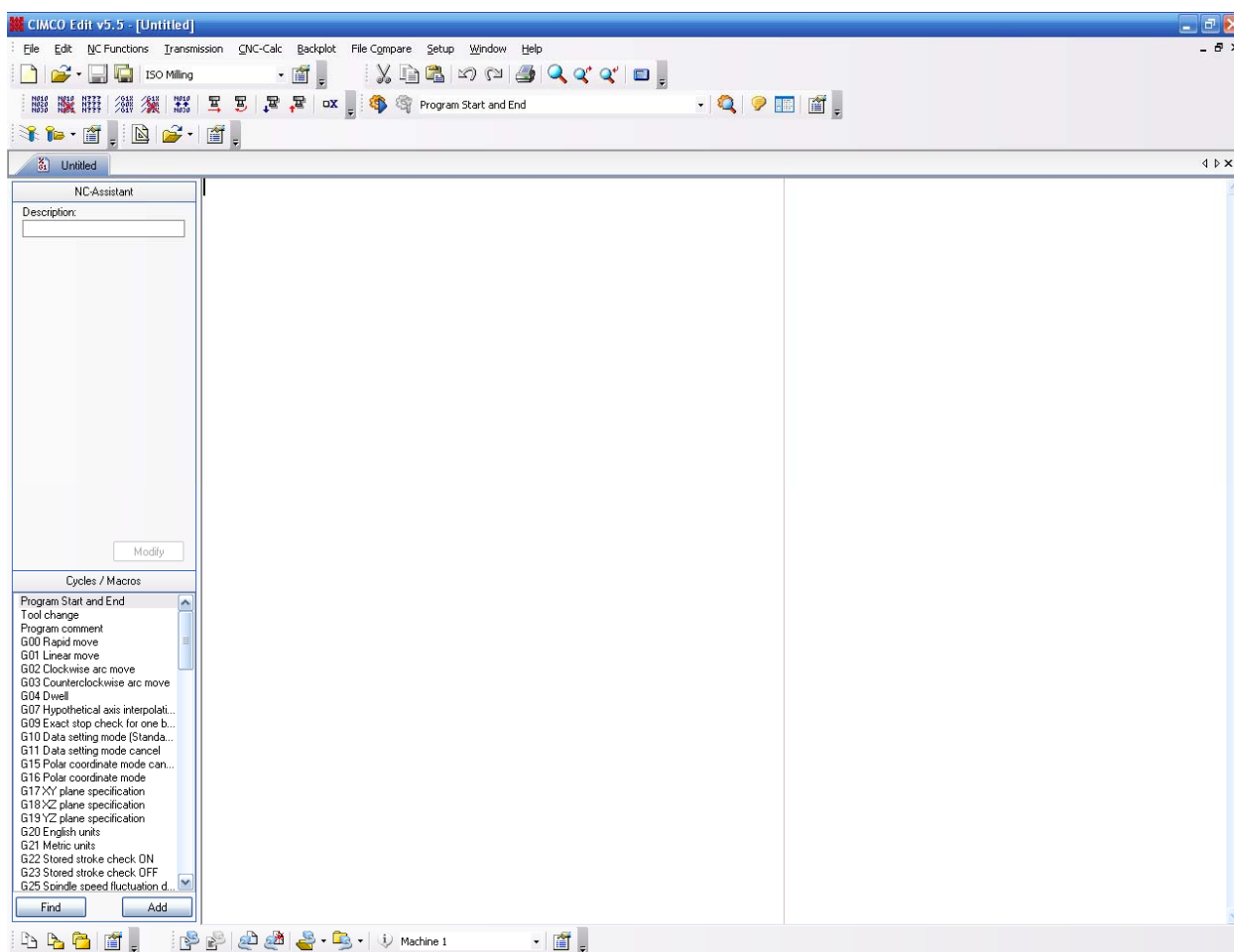


Рис.1 Окно программы

Раздел File на верхней части окна программы открывает команды по созданию новой управляющей программы (New), открытие ранее созданной управляющей программы (Open), закрытие всех окон УП (Close All), сохранение всех проведенных работ и изменений в УП (Save all).

Файлы сохраняются в форматах ISO files .ISO, NC, NCL, NCF

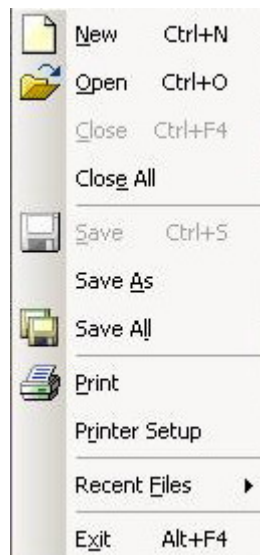


Рис.2 Раздел file

Раздел Edit – правка содержит команды:

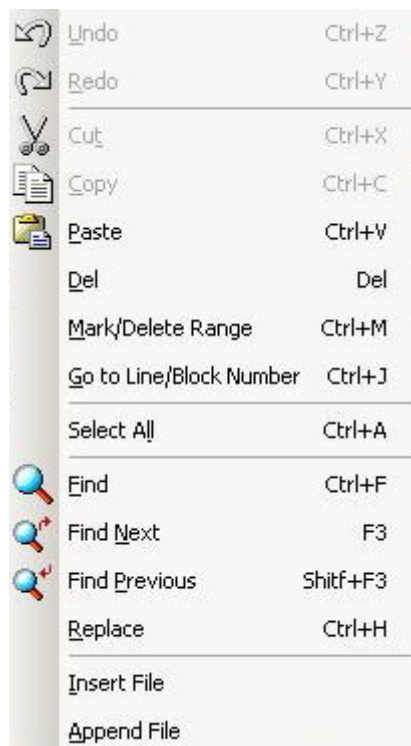


Рис.3 Раздел Edit

Undo – отмена последнего выполненного действия

Redo – возврат к следующему действию после отмены его.

Cut – вырезать текст УП

Copy – копировать текст УП

Past – вставить текст УП

Del – удалить выделенный фрагмент УП

Select all – выделить весь текст УП

Find – найти заданный текст в тексте УП

Insert file – сохранить файл

Раздел NC-Function – команды по работе с текстом УП

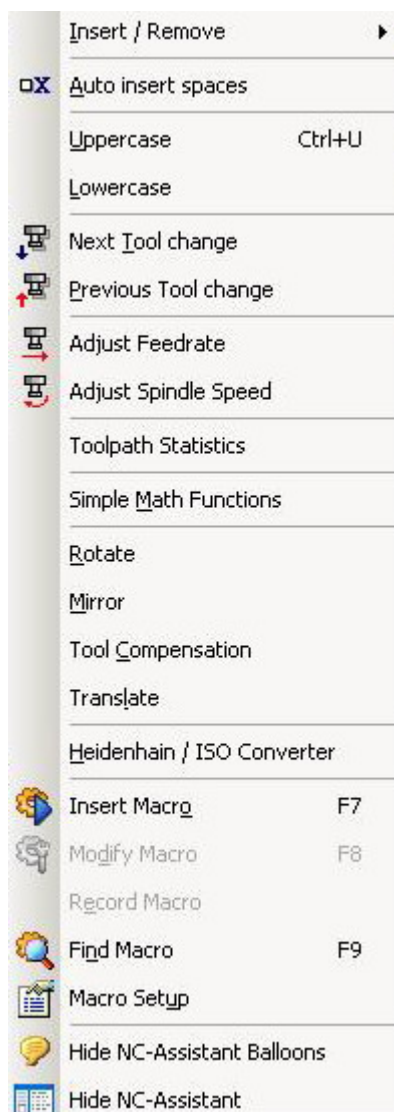


Рис. 4 Раздел NC-function

Insert/Remove – содержит набор команд для правки текста УП, вставки блоков УП, задания параметров расположения текста в графическом редакторе и т. д.

Auto insert Spaces – автоматическое уплотнения текста УП для удобства работы с текстом в редакторе

Uppercase – включение и отображение текста заглавными буквами

Lowercase – включение и отображение текста строчными буквами

Next Tool Change – выбор следующего инструмента из магазина инструментов станка

Previous Tool Change – выбор предыдущего инструмента из магазина инструментов станка

Toolpath Statistic - команда запускает сводную таблицу по временам работы инструментов в данной УП, команда является удобной для быстрого подбора необходимого количества каждого инструмента по его периоду стойкости.

Simple math functions – простые математические команды

Rotate\mirror – команды поворота стола на заданный угол вокруг оси Z относительно заданной точки в системе (X;Y)

Tool Compensatione – ввод на корректировку положения режущей кромки инструмента

Insert Macro – вставить макрос — при вызове необходимого макроса нужно ввести данные для выбранной команды.

Macro Setup – команда открывает базу данных по макросам с возможностью их правки и созданием новых макросов

Hide NC-Assistant – Отображение окна с текстом УП

Раздел Transmission – необходим для отправки УП на станок с ЧПУ.

Send – Отправить УП на станок с возможностью выбора станка

Receive - получить УП со станка

DNC – Setup – настройки для передачи УП на станки, задаются протоколы передачи УП и тип обработки для данной машины

Раздел CNC-Calce открывает инструментарий по графической подготовке УП

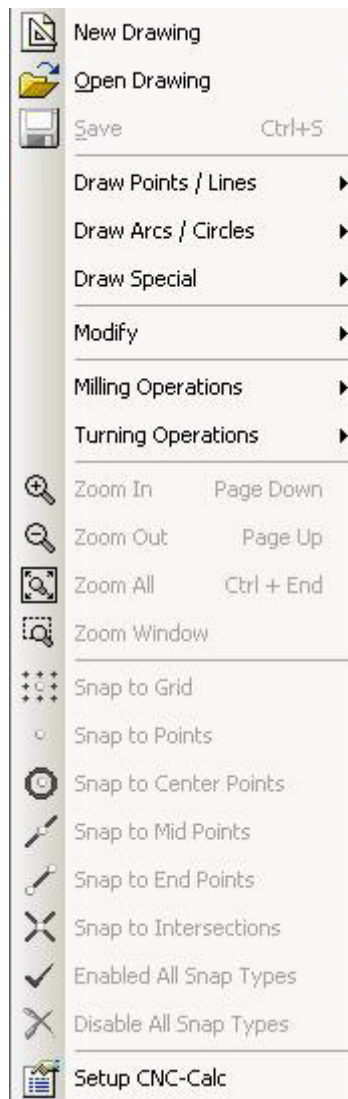


Рис.5 Раздел CNC-Calc

New Drawing – команда запускает графическое окно

Open Drawing – открытие графического файла сохраненного с расширениями .cdd и .dxf

Draw points/lines – инструменты для создания точек и линий

Draw Arcs\Circles- инструменты для создания окружностей, дуг и т. д.

Draw Special – создание специальных элементов таких как текста на обрабатываемой поверхности.

Modify – инструменты по изменению созданных линий — обрезка, удаление и т. п.

Milling operations –макросы для наиболее распространенных фрезерных операций

Contour milling – фрезерование по контуру

Face Milling – фрезерование плоской поверхности

Pocket Milling – фрезерование кармана

Mill letters – фрезерование символов

Mill true type letters – фрезерование прописных или курсивных символов

Turning operations – макросы для для наиболее распространенных токарных операций

Finish turning – чистовое точение

Face turning – торцевое точение

End Drilling – торцевое сверление, сверление центровых отверстий

Roughing turning – черновое точение

Cutoff – отрезание (для готовой детали при изготовлении из прутка)

Threading horizontal -

Grooving – точение канавки канавочным резцом

Zoom – команды по увеличению и уменьшению масштаба в графическом редакторе

Раздел Backplot – предназначен для запуска симуляции обработки



Рис.6 Раздел Backplot

Backplot Window – запуск окна симулятора

Backplot file – открытие файла для симулятора

Close Backplot – закрыть симулятор

Set view – установить параметры отображения (направление взгляда при обработке)

Simulation mode – вид симуляции. В данном разделе отображаются параметры анимации при обработке: отображение инструмента, траектории, показ симуляции обработки только одним инструментом и т. д.

Measure Distance – измерить заданное расстояние

Show\Hide Toolpath – показать траекторию движения инструмента

Tool Setup – настройки отображения инструмента

Show\Hide Solid Model – отображать твердотельную модель в симуляторе

Solid Setup – Настройки модели

Zoom\Regenerate Solid – масштабирование отображения и регенерация модели

Backplot Setup – настройки симулятора

Раздел File Compare – сравнение файлов, необходим для работы с открытыми файлами

Next Difference – следующие различие

Previous Difference – предыдущее различие

Sync Right – Синхронизация с правым файлом

Sync Left – Синхронизация с левым файлом

Go to Last Difference – перейти к последнему различию

Go to First Difference – перейти к первому различию

Compare with Window – сравнение в одном окне

Compare With file – сравнить с файлом

Compare File with File – сравнить файл с файлом

Save Compare File – сохранить файл сравнения

Раздел Setup — для настройки всех элементов программы

Раздел Window – раздел для настройки размещения открытых окон

Cascade – размещение окон каскадом

The Horizontally- горизонтальное размещение

The Vertically – вертикальное размещение

CIMCO редактор позволяет написать управляющую программу несколькими способами. Первый – непосредственный набор кода программы в редакторе и второй по созданной траектории во встроенном редакторе «Drawing».

В верхней части окна программы сгруппированы по назначению все команды. Ниже расположена панель быстрого запуска на которой расположены наиболее частые выполняемые команды.

Что бы создать файл управляющей программы необходимо нажать File\New

Для удобства набора кода программы в CIMCO редакторе имеются макросы и готовые G-коды

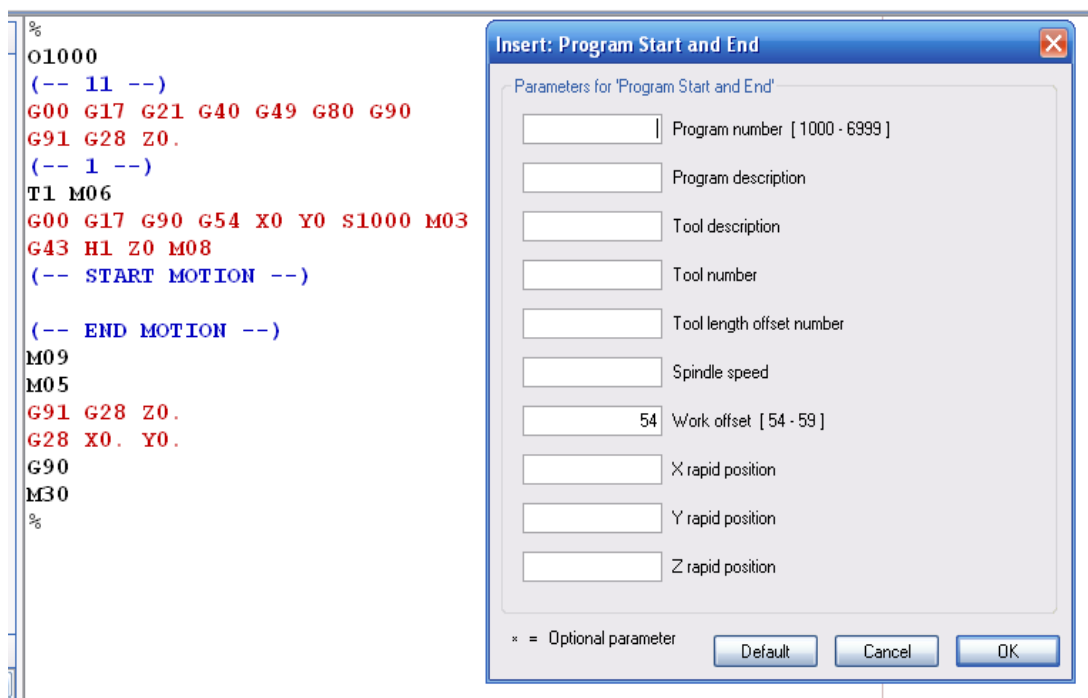
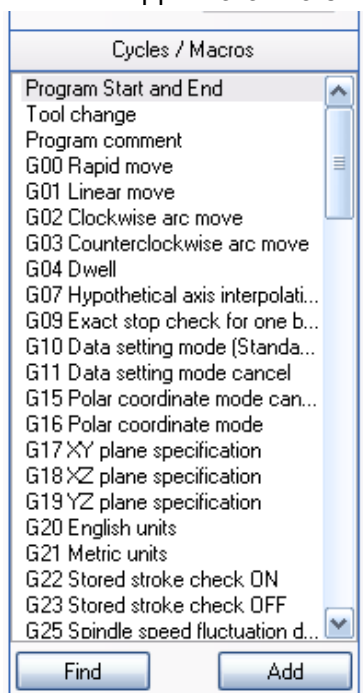



Рис.7

Окно редактора УП и макрос старта программ

Для того что бы открыть редактор кода на панели быстрого




запуска имеется ярлык  «Hide the NC – Assistant»

Для того что бы заполнить текст программы необходимо два раза кликнуть на одном из готовых G-кодов и ввести требуемую информацию.

Например команда старта и конца управляющей программы, после ввода необходимых параметров и их подвтерждения в окне редактора появляется текст программы.

При наведении курсора на какой либо из G-кодов выводятся подсказки, что облегчает изучение параметров при написании управляющей программы.

Второй более удобный для начинающих пользователей способ набора управляющей программы является обратный путь. В графическом окне при нажатии ярлыка  «Drawing Window» можно создавать траектории движения инструмента.

В верхней части окна располагаются кнопки для создания траектории движения инструмента.



Рис.8 Инструментарий графического окна

Ниже находятся набор кнопок для выбора направления обработки, выбора инструмента, режимов резания, координат и других параметров.



