Электронный архив УГЛТУ

И.Т. Глебов

Учимся работать на фрезерном станке с ЧПУ

Учебное пособие

Екатеринбург
2015

Электронный архив УГЛТУ

УДК 674.028.9

Рецензенты:

Часовских В.П. – доктор техн. наук, профессор, действительный член Российской академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, действительный член Российской академии естественных наук, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, лауреат Золотой Медали Европейской научно-промышленной палаты, декан факультета экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета,

Новоселов В.Г. – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой инновационных технологий и оборудования деревообработки Уральского государственного лесотехнического университета

Глебов И.Т.

Учимся работать на фрезерном станке с ЧПУ: Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – 115 с.

Рассмотрены конструкции простейших станков с ЧПУ для фрезерования древесины. Приведены термины и определения, показано окно программы VicStudioTM и правила работы на станке с ручным управлением. Рассмотрены системы координат станка, детали, дереворежущего инструмента и их взаимосвязь. Подробно рассмотрены основы ручного программирования, структура и синтаксис управляющих программ, правила определения геометрических и технологических параметров процесса обработки деталей, правила интерполяции, коррекции и др. Даны рекомендации расчета режимов резания с учетом волокнистого строения древесины.

Рассмотрено несколько примеров составления управляющих программ вручную, а также методика реализации этих программ на станке. Рассмотрены методы программирования для обработки отверстий.

В завершении книги показаны методы автоматизации разработки управляющих программ с использованием программы ArtCAM, разобраны примеры. Для закрепления знаний, умений и навыков в книге имеются контрольные вопросы и задания.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, магистров, аспирантов лесотехнических вузов, студентов колледжей и может быть использовано на деревообрабатывающих предприятиях для повышения квалификации рабочих.

Ил.49. Библиогр.: 14 назв.

УДК 674.028.9

ISBN

© И.Т. Глебов, 2015

©

Электронный архив УГЛТУ

Введение

В настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях идет вытеснение устаревших станков новыми видами оборудования. На смену станкам общего назначения пришли станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Технология деревообработки переходит на принципиально новый технологический уровень, на котором требуется полное соответствие режущего инструмента возможностям станка. Возможностям новых станков наилучшим образом соответствуют концевые фрезы, обеспечивающие обработку пазов, обработку кромок щитовых деталей по периметру, обработку деталей любого сложного профиля.

Использование таких фрез на станке с ЧПУ позволяют за одну установку заготовки получить полностью обработанную деталь: выполнить раскрой, например, плиты, выбрать гнезда и пазы любой формы, произвести прямую или фасонную обработку кромок, нарезать шипы на торцах заготовки, сформировать профиль филенки, выполнить скульптурные работы и др.

Дереворежущие станки с числовым программным управлением (ЧПУ) широко применяются при производстве оконных и дверных блоков (обгонка блоков в размер по периметру), в изготовлении мебельных фасадов, раскрое плитных материалов на профильные заготовки, выполнении отверстий, гнезд, обработке брусковых и гнутоклееных деталей, деталей стульев и др.

В жилищном строительстве станки используют для оформления каминов, арок, панелей и различных элементов интерьеров из натуральной древесины. Станки с ЧПУ удобны в производстве деревянных лестниц, особенно при изготовлении различной формы ступеней винтовых лестниц, оригинальных столбов и балясин.

Станки с ЧПУ (компьютерным цифровым управлением) работают в автоматическом режиме с высокой производительностью, надежностью, обеспечивают высокую точность размеров обработанных деталей, полностью вытесняют ручной труд. Станки работают по управляющей программе. Одна и та же управляющая программа мо-

Электронный архив УГЛТУ

жет быть использована многократно и в любое время. Программа работает надежно независимо от утомляемости станочника.

При этом в лесотехническом образовательном процессе сложилась диспропорция, когда в деревообрабатывающем производстве из года в год нарастает количество используемых станков с ЧПУ, а специалистов для их эксплуатации постоянно не хватает. В лесотехнических вузах пока только говорят о вопиющей проблеме подготовки специалистов, способных обслуживать станки с ЧПУ. Говорят об открытии прикладного бакалавриата, когда студент одновременно с высшим образованием сможет получить рабочую профессию, например, оператора станка с ЧПУ.

Для подготовки таких специалистов нужна специальная методическая литература, позволяющая учащемуся самостоятельно ознакомиться с конструкцией станка с ЧПУ, научиться составлять управляющие программы. При этом учащийся должен получить умения и навыки работы на станке. Такова цель предлагаемого учебного пособия.

Учебное пособие написано в виде отдельных уроков, каждый из которых посвящен конкретной теме. Изучение учебного пособия следует начать с урока 2. К уроку 1 следует обращаться в случае, когда требуется вспомнить содержание того или иного термина.

Электронный архив УГЛТУ

Урок 1
Термины и определения

1. *Станок с ЧПУ* – это рабочая машина, обеспечивающая точное автоматическое перемещение рабочих органов (режущего инструмента, базовых линеек, упоров и т.д.) по управляющей электронной программе.

Числовое программное управлениеи (ЧПУ) станком (numerical control of machine) [1] – управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

Станок с ЧПУ – это механическое устройство для перемещения режущего инструмента относительно детали в правой прямоугольной системе координат. Перемещения на станке выполняются по координатным осям двигателями, которые управляются системой числового программного управления (СЧПУ), обеспечивающей управление координатами по заданной траектории с заданной частотой вращения шпинделя и скоростью подачи.

Траектория перемещения задается управляющей программой, включающей геометрические и технологические параметры.

2. *Обрабатывающий центр* – позиционный станок с системой ЧПУ, автоматической сменой режущего инструмента и выполнением нескольких технологических операций по обработке детали с одной установки.

Станок позволяет вести комплексную механическую обработку заготовок путем выполнения различных технологических операций, например, фрезерования, сверления, пиления и др.

В общем случае обрабатывающий центр – это просто станок с ЧПУ, часто так называемый на практике.

3. *Начало координат:*

– *нулевая точка станка* – точка, принятая за начало системы координат станка (ГОСТ 20523-80); в системе координат станка деталь неподвижна, перемещается только режущий инструмент;

Электронный архив УГЛТУ

– *нулевая точка детали* – точка на детали, относительно которой заданы ее размеры, точка, от которой отсчитываются координаты остальных точек контура детали;

– *нулевая точка режущего инструмента* – точка, от которой начинается запрограммированное перемещение рабочего инструмента;

– *точка начала обработки* – точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки;

– *фиксированная точка станка* – точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения шпинделя станка. Это точка, в которой находится режущий инструмент в момент съема детали и установки новой заготовки, в момент установки на шпиндель фрезы, это точка безопасности.

4. *Системы координат управляющих программ:*

– абсолютная система отсчета координат: система, в которой все точки, лежащие на контуре детали, измеряются от начала координат детали.

– относительная система координат: система, в которой координаты каждой последующей точки измеряются относительно координат предыдущей точки.

5. *Способы создания управляющих программ:*

– ручное программирование – написание управляющей программы по установленным правилам на бумажном или электронном носителе информации;

– программирование на стойке ЧПУ при помощи клавиатуры и дисплея;

– программирование при помощи CAD/CAM системы, позволяющей автоматизировать процесс написания программы [2].

6. *Управляющая программа* – совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

Электронный архив УГЛТУ

7. *Режимы работы станка:*

– автоматический режим работы – режим, заданный управляющей программой;

– толчковый режим работы – режим, обеспечивающий перемещение шпинделя с режущим инструментом клавишами клавиатуры компьютера. Пока клавиша нажата, происходит перемещение.

– инкрементный режим работы – режим, обеспечивающий перемещение шпинделя с режущим инструментом в заданном направлении вручную на величиной заданного шага (0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10 мм). Сначала выбирается шаг, затем нажимается клавиша направления перемещения шпинделя и шпиндель переместится на величину шага.

– режим ввода данных вручную (*MDI*) – режим, при котором пользователь управляет станком с помощью *G* кодов, когда с указанием *G* кода указываются координаты точки, куда должен переместиться шпиндель станка;

– состояние бездействия – режим, при котором станок не выполняет никаких действий, но готов к выполнению новых задач;

– состояние аварийной остановки – состояние, возникающее при нажатии кнопки «Аварийная остановка», когда отключаются все двигатели. После того, когда кнопка будет отключена, система автоматически произведет сброс и перейдет в состояние бездействия.

8. *Элементы структуры управляющей программы:*

– кадр – часть управляющей программы, вводимая и отрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды (ГОСТ 20999-83) [3].

Например, N10 G1 X10.553 Y-12.754 F1500; здесь символ **;** означает конец кадра.

Кадр – представляет собой некоторую совокупность слов данных, расположенных в определенном порядке, которые несут вспомогательную, геометрическую и технологическую информацию;

– слово данных – элемент программы, состоящий из адреса (прописной буквы латинского алфавита) и цифры, например G91, M30, X10 и т.д.;

Электронный архив УГЛТУ

– адрес – часть слова управляющей программы, определяющая назначение следующих за ним данных, содержащихся в этом слове;

– модальность слов – распространение действия слова на последующие кадры, пока значение слова в некотором кадре не изменится или пока функция слова не будет выключена;

– слово данных подачи *F* (от слова feed – подача), – слово, состоящее из адреса *F* и трехзначного числа. Слово устанавливает скорость подачи при обработке заготовки резанием с размерностью мм/мин. Например, *F*120. Это означает, что устанавливается скорость подачи 120 мм/мин.

– слово частоты вращения режущего инструмента *S* (от слова speed – скорость), слово, управляющее частотой вращения шпинделя в минуту. Оно включает адрес *S* с указанием числа оборотов в минуту. Например, *S*6000. Это означает, что частота вращения режущего инструмента равна 6000 мин$^{-1}$;

– слово данных режущего инструмента *T* – слово, состоящее из адреса *T* и условного числа любой длины. Первая группа цифр содержит номер инструмента, под которым он хранится в магазине станка. Вторая группа числа указывает номер корректора инструмента. Пример: *T*0215. Это означает, что инструмент хранится во второй ячейке магазина 02 и номер корректора равен 15.

– слово данных вспомогательной функции *M* – слово, которое записываются в виде адресного символа *M* с добавлением от одного до четырехзначного числа после него. Это технологические коды. Они управляют действиями замены режущего инструмента, включения или выключения шпинделя, окончания подпрограммы.

9. Разрешающая способность системы ЧПУ – минимально возможная величина линейного и углового хода исполнительного элемента станка, соответствующая одному управляющему импульсу. Большинство современных систем ЧПУ имеют дискретность 0,001; 0,01 мм/импульс.

10. Интерполяция – замена прямой линии или дуги окружности множеством элементарных прямолинейных перемещений,

Электронный архив УГЛТУ

параллельных координатным осям. Прямолинейная интерполяция задается словом данных G01, а дуги окружности – G02.

11. Позиционирование – перемещение шпинделя станка в заданную точку рабочего пространства по одной или нескольким координатам на максимальной скорости подачи. Позиционирование применяется при выполнении холостых ходов, когда нужно выйти в заданную точку за минимальное время, а траектория не имеет значения. Позиционирование задается словом данных G00.

12. Геометрия управляющей программы включает требования к точности траектории движения шпинделя станка и к величине скорости подачи. Оба требования выполнить одновременно невозможно. Точное выполнение траектории требует снижения скорости подачи до нуля на стыках кадров. Однако, стремясь к максимальной производительности станка, оператор вынужден работать с высокой скоростью подачи, что приводит к сглаживанию (закруглению) углов контура детали. Если получаемое сглаживание углов деревянной детали допустимо, то можно работать с заданным режимом обработки.

Фрезерные станки по количеству одновременно управляемых осей координат рассматриваются как

– 2½*D*-формообразующие;
– 3*D*-формообразующие;
– 4*D*- формообразующие;
– 5D- формообразующие.

Простейшие фрезерные станки – 2½*D*-формообразующие.

2½*D* – формообразующая система ЧПУ обеспечивает перемещение фрезы по трем осям координат станка. При этом одновременно управляемыми являются только две оси, а третья ось остается при этом неподвижной. Она используется для подвода и отвода инструмента.

2½D – формообразующая система ЧПУ позволяет выполнять на станках обработку контуров и поверхностей сложной формы, однако при этом обработка объемных контуров ведется послойно в одной выбранной плоскости обработки.

Электронный архив УГЛТУ

Урок 2

Станок с ЧПУ

2.1. Конструкция станка с ЧПУ

Для решения практических задач используются разнообразные станки с числовым программным управлением, отличающиеся по функциональному назначению и конструкции. Однако все они построены по одному принципу: перемещение режущего инструмента в пространстве осуществляется по прямоугольным декартовым координатам

Простейший фрезерный станок с ЧПУ показан на рис. 1. Станок предназначен для фрезерования и гравирования поверхностей мебельных фасадов, дверных полотен, обработки плитных материалов и др. Станина станка сварная. На станине закреплены продольные направляющие, на которых установлен портал (П-образная конструкция) с возможностью перемещения по оси *Y*. На портале смонтированы поперечные направляющие с суппортом, имеющим возможность перемещаться вдоль оси *X*. Кроме того, на суппорте на вертикальных направляющих смонтирован суппорт перемещения по оси *Z*, на нем закреплен шпиндель с фрезой в цанговом патроне.

Станок снабжен блоком управления, на котором смонтирован пульт управления. В блоке управления станка имеется частотный преобразователь, регулирующий частоту вращения высокооборотного электродвигателя шпинделя.

Все направляющие имеют круглое поперечное сечение и взаимодействуют со скользящими ползунами. Перемещения по направляющим обеспечиваются винтами с шариковыми гайками и приводом от шаговых электродвигателей мощностью по 1 кВт (рис. 2).

Итак, портал 3 смонтирован на направляющих 1 и перемещается с помощью винта 2 электродвигателем M_2; суппорт 5 установлен на направляющих 4 и перемещается электродвигателем M_1; суппорт 6 установлен на вертикальных направляющих с приводом от электродвигателя M_3. Такая конструкция обеспечивает перемещение шпинделя 7 в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Электронный архив УГЛТУ

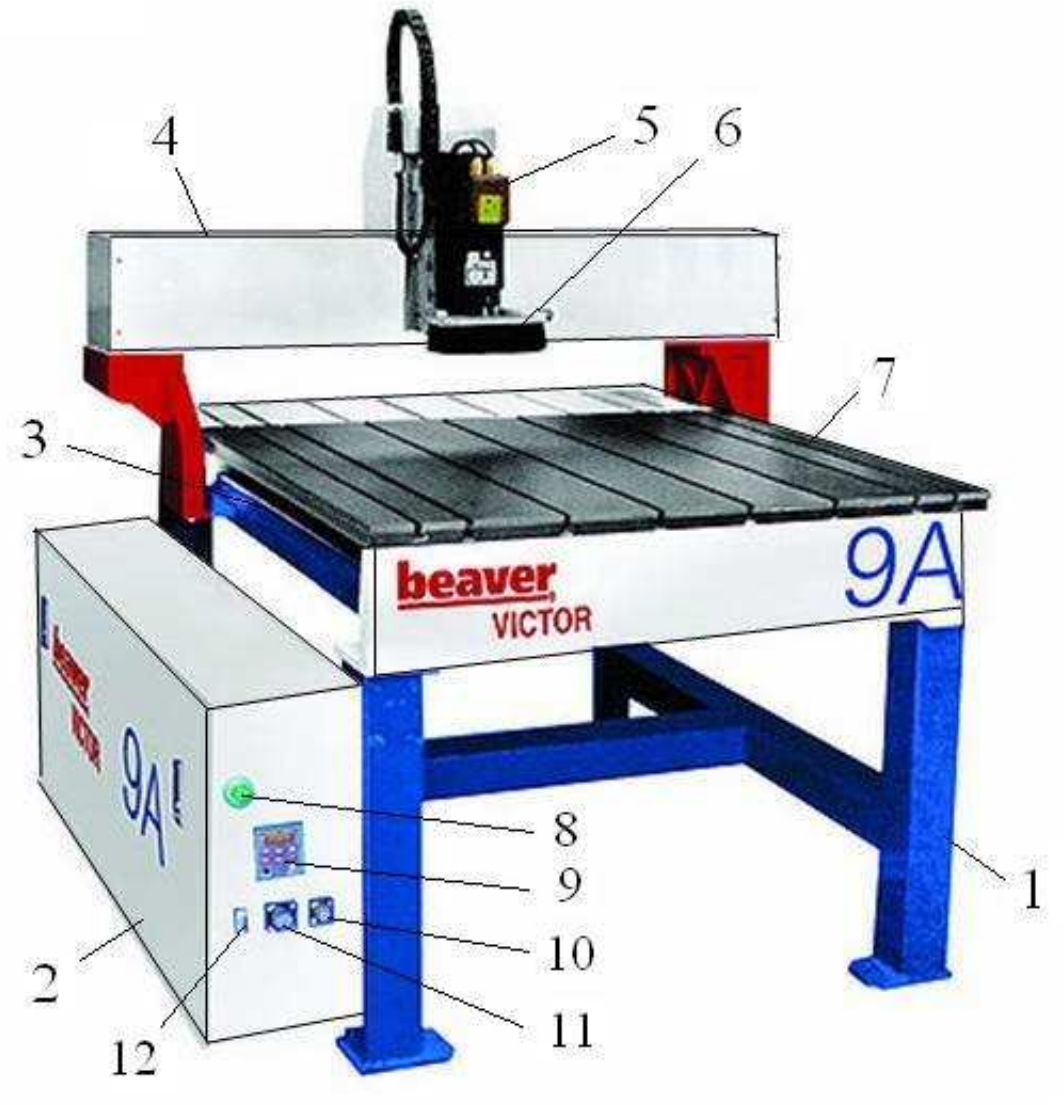

Рис. 1. Фрезерный станок с ЧПУ:
1 – рама; 2 – блок управления; 3 – продольные направляющие;
4 – портал; 5 – шпиндель механизма главного движения;
6 – ограждение-щетка для удаления стружек; 7 – стол; 8 – сигнальная лампа; 9 – панель управления частотным преобразователем; 10 – кнопка «Пуск»; 11 – кнопка «Аварийный стоп»; 12 – разъем подключения компьютера

Электронный архив УГЛТУ

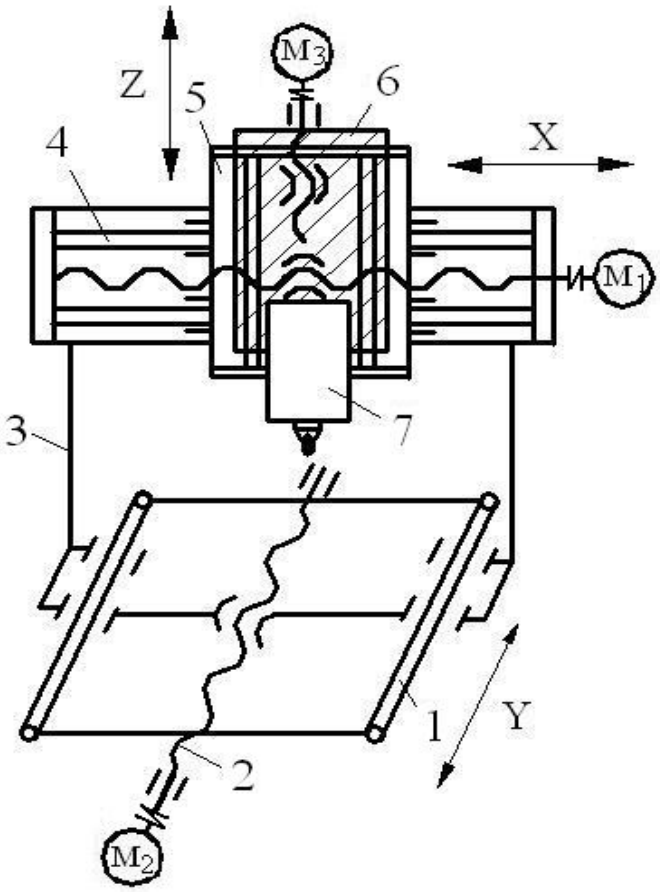

Рис. 2. Схема фрезерного станка:
1 – продольные направляющие; 2 – винт; 3 – портал; 4 – поперечные направляющие портала; 5 – суппорт поперечного перемещения;
6 – суппорт вертикальных перемещений; 7 – шпиндель

Основные технические характеристики приведены ниже.

Размеры стола, мм ……	900×900
Перемещения суппортов, мм:	
– по оси X ……..	900
– по оси Y …….	700
– по оси Z …….	100
Скорость перемещения суппортов, м/мин ……..	до 4
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$ …….	до 24000
Мощность шпинделя, кВт …….	1,5
Диаметр цанги для крепления фрезы, мм ……..	3,6
Мощность шаговых двигателей, кВт …….	1×3
Габаритные размеры, мм …….	1000×1200×1230
Масса, кг ……..	300

Электронный архив УГЛТУ

2.2. Функциональные механизмы станков

2.2.1. Станина

Современные станки с ЧПУ имеют различное конструктивное исполнение. И все-таки, основу их конструкции составляет мощная станина, выполненная в виде устойчивой к деформациям жесткой сварной коробчатой конструкции. Значительный вес станины обеспечивает гашение вибраций, возникающих в процессе работы.

На станине смонтированы функциональные механизмы: механизм базирования заготовки, суппорт с одной или несколькими обрабатывающими головками, направляющие оси, магазин для сменного дереворежущего инструмента и блок управления.

2.2.2. Механизм базирования заготовки

Механизм базирования станка состоит из одного или нескольких столов, а также набора консолей и упоров для закрепления и позиционирования заготовок на столе вакуумным или механическим способом. Для повышения жесткости и виброустойчивости станка столы выполняются коробчатой формы с продольными и поперечными ребрами. Вакуумные присоски легко перемещаются по площади стола.

Для получения обработанных поверхностей высокого качества требуется, чтобы механизмы фиксации и базирования были достаточно жесткими и снижали вибрацию заготовки. Обычно базовые элементы изготавливают литыми или сварными. Наметилась тенденция выполнять их из полимерного бетона или синтетического гранита, что в большей степени повышает жесткость и виброустойчивость.

2.2.3. Направляющие оси

В качестве направляющих для перемещения суппортов по осям координат используют круглые направляющие (для станков низкой точности) или высокоточные рельсовые направляющие качения (рис. 3).

Электронный архив УГЛТУ

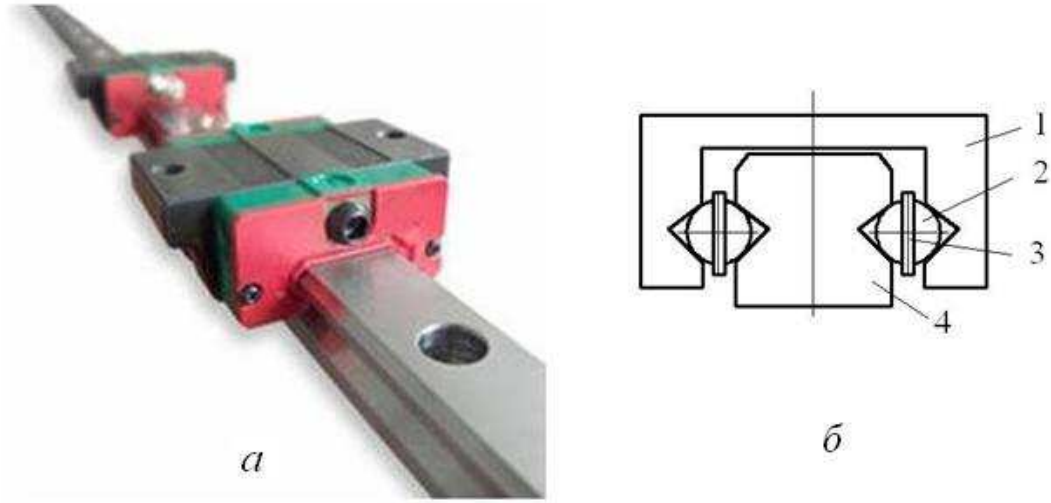

Рис. 3. Рельсовая шариковая направляющая:
а – общий вид; *б* – схема взаимодействия шариков с рельсом и кареткой; 1 – каретка; 2 – шарики; 3 – плоский сепаратор; 4 – рельс

Рельсовые направляющие устанавливаются по всем осям [4]. Они обладают высокой жесткостью и точностью. Каретка опирается на направляющую несколькими шариками, разделенными между собой плоским сепаратором (пластиной с десятью отверстиями под шарики). Такая конструкция позволяет уменьшить сопротивление передвижению каретки по направляющей и повысить рабочий ресурс направляющих. При правильной эксплуатации такие направляющие сохраняют высокие рабочие характеристики на протяжении всего срока службы станка.

2.2.4. Ходовые винты

Ходовые винты обеспечивают перемещение суппортов по направлению осей координат. Они должны обладать высокой жесткостью, в сочетании с высокой плавностью и точностью хода. В них не допускается образование люфтов и большие силы трения. Для этого винты снабжаются шариковыми гайками. В такой передаче между витками резьбы винта и гайки расположены шарики, которые заменяют трение скольжения на трение качения и многократно уменьшают сопротивление передачи и увеличивают срок ее службы.

Электронный архив УГЛТУ

Рис. 4. Шарико-винтовая передача

2.2.5. Двигатели ходовых винтов

В станках с ЧПУ для выполнения перемещений по осям с помощью ходовых винтов применяются шаговые электродвигатели или серводвигатели. Шаговый двигатель – это электромеханическое устройство, преобразующее сигнал управления в угловое (или линейное) перемещение ротора с фиксацией его в заданном положении без устройства обратной связи [2].

На каждый сигнал управления ротор шагового двигателя поворачивается на угол 30° или 60°. Количество электрических импульсов по заданной величине линейного перемещения рассчитывается компьютером, и затем импульсы подаются на шаговый двигатель.

Простота конструкции и легкость управления, возможность работы без обратной связи – основные факторы, повышающие потребность в шаговых электродвигателях при изготовлении станков с ЧПУ.

Однако у них есть и недостатки. При недостаточной мощности возможен сбой шагов, ротор может не повернуться, в результате произойдет сбой точности обрабатываемой поверхности.

Серводвигатели. Современные высокоточные станки с ЧПУ оснащаются для привода ходовых винтов не шаговыми электродвигателями, а серводвигателями. Это разновидность шагового двигателя с небольшой инерционностью вала. Управляется сервомотор посредством импульсного сигнала и отличается быстродействием срабатывания. Серводвигатели работают гладко, имеют хорошие характеристики, но ими трудно управлять. Для их работы необходимы устройства обратной связи, что приводит к повышению стоимости станка.

Электронный архив УГЛТУ

2.2.6. Главный шпиндель

В современных фрезерных станках шпиндель, называемый осью С, расположен вертикально, имеет мощность до 15 кВт с регулируемой частотой вращения до 24000 мин$^{-1}$. Он установлен на высокоточных подшипниковых опорах.

Шпиндель станка с ЧПУ выполняется точным, жестким, с повышенной износостойкостью шеек, посадочных и базирующих поверхностей. Конструкция шпинделя значительно усложняется из-за встроенных в него устройств автоматической установки и зажима инструмента.

Точность вращения шпинделя обеспечивается, прежде всего, высокой точностью изготовления подшипников.

В опорах шпинделей применяют подшипники качения. Для уменьшения влияния зазоров и повышения жесткости опор обычно устанавливают подшипники с предварительным натягом или увеличивают число тел качения.

На шпинделе может быть установлена также любая агрегатная головка с режущим инструментом, крепление при этом осуществляется с помощью стыковочного узла и гидравлической зажимной системы.

Корпус шпинделя с помощью цилиндрической зубчатой передачи с управляемым приводом может поворачиваться вокруг горизонтальной оси на угол в диапазоне 0 … 360°. Это дает возможность развернуть агрегатную головку на любой заданный угол. Поворот ее производится автоматически с высокой точностью по управляющей программе.

Приводом главного движения в станках с ЧПУ обычно используется электродвигатель переменного тока. Для управления частотой вращения вала асинхронного двигателя применяется преобразователь частоты. Преобразователь представляет собой электронное устройство, построенные на базе микропроцессорной техники. Управление частотой вращения режущего инструмента достигается автоматически после введения параметров электродвигателя в программу управления.

Электронный архив УГЛТУ

2.2.7. Магазин инструментов

Сменный режущий инструмент и агрегатные головки хранятся в тарельчатом магазине. На обрабатывающих центрах используются восьми- или восемнадцати позиционные магазины. Магазин перемещаются вместе с суппортом центра по координатным осям X и Y. Для этого магазин соединен с суппортом тягой. В магазине могут храниться инструменты для горизонтальных и вертикальных сверлильных шпинделей, расположенных по оси X, агрегата для выборки пазов, горизонтальных сверлильных шпинделей, ориентированных по оси Y, и главного шпинделя. Позиционирование суппорта осуществляется с помощью лазерного луча.

2.2.8. Система обратной связи

Система обратной связи обеспечивает систему управления информацией о реальном перемещении механизмов станка и скорости их перемещений. Используя для привода ходовых винтов серводвигатели, в станке обеспечивается обратная связь (рис. 5). Серводвигатель перемещает с помощью ходового винта рабочий стол станка, который перемещается относительно датчика обратной связи. Система обратной связи выполняет постоянное сравнение фактического перемещения с заданным и производит необходимую коррекцию [2].

Устройство обратной связи включает прозрачную линейку (рис. 6) со штрихами. На подвижном столе установлен источник света и фотодатчик, считывающий штрихи при перемещении стола и передающий импульсы на счетчик. Такое устройство отличается простотой конструкции линейки, и простотой обнуления счетчика.

При работе система обратной связи следит за перемещением и подает напряжение на двигатель до тех пор, пока мимо датчика не пройдет заданное количество штрихов.

