

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

В. В. МОРОЗОВ В. Г. ГУСЕВ

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
НА СОВРЕМЕННЫХ
ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ**

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Владимир 2010

УДК 621.9.06-52.658.527:681.3.06

ББК 32.96

М80

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор Ковровской государственной
технологической академии им. В. А. Дегтярёва

Ю. А. Микипорис

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Менеджмент»
Владимирского государственного гуманитарного университета

В. И. Денисенко

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Морозов, В. В. Программирование обработки деталей на со-
временных фрезерных станках с ЧПУ: учеб. пособие / В. В. Мо-
розов, В. Г. Гусев ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Вла-
дим. гос. ун-та, 2010. – 246 с. – ISBN 978-5-9984-0025-4.

Представлена методология программирования механической обработки заготовок на современных фрезерных станках с ЧПУ. В целях практического освоения процедур программирования фрезерных станков, выпущенных ведущими станкостроительными компаниями SIEMENS, ARINSTIEN и EMCO, большое внимание уделено рассмотрению основ современного программного обеспечения Win NC Sinumerik 810/840D Milling и Win NC Fanuc 21 MB.

Приведены примеры управляющих программ, предназначенных для механической обработки конкретных деталей на современных фрезерных станках с ЧПУ, что способствует более глубокому усвоению излагаемых принципов программирования.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 15.10.01 «Технология машиностроения» и 15.02.06 «Машины и оборудование высокоэффективных методов обработки», а также бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

Ил. 135. Табл. 4. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.9.06-52.658.527:681.3.06
ББК 32.96

ISBN 978-5-9984-0025-4

© Владимирский государственный
университет, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Классификация станков с ЧПУ, устройство и функционирование системы числового программного управления	7
1.1. Классификация станков с ЧПУ	7
1.2. Компоновка и движения рабочих органов фрезерного станка с ЧПУ.....	9
1.3. Устройство системы числового программного управления	13
1.4. Функционирование системы ЧПУ	17
1.5. Языки программирования для обработки деталей.....	19
Вопросы для проверки усвоения материала	21
2. Основы программирования фрезерных станков с ЧПУ	22
2.1. Системы координат и базовые точки фрезерного станка с ЧПУ	22
2.2. Эквидистанта движения режущего инструмента и пример программирования	25
2.3. Разработка управляющей программы на персональном компьютере	28
2.4. Передача управляющей программы на станок	31
2.5. Проверка управляющей программы на станке	32
2.6. Последовательность полной проверки управляющей программы... ..	35
2.7. Нулевая точка программы	38
2.8. Компенсация длины инструмента.....	42
2.9. G и M-коды	44
2.10. Структура программы	49
2.11. Модальные и немодальные коды	53
2.12. Формат программы.....	54
2.13. Строка безопасности	58
2.14. Линейная и круговая интерполяция G01, G02 и G03.....	60
Вопросы для проверки усвоения материала	65
3. Программирование фрезерной обработки с использованием программного обеспечения WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling [5].....	66
3.1. Система координат, базовые точки и сдвиг нуля фрезерного станка, определение данных режущего инструмента	66
3.2. Базовые адреса и команды, используемые в системе числового программного управления WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING	71
3.3. Циклы механической обработки деталей и системные переменные в программном обеспечении WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING.....	76

3.4. Программирование рабочих движений исполнительных органов, линейной, круговой и цилиндрической интерполяции ...	84
3.5. Программирование времени выдержки, точного позиционирования и контурной обработки с закруглением	90
3.6. Выбор рабочей плоскости, программирование ограничения рабочей зоны, скорости вращения шпинделя и нарезания резьбы	92
3.7. Программирование коррекции инструмента и характеристик его подачи	96
3.8. Подвод и отвод режущего инструмента от контура и программирование циклов сверления	103
3.9. Программирование циклов растачивания	119
3.10. Программирование циклов фрезерования плоскостей, контуров и резьб	126
3.11. Программирование циклов фрезерования пазов	135
3.12. Программирование циклов фрезерования прямоугольных и круговых выемок	143
3.13. Программирование циклов фрезерования прямоугольных и круговых выступов	152
3.14. Общие сведения о фреймах, их программирование	156
3.15. Вызов подпрограмм, программирование функций шпинделя	164
3.16. Характеристика M-команд	171
3.17. Свободное программирование контура	173
3.18. Коррекция на режущий инструмент и его размерная привязка ...	179
3.19. Отработка управляющей программы	187
Вопросы для проверки усвоения материала	191
4. Программирование фрезерной обработки с использованием программного обеспечения FANUC 21 MB	195
4.1. Система координат фрезерного станка, локальная	195
система координат и сдвиг нуля	195
4.2. Основные адреса и функции	196
4.3. Программирование позиционирования, фаски, закругления, выбора рабочей плоскости и интерполяции контура	203
4.4. Программирование коррекции на режущий инструмент	216
4.5. Программирование циклов обработки	223
Вопросы для проверки усвоения материала	236
Заключение	238
Приложение	239
Библиографический список	245

ВВЕДЕНИЕ

Современный технический уровень металлорежущего оборудования, применяемого в машиностроении, выдвигает повышенные требования к производительности труда и технологическим возможностям станков. Ведущие мировые станкостроительные компании выпускают современное многофункциональное металлорежущее оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ), позволяющее с высокой производительностью и точностью выполнять на одном станке большое количество самых разнообразных технологических переходов.

В современных многофункциональных станках с ЧПУ реализован один из основных научных принципов теории базирования, обеспечивающих минимальные погрешности механической обработки, когда заготовка полностью обрабатывается за одну установку и закрепление.

Повышение жесткости станка, мощности привода главного движения, верхнего предела частоты вращения шпинделя, скоростей рабочих подач и холостых ходов, уменьшение времени автоматической смены инструмента, применение многоинструментных головок, механизированной загрузки заготовок, высокомоментных двигателей постоянного тока с высокоэнергетическими магнитами и др. обеспечивают высокое динамическое качество станков с ЧПУ (в особенности при переходных процессах), цикловую производительность и точность обработанных деталей. Для обслуживания этого оборудования требуются технологи-программисты, способные с использовани-

ем компьютерных технологий разрабатывать управляющие программы для обработки самых различных по форме и размерам деталей. Наилучший результат может быть достигнут при грамотной эксплуатации этого вида оборудования, а для этого необходимы квалифицированные наладчики, операторы и технологи-программисты. Последние призваны решать вопросы технологической подготовки производства применительно к этому типу оборудования.

Особенностью настоящего учебного пособия является то, что в нем достаточно подробно излагается методология программирования обработки деталей на современных фрезерных станках с ЧПУ, разработанная ведущими зарубежными компаниями Германии и Японии. Оно направлено на подготовку технологов-программистов с высшим образованием и будет способствовать повышению уровня подготовки молодых специалистов: бакалавров, магистров и инженеров.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАНКОВ С ЧПУ, УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Классификация станков с ЧПУ

Металлорежущие станки с ЧПУ можно классифицировать по различным признакам. **В зависимости от вида основных операций обработки** станки с ЧПУ подразделяют на технологические группы: токарные; фрезерные; сверлильные; координатно-расточные; сверлильно-фрезерные (фрезерно-расточные); сверлильно-шлифовальные; многоцелевые (многооперационные); для электрообработки; разные.

По принципу управления движением, который определяется системой ЧПУ (СЧПУ), различают три группы станков: **с позиционными СЧПУ; с контурными СЧПУ; с комбинированными СЧПУ.**

По количеству используемого инструмента: одноинструментные, многоинструментные. Многоинструментными принято считать станки с числом инструментов до 12. Станки, обеспечивающие особо высокую концентрацию операций, имеющие более 12 инструментов и снабженные специальным магазином для размещения инструментов, относят к многоцелевым. Особенность многоцелевых станков — наличие стола или делительного приспособления с периодическим или непрерывным (по программе) движением.

Подразделяют станки с ЧПУ и по ряду других признаков.

Современным достижением является комплекс оборудования, носящий название модуля гибкой производственной системы (ГПС).

Примечание. Модуль ГПС в ряде источников именуется роботизированным технологическим комплексом, гибким производственным модулем, робототехническим комплексом, станочным комплексом и др.

В ГПС под модулем понимают обрабатывающую ячейку, состоящую из станка с ЧПУ, промышленного робота для загрузки и выгрузки деталей, устройств накопления и ориентации заготовок и деталей.

Индексация станков с программным управлением.

В соответствии с классификацией систем программного управления (СПУ) принята следующая схема обозначения станков. К основному обозначению станка добавляют один из индексов: Ц — станки с цикловым управлением; Ф1 — станки с цифровой индексацией положения рабочих органов, а также станки с цифровой индексацией и ручным вводом данных; Ф2 — станки с позиционными СПУ; Ф3 — станки с контурными СПУ; Ф4 — станки со смешанными СПУ. Кроме того, введены индексы, отражающие конструктивные особенности станков, связанные с автоматической сменой инструмента: Р — смена инструмента поворотом револьверной головки; М — смена инструмента из магазина. Индексы Р и М записывают перед индексами Ф2, Ф3, Ф4. Например, РФ2 — станок с позиционной СПУ и револьверной инструментальной головкой; МФ3 — станок с контурной СПУ и инструментальным магазином и т. д. Индекс МФ4 многоцелевого станка модели 262ПМФ4 означает, что станок оснащен смешанной СПУ и магазином инструментов.

Некоторые модели станков с ЧПУ имеют и другую индексацию — буквенные индексы заводов-изготовителей с указанием порядкового номера. Например, ГФ1813-С1 — станок Горьковского завода фрезерных станков.

В станках с ЧПУ сохраняется индексация по точности, принятая для универсальных станков: нормальная точность — класс Н, повышенная точность — класс П, высокая точность — класс В, особая точность — класс А, особо высокая точность (мастер-станки) — класс С. Индекс класса точности (за исключением Н) в обозначении станка приводится после всех цифровых индексов, например: 6Б76ПМФ4 — многоцелевой станок повышенной точности.

Металлорежущие станки с ЧПУ характеризуются их технологическим назначением (для обработки определенных групп деталей: валов, фланцев, плит, кулачков, корпусных и других деталей), характером производства (мелкосерийное, серийное), требуемой точностью обработки (повышенной, высокой и особо высокой), а также возрастающими требованиями промышленности к станкам с ЧПУ по повышению производительности, надежности, удобства обслуживания и

эксплуатации. Отличительной особенностью типажа считается включение в него большого числа многоцелевых станков с ЧПУ, позволяющих комплексно обрабатывать различные детали за один установ.

Типаж металлорежущих станков с ЧПУ в силу интеграции операций, выполняемых на одном рабочем месте, претерпевает большие изменения, и из традиционных типажных групп, названных выше, выделены две основные: для обработки тел вращения и для обработки корпусных деталей.

Токарные станки с ЧПУ по основным параметрам обработки, т. е. по отношению длины L обработки к диаметру D , можно разбить на патронные (для обработки деталей с $L/D = 0,25 - 1,0$) и центровые (патронно-центровые), обеспечивающие обработку деталей с $L/D = 1,0$ и выше.

Новые отечественные токарные станки отвечают современному мировому техническому уровню по всем основным параметрам, технической характеристике, технологическим возможностям, точности обработки, жесткости конструкции, автоматизации смены инструмента и заготовок и др.

Фрезерные станки с ЧПУ выпускают с консольным столом размерами 250×1000 , 320×1250 , 400×1600 мм. Фрезерные станки с бесконсольным столом имеют повышенные жесткость и точность обработки. Ширина столов таких станков составляет ряд: 250, 400, 500, 630, 1000 мм. Из бесконсольных вертикально-фрезерных станков наиболее распространены станки с размерами стола 250×630 и 500×1070 мм, имеющие револьверную головку для автоматической смены инструмента.

Находят применение станки с ЧПУ и других типов. Выпускаются станки, оборудованные лазерным инструментом. В частности, уже широко используются лазерные прошивочные станки с ЧПУ с шаговым приводом.

1.2. Компоновка и движения рабочих органов фрезерного станка с ЧПУ

Рассмотрим конструкцию современного вертикально-фрезерного станка с ЧПУ «НААС», который является востребованным для лю-

бого типа производства. Общий вид станка представлен на рис. 1.1, где на фронтальном виде изображены основные узлы станка: шпиндельный узел, стол, пульт управления с экраном дисплея. Станина станка предназначена для крепления всех узлов и механизмов станка. Рабочий стол может перемещаться в продольном (влево/вправо) и поперечном (вперед/назад) направлениях по направляющим станины.



Рис. 1.1. Общий вид вертикально-фрезерного станка с ЧПУ «HAAS»

На рабочем столе закрепляют различные станочные приспособления, в которые устанавливают обрабатываемые заготовки. Для этого на столе имеются специальные Т-образные пазы, в которые вставляют крепежные элементы для закрепления заготовки в станочном приспособлении. Шпиндель станка служит для установки и закрепления режущего инструмента и придания ему главного вращательного движения со скоростью резания в направлении стрелки D_r (рис. 1.2). Шпиндель закреплен на колонне, которая может перемещаться в вер-

тикальном направлении (вверх/вниз). Указанное движение является движением вертикальной подачи режущего инструмента и обозначено стрелкой Dsz. От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависят точность и качество обработанных поверхностей, а также производительность технологической операции. Защитные кожухи станка необходимы для обеспечения безопасных условий работы и защищают оператора от летящей стружки и брызг смазочно-охлаждающей жидкости при обработке заготовок с подачей СОЖ под давлением.

Открывающаяся дверца обеспечивает доступ в рабочую зону станка. Слева от станка находится набор режущих инструментов, которые используют для обработки заготовки. Современные станки с ЧПУ имеют магазины, в которых может располагаться более 12 режущих инструментов, используемых для снятия припуска с заготовки в последовательности, указанной в управляющей программе. При этом взятие необходимого инструмента и фиксация его в шпинделе обеспечиваются устройством автоматической смены инструмента и производятся по определенной команде управляющей программы. Чтобы сделать из обычного станка с ручным управлением станок с ЧПУ, необходимо внедрить определенные компоненты в его конструкцию. Недостаточно просто подключить станок к компьютеру, чтобы он работал по программе, необходимо модернизировать механическую и электронную "начинку" станка, то есть оснастить станок системой числового программного управления, обеспечивающей функционирование всех рабочих органов станка, текущий контроль его технического состояния и выдачу диагностических сведений о протекании процесса обработки заготовки в автоматическом цикле. Требуемая точность обработанных поверхностей обеспечивается высокой точностью перемещения режущего инструмента относительно заготовки в направлении координатных осей, высокой геометрической точностью узлов самого станка, динамической жесткостью и виброустойчивостью системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка».

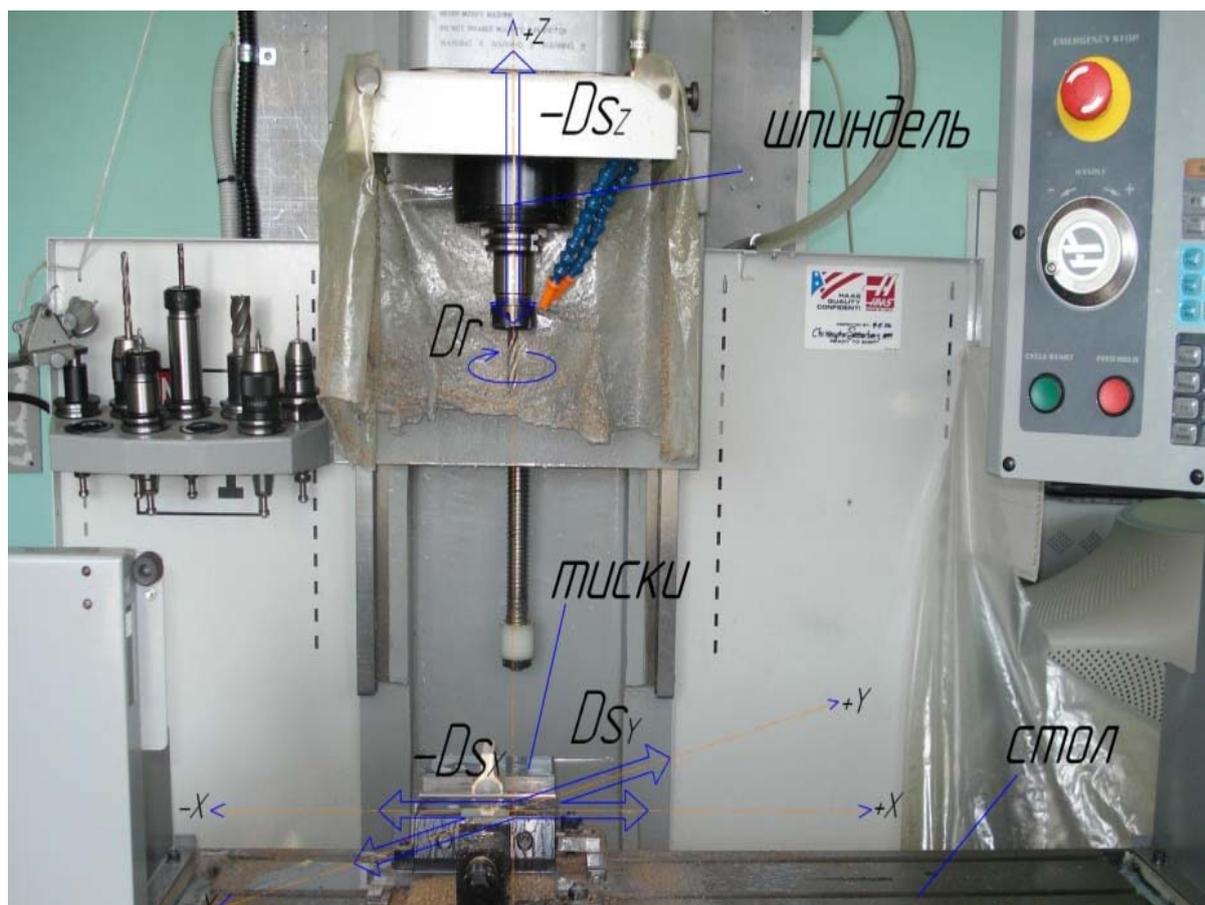


Рис. 1.2. Рабочие движения исполнительных органов фрезерного станка с ЧПУ «НААС»

Станок «НААС» имеет декартовую систему координат: три взаимно перпендикулярные оси X , Y и Z . Рабочее движение стола с заготовкой в направлении оси X называется движением продольной подачи, а в направлении оси Y – поперечной подачи. Режущий инструмент может перемещаться вдоль оси Z вверх или вниз. Направления движений стола с заготовкой и режущего инструмента (см. рис. 1.2) указаны стрелками D_{sx} , D_{sy} и D_{sz} соответственно, при этом положительные направления перемещения рабочих органов вдоль осей X , Y и Z совпадают с удалением режущего инструмента от обрабатываемой заготовки, а отрицательные направления – с приближением режущего инструмента к заготовке.

Положение инструмента в шпинделе образует соответствующую рабочую плоскость. При фрезеровании ось инструмента совпадает с

осью Z . Оси инструмента Z соответствует рабочая плоскость XU , в которой располагается обрабатываемый контур. Рабочая плоскость XU программируется командой G17.

1.3. Устройство системы числового программного управления

Рассмотрим, как устроена система ЧПУ (СЧПУ) на большинстве современных станков [2]. Условно СЧПУ можно разделить на три подсистемы:

- подсистему управления;
- подсистему приводов;
- подсистему обратной связи.

Остановимся на каждой из данных подсистем.

1.3.1. Подсистема управления

Центральная часть СЧПУ – это подсистема управления. С одной стороны, она считывает управляющую программу и отдает команды различным органам станка на выполнение тех или иных технологических переходов. С другой – информирует оператора станка, позволяя ему контролировать процесс обработки. Сердцем подсистемы управления считается контроллер (процессор), который обычно расположен в корпусе стойки ЧПУ. Сама стойка имеет набор кнопок и экран (все вместе называется интерфейсом) для ввода и вывода необходимой информации.

Системы управления могут быть закрытыми или открытыми, совместимыми с персональным компьютером (ПК –совместимыми). Закрытые системы управления имеют собственные алгоритмы и циклы работы, собственную логику. Производители таких систем, как правило, не распространяют информацию об их архитектуре. Скорее всего, вы не сможете самостоятельно обновить программное обеспечение и редактировать настройки такой системы. У систем закрытого типа есть важное преимущество - они, как правило, имеют высокую надежность, так как все компоненты системы прошли тестирование на совместимость.

В последнее время стало появляться все больше открытых, ПК - совместимых систем управления. Их аппаратная начинка практически такая же, как и у домашнего персонального компьютера. Преимущество такого метода - в доступности и дешевизне электронных компонентов, большинство из которых можно приобрести в обычном компьютерном магазине.

1.3.2. Подсистема приводов

Подсистема приводов включает в себя различные двигатели и высокоточные передачи «винт-гайка» для выполнения команд подсистемы управления по перемещению рабочих органов станка. Ходовой винт станка с ЧПУ позволяет выполнять перемещение исполнительного органа с минимальным трением и практически без зазоров, что очень важно для получения высокой точности обработанных деталей. Устранение зазора в кинематических цепях станка с ЧПУ очень важно по двум причинам. Во-первых, это необходимо для обеспечения сверхточного позиционирования. Во-вторых, только при соблюдении этого условия возможно нормальное попутное фрезерование.

Второй составляющей подсистемы является двигатель (а точнее - несколько двигателей). Вращение вала двигателя приводит к повороту высокоточного ходового винта и линейному перемещению рабочего стола или колонны. В конструкции станков используются шаговые электродвигатели и серводвигатели.