Рис.9 Стандартные циклы обработки

Для визуального контроля траектории инструмента в программе предусмотрен визуальный редактор. В визуальном редакторе можно просмотреть инструмент и его траекторию движения.

Симуляция включается командой Backplot\Backplot Window. В этом же разделе Backplot представлены настройки симуляции, такие как выбор вида систем координат, вид показываемого инструмента, зуммирование, измерение дистанции, отображение твердотельной модели с ее настройками и т.д.



Рис. 10 Панель управления симуляции обработки

В окне симуляции в левой части представлен код управляющей программы а в правой части окно симуляции. Под окном симуляции находятся кнопки управления – старт симуляции, скорость, координаты положения инструмента и его номер в управляющей программе. В самом окне симуляции отображается инструмент, ноль инструмента, траектория и система координат.

Для удобства редактирования кода программы предусмотрена ассоциация кадра управляющей программы и позиции инструмента соответствующий этому кадру, тем самым упрощая нахождение нужного кадра при необходимости его правки.

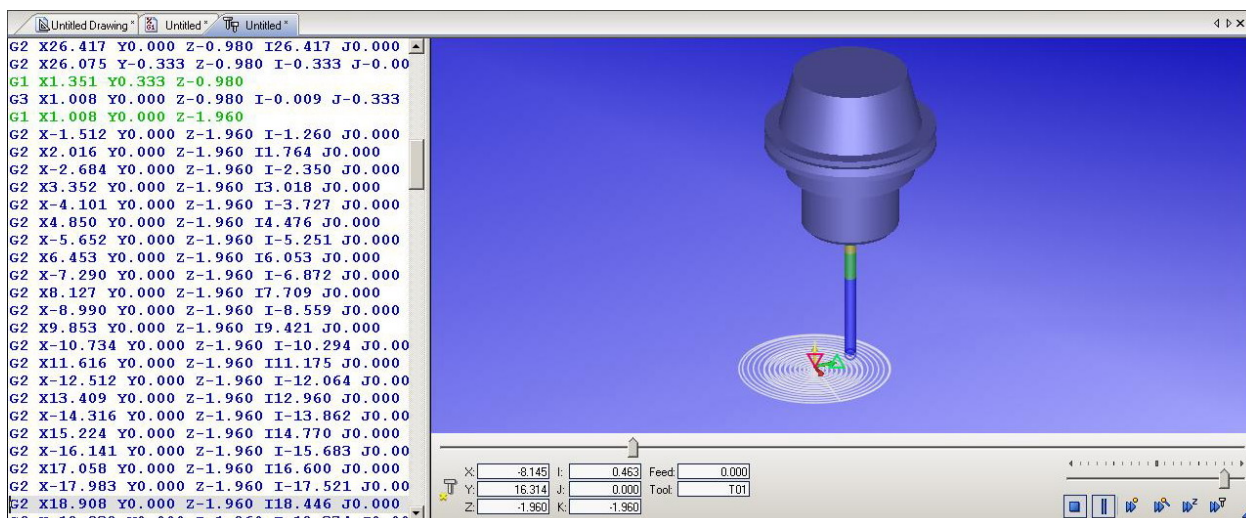


Рис. 12 Симулятор обработки

Начальные настройки редактора

Использование макросов

Вопросы для самопроверки

Занятие 3 (часть 2)

Визуализация кода управляющей программы

Переход в режим визуализации. Интерфейс программы

Вопросы для самопроверки

Занятие 4 (часть 1)

Разработка элементов управляющей программы в визуальном режиме

Назначение режима: разработка части программы, связанной с обработкой замкнутого контура, формирование траектории, управляющих кодов и запись кодов в текстовый файл или память (clipboard) для вставки в нужное место файла управляющей программы.

Визуальное программирование предназначено, в основном, для простой обработки (одним инструментом, поверхностей с постоянной высотой и без серьезного контроля безопасности обработки). Тем не менее, при доработках, ремонте, программировании «у станка» режим полезен. Следует заметить, что по идеологии визуальное программирование повторяет встраиваемые в систему ЧПУ станка «мини САМ системы».

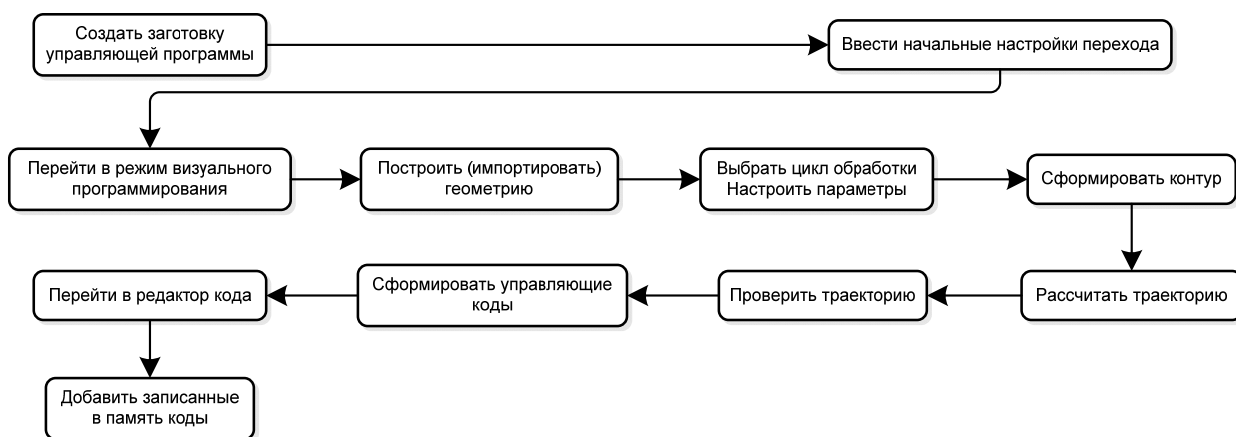


Рисунок 10 Типовая последовательность разработки элементов управляющей программы в визуальном режиме

Далее предполагается, что редактор запущен, включен режим работы в редакторе кода, установлен один из постпроцессоров фрезерной обработки (в примере – постпроцессор ISO Mill), сгенерирован «скелет» программы (выполнен макрос «Program Start and End»), программа сохранена на жесткий диск.

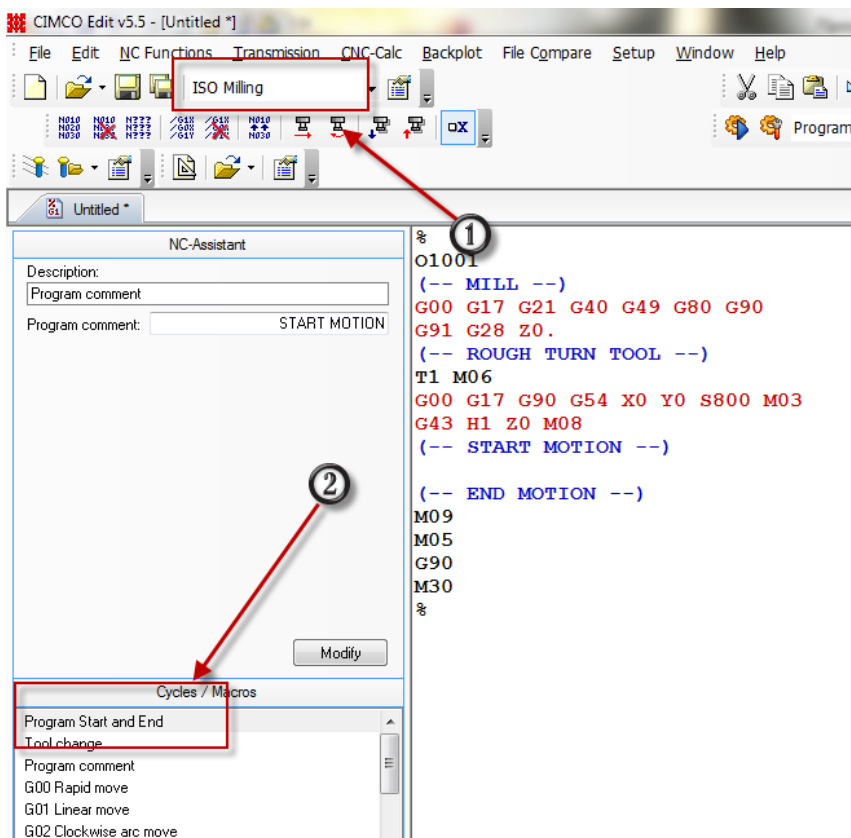


Рисунок 11 Начало работы

Переход в режим графического программирования. Интерфейс программы

Для перехода в режим графического программирования можно использовать или раздел меню CNC-Calc или кнопку на панели инструментов. Далее команды выбираются через инструментальные панели, однако их всегда можно продублировать через меню.

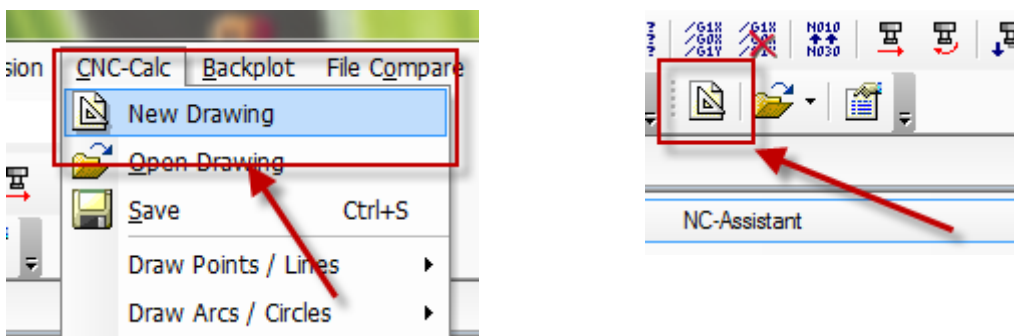


Рисунок 12 Переход в режим визуального программирования

После включения нового режима интерфейс программы несколько меняется: открывается новое окно под вывод графики (изначально пустое), активизируется ряд инструментальных панелей с инструментами для работы с графикой, в левой части экрана отображается область настроек текущего элемента или команды.

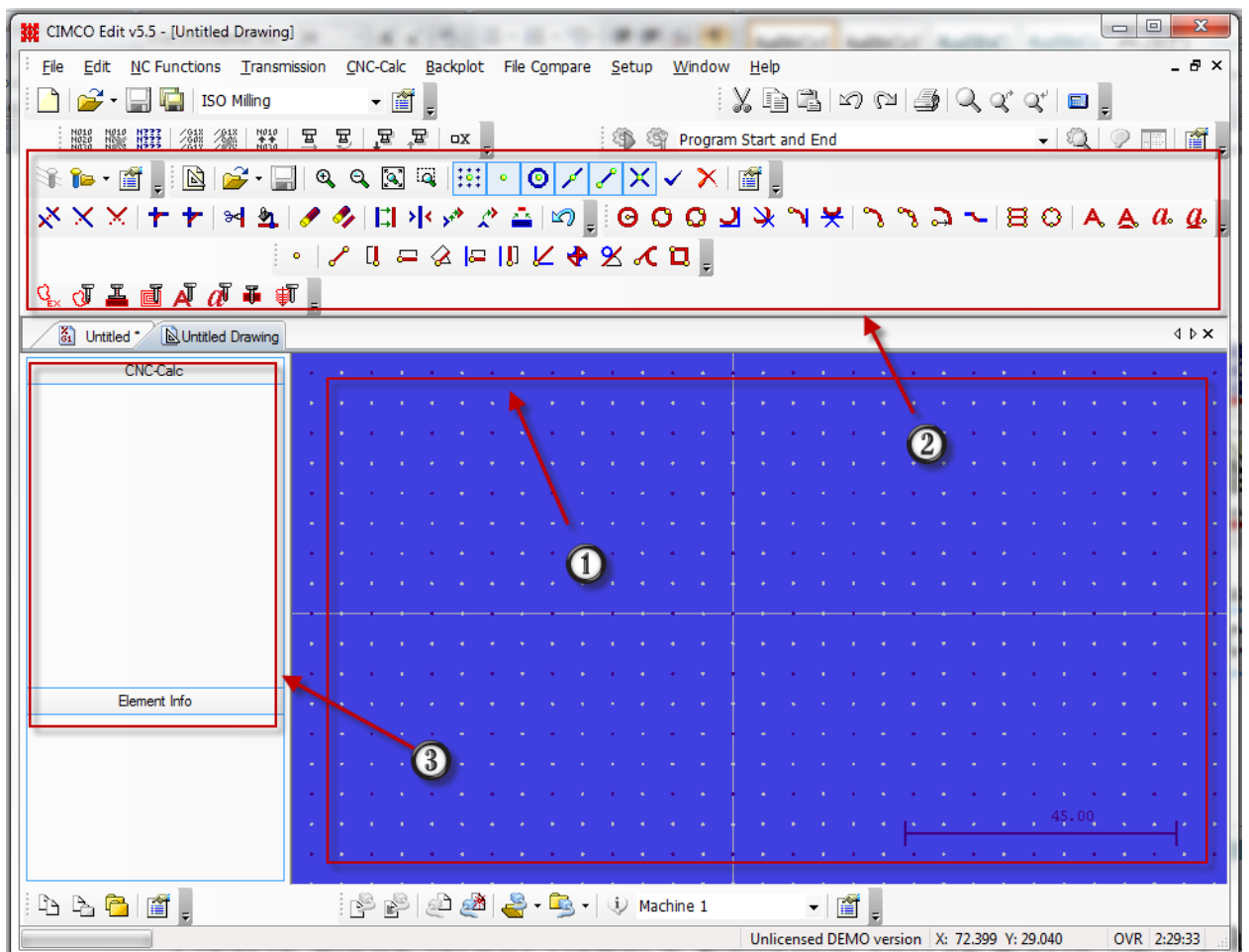



Рисунок 13 Интерфейс программы в режиме визуального программирования¹⁶. 1 – область графического вывода, 2 – панели инструментов, 3 – область настроек/параметров.

Обратите внимание на панель управления областью просмотра: , назначение кнопок аналогично режиму Backplot (слева направо: увеличить/уменьшить масштаб, показать весь чертеж, выбрать область отображения при помощи окна).

Создание и редактирование графических примитивов

Графические примитивы можно создавать по координатам, редактируя значения параметров, но для комфортной работы удобно включить привязки (snap) к характерным элементам геометрии. Проще всего включать и выключать все привязки разом (см. рисунок), впрочем, привязку к сетке часто приходится отключать.

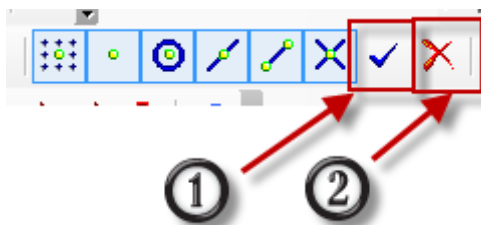


Рисунок 14 Привязки. 1 – включить все, 2 – отключить все

¹⁶ Может отличаться для конкретных настроек

Виды привязок (слева направо): к сетке, точкам, центрам дуг или окружностей, конечным точкам линий, точкам пересечения примитивов.

Программа позволяет создавать: точки, линии, окружности и дуги окружностей, наборы (паттерны) точек – мест под сверление, контуры букв под последующую гравировку. Инструменты соответствуют имеющимся в большинстве САПР, поэтому далее рассматриваются лишь конспективно.