Электронный архив УГЛТУ

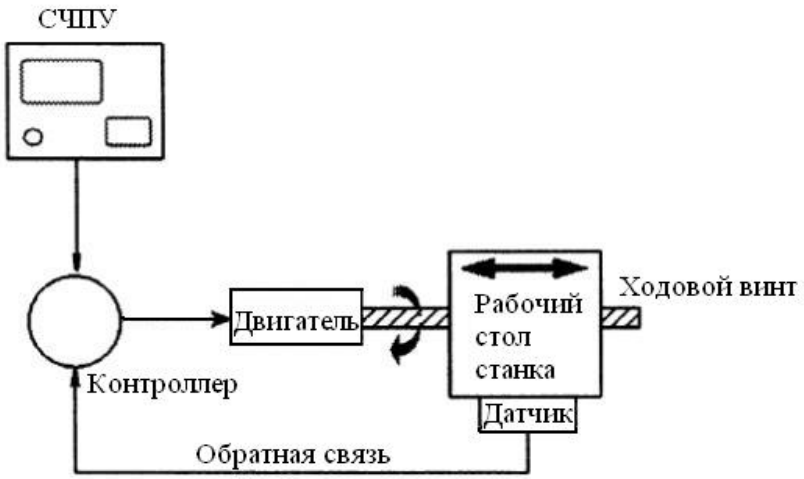

Рис. 5. Система ЧПУ с обратной связью

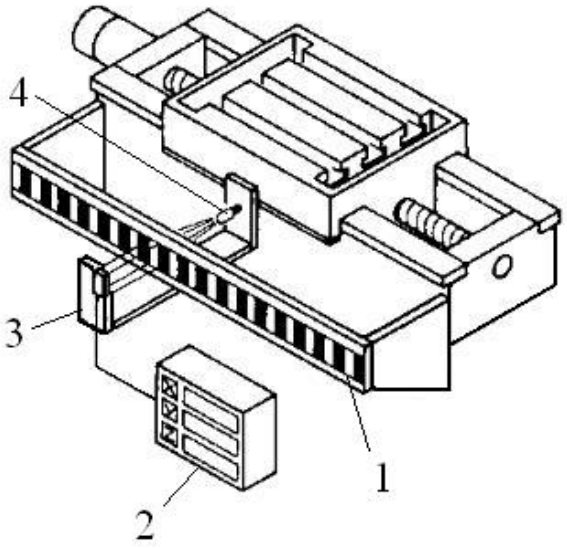

Рис. 6. Схема устройства обратной связи:
1 – линейка; 2 – счетчик импульсов; 3 – фотодатчик; 4 – источник света

2.3. Управление станком

Для автоматического управления работой станка завод изготовитель оснащает станок специальной программой. Например, для управления работой станка BEAVER-9AT на компьютер рекомендуется установить программу контроля движения VicStudioTM и карту контроля движения. Кроме того, станок снабжается калибровочным блоком для выполнения автоматической калибровки (установки торцовых режущих кромок фрезы на заданную высоту). Блок выполнен в

Электронный архив УГЛТУ

виде металлической пластинки толщиной 4 мм, подключенной кабелем к гнезду, расположенному на верхней части шпинделя.

Программа VicStudioTM поддерживает G коды, обеспечивает ручное управление станком, пошаговый или автоматический возврат к машинному началу координат, отслеживает динамический тренинг перемещений на экране, выполняет автоматическую калибровку шпинделя по оси Z. Программа VicStudioTM включает большое количество мелких подпрограмм, обращение к которым обеспечивает выполнение того или иного режима работы станка.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите определение понятий «станок с ЧПУ» и «обрабатывающий центр».
2. Изобразите кинематическую схему станка с ЧПУ.
3. Перечислите основные функциональные механизмы станка с ЧПУ.
4. Изобразите конструкцию рельсовой направляющей станка с ЧПУ.
5. Дайте характеристику главного шпинделя.
6. Дайте характеристику разрешающей способности и дискретности системы ЧПУ станка.
7. Какую роль выполняет система обратной связи в работе станка, как она конструктивно выполнена?
8. В стойке станка изготовителем установлены программы, обеспечивающие функционирование системы ЧПУ. Для чего нужны эти программы?

Урок 3

Программа VicStudioTM

3.1. Окно программы VicStudioTM

Включение и выключение станка выполняется с помощью пульта управления, на котором расположены выключатель питания (зеленая кнопка), ручка контроля скорости вращения шпинделя, выключатель аварийной остановки и пятнадцати иголочная штепсельная вил-

Электронный архив УГЛТУ

ка, соединенная с картой контроля движения, установленной внутри компьютера.

Для выполнения операций ознакомительного пуска станка с ЧПУ необходимо, чтобы компьютер был подключен к станку на панели управления, а на компьютер были предварительно установлена карта контроля движения и инсталлирована программа VicStudioTM.

Включаем компьютер. На рабочем столе находим ярлык программы VicStudioTM. Двойным щелчком на ярлык запускаем программу. Ниже изображено окно VicStudioTM (рис. 7).

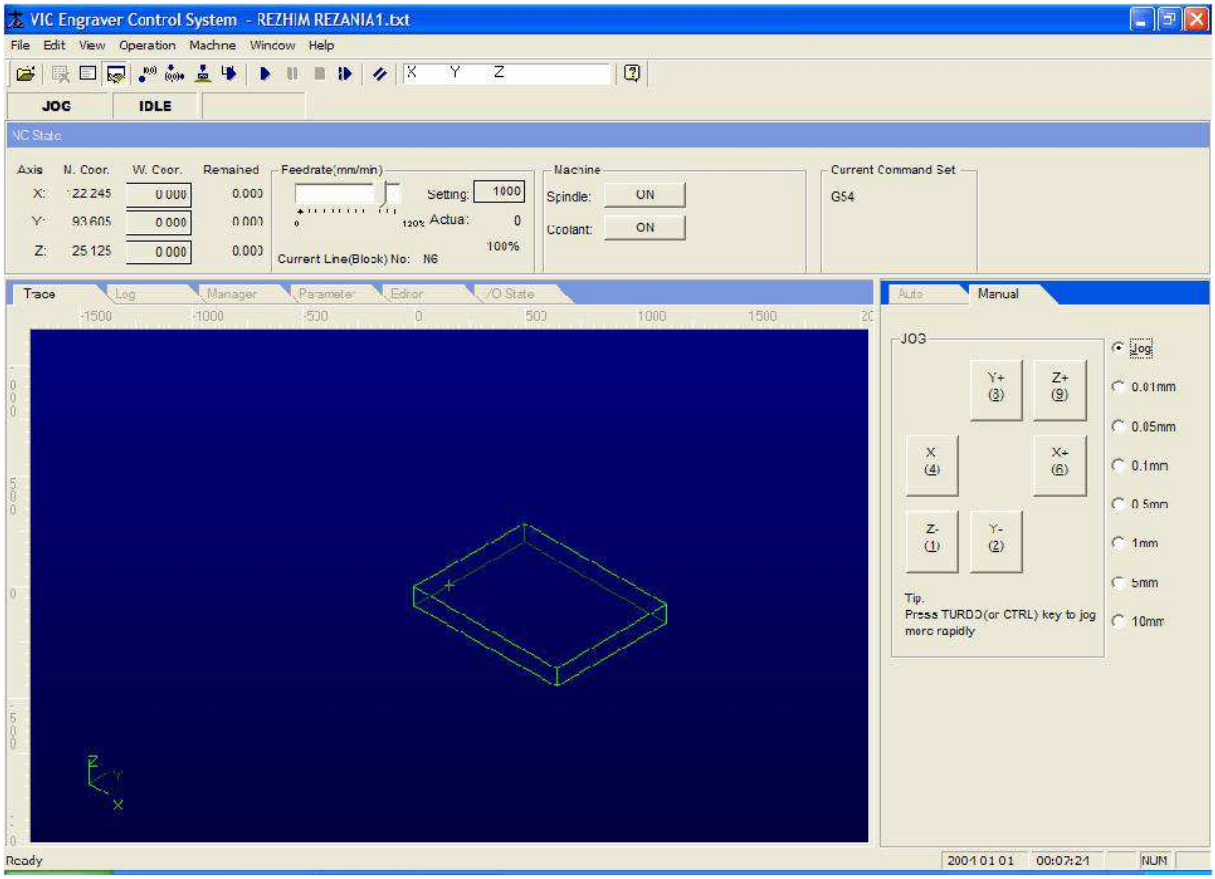

Рис. 7. Окно программы VicStudioTM

В первой строке окна отражен заголовок программы, с которой сейчас работает оператор – это REZHIM REZANIA1.txt.

Ниже расположены строки меню и панели инструментов. На панели инструментов расположены кнопки:

– ▶ – прямоугольник с треугольником – кнопка simulate (имитация), позволяет проверить правильность написания программы без включения станка;

Электронный архив УГЛТУ

– ▲ – start (F9) (пуск) – вызывает перемещение шпинделя станка по управляющей программе;

– ❚❚ – pause (F10) (пауза);

– ■ – force to stop (F11) (принудительная остановка);

– :► – resume (F8) (резюме, возобновление, продолжение);

– // – reset (Ctrl+F12) (сброс, переустановка, обнуление).

В средней части окна программы VicStudioTM расположено широкое окно состояния. В нем отражаются оси (axis) координат станка X, Y, Z , положение шпинделя станка в машинной системе координат (M. Coor) и в системе координат управляющей программы (W.Coor). Здесь же расположены кнопки включения (ON) шпинделя (spindel) и его охлаждения жидкостью (coolant).

Слева внизу расположено большое по площади функциональное окно. В нем при включенной кнопке «Trace» показан стол станка и на нем крестиком отражено положение шпинделя в машинной системе координат. Сделайте несколько кликов (до 10) мышью по окну. Вы заметите, что размеры стола увеличиваются или уменьшаются. Стол можно увидеть полностью. Если в окно VicStudioTM загрузить управляющую программу (это сделаем потом), а затем нажать кнопку имитации, то на столе будет начерчена замкнутая линия обрабатываемого контура детали. Сравнивая эту линию с чертежом детали, можно судить о правильности написанной управляющей программы.

3.2. Ручное управление

Справа внизу окна VicStudioTM расположено окно автоматического или ручного управления. Щелкая мышью на кнопки auto (автоматическое) или manual (ручное), мы делаем активными окна автоматического или ручного управления. На рис. 7 активным является окно ручного управления. В нем показаны кнопки, положение которых похоже на расположение клавиш малой клавиатуры. Посмотрите на клавиши малой клавиатуры компьютера. Обратите внимание, клавиши 2 и 8 стрелками указывают на направление перемещения шпинделя по оси Y, клавиши 4 и 6 – по оси X, а клавиши 1 и 9 – по оси Z. Управлять перемещением шпинделя можно как клавишами малой клавиатуры, так и кнопками окна ручного управления.

Электронный архив УГЛТУ

Справа в окне столбиком расположены шаги дискретных перемещений jog, используемые при инкрементном режиме работы. Выберем шаг перемещения, например, 1 мм. Для этого мышью щелкнем по окружности, в результате в ней обозначится точка, шаг становится активным.

Сейчас с помощью кнопки пуск включим станок. Послушаем характерный звук. Теперь мышью кликнем по кнопке X или Y. Шпиндель переместится по соответствующим осям строго на заданную величину перемещения (1 мм). Таким образом, в *инкрементном режиме* работы постарайтесь переместить шпиндель в центр стола.

Перемещение шпинделя можно выполнить также в ручном *толчковом режиме* работы, используя клавиши малой клавиатуры. Например, кратковременно нажмите клавишу 6 малой клавиатуры. Шпиндель станка переместится по оси X на некоторую величину. Сделайте это же для перемещения по другим осям. Так выполняется толчковое перемещение. Теперь подержите клавишу непрерывно в течение 2..4 секунд и заметите непрерывное перемещение шпинделя. Потренируйтесь. Попытайтесь перевести шпиндель в середину стола или какую-нибудь другую точку.

Контрольные вопросы и задания

1. Покажите на компьютере как открыть программу VicStudioTM. Для чего нужна эта программа?

2. Покажите, какие строки и окна имеются в окне программы VicStudioTM.

3. Покажите, как можно вручную управлять перемещением шпинделя при инкрементном и толчковом режимах работы.

Электронный архив УГЛТУ

Урок 4

Системы координат

4.1. Система координат станка

Любая точка траектории перемещения инструмента определяется тремя координатами в прямоугольной системе координат. Для станков с ЧПУ такая система координат, рекомендована Международной организацией по стандартизации (ISO). Число координатных осей, их расположение в пространстве и начало отсчета (нулевая точка станка) устанавливаются производителем станка и не подлежит изменению пользователем. Система координат станка является основной расчетной системой для ЧПУ, в которой определяются все перемещения, начальные и текущие положения исполнительных органов станка.

Для этого при изготовлении станка в ближнем левом углу стола устанавливается нулевая точка, в которой условно помещается начало прямоугольной декартовой системы координат с осями абсцисс *X*, ординат *Y*, аппликат *Z* (рис. 8). Оси координат располагаются параллельно физическим осям (направляющим) станка. Ось X – в основном всегда проходит слева направо относительно рабочего места оператора.

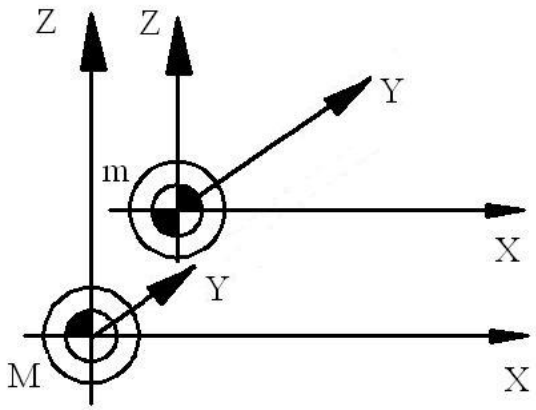

Рис. 8 . Координатные оси станка

Система координат является правосторонней. Ее начало расположено в точке ***M***, система называется машинной (англоязычное обозначение MCS – machine coordinate system). Эта точка в технической

Электронный архив УГЛТУ

документации обозначается пиктограммой и буквой латинского алфавита *M*. Машинная система координат системой ЧПУ станка не распознается.

Действительное перемещение по координатным осям ограничено конечными переключателями, установленными в крайних точках каждой физической оси (направляющих) станка. После включения станка система ЧПУ позволит определить контрольную точку **m**, которая будет служить отправной точкой в системе измерений. Контрольная точка **m** служит началом координат станка и может не совпадать с точкой **M**. Таким образом, нулевая точка станка **m** - это физическая позиция, установленная производителем станка при помощи концевых выключателей или датчиков и не подлежит изменению пользователем. В этой точке расположено начало координат станка. От этой точки происходит отсчет перемещений.

Когда шпиндель приходит в нулевую точку станка, происходит замыкание контактов конечных выключателей, система ЧПУ получает электрический сигнал и машинная позиция обнуляется.

4.2. Направления осей координат

Положительные направления осей определяются правилом правой руки. Если правую руку положить на стол ладонью вверх и три первых пальца постараться расположить перпендикулярно друг другу, то получим: большой палец укажет положительное направление оси X, указательный палец – положительное направление оси Y, средний палец – оси Z (рис. 9).

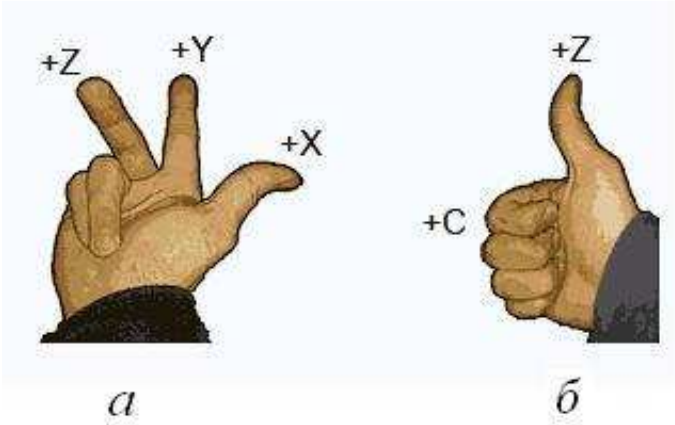

Рис. 9. Правило правой руки для определения направления:
а – осей координат станка; *б* – вращения вокруг осей

Электронный архив УГЛТУ

Ось главного шпинделя станка, независимо от того, как он расположен – вертикально или горизонтально, всегда совпадает с осью координат Z. Для определения положительного направления вращения шпинделя тоже пользуются правилом правой руки. Если большой палей правой руки расположить по направлению оси Z, то остальные согнутые пальцы покажут положительное направление вращения шпинделя.

4.3. Система координат детали

Система координат детали является главной системой для программирования обработки и назначается чертежом или эскизом детали. Система координат детали задается технологом или программистом при разработке технологии изготовления детали на станке с ЧПУ. Она имеет свои оси координат, свое начало отсчета, относительно которого определены все размеры детали и задаются координаты всех опорных точек контуров детали. Точку начала координат детали называют **нулем детали** или **нулевой точкой детали** и обозначают символом *W*. В системе координат детали пишется управляющая программа для обработки детали на станке.

Нулевая точка детали не имеет постоянных координат. Каждый раз при изменении профиля детали нулевая точка детали назначается заново в зависимости от конфигурации детали, технологии обработки и удобства наладки станка.

Нуль детали принято обозначать пиктограммой и прописной буквой W, которые указывают в технической документации и на станке.

При выборе начала координат детали на чертеже следует руководствоваться следующими рекомендациями.

1. Необходимо обеспечить удобство, упрощение расчета траектории по опорным точкам чертежа. Например, если чертеж детали поместить в первом квадранте системы координат, то все значения координат опорных точек траектории будут положительными по знаку. Упрощается их расчет.

2. Начало координат детали должно быть расположено на базовой поверхности чертежа, в базовой точке, от которой проставлены

Электронный архив УГЛТУ

размеры чертежа. Если размеры проставлены от геометрических осей чертежа, то нулевую точку программы следует поместить в точку пересечения этих геометрических осей. Если размеры проставлены от верхнего левого угла детали, то в этой точке следует разместить и начало координат детали.

3. Из практических соображений ноль детали часто совмещают с точкой, расположенной в левом нижнем угле детали в плоскости XY. По оси Z – ноль детали размещают на верхней плоскости детали.

4.4. Взаимосвязь систем координат

Для обработки детали на станке заготовку кладут на стол в произвольно выбранное место так, чтобы она не выходила за пределы стола, и чтобы удобно было ее фиксировать. При этом стремятся, чтобы ось X детали располагалась параллельно оси X станка.

После закрепления заготовки ноль детали W для системы ЧПУ находится в неизвестном положении (рис. 10). Для нормального функционирования станка необходимо привязать ноль детали к системе координат станка. Для этого в режиме ручного управления клавишами 4, 6, 2, 8 и 1, 9 малой клавиатуры компьютера, например, перемещают шпиндель в точку, где расположено начало системы координат детали W. Перемещая шпиндель по оси Z, касаемся слегка верхней поверхности детали в точке W. Затем, нажимая клавиши обнуления, выполняем Zero X, Zero Y и Zero Z. В выбранной точке все координаты стали равны нулю. Так создается *рабочая система координат*, в которой нуль детали привязан к машинной системе координат. Начало координат рабочей системы можно назвать *нулем программы*. Относительно этого нуля производятся все перемещения, указанные в программе.

Расстояние между нулем станка M и нулем детали W на столе станка (рис. 10) называется смещением нуля отсчета. Оно определяется как смещение по каждой из трех осей координат и обозначается как X_W, Y_W и Z_W. Численные значения смещения нуля системой ЧПУ автоматически учитываются при определении координат машинной системы координат. Используя рабочую систему, удается расчетным

Электронный архив УГЛТУ

путем определить машинные координаты для всех точек траектории детали.

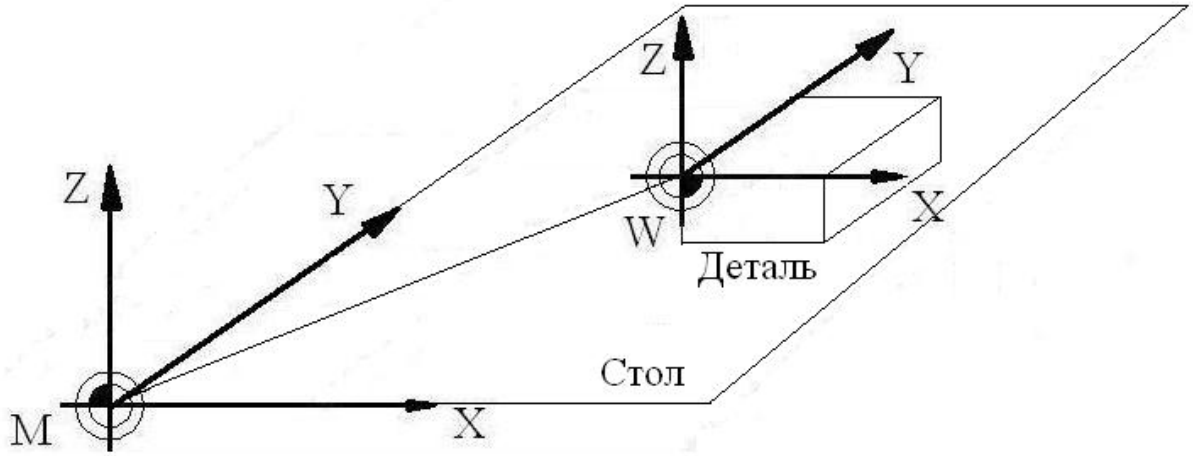

Рис. 10. Положение нулевых точек
станка M, детали W

Начало координат рабочей системы, в которое помещен с ноль детали, можно выбрать в любой точке стола станка, лишь бы деталь и перемещения режущего инструмента не выходили за габариты стола.

Таким образом, новое начало координат рабочей системы (нуль программы) служит стартовой точкой отсчета перемещений режущего инструмента по траектории обработки. При этом оба набора координат машинный и детали, по которой написана программа, взаимосвязаны и приращения, полученные в рабочей системе, автоматически учитываются.

Для удобства обработки, на УЧПУ может храниться информация о нескольких рабочих системах координат. Чтобы отличать одну от другой им присваиваются имена. Например, G54, G55, G56 и т.д.

4.5. Система координат режущего инструмента

Система координат режущего инструмента предназначена для задания ориентации и положения его режущей части относительно патрона в момент обработки в машинной координатной системе. Началом отсчета координатной системы инструмента является точка, от которой начинается запрограммированное перемещение рабочего инструмента. Эта точка называется **нулем инструмента** или **нулем об-**

Электронный архив УГЛТУ

работки. Размеры инструмента задают по отношению к фиксированной точке, в которой происходит его зажим в патроне. Нулевую точку обозначают символом ***T*** (рис. 11) [6].

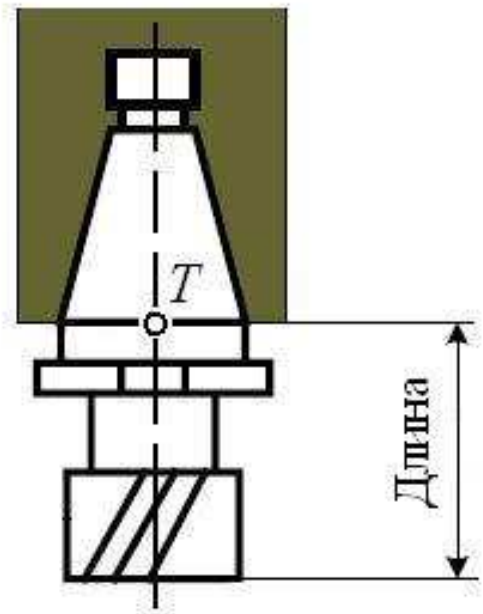

Рис. 11. Система координат режущего инструмента

Нулевая точка инструмента ***T*** является базовой точкой станка. Положение этой точки на станке устанавливается производителем и не подлежит изменению.

При смене режущего инструмента, длина которого изменилась, производят определение его длины относительно верхней поверхности детали. Для этого на деталь кладут калибровочный датчик, имеющий форму пластинки, или лист бумаги. Открывают окно ручного управления и с помощью клавиш малой клавиатуры для оси Z Page Up/Page Down подводят торцовую режущую кромку фрезы до контакта с заготовкой.

Если фреза коснется датчика, то датчик автоматически зафиксирует момент касания.

Если фреза подводится к бумаге, то надо, перемещая бумагу по поверхности детали, определить момент, когда бумага будет зажата. Полученные по системе индикации станка данные, автоматически заносятся в позицию оси Z окна управления. После этого нажимают клавишу обнуления системы отсчета координат по оси Z. Ноль детали по оси Z установлен.

Электронный архив УГЛТУ

4.6. Фиксированная точка станка

Фиксированная точка станка определяется относительно нулевой точки станка и используется для определения положения шпинделя станка в момент снятия обработанной детали со стола, установки новой заготовки, в момент замены режущего инструмента. Это точка безопасности. Точка безопасности должна находиться в крайнем верхнем положении по оси *Z*. Из этой точки фреза, при работе управляющей программы, перемещается в точку начала обработки заготовки.

Контрольные вопросы и задания

1. Какую роль выполняет система координат станка? Ноль станка. Укажите местонахождения нуля станка.
2. Как направлены оси системы координат станка?
3. Какие системы координат различают в станке с ЧПУ?

Урок 5

Основы программирования

5.1. Общие сведения

На каждую деталь, обрабатываемую на станке с ЧПУ, составляется управляющая программа, в которой отражаются все геометрические и технологические требования, необходимые для обработки. В геометрической информации указываются координаты опорных точек контура детали, траектории перемещения режущего инструмента. В технологической информации приводится частота вращения и скорость подачи режущего инструмента, а также параметры инструмента.

Управляющая программа записывается на языке кодирования в виде набора кадров, расположенных в заданной последовательности, обеспечивающей необходимое функционирование рабочих органов станка. Программа устанавливает последовательность выполнения

Электронный архив УГЛТУ

технологических операций при автоматическом режиме работы станка.

Управляющая программа – совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки

Язык программирования обычно называют языком **ISO 7-bit** или языком G и M кодов. Коды разработаны международной организацией стандартов для всего мира и отражены в стандарте ISO 6983-1:1982 и ГОСТ 20999-83. Коды состоят из двоичных чисел с 7 информационно несущими двоичными разрядами.

В практической работе технолога программиста используется три способа создания управляющих программ:

– ручное программирование, необходимое для всех программистов, освоение которого создает базу для использования других способов программирования;

– программирование на стойке ЧПУ при помощи клавиатуры и дисплея;

– программирование при помощи CAD/CAM системы, позволяющее автоматизировать процесс написания программы любой сложности, избавиться от трудоемких математических расчетов, повысить точность и ускорить процесс написания программы.

5.2. Структура управляющей программы

Для обработки какого-либо участка заготовки на станке с ЧПУ необходимо выполнить несколько команд, объединенных в кадр. Управляющая программа записывается в виде символа начала программы % и набора таких кадров [3], которые исполняются системой ЧПУ последовательно друг за другом. При этом в кадр записывается только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру.

Кадр представляет собой часть управляющей программы, вводимой и отрабатываемой как единое целое и содержащей не менее одной команды (ГОСТ 20523-80). Под кадром понимают некоторую совокупность слов данных, расположенных в определенном порядке, которые несут вспомогательную, геометрическую и технологическую

Электронный архив УГЛТУ

информацию. Информация кадра необходима для выполнения подготовительных или рабочих действий исполнительных органов станка. Подготовительные действия подготавливают выполнение или завершение рабочего действия. Рабочие действия обеспечивают перемещение режущего инструмента по заданной траектории. Структура одного кадра показана на рис. 12.

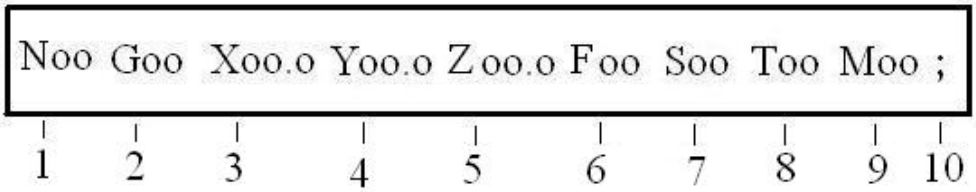

Рис. 12. Структура одного кадра:
1 – порядковый номер кадра; 2 – слово подготовительной функции;
3, 4, 5 – координаты точки траектории перемещения по осям X, Y, Z, мм;
6 – скорость подачи, мм/мин; 7 – частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$;
8 – номер инструмента в магазине станка; 9 – вспомогательная функция;
10 – символ конца кадра.

Каждый кадр должен содержать слово «Номер кадра» (N), информационные слова и слово «Конец кадра». Кадр состоит, как минимум, из номера и одной команды, например N30 M30;.

Информационные слова данных записываются в такой последовательности:

– слова данных подготовительных функций;

– слова данных линейных перемещений с последовательностью адресов X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C;

– слова данных интерполяции I, J, K;

– слова данных подачи, функций главного движения, инструмента и вспомогательгой функции.

Управляющую программу можно набирать на компьютере в текстовом редакторе «Блокнот». Каждый кадр программы набирается с новой строки. При переводе строки с помощью клавиши «Enter» указывается невидимый код окончания строки, который выступает как код окончания кадра. В связи с этим, символ окончания кадра (;) при наборе программы в текстовом редакторе «Блокнот» можно не указывать [2].

Электронный архив УГЛТУ

Слово данных является базовым элементом текста управляющей программы. Слово состоит из адреса и цифры, например G91, M30, X10 и т.д. Буквенная составляющая слова в теории ЧПУ называется адресом, потому что она определяет «назначение следующих за ним данных, содержащихся в этом слове» (ГОСТ 20523-80).

Например:

– S6000 (в качестве адреса используется первая буква английского слова ***speed*** «скорость», а данные – частота вращения шпинделя 6000 мин$^{-1}$);

– F1000 (скорость движения подачи описана словом F – первой буква английского слова ***feed*** «подача» и данными 1000 мм/мин);

– T2 (в слове использована первая буква английского слова ***tool*** «инструмент», а данные 2 указывают в какой ячейке магазина расположен указанный режущий инструмент).

Слова, описывающие перемещения, могут иметь знак (+) или (-). При отсутствии знака перемещение считается положительным. Количество слов в кадре переменно и может изменяться от одного до, например, пятнадцати.

Слова в кадре управляющей программы должны быть записаны в определенном формате (виде и порядке) и соответствовать требованиям конкретной системы ЧПУ. В коде ISO 7-bit используются адреса, приведенные в табл. 1.

В словах целая часть числа отделяется от дробной десятичной точкой. Незначащие нули можно не записывать, например, слово X250.500 можно записать X250.5 [3].

Все линейные перемещения должны быть выражены в миллиметрах и их десятичных долях. Скорость подачи должна задаваться с размерностью мм/мин.

Модальность слов. Слова управляющей программы модальны. Это означает, что если слово записано в одном кадре, то действие его будет распространяться и на последующие кадры до тех пор, пока значение слова в некотором кадре не изменится или пока функция слова не будет выключена. Используя модальность, можно сократить текстовую часть управляющей программы.

Электронный архив УГЛТУ

5.3. Подготовительные функции

На международном рынке станков с ЧПУ известно более 100 различных видов систем с ЧПУ и столько же языков программирования. Большинство из них по своей основе соответствуют универсальному международному языку программирования ИСО-7бит. И все-таки, некоторые производители системы управления вводят свои основные команды, делая язык отличающимся от других вариантов языка. Памятуя об этом, рассмотрим язык программирования ИСО-7бит, изложенный с ГОСТ 20999-83.

Таблица 1

Адреса и их функции

Функция	Адрес	Смысл
Номер кадра	N	Номер кадра
Подготовительная функция	G	Определение вида движения рабочего органа
Размерные слова	X,Y,Z A,B,C,U,V,W I,J,K	Команды на перемещение по координатам стола, по дополнительным осям Расстояние до центра дуги окружности
Величина подачи	F	Задание величины подачи
Частота вращения шпинделя	S	Задание оборотов шпинделя, кода ступени или скорости резания
Номер инструмента	T	Задание номера инструмента для поиска
Вспомогательная функция	M	Указание на двухпозиционное управление (вкл-выкл) на станке
Номер корректора, хранящего данные об инструменте	H D DR	Задание номера корректора инструмента Для коррекции: - на длину, - на радиус, - на скругление.
Пауза	E	Задание величины паузы
Вызов подпрограммы	P	Команда вызова подпрограммы
Радиус дуги окружности	R	Задание радиуса дуги окружности при программировании

Электронный архив УГЛТУ

Подготовительные функции в управляющей программе записывают словами, имеющими адрес G с одно- или двузначным числом. Они подготавливают перемещение режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки, системы координат станка, координатных плоскостей, следят за коррекцией режущего инструмента, вызовом подпрограммы и паузы и т.д. Наиболее часто используемые слова приведены в табл. 2.