Шаговый электродвигатель - это электромеханическое устройство, преобразующее электрический сигнал управления в дискретное механическое перемещение. Существуют несколько основных видов шаговых двигателей, отличающихся конструктивным исполнением: шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением; шаговые двигатели с постоянным магнитным сопротивлением и гибридные двигатели.

Принцип работы у всех этих двигателей примерно одинаков и достаточно прост. Шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением имеет несколько полюсов на статоре и ротор из магнитно-мягкого материала (реактивный ротор). На рис. 1.3. показан двигатель, имеющий шесть полюсов на статоре, четыре выступа на роторе

и три независимые обмотки, каждая из которых приходится на противоположные полюса статора.

При подаче электрического тока на одну из обмоток ротор стремится занять угловое положение, при котором возникший магнитный поток будет замкнут. То есть выступы ротора будут находиться напротив тех полюсов статора, на обмотки которого подан электрический ток. Если выключить ток в этой обмотке и подать его на следующую обмотку, то ротор повернется, чтобы в очередной раз замкнуть магнитный поток своими выступами. Для непрерывного вращения ротора необходимо поочередно подавать электрический ток на 1, 2 и 3-ю обмотки, при этом шаг поворота составит 30 градусов (см. рис. 1.3).

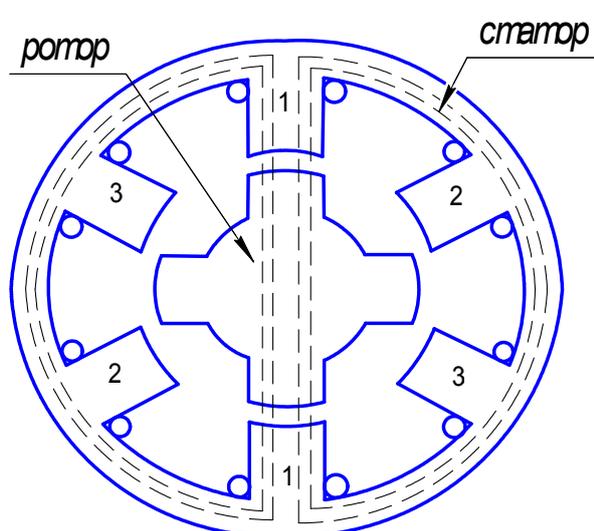


Рис. 1.3. Устройство шагового двигателя с переменным магнитным сопротивлением

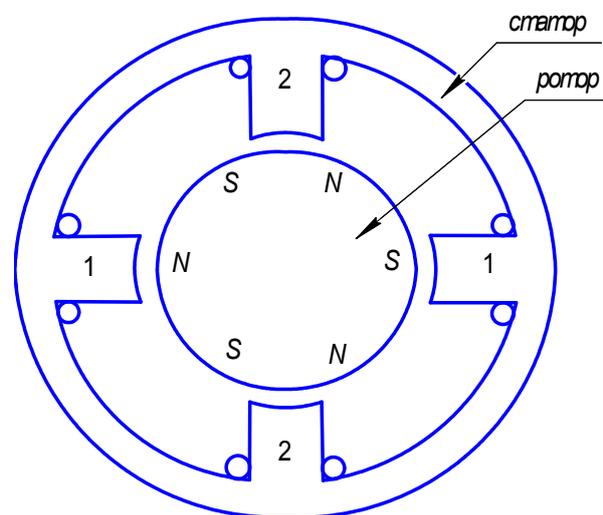


Рис. 1.4. Устройство шагового двигателя с постоянными магнитами

Шаговый двигатель с постоянными магнитами состоит из статора с обмотками и ротора с постоянными магнитами. На рис. 1.4. показан двигатель, имеющий две пары полюсов статора и три пары полюсов ротора. При подаче электрического тока на одну из обмоток ротор займет положение, при котором разноименные полюса статора и ротора будут находиться напротив друг друга. Для непрерывного вра-

щения ротора необходимо попеременно подавать электрический ток на 1 и 2-ю обмотки, при этом шаг поворота составит 30 градусов.

Большинство современных шаговых электродвигателей являются гибридными, то есть сочетают достоинства двигателей с переменным магнитным полем и двигателей с постоянными магнитами. Они имеют гораздо большее число полюсов статора и выступов ротора, что обеспечивает меньший шаг вращения.

Когда подсистема управления посылает шаговому двигателю электрический импульс, происходит поворот на определенный угол, который зависит от конструкции двигателя (например 0,7 град.). Если ходовой винт имеет шаг 1 мм, то один импульс заставит исполнительный орган станка линейно переместиться на $0,7/360=0,0019$ мм. Эта величина называется разрешением системы числового программного управления или ценой импульса, или дискретой. Нельзя переместить исполнительный орган на величину меньшую, чем разрешение системы. Таким образом, существует прямая взаимосвязь между двигателем, ходовым винтом и точностью перемещений рабочего органа станка.

Простота конструкции и легкость управления сделали шаговые электродвигатели очень популярными. Основным минусом двигателей этого типа является их толчковая или дискретная работа, которая может привести к ухудшению качества чистовой обработки поверхностей и эффекту "ступенек" при выполнении обработки по наклонной прямой или дуге. Однако шаговые двигатели могут работать без использования дорогостоящей и сложной обратной связи. Это позволяет создавать недорогие, но менее точные станки с ЧПУ.

Самые современные станки с ЧПУ очень редко оснащаются шаговыми двигателями. На смену им пришли **серводвигатели**, имеющие более сложную конструкцию, которые в отличие от шаговых двигателей работают плавно, имеют лучшие характеристики, но ими труднее управлять.

Для работы с серводвигателем необходимо наличие специальных контроллеров и устройств обратной связи, что, естественно, приводит к увеличению стоимости станка.

1.3.3. Подсистема обратной связи

Системы открытого типа регистрируют наличие или отсутствие сигнала системы управления, но они не могут информировать о реальной позиции рабочего органа и скорости двигателей. По этой причине в современных станках с ЧПУ они практически не используются. Подсистема обратной связи главным образом призвана обеспечить подсистему управления информацией о реальной позиции исполнительного органа станка и о скорости двигателей (рис. 1.5). Подсистема обратной связи может быть открытого или замкнутого типа. Системы замкнутого типа используют внешние датчики для проверки необходимых параметров.

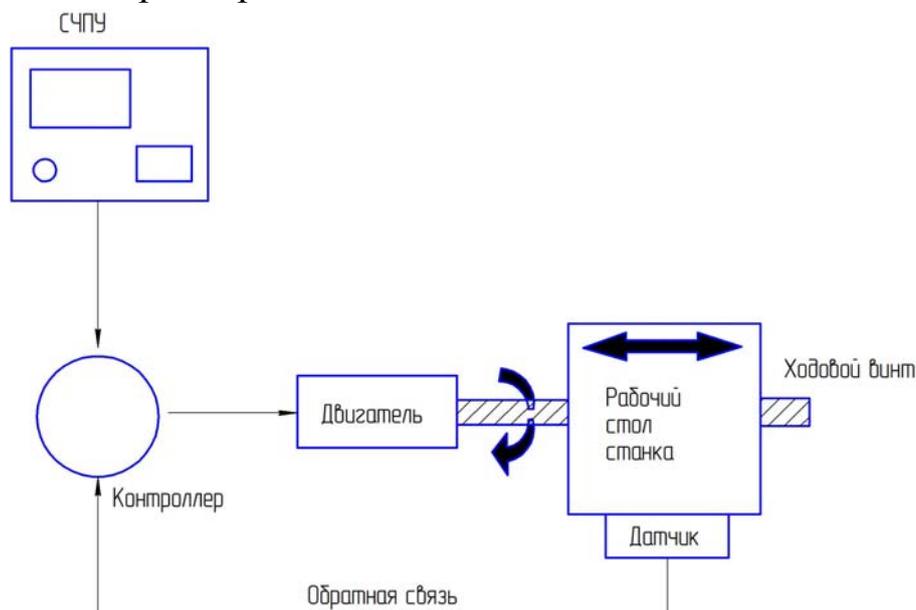


Рис. 1.5. Схема обратной связи в станке с ЧПУ

1.4. Функционирование системы ЧПУ

Выше рассмотрена работа каждой из трех подсистем, составляющих основу СЧПУ. Теперь рассмотрим функционирование всей системы в целом. Программист создает управляющую программу, в которой содержится закодированная информация о траектории и скорости перемещения исполнительных органов станка, частоте вращения шпинделя и другие данные, необходимые для выполнения процесса обработки. Подсистема управления считывает эту программу, рас-

шифровывает ее и вырабатывает траекторию перемещения исполнительных органов станка.

Траекторию перемещения можно представить в виде графика, который показывает, в какой точке должен находиться исполнительный орган станка через определенные промежутки времени. В соответствии с траекторией перемещения подсистема управления посылает на соответствующий двигатель строго определенное количество электрических импульсов. Двигатель вращает ходовой винт, и исполнительный орган станка перемещается в указанную позицию (координату). Датчики обратной связи отправляют в подсистему управления информацию о действительно достигнутой позиции исполнительного органа. Происходит сравнение фактической и требуемой (теоретической) позиций исполнительного органа. Если между ними есть разница (ошибка перемещения), то подсистема управления посылает скорректированное на величину ошибки число электрических импульсов на двигатель. Этот процесс повторяется до тех пор, пока исполнительный орган станка не достигнет требуемой позиции с определенной (очень высокой) точностью. Всегда будет присутствовать некоторая ошибка перемещения, но она должна быть настолько малой, чтобы ею можно было пренебречь.

Выше рассмотрен простейший вариант – перемещение рабочего органа вдоль одной оси, теперь усложним задачу. Пусть требуется переместить рабочий стол прямолинейно, но не параллельно ни одной из осей станка.

Чтобы выполнить такое перемещение, система ЧПУ вынуждена строить множество опорных точек и двигать рабочий стол по опорным точкам ступенчато, попеременно включая подачу то по одной оси, то по другой (рис. 1.6, *a*).

При этом нужно поддерживать такое соотношение скоростей движения по осям, чтобы траектория перемещения соответствовала заданной траектории. Расчет координат промежуточных опорных точек выполняет специальное устройство, входящее в состав подсистемы управления, которое называется интерполятором.

Интерполятор непрерывно в соответствии с заданными перемещениями поддерживает функциональную связь между опорными точками и оценивает отклонения от заданной траектории, стремясь свести их к минимуму. Эти "ступеньки" имеют некоторое отклонение от заданной траектории перемещения. Рассмотренная интерполяция

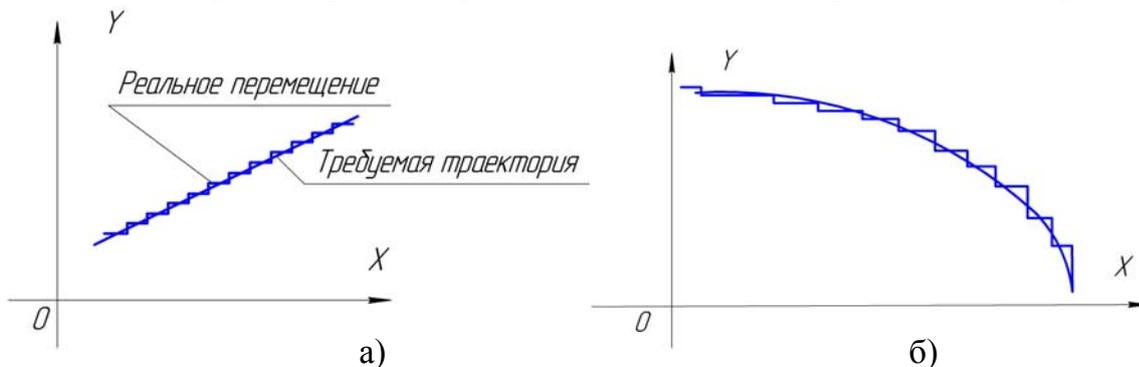


Рис. 1.6. Линейная (а) и круговая (б) интерполяция

называется **линейной**. Если же необходимо выполнить перемещение по дуге, то интерполяция будет **круговой**. В случае перемещения по дуге выполняется так называемая линейная аппроксимация дуги, то есть замена дуги маленькими прямолинейными отрезками. Поэтому исполнительный орган станка также будет двигаться по "ступенчатой" траектории, которая визуально будет казаться абсолютно гладкой. При перемещении из точки 1 в точку 2 система ЧПУ строит множество опорных точек и перемещает исполнительный орган "ступенчато", попеременно включая подачу то по одной оси, то по другой.

1.5. Языки программирования для обработки деталей

С момента появления первых станков с ЧПУ до внедрения новейших обрабатывающих центров использовались различные языки для программирования обработки заготовок. Сегодня программирование с использованием G и M кодов наиболее популярно. Язык G и M кодов основывается на положениях Международной организации по стандартизации (ISO) и Ассоциации электронной промышленности (EIA). Официально этот язык считается стандартом для американских и европейских производителей оборудования с ЧПУ. Однако производители систем ЧПУ хоть и придерживаются этих стандартов для

описания основных функций, но допускают отступление от правил, когда речь заходит о каких-либо специальных возможностях своих систем.

Системы ЧПУ Fanuc (Япония) были одними из первых, адаптированных под работу с G и M кодами ISO и использующих этот стандарт наиболее полно. В настоящее время стойки Fanuc очень популярны и распространены как за рубежом, так и в России. Поэтому в этой книге основой для описания программирования в G и M кодах будет именно стиль СЧПУ Fanuc.

Стойки ЧПУ других известных производителей, например Heidenhain и Sinumerik (Siemens), также имеют возможности по работе с G и M кодами, однако некоторые коды все же могут отличаться. Однако нет необходимости знать все коды всех систем ЧПУ.

Достаточно знать набор основных G и M кодов, а о возникшей разнице в программировании специфических функций можно узнать из документации к конкретной системе. Освоив стиль программирования Fanuc, можно работать на любом другом оборудовании с ЧПУ. Управление современными станками с ЧПУ осуществляется при помощи стандартного персонального компьютера (PC). Этот вид управления позволяет выполнять эффективное обучение самым различным и современным системам ЧПУ (фирм Siemens, Fanuc и др.) на одном и том же станке.

Ввод данных осуществляется с клавиатуры PC автоматизированного рабочего места технолога-программиста (либо оператора) или с пульта управления станком. В современных станках с ЧПУ реализован один из основных научных принципов базирования, обеспечивающих минимальные погрешности механической обработки, когда деталь полностью обрабатывается за одну, максимум за две установки. Соблюдение принципов постоянства и единства баз позволяет обработать заготовку с высокой точностью размеров.

Вопросы для проверки усвоения материала

1. Как классифицируют станки с ЧПУ по принципу управления движением, по виду обработки и количеству используемого инструмента?
2. Охарактеризуйте позиционные СЧПУ.
3. Дайте характеристику контурных СЧПУ.
4. Охарактеризуйте комбинированные СЧПУ.
5. Изложите принятую схему обозначения станков с ЧПУ.
6. Из каких основных узлов состоит современный вертикально-фрезерный станок с ЧПУ «НААС»?
7. Укажите направления рабочих движений исполнительных органов станка с ЧПУ «НААС».
8. Из каких подсистем состоит устройство системы числового программного управления металлорежущего станка?
9. Как функционирует подсистема управления?
10. Как функционирует подсистема приводов?
11. Как функционирует подсистема обратной связи?
12. Как устроен шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением?
13. Как устроен шаговый двигатель с постоянными магнитами?
14. Какие достоинства и недостатки характерны для серводвигателей?
15. Назовите языки, используемые при программировании механической обработки деталей.
16. Дайте характеристику линейной интерполяции.
17. Охарактеризуйте круговую интерполяцию по часовой стрелке.
18. Охарактеризуйте круговую интерполяцию против часовой стрелки.
19. Для какой цели используют интерполятор в станках с ЧПУ?
20. Почему рекомендуется использовать принципы постоянства и единства технологических баз?

2. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

2.1. Системы координат и базовые точки фрезерного станка с ЧПУ

Обрабатываемая поверхность детали возникает в результате реализации рабочих движений режущего инструмента относительно заготовки. От точности движений режущего инструмента зависит точность выполняемых размеров детали, поэтому конструкция станка и система числового программного управления (СЧПУ), которой оснащен станок, должны обеспечивать малые погрешности относительно перемещения инструмента. Для автоматического управления рабочими движениями исполнительных органов станка необходимо, в первую очередь, определиться с направлениями их перемещения и началом отсчета, что возможно при наличии системы координат станка. Различают несколько декартовых систем координат фрезерного станка с ЧПУ: система координат станка, система координат детали (система координат программы) и система координат режущего инструмента.

Системы координат в станке можно выбрать различным образом, но для сокращения трудозатрат при составлении управляющей программы, упрощения наладки станка и уменьшения объема необходимых вычислений выбор систем координат и направления осей, по которым перемещаются исполнительные органы станка, стандартизованы. В стандартной системе координат фрезерного станка с ЧПУ положительные направления осей X , Y , Z показаны на рис. 2.1, и эти направления определяют по правилу правой руки.

При обработке заготовок на фрезерном станке с ЧПУ используют три координатные системы. Первая система координат - декартова система координат фрезерного станка с ЧПУ имеет свое начало в точке M , совпадающей с крайней левой точкой стола, лежащей в рабочей его плоскости. Положительные направления осей X , Y и Z системы координат фрезерного станка показаны на рис. 2.1.

Базовая точка М называется нулем станка. Обозначение точки М образуется от первой буквы английского слова Machine, которое в переводе на русский язык означает «станок». В этой системе координат определяются положения отдельных узлов станка, причем численные значения координат тех или иных точек выводятся на монитор системы числового программного управления.

Ось X декартовой системы координат фрезерного станка выбирается в направлении продольного перемещения рабочего стола с заготовкой, ось Y - в направлении поперечного перемещения стола перпендикулярно к оси X, а ось Z - в вертикальном направлении, перпендикулярно осям X и Y.

Режущий инструмент перемещается в отрицательном направлении названных осей, если он при своем движении приближается к детали, а в положительном направлении - если он удаляется от детали.

Базовая точка М (см. рис. 2.1) не изменяет своего пространственного положения и устанавливается производителем станка. Относительно данной точки выполняются все размерные функции станка.

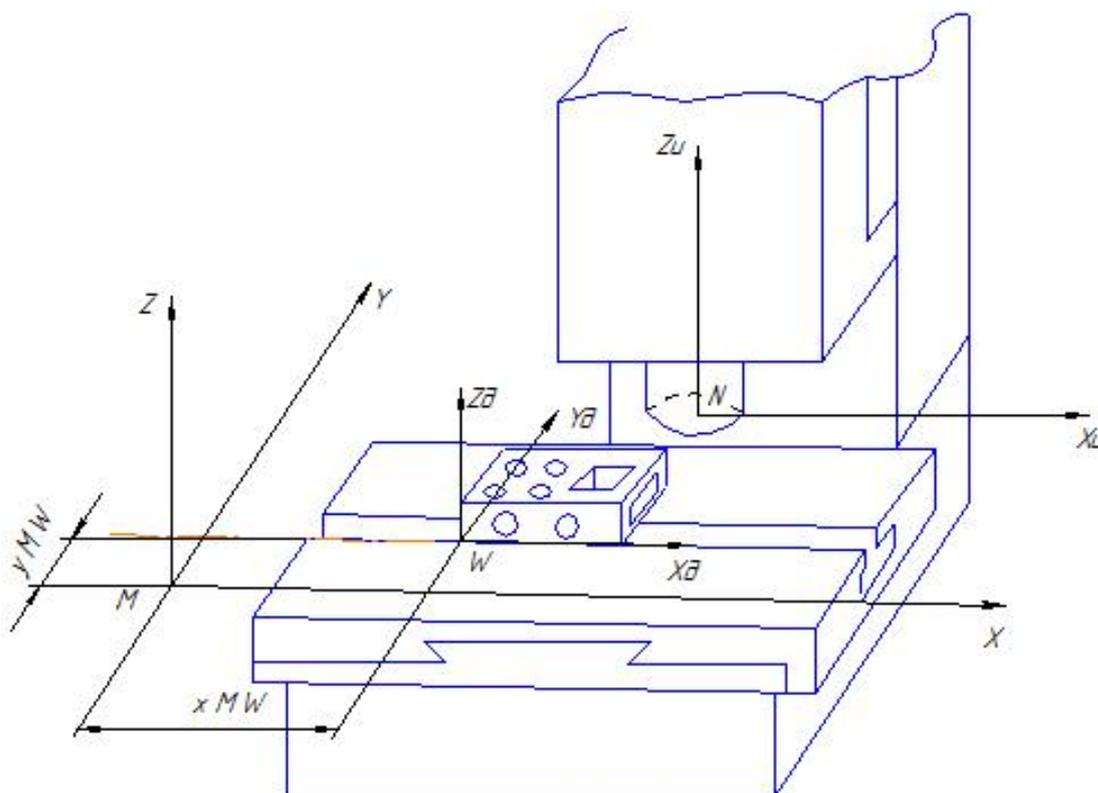


Рис. 2.1. Системы координат фрезерного станка с ЧПУ

Вторая система координат фрезерного станка с ЧПУ с осями X_d , Y_d и Z_d связана непосредственно с обрабатываемой заготовкой и представляет собой систему координат детали (программы обработки). Базовая точка W является началом отсчета этой системы и называется нулем детали. Обозначение точки W образуется от первой буквы английского слова *Workpiece*, которое означает в переводе на русский язык «заготовка». Третья система координат с осями X_i и Z_i – это система координат режущего инструмента с началом отсчета в точке N элемента станка, несущего режущий инструмент, то есть точка, относительно которой определяется пространственное расположение фрезы. Таким образом, точка N – это базовая точка установки режущего инструмента.