Таблица 3 Панель инструментов "Отрезки"

	Отдельная точка		Касательная к двум объектам
	Произвольный отрезок прямой по двум точкам		Касательная к окружности или дуге под углом
	Вертикальный/горизонтальный отрезок прямой заданной длины		Касательная из заданной точки
	Отрезок от точки под заданным углом		Прямоугольник
	Перпендикулярный/параллельный отрезок		Биссектриса между двумя прямыми

Таблица 4 Панель инструментов "Дуги и окружности"

	Окружность по центру и радиусу		Окружность, касательная к трем объектам
	Окружность по двум точкам на ее диаметре		Дуга по двум точкам и радиусу
	Окружность по трем точкам		Дуга по трем точкам
	Касательная окружность к двум объектам (задан радиус)		Дуга по центру, радиусу и углам наклона стартового и конечного радиусов
	Окружность, касательная к одной линии и с центром на другой		Касательная дуга к одному из элементов и через заданную точку
	Касательная окружность через точку		Прямоугольный и круговой массивы центров по сверлению в стандартном цикле

Практическая работа

Нарисуйте, используя размеры и привязки, показанные ниже элементы (размеры и оси симметрии не чертить):

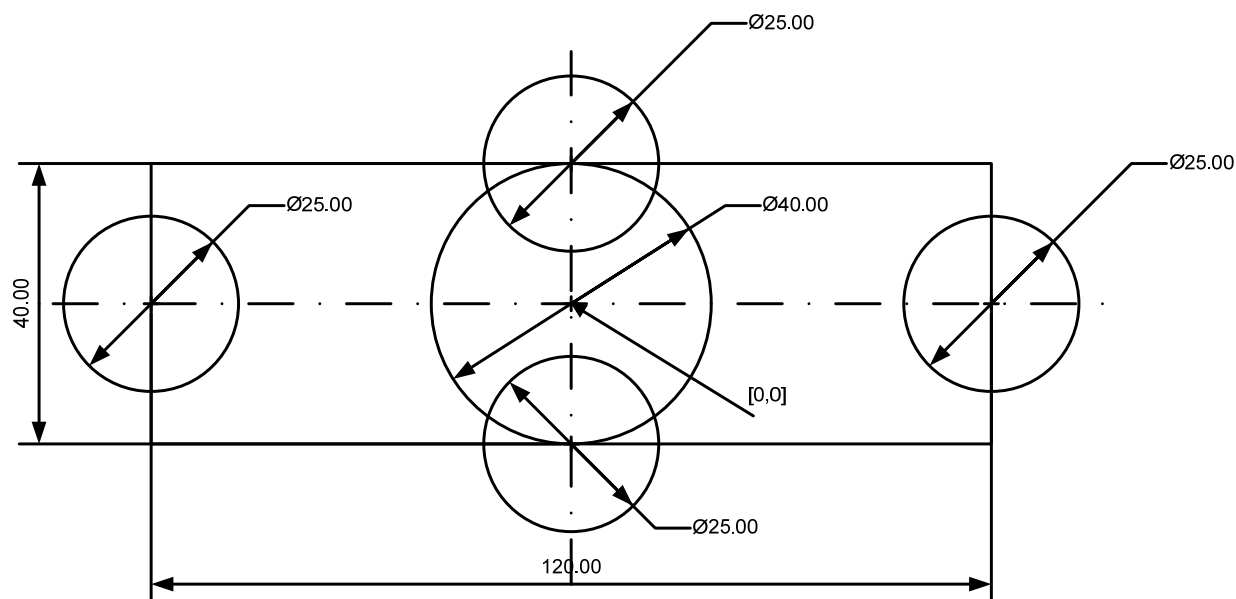


Рисунок 15

Ориентировочный порядок построения:

- 1) Построить прямоугольник по размерам (см. Рисунок 16);
- 2) Включить все привязки (если они не включены);
- 3) Построить окружность по центру и радиусу, в качестве центра выбрать начало координат, радиус – 20 мм – ввести в окне параметров;
- 4) Отключить привязку «по сетке»;
- 5) Построить окружность по центру и радиусу, задав радиус 12,5 мм. Четыре раза щелкнуть мышью по серединам сторон прямоугольника, используя привязку «к средней точке»
- 6) Завершить построение, нажав клавишу «Esc»

Пример данных для построения прямоугольника и окружностей показан ниже:

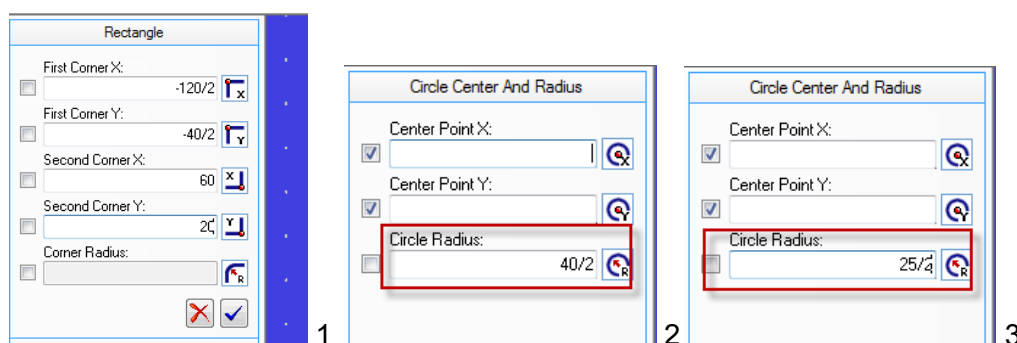


Рисунок 16 1 – данные для построения прямоугольника, 2 – окружность ф40, 3 – диаметром 12,5 мм

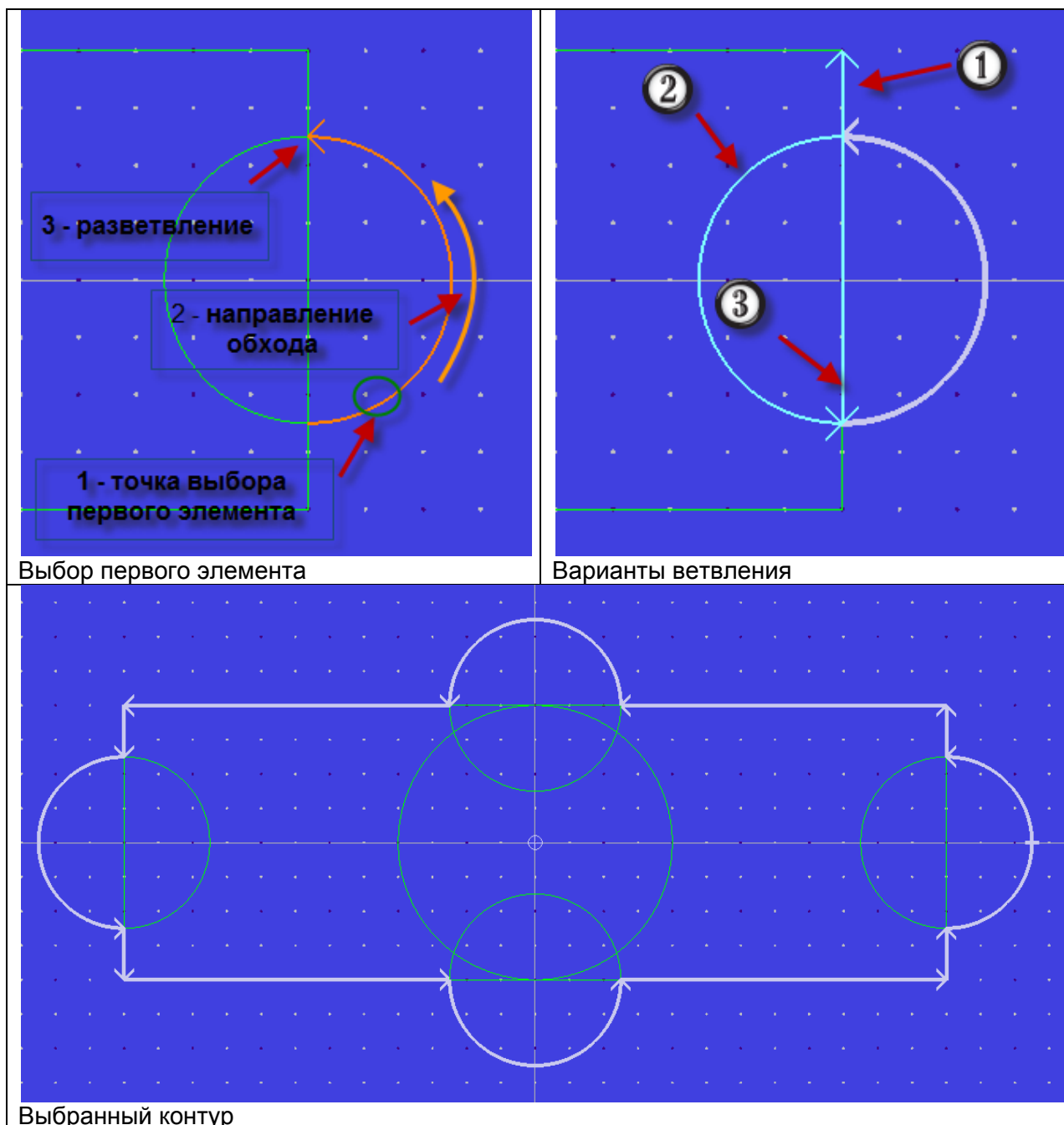
Обратите внимание, что параметры можно вводить в виде дробей (120/2=60).

Сохраните контур для дальнейшего использования.

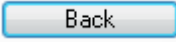

Построенная геометрия используется в дальнейшем в качестве контура обработки. При построении контура требуется построить лишь геометрию, по которой в дальнейшем можно «пройти» замкнутую цепочку элементов. Обход контура выполняется по следующему алгоритму:

- 1) Выбирается начальный элемент, причем:
 - a. ближняя к месту выбора начальная точка является началом контура;
 - b. контур «обходится» в одном направлении – от начальной точки к конечной;
 - c. направление обхода отображается на экране стрелкой.
- 2) Система автоматически проходит соединенные графические примитивы до точек пересечения;
- 3) В точках пересечения пользователь должен указать одно из возможных направлений дальнейшего движения;
- 4) Формирование контура завершается по достижении его стартовой точки.


Пример обхода контура по команде  (Export Contour) приведен ниже:



В точках ветвления необходимо щелчком мыши выбрать желаемый элемент.

Если произошла ошибка, то неудачный выбор можно отменить кнопкой  .
Новый контур выбирается после нажатия кнопки  .

Вопросы для самопроверки

Построить приведенный на Рисунок 15 контур и «обойти» его командой  (Export Contour).

Занятие 4 (часть 2)






Типовые циклы обработки контуров при фрезерной обработке

Основные виды типовых циклов

Фрезерная обработка включает ряд типовых стратегий обработки деталей. Под стратегией обработки понимается логика формирования траектории движения режущего инструмента. В зависимости от степени интеллектуальности программного обеспечения, стратегия может учитывать как особенности обрабатываемой геометрии, так и свойства режущего инструмента, а также требования к качеству обработанной поверхности.

Накопленный опыт обработки деталей на многооперационных (фрезерных и координатно-расточных станках) позволяет выделить ряд приемов обработки и методов формирования траекторий для характерных случаев, к которым чаще всего относят: обработку открытых плоскостей, фрезерование по контуру, фрезерование полости (кармана), сверление отверстий. Применение типовых стратегий позволяет упростить труд программиста и формировать достаточно сложные траектории в полуавтоматическом или автоматическом режиме.

Часть инструментов для программирования обработки представлена ниже:

		
	Face milling	Фрезерование открытой плоскости (как правило, торцовой фрезой)
	Contour milling	Фрезерование контура (выступа или впадины концевой фрезой)
	Pocket milling	Фрезерование полости – выборка кармана (обычно концевой фрезой)
	Drill Cycle	Цикл сверления (часто с предварительной разметкой и последующей обработкой – нарезанием резьбы, развертыванием, снятием фасок)

Подготовительные действия

До программирования траектории движения инструмента надо выполнить ряд подготовительных действий, а именно:

- 1) Выбрать постпроцессор (для фрезерования – ISO Mill или аналогичный)
- 2) Построить геометрию под обработку (или, по крайней мере, примитивы, достаточные для последующего обхода контура).
- 3) Выбрать цикл обработки.
- 4) Выбрать контур.
- 5) Установить необходимые начальные параметры цикла обработки.

После выполнения указанных действий программа рассчитывает траекторию движения инструмента и формирует последовательность управляющих кодов. Ее можно либо экспортировать в буфер обмена (export to clipboard), или в открытый в текстовом редакторе файл управляющей программы (в этом случае коды будут скопированы в позицию курсора). Экспортированные коды можно проконтролировать, выполнив Backplot.

Далее рассмотрим примеры циклов обработки контура, построенного ранее.

Цикл фрезерования по контуру



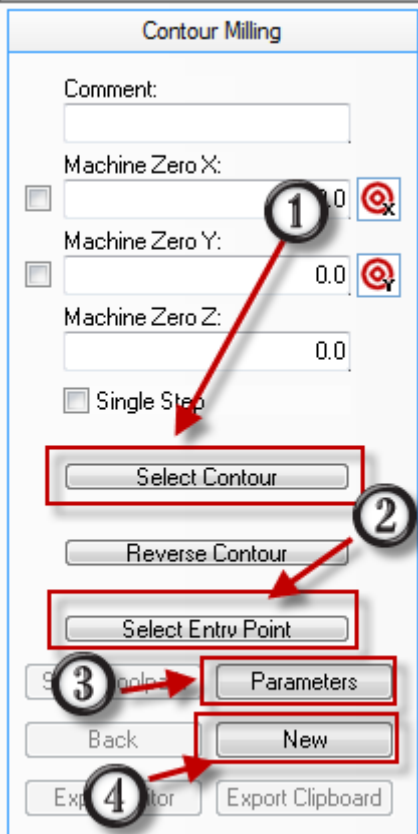
	<p>1 – выбрать контур в графической области; 2 – выбрать (при необходимости) точку старта, к которой подводится режущий инструмент в начале обработки; Если ее не выбрать, то используется первая точка контура. 3 – параметры обработки; 4 – сброс настроек и выбор нового контура.</p>
--	--

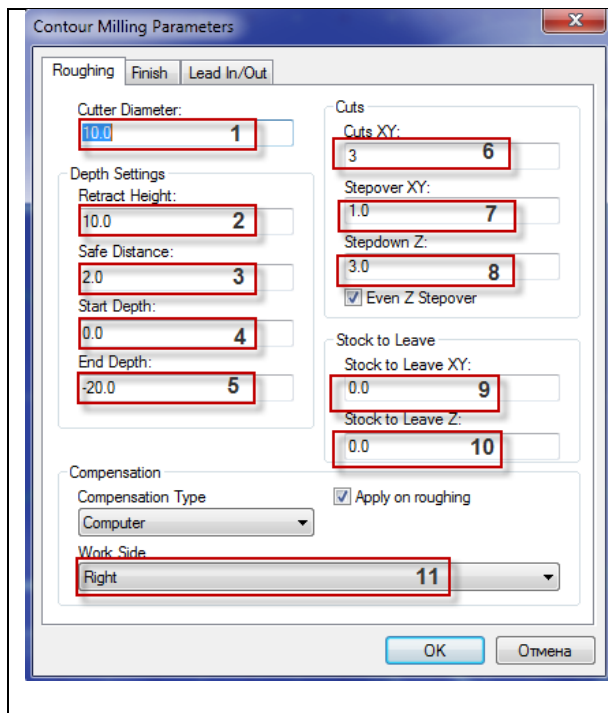
Рисунок 17 Порядок создания цикла

Рекомендуется следовать показанной последовательности операций: выбрать контур, указать стартовую точку, задать параметры обработки.

Параметры обработки позволяют учесть: размеры инструмента, особенности черновой и чистовой этапов обработки, подводы и отводы инструмента. Параметры разделены на три экрана, подробно рассмотренных ниже

Черновая обработка

Экран черновой обработки (Roughing)



1 – диаметр инструмента (принято 10 мм);
 2-5 – параметры, определяющие высоту контура:
 2 – длина отскока инструмента от контура;
 3 – безопасное расстояние для быстрых перемещений над уровнем контура;
 4 – высота начальной плоскости контура по оси Z;
 5 – глубина контура по оси Z;
 6-8 – параметры, определяющие глубину резания:
 6 – количество проходов в плоскости XY;
 7 – припуск на 1 проход в плоскости XY;
 8 – глубина резания по оси Z между проходами;
 9-10 – припуски под последующую обработку:
 9 – припуск в плоскости XY (на сторону);
 10 – припуск по оси Z;
 11 – сторона обхода контура

Рисунок 18 Параметры черновой обработки

Комментарии

Предполагается, что инструмент производит черновую и чистовую обработку. Многие параметры траектории рассчитываются пропорционально диаметру инструмента (поле 1).

Обрабатываемый контур располагается в плоскости XY на некоторой начальной высоте (поле 4). Глубина (координата Z) контура задается в поле 5. В примере контур расположен на высоте 0, а глубина обработки – 20 мм.

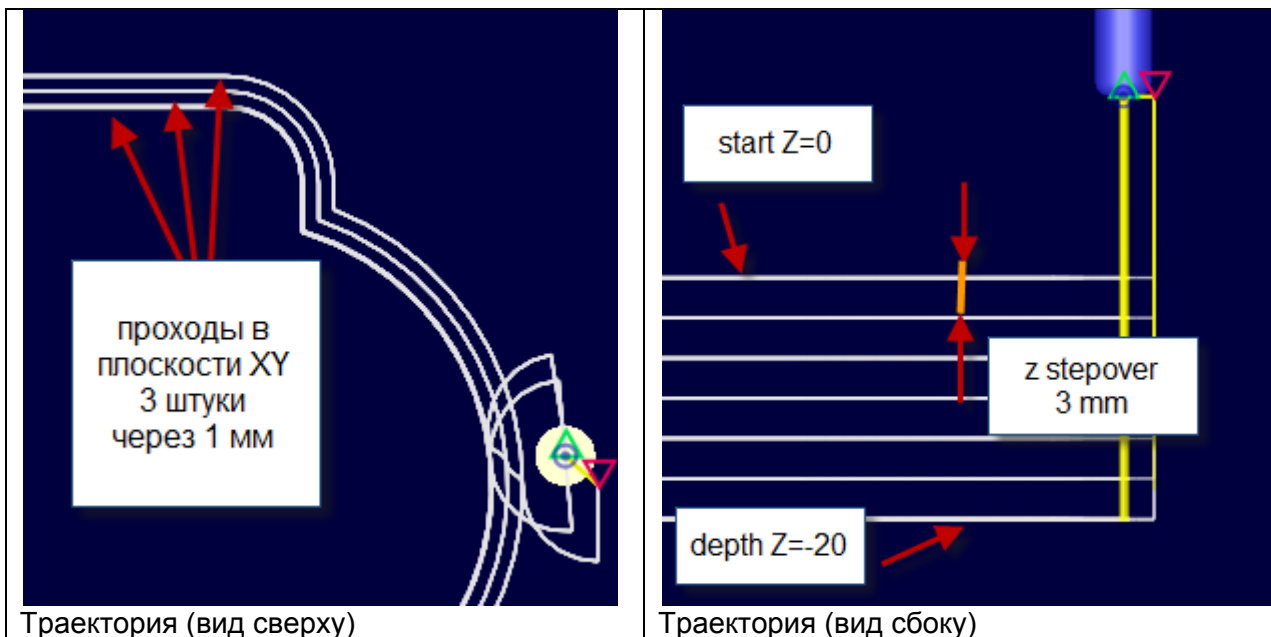
Обрабатываемый контур окружен заготовкой, которую можно обработать за несколько концентрических проходов. В примере таких проходов 3 штуки (поле 6) и они приближаются к рабочему контуру на 1 мм за проход (поле 7).

Заданная полями 4 и 5 высота контура разделяется на проходы с шагом, заданным в поле 8.

Под последующую окончательную обработку можно задать припуск, причем отдельно (в плоскости XY – поле 9, по оси Z – поле 10).