Таблица 2

Перечень наиболее часто применяемых кодов подготовительных функций G [3]

Подготовительная функция G	Описание
G00	Линейная интерполяция при ускоренном перемещении
G01	Линейная интерполяция со скоростью подачи
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки
G04	Пауза на P миллисекунд
G06	Параболическая интерполяция, получение дуги параболы
G08	Разгон, увеличение скорости до запрограммированной
G09	Торможение при приближении к запрограммированной точке
G16	Программирование без указания плоскости
G17	Выбор плоскости XY
G18	Выбор плоскости XZ
G19	Выбор плоскости YZ
G21	Обеспечивает ввод перемещений в мм.
G34	Нарезание резьбы с увеличивающимся шагом
G35	Нарезание резьбы с уменьшающимся шагом
G40	Отменяет автоматическую коррекцию на радиус фрезы.
G41	Коррекция на фрезу левая, когда фреза при движении в направлении подачи расположена слева от обрабатываемой поверхности
G42	Коррекция на фрезу правая, когда фреза при движении в направлении подачи расположена справа от обрабатываемой поверхности
G43	Коррекция на положение инструмента положительная, указывает, что значение коррекции надо сложить с координатой, заданной в кадре

Электронный архив УГЛТУ

G44	Коррекция на положение инструмента отрицательная, указывает, что значение коррекции надо вычесть из координаты, заданной в кадре
G49	Отменяет компенсацию длины инструмента.
G53	Отмена смещения нуля, отменяет любую из функций G54… G59
G54	Позволяет системе ЧПУ переключиться на заданную систему координат.
G54… G59	Инициация смещения нуля, смещает нулевую точку детали относительно исходной точки станка
G80	Отменяет все ранее установленные постоянные циклы обработки.
G90	Программирование в абсолютных координатах
G91	Программирование в относительных координатах
G92	Выбор начала координат детали
G93	Скорость подачи в функции обратной времени, число за адресом F равно значению обратному времени в минутах, необходимому для обработки кадра
G94	Программирование подачи в мм/мин
G95	Программирование подачи в мм/оборот
G96	Постоянная скорость резания, число, следующее за адресом S, равно скорости резания в м/мин, при этом частота вращения шпинделя регулируется автоматически для поддержания запрограммированной скорости резания
G97	Программирование частоты вращения шпинделя, об/мин

Примечание. Подготовительные функции G с номерами 04; 53; 92 немодальны, действуют только в том кадре, где указаны.

5.4. Технологическая информация

В управляющей программе описывается не только геометрические параметры движения координат, но и действия других исполнительных органов станка. Технологическая информация содержит слова подачи ***F***, частоты вращения режущего инструмента ***S***, номера инструмента ***T***. В программе предусмотрено еще действие вспомогательной функции ***M***.

Слово данных подачи *F* состоит из адреса *F* и трехзначного числа. Слово устанавливает скорость подачи при обработке заготовки резанием с размерностью мм/мин. Например, *F*120. Это означает, что устанавливается скорость подачи 120 мм/мин.

Электронный архив УГЛТУ

Слово частоты вращения режущего инструмента *S* управляет частотой вращения шпинделя в минуту. Оно включает адрес *S* с указанием числа оборотов в минуту. Указанное слово действует до следующей установки нового слова с адресом *S*, когда изменяется частота вращения шпинделя. Слово с адресом *S* действует даже при неработающем станке. Например, *S*6000. Это означает, что частота вращения режущего инструмента равна 6000 мин$^{-1}$.

Слово данных режущего инструмента *T* состоит из адреса *T* и условного числа любой длины. Первая группа цифр содержит номер инструмента, под которым он хранится в магазине станка. Вторая группа числа указывает номер корректора инструмента. Пример: T0215. Это означает, что инструмент хранится во второй ячейке магазина 02 и номер корректора равен 15. Для записи коррекции (компенсации) диаметра или длины инструмента допускается использовать другой адрес с символами *D* или *H*. Количество цифр, следующих за адресом, должно соответствовать формату конкретного устройства ЧПУ.

Слова данных вспомогательной функции *M* записываются в виде адресного символа М с добавлением от одного до четырехзначного числа после него. Это технологические коды. Они управляют следующими действиями:

– сменить инструмент;

– включить/выключить шпиндель;

– вызвать/закончить подпрограмму.

Функции *M* могут вызывать самые разные действия, но часть их стандартны (табл. 3).

Таблица 3

Вспомогательные функции

Код	Описание
M00	Приостановить работу станка до нажатия кнопки «старт» на пульте управления, так называемый «технологический останов»
M01	Приостановить работу станка до нажатия кнопки «старт», если включен режим подтверждения останова
M02	Конец программы
M03	Начать вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	Начать вращение шпинделя против часовой стрелки

Электронный архив УГЛТУ

M05	Остановить вращение шпинделя
M06	Сменить инструмент
M08	Включить охлаждение шпинделя
M09	Выключить охлаждение шпинделя
M19	Остановить шпиндель в заданной позиции
M30	Конец информации
M98	Вызов подпрограммы
M99	Конец подпрограммы, возврат к основной программе
M3O	Конец программы с возвратом на ее начало

5.5. Контрольные точки траектории движения

Каждое изделие в конструкторской документации изображается чертежом, выполненным по методу прямоугольного проецирования. При этом характерные точки детали, по которым определяются размеры, можно задать координатами в прямоугольной декартовой системе координат на плоскости с координатами *x*, *y* или в пространстве с координатами *x*, *y*, *z*.

На рис. 13*а* показана деталь, в которой выполнен замкнутый паз глубиной 5 мм. Для программирования координаты характерных точек паза можно определить, используя абсолютный или относительный (инкрементальный) способы измерения.

При абсолютном способе измерения координаты точек отсчитываются от общего начала координат (табл. 4).

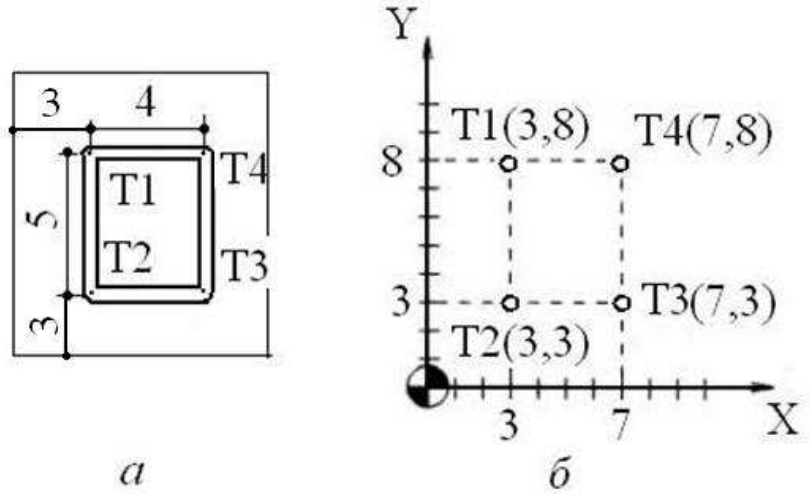

Рис. 13. Программирование траектории в системе координат:
а – чертеж изделия; *б* – отсчет в абсолютных координатах

Электронный архив УГЛТУ

При относительном (инкрементальном) способе измерения начало отсчета постоянно меняется от точки к точке и каждый раз принимает положение, которое занимает исполнительный орган станка перед началом перемещения к следующей точке. Координаты Т1 отсчитываются от общего начала координат, координаты Т2 – от точки Т1, координаты Т3 – от точки Т2, координаты Т4 – от Т3.
Значения относительных координат можно определить по абсолютным координатам по правилу: координата последующей точки находится как разность абсолютных координат последующей и предыдущей точки.

Таблица 4

Опорные точки паза

Точки	Абсолютные координаты		Относительные координаты	
	Координата по оси X	Координата по оси Y	Координата по оси X	Координата по оси Y
Т1	3	8	3	8
Т2	3	3	0	-5
Т3	7	3	4	0
Т4	7	8	0	5

5.6. Интерполяция

Многие деревянные детали имеют сложную форму. При механической обработке их на станке с ЧПУ сложную криволинейную траекторию перемещения режущего инструмента заменяют множеством элементарных отрезков прямых линий и дуг окружности.

5.6.1. Линейная интерполяция

Прямолинейную траекторию перемещения режущего инструмента можно разложить на множество элементарных прямолинейных перемещений, параллельных координатным осям. Такие перемещения в теории ЧПУ называют интерполяциями. Для выполнения таких перемещений система ЧПУ имеет специальный электронный блок – **интерполятор,** обеспечивающий расчет промежуточных точек траектории для выполнения элементарных перемещений.

Электронный архив УГЛТУ

Интерполятор сначала рассчитывает уравнение прямой линии по координатам двух точек (начальной и конечной точек траектории). Затем принимается значение x = 0,01 мм и по уравнению прямой линии находится значение y. Затем значения x и y реализуются в перемещения по осям X и Y. Далее процесс многократно повторяется. Таким образом, линейная интерполяция выполняется множеством мелких перемещений попеременно по каждой из линейных осей.

Ступенчатое перемещение режущего инструмента при движении от стартовой точки, например, Т1 к заданной точке Т2 при малой величине шага приближается к движению по прямой линии. Можно считать, что станок перемещает инструмент прямолинейно. Шаг интерполяции для различных станков равен 0,001 мм или 0,01 мм (рис. 14). На рисунке для отработки прямой на ось *Y* посылается один импульс, а на *X* - два импульса. Значение *d* определяет отклонение от заданной геометрии. Однако при небольшом шаге перемещений на один импульс итоговую ломаную кривую можно считать плавной.

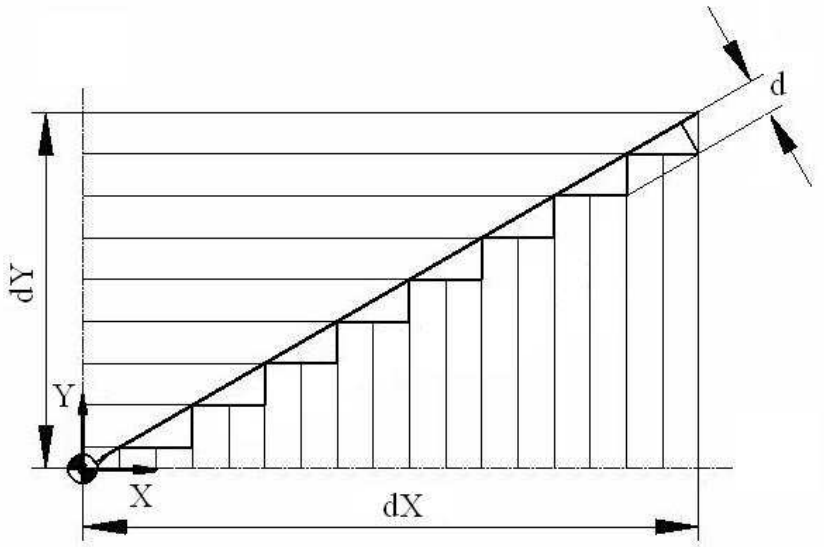

Рис. 14. Линейная интерполяция

Таким образом, линейная интерполяция представляет собой совместное движение рабочего органа одновременно по направлению двух осей для получения прямолинейной траектории перемещения с рабочей подачей. Для этого в соответствующем кадре управляющей программы указывается код G01 – код линейной интерполяции. Указанный код считывается, распознается интерполятором системы ЧПУ и по нему выполняются расчеты координат промежуточных точек

Электронный архив УГЛТУ

траектории и количество импульсов, посылаемых на шаговые двигатели соответствующих осей координат. Для кода G01 в кадре указывается значение скорости подачи.

Движение может быть ускоренным, например, в период холостого хода, что обеспечивается кодом G00. Для кода G00 скорость подачи в кадре не указывается.

Таким образом, система ЧПУ станка выполняет линейную интерполяцию автоматически, точно вычисляя серию малых перемещений вдоль линейных осей, обеспечивая реальное линейное перемещение.

5.6.2. Круговая интерполяция

При обработке деталей из древесины часто приходится выполнять элементы в виде окружности или дуги окружности. Для этого в системе ЧПУ используются коды G02, G03, коды круговой интерполяции по направлению движения часовой стрелки и против часовой стрелки соответственно [5]. Для определения направления кругового движения надо условно поставить себя на одну из осей на некотором положительном расстоянии от начала координат и, глядя на начало координат, определить направление движения по часовой или против часовой стрелки (рис. 15).

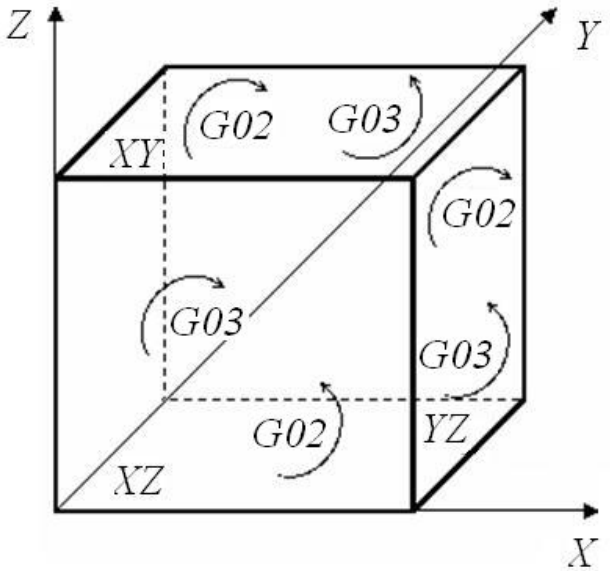

Рис. 15. Задание круговых перемещений
в плоскостях XY, XZ, YZ

Электронный архив УГЛТУ

Для программирования круговой интерполяции в плоскости XY используется код G17, в плоскости XZ – G18, в плоскости YZ – G19.

При перемещении по дуге окружности выполняется линейная аппроксимация, когда дуга заменяется короткими прямыми отрезками, а последние – ступеньками, стороны которых параллельны осям координат. Таким образом, дуга окружности заменяется ступенчатой линией, которая при малости шага ступенек близка по форме к дуге (рис. 16).

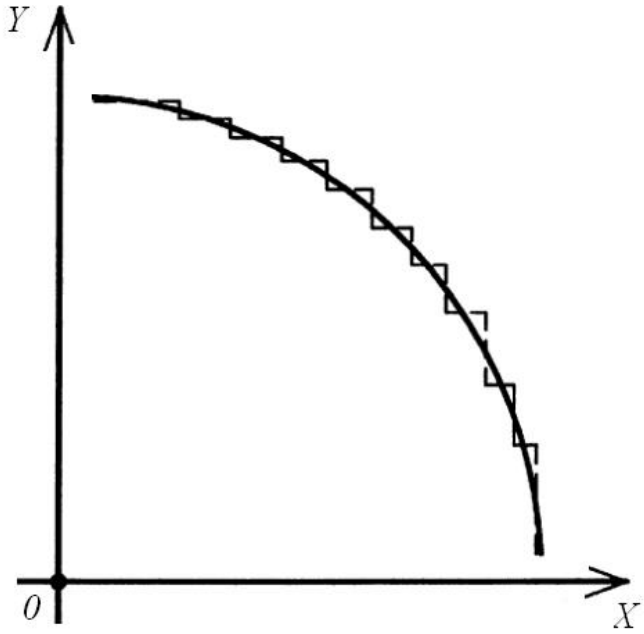

Рис. 16. Круговая интерполяция

Система ЧПУ самостоятельно определяет величину каждого элементарного перемещения, соблюдая ряд требований:

– отклонение траектории элементарного перемещения от траектории дуги окружности не должно превышать 15-25% поля допуска обрабатываемой дуги;

– поочередные элементарные перемещения по координатным осям должны быть согласованы между собой так, чтобы они одновременно начались в стартовой точке и одновременно прекратились в конечной точке перемещения.

При программировании окружность задают радиусом или координатами ее центра.

Электронный архив УГЛТУ

5.7. Способы программирования окружности и ее элементов

5.7.1. Способ 1 – по радиусу окружности

Пусть на чертеже изделия заданы координаты начальной точки $A(x_н y_н)$ и конечной точки $B(x_к y_к)$, через которые проходит дуга окружности радиуса R (рис. 17).

Через указанные точки можно провести две окружности с центрами в точках O_1 и O_2, расположенных справа и слева от прямой линии AB и значениями радиуса $\pm R$.

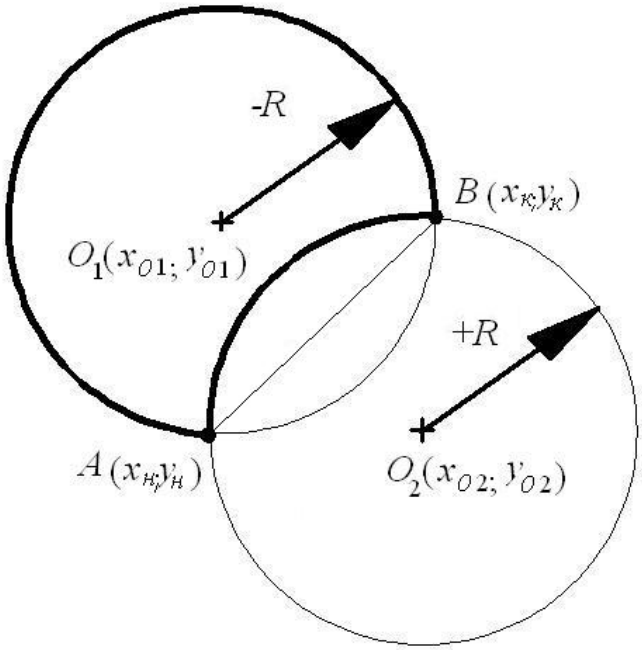

Рис. 17. Положение дуги окружности, проходящей через две заданные точки

Проведем хорду AB, которая отсекает от площади круга сегмент, и запомним следующие правила.

Если сегмент меньше полукруга и центр окружности расположен вне сегмента, то радиус окружности принимается со знаком плюс (+).

Если сегмент больше полукруга и центр окружности расположен внутри сегмента, то радиус окружности принимается со знаком минус (-).

Электронный архив УГЛТУ

Если значение *AB* равно диаметру круга (дуга окружности опирается на угол 180°), то значение *R* принимается со знаком плюс (+).

При программировании дуги указывается ее конечная точка и значение радиуса.

5.7.2. Способ 2 – по координатам центра

Для программировании окружности или ее дуги часто центр окружности задают относительными (инкрементальными) координатами дополнительных осей *I, J, K*, расположенных вдоль осей *X, Y, Z* соответственно. Параметры осей *I, J, K* устанавливают расстояние между начальной точкой *A* и центром *M* дуги окружности. Знак определяется направлением вектора от *A* к *M*.

Для описания дуги окружности задают координаты конечной точки и с помощью осей *I, J, K* определяют относительные координаты центра окружности. Для этого начальную точку соединяют радиусом-вектором с центром окружности и определяют координаты и знак конца вектора.

5.7.3. Примеры

Ниже приведены примеры написания кадра программы при проектировании различных дуг окружности.

Пример 1. Дано. Дуга окружности АВ (рис. 18*а*).

Решение по способу 1. Начальная точка А. Условно проведем хорду *AB*. Сегмент, часть круга, отсекаемая хордой, меньше полукруга, центр круга расположен вне сегмента, следовательно, радиус окружности имеет знак плюс (+). Кадр управляющей программы будет иметь вид:

N20 G17 G03 X10.0 Y0.0 R10;.

В кадре записано: N20 – порядковый номер; G17 – интерполяция в плоскости *XY*; G03 – перемещение режущего инструмента против часовой стрелки; X10.0, Y0.0 – координаты конечной точки *B*; R10 – величина радиуса дуги окружности.

Электронный архив УГЛТУ

Решение по способу 2. Из начальной точки А проведем радиус-вектор к центру дуги окружности и найдем координаты радиус-вектора. Получим X=0, Y=+10. Кадр:

N20 G17 G03 X10.0 Y0.0 I 0.0 J+10;.

В кадре записано: N20 – порядковый номер; G17 – интерполяция в плоскости *XY*; G03 – перемещение режущего инструмента против часовой стрелки; X10.0, Y0.0 – координаты конечной точки *B*; I 0.0 – координата центра окружности по оси *I*, параллельной оси X; J+10 – координата центра окружности по оси *J*, параллельной оси *Y*.

Пример 2. Дано. Дуга окружности АВ (рис. 18*а*). Начальная точка *B*.

Решение:

– по способу 1: условно проводим хорду ВА; отсеченный сегмент, часть круга меньше полукруга, центр окружности О расположен вне сегмента (для *R* знак +), тогда получим следующий кадр:

N20 G17 G02 X0.0 Y-10.0 R10;

– по способу 2: записываем координаты конечной точки А – X0.0 Y-10.0; проводим радиус-вектор ВО и по нему с помощью осей *I, J* относительно точки В записываем координаты центра О (-10, 0):

N20 G17 G02 X0.0 Y-10.0 I -10.0 J0;,

где G02 – код, учитывающий перемещение режущего инструмента по часовой стрелке.

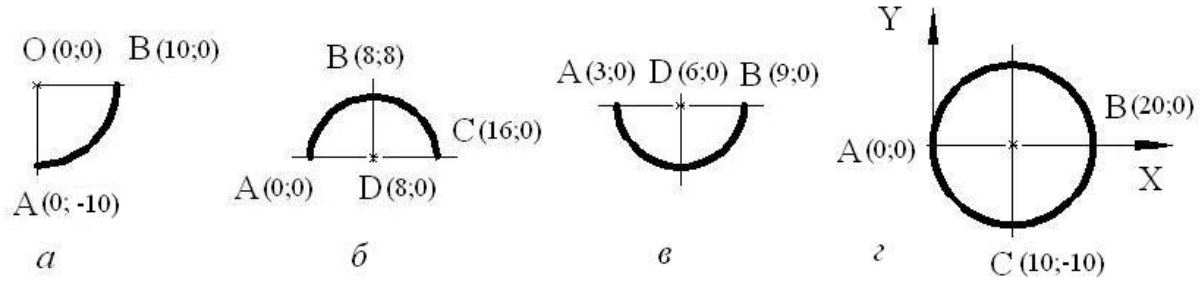

Рис. 18. Примеры программирования окружностей

Пример 3. Дано. Дуга окружности АВС (рис. 18*б*). Начальная точка А.

Решение по способу 1. Дугу АВС можно разбить на две дуги: АВ и ВС с радиусом 8 мм. Условно проведем хорды АВ и ВС. Отсе-

Электронный архив УГЛТУ

ченные ими сегменты меньше полукруга и центр окружности расположен вне сегментов, следовательно, радиус принимается со знаком плюс (+). Кадры:

– для дуги AB N25 G17 G02 X8.0 Y8.0 R+8;
– для дуги BC N26 G17 G02 X16.0 Y0.0 R+8;.

Можно написать кадр сразу для полукруга с радиусом R=+8 мм:

N25 G17 G02 X16.0 Y0.0 R+8;

Решение по способу 2. Решим задачу с помощью I, J слов данных. Из начальной точки *A* условно проведем радиус-вектор к центру окружности точке *D* и определим его координаты на оси I, J, параллельные осям X и Y. Тогда получим кадры:

– для дуги AB N25 G17 G02 X8.0 Y8.0 I8 J0;
– для дуги BC N26 G17 G02 X16.0 Y0.0 I0 J-8;
– для дуги ABC N27 G17 G02 X16.0 Y0.0 I8 J0;

Пример 4. Дано. Дуга окружности ABC (рис. 18*б*). Начальная точка C.

Решение. Кадр для полукруга:

N25 G17 G03 X0.0 Y0.0 R+8;

или N27 G17 G03 X0.0 Y0.0 I-8 J0;.

Пример 5. Дано. Дуга окружности AB (рис. 18*в*).

Решение:

– *н*ачальная точка траектории A. Кадры:

N30 G17 G03 X9.0 Y0.0 R+3;

или N31 G17 G03 X9.0 Y0.0 I+3 J0;.

– начальная точка траектории B. Кадры:

N40 G17 G02 X3.0 Y0.0 R+3;

или N41 G17 G02 X3.0 Y0.0 I-3 J0;.

Пример 6. Дано. Замкнутый круг (рис. 18*г*).

Решение. Для решения задачи окружность можно поделить на четыре или две части и для каждой написать кадры. Начальная и конечная точки траектории находятся в точке A. Кадры:

N50 G17 G02 X0.0 Y0.0 I+10 J0;

или

N51 G17 G02 X10.0 Y-10.0 R-10;
N52 G17 G02 X0.0 Y0.0 R+10;

Электронный архив УГЛТУ

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите способы создания управляющих программ.
2. Что такое кадр? Покажите на примере структуру кадров.
3. Что такое слово в кадре? Какие слова данных используются в программе?
4. Что означает модальность слов данных?
5. Какие адреса используются в языке ISO 7-bit?
6. Для чего используются подготовительные функции в языке ISO 7-bit?
7. Покажите примерами виды технологической информации, записываемой в управляющей программе.
8. Покажите примерами роль вспомогательной функции, записываемой в управляющей программе.
9. Поясните на примере, что означает абсолютная и относительная (инкрементальная) система отсчета.
10. Приведите пример линейной интерполяции. Какими словами кадра она выполняется?
11. Круговая интерполяция. Какими словами кадра она выполняется? Программирование окружности по радиусу и по координатам центра. Приведите примеры.
12. Покажите на примерах, как Вы понимаете систему координат детали, инструмента, программы?

Урок 6

Написание программ. Обработка деталей на станке

6.1. Определение ноля станка

При наладке фрезерного станка необходимо выполнить операцию определения ноля станка. Это позволит после запуска управляющей программы избежать аварийной остановки станка. Такая остановка возможна в случае, если рассчитанные координаты точек траектории перемещения фрезы, приведенные к системе координат станка, окажутся за пределами площади стола.

Для определения ноля на компьютере станка открываем программу VicStudioTM. При этом всплывает следующее окно (рис. 19). В окне приведена инструкция выполнения операций.

Электронный архив УГЛТУ

Сначала мышью кликнем на левую кнопку X. В результате шпиндель движется обратно к механическому началу координат по оси X. Затем так же повторяются действия по осям Y и Z. При достижении шпинделем точки механического начала координат датчики, установленные на осях, срабатывают и обнуляют систему ЧПУ. После этого станок готов к работе.

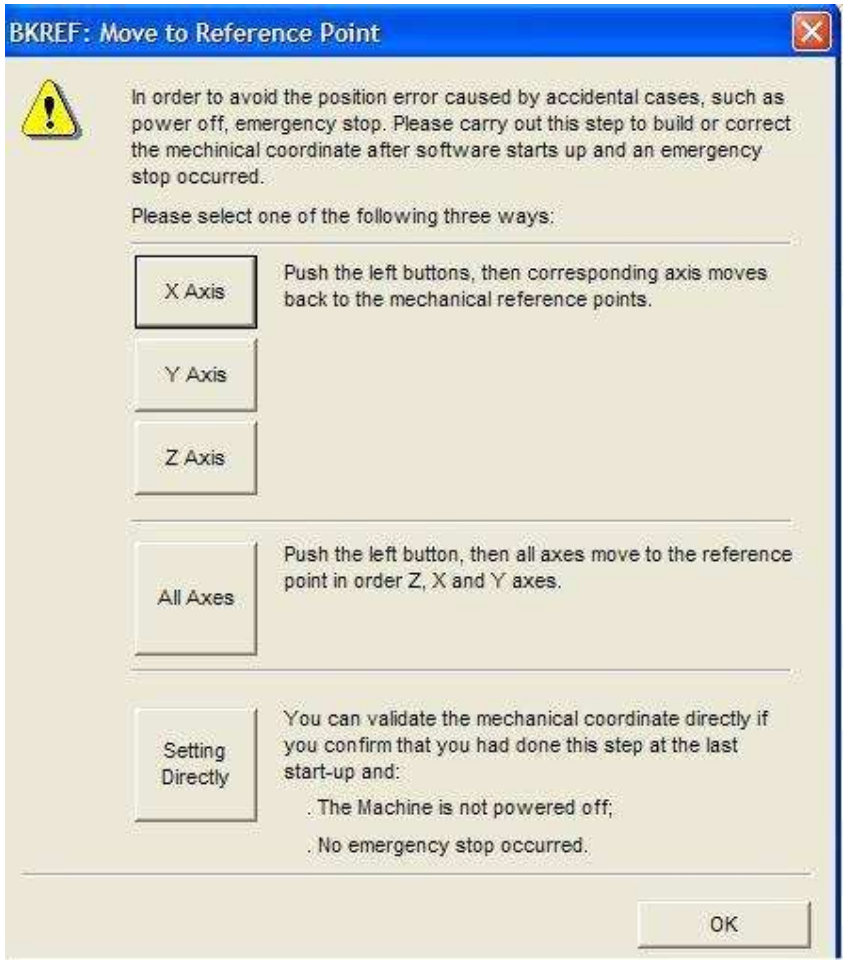

Рис. 19. Окно для определения ноля станка

Внимание: при определении механического начала координат фреза со шпинделя должна быть снята, иначе она врежется в стол станка.

6.2. Задача 1

Дано. На столе фрезерного станка с ЧПУ установлен динамометр для измерения сил резания при фрезеровании. На динамометре закреплена заготовка, с которой периодически срезается слой толщиною 3 мм (рис. 20). Для этого шпиндель с концевой фрезой перемещается относительно заготовки по траектории *ABCD*. Частота враще-

Электронный архив УГЛТУ

ния шпинделя n = 6000 мин$^{-1}$, скорость подачи на рабочем ходе V_s = 500 мм/мин, на холостом ходе V_s = 1000 мм/мин.

Требуется написать управляющую программу перемещения шпинделя и реализовать ее работу на станке.

Решение. 1. Принимаем: ноль чертежа, относительно которого будет составляться управляющая программа, находится в точке А с координатами X=0, Y = 0. Здесь же поместим начало координат программы РО, из которой будет происходить перемещение шпинделя. Из точки А перемещение шпинделя с фрезой по траектории начинается и после завершения цикла здесь же заканчивается.

2. Находим по чертежу координаты точек в абсолютной системе отсчета, расположенных на траектории перемещения шпинделя: *A*(X, Y)=*A*(0, 0); *B*(-200, 0); *C*(-200, -80), *D*(0, -80).