При фрезеровании чаще всего за начало системы координат программы (за нуль детали) принимают точку, лежащую в плоскости, совпадающей с установочной технологической базой. В принципе нуль программы можно выбрать на произвольном расстоянии от нуля станка, однако расположение нуля детали в левом или правом углу заготовки, являющемся конструкторской базой детали, обеспечивает наиболее простое составление управляющей программы.

При выборе нуля детали необходимо соблюдать следующее правило: нуль детали рекомендуется располагать так, чтобы нуль детали совпадал с конструкторской базовой поверхностью детали. Это обеспечивает уменьшение трудозатрат на составление управляющей программы УП и позволяет избежать выполнения дополнительных расчетов технологических размерных цепей.

Система координат детали является главной системой при составлении управляющей программы. В ней определены все размеры детали, подлежащей обработке, и даны координаты всех опорных точек ее контура. Система координат детали переходит в систему координат программы, в которой даны координаты всех точек и определены все элементы, в том числе и размещение вспомогательных траекторий, необходимых для составления управляющей программы.

Системы координат детали и программы обычно совмещены и представляются единой системой, в которой производится разработка

управляющей программы (программирование) и затем выполняется реальная обработка детали. Система координат детали назначается технологом-программистом и при обработке различных или даже одной детали может изменять свое начало отсчета. Все точки обрабатываемой детали описываются относительно начала системы координат детали (нуля детали или нуля программы) с указанием соответствующих расстояний опорных точек обрабатываемого контура по осям X_d , Y_d и Z_d .

2.2. Эквидистанта движения режущего инструмента и пример программирования

Заготовки, обрабатываемые на станке с ЧПУ, можно рассматривать как геометрические объекты. Во время обработки вращающийся режущий инструмент и заготовка перемещаются относительно друг друга по некоторой траектории. Однако в целях упрощения составления управляющей программы считают, что при любой компоновке станка с ЧПУ в процессе механической обработки перемещается режущий инструмент относительно заготовки, несмотря на то, что некоторые станки с ЧПУ характеризуются рабочими движениями заготовки относительно режущего инструмента, а не наоборот.

Управляющая программа описывает движение характерной точки режущего инструмента (центра фрезы, вершины резца и др.). Траекторию движения режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки называют **эквидистантой движения режущего инструмента**. Эквидистанту представляют в виде отдельных, переходящих друг в друга геометрических участков. Этими участками могут быть прямые линии, дуги окружностей, кривые второго и высших порядков. Точки пересечения этих участков называются **опорными, или узловыми точками эквидистанты**. Как правило, в УП содержатся координаты именно опорных точек. Любую деталь можно представить в виде совокупности геометрических элементов. Для создания программы обработки необходимо определить координаты всех опорных точек эквидистанты.

Рассмотрим паз, выполненный в виде стакана (рис. 2.2,*а*), и напишем управляющую программу для его обработки на фрезерном станке с ЧПУ [2]. Глубина паза равна 1 мм. Зная координаты опорных точек эквидистанты, сделать это будет нетрудно. Определим траекторию движения (эквидистанту) режущего инструмента, в нашем случае оси фрезы. Не будем подробно рассматривать всю УП, а обратим внимание на написание строк (кадров УП), непосредственно отвечающих за перемещение оси фрезы через опорные точки паза. Для обработки паза сначала нужно переместить ось фрезы в точку T_1 (рис. 2.2,*б*) и опустить ее, то есть врезаться в металл заготовки на глубину 1 мм. Далее необходимо переместить ось фрезы последовательно в точки T_2 , T_3 , T_4 и вывести инструмент вверх из материала заготовки. Таким образом, часть эквидистанты, обеспечивающей непосредственную обработку паза, представится отрезками прямых линий T_1T_2 , T_2T_3 и T_3T_4 .

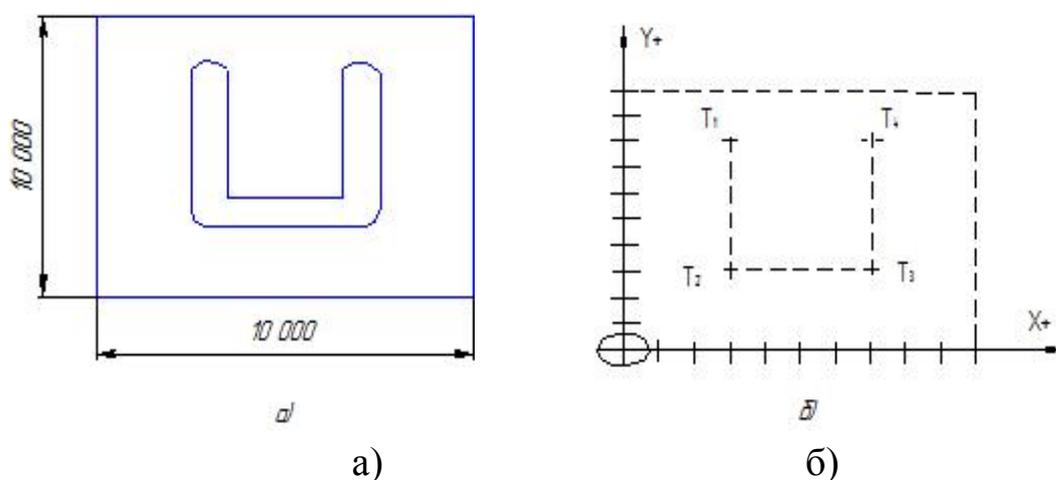


Рис. 2.2. Схема паза (а) и опорные точки эквидистанты (б)

Опорными точками эквидистанты будут точки T_1 , T_2 , T_3 и T_4 . В приведенном примере расположение опорных точек на эквидистанте определяется сравнительно просто. Опорные точки выбирает технолог-программист в тех местах, где режущий инструмент начинает свое движение для обработки заготовки, где изменяется направление его движения, где происходит переключение рабочей подачи с черновой на чистовую, в точках сопряжения соседних участков обрабаты-

ваемого контура, непосредственно перед врезанием инструмента в материал заготовки и после выхода его из контакта с заготовкой.

Выберем прямоугольную систему координат X , Y , найдем координаты опорных точек T_1 , T_2 , T_3 и T_4 паза и для удобства поместим их в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Координаты опорных точек паза

Точка	Координата по оси X	Координата по оси Y
T_1	3	8
T_2	3	3
T_3	7	3
T_4	7	8

Подведем ось фрезы к первой опорной точке T_1 эквидистанты, для чего записываем кадр управляющей программы:

`N50 G00 X3 Y8,`

где $N50$ – номер кадра, в современных станках с ЧПУ номер кадра можно не писать, однако для удобства чтения и последующей корректировки программы целесообразно указывать номер кадра; $G00$ – команда на быстрое перемещение фрезы из исходной точки эквидистанты точку T_1 с координатами $X=3$, $Y=8$.

Следующие два кадра служат для опускания режущего инструмента в материал заготовки на требуемую глубину:

`N60 G00 Z0.5`

`N70 G01 Z-1 F25,`

где $Z0.5$ – опускание фрезы на расстояние 0,5 мм от поверхности заготовки; $G01$ – команда на перемещение фрезы по прямой линии (линейная интерполяция); $Z-1$ – врезание фрезы в металл заготовки на глубину 1 мм в отрицательном направлении оси Z ; $F25$ – команда на включение рабочей подачи со скоростью 25 мм/мин. После врезания инструмента на нужную глубину (1 мм) можно перемещать его через оставшиеся опорные точки T_2 , T_3 и T_4 эквидистанты:

N80 G01 X3 Y3
 N90 G01 X7 Y3
 N100 G01 X7 Y8.

Теперь следует вывести инструмент из материала заготовки - поднять на небольшую высоту над поверхностью заготовки:

N110 G01 Z5.

Соберем все кадры вместе, добавим несколько вспомогательных команд и получим окончательный вариант управляющей программы обработки паза, представленного на рис. 2.2,*a*.

Кадры управляющей программы	Пояснения
%	Символ начала программы
O0001 (PAZ)	Номер программы (0001) и ее название (PAZ)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Строка безопасности
N20 M06 T01 (FREZA D1)	Вызов инструмента №1
N30 G43 H01	Компенсация длины инструмента №1
N40 M03 S1000	Включение оборотов шпинделя 1000 мин ⁻¹
N50 G00 X3 Y8	Ускоренное перемещение в опорную точку T1
N60 G00 Z0.5	Ускоренное перемещение инструмента в Z0.5
N70 G01 Z-1 F25	Перемещение на глубину 1 мм на подаче 25 мм/мин
N80 G01 X3 Y3	Перемещение инструмента в точку T2 (25 мм/мин)
N90 G01 X7 Y3	Перемещение инструмента в точку T3 (25 мм/мин)
N100 G01 X7 Y8	Перемещение инструмента в точку T4 (25 мм/мин)
N110 G01 Z5	Подъем инструмента вверх в Z5 (25 мм/мин)
N120 M05	Выключение частоты вращения шпинделя
N130 M30	Завершение программы
%	Графический символ конца программы

2.3. Разработка управляющей программы на персональном компьютере

Существуют два способа записи (набора) управляющих программ:

- при помощи стойки ЧПУ станка (цеховое программирование);
- при помощи персонального компьютера с последующей передачей в стойку ЧПУ.

Цеховое программирование в настоящее время считается малоэффективным и используется крайне редко. Во-первых, клавиши стойки ЧПУ менее удобны, чем клавиатура ПК. Во-вторых, программное обеспечение СЧПУ предоставляет меньшие возможности по редактированию программ. В-третьих, ручной ввод УП в память СЧПУ физически мешает оператору запустить процесс обработки деталей на этом станке. Набор текста программы обработки на компьютере с последующей передачей в СЧПУ станка является гораздо более эффективным способом работы. Код управляющей программы можно набирать в любом текстовом редакторе и сохранять в соответствующем формате. Например, использовать всем известный "Блокнот" из стандартного набора операционной системы Windows.

Есть множество различных текстовых редакторов, которые были специально созданы для работы с кодом УП. Эти редакторы (назовем их редакторами УП) предоставляют широкие возможности по написанию и редактированию станочного кода. Например, они позволяют добавлять или удалять пробелы, автоматически нумеровать строки и перемещать курсор к коду смены инструмента. Эти функции не нужны обычному текстовому редактору, но очень полезны при создании и отладке программ обработки.

Наиболее продвинутые редакторы управляющей программы имеют инструменты для графической проверки кода и трансляции его на станок. Следует отметить, что некоторые текстовые редакторы сохраняют файлы в специальном формате, который содержит информацию о размере шрифта, полях, цвете и др. Код УП не содержит таких данных, а состоит исключительно из "чистого" текста в формате Американского стандартного кода для обмена информацией (ASCII). Стандарт ASCII является открытым и может читаться любым текстовым редактором. Файлы такого формата, скорее всего, будут иметь расширение ".txt".

Станки с ЧПУ работают в формате G и M кодов в соответствии со стандартами EIA/ISO. Код этого стандарта аналогичен ASCII, но есть ряд небольших отличий. Формат ASCII использует коды окончания строки и перевода каретки в конце каждой строки.

В текстовом редакторе для перехода на новую строку вы просто нажимаете клавишу "Enter", но не видите кода, который переводит вас на новую строку, хотя на самом деле он присутствует. Система ЧПУ требует, чтобы в конце каждого кадра УП стоял знак конца кадра, например (;) или (*). Поэтому, если написать программу на компьютере, то она будет выглядеть так:

```
N50 G00 X230;  
N60 G01 Y300;  
N70 G01 Z100.
```

А если та же программа вводится прямо со стойки ЧПУ, то она, возможно, будет выглядеть следующим образом (придется добавить символ конца кадра в каждую строку УП):

```
N50 G00 X230;  
N60 G01 Y300;  
N70 G01 Z100.
```

Если создать программу на компьютере и затем передать ее на станок, то знак конца кадра пишется автоматически.

Ошибка в программе обработки может повлечь за собой массу проблем. В лучшем случае ошибка обернется сломанным инструментом или испорченной деталью, а в худшем - может привести к повреждению станка или травме оператора.

Опытный программист знает, что дешевле и проще проверить программу заранее на компьютере, чем ошибиться при выполнении обработки на станке. Основной метод проверки УП на компьютере заключается в графической симуляции обработки.

Такая симуляция может выглядеть как прорисовка траектории центра инструмента или как полная имитация механической обработки на станке с демонстрацией процесса удаления материала.

В первом случае программист может обнаружить ошибку в УП, просто наблюдая за траекторией перемещения центра инструмента на

мониторе компьютера. Такая симуляция называется бэкплотом (Backplot).

Бэкплот позволяет легко увидеть ошибку, которую тяжело распознать при простом просмотре кода УП. Сравните два варианта одной и той же программы в табл. 2.2. В одном из кадров УП допущена ошибка.

Во втором варианте, в кадре N90 можно заметить, что десятичная точка стоит не на своем месте. Программа обработки может иметь достаточно большой объем, и такую маленькую ошибку распознать в коде будет крайне тяжело.

Бэкплот моментально покажет, что траектория перемещения инструмента качественно не соответствует тому, что было задумано программистом.

Таблица 2.2

Два варианта фрагмента УП

Правильный вариант	Ошибочный вариант
N80 G01 X3. Y3. N90 G01 X7. Y3.	N80G01X3. Y3. N90G01X7.Y.3

2.4. Передача управляющей программы на станок

После проверки при помощи ПК управляющей программы ее передают на станок. Для передачи УП с компьютера в СЧПУ станка используется специальное коммуникационное программное обеспечение. В большинстве случаев связь осуществляется в соответствии со стандартом RS-232. При этом компьютер соединяется кабелем со специальным разъемом на корпусе станка или панели УЧПУ. Для передачи данных необходимо, чтобы УЧПУ станка и коммуникационная программа были синхронизированы. Это достигается соответствующей настройкой параметров СЧПУ и коммуникационной программы. Как правило, коммуникационная программа и кабель поставляются вместе со станком, а информацию о настройке параметров СЧПУ для связи станка и компьютера можно получить из технической документации на станок с ЧПУ. Следует отметить, что при пере-

даче данных в соответствии с RS-232 желательно, чтобы длина кабеля не превышала 15 м. Для передачи управляющих программ, размер которых превышает размер свободной памяти СЧПУ, используется режим DNC. Режим DNC, или режим прямого числового управления, позволяет выполнять программу прямо из компьютера, не записывая ее в память СЧПУ. УП считывается из компьютера в буфер памяти СЧПУ кадр за кадром (точнее, порциями). Как только система определяет, что один кадр выполнен, она его удаляет и загружает следующий и так далее до конца программы. Для работы в режиме прямого числового управления необходимо, чтобы СЧПУ станка была соответствующим образом подготовлена производителем, а на персональном компьютере находилась коммуникационная программа с поддержкой DNC режима.

Некоторые станки оборудованы собственными дисководами, что дает возможность передавать УП и другие данные в СЧПУ при помощи традиционных программных носителей - дискет и флэш-карт. Самые "продвинутые" стойки ЧПУ поддерживают работу в локальной сети, что позволяет передавать данные более быстро и удобно, а некоторые из них позволяют выходить в интернет и обеспечивают возможность дистанционного мониторинга системы и решения проблем непосредственно производителем станка в режиме реального времени.

2.5. Проверка управляющей программы на станке

После создания, проверки УП на компьютере и передачи ее в память СЧПУ необходимо провести тест программы обработки прямо на станке. Дело в том, что не все ошибки, содержащиеся в программе, могут быть распознаны инструментами верификации на компьютере. Можно увидеть, что фреза идет не в ту координату, но можете не заметить, что нет команды на включение вращения шпинделя или на подачу смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Но даже если в управляющей программе нет ни одной ошибки, оператор станка может случайно внести в корректор СЧПУ неверные значения длины и радиуса инструментов или ошибиться в "привязке"

к детали, что неизбежно приведет к браку. Чтобы исключить любую ошибку, необходимо прямо на станке произвести пробный прогон или тестовую обработку.

Большинство современных станков с ЧПУ имеют тестовые режимы для дополнительной проверки УП. Основной тестовой функцией является отработка УП на холостых ходах (Dry ran). При запуске УП в этом режиме станок блокирует перемещения исполнительных органов по оси Z, по осям X и Y или по всем осям одновременно. Например, если ваш станок блокирует ось Z, то будут осуществляться перемещения по осям X и Y, при этом шпиндель будет вращаться как обычно. Это позволит вам спокойно посмотреть, как работает вся УП без опасения врезаться в материал заготовки. Вообще поведение станка в этом режиме может быть различным, поэтому перед работой в режиме отработки УП на холостых ходах необходимо внимательно прочесть руководство оператора станка с ЧПУ.

Режим покадровой отработки (Single block) предназначен для выполнения программы обработки по отдельным кадрам. СЧПУ приостанавливает работу в конце каждого кадра и ожидает, когда оператор нажмет клавишу "Старт цикла" для исполнения следующего кадра. Пользуясь этим режимом, можно увидеть, пришел ли инструмент в правильную позицию или в программе есть ошибка. Обычно режим покадровой отработки УП применяется совместно с режимом отработки УП на холостых ходах или при "поднятой" нулевой точке детали (рис. 2.3).

Может показаться, что перечисленные тестовые режимы станка с ЧПУ немного устарели в эпоху современных компьютеров и мощных программ верификации. С одной стороны это так. Но с другой стороны эти режимы позволяют новому оператору проще и спокойнее учиться программированию обработки и реальной работе на станке.

Применяются и другие методы для цеховой проверки УП. Контролировать правильность перемещений в программе обработки оператору помогает экранный режим, который называется "Distance to G0" ("Оставшееся расстояние").

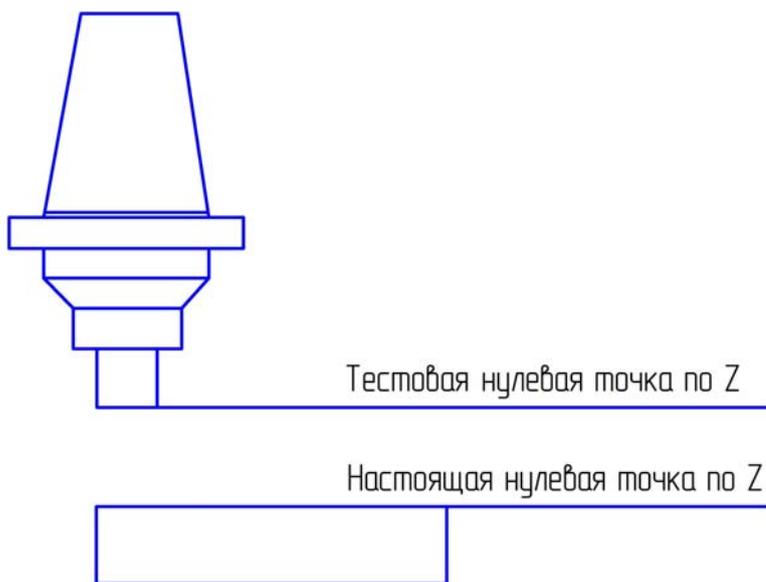


Рис. 2.3. Подъем нулевой точки по оси Z

Очень часто перед настоящей обработкой детали "поднимают" нулевую точку по оси Z и УП "прогоняют по воздуху". Зачастую для проверки УП применяются методы, не использующие тестовые режимы станка с ЧПУ. Например, после установки рабочей системы координат ("привязке" к детали) можно поднять нулевую точку на безопасную высоту над поверхностью заготовки. Эта высота должна быть немного больше, чем самое "глубокое" перемещение инструмента в данной УП. Таким образом, многие СЧПУ имеют функцию отображения оставшегося расстояния перемещения по каждой из осей. Перейдя в этот режим, оператор видит, сколько миллиметров (дюймов) осталось переместиться инструменту в текущем кадре УП. К примеру, вы знаете, что фрезе нужно пройти до касания с поверхностью заготовки по оси Z 50 мм, а в строке Z экранного режима "Distance to G0" стоит 100 мм. Это означает, что фреза пройдет лишних 50 мм и врежется в материал заготовки. Таким образом, информация об оставшемся расстоянии перемещения позволяет оператору сравнивать фактическое и заданное расстояния перемещения визуально и дает возможность избежать серьезной ошибки.

Выполнение данной программы обработки ничем не будет отличаться от заданного, за исключением того, что инструмент будет "ре-

зять воздух". Самым реалистичным способом проверки УП является настоящая обработка "ненастоящего" материала. Обработав заготовки из специального воска или пластика, вы поймете, что на самом деле делает ваша программа. При этом можно использовать очень высокие режимы резания и не бояться сломать инструмент или испортить заготовку из дорогостоящего металла. Выбор того или иного способа проверки УП на станке зависит от многих факторов. Для начинающего программиста рекомендуется выполнять полную проверку. Профессионал же может ограничиться частичной проверкой или вообще проводить тесты УП только на персональном компьютере, используя инструменты бэкплота и твердотельной верификации. При написании программы и работе на станке с ЧПУ главное быть внимательным и не торопиться, а в случае сомнений лучше обратиться к документации станка или за советом к специалисту.

2.6. Последовательность полной проверки управляющей программы

1. Выполните графическую проверку кода программы на компьютере методами бэкплота и твердотельной верификации.

2. Осуществите дополнительные проверки программы и настройки станка:

- все ускоренные перемещения выполняются над поверхностью заготовки на безопасном расстоянии;
- в УП номера инструментов и корректоров совпадают;
- инструмент, установленный в инструментальном магазине станка, соответствует инструменту, описанному в управляющей программе;
- инструмент надежно закреплен в патроне;
- в стойке ЧПУ находятся правильные значения компенсации длины и радиуса инструментов;
- назначены верные режимы резания;
- шпиндель вращается в правильном направлении;
- в УП при необходимости присутствует команда на включение СОЖ;

- операции обработки выполняются в правильном порядке;
- черновые операции производятся перед чистовыми операциями;
- заготовка надежно закреплена в приспособлении;
- инструмент перемещается от одного обрабатываемого элемента детали к другому на безопасном уровне по оси Z.