Контур можно обойти, оставляя ось фрезы справа или слева от направления обхода контура (поле 11, в примере задан обход справа). Расчет эквидистанты можно возложить на систему ЧПУ станка или компьютер.

Значение основные параметров поясняют рисунки сгенерированной траектории:



Траектория (вид сверху)

Траектория (вид сбоку)

Рисунок 19 Пример траектории

Чистовая обработка

Экран параметров чистовой обработки

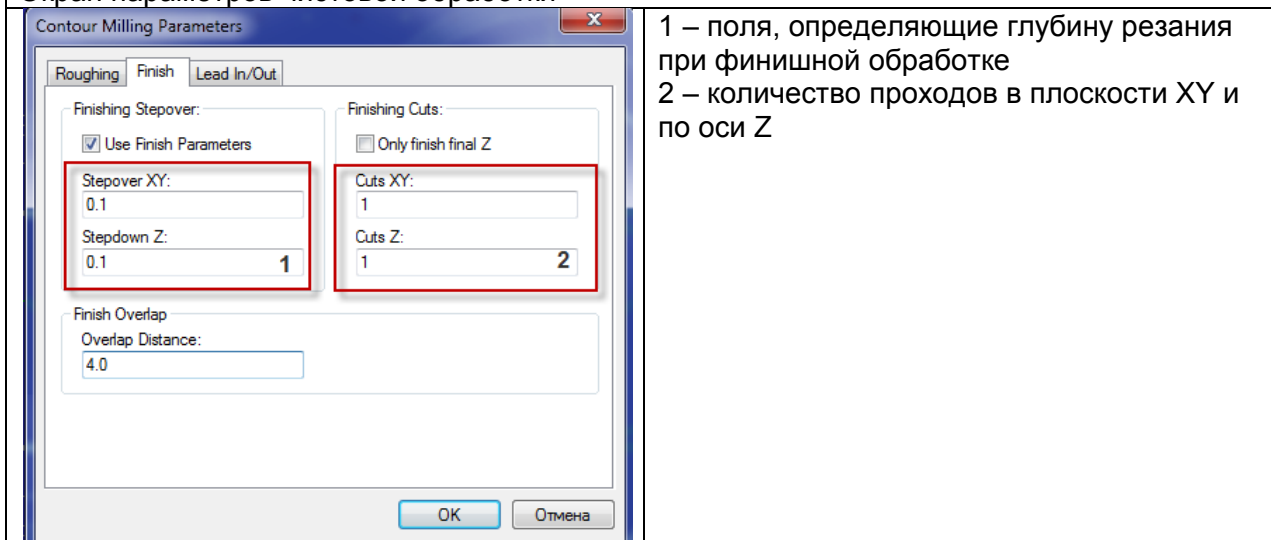


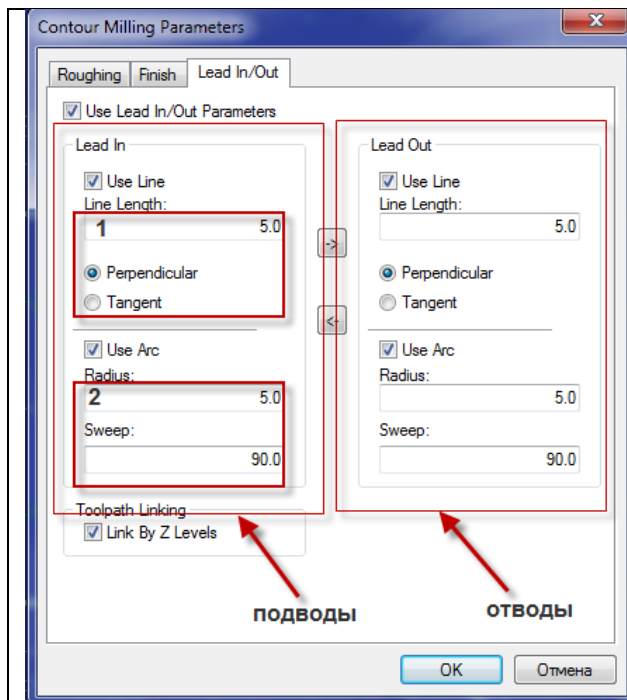
Рисунок 20

Назначение полей аналогично предыдущему экрану и не требует подробных комментариев

Подводы и отводы

Третий экран посвящен параметрам подвода и отвода инструмента к рабочему контуру (Lead In – подвод, Lead Out – отвод). Для повышения стойкости инструмента и качества поверхности подводы и отводы обычно задаются по касательной к контуру.

Параметры подводов и отводов



Так как подводы и отводы программируются одинаково, рассматриваются только параметры подводов

1 – линейная часть подводов

а) – задается длина линии

б) – задается подход линии по

перпендикуляру или по касательной к последующему участку траектории

2 – часть подвода, выполняемая по дуге

а) – радиус дуги



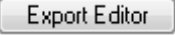
б) – центральный угол дуги

Рисунок 21

Приведенные на рисунке выше параметры подводов дают траекторию, представленную на Рисунок 19 (см. вид сверху): сначала фреза подводится по линии длиной 5 мм, расположенной перпендикулярно последующему дуговому участку, радиус которого 5 мм, а угол раствора – 90 градусов.

Генерация кодов управляющей программы

После выбора контура и ввода параметров обработки необходимо:

- 1) Рассчитать траекторию, используя кнопку 
- 2) Если расчет не удался – скорректировать параметры цикла или пересобрать контур
- 3) Если расчет удался, что выражается в появлении на экране траектории обработки, то ее можно скопировать в память ЭВМ и далее – в любой редактор текстов и ли управляющих программ командой , либо вставить в редактируемую в данный момент программу редактора командой .

Вопросы для самопроверки

Создайте цикл обработки по контуру контура, рассмотренного в предыдущем занятии с параметрами, приведенными в настоящей работе. Экспортируйте траекторию в редактор (рекомендуется перед экспортом закрыть все окна с управляющими программами, оставив только окно с контуром). Выполните визуализацию полученной управляющей программы (Backplot) и убедитесь, что результаты аналогичны следующим:

```

G1 X84.598 Y-5.000 Z-20.000
G2 X79.598 Y0.000 Z-20.000 I0.000 J5.000
G3 X67.098 Y18.267 Z-20.000 I-19.598 J0.000
G1 X67.098 Y20.000 Z-20.000
G3 X60.000 Y27.098 Z-20.000 I-7.098 J0.000
G1 X18.267 Y27.098 Z-20.000
G3 X-18.267 Y27.098 Z-20.000 I-18.267 J-7.098
G1 X-60.000 Y27.098 Z-20.000
G3 X-67.098 Y20.000 Z-20.000 I0.000 J-7.098
G1 X-67.098 Y18.267 Z-20.000
G3 X-67.098 Y-18.267 Z-20.000 I7.098 J-18.267
G1 X-67.098 Y-20.000 Z-20.000
G3 X-60.000 Y-27.098 Z-20.000 I7.098 J0.000
G1 X-18.267 Y-27.098 Z-20.000
G3 X18.267 Y-27.098 Z-20.000 I18.267 J7.098
G1 X60.000 Y-27.098 Z-20.000
G3 X67.098 Y-20.000 Z-20.000 I0.000 J7.098
G1 X67.098 Y-18.267 Z-20.000
G3 X79.598 Y0.000 Z-20.000 I-7.098 J18.267
G3 X79.083 Y0.759 Z-20.000 I-0.817 J-0.000
G2 X78.538 Y1.497 Z-20.000 I0.322 J0.808
G3 X66.098 Y17.570 Z-20.000 I-18.538 J-1.497
G1 X66.098 Y20.000 Z-20.000
G3 X60.000 Y26.098 Z-20.000 I-6.098 J0.000
G1 X17.570 Y26.098 Z-20.000
G3 X-17.570 Y26.098 Z-20.000 I-17.570 J-6.098
G1 X-60.000 Y26.098 Z-20.000
G3 X-66.098 Y20.000 Z-20.000 I0.000 J-6.098
G1 X-66.098 Y17.570 Z-20.000
G3 X-66.098 Y-17.570 Z-20.000 I6.098 J-17.570
G1 X-66.098 Y-20.000 Z-20.000
G3 X-60.000 Y-26.098 Z-20.000 I6.098 J0.000

```

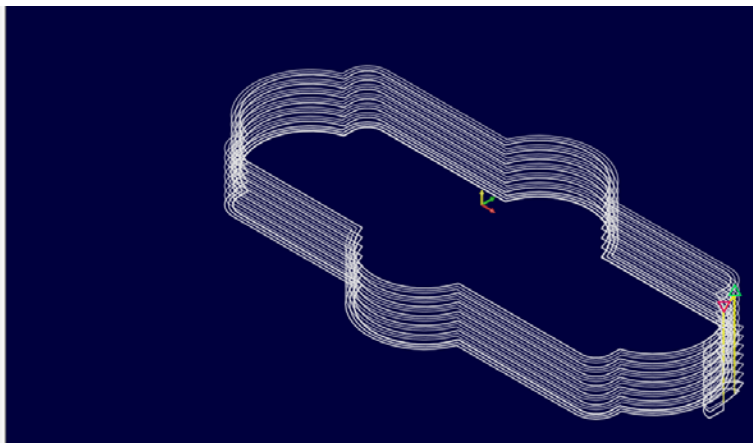


Рисунок 22 Визуализация управляющей программы

Повторите процесс, изменяя настройки генератора траекторий и/или выбирая иные элементы под контур обработки.

Занятие 4 (часть 3)

Типовые циклы фрезерной обработки – фрезерование плоскостей, выборка карманов

Рассматриваемые в настоящем занятии циклы имеют много общего и близки по настройкам циклу «Обработка по контуру», поэтому здесь рассматриваются, в основном, особенности этих конкретных циклов, а контур обработки выбирается тот же, что и в предыдущем занятии.

Выборка кармана (Pocket milling)

Окно параметров для этого цикла разбито уже на 4 экрана-вкладки. Первые три – параметры черновой и финишной обработки, подводов и отводов – аналогичны рассмотренным ранее (заметим, что подводы и отводы программируются обычно с меньшими радиусами – около 1...2 мм) и здесь не рассматриваются. Основное отличие выборки кармана – в параметрах врезания инструмента вглубь кармана (Entry Strategy).

Концевая фреза, которой обычно выполняется выборка, не может внедряться в металл по оси непосредственно, так как это чревато поломкой. Геометрия фрезы вообще ограничивает угол врезания (Clearance angle) в металл и он не может превышать некоторого значения – обычно достаточно малого, порядка 3...5 градусов. В связи со сказанным, применяют три основных стратегии врезания:

- 1) По предварительно засверленной полости – Plunge;
- 2) Зигзагом («лесенкой»), таким, что угол ступенек не превышает угла врезания фрезы - Ramp;
- 3) По спирали (с углом подъема витка, меньшим угла врезания фрезы) – Helix.

Наиболее щадящим для инструмента является врезание по спирали, однако оно и наиболее трудоемко в ручном программировании. Кроме того, не все станки с ЧПУ поддерживают интерполяцию по спирали, необходимую для такого врезания.

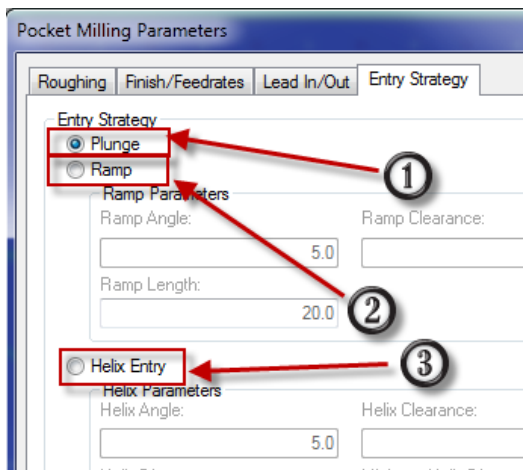


Рисунок 23 Стратегии врезания 1 – по отверстию, 2 – зигзагом, 3 – по спирали

Врезание по отверстию (Plunge) не требует дополнительных параметров, кроме центра засверленного предварительно отверстия и далее не рассматривается.

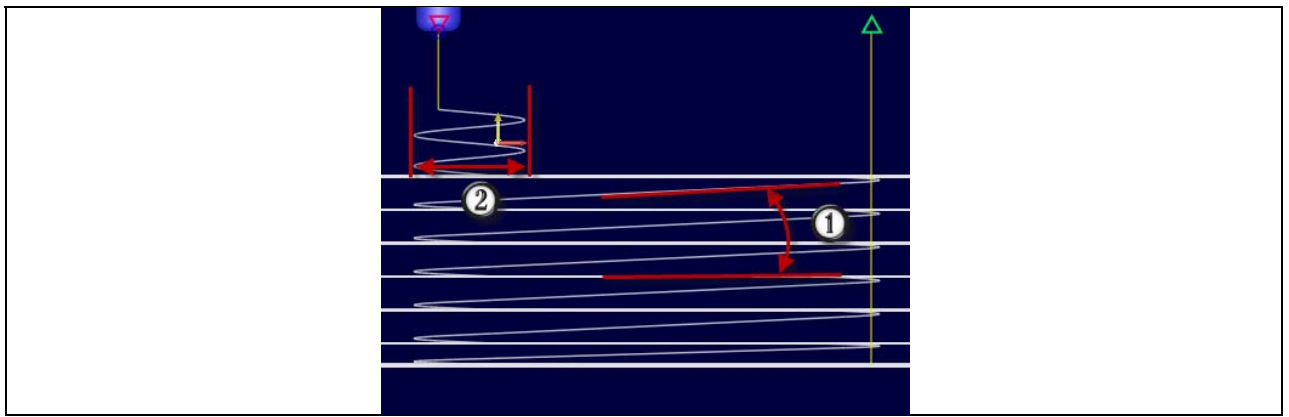
Врезание зигзагом

Параметры врезания	
<input checked="" type="radio"/> Ramp Ramp Parameters Ramp Angle: <input type="text" value="1"/> 5.0 Ramp Length: <input type="text" value="2"/> 20.0 Ramp Clearance: <input type="text" value="3"/> 3.0	1 – угол врезания (угол зигзага) 2 – длина линии врезания (длина «ступеньки» - ширина разгона) 3 – расстояние от плоскости безопасности до верхней плоскости профиля
Результаты генерации траектории с врезанием зигзагом:	

Врезание по спирали

Заметим, что под спиралью понимается некоторая плавно снижающаяся по оси Z кривая между соседними проходами с постоянной Z, которая не обязана быть именно круговой спиралью.

Параметры врезания	
<input checked="" type="radio"/> Helix Entry Helix Parameters Helix Angle: <input type="text" value="1"/> 5.0 Helix Diameter: <input type="text" value="2"/> 10 Helix Clearance: <input type="text" value="3"/> 3.0 Minimum Helix Diameter: <input type="text" value="4"/> 4	1 – угол подъема витков спирали 2 – диаметр спирали 3 – предельно допустимый диаметр спирали Параметр Clearance – рассмотрен выше
Результат генерации траектории с врезанием по спирали	



Задание

Сформировать несколько контуров карманов по существующей геометрии. Сгенерировать и визуализировать траектории обработки при различных стратегиях врезания и параметрах контура.

Фрезерование плоскости (Face milling)

Предполагается, что контур ограничивает плоскую поверхность и поверхность допускает свободный выход фрезы за ее границы. Для фрезерования обычно используются торцовые фрезы сравнительно большого диаметра (20...200 мм). В примере диаметр фрезы принят равным 30 мм.

Окно параметров разбито на два экрана – сведений о глубине обработки и инструменте и экрана стратегии обработки.

Глубина обработки (как и раньше) задается положением верхней плоскости и глубиной контура (аналогично предыдущим циклам). Обработка состоит из черновых и финишных проходов, постепенно углубляющихся в тело детали по оси Z. Для черновых ходов задается глубина резания за один проход. Так, если в примере верхний контур расположен на высоте $Z=0$, а его глубина (определяет общую толщину снимаемого слоя металла) $Z=-5$ и глубина резания за проход 2 мм, то будет сделано 3 прохода. Первые два будут снимать по 2 мм металла, последний – 0,9 мм = $5 \text{ мм} - 2 \cdot 2 \text{ мм} - 0,1 \text{ мм}$, где 0,1 мм – припуск на последний финишный проход.

Глубина резания при фрезеровании плоскостей	
Roughing Roughing Stepdown: <input type="text" value="1"/> 2.0	1 – глубина резания на черновых ходах 2 – глубина резания на финишных ходах 3 – количество чистовых ходов
Finish Finish Stepdown: <input type="text" value="2"/> 0.1	
Finish Cuts: <input type="text" value="3"/> 1	
Stock to Leave: <input type="text" value="0.0"/>	

При выборе стратегии обработки задается:

- 1) Тип фрезерования. Возможен выбор одного из видов фрезерования: попутного (climb), встречного (conventional) и комбинированного или зигзага (часть ходов при попутном фрезеровании, а часть – при встречном)¹⁷.

Cutting Method

Zigzag

Zigzag

Climb

Conventional

- 2) Удлинение траектории вдоль направления рабочих ходов (Overlap along) и поперек (Overlap across). Удлинение обеспечивает перебег центра фрезы за пределы контура¹⁸, поэтому минимальное значение Overlap – радиус фрезы (в примере – 15 мм).

Overlap Across:

15

Overlap Along:

15.0

- 3) Направление рабочих ходов (угол их наклона к оси X) определяется параметром Facing Angle. Обычно угол берется параллельно длинной стороне контура (в примере 0 градусов). Часто при обработке растром («в сеточку») задают двойную обработку с углом наклона 45 и 135 градусов.