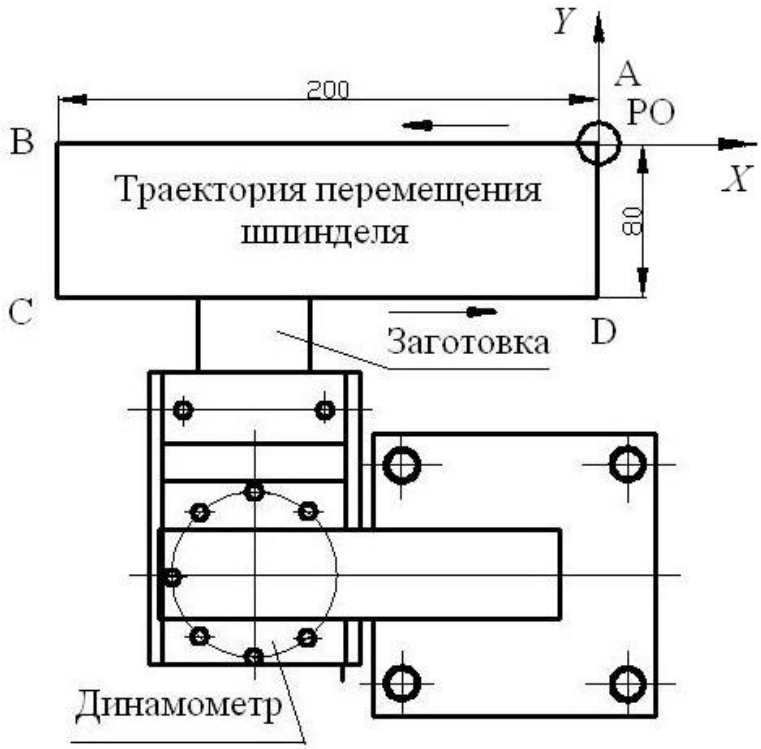

Рис. 20. Траектория перемещения шпинделя станка

3. Запишем управляющую программу перемещения шпинделя станка по заданной траектории. Для удобства поместим ее в таблицу и поясним содержание каждого кадра.

%	Символ начала и конца.
O0001 (REZHIM REZANIA ABS)	Обозначение, название, абсолютная система координат.
N1 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Кадр безопасности.

Электронный архив УГЛТУ

N2 G01 X-200 Y0 S6000 F1000 M03	Прямолинейное перемещение к точке *B* с вращением шпинделя по часовой стрелке (M03).
N3 X-200 Y-80	Прямолинейное перемещение к точке *C*.
N4 X0 Y-80 F500	Прямолинейное перемещение к точке *D* со скоростью подачи 500 мм/мин.
N5 X0 Y0 F1000	Прямолинейное перемещение к точке *A*.
N6 M2 %	Конец программы,

Примечание. G21 – обеспечивает ввод перемещений в мм; G40 – отменяет автоматическую коррекцию на диаметр фрезы; G49 – отменяет компенсацию длины инструмента; G54 – позволяет системе ЧПУ переключиться на заданную систему координат; G80 – отменяет все ранее установленные постоянные циклы обработки; G90 – программирование в абсолютных координатах. Плоскость безопасности, плоскость к которой перемещается торец фрезы над столом, настраивается вручную, например, Z = 30 мм.

4. Запишем управляющую программу в программе «Блокнот» (рис. 21) (Пуск – Все программы – Стандартные – Блокнот). Здесь программа записывается без таблицы. Для этого ранее написанная программа извлекается из таблицы, копируется и текст ее вставляется в программу «Блокнот».

Программа «REZHIM REZANIA» сохраняется в одной из папок компьютера, а затем скачивается на съемный диск или флеш для переноса на компьютер станка с ЧПУ.

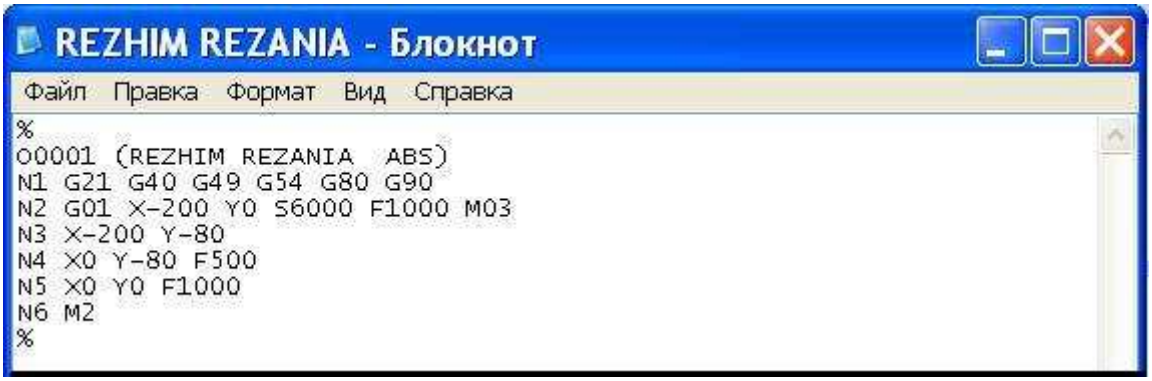

Рис. 21. Управляющая программа в программе «Блокнот»

Электронный архив УГЛТУ

5. Загрузка файла «REZHIM REZANIA». Включается компьютер станка с ЧПУ. На рабочий стол компьютера из переносного съемного диска или флеш переносим файл «REZHIM REZANIA» (Мой компьютер – съемный диск – найти и скопировать файл «REZHIM REZANIA» – вставить на рабочий стол копированием или перетягиванием).

На рабочем столе находим ярлык программы VicStudioTM. Двойным щелчком на ярлык запускаем программу.

Прежде всего, изучим структуру меню «File» программы VicStudioTM:

File	Файл
Open and Load	Открыть и загрузить
Unload	Выгрузить, уничтожается содержимое файла, остается только оболочка
New	Новый
Open and Edit	Открыть и редактировать
Edit loaded File	Редактировать загруженный файл
Recent loaded File	Последний загруженный файл
Recent Edited File	Последний редактированный файл
Exit	Выход

Щелчком мыши по кнопке «auto» активизируем окно автоматического режима управления (цвет кнопки становится ярким). Сейчас в файловый буфер программного управления станка загрузим управляющую программу, которая хранится на рабочем столе (Файл – открыть и загрузить – рабочий стол – файл «REZHIM REZANIA»). Загруженный файл отображается в окне автоматического управления. Это же можно сделать так: на поле файлового буфера кликнуть правой клавишей мыши и кликнуть «Open and Load», после чего выбрать необходимый файл и кликнуть его.

6. Проверка правильности программы. В меню функционального окна (в нижнем левом углу) кликнуть кнопку Trace. В окне сделайте несколько кликов мышью, чтобы увидеть стол станка в полном виде. Затем на панели инструментов кликните на кнопку ▶ – simulate

Электронный архив УГЛТУ

(имитация). В результате на столе появится траектория, описанная управляющей программой. Если полученная траектория полностью совпадает с траекторией, заданной чертежом, то программа написана правильно, иначе программу надо редактировать.

7. Для устранения обнаруженных неисправностей, а также изменения технологических параметров файл надо редактировать. Открываем меню «File» (или кликнуть правой клавишей мыши в функциональном окне) и щелкнем на «Edit loaded File». В окне редактирования отразится загруженный файл.

Самостоятельно исправьте текст управляющей программы «REZHIM REZANIA» так, чтобы перемещение шпинделя выполнялось по траектории ADCBA. Не забывайте, на рабочем участке DC скорость подачи равна 500 мм/мин.

Проверьте правильность полученной программы с помощью команды «▶ –Simulate (имитация)». При включенной кнопке «Trace» должна получиться замкнутая траектория.

После окончания редактирования кликнем в окно буфера правой клавишей мыши и выберем «Save and load» (Сохранить и загрузить). Отредактированный файл будет загружен.

8. Включаем станок кнопкой «Пуск». Включаем режим ручного управления кнопкой «Manual». Выбираем шаг толчкового перемещения jog = 5 мм (кликнули мышью на круг 5, получили точку в окружности). Поднимем шпиндель над столом по оси Z на величину 30 мм. С помощью кнопок или клавиш малой клавиатуры перемещаем шпиндель в центр стола станка.

В окне состояния программы VicStudioTM видны координаты шпинделя по осям X, Y, Z. Мышью кликнем на координаты по осям X, Y, Z, заключенные в рамки. Координаты автоматически превращаются в нули, произошло обнуление по осям координат. В этой точке будет расположен ноль рабочей программы координат.

Включаем шпиндель: «Spindle ON». Шпиндель начинает вращаться.

Включаем пуск программы – ▲ – start (F9) (пуск). Начинается автоматическое перемещение шпинделя по заданной траектории. После завершения замкнутого цикла перемещение прекращается.

Электронный архив УГЛТУ

Подвинем шпиндель в сторону расположения заготовки на 3 мм, используя ручное управление и шаг (толчок jog) 1 мм. Снова включаем пуск программы. Перемещения шпинделя повторяются. Так можно повторять многократно.

6.3. Задача 2

Дано. На станке BEAVER – 9AT предполагается обработать криволинейные кромки деталей, изготовленных из листов фанеры толщиной 5 мм (рис. 22). Режущий инструмент – концевая фреза диаметром D = 3 мм.

Требуется разработать технологию обработки деталей, написать управляющую программу, выбрать рабочую систему координат.

Решение. 1. Технология обработки детали. Из листа фанеры на прирезном круглопильном станке выпиливаем заготовки размером 502×300×5 мм. На стол станка BEAVER – 9AT кладем деревянный щит размером 500×300×10 мм и фиксируем его с угловыми направляющими линейками.

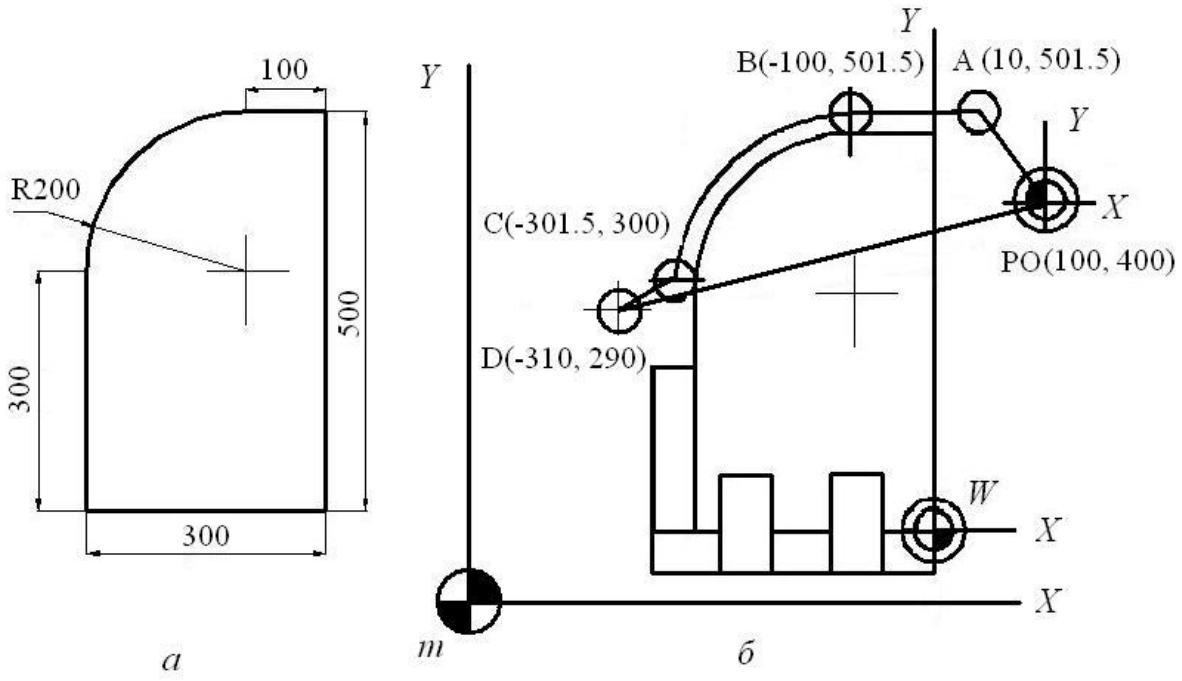

Рис. 22. Разработка траектории перемещения шпинделя станка:
а – чертеж детали; *б* – фиксация заготовки на столе и траектория перемещений шпинделя

2. Выбираем начало координат детали W в нижнем правом углу на верхней поверхности детали, а фиксированную точку станка (точку безопасности, где шпиндель останавливается в ожидании на период

Электронный архив УГЛТУ

съема обработанной детали и установки новой заготовки) – в точке РО с координатами относительно ноля детали РО(100, 400). Поскольку траектория перемещения режущего инструмента в плоскости X0Y описывается при движении точкой пересечения вертикальной геометрической оси шпинделя с торцовой поверхностью фрезы, а кромки детали формируются ее боковыми режущими кромками, то траектория перемещения шпинделя должна быть смещена относительно контура кромки детали на величину радиуса фрезы. Траектория должна быть такой: РО-А-В-С-D-РО. При подведении торцовой поверхности фрезы до касания в точке *W* и обнулив координаты, получим начало рабочей системы координат. Координата *Z* в этой точке равна 0 мм. Выбираем плоскость безопасности, расположенную на высоте Z= 20 мм.

Пишем управляющую программу.

%	Символ начала и конца.
O0001 (DETAL ABS)	Обозначение, название, абсолютная система координат.
N1 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Кадр безопасности.
N2 G00 X10 Y501.5 S6000 M03	Перемещение в точку А с вращением шпинделя по часовой стрелке (M03).
N3 Z-7	Перемещение вниз на 7 мм.
N4 G01 X-100 Y501.5 F500	Перемещение к точке *B*.
N5 G17 G03 X-301.5 Y300 R200	Круговая интерполяция в плоскости XY, против направления часовой стрелки, перемещение к точке *C*.
N6 G00 X-310 Y290	Перемещение к точке *D*.
N7 Z20	Подъем шпинделя до плоскости безопасности
N8 X100 Y400	Прямолинейное перемещение к точке *PO*.
N9 M2	Конец программы.
%	

Электронный архив УГЛТУ

Примечание. G21 – обеспечивает ввод перемещений в мм; G40 – отменяет автоматическую коррекцию на диаметр фрезы; G49 – отменяет компенсацию длины инструмента; G54 – позволяет системе ЧПУ переключиться на заданную систему координат; G80 – отменяет все ранее установленные постоянные циклы обработки; G90 – программирование в абсолютных координатах.

3. Из технической характеристики станка следует, что максимальное перемещение по осям равно: по оси X – 900 мм; по оси Y – 700 мм; по оси Z – 100 мм. Учитывая эти данные, найдем местоположение ноля детали W (рис. 22,*б*).

Для максимального использования площади стола станка определим координаты X и Y фактического ноля *m* машины. Для этого в режиме ручного управления подвинем шпиндель станка по осям X и Y по возможности ближе к точке *m*, и обнулим координаты этой точки. Будем считать, что это начало фактических машинных координат по осям X и Y.

Из схемы перемещений (рис. 21,*б*) следует, что по оси *X* максимальное перемещение равно 410 мм, по оси *Y* перемещения выполняются на участке с координатами 290…501,5 мм. Учитывая необходимость крепления на столе угловых направляющих, принимаем, что ноль детали *W* можно разместить на участке стола с машинными координатами по оси X 400…600 мм, по оси Y – на участке с координатами 100…150 мм. Иначе траектория перемещений может выйти за габариты стола.

4. Привязка начала координат детали W к машинным координатам. Кладем заготовку прямоугольной формы на деревянный щит, базируем в угол по направляющим и зажимаем прижимами, например, клиньями, которые забиваем в промежуток между заготовкой и прижимом. Включаем компьютер, открываем программу VicStudioTM. В ручном режиме с максимальной точностью перемещаем шпиндель по осям X и Y машинной системы к правому нижнему углу заготовки, и в этой точке обнуляем оси X и Y. По оси Z опускаем шпиндель так, чтобы торец концевой фрезы слегка коснулся угла заготовки, и в этой позиции обнулим ось Z. Так создана рабочая система координат, начало координат которой совпадает с началом координат детали. С по-

Электронный архив УГЛТУ

мощью этой рабочей системы система ЧПУ станка расчетным путем определяет машинные координаты для всех точек траектории детали.

5. Написанную управляющую программу записываем в файл «Блокнот». Файл переносим с помощью флэш на компьютер станка в программу VicStudioTM. Проверяем правильность написания программы в окне «Trace». При необходимости программу редактируем, сохраняем и снова загружаем.

Запустить программу можно из положения, когда фреза находится в точке *W*. Для этого в окне VicStudioTM включаем кнопки Spindel ON и Start (пуск). В работающем станке шпиндель будет перемещаться по запланированной траектории и остановится в точке PO.

Обработанная деталь снимается, на ее место устанавливается новая заготовка, после закрепления которой, можно снова запустить управляющую программу.

6.4. Задача 3

Дано. На станке BEAVER – 9AT предполагается обработать деталь «Полка» (рис. 23). Заготовка выполнена из столярного щита толщиной 15 мм. Режущий инструмент – концевая фреза диаметром D = 10 мм.

Требуется написать управляющую программу.

Решение. 1. Поскольку контуры обрабатываемых поверхностей детали формируются режущими кромками фрезы, расположенными на расстоянии радиуса R = 5 мм от геометрической оси ее вращения, то траектория перемещения фрезы будет отстоять на расстоянии радиуса R= 5 мм. Фреза должна перемещаться по эквидистантной траектории, равно удаленной от контура детали. Эквидмстантная траектория показана на рисунке тонкими линиями (прямыми и окружностями).

2. Начало координат детали *W* расположим в точке *A*.

3. При обработке отверстий фреза должна выйти на эквидистантную траекторию не по прямой линии, а по дуге окружности радиусом R=10 мм.

Электронный архив УГЛТУ

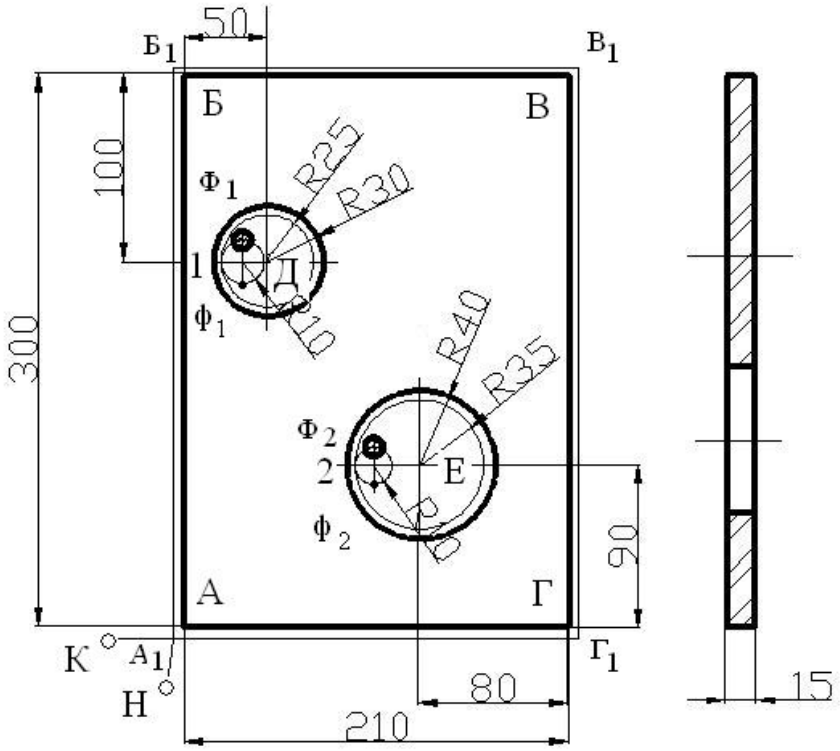

Рис. 23. Деталь «Полка»:
А, Б, В, Г – угловые точки контура детали; Д, Е – положения центров окружностей отверстий; $Ф_1$, $Ф_2$ – положение фрезы в момент врезания в заготовку при обработке отверстий; 1, 2 – точки эквидистантной траектории в начале обработки отверстий; $ф_1$, $ф_2$ – точки выхода с эквидистантной траектории; Н – начало программы; К – конец обработки контура

4. По размерам детали найдем координаты характерных точек эквидистантной траектории, центров отверстий и др.:

$А_1$ (-5; -5); $Б_1$ (-5; 305); $В_1$ (215; 305); $Г_1$ (215; -5);
Д(50; 200); Е(130; 90); 1(25; 200); 2(95; 90);
$Ф_1$(35; 210); $Ф_2$(95; 100); $ф_1$(35; 190); $ф_2$(95; 80);
Н(-10; -30); К(-35; -5).

5. Составляем управляющую программу

%	Символ начала и конца программы.
O0001 (POLKA ABS)	Обозначение, название, абсолютная система координат.
N1 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Кадр безопасности.
N2 G01 X-10 Y-30 S6000 F1000 M03	Перемещение в точку Н с вращением шпинделя по часовой стрелке (M03).

Электронный архив УГЛТУ

N3 Z-20	Перемещение вниз на 20 мм.
N4 G01 X-5 Y-5	Перемещение к точке A_1.
N5 X-5 Y305	Перемещение к точке $Б_1$.
N6 X215 Y305	Перемещение к точке B_1.
N7 X215 Y-5	Перемещение к точке $Г_1$.
N8 X-35 Y-5	Перемещение к точке К.
N9 G00 Z20	Подъем фрезы над поверхностью детали на 20 мм.
N10 X35 Y210	Перемещение фрезы в точку $Ф_1$ в режиме G00 (с максимальной подачей).
N11 G01 Z-20 F500	Заглубление в заготовку для обработки поверхности отверстия.
N12 G17 G03 X25 Y200 R10	Круговая интерполяция в плоскости XY, против направления часовой стрелки, перемещение к точке 1 эквидистантной траектории.
N13 X25 Y200 R25	Обработка поверхности отверстия, круговая интерполяция.
N14 X35 Y190 R10	Выход с эквидистантной траектории в точку $ф_1$.
N15 G00 Z20	Подъем фрезы над поверхностью детали на 20 мм с максимальной подачей G00.
N16 X95 Y100	Прямолинейное перемещение к точке $Ф_2$..
N17 G01 Z-20 F500	Заглубление в заготовку для обработки поверхности отверстия.
N18 G17 G03 X95 Y90 R10	Круговая интерполяция в плоскости XY, против направления часовой стрелки, перемещение к точке 2 эквидистантной траектории.
N19 X95 Y90 R35	Обработка поверхности отверстия, круговая интерполяция.
N20 X95 Y800 R10	Выход с эквидистантной траектории в точку $ф_2$.
N21 G00 Z20	Подъем фрезы над поверхностью детали на 20 мм с максимальной подачей G00.
N22 X-10 Y-30	Перемещение фрезы в точку Н начала программы
N23 M2	Конец программы.
%	

Электронный архив УГЛТУ

Примечание. G21 – обеспечивает ввод перемещений в мм; G40 – отменяет автоматическую коррекцию на диаметр фрезы; G49 – отменяет компенсацию длины инструмента; G54 – позволяет системе ЧПУ переключиться на заданную систему координат; G80 – отменяет все ранее установленные постоянные циклы обработки; G90 – программирование в абсолютных координатах.

6.5. Задача 4.

Дано. На станке BEAVER – 9AT предполагается обработать деталь «Зигзаг» (рис. 24). Материал детали – столярный щит, склеенный из березовых делянок. Режущий инструмент – концевая фреза диаметром D = 10 мм.

Требуется разработать технологию обработки деталей, написать управляющую программу, выбрать рабочую систему координат.

Решение. 1. Технология обработки детали. Из столярного щита на круглопильном станке выпиливаем заготовки размером 175 × 195 × 32 мм. На столе станка BEAVER – 9AT винтами крепится основание, выполненное из столярного щита размером 165×250×20 мм. Над базовой поверхностью основания выступают иголки высотой 5 мм. Для обработки детали заготовку кладут на базовую поверхность основания и ударами молотка фиксируют ее положение на иголках. Сначала обрабатывают концевой фрезой деталь по периметру, а затем выполняют зигзагообразный паз.

2. Чертеж детали приведен на рис. 24.

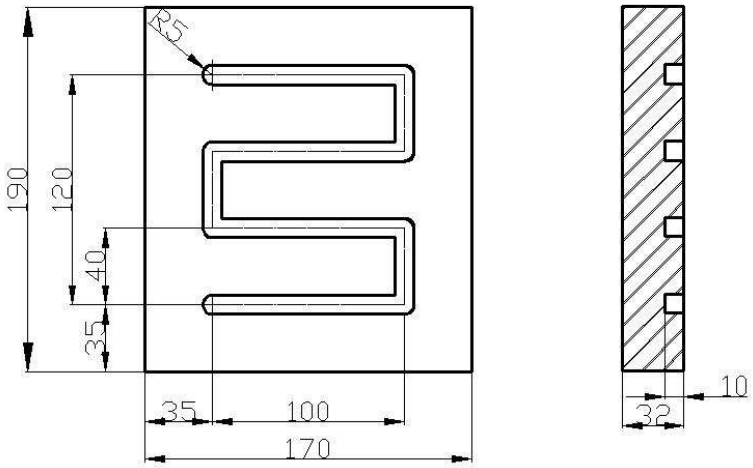

Рис. 24. Чертеж детали «Зигзаг»

Электронный архив УГЛТУ

3. Выявление характерных точек детали (рис. 25). Выбираем начало координат детали в левом нижнем углу на верхней поверхности детали W(0, 0, 0). Начертим эквидистантную траекторию перемещения фрезы ИКЛМ, равноудаленную от внешнего контура детали на величину радиуса фрезы *R* = 5 мм. Находим координаты точек в абсолютной системе координат (табл. 5).

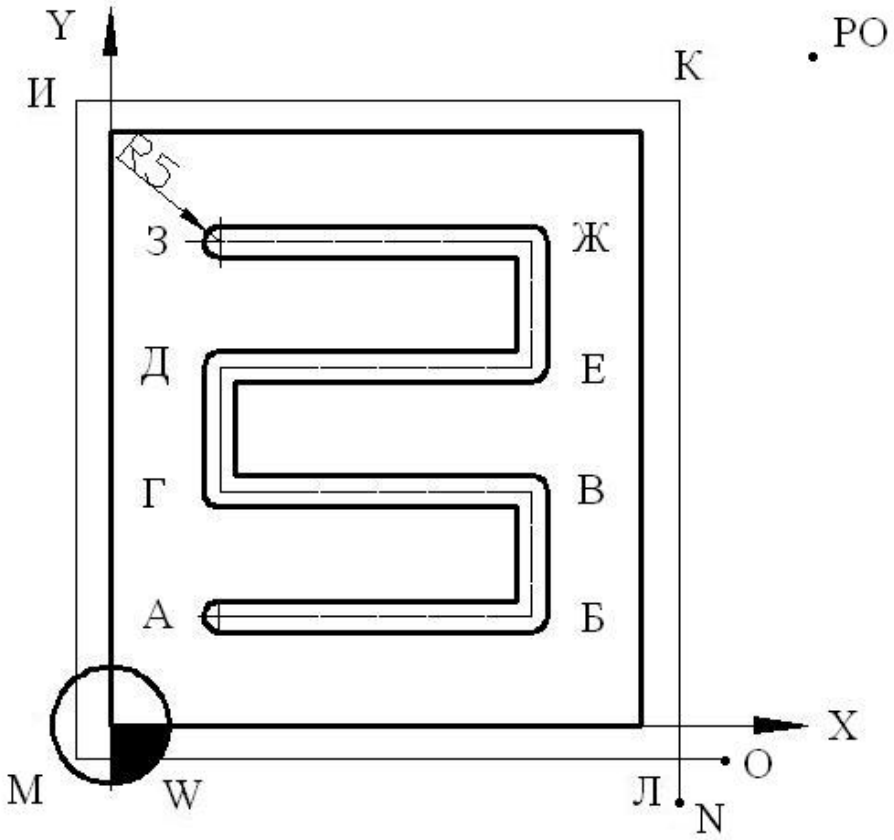

Рис. 25. Схема к определению точек траектории перемещения фрезы в системе координат детали

Таблица 5

Координаты характерных точек траектории перемещения фрезы: *x*, *y*

А	Б	В	Г	Д	Е
35, 35	135, 35	135, 75	35, 75	35, 115	135, 115
Ж	З	И	К	Л	М
135, 155	35, 155	-5, 195	175, 195	175, -5	-5, -5
О	N	W	-	-	-
185, -5	175, -15	0, 0	-	-	-

Электронный архив УГЛТУ

Начало программы выберем в точке РО(250, 250, 5). Это безопасное место при съеме обработанной детали и установке новой заготовки. Обработка внешнего контура детали выполняется по эквидистантной траектории фрезы. Вход на траекторию начинается из точки *О*, а выход – в точке *N*.

4. Написание управляющей программы

%	Символ начала и конца программы.
O0003 (ZIGZAG ABS)	Обозначение, название, абсолютная система координат.
N1 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Кадр безопасности.
N2 G00 Z5 S6000 M03	Подъем фрезы с вращением шпинделя по часовой стрелке (M03).
N3 X250 Y250	Перемещение в точку РО начала программы
N4 X185 Y-5	Перемещение в точку *О*.
N5 Z-35	Перемещение вниз на 35 мм.
N6 G01 X-5 Y-5 F500	Перемещение к точке *М*.
N7 X-5 Y195	Перемещение в точку *И*
N8 X175 Y195	Перемещение в точку *К*.
N9 X175 Y-15	Перемещение в точку *N*.
N10 G00 Z5	Подъем шпинделя.
N11 X35 Y35	Перемещение в точку *А*.
N12 Z-10	Опускание шпинделя на глубину паза 10 мм.
N13 G01 X135 Y35 F500	Перемещение в точку *Б*.
N14 X135 Y75	Перемещение к точке *В*.
N15 X35 Y75	Перемещение в точку *Г*
N16 X35 Y115	Перемещение в точку *Д*.
N17 X135 Y115	Перемещение в точку *Е*.
N18 X135 Y155	Перемещение в точку *Ж*.
N19 X35 Y155	Перемещение в точку *З*.
N20 G00 Z5	Подъем фрезы над деталью.
N21 X250 Y250	Перемещение в точку РО.
N22 M2	Конец программы.
%	

Электронный архив УГЛТУ

Примечание. G21 – обеспечивает ввод перемещений в мм; G40 – отменяет автоматическую коррекцию на диаметр фрезы; G49 – отменяет компенсацию длины инструмента; G54 – позволяет системе ЧПУ переключиться на заданную систему координат; G80 – отменяет все ранее установленные постоянные циклы обработки; G90 – программирование в абсолютных координатах.

5. Выполняются следующие операции:

– запись управляющей программы в программе «Блокнот» и сохранение ее на съемном диске или флеш;

– включение компьютера станка и перенос на его рабочий стол файла «ZIGZAG» с диска или флеш;

– с помощью ярлыка на рабочем столе открывают программу VicStudioTM;

– щелчком мыши по кнопке «auto» активизируется окно автоматического режима управления, и в файловый буфер программного управления станка загружается управляющая программа (Файл – открыть и загрузить – рабочий стол – файл «ZIGZAG»). Загруженный файл отображается в окне автоматического управления;

– проверка правильности программы. В меню функционального окна (в нижнем левом углу) кликнуть кнопку Trace. Несколькими кликами в окне надо отразить стол станка в полном виде. Затем на панели инструментов кликните на кнопку ▶ – simulate (имитация). В результате на столе появится траектория, описанная управляющей программой. Если полученная траектория полностью совпадает с траекторией, заданной чертежом, то программа написана правильно;

– проверка управляющей программы на станке в холостом режиме (см. задачу 1).