3. Выполните графическую проверку программы на стойке ЧПУ, если это возможно.

4. Отработайте УП на холостых ходах:

- включите режим покадровой отработки УП;
- уменьшите скорость рабочей подачи;
- сместите нулевую точку детали на безопасное расстояние над поверхностью заготовки и прогоните программу "по воздуху".

5. Верните нулевую точку из безопасного положения в нормальное, отмените режим покадровой отработки УП и выполните обработку детали с уменьшенными рабочими режимами.

6. Проверьте размеры детали. При необходимости произведите корректировку значений длины и радиуса инструментов или самой программы.

Правая система координат является стандартной для всех станков с ЧПУ. В этой системе положительные направления координатных осей определяются по правилу "правой руки". Если большой палец указывает положительное направление оси X, указательный - оси Y, то средний укажет на положительное направление оси Z. В качестве положительного направления оси Z принимают вертикальное направление вывода инструмента (например сверла) из заготовки. То есть ось Z всегда связана со шпинделем станка. Как правило, за X принимают ось, вдоль которой возможно наибольшее перемещение исполнительного органа станка. При этом ось X перпендикулярна оси Z и параллельна плоскости рабочего стола. Если вы определили на станке направления осей X и Z, то по правилу "правой руки" вы однозначно сможете сказать, куда "смотрит" ось Y. Оси X, Y, Z указывают положительные направления перемещений инструмента относительно неподвижных частей станка. При создании УП программист всегда ис-

ходит из правила, что именно инструмент перемещается относительно неподвижной заготовки.

Дело в том, что одни станки с ЧПУ действительно перемещают колонну, шпиндель и соответственно вращающийся инструмент относительно неподвижной заготовки, а другие станки, наоборот, перемещают рабочий стол с заготовкой относительно вращающегося инструмента. Получаем противоположные направления перемещений. Если бы не было этого правила, то программист не разобрался бы, что перемещается и в какую сторону. А так все просто - система ЧПУ сама определит, в каком направлении нужно переместить тот или иной узел станка.

Кроме линейных перемещений, конструкция некоторых станков позволяет совершать круговые перемещения. Под круговым перемещением подразумевается, например, поворот оси шпинделя фрезерного станка. Однако само рабочее вращение шпинделя не входит в это понятие. Круговые перемещения инструмента обозначают латинскими буквами *A* (вокруг оси *X*), *B* (вокруг оси *Y*) и *C* (вокруг оси *Z*).

Положительные направления вращений вокруг этих осей определяются просто. Если расположить большой палец по направлению оси, то другие согнутые пальцы покажут положительное направление вращения. Положения исполнительных органов характеризуют их базовые точки, которые выбираются с учетом конструкции станка. Например, базовой точкой для шпинделя фрезерного станка с ЧПУ является точка пересечения его торца с собственной осью вращения, для рабочего стола - точка пересечения его диагоналей или один из углов. Положение базовой точки относительно начала координат станка с ЧПУ (нулевой точки станка) называется позицией исполнительного органа в системе координат станка, или машинной позицией (*machine-станок*). При работе станка в любой момент времени вы можете увидеть на экране стойки ЧПУ текущую машинную позицию (например рабочего стола) по любой из осей относительно "нуля станка".

В документации станка с ЧПУ пределы возможных перемещений рабочих органов, как правило, указывают пределами смещений базово-

вых точек. Эти данные являются очень важной характеристикой станка, так как они определяют максимально возможные габариты обрабатываемой заготовки.

Нулевая точка станка - это физическая позиция, установленная производителем станка при помощи концевых выключателей или датчиков. После включения станка необходимо переместить исполнительные органы в его нулевую точку для того, чтобы СЧПУ смогла определить или "обнулить" их машинную позицию или, другими словами, нужно синхронизировать СЧПУ и станок. Дело в том, что в момент включения станка, СЧПУ еще не знает реального положения исполнительных органов и, если не выполнить возврата в нуль, то станок просто "откажется" работать. Когда исполнительный орган приходит в нулевую точку станка, то происходит замыкание контактов специального датчика или конечного выключателя, СЧПУ получает электрический сигнал и машинная позиция обнуляется. Процедура возврата в нуль станка является стандартной и для ее осуществления любой станок имеет специальный режим и соответствующие клавиши на панели УЧПУ.

2.7. Нулевая точка программы

Чтобы обработать заготовку на станке, необходимо соответствующим образом установить систему координат. Электронная природа СЧПУ позволяет нам легко помещать систему координат в любую позицию станка, просто нажимая определенные кнопки на панели УЧПУ. При написании УП программист не решает вопрос о том, в каком именно месте рабочего стола будет установлена заготовка. Он знает, что перед выполнением обработки оператор станка "привяжет" к закрепленной на столе заготовке систему координат, в которой создана программа, другими словами, установит рабочую систему координат или нулевую точку программы (детали).

Задача оператора - определить координаты одного из углов детали в системе координат станка и занести их в регистры рабочих смещений, например в G54. После этого система ЧПУ принимает этот угол за нулевую точку для расчета всех перемещений по программе. В от-

личие от физического нуля станка нулевая точка программы (детали) является логической.

Обычно рабочую систему координат по осям X и Y устанавливают в один из углов или в центр детали, а за нуль по оси Z принимают самую верхнюю поверхность детали. Это облегчает программисту выполнение расчетов, а оператору проще "привязываться" и контролировать во время работы перемещения инструмента.

Предположим, что нужно обработать некоторую деталь. Программист решил, что нулевой точкой программы по осям X и Y будет нижний левый угол детали, а по оси Z - верхняя плоскость детали. После этого он рассчитывает координаты опорных точек, пишет программу обработки и сообщает оператору станка о расположении нулевой точки программы. Оператор станка должен установить нулевую точку рабочей системы координат (нуль программы или детали) в определенный программистом угол детали. Для этого нужно найти координаты этого угла в системе координат станка (машинные координаты) и "объяснить" СЧПУ, что именно эта точка будет исходной для расчетов всех перемещений. То есть, можно сказать, что рабочая система координат находится внутри системы координат станка и зависит от нее.

После того как оператор определил все координаты (x , y , z) требуемого угла детали в системе координат станка, ему необходимо ввести значения этих координат в регистры рабочих смещений памяти СЧПУ. Под рабочим смещением понимается расстояние от нуля станка до нуля детали вдоль определенной оси. Оператор вводит эти координаты в память системы, используя цифровые клавиши стойки ЧПУ. Таким образом, обработка ведется в новой рабочей системе, координаты которой отличаются от соответствующих машинных координат на величины рабочих смещений. Обратите внимание на то, что в отличие от физического нуля станка нулевая точка программы (детали) является логической.

Современные СЧПУ позволяют запоминать множество смещений. Благодаря нескольким рабочим системам координат программист может использовать одну и ту же УП для обработки нескольких за-

крепленных на рабочем столе деталей. При этом нет необходимости выполнять программирование для каждой детали в отдельности. Вместо этого СЧПУ просто смещает рабочую координатную систему (нулевую точку программы) к следующей детали, подлежащей обработке. Для установки различных рабочих систем координат используются соответствующие G коды. В большинстве случаев G54 обозначает первую рабочую систему координат, G55 - вторую, G56 - третью и т. д. (рис. 2.4). В программе обработки можно увидеть, например, такой кадр:

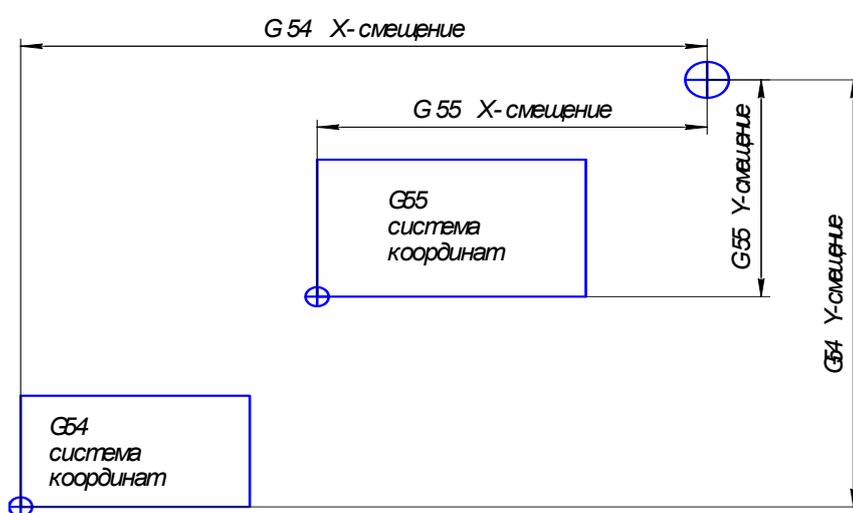


Рис. 2.4. Пример установки нескольких систем координат детали

```
N20 G21 G54 G90
```

Кадр N20 активирует первую рабочую систему координат G54.

Назначение нулевой точки программы - важный шаг при создании управляющей программы. Нулевая точка программы устанавливается для реализации требуемой последовательности и повторяемости обработки. Создание любой УП можно условно разбить на два этапа. На первом этапе технолог-программист анализирует информацию, полученную из конструкторской (чертежи, эскизы) и технологической документации (маршрутные карты, операционные карты) и, учитывая конструкционные и технические возможности станка с ЧПУ, окончательно определяет технологические операции и маршрут обработки,

назначает режущий и вспомогательный инструмент, выявляет комплекты конструкторских и технологических баз. И только на втором этапе производится окончательный расчет траектории инструмента по опорным точкам и создание УП. Исходя из этого, при назначении нулевой точки программы используют несколько правил.

Первое, но не основное правило - удобство программирования. Например, если расположить деталь в первом квадранте прямоугольной системы координат, то это немного упростит процесс расчета траектории из-за того, что все опорные точки этой детали будут описываться положительными координатами.

Второе правило, более важное - нулевая точка программы должна совпадать с конструкторской базой. Это значит, что если на чертеже размеры стоят от левого верхнего угла детали, то лучше, если именно в этом углу и будет находиться нуль детали. А если размеры указываются от центрального отверстия, то нулем детали следует назначить центр этого отверстия.

Если заготовка устанавливается в тиски, то необходимо учитывать несколько моментов. У тисков есть подвижная и неподвижная губки (рис. 2.5). Если нулевая точка установлена на поверхности, примыкающей к неподвижной губке тисков (рис. 2.5, а), то координаты нулевой точки не будут изменяться при любых отклонениях размеров заготовки. Но, если нулевая точка расположена на поверхности (границы), примыкающей к подвижной губке тисков (рис. 2.5, б), то оператор станка для получения правильных размеров детали вынужден каждый раз "перепривязываться", то есть заново находить координаты нулевой точки. В большинстве случаев нулевая точка устанавливается относительно уже подготовленных поверхностей. Хорошо, когда на станок с ЧПУ приходит заготовка с обработанным "в размер" наружным контуром. Это позволяет точно и надежно ее закрепить и гарантировать постоянство координат нулевой точки.

Очень часто для обработки детали требуется несколько установок. Например, сначала нужно фрезеровать паз с одной стороны детали, а затем после переустановки - с другой стороны. В этом случае, необходимо убедиться, что базирование осуществляется по одной и той же

поверхности, иначе существует вероятность того, что не будет обеспечена требуемая точность размеров.

Нулевая точка выбирается и устанавливается относительно определенного угла заготовки или центра отверстия. Необходимо быть внимательным при обработке заготовки с несколькими установками и всегда следить за расположением базовых поверхностей и нулевой точки.

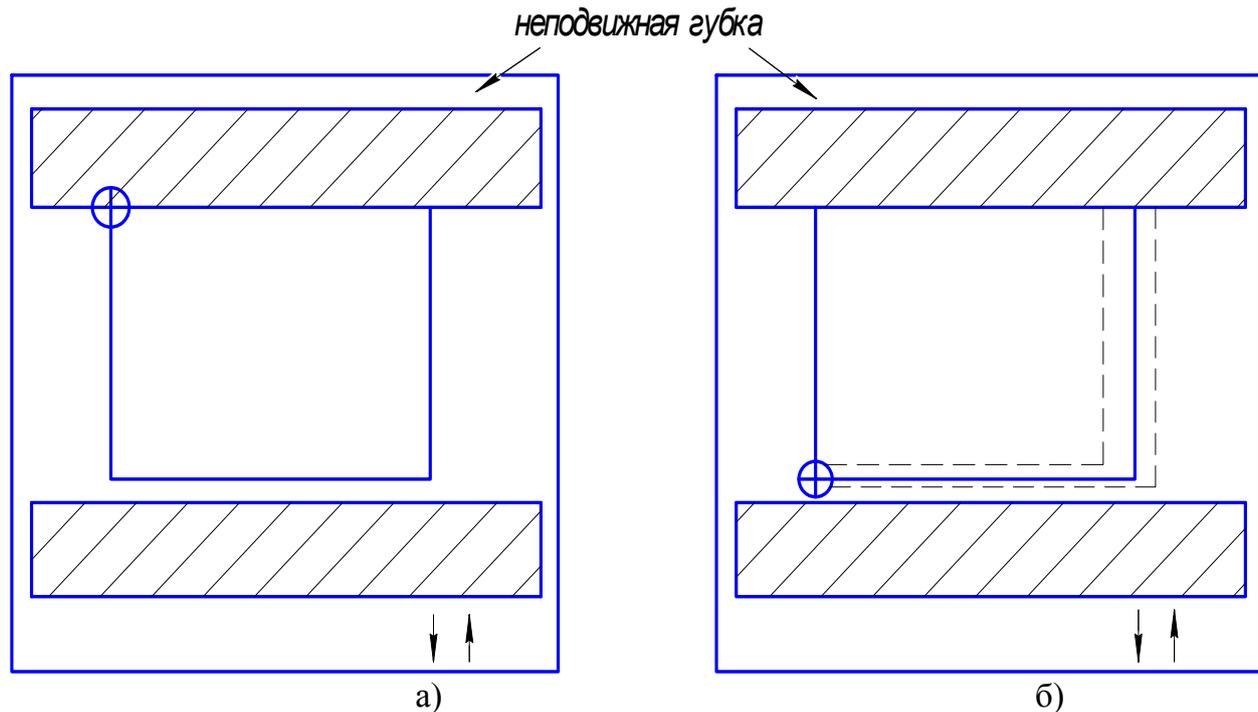


Рис. 2.5. Выбор нулевой точки на неподвижной (а) и подвижной (б) губке тисков

2.8. Компенсация длины инструмента

При выполнении управляющей программы базовая позиция шпинделя (точка пересечения торца и оси вращения) определяется запрограммированными координатами. Проблема заключается в том, что в базовой позиции шпинделя обработка резанием не осуществляется. Обработка производится кромкой режущего инструмента, которая находится на некотором расстоянии от базовой точки шпинделя. Для того чтобы в запрограммированную координату приходила именно режущая кромка, а не шпиндель, необходимо "объяснить" СЧПУ, на какую величину по оси Z нужно сместить эту базовую точку.

Перед началом обработки оператор должен измерить длину каждого из инструментов, используемых в программе, и ввести числовые значения длин в соответствующие регистры компенсации длины инструмента (или в таблицу инструментов). Смещение базовой точки шпинделя на величину длины инструмента называется компенсацией длины инструмента.

Компенсация длины инструмента на большинстве современных станков активируется командой G43, а отменяется при помощи G49 или H00. При создании УП программист не указывает напрямую значение длины инструмента (он еще не знает точной длины), а использует "ссылку" на соответствующий регистр компенсации инструмента в памяти СЧПУ. Например, следующая строка программы активирует компенсацию длины инструмента №2:

```
N025 G43 H02 Z50.
```

При этом H указывает на соответствующий регистр компенсации длины, H02 - на регистр инструмента №2, H03 - на регистр инструмента №3 и т.д. Вообще, компенсация длины инструмента упрощает работу программиста - ему не нужно думать о точной длине инструментов - и дает возможность оператору станка, "играя" значением в регистре компенсации длины, добиваться требуемых размеров детали по оси Z.

Если нужно переместить инструмент в Z50 и в программе есть код компенсации длины инструмента, то режущая кромка фрезы не достигнет до поверхности детали ровно 50 мм.

Абсолютное программирование

%

```
O0001 (PAZ ABS)
```

```
N40 G21 G40 G49 G54 G80 G90
```

```
N20 M06 T01 (FREZA DI)
```

```
N.10 G43 H01
```

```
N40 M03 S1000
```

```
N50 G00 X3 Y8
```

N60 G00 Z0.5

N70 G01 Z-1 F25

Относительное программирование

%

O0001 (PAZ 1NCR)

N10 G21 G40 G49 G54 G80 G91

N20 M06 T01 (FREZAD1)

N30 G43 H01

N40 M03 S1000

N50 G00 X3 Y8

N60 G00 Z0.5

N70 G01 Z-1 F25.

Программирование в относительных координатах было обязательным условием при работе на многих станках с ЧПУ старых моделей. Современные системы ЧПУ позволяют свободно работать и с абсолютными, и с относительными координатами. Для переключения из одного режима работы в другой используются команды G90 (абсолютное программирование) и G91 (относительное программирование). В случае появления одной координатной ошибки при относительном способе программирования все последующие перемещения будут неправильными.

2.9. G и M-коды

Программирование обработки на современных станках с ЧПУ осуществляется на языке, который обычно называют языком ИСО (ISO) 7- бит или языком G и M кодов. Коды с адресом G, **называемые подготовительными**, определяют настройку СЧПУ на определенный вид работы. **Коды с адресом M называются вспомогательными** и предназначены для управления режимами работы станка. Если программист хочет, чтобы инструмент перемещался по прямой линии, то он использует G01. А если необходимо произвести смену инструмента, то в программе обработки он указывает M06.

Код (функция) Назначение и пример кадра с кодом

Осевое перемещение

- G00 Ускоренный ход — перемещение на высокой скорости в указанную точку G00 X10 Y20 Z25
- G01 Линейная интерполяция - перемещение по прямой линии на указанной скорости подачи, X10 Y20 F100
- G02 Круговая интерполяция - перемещение по дуге по часовой стрелке на указанной скорости подачи, G02 X10 Y20 R10 F100
- G03 Круговая интерполяция - перемещение по дуге против часовой стрелки на указанной скорости подачи, G03 X10 Y20 R10 F100

Настройка

- G20 Ввод данных в дюймах, G20 G00 X 10 Y20
- G21 Ввод метрических данных, G21 G00 X10 Y20
- G90 Абсолютное позиционирование - все координаты отсчитываются от постоянной нулевой точки, G90 G00 X10 Y20
- G90 Относительное позиционирование - все координаты отсчитываются от предыдущей позиции, G90 G00 X10 Y20

Обработка отверстий

- G81 Цикл сверления, G81 X10 Y20 Z-5 F30
- G82 Цикл сверления с задержкой на дне отверстия, G82 X 10 Y20 Z-5 R1 P2 F30
- G83 Прерывистый цикл сверления G83 X10 Y20 Z-5 R1 F30
- G85 Цикл растачивания отверстия G85 X10 Y20 Z-5 F30

Вспомогательные коды (функции)

- M00 Запрограммированный останов — выполнение программы временно прекращается

M01	Запрограммированный останов по выбору, выполнение программы временно прекращается, если активирован режим останова по выбору
M03	Прямое вращение шпинделя, шпиндель вращается по часовой стрелке
M04	Обратное вращение шпинделя, шпиндель вращается против часовой стрелки
M05	Останов шпинделя
M06	Автоматическая смена инструмента, M06 T02
M08	Включение подачи охлаждающей жидкости
M09	Выключение подачи охлаждающей жидкости
M30	Конец программы, перевод курсора к началу программы

Современные системы ЧПУ понимают более сотни различных команд, однако в своей повседневной работе технолог-программист использует лишь ограниченный, довольно узкий набор G и M кодов.

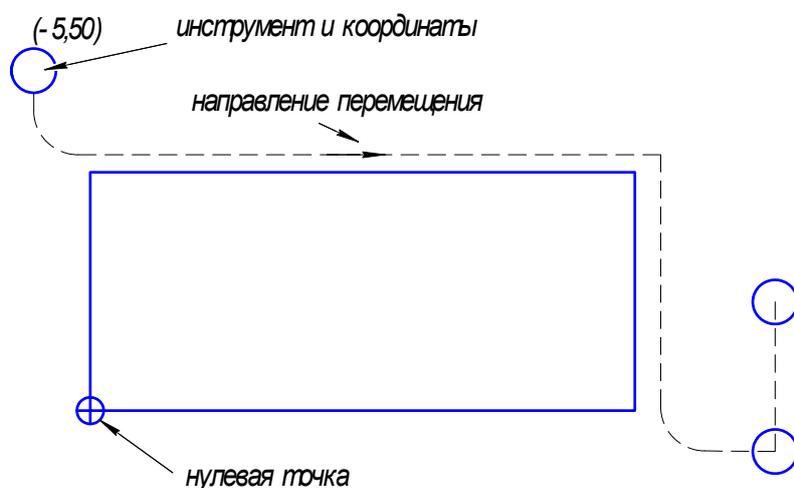


Рис. 2.6. Подвод и отвод режущего инструмента от заготовки

Этому есть простое объяснение. Дело в том, что основная задача УП заключается в перемещении инструмента по заданным координатам. Для реализации таких перемещений нужно воспользоваться всего несколькими кодами, которые можно

смело назвать базовыми. В книге вы подробно ознакомитесь с базовыми G кодами, которые понимают практически все станки с ЧПУ. Для большей наглядности все программные примеры снабжены рисунками и схемами. Обратите внимание на графический символ, обозначающий нулевую точку.