Facing Angle:

0.0

- 4) Расстояние между соседними рабочими ходами задается через величину перекрытия диаметра фрезы (в примере перекрытие составляет 28 мм, рекомендуется принимать равным от диаметра до радиуса фрезы)

Stepover:

28.0

- 5) Длину врезания и перебега задают параметры Entry Distance и Exit Distance. Рекомендуется выбирать их больше, чем радиус фрезы (в примере – 20 мм).

Entry Distance:

20.0

Exit Distance:

20

¹⁷ Современный твердосплавный инструмент рассчитан на попутное фрезерование, которое и рекомендуется использовать

¹⁸ Так как обрабатываемая заготовка может иметь значительные припуска на сторону, в параметре Overlap учитывается и этот факт, поэтому к радиусу фрезы прибавляется еще 5-8 мм.

```
G3 X72.500 Y-10.833 Z-4.900 I0.000 J10.833
G1 X-72.500 Y-10.833 Z-4.900
G2 X-72.500 Y10.833 Z-4.900 I0.000 J10.833
G1 X72.500 Y10.833 Z-4.900
G3 X72.500 Y32.500 Z-4.900 I0.000 J10.833
G1 X-72.500 Y32.500 Z-4.900
G1 X-92.500 Y32.500 Z-4.900
G0 X-92.500 Y32.500 Z10.000
G0 X-92.500 Y-32.500 Z-5.000
G1 X72.500 Y-32.500 Z-5.000
G3 X72.500 Y-10.833 Z-5.000 I0.000 J10.833
G1 X-72.500 Y-10.833 Z-5.000
G2 X-72.500 Y10.833 Z-5.000 I0.000 J10.833
G1 X72.500 Y10.833 Z-5.000
G3 X72.500 Y32.500 Z-5.000 I0.000 J10.833
G1 X-72.500 Y32.500 Z-5.000
G1 X-92.500 Y32.500 Z-5.000
G0 X-92.500 Y32.500 Z10.000
```

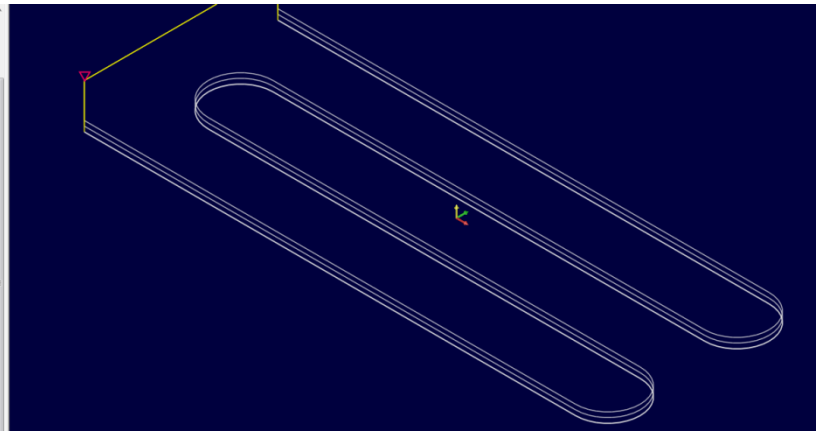


Рисунок 24 Траектория фрезерования плоскости

Задание

Сгенерировать управляющие коды для фрезерования плоскости и выполнить визуализацию.

Изменить угол наклона рабочих ходов на 30, 45 и 90 градусов, выполняя визуализацию. Какой из вариантов является наиболее производительным?

Занятие 4 (часть 4)

Типовые циклы обработки на многооперационных станках – сверление

Циклы сверления включают, не только сверление, как таковое (Drill), но и схожие виды обработки, такие как:


1. Разметка – Spot Drill (разметка центровым сверлом или иным инструментом);
2. Сверление отверстий различной глубины:
 - a. обычных (Drill – глубина отверстий до 5 диаметров сверла);
 - b. глубоких (Peck Drill – сверление с периодическим извлечением сверла из отверстия – глубина отверстия свыше 3...5 диаметров сверла);
3. Растачивание (Bore) предварительно обработанного отверстия расточной оправкой;
4. Развертывание (Reaming) предварительно подготовленного отверстия разверткой;
5. Нарезание резьбы в отверстиях метчиком (Threading).

Предполагается, что: в одном цикле обрабатывается несколько одинаковых отверстий с одинаковой стратегией, поэтому удобно задать параметры обработки один раз и указать группу точек – мест под сверление.


Многие системы ЧПУ позволяют задать такую обработку в виде подпрограммы (обычно это коды G70, G83 и т.д.). Если такая возможность имеется, то можно осуществить вывод цикла в укороченном виде (Canned), в противном случае формируется полная последовательность управляющих кодов (Longhand)¹⁹.



Рисунок 25 Варианты вывода сверлильного цикла 1 – укороченный, 2 – полный

Из сказанного следует, что места под сверление задаются системой точек. Точки можно расставить предварительно индивидуально (по координатам с помощью специального инструмента - ) или выбирать по ранее созданной геометрии (дугам или окружностям) с помощью привязок.

Часто отверстия образуют определенный шаблон (Pattern), то есть расположены по прямоугольной или круговой сетке. В этом случае удобно использовать инструменты формирования систем отверстий.

Инструмент создания прямоугольного образца	
Параметры настройки	1 – координаты центра первого отверстия (в примере – [0,0] – начало координат) 2 – расстояние между центрами отверстий по осям XY (в примере – 20 мм по X, 15 мм по Y)

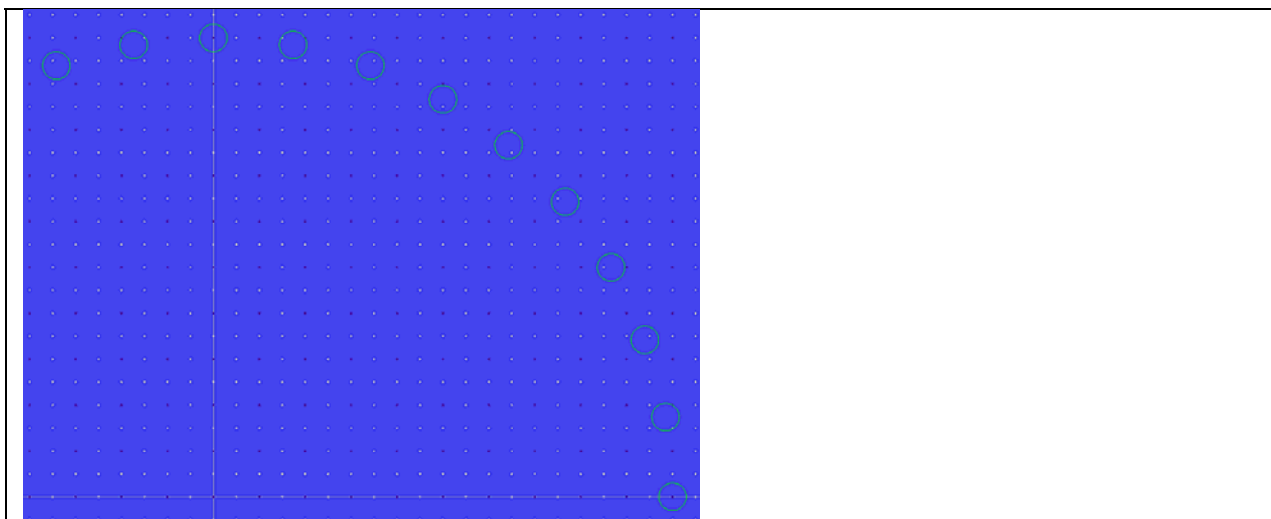
¹⁹ При визуализации (Backplot) укороченный вариант цикла сверления отображается некорректно, однако сама обработка происходит правильно

	<p>3 – число отверстий по осям (по X – 10 штук, по Y – 4)</p> <p>4 – диаметр отверстия</p> <p>5 – кнопка создания массива отверстий</p>
<p>Результат</p>	

Размещение кругового массива происходит, в основном, аналогично: задается центр окружности, на которой размещаются отверстия, ее радиус, угол (в градусах) между соседними отверстиями²⁰ и их количество, а также диаметр отверстия и угол между радиусом первого отверстия и осью X.

<p>Инструмент создания прямоугольного образца</p>	
<p>Параметры настройки</p>	<p>1 – координаты центра окружности размещения (в примере – [0,0] – начало координат)</p> <p>2 – радиус окружности размещения (в примере – 100 мм)</p> <p>3 – угол между радиусом к центру первого отверстия и осью X (в примере – 0 градусов)</p> <p>4 – угол между соседними отверстиями (в примере – 10 градусов)</p> <p>Прочие параметры аналогичны прямоугольному массиву</p>
<p>Результат</p>	


²⁰ Если требуется разместить отверстия на полной окружности, то угол между отверстиями можно задать выражением $360/Z$, где Z – число отверстий



Задание

Создайте новый файл с графикой (CNC-Calc – New Drawing) и сгенерируйте круговой массив отверстий с параметрами, приведенными выше. Сохраните файл для последующего использования.

Программирование цикла глубокого сверления (Peck Drill)

Рассмотрим подробно цикл глубокого сверления, как наиболее общий. В качестве шаблона используем круговой массив, сгенерированный ранее. Все циклы сверления программируются одним инструментом - , но с выбором различных параметров.

Начальные настройки цикла сверления представлены ниже:

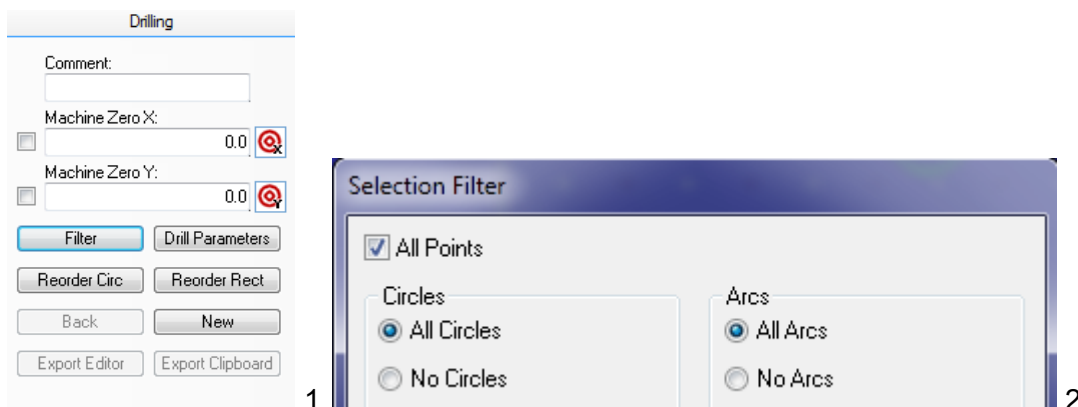




Рисунок 26 1 – настройки цикла сверления, 2 – настройки фильтра

Если имеются дуги и окружности, определяющие места под сверление, то удобно: отключить все привязки (кнопка  на панели привязок) и включить фильтр отбора геометрических примитивов (). В окне фильтра установить выбор дуг и окружностей (Arc и Circle)²¹, центра которых и определяют места под сверление. Настройки фильтра приведены на Рисунок 26.

²¹ Дополнительно можно ограничить выбор только окружностями или только дугами, а также задать размеры окружностей, которые распознаются как образы отверстий

Далее требуется выбрать отверстия в порядке их обработки (в примере отверстия выбраны слева направо)²².

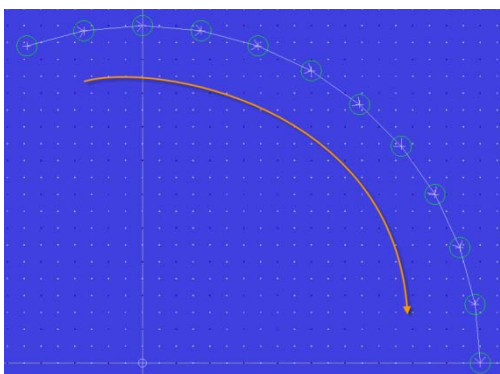


Рисунок 27 Порядок сверления

Глубокое сверление может происходить по одной из двух схем: с прерывистой подачей (осевая подача инструмента периодически прерывается на некоторое время – Dwell time, задается в миллисекундах или в оборотах инструмента) для ломки стружки или с полным отводом инструмента из отверстия на некоторое расстояние для удаления стружки.

	<p>Параметры глубины сверления</p> <p>First Depth: <input type="text" value="30"/></p> <p>Degression Type: <input type="text" value="Value"/></p> <p>Degression: <input type="text" value="10"/></p> <p>Pecking Retract: <input type="text" value="3.0"/></p> <p>Minimum Depth: <input type="text" value="2.5"/></p> <p>First Feedrate Factor: <input type="text" value="0.75"/></p>
<p>Траектория (симуляция):</p>	

Рисунок 28 Расчет глубины сверления (Реск)

Длина засверливания определяется по шагам следующим образом:

1. Сверло заглубляется на величину First Depth.
2. Следующий шаг уменьшается на величину Degression (либо пропорционально, либо уменьшается на заданную величину).
3. Уменьшение прекращается, если величина засверливания достигает минимального значения Minimum Depth

²² Существует возможность оптимизировать порядок сверления – см. кнопки «Reorder ...»

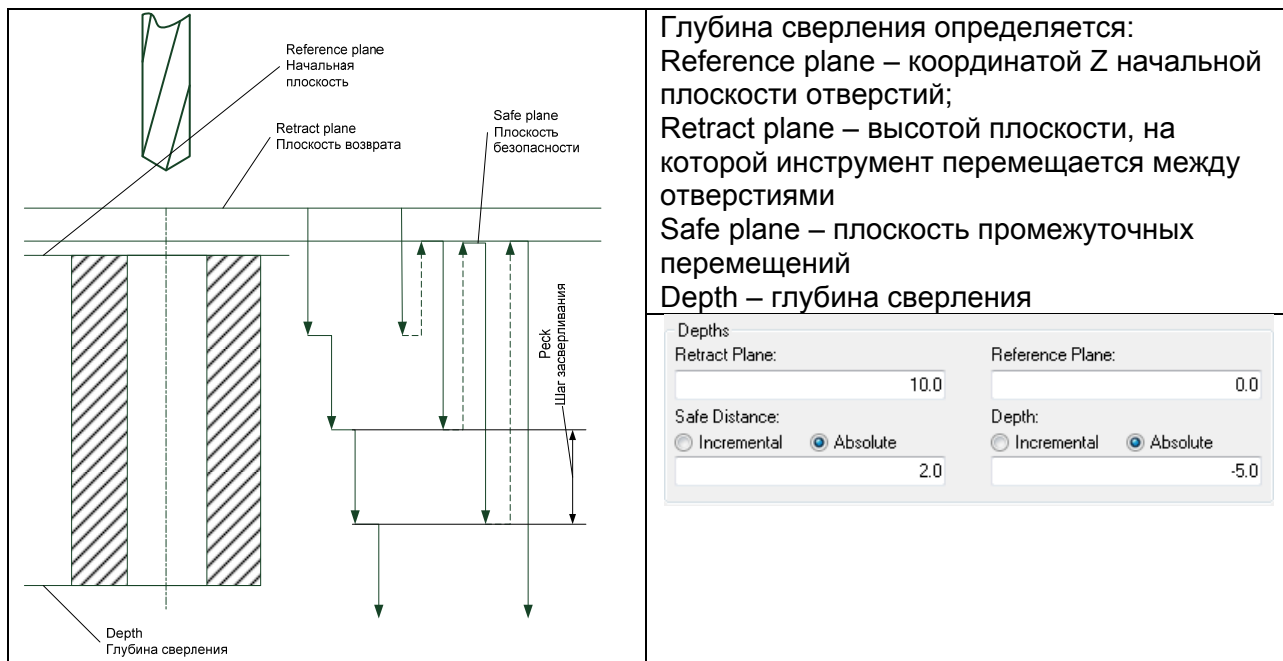


Рисунок 29 Параметры, определяющие глубину сверления

При указанных выше параметрах будут сформированы следующие варианты управляющих кодов (при включенных опциях Canned и Longhand):

<p>Canned (24 кадра)</p> <pre>G0 Z10.000 G0 X 34.202 Y93.969 Z10.000 G83 X-34.202 Y93.969 Z-62.000 R-8.000 F200.000 X-17.365 Y98.481 X0.000 Y100.000 X17.365 Y98.481 X34.202 Y93.969 X50.000 Y86.603 X64.279 Y76.604 X76.604 Y64.279 X86.603 Y50.000 X93.969 Y34.202 X98.481 Y17.365 X100.000 Y0.000 G80</pre> <p>↑ параметры цикла ↓ центры окружностей ← конец цикла</p>	<p>Longhand (фрагмент, общий объем – 225 кадров)</p> <pre>G1 X93.969 Y34.202 Z2.000 F10.000 G04 X1.000 G0 X93.969 Y34.202 Z10.000 G0 X98.481 Y17.365 Z10.000 G0 X98.481 Y17.365 Z2.000 G0 X98.481 Y17.365 Z2.000 C1 X98.481 Y17.365 Z-30.000 F150.000 G04 X2.000 G1 X98.481 Y17.365 Z2.000 F10.000 G04 X1.000 G0 X98.481 Y17.365 Z-28.000 C1 X98.481 Y17.365 Z-50.000 F200.000 G04 X2.000 G1 X98.481 Y17.365 Z2.000 F10.000 G04 X1.000 G0 X98.481 Y17.365 Z-48.000 C1 X98.481 Y17.365 Z-60.000 F200.000 G04 X2.000 C1 X98.481 Y17.365 Z2.000 F10.000</pre>
---	---

Как видно, опция Canned приводит к формированию меньшего по размеру кода, но предполагает, что система ЧПУ поддерживает стандартный цикл глубокого сверления (G83).