Контрольные вопросы и задания

1. Покажите на примере как определяются координатные точки контура детали.

2. Что такое «ноль детали»?

3. Как перенести и загрузить управляющую программу на станок?

4. Какими символами и словами начинается и заканчивается управляющая программа?

Электронный архив УГЛТУ

5. Расскажите, какие опции имеются в меню «File» программы VicStudioTM?

6. Покажите, как можно редактировать управляющую программу, как ее сохранить и загрузить?

7. Траектория перемещения фрезы при обработке контура детали проходит через точки:

– A(0; 5), B(10; 5), C(10; 0), D(0; 0);

– A(-5; 2), B(5; 2), C(5; -2), D(-5; -2).

Напишите перемещения фрезы, начиная от точки A, в абсолютной системе отсчета.

Урок 7

Коррекция размеров фрезы

7.1. Коррекция на диаметр фрезы

При составлении управляющей программы считается, что геометрическая вертикальная ось фрезерного шпинделя при работе станка перемещается по траектории, совпадающей с контуром детали. Однако контур детали формируется режущими кромками фрезы, которые отстоят от оси вращения фрезы на величину ее радиуса и поэтому траектория перемещения оси шпинделя не может совпадать с линией контура детали. Чтобы получить деталь заданной формы и размеров, ось шпинделя надо отодвинуть от линии контура детали на величину радиуса. Ось фрезы должна перемещаться по *эквидистантной* траектории, то есть по траектории равноудаленной от заданного контура на величину радиуса (рис. 26).

Составить управляющую программу для обработки указанной детали можно двумя способами:

– вычерчиванием эквидистантной траектории (рис. 26) с обеспечением перемещений шпинделя по опорным точкам этой траектории; при этом расчет координат опорных точек может оказаться трудоемкой задачей особенно, если после износа и переточки фрезы радиус ее уменьшился и равен некоторому дробному числу, например, 4,82 мм;

– использованием координат опорных точек контура детали с автоматической коррекцией (с учетом) радиуса инструмента.

Электронный архив УГЛТУ

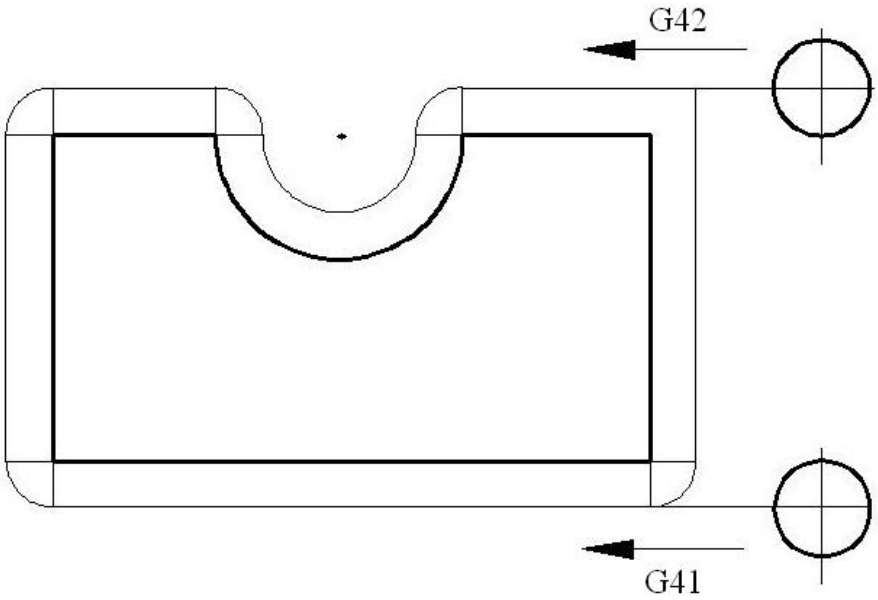

Рис. 26. Схема эквидистантной коррекции на радиус фрезы

Для предотвращения закруглений углов детали эквидистантная траектория должна проходить в области углов по дугам окружности радиуса фрезы.

Автоматическая коррекция радиуса фрезы возможна, если на конкретном станке с ЧПУ эта функция предусмотрена. Тогда коррекция активируется подготовительными функциями G40, G41, G42:

G40 – отказ от коррекции;

G41 – коррекция используется в случае, если движение подачи фрезы выполняется слева от контура детали;

G42 – коррекция применяется при движении подачи справа от контура детали.

Для реализации коррекции радиус фрезы программируют в **D** слове данных, например, так: N20 G41 D3 F1600, где D3 – номер корректора в позиции 3, содержащего радиус фрезы. При автоматической коррекции радиуса геометрическая ось фрезы перемещается по эквидистантной траектории.

7.2. Правила коррекции радиуса фрезы

Для выполнения автоматической коррекции радиуса фрезы управляющая программа должна быть составлена по определенным правилам. Суть их сводится к следующему:

Электронный архив УГЛТУ

– после включения подготовительных функций G41, G42 все перемещения допустимы только в плоскости коррекции, например в плоскости XY;

– код на коррекцию радиуса записывается либо в отдельном кадре (N20 G41 D2;), либо в кадре с прямолинейным перемещением (N21 G41 D2 X-10 Y-10 F1600;), когда переход фрезы на эквидистантную траекторию переходит плавно при приближении к конечной точке X-10 Y-10. Минимальный путь прямолинейного перемещения должен быть равен величине радиуса фрезы;

– режущие кромки фрезы при автоматической коррекции должны плавно, например, с переходом по дуге окружности, коснуться контура детали;

– выход из автоматической коррекции (код G40) обеспечивается на прямолинейном участке траектории длиной равной радиусу фрезы.

Вследствие износа фрезы диаметр ее уменьшается, и размер детали изменяется. Для обеспечения заданной точности размеров в ячейку таблицы корректора следует ввести новый размер радиуса фрезы, например, не 10 мм, а 9,95 мм и снова запустить программу для обработки детали. Таким образом, изменяя значение радиуса фрезы в соответствующем корректоре, можно корректировать точность размеров детали.

7.3. Коррекции длины фрезы

Все дереворежущие фрезы, помещенные в магазине (если конструкцией станка он предусмотрен), имеют разную длину. Для автоматической коррекции длины инструментов должны быть измерены на станке с помощью датчика касания. При опускании оси Z вниз фреза режущей кромкой касается датчика и при этом зажигается световой диод и включается зуммер.

Для некоторого инструмента принимаем отклонение длины равным нулю (рис. 27). Тогда по отношению к нему определяют отклонение длины: для короткого инструмента, например, -20,813 мм, а длинного – +25,821 мм и т.д. Полученные данные об отклонении дли-

Электронный архив УГЛТУ

ны фрезы заносятся в соответствующие ячейки таблицы корректора и хранятся в памяти системы ЧПУ станка.

Торцовая поверхность нулевого инструмента служит для настройки станка.

Для компенсации длины инструмента используется функция **H**.

Пример: N20 G01 X100 Y200 Z-20 H-10 F1000.

Здесь показано: Z-20 – заданная программой глубина; H-10 – вызов корректора, так как длина фрезы короче положенного на 10 мм.

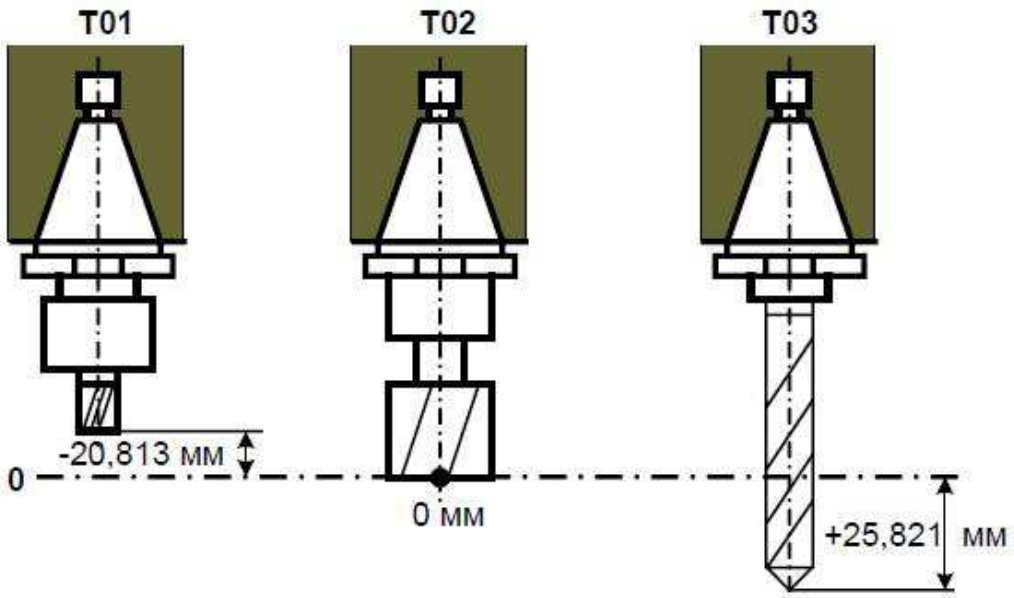

Рис. 27. Коррекция длины по нулевому инструменту

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое «эквидистантная траектория»?

2. Если на станке не предусмотрена опция автоматической коррекции радиуса фрезы, как учесть величину радиуса?

3. Как в управляющей программе обеспечивается автоматическая коррекция радиуса?

4. Как в управляющей программе обеспечивается автоматическая коррекция длины фрезы?

Электронный архив УГЛТУ

Урок 8

Порядок ручного программирования

8.1. Сбор информации

Процесс программирования обработки детали начинают со сбора и упорядочения информации, перед тем как она будет закодирована. Информация подразделяется на геометрическую и технологическую. Геометрические данные о детали получают из чертежа и технических требований, а технологические сведения принимают из расчетов режимов резания.

Кроме того, информацию берут из технической характеристики станка. По паспорту станка устанавливают предельно допустимые величины перемещений и скоростей подач по всем осям, допустимые габаритные размеры заготовок и способы их фиксации при обработке, мощность и частота вращения двигателя шпинделя, а также местоположение ноля системы координат станка.

Геометрические данные получают путем корректировки чертежа изготавливаемой детали. Чертеж детали позволяет получить всю информацию о геометрических размерах, положении поверхностей, точности и шероховатости их обработки. Однако обычный чертеж приходится переделать так, чтобы линейные размеры всех узловых точек записать в форме координат в выбранной системе координат.

Для этого по чертежу детали делают эскиз, ноль детали и оси координат совмещают с технологической базой чертежа, от которой проставлены размеры. Далее все размеры на эскизе проставляют от осей координат детали. Такие размеры будут использованы при программировании. Наконец, сложные траектории заменяют прямыми линиями и дугами окружностей.

Далее вычисляют координаты опорных точек контура детали.

Технологический процесс обработки детали на станке с ЧПУ характеризуется частотой вращения шпинделя, диаметром и числом зубьев режущего инструмента, скоростью подачи, углами встречи фрезы с волокнами древесины, глубиной и шириной фрезерования и др. В теории резания древесины и древесных материалов разработаны

Электронный архив УГЛТУ

методики, позволяющие находить рациональные значения скоростей подач [6, 7].

8.2. Расчет режимов резания массивной древесины

Исходные данные для расчета:

– порода древесины обрабатываемой заготовки;

– диаметр окружности резания выбранной фрезы D, мм;

– количество зубьев на окружности фрезы Z, шт;

– угол резания зубьев δ, град.;

– отклонение радиусов режущих кромок зубьев Δ, мм;

– минимально- и максимально допустимая частота вращения фрезерного шпинделя n, мин$^{-1}$;

– максимально допустимая скорость подачи станка V_s, м/мин;

– максимально допустимая мощность электродвигателя привода шпинделя P, кВт;

– максимально допустимая мощность электродвигателей привода подачи P_s, кВт;

– требования к шероховатости обработанной поверхности R_a, мкм.

В результате расчета для каждого перехода траектории должны быть получены данные частоты вращения и скорости подачи для ввода в управляющую программу.

Рассчитываемые режимы резания должны быть рациональными и выбираться из нескольких вариантов. Для оценки вариантов назначаются следующие критерии:

– допустимая шероховатость обработанной поверхности;

– минимальное энергопотребление;

– максимальная производительность (максимальная скорость подачи);

– затупление режущих кромок;

– прочность, усталостная прочность концевой фрезы.

Шероховатость обработанных поверхностей. Требуемые значения шероховатости обработанных поверхностей указываются на чертеже детали. Например, если на чертеже указано $\sqrt{R_m 100}$, то это означает, что глубина микронеровностей поверхности равна 100 мкм

Электронный архив УГЛТУ

или 0,1 мм. Известно, что глубина микронеровностей поверхности детали должна быть меньше поля допуска размера детали. Например, если вырезается из щита дисковый вкладыш диаметром $Ø250f8$ = Ø 250^{-56}_{-137}, то поле допуска равно П = -56 – (-137) = 81 мкм. Глубина микронеровностей обработанной поверхности должна быть $H = (0{,}15...0{,}25)П$. Выбираем $H = 0{,}15 \cdot 81$= 12,5 мкм.

Значения параметров шероховатости R_m применительно к технологическим операциям рекомендуется принимать так [8]:

– поверхностей массивной древесины, полученных методом продольного фрезерования – 16…250 мкм;

– поверхностей, обработанных под лаковую прозрачную отделку – не более 16 мкм;

– поверхностей, обработанных под непрозрачную отделку красками – не более 63 мкм;

– поверхностей, подлежащих склеиванию – не более 200 мкм.

Часто высоту микронеровностей при фрезеровании определяют по кинематической волнистости, по высоте волн, образующихся на обработанной поверхности при цилиндрическом фрезеровании. При расчетах определяют величину подачи на зуб S_z, мм, по формуле [7, 9]:

$$S_z = \sqrt{y(2R - y)} + \sqrt{y(2R - y) - \Delta(2R - \Delta)}, \qquad (1)$$

где y – высота микронеровностей, $y = R_a$, мм;

R – радиус режущей кромки цилиндрической фрезы, мм;

Δ – максимальное отклонение радиусов зубьев фрезы, мм.

Средняя толщина срезаемого слоя на дуге контакта зуба фрезы с заготовкой находится так, мм (рис. 28):

$$a_{c1} = \frac{S_z}{\varphi_{вых}}(1 - \cos\varphi_{вых}), \qquad (2)$$

где $\varphi_{вых}$ – центральный угол выхода лезвия фрезы из заготовки, рад.

При глубине фрезерования t

$$\varphi_{вых} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\frac{R - t}{R}. \qquad (3)$$

Электронный архив УГЛТУ

Измеряют глубину неровностей в производственных условиях визуально по эталонным деревянным образцам или по аттестованным обработанным деталям.

Для получения на станке высококачественной, с невысокими микронеровностями обработанной поверхности, надо использовать режим резания с небольшой толщиной срезаемого слоя. Чем меньше толщина срезаемого слоя древесины, тем более гладкую поверхность можно получить при резании. Это особенно важно при обработке торцовых поверхностей, когда угол встречи $\varphi_в$, образованный между вектором скорости главного движения V и направлением волокон под плоскостью резания, равен $\varphi_в$=90°±20°. Для обработки торцовых поверхностей можно принять толщину срезаемого слоя a=0,07…0,1 мм.

Минимальное энергопотребление. Энергопотребление режима резания характеризуется параметром удельной работы резания, величина которой зависит, прежде всего, от толщины срезаемого слоя материала. Пусть надо обработать на станке 100 деталей. Известно, что, если задание будет выполняться режимом резания с толщиной срезаемого слоя a=0,25 мм, то затраты энергии (расход электроэнергии) на выполнение задания, будет ниже, нежели при режиме резания с толщиной срезаемого слоя a=0,1 мм.

Кроме того, экспериментально доказано, что при увеличении скорости главного движения при фрезеровании древесины до 35 м/с энергопотребление процесса резания убывает, при дальнейшем увеличении – возрастает.

Расчет скорости главного движения выполняют по формуле, м/с

$$V = \frac{\pi D n}{60000}. \qquad (4)$$

Максимальная производительность обработки детали. Производительность процесса обработки детали на станке определяется величиной скорости подачи, м/мин:

$$V_s = \frac{S_z Z n}{1000}, \qquad (5)$$

где S_z – величина подачи на один зуб фрезы, мм;

Z – количество зубьев фрезы, шт;

n – частота вращения фрезы, мин$^{-1}$.

Электронный архив УГЛТУ

Известно, чем больше толщина срезаемого слоя a_c, тем больше значение подачи на зуб S_z и тем больше скорость подачи V_s. Итак, для увеличения производительности процесса резания надо работать на станке с режимом резания при большом значении толщины срезаемого слоя.

Затупление режущих кромок. Затупление режущих кромок лезвий фрезы характеризуется ростом их радиуса закругления. По мере работы фрезы ее лезвия (зубья) истираются, на задних поверхностях образуются фаски, что приводит к увеличению радиуса закругления режущих кромок. В результате этого режущие способности фрезы ухудшаются: увеличиваются силы резания и энергопотребление, на обработанной поверхности образуются вырывы, шероховатость ухудшается. Наступает отказ, когда фреза не позволяет получить при работе нормативные значения шероховатости, энергопотребления.

Силы резания при затуплении режущих кромок увеличиваются. При расчете процесса резания зптупление учитывается коэффициентом затупления α_ρ, величина которого изменяется от 1 до 1,8. Для острого лезвия α_ρ=1, для тупого α_ρ=1,5…1,8.

Интенсивный процесс истирания и затупления лезвий наблюдается при режиме резания с тонкими срезаемыми слоями, когда $a < 0{,}1$ мм. Таким образом, для предотвращения интенсивного затупления лезвий, работать с малыми скоростями подач не рекомендуется.

Прочность режущего инструмента. При работе режущий инструмент (концевая фреза) под воздействием внешней нагрузки может сломаться. Схема крепления фрезы показана на рис. 28. Ломается фреза обычно около патрона, где изгибающий момент достигает максимального значения.

Изгибающий момент, $H \cdot$ мм:

$$M_u = F_x l = a_n a_w (\alpha_\rho p + k a_c) b l \frac{l_к}{t_з}, \qquad (6)$$

где F_x – касательная сила резания, при работе боковыми режущими кромками, Н;

l – длина рабочей части фрезы, мм;

Электронный архив УГЛТУ

a_n – поправочный коэффициент на породу древесины;

a_w – поправочный коэффициент на влажность древесины;

α_ρ – коэффициент затупления лезвий;

$l_к$ – длина дуги контакта лезвия, $l_к = \sqrt{td}$, мм;

$t_з$ – шаг зубьев, $t_з = \dfrac{\pi d}{Z}$, мм;

p – фиктивная сила резания, Н/мм;

k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба фрезы, МПа. Для продольно-торцового резания древесины сосны

$$p_{//-\perp} = 1{,}57 + 3{,}23\sin^{1,25}\varphi_в;$$

$$k_{//-\perp} = 0{,}196\delta + 0{,}069V' - 5{,}4 + (0{,}354\delta + 0{,}127V' - 14{,}22)\sin^{1,25}\varphi_в;$$

a_c – средняя толщина срезаемого слоя, мм;

b – ширина срезаемого слоя, мм;

δ – угол резания, град;

V' – условная скорость резания, м/с, причем, если $V <$ 50 м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$, где V – скорость главного движения.

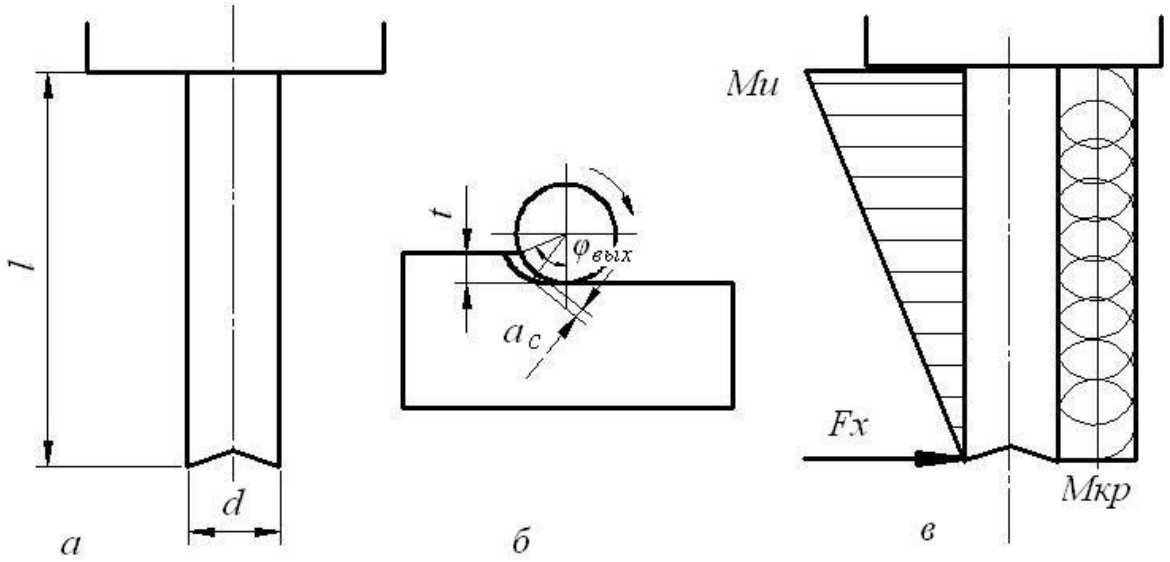

Рис. 28. Схемы к расчету прочности торцовой фрезы:
а – крепление фрезы в патроне;
б – параметры процесса фрезерования;
в – эпюры изгибающих и крутящих моментов фрезы

Электронный архив УГЛТУ

На фрезу действует также крутящий момент, $H \cdot мм$:

$$M_{кр} = F_x d / 2 = a_n a_w (\alpha_\rho p + k a_c) b \frac{l_к d}{2 t_з}. \quad (7)$$

От действия изгибающего и крутящего моментов создается приведенный момент, $H \cdot мм$:

$$M_{пр} = \sqrt{M_и^2 + 0{,}45 M_{кр}^2}. \quad (8)$$

Известна зависимость

$$/\sigma_{-1}/W = M_{пр}, \quad (9)$$

где $/\sigma_{-1}/$ – допускаемое напряжение на изгиб, для инструментальной быстрорежущей стали Р18, из которой делаются концевые фрезы, учитывая, что облом фрезы происходит от усталостных напряжений, рекомендуется $/\sigma_{-1}/ \le 100$ МПа.

W – момент сопротивления, для деталей круглого поперечного сечения $W = 0{,}1 d^3$, мм^3.

Используя выражения (7) и (8), получим формулу для определения допустимой толщины срезаемого слоя по условию прочности фрезы, мм:

$$a_{c2} = \frac{/\sigma_{-1}/ d^3}{10 a_n a_w b k \frac{Z\sqrt{td}}{\pi d} \sqrt{l^2 + 0{,}1125 d^2}} - \frac{\alpha_\rho p}{k}. \quad (10)$$

Выбор рационального режима резания. Рациональный режим резания включает такое значение толщины срезаемого слоя, которое наилучшим образом удовлетворяет одновременно всем критериям: по шероховатости, энергопотреблению, производительности, затуплению лезвий и прочности инструмента.

Рациональному режиму резания соответствует наименьшее значение толщины срезаемого слоя, полученное из условий шероховатости и прочности фрезы: $a = \min(a_{c1},\ a_{c2})$.

Допустимая подача на зуб, мм

$$S_z = \frac{a \varphi_{вых}}{1 - \cos \varphi_{вых}}. \quad (11)$$

Скорость подачи, м/мин:

$$V_s = \frac{S_z Z n}{1000}. \quad (12)$$

Электронный архив УГЛТУ

8.3. Учет направления перерезания волокон древесины

8.3.1. Зоны резания при продольном фрезерования

По положению зуба фрезы относительно волокон древесины на дуге контакта при цилиндрическом фрезеровании можно выделить несколько зон. В каждой зоне условия фрезерования древесины разные, и это отражается на качестве обработанной поверхности и на величине сил резания [10].

Рассмотрим случай обработки паза цилиндрической фрезой (рис. 29). Боковые режущие кромки фрезы работают по принципу продольного цилиндрического фрезерования, при котором вектор скорости подачи V_s параллелен направлению волокон древесины. Фреза вращается по направлению часовой стрелки.

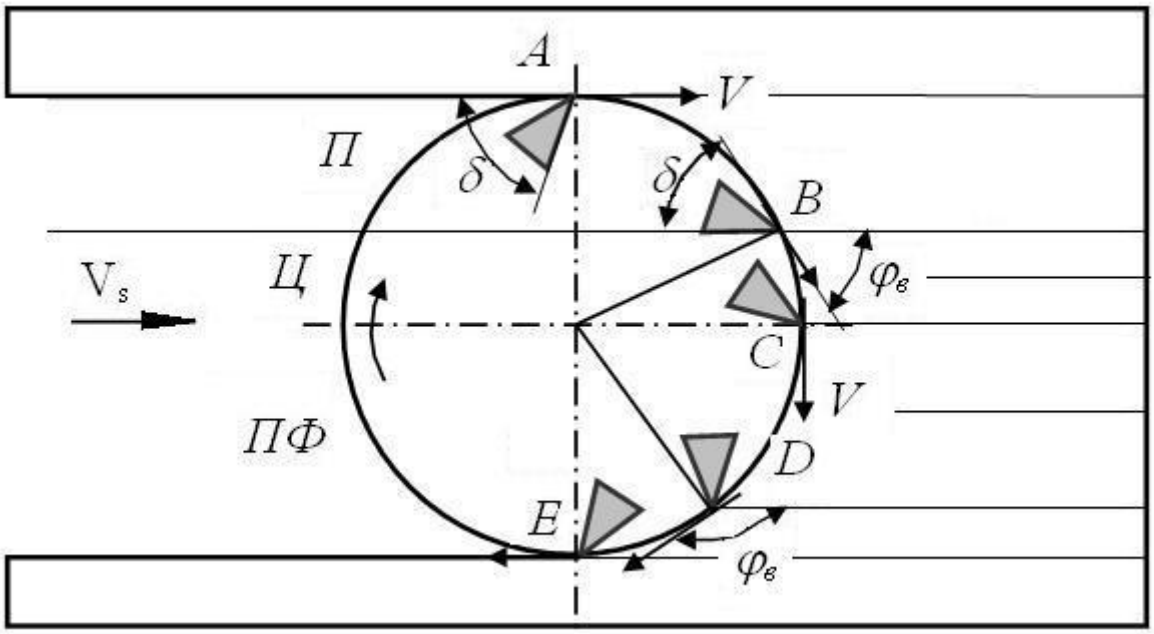

Рис. 29. Условия перерезания волокон по зонам (периферийной П, центральной Ц и попутного фрезерования ПФ)

При врезании лезвия в древесину в точке *A* угол встречи $\varphi_в$, *измеряемый под плоскостью резания между вектором скорости главного движения и волокнами древесины*, равен нулю. Происходит продольное резание, которое затем переходит в продольно-торцовое резание.

Электронный архив УГЛТУ

На участке *AB* дуги контакта угол встречи $\varphi_в$ меньше угла резания лезвия δ. Эту зону назовем периферийной *П*. В периферийной зоне основную работу по отделению стружки выполняет передняя поверхность лезвия. Волокна древесины срезаемого слоя сначала упираются в переднюю поверхность, сжимаются и изгибаются ею, как консольно закрепленная балка. Затем изогнутые волокна встречаются с режущей кромкой, которая надрезает их. Таким образом, происходит сначала сжатие и изгиб волокон, а затем их надрезание. Передняя поверхность лезвия стремится оторвать срезаемый слой в плоскости волокон. Перед режущей кромкой может образоваться опережающая трещина, направленная в массив. Если подпор нижележащих слоев древесины недостаточен, то на обработанной поверхности образуются задиры.

В точке *B* дуги контакта $\varphi_в = \delta$, и передняя поверхность лезвия расположена параллельно волокнам древесины. Здесь резание переходит в центральную зону *Ц*.

В центральной зоне на участке дуги *BC* $\delta \le \varphi_в \le 90°$. В этой зоне волокна древесины сначала перерезаются главной режущей кромкой, а затем передняя поверхность их начинает деформировать. Организация процесса резания стала более благоприятной. Однако в центральной зоне резание древесины приближается к торцовому, что значительно затрудняет перерезание волокон. Сопротивление резанию увеличивается и достигает максимального значения в точке *C*. При затупившейся режущей кромке перерезать волокна древесины становится труднее, нежели оторвать их друг от друга в плоскости волокон. На обработанной поверхности образуются задиры, вырывы волокон.

На дуге контакта *ABC* толщина срезаемого слоя увеличивается от нуля в точке врезания *A* до максимального значения в точке *C*, что соответствует встречному фрезерованию.

В точке *C* резание из встречного переходит в попутное ПФ. Резание на дуге *CDE* происходит в зоне попутного фрезерования, при котором толщина срезаемого слоя изменяется от максимального значения до нуля в точке *E*. В этой зоне условия перерезания волокон режущей кромкой такие же, как в центральной зоне при $\delta \le \varphi_в \le 180°$. При подходе к точке *E* резание приближается от торцового к про-

Электронный архив УГЛТУ

дольному, силы резания уменьшаются. Условия резания становятся более благоприятными, однако, если на выходе лезвия отсутствует достаточный подпор волокон, то там образуются сколы.

8.3.2. Зоны резания при торцовом фрезеровании

Фрезерование цилиндрической фрезой по отношению к волокнам древесины может быть торцовым, когда ось вращения фрезы и направление ее подачи перпендикулярны направлению волокон древесины. Для изучения условий перерезания волокон древесины при торцовом фрезеровании рассмотрим обработку паза, продольная ось которого перпендикулярна волокнам (рис. 30).

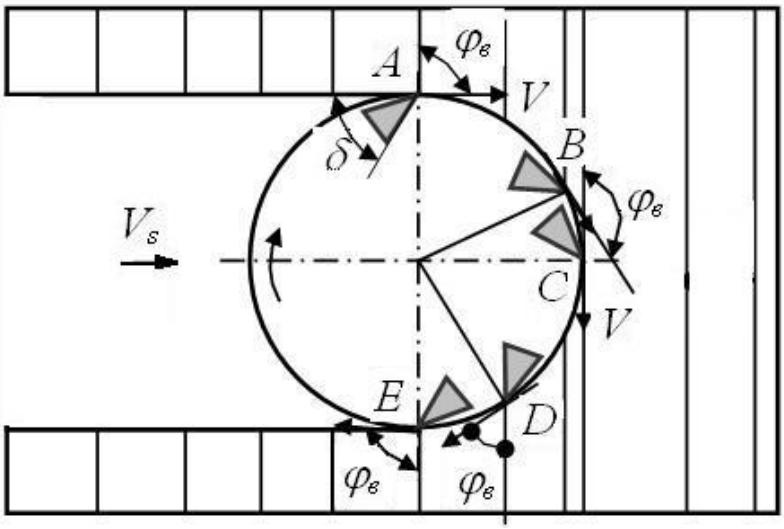

Рис. 30. Условия перерезания волокон при торцовом фрезеровании

Угол встречи лезвия с волокнами $\varphi_в$ (угол перерезания волокон) в момент врезания режущей кромки в древесину (точка *A*) $\varphi_в = 90°$, и угол резания $\delta < \varphi_в$. На участке *ABC* дуги контакта угол встречи $\varphi_в$ увеличивается от 90° до 180°, и резание переходит от торцового к продольному. На этом участке волокна древесины сначала перерезаются режущей кромкой, а затем деформируются передней поверхностью лезвия и скалываются. Кроме того, на участке *ABC* происходит встречное резание.