Код G00 используется для ускоренного перемещения. Ускоренное перемещение, или позиционирование необходимо для быстрого перемещения инструмента к позиции обработки или безопасной позиции. Ускоренное перемещение никогда не используется для выполнения обработки, так как скорость движения инструмента слишком большая по величине и непостоянна. Применение кода G00 позволяет существенно снизить общее время обработки.

На рис. 2.7 показана фреза, которая перемещается из некоторой безопасной позиции к заготовке для обработки паза, изображенного пунктирной линией. Для фрезерования паза сначала нужно подвести фрезу максимально близко к поверхности заготовки, а затем осуществить вертикальное врезание в материал на нужную глубину. Для экономии времени на выполнение холостых ходов в управляющей программе мы должны указать

координаты точки у поверхности заготовки, в которую инструмент должен переместиться максимально быстро. Непосредственное врезание инструмента в материал заготовки осуществляется со скоростью рабочей подачи и при помощи другой команды.

Для выполнения ускоренного перемещения достаточно указать в кадре слово G00 и координаты позиции, в которую требуется переместить режущий инструмент. Условно кадр ускоренного перемещения выглядит так:

```
G00 Xn.n Yn.n
```

Посмотрим, как будет перемещаться инструмент из точки с координатами (0;0) в данном фрагменте УП:

```
N05 G00 X10.0 Y20.0
```

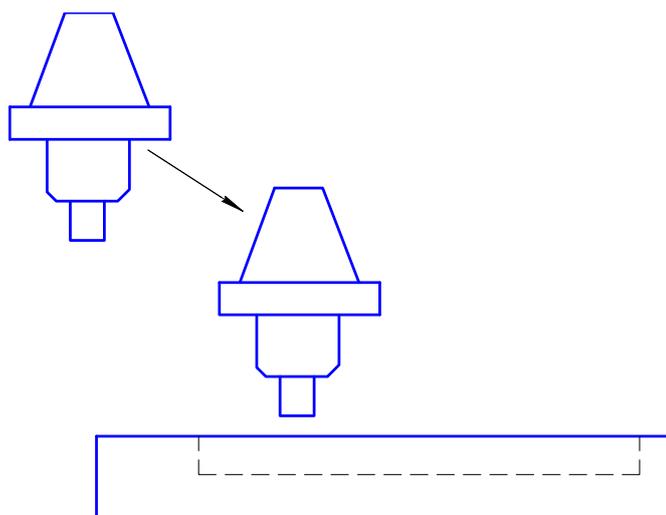


Рис. 2.7. Ускоренное перемещение режущего инструмента (команда G00)

N10 X40.0

N15 Y0.0

Кадр N05 обеспечивает ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами $X=10$, $Y=20$ (рис. 2.8). Следующий кадр выполняет позиционирование в точку $X=40$, $Y=20$). Кадр N15 перемещает инструмент в точку $X=40$; $Y=0$. Так как G00 является модальным кодом, то нет никакой необходимости указывать его еще раз в кадрах N10 и N15. Всегда необходимо оставлять небольшое расстояние между поверхностью заготовки и точкой, в которую должен быть перемещен инструмент при помощи кода G00. Если это расстояние будет близким к нулю, то возникает опасность столкновения инструмента с заготовкой, так как размеры заготовки или инструмента могут оказаться немного большими, чем вы ожидаете. Обычно безопасное расстояние находится в пределах от 0,5 до 5,0 мм.

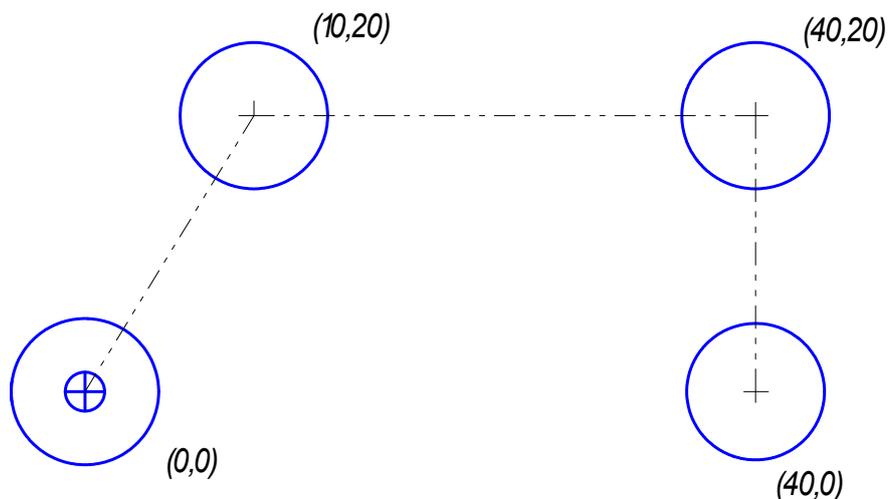


Рис. 2.8. Ускоренные перемещения инструмента

При ускоренном подводе инструмента к детали по трем осям сначала лучше выполнить позиционирование по осям X и Y , а уже затем по Z . При отводе инструмента - обратный порядок перемещений. В любом случае рекомендуется разделять ускоренное перемещение на два кадра - на позиционирование по X , Y в одном кадре и по оси Z в другом. Дело в том, что при позиционировании с кодом G00 по трем

осям одновременно траектория движения инструмента может не являться прямой линией. СЧПУ отдает команду двигателям на перемещение колонны или рабочего стола на максимальной скорости в указанную координату. Как только достигается требуемая координата по одной из осей, ускоренное перемещение по этой оси прекращается, хотя перемещение по другим осям все еще может происходить. Так как расстояния перемещения по трем осям различны, то траектория перемещения может выглядеть как ломаная линия. Результатом такого перемещения может стать неожиданное столкновение инструмента с крепежными элементами и приспособлениями.

Сравните два фрагмента управляющей программы:

```
N10 G00 X100.0 Y200.0 Z0.5          N10 G00 X100.0 Y200.0  
N20Z0.5
```

Во втором фрагменте ускоренное перемещение разбито на два кадра: сначала инструмент быстро перемещается в точку $X=100$, $Y=200$, а уже после пускается по оси Z . Этот вариант более предпочтителен, так как основное позиционирование осуществляется по осям X и Y далеко от заготовки и приспособления, тогда как в первом случае существует вероятность столкновения инструмента с заготовкой.

При работе с ускоренными перемещениями нужно проявлять повышенную внимательность. Современные станки с ЧПУ в этом режиме могут иметь скорость 30 метров в минуту и более. Скорее всего, оператор станка просто не успеет среагировать на неправильное перемещение на такой скорости и может произойти серьезное столкновение. Опытный программист старается не допускать ускоренных перемещений инструмента ниже поверхности заготовки и всегда проверяет кадры, содержащие код $G00$.

2.10. Структура программы

Для знакомства со структурой управляющей программы рассмотрим ранее созданную программу обработки паза (см. п. 2.2):

```
O0001 (PAZ)  
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90  
N20 M06 T01 (FREZA D1)
```

```
N30 G43 H01
N40 M03 S1000
N50 G00 X3 Y8
N60 G00 Z0.5
N70 G01 Z-1 F25
N80 G01 X3 Y3
N90 G01 X7 Y3
N100 G01 X7 Y8
N110 G01 Z5
N120 M05
N130 M30
```

Управляющая программа является упорядоченным набором команд, при помощи которых определяются перемещения исполнительных органов станка и различные вспомогательные функции. Любая программа обработки состоит из некоторого количества строк, которые называются кадрами УП. **Кадр управляющей программы** - составная часть УП, вводимая и отрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды. Система ЧПУ считывает и выполняет программу кадр за кадром. Очень часто программист назначает каждому кадру свой номер, который расположен в начале кадра и обозначен буквой N. В нашей программе вы можете увидеть номера кадров с N10 до N130. Большинство станков с ЧПУ позволяют спокойно работать без номеров кадров, которые используются исключительно для удобства зрительного восприятия программы и поиска в ней требуемой информации. Поэтому наша программа обработки может выглядеть и следующим образом:

```
O0001 (PAZ)
G21 G40 G49 G80 G54 G90
M06 T01 (FREZA D1)
G43 H01
M03 S1000
G00 X3 Y8
G00 Z0.5
G01 Z-1 F25
```

G01 X3 Y3

G01 X7 Y3

G01 X7 Y8

G01 Z5

M05

M30.

Программисту рекомендуется располагать номера кадров с интервалом в 5 или 10 номеров, чтобы при необходимости можно было вставить в программу дополнительные кадры.

В самом начале УП обязательно должен находиться код начала программы % и номер программы (например O0001). Два первых кадра не влияют на процесс обработки, тем не менее, они необходимы для того, чтобы СЧПУ могла отделить в памяти одну программу от другой. Указание номеров для таких кадров не допускается.

O0001 (PAZ)

Кадр №10 настраивает систему ЧПУ на определенный режим работы с последующими кадрами УП. Например, G21 означает, что станок будет работать в метрической системе, то есть перемещения исполнительных органов программируются и выполняются в миллиметрах, а не в дюймах. Иногда такие кадры называют **строками безопасности**, так как они позволяют перейти системе в некоторый стандартный режим работы или отменить ненужные функции

N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90.

Следующие кадры говорят станку о необходимости подготовки к обработке. Для этого нужно поставить инструмент из магазина в шпиндель (кадр N20), активировать компенсацию длины инструмента (кадр N30) и заставить шпиндель вращаться в нужном направлении на указанной скорости (кадр N40). Также вы можете использовать символы комментариев. СЧПУ игнорирует любой текст, заключенный в круглые скобки, что позволяет, например, указать в кадре диаметр или наименование применяемой фрезы.

N20 M06 T01 (FREZA D1)

N30 G43 H01

N40 M03 S1000

Кадры с номерами от N50 до N110 непосредственно отвечают за обработку детали. В этой части УП содержатся коды, предназначенные для перемещения инструмента в указанные координаты. Например, кадр N80 перемещает инструмент в точку с координатами X3, Y3 со скоростью подачи, равной 25 миллиметров в минуту.

N50 G00 X3 Y8

N60 G00 Z0.5

N70 G01 Z-1 F25

N80 G01 X3 Y3

N90 G01 X7 Y3

N100 G01 X7 Y8

N110 G01 Z0.5

Заключительные кадры предназначены для останова шпинделя (кадр N120) и завершения программы (кадр N130):

N120 M05

N130 M30

Схематично любую управляющую программу можно представить в виде следующих областей:

Начало программы.

Вызов первого инструмента.

Основная часть УП - рабочие перемещения.

Смена инструмента.

Основная часть УП - рабочие перемещения.

Конец программы.

Управляющая программа состоит из множества различных кадров. В свою очередь, каждый кадр УП состоит из слов данных. А слово данных состоит из адреса (буквы) и относящегося к нему числа. Например, адрес Y относится к оси Y, а следующее за адресом число обозначает координаты вдоль этой оси.

G01X3 Y3 – кадр УП, в котором

G – адрес

01 – число

G01 – слово данных

X-адрес, Z – число, XZ – слово данных,
Y – адрес, Z – число, YZ – слово данных.

Не обязательно, чтобы число, относящееся к G или M коду, имело ведущие нули (нули перед числом), например G01, G02, G03 и т.д. Можно писать просто G1, G2, G3. Тем не менее, многие программисты в силу привычки предпочитают вариант с нулями.

Система ЧПУ работает далеко не со всеми адресами. Например, стойка Fanuc откажется воспринимать латинские буквы E, U, V и W, если они не относятся к макропрограмме. Это не значит, что вы не сможете загрузить в память станка программу, содержащую перечисленные адреса. Загрузить ее можно, но при попытке выполнить такую программу система ЧПУ, скорее всего, выдаст сообщение об ошибке.

2.11. Модальные и немодальные коды

Все станочные коды можно разделить на два класса в зависимости от их способности сохраняться в памяти СЧПУ. Немодальные коды действуют только в том кадре, в котором они находятся. Модальные коды, напротив, могут действовать бесконечно долго, пока их не отменят другим кодом.

Выделяют несколько групп кодов в зависимости от функции, которую они выполняют. Два модальных кода из одной группы не могут быть активными в одно и то же время. Например, G02 и G03 находятся в группе кодов осевых перемещений, и нельзя применять оба этих кода одновременно. Один из этих кодов обязательно отменит действие другого. Это равносильно попытке ехать на автомобиле одновременно и вправо, и влево. Однако можно одновременно использовать коды из разных функциональных групп. Например, в одном кадре можно написать G02 и G90.

Особенностью модальных кодов является то, что не нужно вводить активный код в последующие кадры. Например, код G01 используется для перемещения инструмента по прямой линии. Если нам необходимо совершить множество прямых перемещений, то не обязательно в каждом последующем кадре писать G01. Для отмены кода G01 необходимо применить один из кодов той же самой функцио-

нальной группы (G00, G02 или G03). Большинство из G кодов являются модальными. Программист должен знать, к какой группе и к какому классу принадлежит тот или иной код.

Хотя M коды обычно не делят на модальные и немодальные, однако этот термин все же можно применить и к ним. Например, можно выделить группу M кодов, отвечающих за подачу охлаждающей жидкости (M07, M08, M09) или за вращение шпинделя (M03, M04, M05). Тем не менее, большинство M кодов нужно рассматривать как немодальные. Некоторые стойки ЧПУ допускают программирование только одного M кода в кадре.

Коды распределены по группам:

Функциональная группа	Коды
Перемещения	G00, G01, G02, G03
Тип координатной системы	G90, G91
Единицы ввода данных	G20, G21
Постоянные циклы	G80, G81, G82, G83, G84, G85
Рабочая система координат	G54, G55, G56, G57, G58
Компенсация длины инструмента	G43, G44, G49
Коррекция на радиус инструмента	G40, G41, G42
Возврат в постоянных циклах	G98, G99
Активная плоскость обработки	G17, G18, G19

2.12. Формат программы

Одна и та же управляющая программа может выглядеть по-разному. В качестве примера этого явления приведем фрагмент все той же программы обработки паза:

```
N70 G01 Z-1 F25  
N80 G01 X3 Y3  
N90 G01 X7 Y3  
N100 G01 X7 Y8  
N110 G01 Z0.5
```

Так как G01 является модальным кодом, то совсем не обязательно указывать этот код в каждом кадре линейных перемещений. Поэтому данный фрагмент УП может выглядеть следующим образом:

N70 G01 Z-1 F25

N80 X3 Y3

N90 X7 Y3

N100 X7 Y8

N110 Z0.5

СЧПУ читает первый кадр, в котором задается линейное перемещение по оси Z на глубину 1 мм (Z-1). Затем считывается второй кадр, в котором присутствуют координаты, но нет другого G кода. Так как G01 является модальным кодом, он сохраняется в памяти и используется СЧПУ для работы с новыми координатами. Можно сказать, что адреса X и Y также являются модальными. То есть значения координат сохраняются в памяти, пока СЧПУ не заменит (обновит) их другими значениями координат. Таким образом, данный фрагмент управляющей программы можно переписать еще раз:

N70 G01 Z-1 F25

N80 X3 Y3

N90 X7

N100 Y8

N110 Z0.5

Система ЧПУ читает программу обработки кадр за кадром. При этом в буфер памяти системы попадает один или несколько кадров целиком. Для современных систем ЧПУ не принципиально, в каком месте кадра находится тот или иной код (слово данных). Однако некоторые станки, имеющие старые системы ЧПУ, могут быть очень придирчивы к порядку слов данных в кадре и к пробелам между ними. Для современной стойки три приведенных ниже кадра будут иметь совершенно одинаковый эффект:

N01 G55 G01 X30.45 Y2.35 M08

N02 M08 Y2.35 G55 X30.45 G01

N03 G01 X30.45 Y2.35 G55 M08

Чтобы программисту было легче создавать и читать управляющую программу, рекомендуется следующий порядок расположения слов данных и знаков программирования в кадре:

1. Код пропуска кадра.

2. Номер кадра (N).
3. Подготовительные функции (G коды).
4. Адреса осевых перемещений (X, Y, Z, I, J, K, A, B, C).
5. Команда подачи (F).
6. Команда числа оборотов (S).
7. Вспомогательные функции (M коды).

После номера кадра N обычно следует G код. Это как глагол в предложении - G коды говорят нам, какую функцию несет каждый кадр. Далее следуют адреса и координаты позиций осевых перемещений. M коды обычно ставятся в конец кадра. Это правило действует, когда в кадре присутствует G код. Тем не менее, если в кадре нет G кода, то многие программисты предпочитают ставить M код в начало:

```
N40 M03 S1000
```

```
N50 G00 X3 Y8
```

В УП не допускаются пробелы между адресом (буквой) и числом или внутри G и M кодов. В приведенном кадре есть несколько ошибок и СЧПУ станка обязательно будет на них "ругаться":

```
N50 G 00 X 3 Y 8
```

Большинство современных стоек прекрасно работает и без пробелов между словами данных. Удаление пробелов позволяет сократить размер управляющей программы. Однако человеку, в отличие от компьютера, будет непривычно читать УП в таком варианте. Сравните два варианта одного и того же кадра:

```
1) N50 G00 X3 Y8
```

```
2) N50G00X3Y8
```

Первый вариант явно читается легче, что означает меньшую вероятность ошибки при написании или проверке программы обработки.

Номера кадров для большинства современных СЧПУ не обязательны. Они используются для облегчения поиска требуемой информации в УП и для создания переходов к определенному кадру в некоторых особых случаях. Поэтому фрагмент программы, с которым мы работаем:

```
N70 G01 Z-1 F25
```

```
N80 X3 Y3
```

N90 X7

N100 Y8

N110 Z0.5

перепишем следующим образом:

G01 Z-1 F25

X3 Y3 X7 Y8 Z0.5

Необходимо уделить особое внимание числовому формату, с которым ваша стойка ЧПУ сможет работать. Обычно система ЧПУ работает с десятичным форматом и позволяет использовать несколько знаков до десятичной точки и несколько знаков после нее (например 999.999). Возможны различные варианты употребления ведущих (перед десятичной точкой) и последующих (после десятичной точки) нулей. Сравните:

Z0.1

Z.1

Z0.100

В некоторых случаях наличие десятичной точки в определенных словах данных обязательно, а в других случаях недопустимо. Поэтому внимательно ознакомьтесь с разделом документации станка с ЧПУ, в котором говорится о формате программирования.

При работе с положительными числами не требуется вводить знак "+", так как СЧПУ исходит из положительного значения числа, если не введен никакой знак. Но при необходимости ввода отрицательного числового значения, знак "-" должен быть запрограммирован обязательно.

Сравним первоначальный вариант программы обработки паза и новый вариант, созданный в этом разделе. Несмотря на то что второй вариант УП имеет меньший размер (экономия программной памяти системы ЧПУ), его гораздо труднее читать.

Следовательно, работая с "экономичной" версией управляющей программы появляется вероятность сделать ошибку или ее не заметить. Так как современные СЧПУ и компьютеры обладают достаточно большим объемом памяти, то нет смысла "экономить байты", уби-

рая пробелы между словами данных, не ставя номера кадров и забывая про комментарии.

Два варианта одной программы

Обычная УП	Сжатая УП
O0001 (PAZ)	O0001 (PAZ)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	G21G40G49G54G80G90
N20 M06 T01 (FREZA D1)	M6T1
N30 G43 H01	G43H1
N40M03S1000	M3S1000
N50 G00 X3 Y8	GOX3Y8
N60 G00 Z0.5	Z.5
N70G01Z-1F25	G1Z-1F25
N80 G0 1X3 Y3	X3Y3
N90 G01 X7 Y3	X7
N100 G01 X7 Y8	Y8
N110G01Z0.5	Z.5
N120G91G28X0Y0Z0	G91G28X0Y0Z0
N130 M05	M5
N140 M30	M30

2.13. Строка безопасности

Строкой безопасности называется кадр, содержащий G коды, которые переводят СЧПУ в определенный стандартный режим, отменяют ненужные функции и обеспечивают безопасную работу с управляющей программой. В нашей программе для обработки паза строкой безопасности является кадр N10.

N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90

Ранее отмечалось, что многие коды являются модальными и остаются активными в памяти СЧПУ до тех пор, пока их не отменяют. Возможны ситуации, когда ненужный модальный G код не был отменен. Например, если программа обработки была прервана по каким-либо причинам в середине, строка безопасности, которая обычно находится

в начале УП или после кадра смены инструмента, позволяет "восстановить" забытые G коды и выйти в привычный режим работы.

Ознакомимся с G кодами, находящимися в типичной строке безопасности. Слово G21 говорит станку о том, что все перемещения и подачи рассчитываются и осуществляются в миллиметрах, а не в дюймах (G20). Так как станки производятся и работают в разных странах, то существует возможность переключения между дюймовым и метрическим режимами. Поэтому включение этого кода в состав строки безопасности гарантирует работу в правильном режиме.

Код G40 отменяет автоматическую коррекцию на радиус инструмента. Коррекция на радиус инструмента предназначена для автоматического смещения инструмента от запрограммированной траектории. Коррекция может быть активна, если вы в конце предыдущей программы забыли ее отменить (выключить). Результатом этого может стать неправильная траектория перемещения инструмента и, как следствие, испорченная деталь.

Код G49 отменяет компенсацию длины инструмента.

Код G54 на большинстве современных станков позволяет активировать одну из нескольких рабочих систем координат. Предыдущая управляющая программа могла работать в другой системе координат, например в G55. Как и большинство G кодов, G код рабочей системы координат является модальным и сохраняется активным в памяти СЧПУ до тех пор, пока его не отменят. Для того чтобы избежать ошибки, в строку безопасности включают код требуемой рабочей системы координат (G54-G59).