Практическая работа

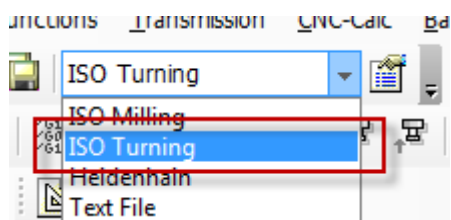
Задайте параметры глубокого сверления, как указано выше, сгенерируйте траекторию обработки, управляющие коды и выполните их визуализацию.

Занятие 5 (часть 1)

Программирование токарной обработки

Токарная обработка, в сравнении с фрезерной, является более простой для программирования, так как перемещение резца происходит обычно в одной плоскости (ZX, см. стр. 10), однако имеет и значительную специфику.

Для учета особенностей точения при генерации траектории до начала программирования необходимо задать постпроцессор токарного станка (либо стандартный – ISO Turning, либо аналогичный)²³.


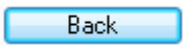


При включении окна визуального программирования (CNC Calc \ New Drawing), оси координат будут расположены традиционно для токарной обработки – ось Z вправо, ось X – вверх).

Так же, как и при фрезеровании необходимо создать контур обработки. Инструменты рисования и редактирования контуров полностью аналогичны и специального описания не требуют (см. стр. 38). Следует учитывать, что диаметральные размеры по координате X надо делить на 2 (существуют редакторы, в которых имеется «диаметральный режим», где X размеры делятся напополам автоматически).

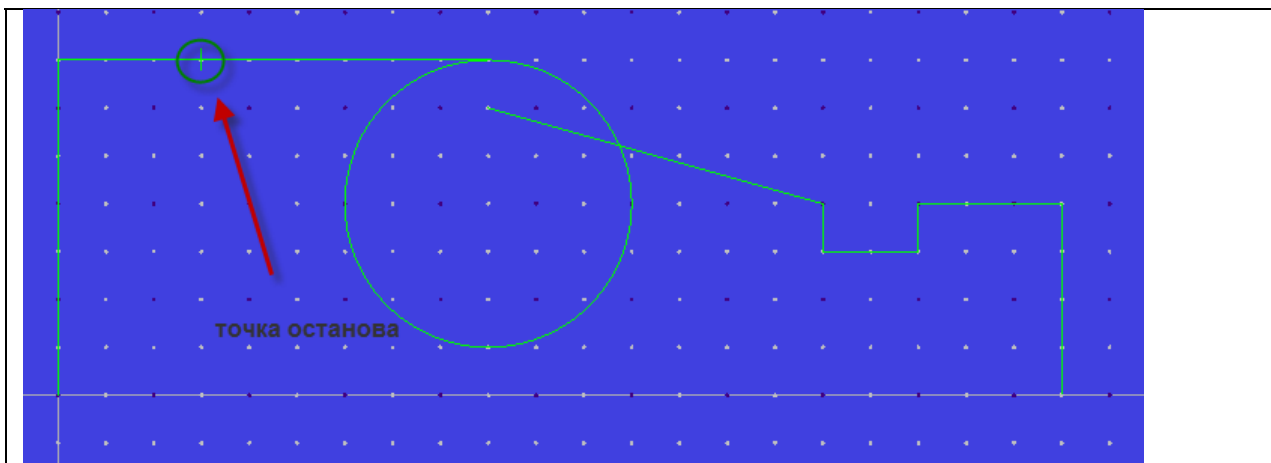
Отметим также, что, как и при фрезерной обработке, достаточно сформировать основу для контура из простых геометрических фигур и «пройти» контур в интерактивном режиме.

Именно при токарной обработке часто возникает необходимость остановить обход контура в ином, чем точка ветвления положении. В этом случае на контуре или проводится вспомогательная секущая линия (что удобнее, по мнению автора) или ставится маркер-точка. По точке или секущей производится разбиение элемента контура

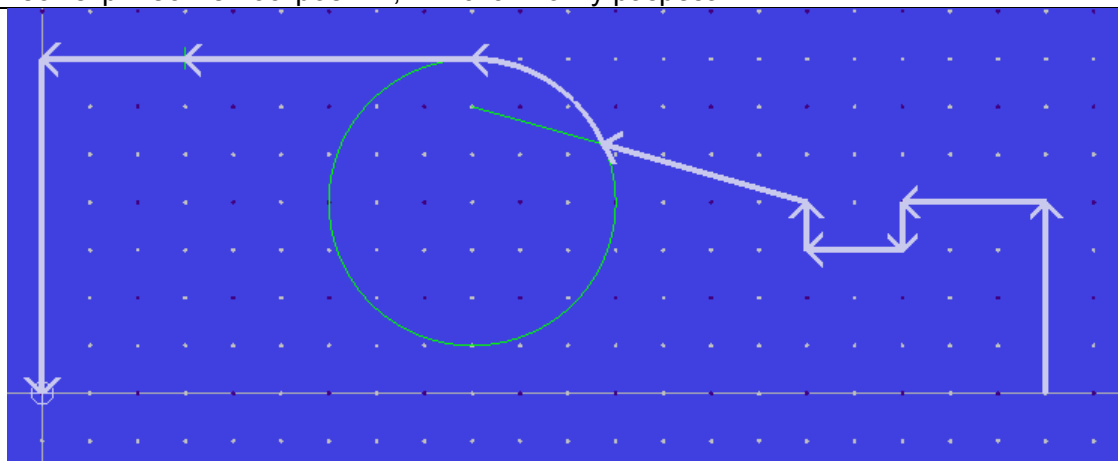
инструментом ²⁴. Контур проходится в полуавтоматическом режиме, а для останова в точке используется кнопка .

²³ Существует специализированный язык программирования компании Heidenhein для токарных станков, который не совместим со стандартом ISO. CIMCO Edit может и формировать программы под УЧПУ Heidenhein, и перекодировать управляющие программы в указанный стандарт

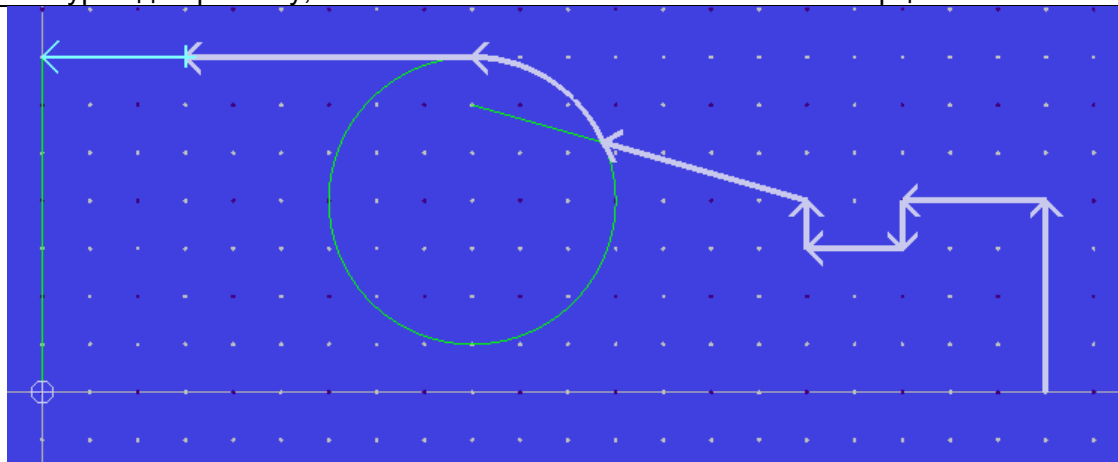
²⁴ Сначала указывается разрезаемый элемент, затем – точка разбиения



Геометрические построения, включая точку разреза²⁵



Контур под обработку, включает лишние элементы на левом торце



Контур, после двукратного применения кнопки

Back

Рисунок 30 Выбор контура

Основные программируемые циклы токарной обработки

Далее рассматриваются только циклы наружного точения, циклы растачивания создаются аналогично, а циклы сверления задаются так же, как и на фрезерной обработке.

SIMCO Editor предоставляет следующие инструменты визуального программирования токарной обработки:

²⁵ Обратите внимание, что окружность не срезана до дуги, а образующая конуса не обрезана на точке пересечения – при дальнейшем обходе контура можно указать направление обхода от точки пересечения

	Экспорт траектории контура (без генерации рабочих ходов)		Черновое точение (Rough)
	Окончательное точение контура		Отрезка (Cut Off)
	Подрезание торцев радиальными ходами (Face Turn)		Нарезание резьбы резцом (Taper)
	Сверление		Точение канавок (Grooving)

Можно выделить следующие основные токарные циклы:

1. Черновое точение – Rough;
2. Чистовое – Finish;
3. Точение канавок (Grooving).

Следует отметить, что английские названия циклов не вполне совпадают с принятыми в технологии машиностроения названиями видов обработки. Считается, что при черновом точении между изделием и заготовкой имеется существенный слой металла, который необходимо обработать за несколько проходов. При чистовой обработке предполагается, что припуск под обработку сравнительно мал и может быть снят разом, за один проход.

Точение канавок скрывает несколько стратегий их нарезания (от стороны, от центра, различается по виду обработки – черновое и чистовое точение канавок, а также по расположению канавки на детали – существуют радиальные, осевые и угловые канавки).

По стратегиям, характерным для точения канавок обрабатывают закрытые с двух сторон области на изделии, поэтому далее мы рассмотрим точение канавок отдельно.

Черновое и чистовое точение (Rough Turning - , Finish Turning -)

При черновом точении требуется: задать начальную точку цикла (Retract point), контур под обработку, размеры заготовки и основные параметры цикла. Точение осуществляется, во-первых, осевыми ходами, параллельными оси Z от наружного диаметра заготовки. Во-вторых, между рабочими ходами осуществляются дополнительные движения, срезающие оставшиеся ступеньки и выглаживающие контур. Выглаживающие движения осуществляются с некоторым перекрытием (Overlap). Заметим, что стратегия обработки «черновое точение» позволяет обработать только области, открытые с торца (см. пример траектории далее).

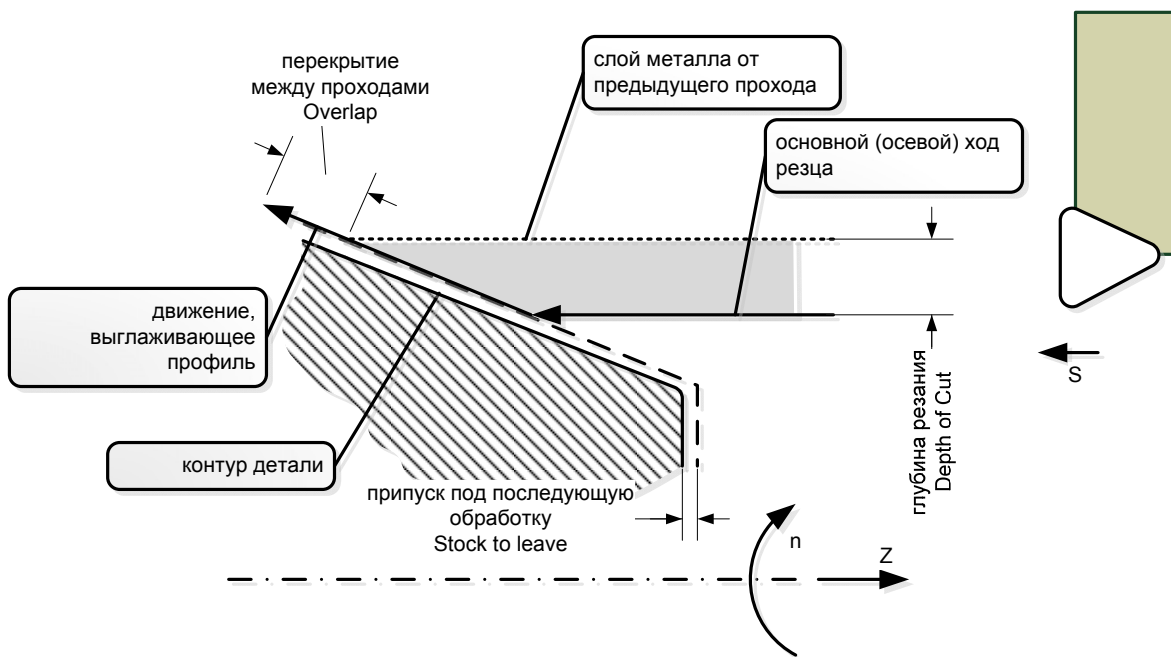


Рисунок 31 Настраиваемые элементы рабочих ходов чернового точения

При выборе инструмента «черновое точение» (Rough turning) система отображает следующую область настроек:

<p>The screenshot shows the 'Roughing Turning' settings dialog box. The fields and buttons are numbered as follows: <ul style="list-style-type: none"> 1: Points to the 'Retract Point Z' and 'Retract Point X' fields. 2: Points to the 'Machine Zero Z' and 'Machine Zero X' fields. 3: Points to the 'Start Diameter' field. 4: Points to the 'Show Toolpath' and 'Parameters' buttons. 5: Points to the 'Single' checkbox. 6: Points to the 'Export Editor' and 'Export Clipboard' buttons. </p>	<p>1 – координаты начальной точки цикла 2 – координаты нуля локальной (текущего перехода) системы координат 3 – диаметр заготовки 4 – параметры, необходимые для генерации траектории 5 – расчет и визуализация траектории 6 – вывод результатов (в управляющую программу, открытую в реакторе или в буфер обмена соответственно)</p>
--	--

Чтобы задать координаты начальной точки с помощью мыши достаточно проставить галочки в области 1 (против обеих или только одной координаты) и указать мышью точку в графической области. Начальную точку рекомендуется выбирать правее торца заготовки и выше диаметра заготовки.

Поле 3 задает диаметр заготовки. Предполагается, что заготовка имеет форму цилиндра и начинается и заканчивается на торцах контура. Заготовку произвольного профиля (например, нарисованного пользователем) задать нельзя. Динамического расчета

толщины снимаемого металла также не производится. Автор, тем не менее, рекомендует нарисовать контур заготовки (хотя бы в виде прямоугольника) для контроля правильности генерации траектории.

Настройка параметров перехода осуществляется в диалоговом окне Parameters. Условно параметры разделены на две группы: связанные с процессом срезания металла (Cut) и связанные с подводом-отводом инструмента (Entry/Exit). Краткие комментарии о назначении отдельных параметров представлены ниже.

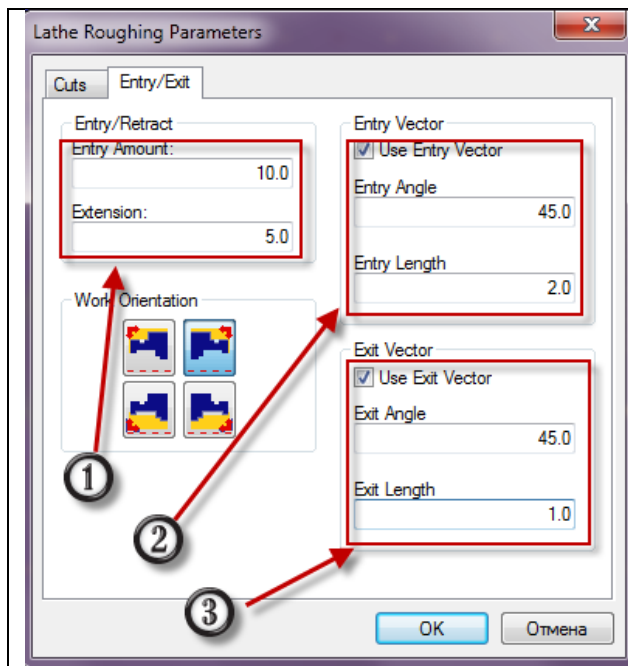
	<p>1 – глубина резания на проход; 2 – припуски под последующую обработку (по осям X и Z)²⁶; 3 – радиус при вершине инструмента; 4 – величина перекрытия между соседними проходами.</p>
--	--

Опции, связанные с ориентацией инструмента (Tool orientation) здесь не учитываются и не влияют на результат. Компенсация (Compensation) может быть рассчитана различными способами, однако рекомендуется использовать опцию «Controller», как показано на рисунке.

На вкладке «Entry/Exit» - подводы и отводы – размещены кнопки, задающие расположение реза относительно оси вращения, которые следует установить корректно в первую очередь.

	<p>Вид обработки и расположение реза: 1 – наружное точение; 2 – растачивание. Для обоих вариантов можно задать направление рабочей подачи (с правого торца – выбрано на рисунке, или с левого). Направление рабочей подачи определяет ориентацию главной режущей кромки реза.</p>
--	--

²⁶ Рекомендуется принимать не меньшим, чем радиус вершины инструмента

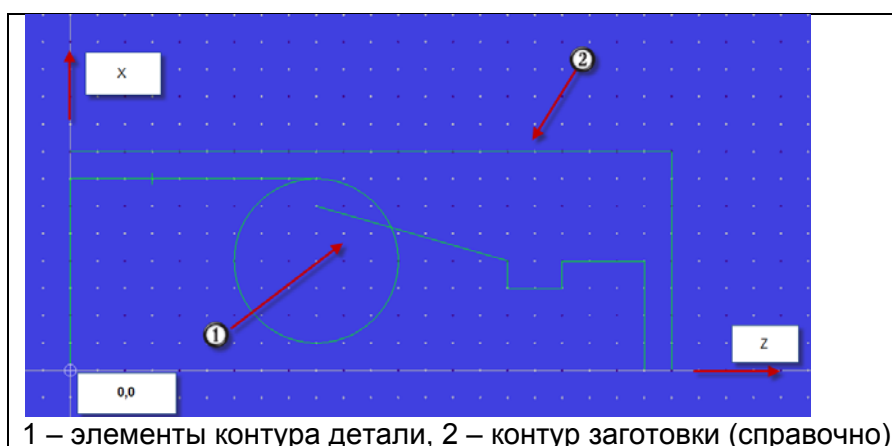


1 – величина продления рабочего прохода в осевом направлении (entry amount – удлинение на врезании, extension – на выходе из заготовки)
 2 – параметры врезания (чекбокс Use Entry включает использование этой области, Entry Angle задает угол врезания, Entry Length – длина врезания)
 3 – аналогичная область параметров отвода резца (чекбокс, угол отвода и длина отвода)

Для корректной генерации траектории обязательно надо задать положение резца и вид обработки (Work Orientation). Так как реальные заготовки изготавливаются с невысокой точностью, необходимо предусмотреть некоторый «запас» на колебания размеров заготовки и осевой припуск. Указанный запас задается: на врезании – параметром Entry Amount, на выходе резца из заготовки – параметром Extension²⁷.