Электронный архив УГЛТУ

В точке С дуги контакта угол встречи $\varphi_в$ = 180° или можно считать $\varphi_в$ = 0°, что соответствует продольному резанию. Далее резание постепенно переходит в продольно-торцовое и в точке Е становится торцовым.

На дуге *CD* угол встречи $\varphi_в < \delta$. При резании волокна древесины сначала изгибаются и сжимаются передней поверхностью лезвия и только затем надрезаются режущей кромкой. Это зона с неблагоприятными условиями перерезания волокон.

На дуге *DE* угол встречи $\varphi_в > \delta$, и режущая кромка начинает выполнять основную работу резания – волокна древесины сначала перерезаются, а затем стружка скалывается передней поверхностью лезвия в плоскости волокон. На дуге *СДЕ* выполняется попутное фрезерование.

8.3.3. Условия резания при поперечном фрезеровании

При поперечном цилиндрическом фрезеровании ось вращения фрезы параллельна, а направление подачи перпендикулярно направлению волокон (рис. 31).

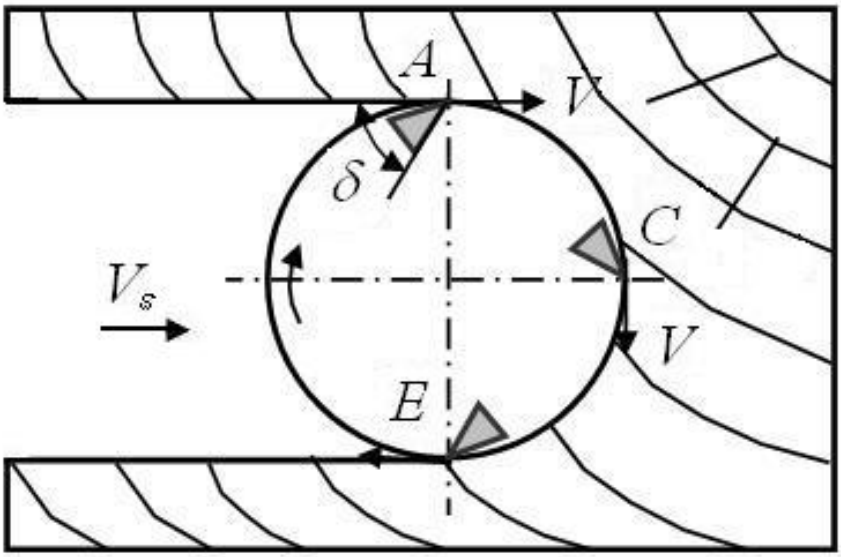

Рис. 31. Поперечное фрезерование

Электронный архив УГЛТУ

При поперечном фрезеровании во всех точках дуги контакта происходит чистое поперечное резание. На дуге *AC* происходит встречное фрезерование, а на дуге *CE* – попутное.

Если режущая кромка лезвия будет параллельна волокнам древесины, то силу резания будут воспринимать ограниченное количество волокон и произойдет их вырыв. Для получения гладкой обработанной поверхности режущие кромки должны быть винтовыми. В этом случае сила резания распределяется на большое количество волокон, и вырыв их становится маловероятен.

8.3.4. Особенности стружкообразования при продольном встречном фрезеровании

Встречным цилиндрическим фрезерованием называют такое фрезерование, при котором толщина срезаемого слоя на дуге контакта увеличивается от нуля в момент врезания до максимального значения при выходе зуба фрезы из зоны резания. При продольном встречном фрезеровании на всей дуге контакта зуба фрезы с заготовкой происходит продольно-торцовое резание против слоя, когда возможные опережающие трещины распространяются в массив древесины (рис. 31).

Процесс стружкообразования можно поделить на несколько этапов.

Скольжение режущей кромки по поверхности резания. На первом этапе резания происходит врезание лезвия в древесину (рис. 32, *а*). Врезание начинается в точке *O*. Режущая кромка движется по траектории *OA* и деформирует (вальцует) поверхность резания по линии *CB*.

При встречном фрезеровании толщина срезаемого слоя изменяется от нуля, когда лезвие начинает контактировать с поверхностью резания, и до максимального значения при выходе его из древесины. При этом срезание слоя начинается тогда, когда толщина его достигнет некоторой критической величины $a_{кр} = c\rho$, где c – коэффициент, зависящий от упругости обрабатываемого материала, жесткости системы станок – инструмент – деталь; ρ – радиус закругления режущей кромки.

Электронный архив УГЛТУ

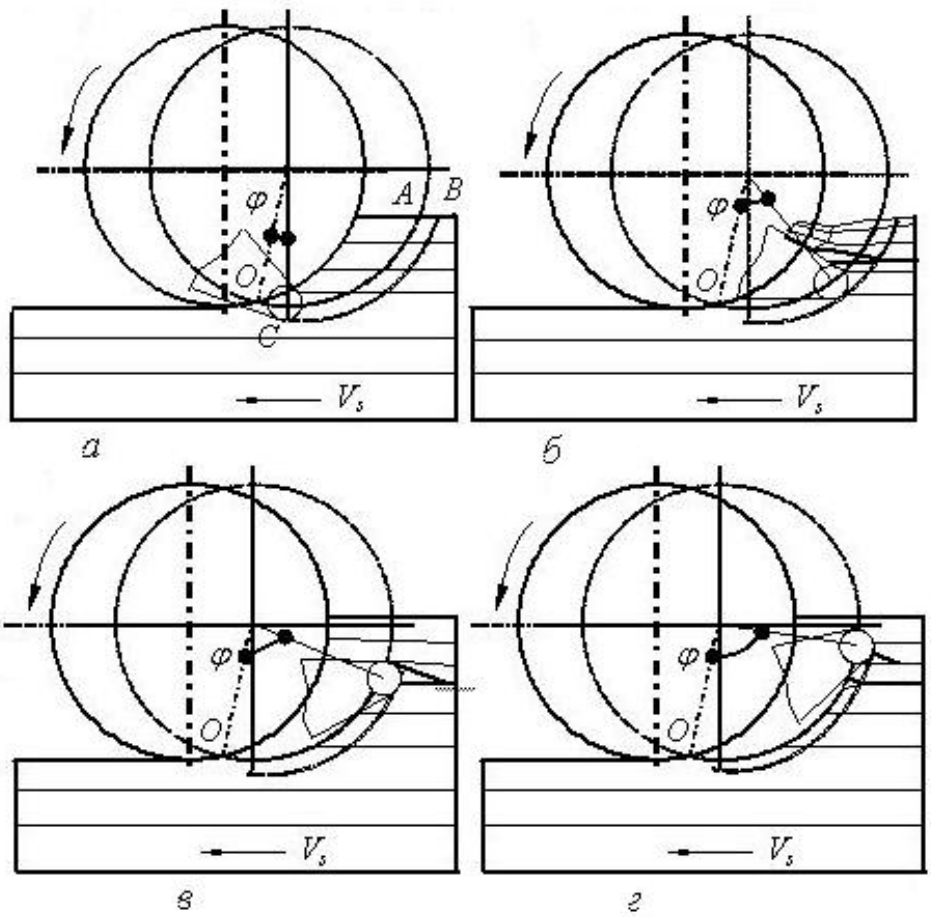

Рис. 32. Условия стружкообразования при продольном встречном цилиндрическом фрезеровании:
а – врезание; *б*, *в*, *г* – резание в периферийной, граничной и центральной зонах

До момента врезания происходит скольжение режущей кромки по поверхности резания. Длина дуги скольжения, по данным Н.А. Кряжева, равна [11]

$$l_{ск} = \frac{c\rho R}{S_z},$$

где S_z – подача на зуб, мм;

R – радиус окружности резания, мм.

На первом этапе резания основную работу выполняет задняя поверхность лезвия и примыкающая к ней часть режущей кромки. На лезвие действуют сила трения по задней грани и сила отжима. Это силы вредного сопротивления. Полезная работа по формированию новой поверхности не выполняется. Режущая кромка бесполезно изнашивается, на задней поверхности лезвия образуется фаска.

Электронный архив УГЛТУ

В периферийной зоне (см. рис. 32, *б*) с началом стружкообразования волокна древесины прежде всего контактируют с передней поверхностью лезвия, которая сжимает их и изгибает, как консольно закрепленную балку. Кроме того, передняя поверхность сжимает срезаемый слой в поперечном направлении и стремится приподнять его. Если срезаемый слой тонкий, то изогнутые волокна встречаются затем с главной режущей кромкой, которая надрезает их. Происходит непрерывный изгиб и подрезание волокон. Подпор вышележащих слоев древесины при тонком срезаемом слое обеспечивает установившийся режим резания с образованием гладких фрезерованных поверхностей.

С увеличением толщины срезаемого слоя перед главной режущей кромкой может образоваться опережающая трещина, распространяющаяся в плоскости волокон в массив.

Глубина опережающей трещины ограничивается толщиной среза и величиной подпора сжатой древесины над передней поверхностью. Если величина подпора достаточна, то режущая кромка лезвия может приблизиться к изогнутым волокнам древесины и перерезать их. Перерезанные волокна скалываются, образуя элемент стружки, скользящий по передней поверхности лезвия. Если величина подпора недостаточна для перерезания волокон, то передняя грань поднимает неперерезанный слой, глубина трещины увеличивается, и в конце ее слой ломается. Срезание слоя заканчивается отщепом.

Образованию опережающей трещины всегда предшествует деформирование срезаемого слоя. Накопленная потенциальная энергия упругого деформирования преобразуется в кинетическую энергию развития трещины. Трещина распространяется в массив с огромной скоростью, во много раз превышающей скорость главного движения.

На граничном участке между периферийной и центральной зонами угол встречи с волокнами равен углу резания лезвия (см. рис. 32, *в*). Волокна древесины параллельны передней поверхности лезвия. Срезаемый слой сжимается в поперечном направлении, изгибается, а затем режущая кромка перерезает волокна древесины. При этом толщина срезаемого слоя в данном месте дуги контакта, а следовательно, и сила резания, достигают большой величины. Передняя грань лезвия стремится поднять срезаемый слой и оторвать его от массива. Перед

Электронный архив УГЛТУ

режущей кромкой образуется опережающая трещина. Если подпор вышележащих слоев древесины недостаточен для перерезания волокон, то на выходе лезвия из заготовки образуется отщеп.

При резании в центральной зоне главная режущая кромка встречается с волокнами древесины раньше, чем передняя поверхность (см. рис. 32, *г*). Волокна сначала перерезаются, а затем поступают на переднюю грань, которая подрезанный слой сжимает и изгибает. При этом касательные напряжения в плоскости волокон могут достичь предела прочности, и элементы стружки скалываются. Если режущая кромка острая и может легко перерезать волокна древесины, а подпор еще неперерезанных волокон достаточен, то опережающие трещины не образуются. На выходе лезвий из заготовки, если не создан прижимами станка необходимый подпор, образуется отщеп.

Толщина срезаемого слоя в центральной зоне всегда имеет большое численное значение. Поэтому, несмотря на более благоприятные условия перерезания волокон древесины, перед режущей кромкой, особенно затупленной, всегда образуется опережающая трещина, и фрезерованная поверхность получается более шероховатой, чем в периферийной зоне. Образование опережающих трещин понижает силы резания.

8.3.5. Особенности стружкообразования при попутном фрезеровании

При попутном фрезеровании толщина срезаемого слоя изменяется от максимального значения в момент врезания зуба фрезы в заготовку до нуля в момент выхода зуба фрезы из заготовки. В данном случае нельзя выделить какие-то зоны. При попутном фрезеровании угол резания δ лезвия всегда меньше угла встречи с волокнами $\varphi_в$ (рис. 33). Во всех точках траектории резания $\varphi_в \geq 90°$. На дуге контакта происходит резание по слою.

Толщина срезаемого слоя при попутном фрезеровании изменяется от максимального значения при входе лезвия в древесину до нуля при выходе. Силы резания тоже изменяются от максимального значения при входе в срезаемый слой до нуля при выходе. При входе лезвия в древесину происходит удар, что вызывает вибрацию заготов-

Электронный архив УГЛТУ

ки и выкрашивание режущей кромки. Наблюдения показывают, что при попутном фрезеровании режущая кромка лезвия затупляется в 3 – 6 раз быстрее, чем при встречном фрезеровании.

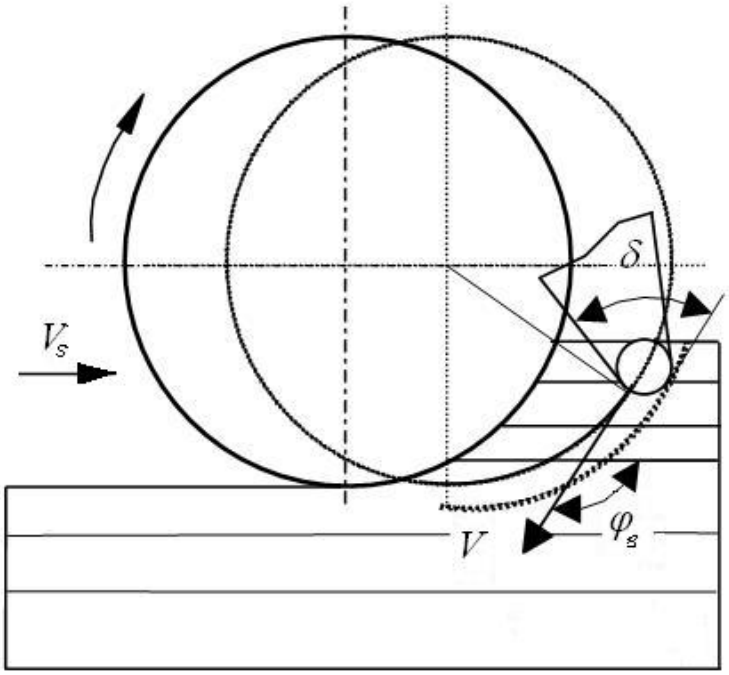

Рис. 33. Попутное цилиндрическое фрезерование

Основную работу при попутном фрезеровании выполняет главная режущая кромка. Она перерезает волокна. Опережающие трещины в данном случае не образуются. В связи с этим силы резания при попутном фрезеровании всегда больше в 1,5 - 2 раза, чем при встречном фрезеровании. Отсутствие опережающих трещин позволяет получить более гладкие поверхности, однако для этого необходимо соблюдать условия, чтобы подача на зуб была не более 0,15...0,25 мм, а радиус закругления режущей кромки был бы не более 10...15 мкм.

Удары лезвий в момент врезания при попутном фрезеровании создают условия для самоподачи заготовки, в результате чего фактическая подача на зуб может быть больше расчетной. Этого допускать нельзя.

Таким образом, при попутном фрезеровании в связи с отсутствием опережающих трещин расходуется энергии больше, но можно получить поверхности с меньшей шероховатостью.

Электронный архив УГЛТУ

8.3.6. Выбор направления обработки заготовки

При фрезеровании массивной древесины боковые режущие кромки фрезы в большинстве случаев работают по принципу продольного цилиндрического фрезерования (резание продольно-торцовое), которое характеризуется углом встречи режущей кромки фрезы с волокнами древесины. При этом фрезерование может быть либо встречным, либо попутным.

При обработке контура детали (рис. 34) на станке с ЧПУ, с целью достижения требуемой шероховатости обработанных поверхностей и снижения энергопотребления, приходится решить вопрос: в каком направлении обрабатывать деталь – в направлении движения часовой стрелки АБЕЖ или против часовой стрелки ЖЕБА, или на отдельных участках менять направления.

Наиболее опасными участками детали являются следующие:

– углы детали (здесь возможны концевые сколы):

– торцовые кромки АБ и ЕЖ (торцовое резание отличается большим энергопотреблением, затуплением режущей кромки, образованием задиров на обработанной поверхности; обработку следует проводить с небольшой скоростью подачи, S_z=0,1 мм, лезвия острые);

– дуга ВГД (здесь на обработанной поверхности возможно образование задиров, когда опережающие трещины распространяются под плоскость резания).

На рис. 34 *б*, 34 *в* проведен анализ процесса фрезерования, из которого следует:

– при обработке участков детали в направлении движения против часовой стрелки происходит фрезерование встречное, при котором толщина срезаемого слоя увеличивается от нуля в точке врезания до максимального значения в точке выхода фрезы из заготовки;

– при обработке участков детали в направлении движения часовой стрелки происходит фрезерование попутное, при котором толщина срезаемого слоя уменьшается от максимального значения в точке врезания до нуля в точке выхода фрезы из заготовки;

Электронный архив УГЛТУ

– при встречном фрезеровании вектор скорости главного движения и вектор касательной силы резания направлены в направлении от заготовки, а при попутном – внутрь заготовки;

– углы А и Е оба одинаково опасны: при обработке торцовых кромок силы резания в указанных точках при любом виде фрезерования стремятся оторвать слой древесины от массива; скорость подачи в этих точках должна быть минимальной;

– углы Б и Ж не опасны, силы резания в этих точках при встречном и попутном фрезеровании прижимают волокна древесины к массиву;

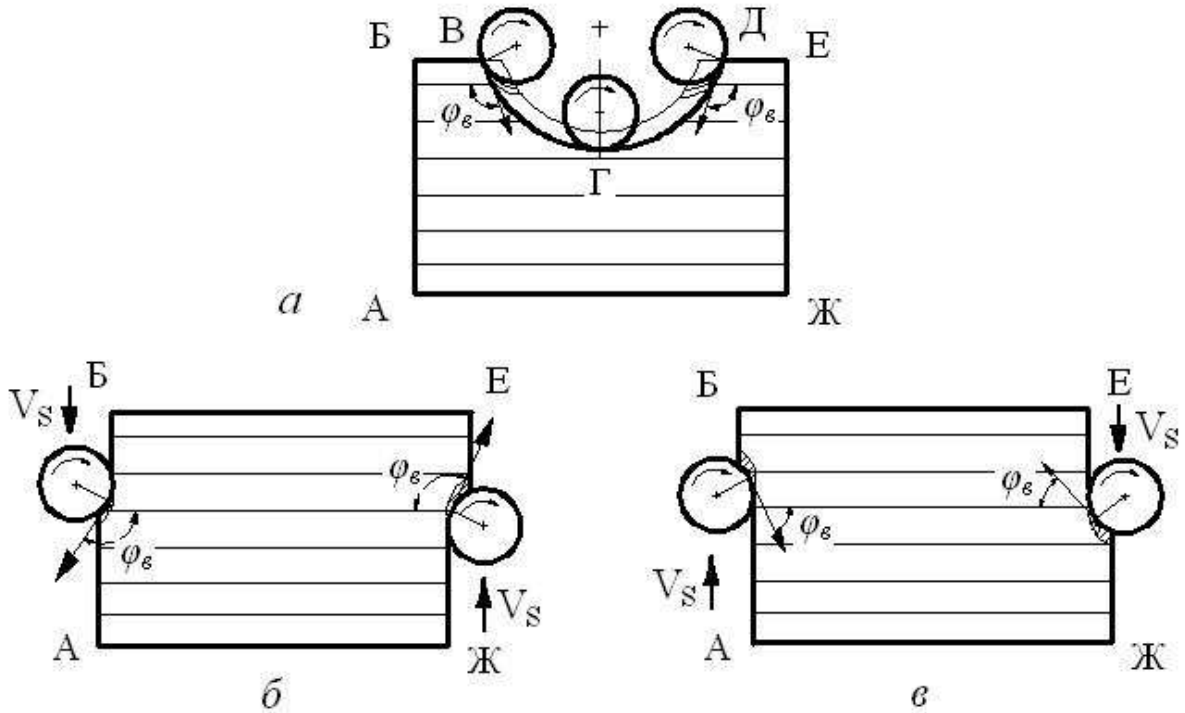

Рис. 34. Выбор направления подачи при обработке контура детали: *а* – контур детали; *б* – фрезерование встречное; *в* – фрезерование попутное

– участок ДГ: на участке контура *ДГ* при встречном фрезеровании происходит продольно-торцовое резание с углом встречи $\varphi_в > 90°$. Образующиеся опережающие трещины распространяются в срезаемый слой. Качество обработанной поверхности хорошее;

– участок ГВ: начиная от точки Г наступает попутное фрезеровании, при котором силы резания стремятся оторвать волокна от массива. Здесь всегда происходит отщеп, отрыв волокон.

Электронный архив УГЛТУ

Для предотвращения отрывов надо задействовать встречное фрезерование. Для этого в точке Г фрезерование надо прекратить. Затем следует отвести фрезу вбок от точки Г и переместить в точку *В* и закончить фрезерование участка с подачей в сторону к точке Г. В этом случае силы резания будут прижимать волокна древесины к массиву и отщепов не произойдет.

8.4. Пример выбора режима резания

Дано. На станке с ЧПУ производится обработка по контуру столярного щита, склеенного из древесины сосны, влажностью W =10% (рис. 35). Толщина щита 20 мм, диаметр фрезы d = 10 мм, количество зубьев Z =2, разность радиусов боковых режущих кромок Δ =0,05 мм, длина консольной части фрезы l = 40 мм, глубина фрезерования t = 2 мм, глубина микронеровностей обработанных поверхностей R_a =100 мкм.

Определить рациональный режим резания.

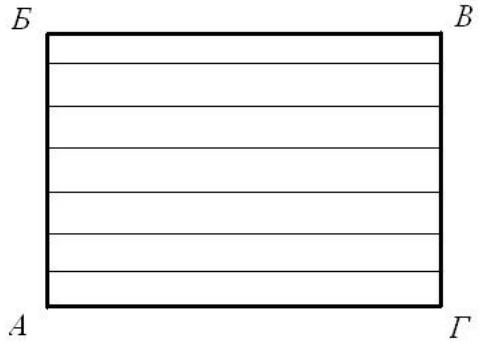

Рис. 35. Столярный щит:
АГ, БВ – продольные кромки; АБ, ВГ – торцовые кромки

Решение. 1. Находим значение подачи на зуб по требованию шероховатости

$$S_z = \sqrt{y(2R-y)} + \sqrt{y(2R-y) - \Delta(2R-\Delta)} =$$

$$= \sqrt{0{,}1(2\cdot 5 - 0{,}1)} + \sqrt{0{,}1(2\cdot 5 - 0{,}1) - 0{,}05(2\cdot 5 - 0{,}05)} = 1{,}7 \text{ мм.}$$

2. Определим угол выхода зубьев фрезы из заготовки (рис. 28)

$$\varphi_{вых} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\frac{R-t}{R} = \frac{3{,}14}{2} - \arcsin\frac{5-2}{5} = 0{,}93 \text{ рад.}$$

3. Находим максимально допустимое среднее значение толщины срезаемого слоя

Электронный архив УГЛТУ

$$a_{c1} = \frac{S_z}{\varphi_{вых}}(1-\cos\varphi_{вых}) = \frac{1,7}{0,93}(1-\cos 0,93) = 0,735 \text{ мм.}$$

4. Скорость главного движения при частоте вращения фрезы n=10000 мин$^{-1}$:

$$V = \frac{\pi dn}{60000} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 10000}{60000} = 5,2 \text{ м/с.}$$

5. Находим угол встречи режущих кромок фрезы с волокнами древесины на середине дуги контакта:

– при обработке продольных кромок заготовки

$$\sin\varphi_в = \sqrt{\frac{t}{d}}.$$

$$\varphi_в = \arcsin\sqrt{\frac{t}{d}} = \arcsin\sqrt{\frac{2}{10}} = 0,46 \text{ рад.} = 26,6 \text{ град.}$$

– при обработке торцовых кромок заготовки

$$\varphi_в = 90^\circ - 26,6^\circ = 63,4^\circ.$$

6. Находим значение фиктивной силы резания:

– для продольных кромок

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23\sin^{1,25}\varphi_в = 1,57 + 3,23\sin^{1,25} 26,6^\circ = 2,75 \text{ Н/мм;}$$

– для торцовых кромок

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23\sin^{1,25}\varphi_в = 1,57 + 3,23\sin^{1,25} 63,4^\circ = 4,38 \text{ Н/мм.}$$

7. Находим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба фрезы, МПа:

– для продольных кромок

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22)\sin^{1,25}\varphi_в,$$

где δ – угол резания, δ=60°;

V' – условная скорость резания; если V<50 м/с, то $V' = 90 - V$, иначе $V' = V$.

$$k_{//-\perp} = 0,196 \cdot 60 + 0,069 \cdot (90 - 5,2) - 5,4 + (0,354 \cdot 60 + 0,127 \cdot (90 - 5,2) -$$
$$-14,22)\sin^{1,25} 26,6^\circ = 18,73 \text{ МПа.}$$

– для торцовых кромок

Электронный архив УГЛТУ

$k_{//-\perp} = 0{,}196 \cdot 60 + 0{,}069 \cdot (90 - 5{,}2) - 5{,}4 + (0{,}354 \cdot 60 + 0{,}127 \cdot (90 - 5{,}2) -$
$-14{,}22)\sin^{1{,}25} 63{,}4^{\circ} = 27{,}68$ МПа.

8. Находим допустимое значение средней толщины срезаемого слоя по условию прочности фрезы, мм:

$$a_{c2} = \frac{/\sigma_{-1}/d^3}{10 a_n a_w bk \frac{Z\sqrt{td}}{\pi d}\sqrt{l^2 + 0{,}1125 d^2}} - \frac{\alpha_\rho p}{k},$$

где $/\sigma_{-1}/$ – допускаемое напряжение, $/\sigma_{-1}/ = 90$ МПа;

α_ρ – коэффициент затупления режущих кромок фрезы, $\alpha_\rho = 1{,}5$.

При обработке продольных кромок

$$a_{c2n} = \frac{90 \cdot 10^3}{10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 18{,}73 \frac{2\sqrt{2 \cdot 10}}{3{,}14 \cdot 10}\sqrt{4 \cdot 40^2 + 0{,}45 \cdot 10^2}} - \frac{1{,}5 \cdot 2{,}75}{18{,}73} = 0{,}83 \text{ мм.}$$

При обработке торцовых кромок

$$a_{c2m} = \frac{90 \cdot 10^3}{10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 27{,}68 \frac{2\sqrt{2 \cdot 10}}{3{,}14 \cdot 10}\sqrt{4 \cdot 40^2 + 0{,}45 \cdot 10^2}} - \frac{1{,}5 \cdot 4{,}38}{27{,}68} = 0{,}47 \text{ мм.}$$

9. Анализ результатов расчета:

– по требованию к шероховатости обработанных поверхностей допускается:

– для обработки продольных кромок $a_{c1} = 0{,}735$ мм;

– для обработки торцовых кромок $a_{c1} = 0{,}1$ мм;

– по требованию прочности фрезы:

– для обработки продольных кромок $a_{c2} = 0{,}83$ мм;

– для обработки торцовых кромок $a_{c2} = 0{,}47$ мм.

Минимальные значения будут удовлетворять выбранным критериям оценки (по шероховатости и прочности фрезы). Принимаем:

– для обработки продольных кромок $a_{c1} = 0{,}735$ мм;

– для обработки торцовых кромок $a_{c1} = 0{,}1$ мм.

10. Находим значение подачи на зуб:

– для обработки продольных кромок

$$S_{z1} = \frac{a_{c1}\varphi_{вых}}{1 - \cos\varphi_{вых}} = \frac{0{,}735 \cdot 0{,}93}{1 - \cos 0{,}93} = 1{,}7 \text{ мм;}$$

– для обработки торцовых кромок

Электронный архив УГЛТУ

$$S_{z1} = \frac{a_{c1}\varphi_{вых}}{1-\cos\varphi_{вых}} = \frac{0{,}1\cdot 0{,}93}{1-\cos 0{,}93} = 0{,}2 \text{ мм.}$$

11. Скорость подачи:

– для обработки продольных кромок

$$V_s = \frac{S_z Zn}{1000} = \frac{1{,}7\cdot 2\cdot 10000}{1000} = 34 \text{ м/мин;}$$

– для обработки торцовых кромок

$$V_s = \frac{S_z Zn}{1000} = \frac{0{,}2\cdot 2\cdot 10000}{1000} = 4 \text{ м/мин.}$$

8.5. Режимы резания плитных материалов

Заводы изготовители деревообрабатывающих станков с ЧПУ в инструкциях по эксплуатации приводят обобщенные рекомендации режимов обработки древесных материалов. Такие рекомендации являются приближенными и не могут рассматриваться как рациональные. Они не учитывают особенности обработки плитных материалов, таких как, древесностружечных плит, древесноволокнистых плит, MDF, фанеры и др.

Такими рекомендациями можно воспользоваться, если возникнут проблемы в расчете режимов фрезерования. Простой раскрой плитных материалов можно выполнить хвостовой фрезой при частоте вращения шпинделя 18000-22000 мин$^{-1}$ и скорости подачи 600-1020 мм/мин в плоскости XY и 120-240 мм/мин по оси Z. В качестве режущего инструмента можно использовать спиральные одно- или двузубые фрезы диаметром 3,175 или 6 мм.

При работе однозубой фрезой рекомендуется снимать слой материала не более 5 мм за проход, двузубой фрезой можно срезать слой до 10 мм за проход.

При обработке **кромок ламинированных древесностружечных плит** хвостовыми фрезами диаметром 14; 21; 25 мм можно использовать режим резания, установленный для станков с ЧПУ П.В. Рудак [12]:

– для фрезерования со снятием припуска меньше диаметра фрезы: толщина срезаемого слоя a = 0,38 мм; удаляемый припуск за проход t =2 мм; частота вращения фрезы n = 13110 мин$^{-1}$;

– для фрезерования со снятием припуска равного диаметру фрезы: толщина срезаемого слоя a = 0,38 мм; частота вращения фрезы n = 4000 мин$^{-1}$.

Электронный архив УГЛТУ

При обработке необходимо обеспечить осцилляцию по оси Z с частотой 96 мин$^{-1}$ и амплитудой 29 мм. Кроме того, необходимо максимально увеличить скорость воздушного потока, удаляющего стружку из зоны резания, иначе срезанная стружка захватывается зубьями фрезы и повторно перерезается, затрудняя процесс резания.
При обработке кромок **плит МДФ** хвостовыми фрезами диаметром 40 мм рекомендуется режим резания, установленный для станков с ЧПУ Т.В. Ефимовой [13]: частота вращения фрезы n=15000 мин$^{-1}$, скорость подачи V_s = 1000 мм/мин.

Для обработки **кромок фанеры** цилиндрическими фрезами диаметром 180 мм рекомендуется режим резания, установленный в исследовательской работе С.А. Гриневич [14]: толщина срезаемого слоя a = 0,25 мм; скорость главного движения V =50 м/с; угол резания лезвия δ = 70°; глубина фрезерования за один проход t =1,5 мм.