Код G80 отменяет все постоянные циклы (например циклы сверления) и их параметры. Отмена постоянных циклов необходима, так как все координаты после G кода постоянного цикла относятся непосредственно к нему и для выполнения других операций нужно "сказать" системе ЧПУ, что цикл закончен.

Код G90 активизирует работу с абсолютными координатами. Хотя большинство программ обработки создается в абсолютных координа-

тах, возможны случаи, когда требуется выполнять перемещения инструмента в относительных координатах (G91).

2.14. Линейная и круговая интерполяция G01, G02 и G03

Код G01 предназначен для выполнения линейной интерполяции или, говоря простым языком, для перемещения инструмента по прямой линии с заданной скоростью. Условно кадр для линейной интерполяции записывается следующим образом:

```
G01 Xn.n Yn.n Zn.n Fan
```

В этом кадре появился адрес F. Основное отличие кода G01 от G00 заключается в том, что при линейной интерполяции инструмент перемещается с заданной скоростью (скоростью рабочей подачи), при которой возможна механическая обработка материала. При этом СЧПУ поддерживает прямолинейное перемещение даже по трем осям одновременно.

```
N10 G01 X10.0 Y30.0 F100
```

```
N20 X40.0 Y40.0 Z40.0
```

В кадре N10 инструмент перемещается в точку с координатами X=10, Y=30 со скоростью 100 миллиметров в минуту. Следующий кадр выполняет линейное перемещение в точки X=40, Y=40, Z=40. Так как код G01 является модальным, то его не нужно указывать еще раз в кадре N20. То же самое относится и к скорости подачи F. Если в кадре N10 указана скорость F100, то она остается неизменной, пока не будет запрограммировано новое значение F. Линейная интерполяция используется не только для обработки в плоскости X-Y, но и для вертикального врезания в материал заготовки.

Если обработку по прямой линии не сложно производить и на простом станке с ручным управлением, то перемещение инструмента по дуге удобнее и проще выполнять на станке с ЧПУ.

Коды G02 и G03 предназначены для выполнения круговой интерполяции. Код G02 используется для перемещения режущего инструмента по дуге по часовой стрелке, а G03 - против часовой стрелки. Направление перемещения определяется, когда мы смотрим на инст-

румент со стороны шпинделя, в отрицательном направлении оси Z. Как и при выполнении линейной интерполяции, в кадре круговой интерполяции необходимо указать скорость рабочей подачи F.

Существуют два способа для формирования кадра круговой интерполяции. Сравните структуру следующих кадров:

G02 Xn.n Yn.n Zn.n Inn Jn.n Kn.n Fan. G02 Xn.n Yn.n Zn.n Rn.n Fan.

В первом варианте для выполнения кругового перемещения указывают команду G02 (G03); координаты конечной точки дуги; I, J, K - адреса и скорость рабочей подачи. А во втором варианте вместо I, J, K указывают R. Выбор варианта записи кадра кругового перемещения зависит от возможностей ЧПУ и привычки программиста. Большинство современных станков с ЧПУ поддерживают оба варианта записи.

Направление перемещения по дуге можно определить, если посмотреть на заготовку со стороны инструмента. Если фреза перемещается по часовой стрелке, то используем команду G02.

В кадре с командой на выполнение круговой интерполяции необходимо указать координаты конечной точки перемещения (дуги). Если кроме X и Y в кадре находится Z слово данных, это означает, что производится винтовая интерполяция. Винтовая интерполяция, которая поддерживается не всеми системами ЧПУ, позволяет выполнять фрезерование резьбы и обеспечивает плавное винтовое врезание инструмента в материал заготовки.

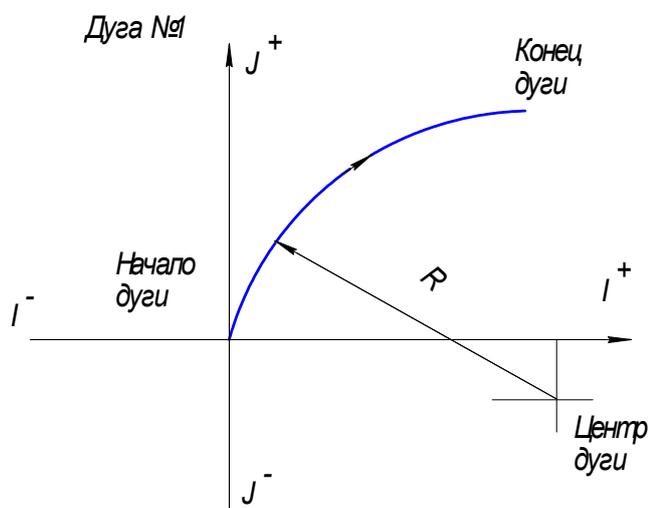


Рис. 2.9. Круговая интерполяция по часовой стрелке

Для полного описания дуги не достаточно задать только координаты ее конечной точки. Необходимо также указать радиус и координаты центра кривизны криволинейного контура.

При помощи координат I, J и K указывают относительные (инкрементальные) расстояния от начальной точки дуги до ее центра. Слово данных с адресом I относится к оси X, слово данных с J - к оси Y, а слово данных с K - к оси Z. При этом в зависимости от расположения дуги значения могут быть положительными или отрицательными.

Для описания дуги (рис. 2.9) необходимо указать положительное значение для I и отрицательное для J.

Для описания дуги (рис. 2.10) необходимо указать положительное значение для I и положительное для J.

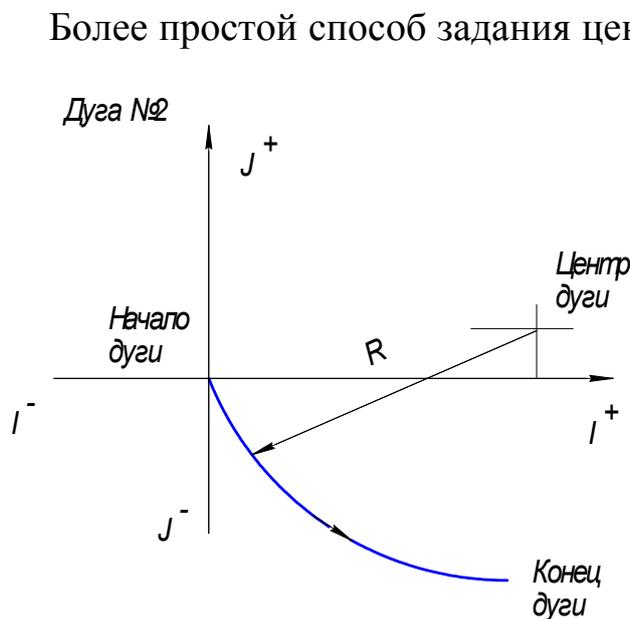


Рис. 2.10. Круговая интерполяция против часовой стрелки

Более простой способ задания центра дуги основан на применении адреса R (радиуса). Если стойка поддерживает такой формат для круговой интерполяции, то СЧПУ самостоятельно производит необходимые расчеты для определения координат центра дуги. Многие СЧПУ при работе с R требуют, чтобы окружность была разбита на несколько сегментов.

Так как дуга меньше 180° (ее центр расположен снаружи хорды) (рис. 2.11), то адрес R будет иметь положительное значение.

значение.

Так как дуга больше 180° (ее центр расположен внутри хорды) (рис. 2.12), то R будет иметь отрицательное значение.

Для однозначного определения формы дуги нужно указывать соответствующий знак перед числовым значением радиуса R. Для дуги, которая больше 180° , значение R будет отрицательным. Для дуги, которая меньше 180° , значение R будет положительным.

Поясним, как работает круговая интерполяция на примере (рис. 2.13). Приведенный ниже фрагмент управляющей программы перемещает инструмент по дуге с радиусом 3 мм из точки A (0;0) в

точку В (3,3) со скоростью рабочей подачи 100 мм/мин в соответствии с нижеследующим запрограммированным кадром:

N10 G02 X3.0 Y3.0 I3.0 J0.0 F100.

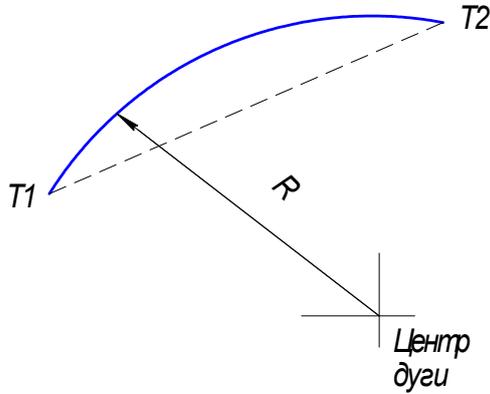


Рис. 2.11. Дуга окружности с центральным углом меньше 180°

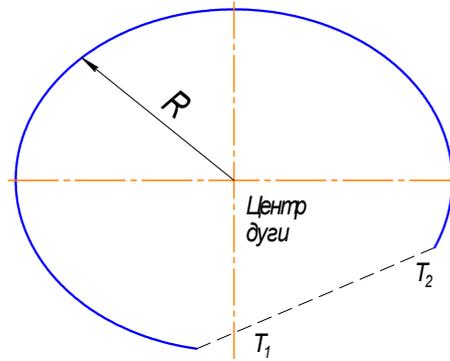


Рис. 2.12. Дуга окружности с центральным углом больше 180°

Так как центр дуги находится на расстоянии 3 мм по оси X и 0 мм по оси Y относительно начальной точки А, то I будет равно 3.0, а J равно 0. Дуга АВ составляет четверть от полной окружности.

Опишем всю окружность постепенно. Для этого в следующем кадре перемещаем инструмент из точки В (В₁) в точку В₂ (рис. 2.14). Так как скорость рабочей подачи не изменяется, то нет необходимости повторно указывать адрес F.

N20 G02 X6.0 Y0.0 I0.0 J-3.0

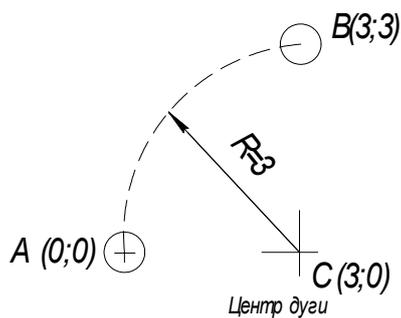


Рис. 2.13. Перемещение режущего инструмента по дуге с радиусом R3 из точки А(0;0) в точку В (3;3)

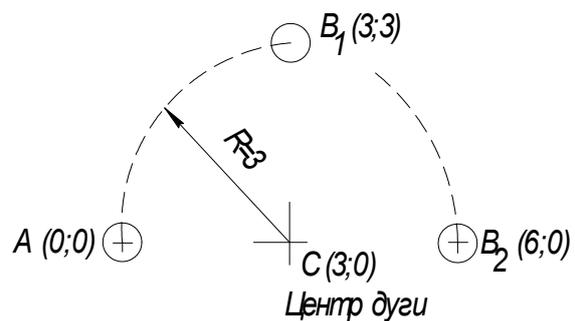


Рис. 2.14. Перемещение режущего инструмента по дуге с радиусом R3 из точки В₁(3;3) в точку В₂(6;0)

Так как центр дуги находится на расстоянии 3 мм по оси X и 0 мм по оси Y относительно начальной точки A, то I будет равно 3.0, а J равно 0. Полученная дуга составляет всего четверть от полной окружности.

Так как центр дуги находится на расстоянии 0 мм по оси X и 3 мм по оси Y относительно точки B, то I будет равно 0, а J равно -3.

Таким образом, нам удалось создать перемещение по дуге из точки A в точку B2 при помощи двух кадров. Этот пример не случаен. Дело в том, что многие станки требуют именно такого разбиения окружности. То есть для описания полной окружности может потребоваться до четырех кадров.

Современные системы ЧПУ допускают описание такой дуги в одном кадре. В настоящее время большинство систем ЧПУ позволяет выполнить описание полной окружности за два или даже за один кадр. Поэтому перемещение режущего инструмента по дуге в 360° можно записать следующим образом:

```
N05 G02 X6.0 Y0.0 I3.0 J0.0
```

Так, для перемещения режущего инструмента по всей окружности с радиусом R3 и центром в точке с координатами (0;0) справедливым будет следующий кадр (рис. 2.15):

```
N15 G02 X-3.0 Y0.0 I0.0 J0.0
```

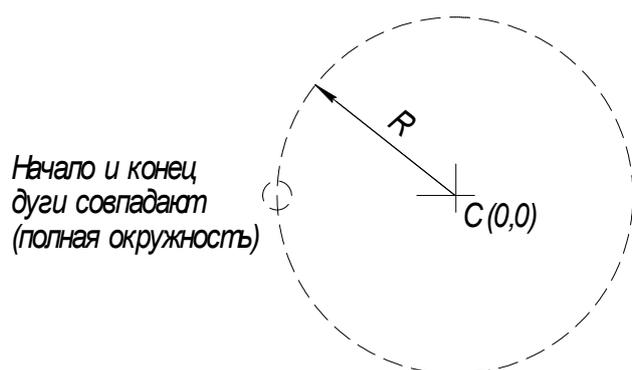


Рис. 2.15. Описание полной окружности в одном кадре

Приведенные на рис. 2.11 – 2.14 дуги несложно описать математически. Однако, если начальная и конечная точки дуги образуют некоторый сложный угол или эти точки находятся в разных квадрантах, то для нахождения значений I, J и K требуются определенные тригонометрические вычисления. При этом необхо-

димом, чтобы расчеты были достаточно точными, иначе СЧПУ может выдать сообщение о невозможности построения дуги.

Вопросы для проверки усвоения материала

1. Укажите положительные направления осей координат фрезерного станка с ЧПУ «НААС».
2. Где находится нуль фрезерного станка с ЧПУ и кто определяет его пространственное расположение?
3. Назовите и охарактеризуйте системы координат, используемые во фрезерных станках с ЧПУ.
4. Что такое нуль детали (нуль программы), кто его выбирает?
5. Что представляет собой сдвиг станочного нуля фрезерного станка с ЧПУ, кто его сдвигает и зачем?
6. Какое действие должен выполнить технолог-программист, чтобы осуществить сдвиг станочного нуля в заданную точку?
7. Изложите рекомендации по выбору начала системы координат детали на фрезерном станке с ЧПУ.
8. Для чего используется система координат инструмента, ее местоположение у фрезерного станка с ЧПУ?
9. Для чего и как устанавливается связь систем координат станка и детали?
10. Относительно какого нуля выполняется программирование обработки детали на фрезерном станке с ЧПУ?
11. Из каких элементов состоит управляющая программа обработки детали?
12. Что такое эквидистанта движения режущего инструмента? Изобразите ее для обработки произвольно заданного контура детали.
13. Где следует выбирать опорные точки эквидистанты?
14. Приведите пример программирования обработки простейшего контура детали.

15. Что представляет собой формат кадра, для чего он нужен и как используется при составлении программы?
16. Какова последовательность составления управляющей программы?
17. Как программируют перемещения фрезы в направлении осей X, Y и Z?
18. Охарактеризуйте подготовительные функции (G коды), назовите основные команды с их использованием.
19. Охарактеризуйте вспомогательные функции (M коды), назовите основные команды с их использованием.
20. Изложите методику программирования линейной интерполяции.
21. Изложите методику программирования круговой интерполяции по часовой стрелке.
22. Изложите методику программирования круговой интерполяции против часовой стрелки.
23. Какие коды называют модальными и немодальными, в чем состоит их отличие?
24. Что такое коррекция фрезы по длине, для чего она применяется при обработке на фрезерных станках с ЧПУ?
25. Изложите методику коррекции фрезы по радиусу.

3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING [5]

3.1. Система координат, базовые точки и сдвиг нуля фрезерного станка, определение данных режущего инструмента

Система координат фрезерного станка фирмы EMCO является стандартной, поэтому координата X измеряется параллельно переднему краю стола станка, координата Y - параллельно боковому краю стола станка, а координата Z измеряется вертикально по отношению к рабочей плоскости стола станка (рис. 3.1). Координатное перемещение режущего инструмента в отрицательном направлении оси Z характерно для движения инструмента к детали, а в положительного направления - от детали. При программировании абсолютных разме-

ров указывают соответствующие расстояния по осям X, Y и Z относительно начала системы координат, а при программировании инкрементальных размеров описываются фактические траектории движения режущего инструмента от точки, в которой в рассматриваемый момент времени находится режущий инструмент к точке, в которую он должен переместиться. Абсолютные координаты относятся к фиксированной точке, координаты с приращением - к текущей позиции режущего инструмента, в этом состоит их принципиальное различие.

Базовыми точками фрезерного станка с ЧПУ являются точки M, W, R и точка N. Базовая точка M не изменяет своего пространственного расположения на станке и устанавливается производителем станка.

Относительно данной точки выполняются все размерные функции станка, и она является началом системы координат станка. Начало системы координат станка лежит в точке M нуля станка или при использовании сдвига нуля станка, в точке W нуля детали (рис. 3.2).

Ноль детали W является исходной позицией для размерных функций программы, свободно устанавливается программистом, а при необходимости может быть перенесена в любую точку в пределах программы обработки.

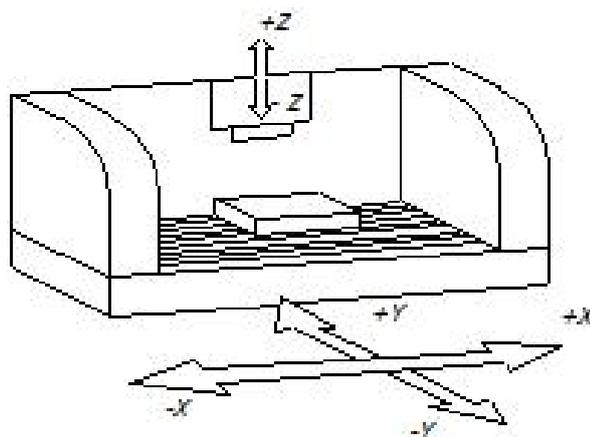


Рис. 3.1. Система координат фрезерного станка с ЧПУ фирмы EMCO

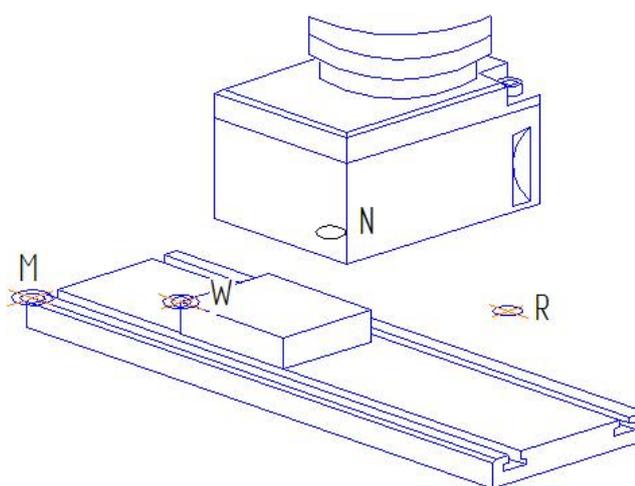


Рис. 3.2. Базовые точки в рабочей зоне фрезерного станка с ЧПУ

Базовая точка R - позиция в рабочей зоне станка, которая точно определяется предельными выключателями. Позиции подвижных органов станка отображаются в системе управления путем подвода к точке R. Она используется после каждого сбоя питания.

Точка N – базовая точка установки инструмента, является исходной точкой для выполнения размерной привязки инструмента. Точка N находится в точке системы резцедержателя и определяется производителем станка.

Базовыми точками фрезерного станка с ЧПУ считаются точки M, W и N – точка режущего инструмента, лежащая на оси Z в плоскости нижнего торца шпинделя фрезерного станка.

Сдвиг нуля. В станках EMCО точка нуля станка M находится на левом переднем крае стола станка (рис. 3.3). Данная позиция не под-

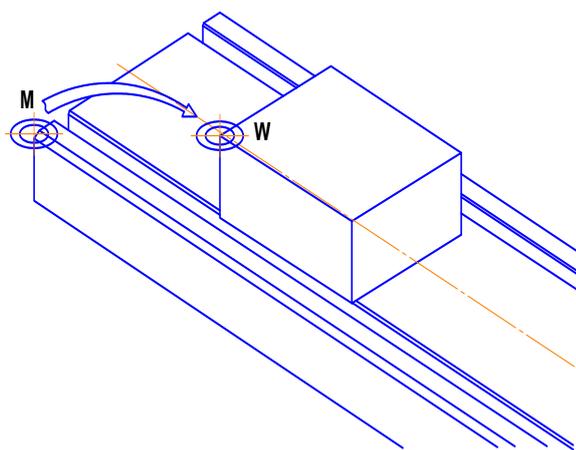


Рис. 3.3. Сдвиг станочного нуля M в нуль детали W

ходит для использования в качестве исходной точки для размерной привязки. При помощи так называемого сдвига нуля система координат может быть перемещена в подходящую точку в рабочей зоне станка. В операционной зоне параметров (Parameter) - Zero Offsets имеется четыре настраиваемых сдвига нуля.

При задании значения в регистре сдвига это значение будет учитываться при вызове программы (G54 - G57), и точка нуля системы координат будет смещена из нуля станка M в нуль детали W.

Нуль детали может быть смещен в пределах программы на любую величину. Процедуру ввода смещения нуля выполняем в последовательности:

- нажимаем клавишу OFFSET;
SETTING;

-нажимаем экранную клавишу w.SHIFT (рабочее смещение). После этого высветится экран дисплея для ввода сдвига, теперь можно ввести

следующие команды сдвига: 00 - базовый сдвиг; 01 - G54; 02 - G55; 03 - G56. Базовый сдвиг активен всегда, для других сдвигов выполняется наложение;

- нажимаем клавишу PAGE, переходим к следующей странице дисплея, на которой можно ввести следующие сдвиги: 04 - G57; 05 - G58; 06 - G59;

- в поля X, Y, Z вводим расстояние от нуля станка до нуля детали (с положительным знаком);

- используя экранные клавиши ▼, ▲ и курсор, переходим к необходимому сдвигу;

- вводим необходимый сдвиг (например по оси абсцисс X+30.5);

- нажатием клавиши INSERT вводим необходимые значения сдвигов поочередно по другим осям координат.