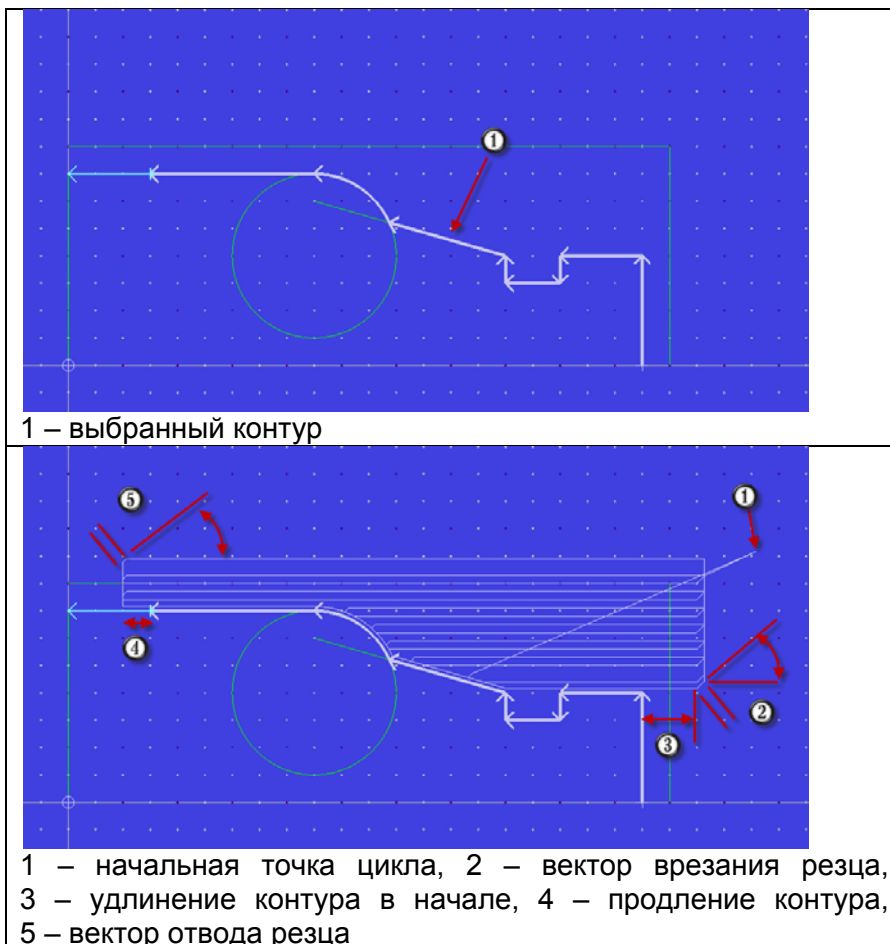
Так же, как и фрезу, резец необходимо подводить на обрабатываемый контур плавно, с постепенным нарастанием снимаемого припуска (и так же плавно завершать обработку). При программировании черного точения можно задать вектора подвода и отвода (Entry & Exit Vector). Вектора определяются длиной и углом, причем угол измеряется от оси Z.

Пример создания траектории черного точения при параметрах, приведенных выше, представлен на следующих рисунках:



1 – элементы контура детали, 2 – контур заготовки (справочно)

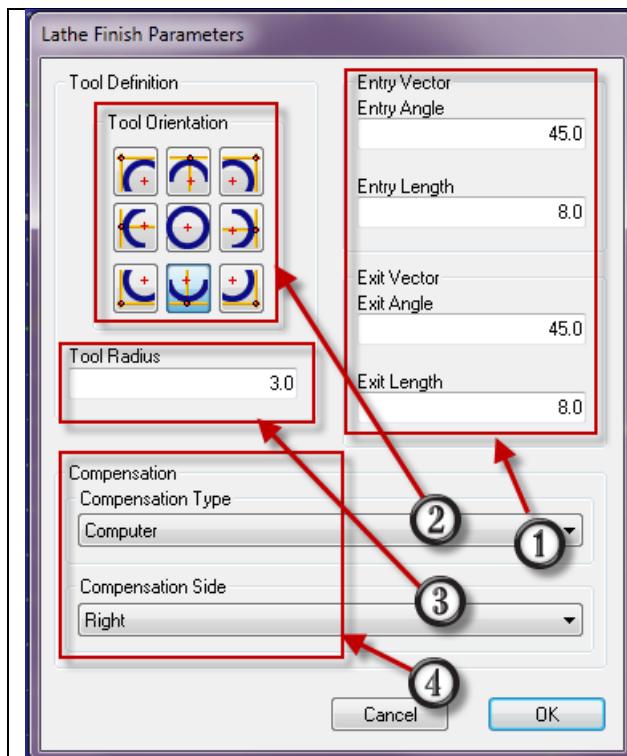
²⁷ Часто параметр Extension включает еще и припуск под отрезание детали



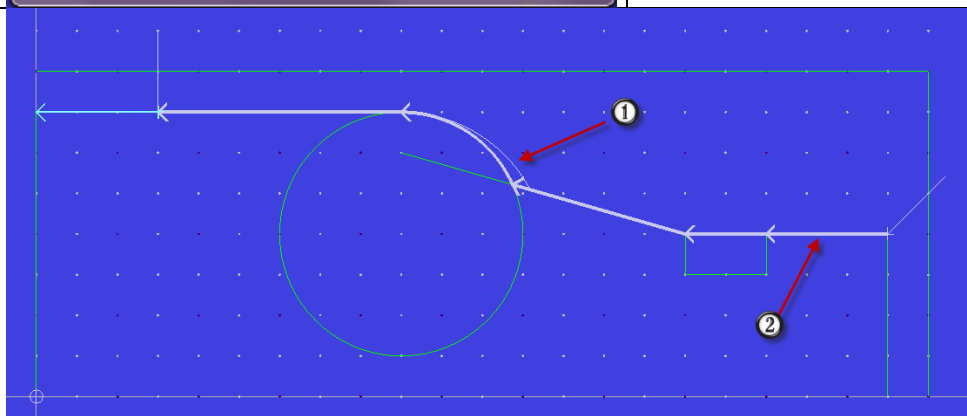
Заметим еще раз: при программировании чистовой обработки CIMCO Editor не контролирует ни величину снимаемого припуска, ни возможные коллизии (зарезы или столкновения оправки с заготовкой), следовательно, этот контроль возлагается на программиста. В рассматриваемом примере не следует обрабатывать поверхность канавки, поэтому к контуру детали добавлена фиктивная спрямляющая канавку линия (см. рисунок ниже).

При выборе инструмента «Чистовое точение» (Finish Turning) от пользователя требуется указать контур под обработку, точка старта обработки контура рассчитывается системой в соответствии с заданными параметрами подвода. Параметры обработки (кнопка

) сосредоточены на одной вкладке диалогового окна:



- 1 – Параметры подвода и отвода резца
- 2 – Ориентация резца
- 3 – Радиус вершины резца
- 4 – Способ расчета компенсации (смещения) на радиус резца



- 1 – траектория резца (компенсация рассчитана CIMCO Edit)
- 2 – контур под обработку

Рисунок 32 Параметры настройки чистовой обработки

Параметры подвода/отвода аналогичны таким же параметрам черновой обработки²⁸.

Группа параметров 2 – 4 управляют компенсацией на размер инструмента. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Теоретически предполагается, что режущий инструмент имеет идеально острую вершину, поэтому ее траектория совпадает с контуром детали. Реальный инструмент всегда имеет при вершине некоторый радиус, что ведет к отклонению рабочего профиля детали от расчетного. Погрешности компенсируются следующим образом: траектория рассчитывается для воображаемой точки острия резца, а радиус при вершине учитывается путем смещения расчетной траектории от профиля детали. Величина смещения (офсет) зависит от ряда факторов, но прежде всего – от радиуса вершины и положения нормали к обрабатываемой точке профиля. Тип компенсации и сторону офсета задают поля 4. Поле 3 задает радиус резца, поле 2 позволяет задать положение

²⁸ Для наглядности установлены в чрезмерно большие значения, реально составляют 1-2 мм

теоретической точки вершины инструмента и точки, в которой предполагается осуществлять контакт резца и заготовки.

При необходимости расчет компенсации можно отключить вообще – опция Compensation Off.

В простейшем случае компенсирующее смещение рассчитывается системой ЧПУ станка (опция Controller). В этом случае поля 2-4 не влияют на результирующую траекторию. Офсет задается кодами G41 G42 и отключается кодом G40.

Зачастую удобно рассчитать смещение в редакторе CIMCO Editor, как более качественном, для чего включается опция Computer. В этом случае офсет резца может быть сделан вправо от направления подачи или влево (опции поля Compensation Side – сторона компенсации Right или Left).

Например: при наружном точении и верхнем расположении суппорта резец движется справа налево, вершина резца остается справа от контура, поэтому офсет задается вправо²⁹.

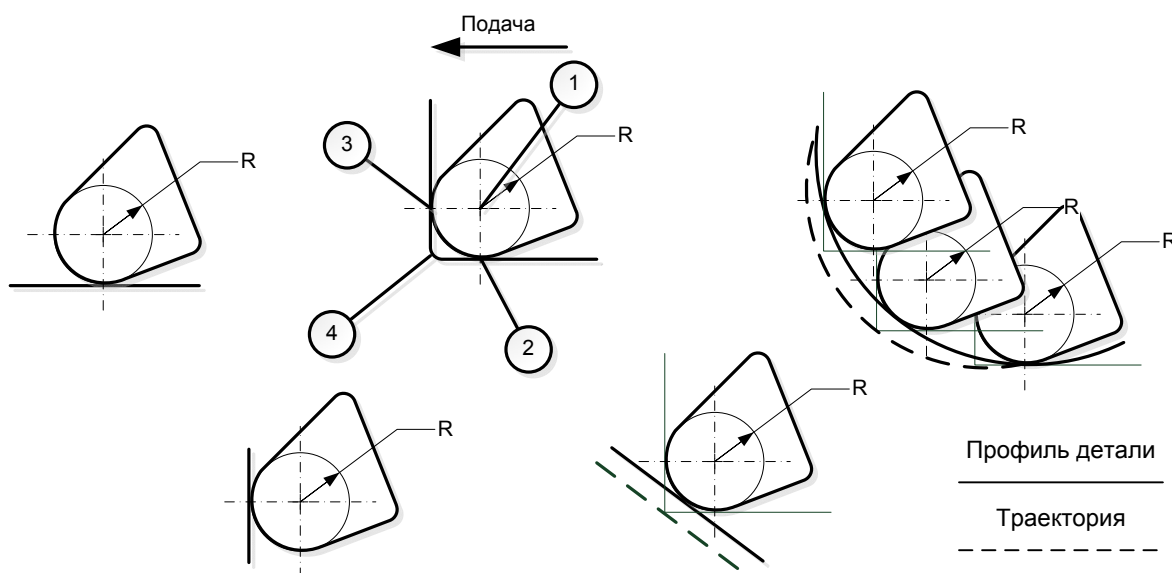


Рисунок 33 1 – теоретическая вершина резца, 2 – первичная точка контакта, 3 – вторичная точка контакта, 4 – ортогональная точка контакта

Как видно из рисунка, пластина резца может касаться профиля детали различными точками (обычно выделяют первичную, по которой резец касается цилиндрических поверхностей, вторичную – по которой происходит контакт с торцем, и ортогональную). Настройка резца на размерную обработку производится по одной из указанных точек.


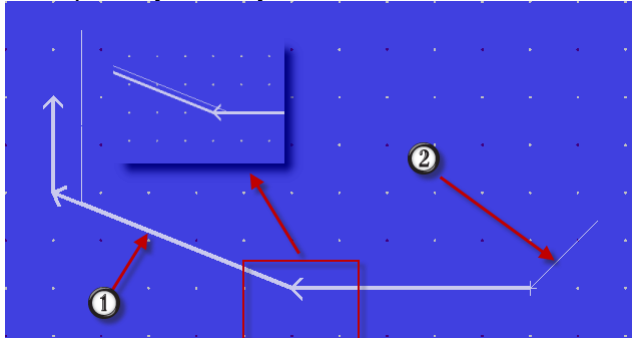

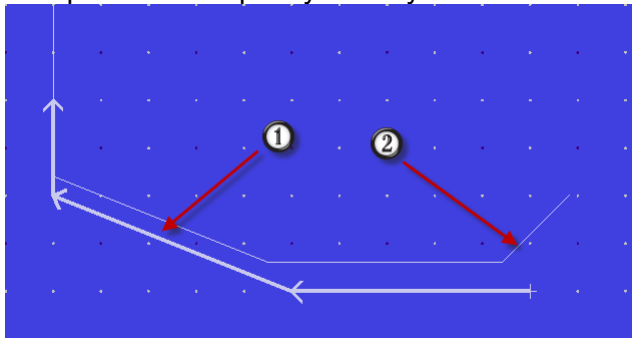

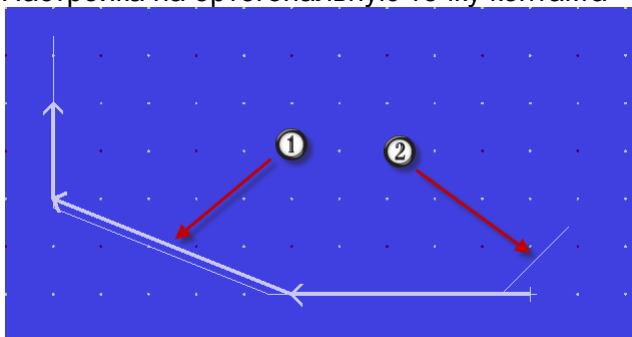
Настройка по первичной или вторичной точке позволяет точно обработать диаметральные и торцовые поверхности соответственно, с простой компенсацией на радиус вершины. Резец, настроенный на ортогональную точку подходит для обоих случаев, но дает погрешность на обработке конусов, а тем более – деталей сложной формы (см. рисунок выше)³⁰. Именно для точных конических, сферических и сплайновых поверхностей и рекомендуется: настраивать резец на ортогональную точку и использовать компьютерный расчет компенсации.

²⁹ При растачивании - влево

³⁰ Первичная и вторичная точки дают еще большую погрешность

Поле 2 (Tool orientation) позволяет выбрать расчетную точку, по которой система будет генерировать траекторию движения резца. Теоретическая вершина резца представлена центром окружности, окружность символизирует радиус при вершине. Касательные к окружности отображают положение детали, а точка на касательных – расчетную точку

резца. Для рисунка выше, например, ортогональная точка выбрана кнопкой: 

	<p>Компенсация траектории при настройке резца на первичную точку контакта</p> 	<p>1 – контур детали 2 – траектория обработки При расчете предполагается, что: Радиус при вершине резца – 3 мм. Компенсация рассчитывается компьютером Сторона компенсации – справа. Программируется наружное точение при верхнем расположении резца.</p>
	<p>Настройка на вторичную точку контакта</p> 	
	<p>Настройка на ортогональную точку контакта</p> 	

Точение канавок (Grooving Turning), подрезка торцов (Face Turning), отрезание (Cutoff)

Под канавками (Groove) понимаются закрытые участки контура, которые невозможно обработать осевой подачей. Различают канавки радиальные (1), торцовые (2) и угловые (3). Далее рассматривается только точение радиальных канавок.

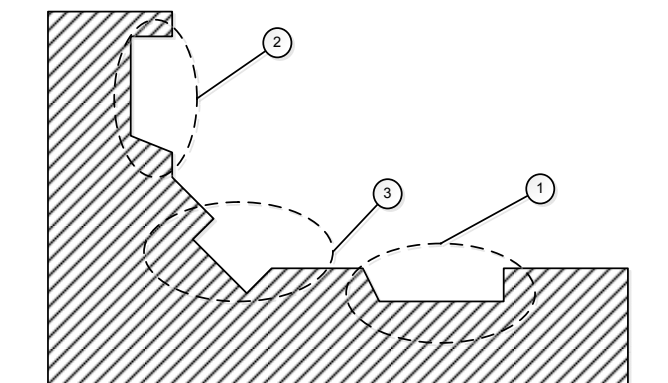


Рисунок 34 Виды канавок

Канавки обрабатываются специальными резцами.