Для выполнения гравировальных работ на поверхности массивной древесины круглой фрезой рекомендуется частота шпинделя до 15000 мин$^{-1}$, скорость подачи до 600 мм/мин в плоскости XY и 60 …120 мм/мин по оси Z при снятии слоя глубиной не более 5 мм за один проход.

При выполнении гравировальных работ по дереву конической фрезой диаметром 3-6 мм назначают частоту вращения шпинделя до 24000 мин$^{-1}$, скорость подачи 900 – 1200 мм/мин в плоскости XY и 300-360 мм/мин по оси Z.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите параметры, характеризующие режим резания древесины и древесных материалов.

2. Напишите формулы скорости главного движения, скорости подачи, мощности.

3. От каких параметров режима резания зависит шероховатость обработанной поверхности?

4. Какое фрезерование называют продольным, торцовым, поперечным?

5. Как выбрать режим резания для характерных участков контура детали?

Электронный архив УГЛТУ

Урок 9

Сверление отверстий

9.1. Общие сведения

Для выполнения отверстий в деталях под винты, шканты система управления станком с ЧПУ имеет специальные макропрограммы [2], включающие в себя набор циклов для обработки отверстий.

По геометрии отверстия могут быть цилиндрические, ступенчатые, конические. В детали отверстие может быть сквозным или глухим. Для обработки отверстий используют сверла, зенкеры.

Для программирования обработки отверстий на станках ЧПУ используют так называемые постоянные циклы сверления.

Постоянный цикл сверления – это макропрограмма, заложенная в систему ЧПУ и вызываемая как функция с передачей параметров обработки.

Назначение макропрограммы – сокращение объема и упрощение управляющей программы, в которой многочисленные кадры обычной программы заменяются одним блоком.

Для программирования постоянных циклов сверления используются G-коды с номерами от 80 до 89, часть из которых зарезервирована и не используется. Это следующие коды:

G80 – отмена цикла сверления;

G81 – простое сверление (Single Pecking Drilling);

G82 – сверление с ломкой стружки (Break Chip Drilling);

G83 – глубокое сверление (Deep Drilling);

G84 – нарезка резьбы (Tapping);

G85 – растачивание (Counter Bore);

Номер G функции задает тип операции сверления.

9.2. Плоскости исходная и отвода

Перед тем как вызвать нужный цикл, инструмент позиционируется в нужную точку первого отверстия относительно системы координат. После вызывается цикл сверления с характерными для него

Электронный архив УГЛТУ

параметрами. Для этого в управляющей программе имеется кадр с адресами, отвечающими за настройку параметров цикла: адрес Z указывает глубину сверления, адрес R определяет положение плоскости отвода, высоту подъема сверла над нулевой плоскостью при выходе его из отверстия. *Плоскость отвода* – это плоскость над поверхностью заготовки по оси Z, устанавливаемая R адресом, от которой начинается движение подачи сверла с рабочей скоростью. В программах пользуются еще понятием исходной плоскости. *Исходная плоскость* – это плоскость над поверхностью заготовки по оси Z, в которой располагается сверло перед началом вызова цикла (рис. 36). Устанавливается в случае, если на заготовке есть препятствие для перемещения инструмента к следующим отверстиям.

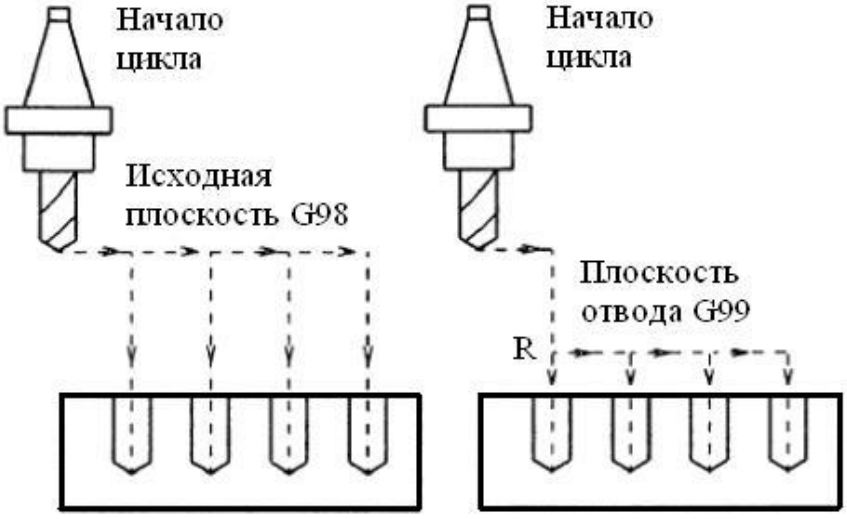

Рис. 36. Положение плоскостей исходной и отвода

После вызова цикла в последующих кадрах приводятся координаты обрабатываемых отверстий.

9.3. Простое сверление

Постоянный цикл «простое сверление» с кодом G81 предполагает непрерывное движение подачи сверла в заготовке до дна отверстия с заданной скоростью. Глубина сверления устанавливается обычно не больше $5D$, где D – диаметр сверла, мм. Обусловлено это возможностью удаления стружки из отверстия.

Электронный архив УГЛТУ

Пример.

N30 X15 Y45 (выход в точку центра отверстия 1);

N35 G1 Z15 F500 (выход на исходную плоскость Z=15 мм);

N40 G98 G81 Z-20 R5 F100 (вызов цикла простого сверления и сверление отверстия 1);

N45 X45 Y55 (переход и сверление отверстие 2);

N50 G99 X75 Y55 (переход и сверление отверстие 3);

N56 X90 Y65 (переход и сверление отверстие 4);

N60 G80 (отменить цикл сверления);

…

Переключение кодов G98, G99 допустимо внутри цикла. После выбора указанных кодов программа будет работать по схемам рис. 29. Кадры N40 и N41 обеспечивают сверление отверстия с кодом G98 и подъемом сверла до исходной плоскости на высоту Z=15 мм. Переход сверла к третьему и четвертому отверстиям выполняется по коду G99 с подъемом сверла до плоскости отвода.

9.4. Глубокое сверление

Глубокое сверление с кодом G83 используется для обработки глубоких отверстий величиной более $5D$. При обработке таких отверстий сверло многократно опускаю в отверстие с углублением на величину $(3...5)D$. При таком методе сверления удается удалить стружку из отверстия, разгрузить сверло, уменьшить его трение о стенки отверстия, уменьшить его нагрев и предупредить поломку сверла. Это особенно важно при работе тонкими сверлами.

При обработке отверстия сверло углубляется в заготовку на величину $(3...5)D$, после чего возвращается на плоскость отвода. При подъеме сверла, стружка, находящаяся в его винтовых канавках, вытряхивается на поверхность заготовки. Затем сверло снова опускается в отверстие и углубляется еще на величину $(3...5)D$. И так повторяется до тех пор, пока не будет обработано все отверстие.

Общая глубина сквозного сверления по оси Z должна превышать толщину заготовки на величину высоты конической заточки сверла.

Пример кадра глубокого сверления.

Электронный архив УГЛТУ

G83 X10 Y10 Z-25 Q5 R3.5 F500.

Адрес Q в приведенном кадре указывает относительную глубину сверления каждого рабочего хода. Сверление осуществляется по следующему алгоритму (рис. 37):

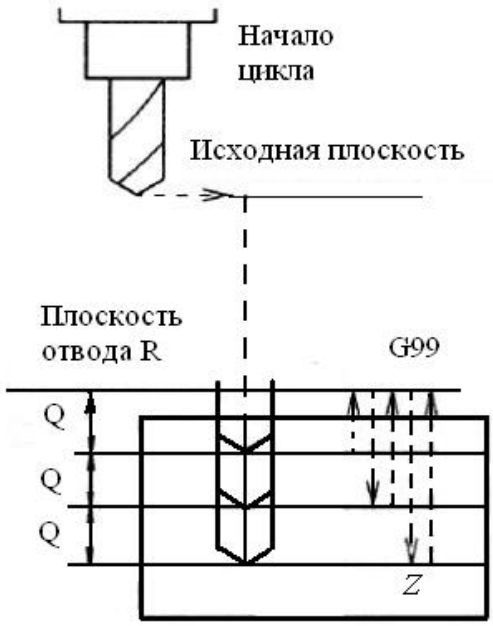

Рис. 37. Схема обработки глубокого отверстия

– сверло от исходной плоскости перемещается при ускоренной подаче до плоскости отвода, отстоящей от верхней поверхности заготовки на расстоянии, указанном в адресе R;

– от плоскости отвода сверло подается с рабочей скоростью на глубину, указанную в адресе Q;

– сверло с ускоренной подачей поднимается до плоскости отвода R3.5;

– сверло с ускоренной скоростью подачи возвращается к ранее достигнутой позиции на глубине;

– сверло с рабочей скоростью подачи углубляется по оси Z на глубину, указанную в адресе Q;

– сверло с ускоренной подачей поднимается до плоскости отвода R3.5;

– шаги подъема и опускания сверла выполняются до тех пор, пока глубина сверления не достигнет координаты Z = -25.

Электронный архив УГЛТУ

9.5. Пример выполнения программы

Дано: В крышке, выполненной из столярного щита толщиной 10 мм, имеется 6 цилиндрических отверстий диаметром 8 мм (рис. 38). Глубина сверления 15 мм.

Требуется разработать управляющую программу простого сверления отверстий.

Решение. Найдем координаты центров отверстий:

А(50, 50), Б(50, 230), В(350, 230), Г(350, 50), Д(150, 170), Е(250, 170).

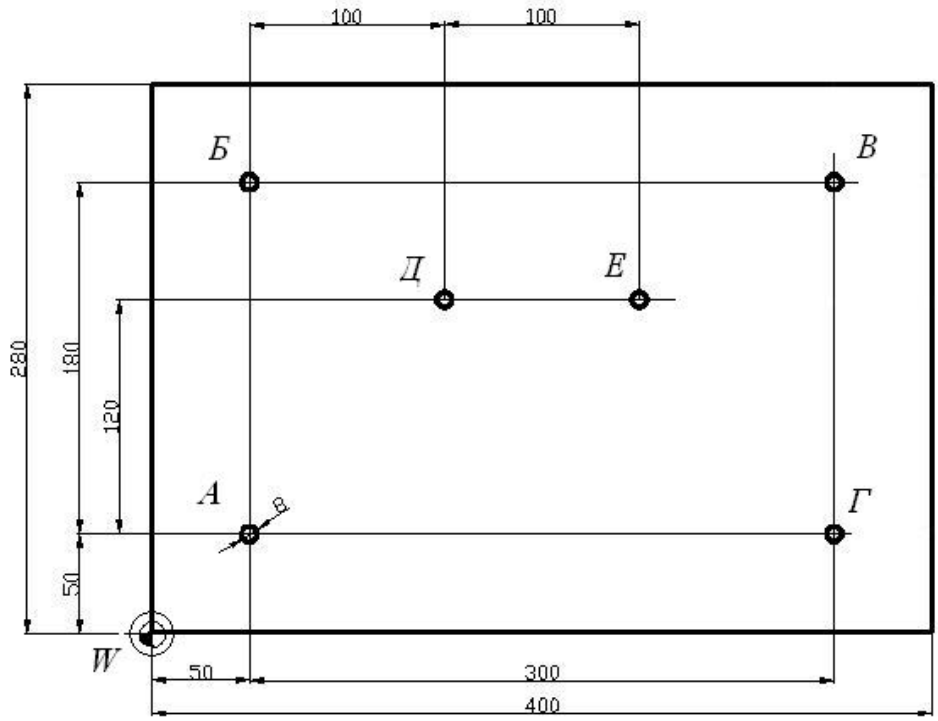

Рис. 38. Чертеж детали

Управляющая программа

Кадры	Комментарии
%	
O0001 (Drilling ABS)	Начало и название программы, абсолютная система координат
N5 G00 G17 G21 G40 G49 G80 G90	Кадр безопасности.
N10 T1 M6	Вызов сверла диаметром 8 мм и автоматическая смена инструмента (М6)

Электронный архив УГЛТУ

N15 G54 X50 Y50 S1500 M3	Перемещение к отверстию А, вращение – по часовой стрелке (М3)
N20 G43 H1 Z100	Компенсация длины сверла на уровне Z100
N25 Z20	Ускоренное перемещение к исходной плоскости Z20
N30 G99 G81 Z-15 R5 F180	Стандартный цикл сверления
N35 X50 Y230	Отверстие Б
N40 X150 Y170	Отверстие Д
N45 X250 Y170	Отверстие Е
N50 X350 Y230	Отверстие В
N55 X350 Y50	Отверстие Г
N60 G80	Отмена постоянного цикла
N65 Z100	Перемещение к Z100
N70 M5	Останов шпинделя
N75 M30	Конец программы
%	

Примечание. G21 – обеспечивает ввод перемещений в мм; G40 – отменяет автоматическую коррекцию на диаметр фрезы; G49 – отменяет компенсацию длины инструмента; G54 – позволяет системе ЧПУ переключиться на заданную систему координат; G80 – отменяет все ранее установленные постоянные циклы обработки; G90 – программирование в абсолютных координатах.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие отверстия встречаются в деталях?
2. Дайте определение понятия «Постоянный цикл сверления».
3. Назовите коды, применяемые при реализации постоянных циклов сверления.
4. Для чего используются понятия плоскостей исходной и отвода? Покажите схему их использования.
5. Изобразите деталь, в плоскости XY которой имеется три отверстия. Укажите координаты этих отверстий и напишите управляющую программу обработки отверстий.

Электронный архив УГЛТУ

Урок 10. Автоматизация разработки управляющих программ

10.1. Общая информация

Технологическая подготовка производства с использованием станков с ЧПУ включает разработку управляющих программ. Иногда программы составляют в ручном режиме. Однако этот процесс трудоемкий, по причине человеческого фактора возможны в программах ошибки. В связи с этим составление программ вручную допустимо только в случаях, когда обрабатываемая деталь имеет простую форму.

Управляющие программы можно составлять с использованием специальных программ на ЭВМ. При автоматизированном программировании все задачи ручного программирования решаются на компьютере. При этом с точностью 0,01 мм данные чертежа преобразуются в коды программирования, составляющие управляющую программу [2].

Для автоматического написания управляющих программ используют CAD/CAM системы. CAD система (computer-aided design – компьютерная поддержка проектирования) обеспечивает оформление чертежа детали с помощью персонального компьютера. CAM система (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) автоматизирует расчеты траекторий, по которым должен перемещаться инструмент, и обеспечивает выдачу управляющих программ с помощью компьютера.

В CAD системе создается электронный чертеж 2*D* или 3*D* модели детали. Затем электронный чертеж импортируется в CAM систему. Программист выбирает стратегию обработки детали, назначает режущий инструмент, точность обработки, режимы резания. Система производит расчеты траекторий перемещений режущего инструмента.

Одной из таких систем является ArtCAM Pro. ArtCAM Pro – это программный пакет для пространственного моделирования механической обработки деталей, который позволяет автоматически генерировать пространственные модели из плоского рисунка и получать по ним изделия на станках с ЧПУ. Пакет прост в изучении и применении.

Электронный архив УГЛТУ

В настоящее время ArtCAM – наиболее популярная программа для создания профильных изделий.

Ниже приведен пример подготовки управляющей программы с использованием программы ArtCAM.

10.2. Задача 5

Дано. На станке BEAVER – 9AT предполагается обработать деталь (рис. 39). Материал детали – столярный щит толщиной 10 мм, склеенный из березовых делянок. Режущий инструмент – концевая фреза диаметром D = 10 мм.

Требуется написать управляющую программу с использованием программы ArtCAM Pro.

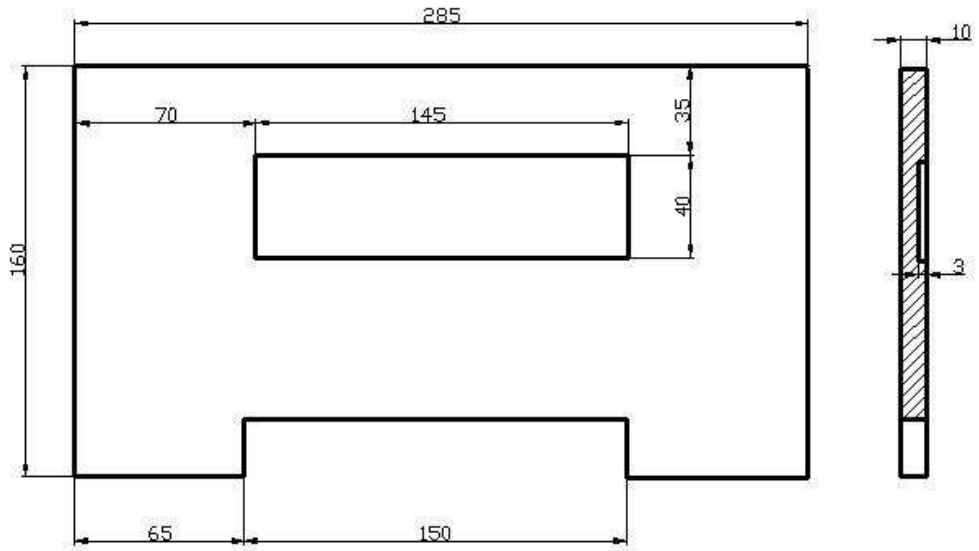

Рис. 39. Чертеж детали «Стойка» в масштабе М1:1

Решение. 1. Делаем электронный чертеж детали в AutoCAD и сохраняем его (Файл – Сохранить как) на рабочем столе с расширением «Стойка.dwg». На чертеже оставляем только одну проекцию – вид спереди (2D модель), на которой ясны контуры детали, размеры не проставляем. Контуры отрезков линий должны быть замкнуты (без разрывов в углах), расположены в одном слое (это очень важно). Размеры контура должны соответствовать требуемой точности.

2. Открываем программу ArtCAM Pro. Нажимаем кнопку «Создать новый проект».

Электронный архив УГЛТУ

3. Загружаем электронный чертеж детали. Для этого воспользуемся меню (Файл – Открыть). На рабочем столе находим файл «Стойка.dwg» и жмем кнопку «Открыть». Появляется окно «Размер новой модели», в котором необходимо уточнить высоту и ширину чертежа с размерами в мм. Размеры модели должны соответствовать габаритным размерам детали. Начало координат детали расположено в нижнем левом углу модели.

Введем значения: высота – 160 мм, ширина – 285 мм. Жмем кнопку «ОК», если в новом окне изменений нет, то снова жмем «ОК». В открывшемся окне видим «2D Вид: 0 – Растровый слой», т.е. чертеж детали (рис. 40).

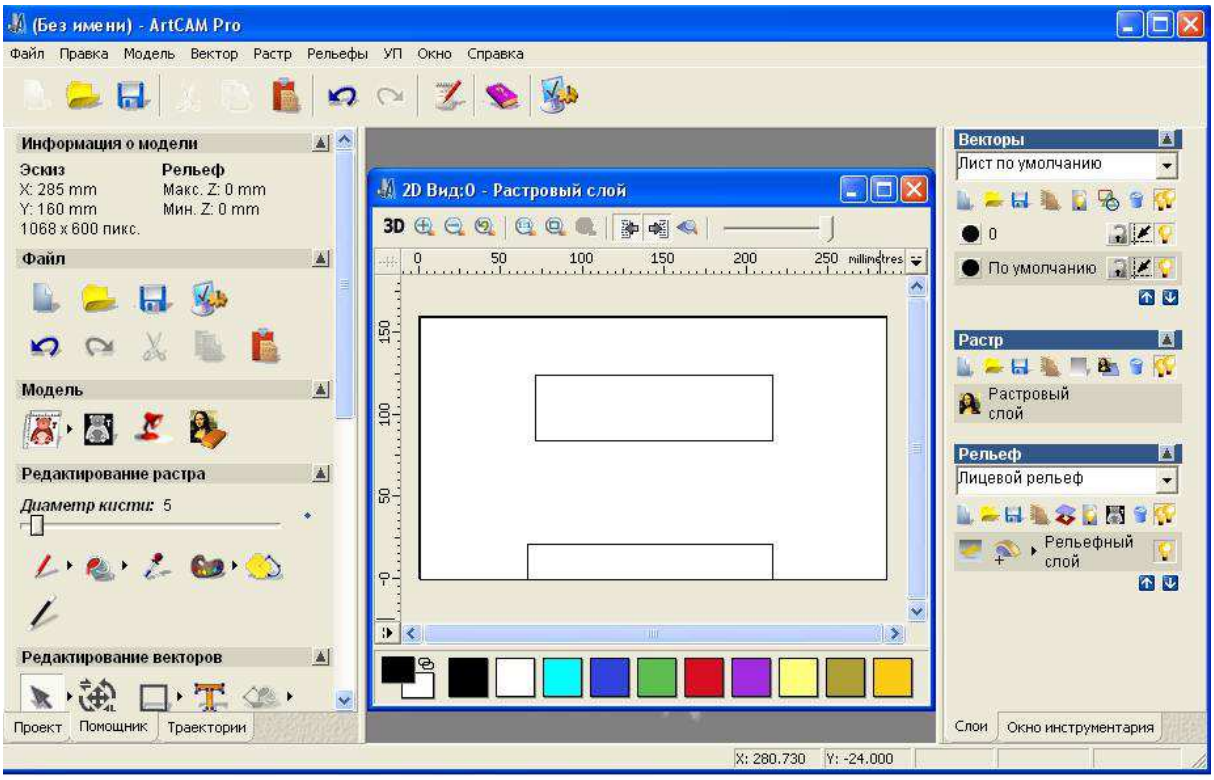

Рис. 40. Загруженный чертеж детали в ArtCAM Pro

4. Для программы ArtCAM Pro все замкнутые линии чертежа есть траектории. На чертеже имеется две траектории: центрального прямоугольника и наружного контура.

Кликнем мышью на замкнутую линию прямоугольника (она станет розового цвета) и включим кнопку «Траектории», расположенную внизу левой стороны окна. В пределах контура прямоугольника надо выбрать материал глубиной 3 мм.

Электронный архив УГЛТУ

В открывшемся окне в разделе 2DУП (колонка слева) выбираем кнопку «2D Выборка» и жмем на нее. При таком выборе стратегии механической обработки обеспечивается выборка материала внутри замкнутого контура. Согласно чертежу глубина выборки равна 3 мм. Для получения гладкой поверхности дна углубления обработку планируем в два прохода. Начальный проход – углубляемся на 2 мм и финишный окончательный проход – углубляемся на 3 мм (всего на 3 мм). Ставим эти цифры в соответствующие окна.

5. Опускаясь по левой колонке вниз, подходим к выбору плоскости безопасности, т.е. плоскости, в которой торцовые режущие кромки фрезы будут перемещаться над верхней поверхностью заготовки, не задевая ее. Кликнем мышью на стрелку и заполняем соответствующие открывшиеся окна: высоту безопасности по оси Z принимаем равной 10 мм. Укажем также точку возврата – начальную и конечную точку движения инструмента: назначаем X=-15; Y= 0; Z=10.

6. Опускаясь по колонке вниз, подходим к выбору режущего инструмента. Нажимаем кнопку «Добавить». По предложенному списку выбираем концевую фрезу диаметром 10 мм. Включаем опцию «Редактировать» и уточняем параметры фрезы: шаг смещенных траекторий фрезы при выборке гнезда – 3,5 (35% от диаметра фрезы), частота вращения n=8000 мин$^{-1}$, скорость подачи V_s= 1 м/мин, подача при врезании фрезы $V_{sв}$= 0,78 м/мин. Затем нажимаем кнопку «Выбор» и нажимаем на стрелку. Открывается окно с заданными параметрами работы фрезы.

7. Еще ниже нажимаем кнопку «Стратегия обработки» и выбираем фрезерование встречное.

8. Выбираем толщину заготовки. Нажимаем кнопку «Определить» и ставим толщину заготовки 10 мм.

9. Наконец, подходим к управляющей программе для обработки первого контура. Присваиваем программе имя «Выборка». Считаем, что программу можно создать сейчас, для этого нажимаем кнопку «Сейчас», а затем «Закрыть». Созданная программа сохраняется. Имя программы можно изменить.

Электронный архив УГЛТУ

При этом на профиле центрального прямоугольника появилась эквидистантная траектория (равноудаленная от контурной линии на величину радиуса), а внутри прямоугольника – траектории перемещения фрезы, необходимые для выборки объема материала заготовки.

10. Приступаем к созданию управляющей программы для обработки наружного контура. Кликнем мышью на линию внешнего контура. Если линия контура замкнута, то она становится розового цвета. Можно продолжить решение задачи, как это было сделано выше. Обратим внимание только на то, что контур детали сейчас обрабатывается снаружи.

Создаем управляющую программу прямо сейчас, жмем кнопки «Сейчас» и «Закрыть». Имя программы «Обгонка». На чертеже появляется эквидистантная траектория, равноудаленная на величину радиуса фрезы с внешней стороны контура детали (рис. 41).

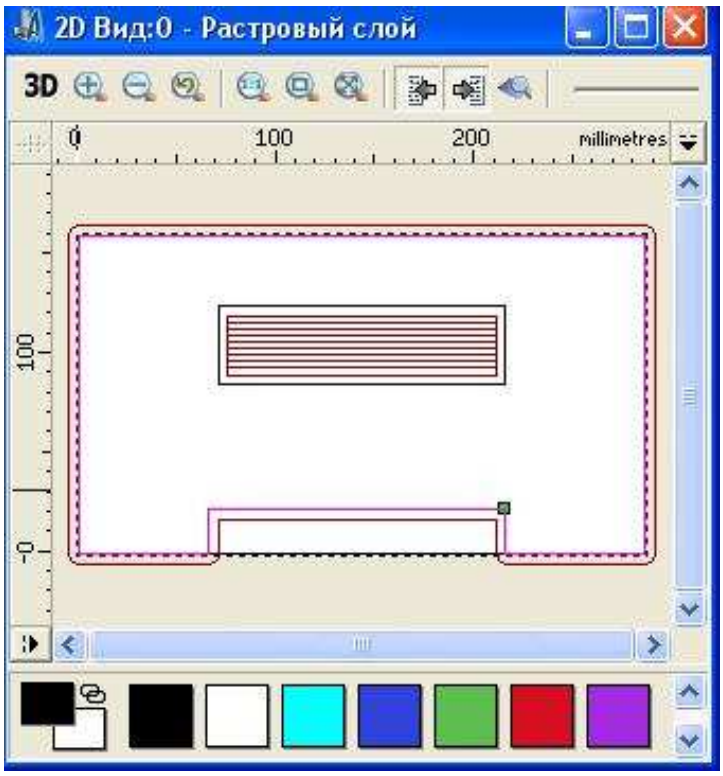

Рис. 41. Траектории фрезы при обработке детали «Стойка»

11. Переходим к блоку «Операции с УП». Созданные две управляющие программы «Выборка» и «Обгонка» надо объединить в одну. Выбираем опцию «Объединить УП» и нажимаем кнопку. Открывается окно «Объединение траекторий». Вертикальными стрелками мож-

Электронный архив УГЛТУ

но поменять местами созданные программы. Ставим флажок «Сохранить исходные траектории», напишем имя объединенной программы «Общая» и кликнем на кнопку «Вычислить».

Затем нажимаем кнопку «Сохранить УП». Открывается окно (рис. 42), в котором видим три программы. С помощью горизонтальных стрелок программу «Общая» переведем в правую колонку, а две других программы – в левую колонку. Программа правой колонки может быть сохранена. Включаем кнопку «Сохранить». Открывается окно, в котором при сохранении общей программе присваиваем имя «Стойка 1» и сохраняем ее на рабочий стол.

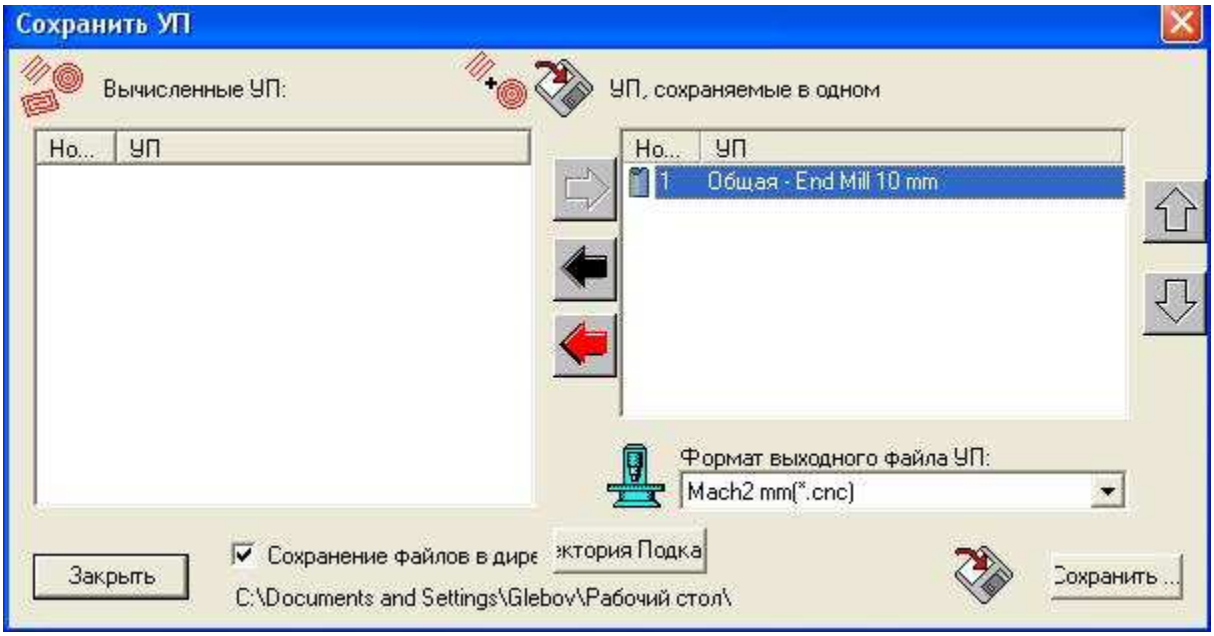

Рис. 42. Окно сохранения управляющей программы

Управляющая программа записывается в текстовом редакторе «Блокнот», с помощью которого она переносится на станок. Содержание программы, записанное в Microsoft Word, приведено ниже.