Программное обеспечение FANUC 21 MB позволяет осуществлять сдвиг станочного нуля неоднократно, что упрощает программирование и обеспечивает использование конструкторских базовых поверхностей при разработке управляющей программы. Из точки M выполнен сдвиг станочного нуля в нуль детали (точку W₁), проведена механическая обработка некоторых поверхностей, после чего нуль детали сдвинут в точку W₂ (рис. 3.4), с использованием которого проводится механическая обработка уже других поверхностей без необходимости расчета дополнительных технологических размерных цепей, поскольку точка W₂ совмещена с конструкторской базой. Благодаря возможности переноса нуля программы практически в любую точку рабочей зоны фрезерного станка реально обеспечивается последовательная обработка нескольких одинаковых заготовок, установленных одновременно в станочном приспособлении, что значительно расширяет

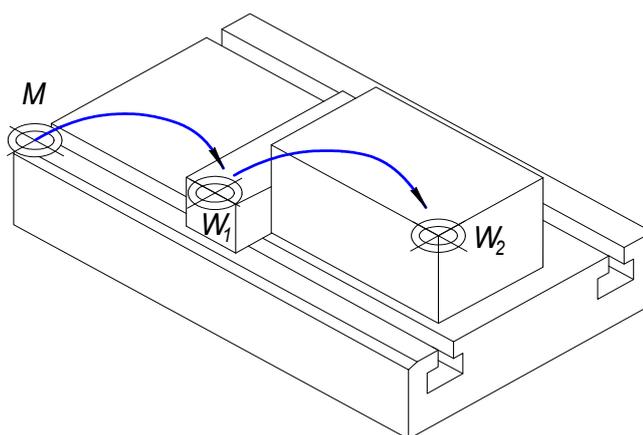


Рис. 3.4. Неоднократный сдвиг станочного нуля

технологические возможности применяемого металлорежущего оборудования. Режущий инструмент необходимо привязать к системе координат, для этого надо измерить каждый инструмент, который используется при механической обработке заготовки.

Необходимость измерений данных режущего инструмента объясняется тем, что СЧПУ станка использует для его позиционирования пространственное расположение вершины зуба фрезы (или другого инструмента) относительно центра вращения, расположенного на нижнем его торце, а не базовую точку N инструмента. Поэтому важно измерить инструмент в двух направлениях: в направлении оси Z измеряем в абсолютных значениях расстояние L1 от вершины зуба фрезы до базовой точки N (установки инструмента) (рис. 3.5), а также ее радиус R. В журнале данных инструмента сохраняются измеренные данные длины инструмента, позиции инструмента и его радиуса. Указание радиуса инструмента необходимо только при использовании коррекции на радиус для конкретного инструмента.

Коррекция на длину инструмента может быть введена в полуавтоматическом режиме, а радиус вершины зуба инструмента следует ввести вручную как N-параметр. В регистре сдвигов сохраняется параметр N для каждого инструмента, например Tool1 – N1. Для кадров управляющей программы обработки детали контуров, лежащих в рабочей (активной) плоскости XY, необходимо использовать команду G17. Измерение расстояния $Z = L1$ (см. рис. 3.5) инструмента выполняется в абсолютных значениях от точки N. Для всех других активных плоскостей размер L1 всегда должен быть перпендикулярным к активной плоскости. Номер коррекции может быть любым номером регистра и определяется вызовом инструмента из управляющей программы.

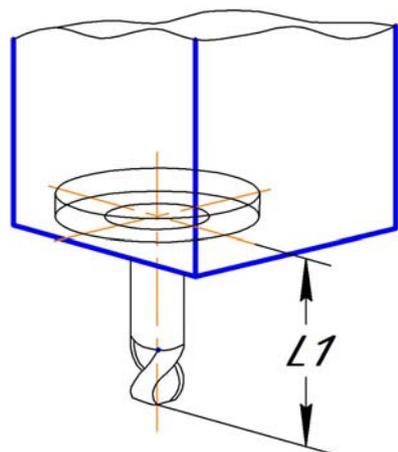


Рис. 3.5. Измерение длины L1 фрезы

Для кадров управляющей программы обработки детали контуров, лежащих в рабочей (активной) плоскости XY, необходимо использовать команду G17. Измерение расстояния $Z = L1$ (см. рис. 3.5) инструмента выполняется в абсолютных значениях от точки N. Для всех других активных плоскостей размер L1 всегда должен быть перпендикулярным к активной плоскости. Номер коррекции может быть любым номером регистра и определяется вызовом инструмента из управляющей программы.

Данные режущего инструмента можно определить также методом царапания. Для этого деталь закрепляют в рабочей зоне станка. Изме-

рения проводят относительно базовой точки установки инструмента для всех инструментов, используемых в процессе обработки детали. Базовая точка установки инструмента для фрезерного станка EMCO PC MILL 100/125/155 определяется по эталонному инструменту, закрепленному в шпинделе.

Далее активируем режим Jog и размещаем тонкий лист бумаги между деталью и талонным инструментом. Перемещаем на ускоренной подаче эталонный инструмент к детали (шпиндель остановлен), затем уменьшаем подачу до однопроцентного значения (1%) и перемещаем шпиндель (точку установки инструмента) к детали, так чтобы оставалась возможность движения бумаги.

Нажимаем клавишу POS и экранную клавишу REL для отображения относительной позиции на экране. Нажимаем клавишу Zw, при этом начинает мигать дисплей координаты Z. Сбрасываем значение Z на ноль при помощи Z0 и клавиши PRESET. Вставляем в шпиндель станка режущий инструмент, подлежащий измерению. Переходим в режим MDI и включаем вращение шпинделя, например, S1000 M3 – NC - Start. Переходим в режим Jog. Нажимаем клавишу OFFSET и выполняем царапание детали. SETTING

Теперь на экране дисплея отображается расстояние между эталонным инструментом и вершиной режущего инструмента, то есть относительное численное значение координаты Z. Выбираем соответствующий параметр H и переносим его при помощи клавиши INPUT в память СЧПУ. Устанавливаем и закрепляем в шпинделе станка очередной режущий инструмент, выполняем царапание детали и вышеописанные приемы со вторым, третьим и т. д. инструментом.

3.2. Базовые адреса и команды, используемые в системе числового программного управления WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING

В данном учебном пособии по программированию представлены основные функции, которые могут быть выполнены с использованием программного управления WinNC. При выполнении процесса программирования необходимо вставлять пробел между каждым отдель-

ным словом, например: G0 X20 Z-35. Используется программирование ЧПУ для станков с ЧПУ в соответствии с DIN66025.

Управляющая программа представляет собой последовательность программных кадров, сохраненных в системе управления. При выполнении обработки детали эти кадры считываются и проверяются компьютером в запрограммированном порядке. Соответствующие управляющие сигналы поступают на приводы станка. УП состоит из номера программы, кадров, слов, адресов и комбинаций чисел (для адресов осей со знаком минус или плюс). Программное обеспечение WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING использует следующие адреса:

- С..фаска;
- F..скорость подачи, шаг резьбы;
- G..функция траектории, подготовительная функция;
- H..номер адреса значения коррекции в регистре сдвигов (OFFSET);
- I..J..K..параметры окружности, масштабный коэффициент, также количество повторов цикла, зеркальные оси;
- M...вспомогательная функция;
- N.....номер кадра от 1 до 9999;
- O.....номер программы от 1 до 9999;
- P....пауза, вызов подпрограммы;
- Q....глубина врезания или величина сдвига в цикле;
- R....радиус, величина отвода в цикле;
- S....скорость вращения шпинделя;
- T....вызов инструмента;
- X,Y, Z....позиционные данные в абсолютных значениях (X также время выдержки).

Адрес и стоящие после него цифры называются словом или командой. Команды с адресом G представлены ниже.

КОМАНДА	ЗНАЧЕНИЕ
G0	Быстрое перемещение
G1	Рабочее перемещение
G2	Круговая интерполяция по часовой

	стрелке	
G3	Круговая интерполяция против часовой стрелки	
CIP	Круговая интерполяция через промежуточную точку	
G4	Время выдержки	
G9	Точный останов не модально	
G17	Выбор рабочей плоскости XY	
G18	Выбор рабочей плоскости XZ	
G19	Выбор рабочей плоскости YZ	
G25	Минимальное программируемое ограничение рабочей зоны, программируемое ограничение скорости вращения шпинделя	/
G26	Максимальное программируемое ограничение рабочей зоны, программируемое ограничение скорости вращения шпинделя	/
G33	Постоянный шаг резьбы	
G331	Нарезание внутренней резьбы	
G332	Нарезание внутренней резьбы/отвод	
G40	Коррекция на радиус инструмента OFF	
G41	Коррекция на радиус инструмента ON влево	
G42	Коррекция на радиус инструмента ON вправо	
G53	Отмена устанавливаемого сдвига нуля	
G54-G57	Устанавливаемый сдвиг нуля	
G500	Отмена сдвига нуля	
G505-G599	Устанавливаемый сдвиг нуля	
G60	Точный останов модально	

G601	Активация шага при точном достижении позиционного окна
G602	Активация шага при приблизительном достижении позиционного окна
G603	Активация шага при достижении установки
G63	Нарезание внутренней резьбы без синхронизации
G64	Режим контурной обработки
G641	Режим контурной обработки программируемым соединительным закруглением
G70	Система ввода: дюймовая
G71	Система ввода: метрическая
G90	Абсолютные размеры
G91	Размеры с приращениями
G94	Подача в мм/мин, дюйм/мин
G95	Скорость подачи при вращении в мм/мин, дюйм/мин
G96	Постоянная скорость резания ON
G97	Постоянная скорость резания OFF
G110	Параметр полюса относительно последней позиции подвода
G111	Параметр полюса абсолютно в системе координат детали
G112	Параметр полюса относительно последнего достоверного полюса
G140	Подвод/отвод на малой скорости
G141	Подвод слева и/или отвод слева
G142	Подвод справа и/или отвод справа
G143	Направление подвода и/или отвода в соответствии с относительной позицией от началь-

	ной/конечной точки до тангенциального направления
G147	Подвод по прямой линии
G148	Отвод по прямой линии
G247	Подвод по четверти круга
G248	Отвод по четверти круга
G340	Подвод и отвод в пространстве (значение начальной позиции)
G341	Подвод и отвод в плоскости
G347	Подвод по полукругу
G348	Отвод по полукругу
G450	Подвод и отвод от контура
G451	Подвод и отвод от контура

Вспомогательные команды пишут с адресом M, они представлены ниже.

КОМАНДА	ЗНАЧЕНИЕ
M0	Программируемый останов
M1	Останов по дополнительному заданию
M2	Конец программы
M3	Включение шпинделя по часовой стрелке
M4	Включение шпинделя против часовой стрелки
M5	Останов шпинделя
M6	Смена инструмента
M8	Включение подачи СОЖ
M9	Выключение подачи СОЖ
M10	Блокировка делительной головки
M11	Разблокировка делительной головки
M17	Конец подпрограммы
M25	Включение зажимного приспособления
M26	Выключение зажимного приспособления
M30	Конец программы
M70	Позиционирование шпинделя

M71	Продув ВКЛ
M72	Продув ВЫКЛ

В программном обеспечении используются циклы обработки, которые упрощают разработку управляющих программ и уменьшают трудоемкость технологических операций механической обработки деталей.

3.3. Циклы механической обработки деталей и системные переменные в программном обеспечении WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING

В рассматриваемом программном обеспечении используются автоматические циклы механической обработки поверхностей: торцового и контурного фрезерования, сверления обычных и глубоких отверстий, нарезание резьб с использованием компенсирующего и жесткого патронов, различных видов растачивания отверстий и др. Эти циклы используют в качестве подпрограмм или макросов путем вызова их из памяти системы числового программного управления и вставки в основной программный файл. Применяемые автоматические циклы и их значение представлены ниже.

ЦИКЛ	ЗНАЧЕНИЕ
CYCLE71	Торцовое фрезерование
CYCLE72	Контурное фрезерование
CYCLE81	Сверление, центрирование
CYCLE82	Сверление цилиндрическое, зенкование
CYCLE83	Сверление глубоких отверстий
CYCLE84	Жесткое нарезание внутренней резьбы
CYCLE840	Нарезание внутренней резьбы с компенсирующим патроном для метчика
CYCLE85	Растачивание 1
CYCLE86	Растачивание 2
CYCLE87	Растачивание 3

CYCLE88	Растачивание 4
CYCLE89	Растачивание 5
CYCLE90	
HOLES1	
HOLES2	
LONGHOLE	
POCKET1	
POCKET2	
POCKET3	
POCKET4	
SLOT1	
SLOT2	

Для ввода быстровыполнимых команд используют клавиши, смысловое содержание которых представлено ниже.

КОМАНДА	СМЫСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ
AC	Ввод позиции оси шпинделя в абсолютных координатах
ACN	Подвод к оси вращения в отрицательном направлении
ACP	Подвод к оси вращения в положительном направлении
AND	Логическое соединение AND
AP	Полярный угол
AR	Угол сегмента круга
AXIS	Тип переменной
AX	Оператор оси
AXNAME	Строковая операция
AMIRROR	Зеркальная система координат
AROT	Вращение системы координат

ASCALE	Изменение масштаба
ATRANS	Программируемый сдвиг нуля
B AND	Битовые операторы
BOOL	Тип переменной
CASE	Словарное слово для указания перехода
CIP	Круговая интерполяция с промежуточной точкой (круг по точкам)
CHAR	Тип переменной
CHF	Вставка фаски (фаска)
CR	Радиус круга
CFC	Постоянная скорость на контуре
CFW	Постоянная скорость на контуре для внутренних закруглений, постоянная скорость центра инструмента для внешних закруглений (постоянная скорость на внутренних закруглениях)
CFTCP	Постоянная скорость центра вершины резца
CONTPRON	Активация подготовки контура в форме таблицы
CHR	Вставка фаски
D	Номер сдвига инструмента
DC	Подвод к оси вращения по кратчайшей траектории (прямо к контуру)
DIAMOF	Радиус как размер
DIAMON	Диаметр как размер
DEF	Определение переменной
DISPLOF	Подавление дисплея текущего кадра
DISPLON	Дисплей в окне программы ВКЛ

DIV	Деление целых чисел
DEFAULT	Контрольные структуры
DEFINE AS	Программирование макросов
DISC	Компенсация на внешних углах
DISCL	Расстояние до конечной точки на текущем уровне обработки при подводе и отводе с малой скоростью
DISR	Расстояние режущей кромки фрезы от начальной точки во время подвода и отвода
ELSE	Контрольные структуры
ENDFOR	Контрольные структуры
ENDLOOP	Контрольные структуры
ENDWHILE	Контрольные структуры
EXECTAB	Покадровое выполнение элемента контура
EXECUTE	Определение конца
F	Подача
FOR	Контрольные структуры
FRAME	Тип переменной
FAD	Скорости движения с медленной подачей при подводе и отводе с малой скоростью
GOTOB	Указание перехода с назначением перехода назад
GOTOF	Указание перехода с назначением перехода вперед
II	Адрес для промежуточной точки круга
IC	Ввод позиции оси шпинделя с приращением (координаты с приращением)
IF	Словарное слово состояния
INT	Целые значения с предварительным знаком
INTERSEC	Предварительное вычисление контура в форме таблицы
ISAXIS	Определенная ось из доступных (запрос через номер

	оси)
J1	Адрес для промежуточной точки круга
KONT	Коррекция на радиус инструмента, возле контура в начальной и конечной точках
K1	Адрес для промежуточной точки круга
LIMS	Адрес для промежуточной точки круга
LOOP	Контрольные структуры
MCALL	Модальный цикл вызова подпрограммы (данный вызов остается активным, пока не отменен MCALL без параметра) (модальный вызов)
MSG	Вывод сообщения при неисправности
MIRROR	Зеркальное отражение
N	Адрес номер кадра
NOT	Отрицание
NORM	Коррекция на радиус инструмента, прямой подвод к контуру (нормальный подвод)
OFFN	Сдвиг в нормальном направлении к контуру
OR	Логическое соединение OR
P	Повтор программы
PM	Указание подачи FAD для подвода и отвода как линейная подача FAD = PM(...)
PR	Указание подачи FAD для подвода и отвода как подача на оборот
PROC	Запуск подпрограммы
R	R-параметр R[01-R[99]
ROT	Вращение системы координат (вращение)
REAL	Действительное число
RET	Повтор подпрограммы
RNO	Вставка закругления в углу контура (круг)
RNDM	Вставка закругления в углу контура, модально
RP	Полярный радиус

RFL	Вращение плоскости
REP	Инициализация поля
S	Адрес шпинделя
SAVE	Сохранение реестра при вызове подпрограммы
SETAL	Программирование диагностических сигналов выполняется вставкой этого слова
SET	Инициализация списка значений
SETMS	Определение основного шпинделя
SF	Сдвиг начальной точки, требуется только для многозаходных резьб
SPCOF	Работа шпинделя с позиционным управлением ВЫКЛ
SPCON	Работа шпинделя с позиционным управлением ВКЛ
STRING	Тип переменной
SCALE	Изменение масштабного коэффициента (масштаб)
STRLEN	Строковая операция
SPOS	Позиция шпинделя
SPOSA	Позиция шпинделя
SUBSTR	Определение части строки
SUPA	Покадровое подавление всех сдвигов нуля
SLOF	Индивидуальное подавление ВКЛ
SBLON	Индивидуальное подавление ВЫКЛ
TRANS	Программируемый сдвиг нуля
T	Адрес инструмента
TURN	Количество оборотов спирали
TRAFOOF	Отмена активной трансформации (трансформация ВЫКЛ)
TRACYL	Трансформация XZ- плоскости
TRANSMI	Трансформация XY-плоскости
T	
UNTIL	Контрольные структуры
VAR	Определение переменной
WAITP	Ожидание окончания перемещения оси
WAITS	Ожидание позиции шпинделя

WHILE	Контрольные структуры
WALIMOF	Ограничение рабочей зоны ВЫКЛ
WALIMON	Ограничение рабочей зоны ВКЛ
XOR	Исключение OR

Программное обеспечение WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING использует нижеследующие системные переменные.

Системная переменная	Описание
\$P_AXN1	Текущий адрес геометрической оси - абсцисса
\$P_AXN2	Текущий адрес геометрической оси - ордината
\$P_AXN3	Текущий адрес геометрической оси - аппликата
\$P_IFRAME	Устанавливаемая система отсчета
\$P_PFRAME	Программируемая система отсчета
\$P_BFRAME	Переменная базовой системы отсчета
\$P_ACTFRAME	Общая переменная
\$P_UIFRO[]	Изменяемые системы отсчета (G54)
\$P_F	Подача по траектории F, последняя запрограммированная
\$P_DRYRUN	0 (FALSE): Холостой ход ВКЛ 1 (TRUE): Холостой ход ВЫКЛ
\$P_SEARCH	1 (TRUE): Поиск кадра (с или без вычислений) активирован
\$P_TOOLR	Активная коррекция на радиус инструмента
\$P_TOOLNO	T0 - T32000
\$AC_MSNUM	Номер главного шпинделя
\$MN_SCALING_SYSTEMJ S_METRIC	Базовая система отсчета, метрическая (1: метрическая, 2: дюймовая)

\$MN_SCALINO_VALUE_I NCM	Фактор преобразования из метрических единиц в дюймы (25,4)
\$MN_INT_INCR_PER_MM	Точность вычислений линейных позиций
\$MN MIRROR REFAX	Основная ось для элементов кадра
\$P_SIM	1 (TRUE): Имитация в процессе
\$P_SDIR	Последнее направление вращения шпинделя для программирования
\$P_GG	Текущая функция G группы G. Как для интерфейса PLC
\$P_EP	Последняя запрограммированная заданная позиция
\$MA_SPIND_ASSIGN_TO_ MACHAX	Расположение шпинделя относительно оси станка
\$MA_NUM_ENCS	Количество датчиков
\$AA_S	Фактическая скорость шпинделя: знак соответствует направлению вращения
\$MC_DIAMETER_AX_DEF	—
\$P_AD[]	Номер плоскости
\$P_TOOL	D0-D9
\$P_MC	0 (FALSE): Нет модального вызова подпрограммы 1 (TRUE): Модальный вызов подпрограммы
\$P_TOOLL	Общая длина инструмента
\$A_IN[]	Цифровой ввод NC (1-16)
\$A OUT[]	Цифровой вывод NC
\$A INA[]	Аналоговый ввод NC (1-4)

3.4. Программирование рабочих движений исполнительных органов, линейной, круговой и цилиндрической интерполяции

Перед выполнением процедуры программирования следует установить начало координат детали при помощи команды G11. Рабочие движения исполнительных органов фрезерного станка с ЧПУ могут выполняться по прямой линии, по окружности или иной криволинейной траектории, а также на максимально допустимой станком скорости (скорости холостого хода) или скорости рабочего хода, которая значительно меньше допустимой скорости. Быстрые перемещения исполнительных органов используют для их позиционирования, например для быстрого подвода и отвода режущего инструмента от заготовки, что позволяет сократить время цикла обработки заготовки вследствие уменьшения вспомогательного времени на выполнение технологической операции. Для перемещения исполнительного органа по прямолинейной траектории используют команды **G0, G1** (линейная интерполяция в прямоугольной системе координат).