Быстросменные пластины Канавочный резец

Рисунок 35 Резец и пластины для точения канавок

Точные канавки обрабатываются в два приема: черновая и чистовая обработка, неточные – за один. На черновой обработке припуск удаляется за несколько проходов. Схемы разделения припуска (для радиальной канавки) представлены на следующем рисунке:

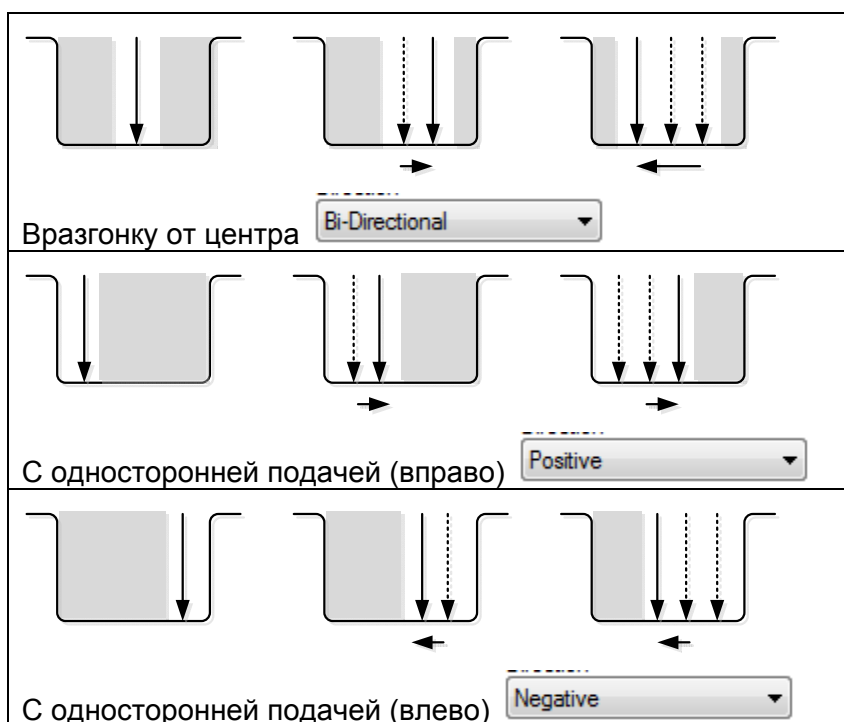


Рисунок 36 Схемы разделения припуска при черновом точении канавок

На чистовом проходе выполняется три движения: подрезка левого (1) и правого торцов (2) канавки радиальной подачей и выглаживание дна канавки (3) осевой подачей³¹.

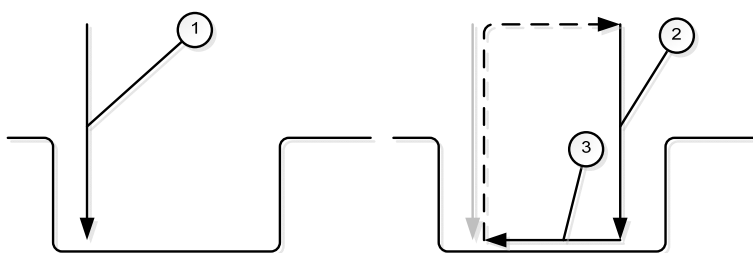
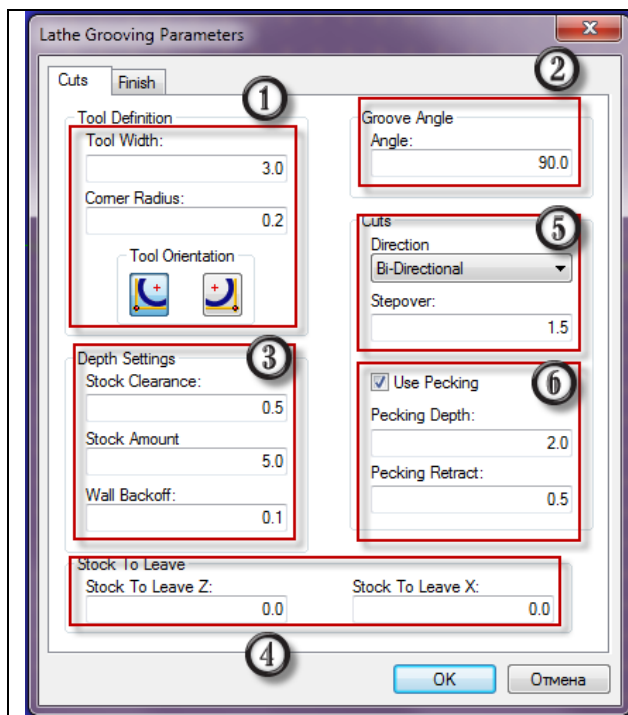


Рисунок 37 Чистовое точение канавки

При непрерывной подаче резца образуется сливная стружка, что нежелательно. Для ломки стружки³² используют прерывистую подачу резца (Pecking). Например, при общей глубине канавки 5 мм, резание осуществляется двумя движениями по 2,5 мм с возвратным движением между ними.

Рассмотрим, в связи со сказанным основные настройки, необходимые CIMCO Editor для расчета траектории (на примере радиальной канавки).



Параметры чернового этапа обработки

1 – область параметров резца:

Width – ширина, Radius – радиус при вершине, Orientation – положение расчетной точки контакта резца (см. стр. 60)
2 – угол канавки к оси вращения детали (радиальные наружные имеют угол 90 градусов, торцовые – 0 градусов)

3 – данные для определения глубины канавки:

Clearance – безопасное расстояние (просвет) до поверхности заготовки, Amount – высота заготовки над канавкой, Wall Backoff – дополнительное смещение резца от поверхности канавки после радиального прохода.

4 – припуск под последующую обработку (осевой и радиальный)³³

5 – стратегия разделения припуска на черновом этапе (см. Рисунок 36).

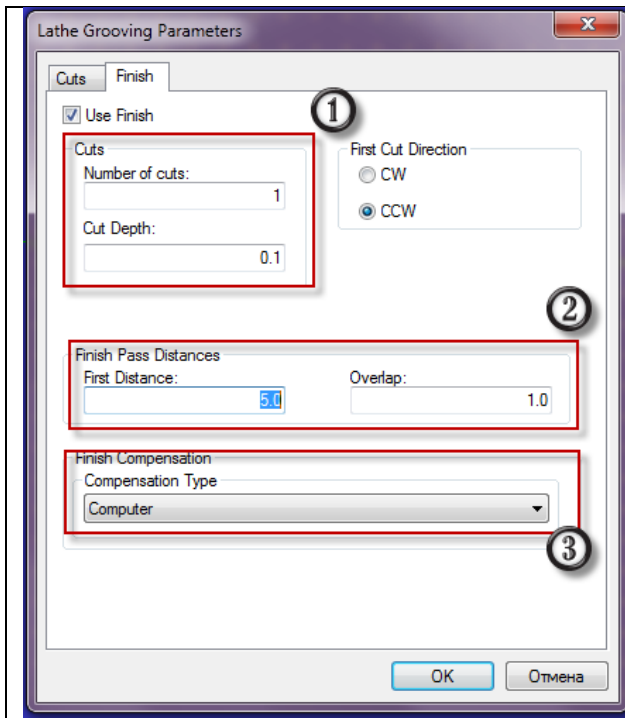
Параметр Stepper задает величину перекрытия между соседними проходами резца и составляет обычно $\frac{1}{2} \dots \frac{1}{3}$ от ширины резца

6 – параметры ломки стружки (см. выше).

³¹ Для радиальной канавки

³² При необходимости, подробнее о параметрах см. стр. 41

³³ Этот припуск останется после финишной обработки



Данные к расчету чистового прохода

1 – число (Number of cuts) чистовых проходов и глубина резания на 1 проход (Cut Depth), причем до поверхности канавки останется припуск, заданный параметрами Stock to leave.

2 – на первом проходе профиль канавки удлиняется на величину First distance, а движения резца перекрывают друг друга на величину Overlap

3 – способ расчета компенсации (см. выше) с учетом размеров резца.

Пример сгенерированной траектории:



Для угловых или торцовых канавок необходимо изменить параметр Groove angle. Примеры контуров под обработку и траекторий представлены ниже.

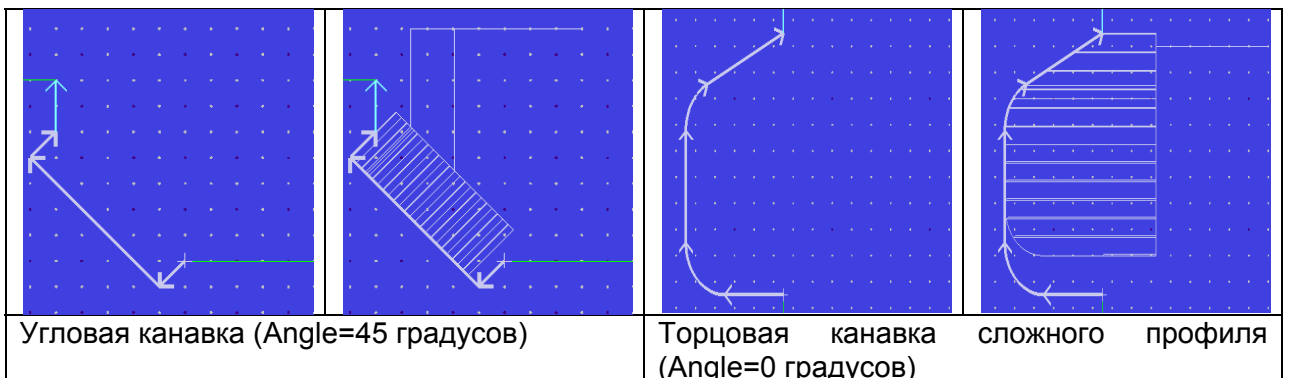


Рисунок 38 Варианты канавок

Операция точения канавок по управляющим параметрам имеет много общего с операциями подрезки торца и отрезания.

Подрезка торцов производится при радиальной подаче резца и может содержать этап черновой обработки и (опционально) этап чистовой обработки. В целом область обработки задается указанием мышью прямоугольной области, от первого угла которой ко второму и происходит резание.

На черновом точении глубина резания на проход равна значению параметра Roughing Stepmover, программируются вектора подвода и отвода инструмента³⁴. На чистовой обработке за проход снимается припуск Finishing Stepmover, причем количество чистовых ходов задается значением Finish Cuts. При необходимости можно задать перебег резца в радиальном направлении (Overcut Amount) и припуск под последующую обработку (параметр Stock To Leave). Пример окна параметров обработки, выбора области под обработку и сгенерированной траектории представлен ниже:

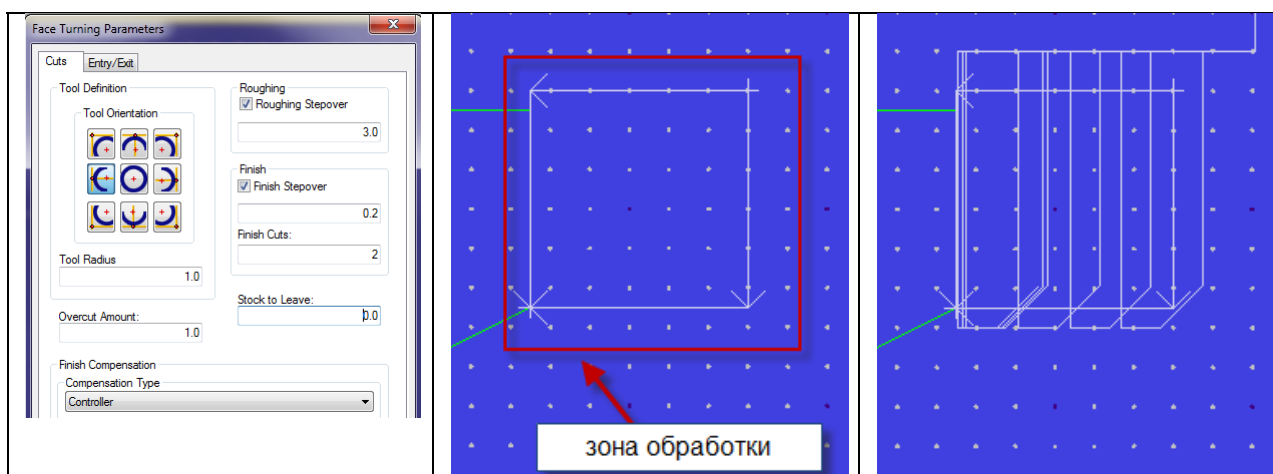


Рисунок 39 Подрезка торца

При отрезании (Cutoff) используются отрезные резцы специальной геометрии (Parting Off Tool), отличающейся от геометрии канавочных резцов.

Помимо собственно отрезки, при отрезании зачастую формируют обратную фаску – фаску на обратной стороне заготовки. Для этого резец сначала на радиальной подаче формирует в черне канавку, далее – срезает ее неровности для получения фаски, и, наконец, отрезает изделие (см. рис. ниже). Заметим, что при отрезке может применяться стратегия с ломкой стружки (Pecking).

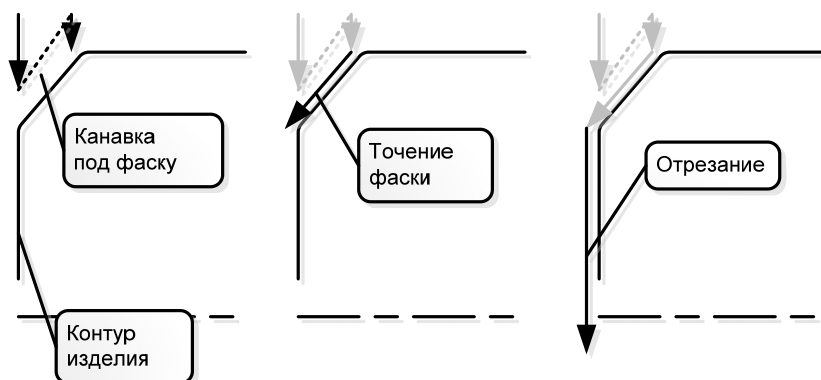


Рисунок 40 Отрезание со снятием обратной фаски

³⁴ В доступной версии редактора, независимо от угла отвода, резец отводится на заданную величину радиально

Канавка нарезается за несколько проходов, если ширины резца недостаточно. Форма обратной фаски может быть как линейной (фаска, заданная углом и одним из катетов), так и скругленной (для скругления задается его радиус).

Практическая работа

Создать в редакторе CIMCO Edit профиль вала по заданию преподавателя. Выполнить программирование черновой и чистовой обработки.

Проточить канавки.

Отрезать деталь от заготовки.

Вывести управляющую программу и выполнить имитацию обработки по созданной программе.

Приложение 1

Основные управляющие коды

G

Код	Описание	Пример
G00	Ускоренное перемещение инструмента (холостой ход)	G0 X0 Y0 Z100;
G01	Линейная интерполяция	G01 X0 Y0 Z100 F200;
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелки	G02 X15 Y15 R5 F200;
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки	G03 X15 Y15 R5 F200;
G04	Задержка на P миллисекунд	G04 P500;
G10	Задать новые координаты для начала координат	G10 X10 Y10 Z10;
G11	Отмена G10	G11;
G15	Отмена G16	G15 G90;
G16	Переключение в полярную систему координат	G16 G91 X100 Y90;
G20	Режим работы в дюймовой системе	G90 G20;
G21	Режим работы в метрической системе	G90 G21;
G22	Активировать установленный предел перемещений (Станок не выйдет за их предел).	G22 G01 X15 Y25;
G23	Отмена G22	G23 G90 G54;
G28	Вернуться на референтную точку	G28 G91 Z0 Y0;
G30	Поднятие по оси Z на точку смены инструмента	G30 G91 Z0;
G40	Отмена компенсации размера инструмента	G1 G40 X0 Y0 F200;
G41	Компенсировать радиус инструмента слева	G41 X15 Y15 D1 F100;
G42	Компенсировать радиус инструмента справа	G42 X15 Y15 D1 F100;
G43	Компенсировать высоту инструмента положительно	G43 X15 Y15 Z100 H1 S1000 M3;
G44	Компенсировать высоту инструмента отрицательно	G44 X15 Y15 Z4 H1 S1000 M3;
G53	Переключиться на систему координат станка	G53 G0 X0 Y0 Z0;
G54- G59	Переключиться на заданную оператором систему координат	G54 G0 X0 Y0 Z100;
G68	Поворот координат на нужный угол	G68 X0 Y0 R45;
G69	Отмена G68	G69;
G80	Отмена циклов сверления (G81-G84)	G80 Z100;
G81	Цикл сверления	G81 X0 Y0 Z-10 R3 F100;
G82	Цикл сверления с задержкой	G82 X0 Y0 Z-10 R3 P100 F100;
G83	Цикл сверления с отходом	G83 X0 Y0 Z-10 R3 Q8 F100;
G84	Цикл нарезание резьбы	G95 G84 X0 Y0 Z-10 R3 F1.411;
G90	Абсолютная система координат	G90 G21;
G91	Относительная система координат	G91 G1 X4 Y5 F100;
G94	F (подача)- в формате мм/мин.	G94 G80 Z100;
G95	F (подача)- в формате мм/об.	G95 G84 X0 Y0 Z-10 R3 F1.411;
G98	Отмена G99	G98 G15 G90;
G99	После каждого цикла не отходить на «подходную точку»	G99 G91 X10 K4;

M

Код	Описание	Пример
M00	Приостановить работу станка до нажатия кнопки «старт» на пульте	G0 X0 Y0

	управления, так называемый "технологический останов"	Z100 M0;
M01	Приостановить работу станка до нажатия кнопки «старт», если включен режим подтверждения останова	G0 X0 Y0 Z100 M1;
M02	Конец программы	M02;
M03	Начать вращение шпинделя по часовой стрелке	M3 S2000;
M04	Начать вращение шпинделя против часовой стрелки	M4 S2000;
M05	Остановить вращение шпинделя	M5;
M06	Сменить инструмент	M6 T15;
M07	Включить дополнительное охлаждение	M3 S2000 M7;
M08	Включить основное охлаждение	M3 S2000 M8;
M09	Выключить охлаждение	G0 X0 Y0 Z100 M5 M9;
M30	Конец информации	M30;
M98	Вызов подпрограммы	M98 P101;
M99	Конец подпрограммы, возврат к основной программе	M99;