Стойка 1

```
%
G90
G49
M3 S8000
G0 X75.000 Y90.000 Z10.000
G1   Z-1.500 F780
G1 X210.000   F1000
 Y93.333
X75.000
 Y110.000
X210.000
 Y113.333
X75.000
 Y116.667
X210.000
 Y120.000
```

Электронный архив УГЛТУ

X75.000
Y96.667
X210.000
Y100.000
X75.000
Y103.333
X210.000
Y106.667
X75.000
Y110.000
X210.000
Y113.333
X75.000
Y116.667
X210.000
Y120.000
X75.000
Y90.000
X210.000
Y120.000
X75.000
G0 Z10.000
G0 Y90.000
G1 Z-3.000 F780
G1 X210.000 F1000
Y93.333
X75.000
Y96.667
X210.000
Y100.000
X75.000
Y103.333
X210.000
Y106.667
X75.000
Y90.000
X210.000
Y120.000
X75.000
G0 Z10.000
G0 X210.000 Y17.000
G1 Z-12.000 F780
G1 Y0.000 F1000
X211.464 Y-3.536
X215.000 Y-5.000
X285.000
X288.536 Y-3.536
X290.000 Y0.000
Y160.000
X288.536 Y163.536
X285.000 Y165.000
X0.000
X-3.536 Y163.536
X-5.000 Y160.000
Y0.000
X-3.536 Y-3.536
X0.000 Y-5.000
X65.000
X68.536 Y-3.536
X70.000 Y0.000
Y17.000
X210.000
G0 Z10.000
G0 X-15.000 Y0.000
G0Z10.000
X-15.000Y0.000
M05
M02
%

Программа включает 85 кадров. Сначала в два приема выполняется выборка гнезда в форме прямоугольника (кадры выделены курсивом) и затем, начиная с кадра **G0 Z10.000**, выполняется обработка по профилю.

Визуализация управляющей программы. Программа ArtCAM Pro позволяет посмотреть работу управляющей программы, имитируя обработку детали на станке. Можно увидеть траектории перемещения

Электронный архив УГЛТУ

фрезы всего процесса обработки или по каждому кадру программы в отдельности.

Вверху левой колонки имеется раздел «Отображение 2D/3D». Здесь показано имя управляющей программы «Общая». Выделим ее. Опускаемся вниз до раздела «Визуализация УП». Кликнем кнопку «Визуализация». Откроется окно «Симуляция», включающее кнопки в виде набора квадрата, треугольников с вертикальными прямыми линиями. В центре окна расположена заготовка.

Кликнем третью кнопку (треугольник). Увидим, как фреза перемещается по траекториям управляющей программы, обрабатывая деталь от начала до конца. В заключении увидим форму обработанной детали. С помощью мыши деталь можно повернуть, посмотреть с разных сторон.

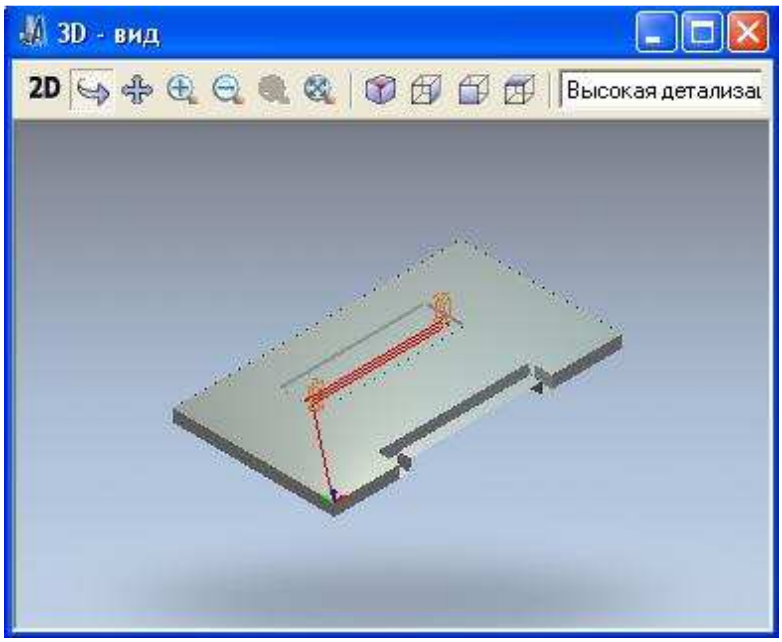

Рис. 43. Покадровая визуализация выборки гнезда

Снова кликнем «Визуализация», а затем нажмем вторую кнопку (прямая с треугольником). Увидим перемещение фрезы, соответствующее каждому кадру программы. Один клик – перемещение, соответствующее очередному кадру (рис. 43).

Таким образом, программа ArtCAM Pro позволяет автоматизировать процесс написания управляющей программы и визуализировать ее работу.

Электронный архив УГЛТУ

Фиксация заготовки на столе. Применительно к станку BEAVER – 9AT, на котором заготовка на столе может крепиться только винтовыми прижимами, заготовка может быть закреплена так. Берут заготовку заданных габаритных размеров с учетом припусков на обработку и кладут ее на подложку, размеры которой превышают размеры заготовки на величину, необходимую для фиксации подложки на столе прижимами. Подложку и заготовку соединяют шурупами так, чтобы шурупы вошли в заготовку с тыльной поверхности. В полученной детали следы от шурупов могут быть зашпатлеваны.

10.3. Задача 6

Дано. На станке BEAVER – 9AT предполагается обработать деталь «Крышка корпуса часов» (рис. 44). Материал детали – столярный щит толщиной 10 мм, склеенный из березовых делянок. Фасадную поверхность обработать с использованием стратегии гравировки по средней линии. Режущий инструмент – концевая фреза сферическая диаметром $D = 3$ мм. Поверхности детали имеют шероховатость $\sqrt{Ra25}$ и предназначены под лаковую отделку.

Требуется написать управляющую программу с использованием программы ArtCAM Pro.

Решение. 1. Делаем электронный чертеж фасада крышки в AutoCAD. Для этого берем чертеж рис. 44 и убираем с него размеры и размерные линии, разрез А-А. Все линии канавок чертежа должны быть замкнуты (как буква О), разрывы линий не допускаются. Чертеж сохраняем на рабочем столе с названием «Крышка.dwg» (рис. 45).

2. Открываем программу ArtCAM Pro. Нажимаем кнопку «Создать новый проект». Затем с помощью меню «Файл – открыть» импортируем в программу чертеж «Крышка.dwg» с рабочего стола компьютера. Чертеж крышки появился в среднем окне. С помощью курсора мыши раздвинем границы окна. Колесиком мыши увеличим чертеж по размеру окна (рис. 46).

Электронный архив УГЛТУ

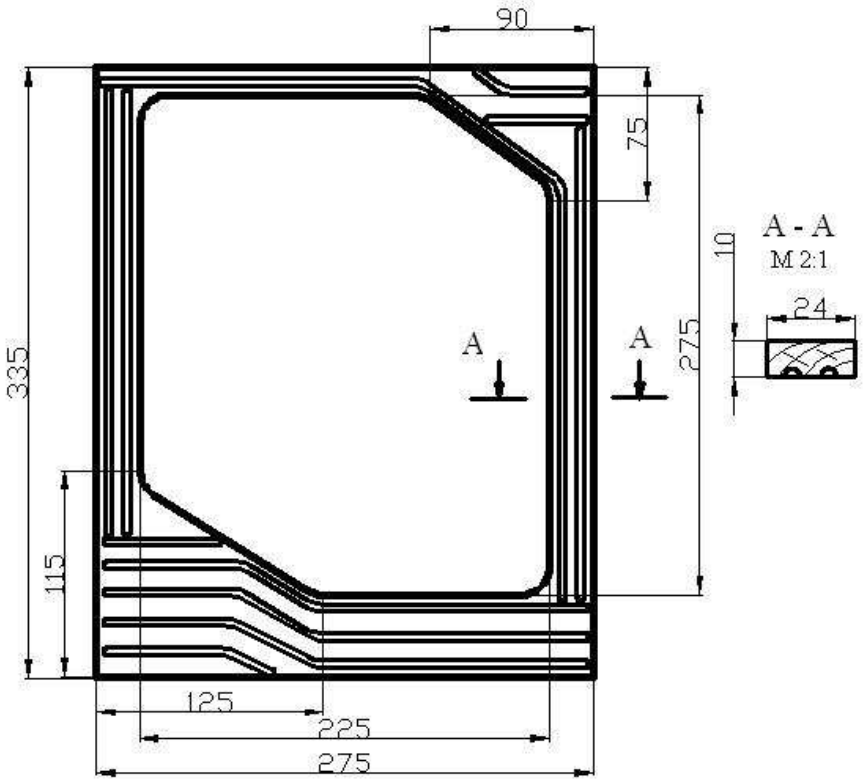

Рис. 44. Крышка корпуса часов

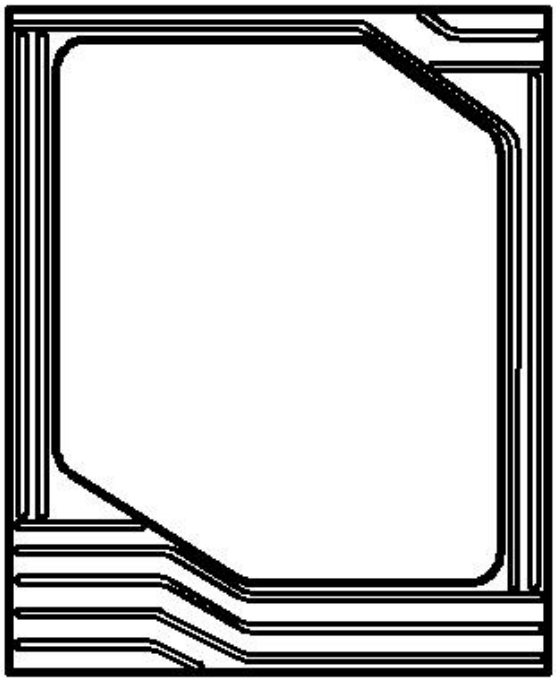

Рис. 45. Крышка

Электронный архив УГЛТУ

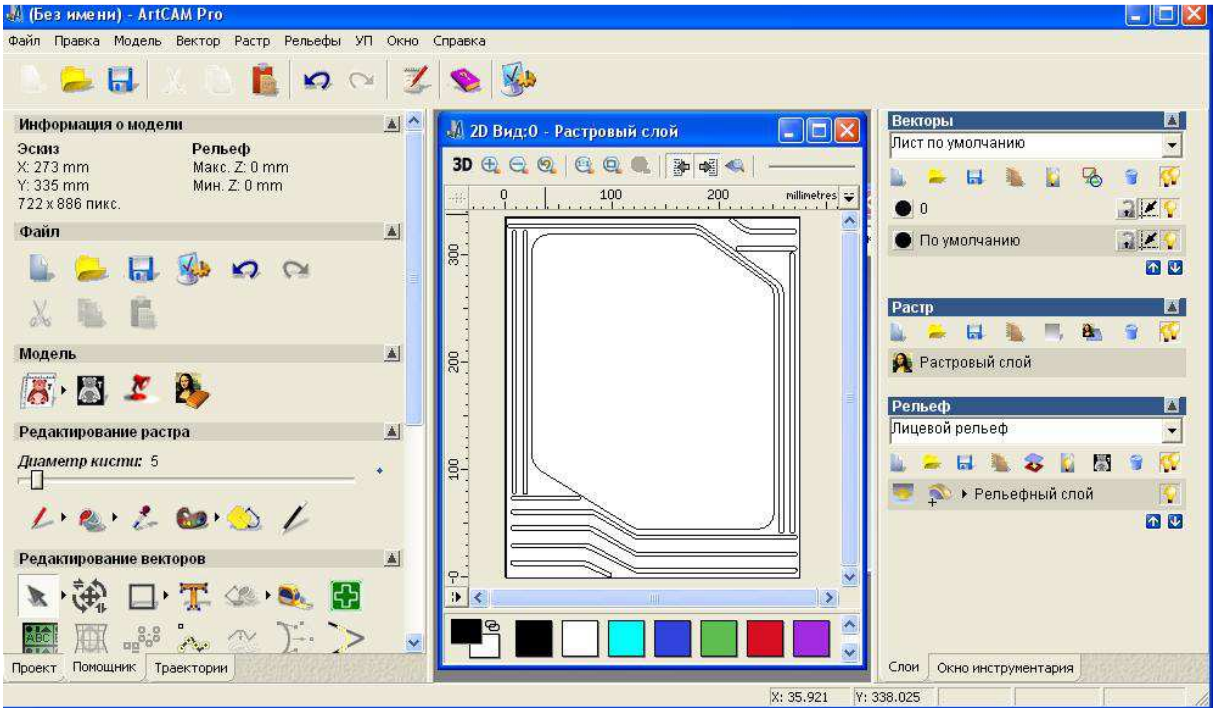

Рис. 46. Открытый чертеж крышки в программе ArtCAM Pro

3. Для программы ArtCAM Pro все замкнутые линии канавок чертежа есть траектории. Удерживая клавишу клавиатуры *Shift*, кликнем курсором каждую канавку фасада крышки. При этом замкнутые линии канавок окрасятся в розовый цвет. Таких канавок одиннадцать штук и все они стали розовыми. В левом окне (рис. 44) внизу есть клавиша «Траектории». Кликнем ее.

4. Перемещаем бегунок левого окна и находим строку 2DУП. Здесь выбираем стратегию обработки «Гравировка по средней линии». В результате левое окно получило заголовок «Гравировка по средней линии». Заполняем его.

Выбираем плоскость безопасности. Нажимаем кнопку-стрелку изаполняем: Z10, X-15, Y0, Z10.

5. Выбираем режущий инструмент. Нажимаем кнопку «Выбрать», затем в открывшемся окне жмем вторую кнопку снизу «Добавить инструмент». Открывается окно, заполняем его. Описание – пишем «Фреза», тип – выбираем «Сферический», диаметр 3,0, глубина за проход – 3, шаг – 1,02 (34%), частота вращения – 8000 об/мин, подача – 5 мм/с, подача врезания – 3 мм/с. Нажимаем кнопки «ОК», затем «Выбор».

Электронный архив УГЛТУ

В строке фреза нажимаем кнопку-стрелку и видим все выбранные параметры фрезы.

6. В строке «Порядок обработки» нажимаем кнопку-стрелку, а затем нажимаем кнопку «Средняя линия». Для выбранной фрезы выполняется расчет параметров обрабатываемых канавок:

– максимальная глубина – 1,5 мм;

– максимальная ширина – 4,432 мм.

7. Материал. Жмем кнопку «Определить» и указываем толщину заготовки 10 мм. Затем жмем «ОК» и кнопку стрелку и видим:

– верх по Z 0 мм;

– низ по Z (-10) мм.

Это означает, что начало координат находится на верхней поверхности детали.

8. Управляющая программа. Записываем ее имя «Гравировка крышки» и указываем вычислить ее сейчас, жмем кнопку «Сейчас». Затем жмем «Закрыть».

9. Поднимаемся по окну вверх до строки «Операции с УП». Жмем кнопку «Сохранить». Появляется окно (рис. 47).

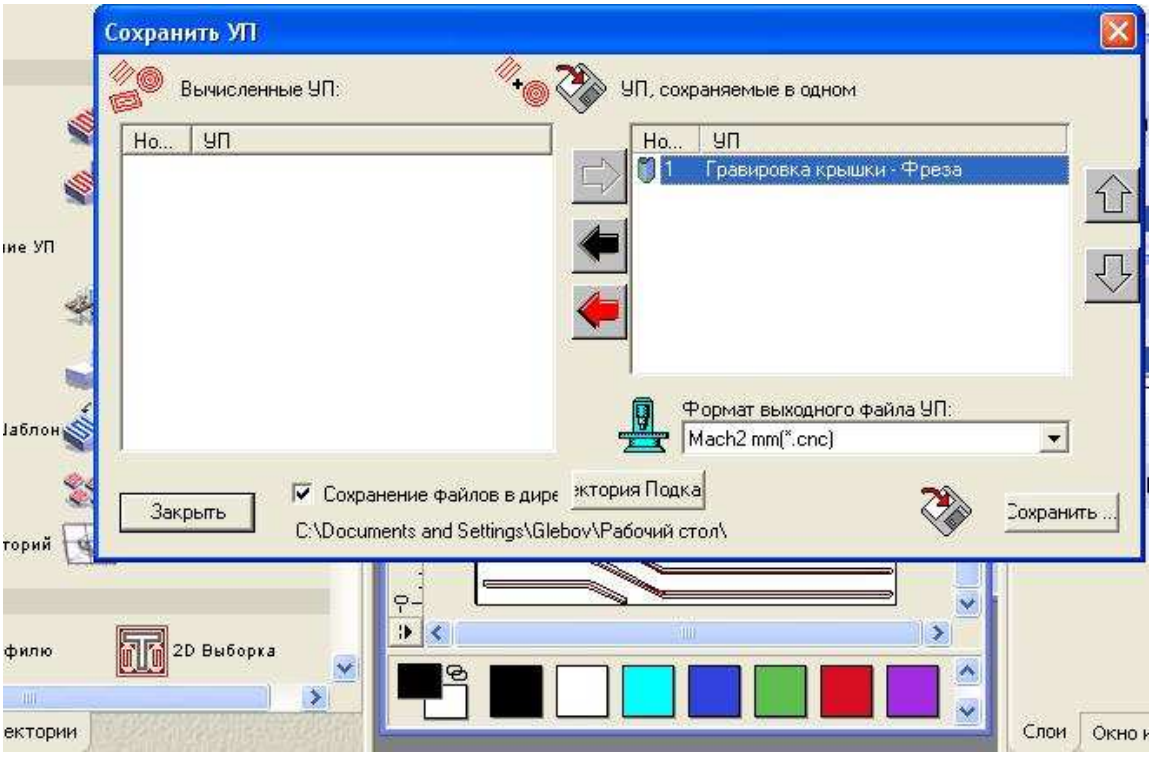

Рис. 47. Окно сохранения управляющей программы

Электронный архив УГЛТУ

Жмем кнопку «Сохранить». Присваиваем программе имя «Крышка 2А» и окончательно сохраняем. На рабочем столе компьютера появляется файл «Крышка 2А», записанная в программе «Блокнот» (ниже приведен фрагмент программы).

```
%
G90
G49
M3 S8000
G0 X6.011 Y73.797 Z10.000
G1   Z-1.500 F180
G1 X66.594 Y73.800  F300
X66.600 Y74.800
X6.040 Y74.800
X5.996 Y73.798
X6.500 Y79.839
X7.500 Y321.140
X6.494 Y321.216
X6.500 Y79.839
X16.499 Y79.787
X17.500 Y89.123
X17.500 Y321.225
X16.498 Y321.267
X16.499 Y79.787
G0   Z10.000
G0 X5.936 Y14.385
G1   Z-1.500 F180
G1 X13.698 Y13.383  F300
X67.518
X81.882 Y8.803
X95.382 Y2.093
X95.992 Y3.092
X74.577 Y13.979
X68.857 Y15.208
X5.936 Y14.385
G0   Z10.000
G0 X5.966 Y29.599
G1   Z-1.500 F180
G1 X70.301 Y29.600  F300
……................................
X-15.000Y0.000
M05
M02
%
```

10. Опускаемся в левом окне до строки «Визуализация УП». Жмем первую кнопку. В открывшемся окне нажимаем кнопку «Визуализация». Слева появились кнопки симуляции, а в центральном окне – заготовку. Жмем третью кнопку (треугольник) и видим траекторию движения фрезы и результат гравировки. Если нажмем четвертую кнопку симуляции (Δ), то увидим процесс обработки каждой канавки в отдельности (рис. 48). Фреза проходит по каждой канавке дважды: вперед, обрабатывая дорожку шириной 3 мм прижимаясь к правой стороне линии профиля канавки, и назад со смещением 1,02 мм, прижимаясь к левой стороне канавки. При этом можно пометить порядок обработки канавок, пометить в какой последовательности обрабатываются все 11 канавок.

Электронный архив УГЛТУ

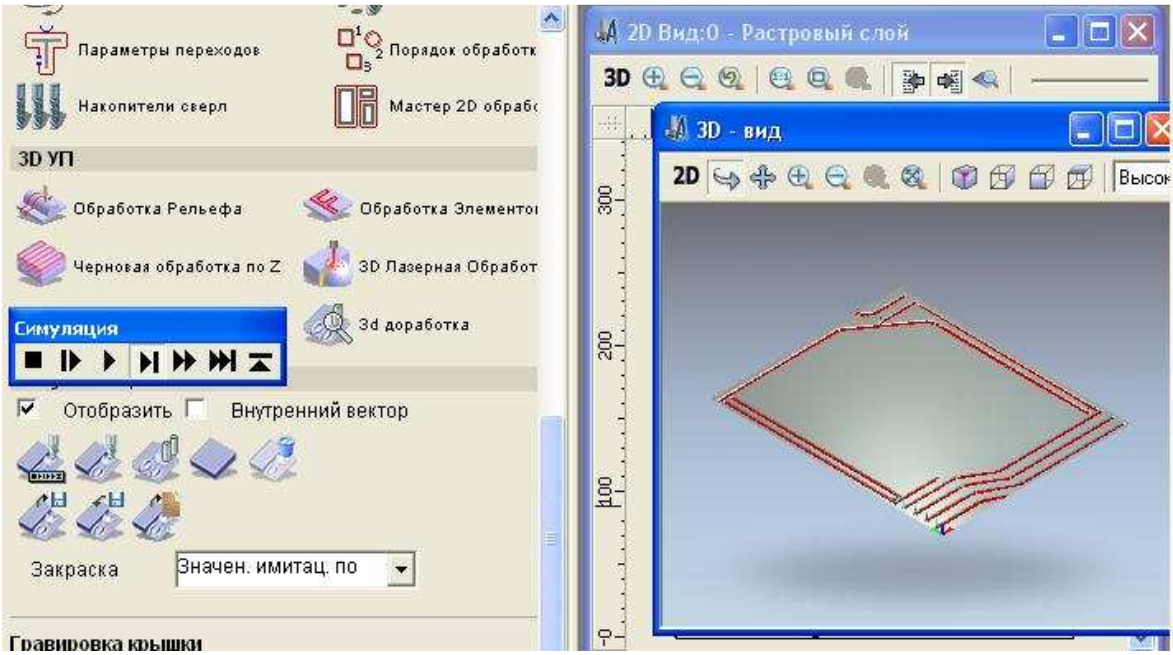

Рис. 48. Симуляция управляющей программы «Крышка 2А»

11. Редактирование УП. С помощью управляющей программы должны обрабатываться деревянные заготовки, выпиленные из столярных щитов толщиной 10 мм, склеенных из березовых делянок. При этом вертикальные канавки изделия расположены параллельно волокнам древесины, а горизонтальные канавки – перпендикулярно. При обработке продольных канавок режущие кромки фрезы выполняют продольно-торцовое резание, обеспечивающее при заданной скорости подачи хорошее качество обработки. При обработке поперечных канавок фреза выполняет торцовое резание, и заданная скорость подачи не обеспечивает требуемой шероховатости обработанной поверхности. Скорость подачи во всей управляющей программе задана 300 мм/мин. Для продольных канавок эта скорость годится, а для обработки поперечных канавок скорость подачи следует понизить до 150 мм/мин.

Вывод. В полученной управляющей программе надо найти фрагменты обработки всех канавок, пометить их и внести изменения значений скорости подачи.

Электронный архив УГЛТУ

10.4. Задача 7

Дано. На станке BEAVER – 9AT предполагается обработать деталь вывеску «Кафедра ИТОД». Материал детали – столярный щит толщиной 20 мм, склеенный из березовых делянок. Фасадную поверхность обработать с использованием стратегии гравировки по средней линии. Режущий инструмент – концевая фреза сферическая диаметром $D = 1$ мм. Поверхности детали имеют шероховатость $\sqrt{Ra25}$ и предназначены под лаковую отделку.

Требуется написать управляющую программу с использованием программы ArtCAM Pro.

Решение. 1. Открываем программу ArtCAM Pro. Нажимаем кнопки «Файл» – «Новый» – «Модель». Открывается окно «Размер новой модели». Устанавливаем размеры модели (детали вывески) 250×500 мм. Нажимаем «ОК» и открываем окно во весь экран.

2. Готовим текст. Для этого обращаемся к разделу «Редактирование векторов» и к стратегии «Т» (подготовка текста). Кликнем по полю окна и, используя клавиатуру, набираем текст «Кафедра ИТОД». Размеры текста можно изменить, указывая по координатам «X» и «Y» величину процентов по отношению к набранному тексту. Текст можно выполнить в курсиве, добиваясь нужного наклона букв.

3. Хотелось бы, чтобы текст разместился на выпуклой дуге. Для этого находим опцию «□», открываем и находим «Создать дугу» и делаем выпуклую дугу. Выделяем дугу (она стала розового цвета) и, удерживая клавишу «Shift», кликнем по тексту. Дуга и текст объединились общей рамкой. Ниже находим опцию «Текст вдоль кривой» и кликнем по этой кнопке. Текст разместился по кривой (рис. 49).

Снова выделяем кривую линию и, используя клавишу «Ctrl», скопируем линию. Полученные линии расположим снизу и сверху текста. Затем снова создаем дуги справа и слева от текста. Полученные четыре дуги объединим в единую замкнутую лини. Используя опцию прямоугольника, делаем для рисунка рамку. Рисунок готов.

Электронный архив УГЛТУ

Рис. 49. Текстовый рисунок

4. Нажимаем клавишу «Траектории» и выбираем стратегию «Гравировка по средней линии». Выделяем дуги и текст (они становятся розового цвета). Выбираем фрезу диаметром 1 мм, глубина фрезерования за один проход 1 мм (см. предыдущий пример).

При работе станка с ЧПУ фреза срезает древесину глубиной 5 мм в промежутке между кривыми и линиями букв.

Контрольные вопросы и задания

1. Покажите на компьютере последовательность операций составления управляющих программ, используя программу ArtCAM, используя стратегии «Выборка», «Обгонка», «Гравировка по средней линии».

2. Какие требования предъявляются к чертежу, используемому для подготовки управляющей программы с помощью ArtCAM?

Электронный архив УГЛТУ

Библиографический список

1. ГОСТ 20523-80. Устройства числового программного управления станками. Термины и определения – М.: Издательство стандартов, 1988. – 12 с.

2. **Ловыгин, А.А.** Современный станок с ЧПУ и CAM/CAD система/ А.А. Ловыгин, А.В. Васильев, С.Ю. Кривцов. – М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с.

3. ГОСТ 20999-83. Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 27 с.

4. **Кряжев, Д.Ю.** Фрезерная обработка на станках с ЧПУ с системой ЧПУ Fanuc/ Д.Ю. Кряжев. – СПб, М., Екатеринбург, 2005. – 40 С.

5. **Митюшов, В.** Основы программирования G - кода, расчета и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ/ В. Митюшов. – HTML, 2005.

6. **Сосонкин, В.Л.** Методика программирования станков с ЧПУ на наиболее полном полигоне вспомогательных G-функций/В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – HTML, 2005.– 40 с.

7. **Глебов, И.Т.** Резание древесины/ И.Т. Глебов. – СПб.: Издат-во «Лань», 2010. – 256 с.

8. **Ветошкин, Ю.И.** Основы конструирования мебели / Ю.И. Ветошкин, М.В. Газеев, А.В. Калюжный, О.Н. Чернышев, О.А. Удачина. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2012. – 589 с.

9. **Глебов, И.Т.** Решение задач по резанию древесины/ И.Т. Глебов. – СПб.: Издат-во «Лань», 2012. – 288 с.

10. **Глебов, И.Т.** Обработка древесины методом фрезерования/И.Т. Глебов. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2007. – 192 с.

11. **Кряжев, Н.А.** Фрезерование древесины/Н.А. Кряжев. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 183 с.

12. **Рудак, П.В.** Энерго- и ресурсосберегающие режимы обработки облицованных древесностружечных плит концевыми фрезами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/ П.В. Рудак. – Минск: БГТУ, 2010. – 23 с.

Электронный архив УГЛТУ

13. **Ефимова Т.В.** Повышение качества профильного фрезерования поверхности древесноволокнистых плит средней плотности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Т.В. Ефимова. – Воронеж: ВГЛТА, 2010. – 16 с.

14. **Гриневич С.А.** Разработка режимов цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/С.А. Гриневич. – Минск: БГТУ, 2005.

Оглавление

Введение ……. 3
Урок 1. Термины и определения …… 5

Урок 2. Станок с ЧПУ …… 10
2.1. Конструкция станка с ЧПУ …… 10
2.2. Функциональные механизмы станков ……. 13
2.2.1. Станина ……. 13
2.2.2. Механизм базирования заготовки ……. 13
2.2.3. Направляющие оси ……. 13
2.2.4. Ходовые винты ……. 14
2.2.5. Двигатели ходовых винтов …… 15
2.2.6. Главный шпиндель …….. 16
2.2.7. Магазин инструментов …… 17
2.2.8. Система обратной связи …… 17
2.3. Управление станком …….. 18

Урок 3. Программа VicStudioTM ……. 19
3.1. Окно программы VicStudioTM …… 19
3.2. Ручное управление …… 21

Урок 4. Системы координат ……. 23
4.1. Система координат станка …… 23
4.2. Направления осей координат ……. 24
4.3. Система координат детали ……. 25
4.4. Взаимосвязь систем координат ……. 26
4.5. Система координат режущего инструмента …. 27
4.6. Фиксированная точка станка ……. 29

Электронный архив УГЛТУ

Урок 5. Основы программирования …… 29
5.1. Общие сведения ……. 29
5.2. Структура управляющей программы …… 30
5.3. Подготовительные функции …….. 33
5.4. Технологическая информация …… 35
5.5. Контрольные точки траектории движения …… 37
5.6. Интерполяция ……. 38
5.6.1. Линейная интерполяция …… 38
5.6.2. Круговая интерполяция …… 40
5.7. Способы программирования окружности и ее элементов …….. 42
5.7.1.Способ 1 – по радиусу окружности …… 42
5.7.2.Способ 2 – по координатам центра …… 43
5.7.3. Примеры …… 43

Урок 6. Написание программ. Обработка деталей на станке.. 46
6.1. Определение ноля станка …….. 46
6.2. Задача 1 ……. 47
6.3. Задача 2 …….. 52
6.4. Задача 3 …….. 55
6.5. Задача 4 …… 58

Урок 7. Коррекция размеров фрезы …… 62
7.1. Коррекция на диаметр фрезы ……. 62
7.2. Правила коррекции радиуса фрезы ……. 63
7.3. Коррекция длины фрезы …… 64

Урок 8. Порядок ручного программирования ……. 65
8.1. Сбор информации …….. 65
8.2. Расчет режимов резания массивной древесины 67
8.3. Учет направления перерезания волокон древесины ……. 72
8.3.1. Зоны резания при продольном фрезеровании ……. 72
8.3.1. Зоны резания при торцовом фрезеровании ……. 75
8.3.3. Условия резания при поперечном фрезеровании ……. 76
8.3.4. Особенности стружкообразования при продольном встречном фрезеровании …… 77

Электронный архив УГЛТУ

8.3.5. Особенности стружкообразования при попутном фрезеровании …….. 80
8.3.6. Выбор направления обработки заготовки 82
8.4. Пример выбора режима резания ……. 84
8.5. Режимы резания плитных материалов …….. 87

Урок 9. Сверление отверстий ……. 89
9.1. Общие сведения …….. 89
9.2. Плоскости исходная и отвода ……. 89
9.3. Простое сверление …….. 90
9.4. Глубокое сверление ……. 91
9.5. Пример выполнения программы …… 92

Урок 10. Автоматизация разработки управляющих программ 95
10.1. Общая информация …….. 95
10.2. Задача 5 ……. 96
10.3. Задача 6 ……. 103
10.4. Задача 7 ……. 109
Библиографический список …….. 110

Электронный архив УГЛТУ

Учебное издание

Иван Тихонович Глебов

Учимся работать на станках с ЧПУ

Учебное пособие