Команда G0 означает перемещение исполнительного органа по прямолинейной траектории с быстрой подачей, например для позиционирования. Команда G1 - перемещение с запрограммированной рабочей скоростью подачи F, например, при обработке детали. Программирование указанных перемещений выполняется в нижеследующих форматах кадров:

G0 X.. Z..

G1 X..Z.. F..,

где X, Z – соответственно абсцисса и аппликата точки, в которую следует переместить режущий инструмент в результате выполнения кадра; F – адрес рабочей подачи режущего инструмента.

При использовании полярной системы координат форматы кадров имеют вид:

G0 AP.. RP..

G1 AP.. RP..,

где AP, RP – соответственно угол и радиус точки, в которую следует переместить режущий инструмент в результате выполнения кадра.

Рассмотрим программирование фаски и закругления с использованием линейной интерполяции. В процессе механической обработки деталей часто требуется снять фаски или закругления. **Фаска** выполняется между отрезками прямых линий и дугой. Программирование фаски и закругления выполняют в следующих форматах:

G.. X.. Y.. Z.. CHR=.. Фаска

G.. X.. Y.. Z.. CHF=.. Фаска

G.. X.. Y.. Z.. RND=.. Закругление,

CHR – ширина фаски; CHF – длина фаски; RND – радиус дуги закругления.

У фрезерных станков с ЧПУ фаска всегда выполняется в рабочей плоскости XY (G17) симметрично по углу контура (рис. 3.6,а).

Пример:

N30 G1 X.. Z.. CHF=5

N35 G1 X.. Z..

Закругление (рис. 3.6,б) всегда выполняется в рабочей плоскости (G17). Изгиб осуществляется по круговой дуге, плавно переходящей в отрезки прямых с обеих её сторон. Значение RND – это радиус дуги.

Пример:

N30 G1 X.. Z.. RND=5

N35 G1 X..Z..

Если у детали необходимо выполнить закругление на каждом углу, например на каждом из четырех углов призматической детали, то для программирования последовательного выполнения технологических переходов закругления следует использовать команду **RNDM**, которая называется **модальной функцией закругления**. При этом на каждом последующем углу контура будет вставляться закругление до отмены модальной функции закругления при помощи команды RNDM=0.

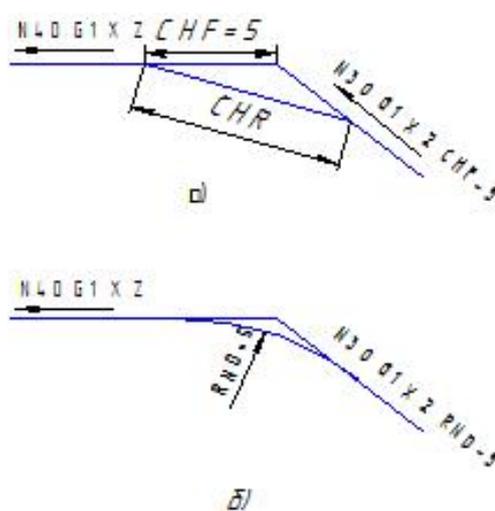


Рис. 3.6. Программируемые параметры фаски (а) и закругления (б)

Командами G2, G3 и CIP программируют круговую интерполяцию:

G2 - по часовой стрелке, G3 - против часовой стрелки, CIP – через промежуточную точку (окружность через точки). Движение оси фрезы по окружности в направлении часовой и против часовой стрелки в рабочих (активных) плоскостях представлено на рис. 3.7,а. Начальная S и конечная E точки должны лежать в одной плоскости (уровне) (рис. 3.7,б), следовательно программирование выполняется с использованием двух осей прямоугольной системы координат.

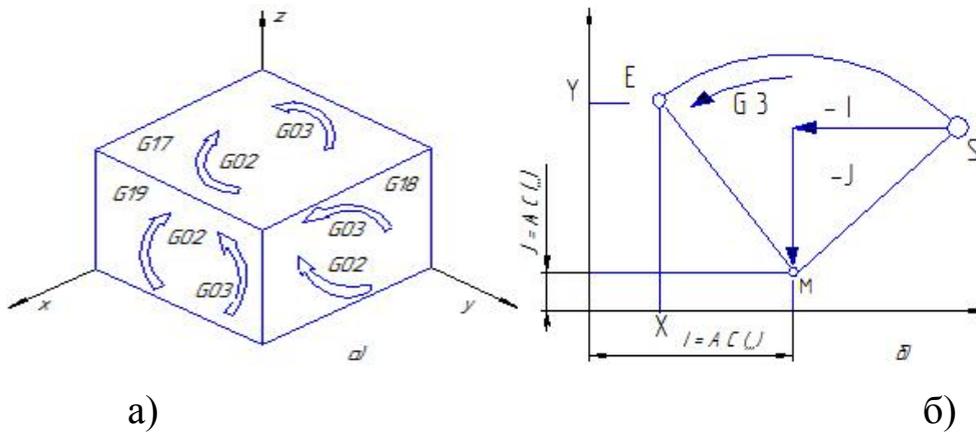


Рис. 3.7. Движение инструмента по и против часовой стрелки (а) и задание дуги окружности начальной, конечной и центральной точками (б)

Если программируется движение по третьей оси (например для плоскости G17 по оси Z), получается винтовая линия. В этом случае при программировании дуги окружности начальная S и конечная E точки лежат в разных плоскостях и они имеют различные значения координаты по оси Z (G17). При необходимости выполнения более одного кругового прохода количество полных окружностей программируют командой TURN=n, где n - число полных окружностей.

Программирование обработки дуги окружности с использованием координат начальной, конечной и центральной точкой осуществляется в следующем формате кадров:

G2/G3 X.. Y.. Z.. I.. J.. K,

где X, Y, Z - координаты конечной точки E в декартовой системе (см. рис. 3.7,б);

I, J, K – координаты центра М круга, задаваемые относительно начальной точки S.

Начальная точка S - это позиция режущего инструмента во время вызова круговой интерполяции G2/G3. Конечная точка E программируется при помощи координат X, Y, Z. Центральная точка М круга программируется дискретно с использованием адресов I, J, K относительно начальной точки E или с использованием команд I=AC(..), J=AC(..), K=AC(..) абсолютно от начальной точки S детали.

Обработку контура, очерченного по окружности, можно программировать с указанием начальной, конечной точек и радиуса круга в формате:

G2/G3 X..Y..Z..CR=±..,

где X, Y, Z - координаты конечной точки E в прямоугольной системе; CR=± радиус круга (рис. 3.8).

Начальная точка S - это позиция инструмента в момент вызова G2/G3.

Конечная точка программируется координатами X, Y. Радиус круга указывается при помощи адреса CR. Знак указывает на то, что дуга окружности меньше или больше 180°. CR=+ угол меньше или равный 180°. CR=- угол больше 180°.

Полные круги не могут быть запрограммированы при помощи CR.

Программирование дуги окружности начальной, центральной или конечной точками круга, а также углом проводится в формате:

G2/G3 X.. Y..Z..AR=.. или

G2/G3 I.. J.. K.. AR=..,

где X, Y, Z - координаты конечной точки E; I, J, K – координаты центральной точки М круга, заданные относительно начальной точки S;

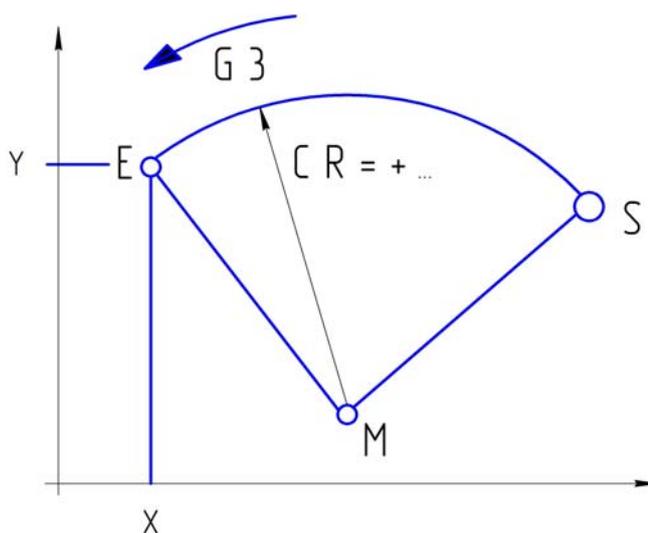


Рис. 3.8. Программирование начальной, конечной точек и радиуса круга

AR= центральный угол, соответствующий дуге окружности, подлежащей обработке.

Начальная точка - это позиция инструмента в момент вызова команды G2/G. Конечная точка программируется координатами X, Y, Z.

Центральная точка круга программируется с использованием адресов I, J, K относительно начальной точки или с $I=AC(..)$, $J=AC(..)$, $K=AC(..)$ абсолютно от нулевой точки детали.

Угол раскрытия, представляющий собой центральный угол, соответствующий дуге окружности, должен быть менее 360° . Полные круги не могут быть запрограммированы при помощи адреса AR.

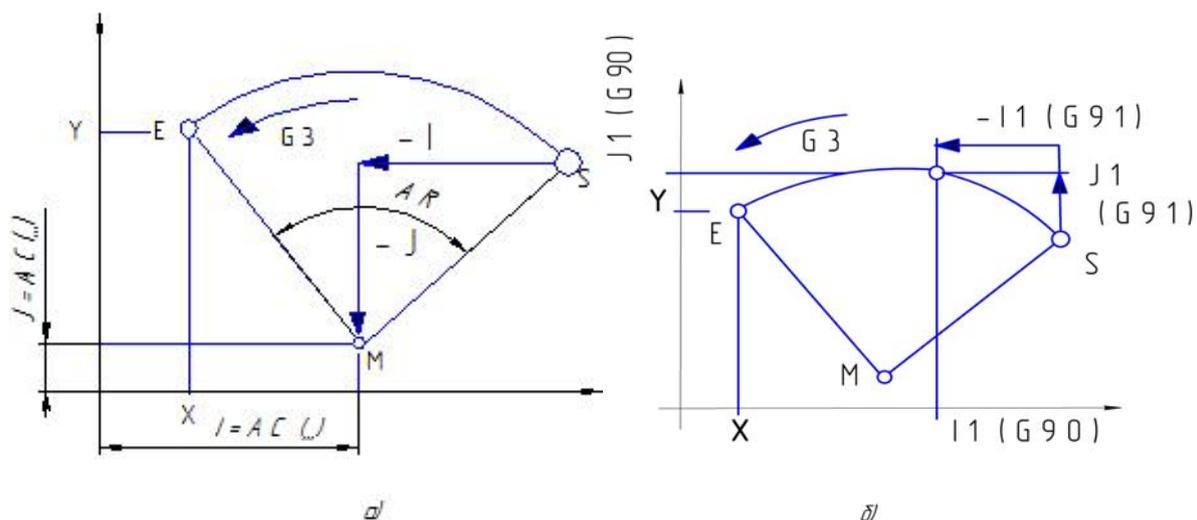


Рис. 3.9. Программирование дуги начальной, центральной или конечной точками круга, а также углом (а) и программирование начальной, промежуточной и конечной точками (б)

Программирование с начальной, промежуточной и конечной точками осуществляется в следующем формате кадра (рис. 3.9):

G1P X..Y.. Z.. I1=.. J1=.. K1=..,

где X, Y, Z - координаты конечной точки E в прямоугольной системе;
I1, J1, K1 – координаты промежуточной точки.

Начальная точка - это позиция инструмента в момент вызова G2/G3.

Конечная точка программируется с использованием адресов X, Y, Z.

Промежуточная точка программируется при помощи команд I1, J1, K1.

При действии команды G91 (программирование инкрементальных размеров) промежуточная точка измеряется относительно начальной точки.

Программирование дуги окружности в полярных координатах осуществляется в следующем формате кадра:

G2/G3 AP=.. RP=..,

где AP – полярный угол конечной точки E; RP - полярный радиус, в то же время является радиусом дуги окружности. Начало полярной системы координат (полнос) совпадает с центральной точкой круга.

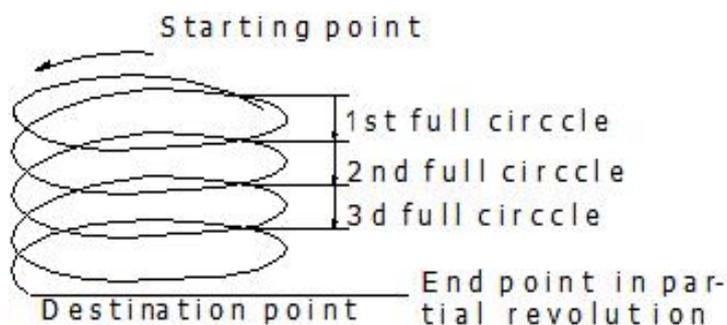


Рис. 3.10. Схема винтовой интерполяции

Предварительная установка начала полярной системы координат в точку M круга (в центр круга) осуществляется при помощи команды G111.

Программное обеспечение WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING позволяет осуществить не только круговую, но и винтовую интерполяцию.

Винтовая интерполяция программируется в формате кадра:

G2/G3 X...Y... Z... I... J... K... TURN=

G2/G3 X...Y...Z... CR=...TURN=

G2/G3 AR=... I... J... K... TURN=

G2/G3 AR=...X...Y...Z...TURN=

G2/G3 AP... RP... TURN= (рис. 3.10),

где X,Y, Z - координаты конечной точки в прямоугольной системе; I, J, K - координаты центральной точки; CR - радиус дуги окружности;

AR - угол дуги; AP - полярный угол; RP - полярный радиус;

TURN= количество дополнительных круговых проходов с диапазоном 0 – 999.

3.5. Программирование времени выдержки, точного

позиционирования и контурной обработки с закруглением

Время выдержки программируется командой G4 в формате кадра:

N... G04 F... [с]

N... G04S... [U],

где F – время выдержки, с; S – время выдержки в количестве оборотов основного шпинделя.

Режущий инструмент будет остановлен в последней достигнутой позиции (дно канавки, точное позиционирование). Время выдержки начинается с того момента, когда скорость подачи предшествующего кадра становится равной нулю. Адреса S и F используются как временные значения только в кадре, содержащем команду G4. Предшествующая запрограммированная скорость подачи F или скорость шпинделя S остаются включенными.

Пример. N75 G04 F2.5 (время выдержки составляет 2,5 с).

Точное позиционирование программируют командами G9, G60, G601, G602, G603:

G9 - точное позиционирование, покадровая эффективность;

G60 - точное позиционирование, модально;

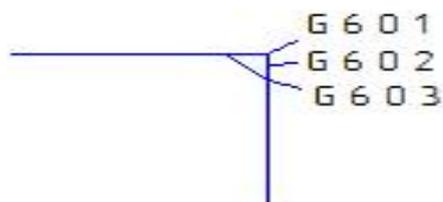
G601 - активация шага при точной установке позиционного окна;

G602 - активация шага при приблизительной установке позиционного окна;

G603 - активация шага в конце интерполяции.

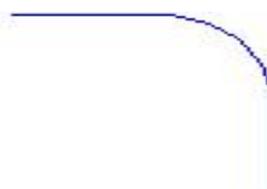
Команды G601/G602/G603 эффективны только при активной команде G60 или G9. Команды G64, G641 означают режим контурной обработки и отменяют команду G60.

G9/G60: Активация G601, G602 или G603 (рис. 3.11).



Активно-точное
позиционирование (G69.G60)

а)



Нективно-точное
позиционирование (G64.G641)

б)

Рис. 3.11. Активация шага при точной приблизительной установке позиционного окна (а) и в конце интерполяции (б)

Команда G9 эффективна только в кадре, в котором она запрограммирована, G60 эффективна до ее отмены командой G64 или G641.

G601, G602: Выполнение следующего кадра начинается только тогда, когда в G9/ G60 суппорты остановлены (краткая задержка останова в конце кадра). При этом углы обрабатываемого контура не будут закруглены, а переходы становятся острыми. Позиция назначения может находиться в точном (G601) или приблизительном (G602) окне допуска.

G603: Смена кадра выполняется в момент, когда система управления вычисляет номинальную скорость подачи 0 для задействованных осей (нет останова). Край закругляется. При G603 выполняется наибольшее закругление кромки.

Режим контурной обработки с закруглением программируют командами G64, G641 (рис. 3.12). G64 - режим контурной обработки с программируемым закруглением.

Контур обрабатывается с максимально постоянной скоростью подачи на траектории движения режущего инструмента. Это приводит к сокращению машинного времени на обработку контура и закругленных переходов.

В тангенциальных переходах инструмент перемещается с максимально постоянной скоростью подачи по траектории движения, а на углах обрабатываемой заготовки скорость подачи соответственно снижается. Чем больше скорость подачи F, тем больше радиус закругления кромок (погрешность контура).

Команда G641 позволяет установить расстояние закругления.

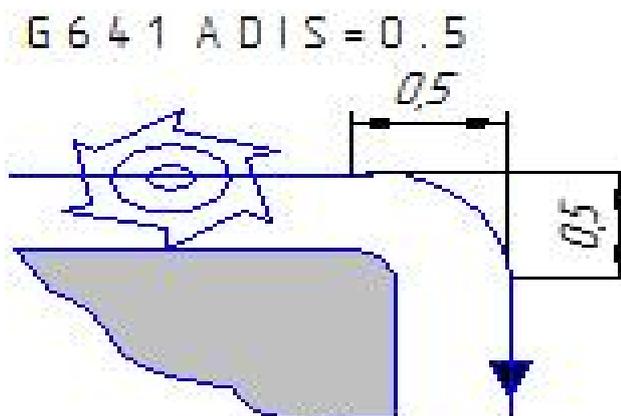


Рис. 3.12. Схема обработки с контурным закруглением

3.6. Выбор рабочей плоскости, программирование ограничения рабочей зоны, скорости вращения шпинделя и нарезания резьбы

Выбор рабочей плоскости (плоскости отработки программы) осуществляются командами G17, G18, G19 в формате кадра:

N... G17/G18/G19;

G17 - плоскость XY;

G18 - плоскость ZX;

G19 - плоскость YZ (рис. 3.13).

Ось вращения режущего инструмента вертикальна к рабочей плоскости. Круговая интерполяция G2/G3/CIP происходит в рабочей плоскости.

Интерполяция в полярных координатах осуществляется в рабочей плоскости. Коррекция на радиус инструмента, программируемая ко-

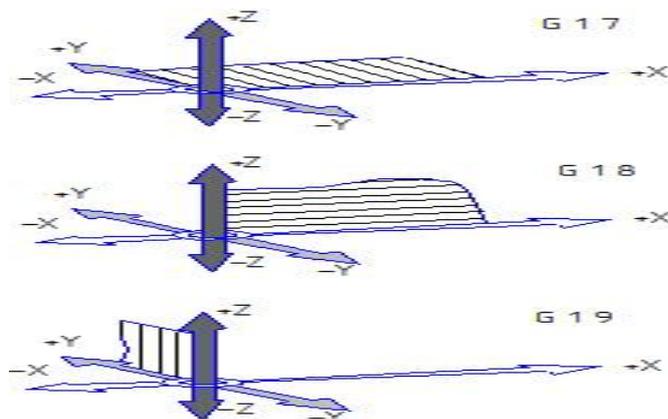


Рис. 3.13. Выбор рабочей плоскости отработки программы

мандами G41/G42, происходит также в рабочей плоскости. Движения врезной подачи, например для циклов сверления, вертикальны к рабочей плоскости.

Для вертикально-фрезерных станков с ЧПУ рабочей плоскостью является плоскость XY (G17).

Программируемое ограничение рабочей зоны осуществляют командами G25, G26 в нижеследующем формате кадра:

N...G25/G26 X...Y...Z...,

где команды G25/G26 ограничивают зону обработки, в которой может выполняться перемещение режущего инструмента.

При установке рабочей зоны может быть определена зона безопасности для движений режущего инструмента. Команды G25 и G26 должны программироваться в отдельном кадре управляющей программы.

Программируемое ограничение рабочей зоны определяется в программе при помощи G25 и G26, а включается/выключается функциями WALIMON и WALIMOF.

G25 -	нижняя граница рабочей зоны;
G26 -	верхняя граница рабочей зоны;
WALIMON -	ограничение рабочей зоны ВКЛ;
WALIMOF -	ограничение рабочей зоны ВЫКЛ.

Скорость вращения шпинделя программируют с использованием команд G25, G26 в формате кадра:

N... G25/G26 S...

Максимальная и минимальная скорость вращения шпинделя определяется при помощи G25/G26. Команды G25 и G26 должны программироваться в отдельном кадре управляющей программы.

Программируемое ограничение скорости вращения шпинделя при помощи G25/G26 заменяет ее значения в установочных данных и сохраняется после окончания программы.

G25 -	нижняя граница скорости вращения шпинделя;
G26 -	верхняя граница скорости вращения шпинделя;
S -	минимальная/максимальная скорость вращения шпинделя.

Нарезание резьбы программируют командой G33 в нижеследующем формате кадра:

N...G33 X... Z... K...

K - шаг резьбы, мм;

Z - глубина резьбы, мм.

Резьба обрабатывается с использованием соответствующего режущего инструмента. Шаг K следует указывать в соответствии с основным направлением резьбы. Возможно нарезание цепочки резьб.

Примечания:

- ручная коррекция подачи режущего инструмента неактивна при активной команде G33 (100%);

- нарезание резьбы с меньшим углом наклона (более сглаженное нарезание) должно выполняться первым.

Пример программирования обработки цепочки резьб:

N010 SETTHREAD COUNT (3)

N011 G33 X...Z... I/K...SF...

N012 G33 X...Z... I/K...SF...

N013 G33 X...Z... I/K...SF...

Внутреннюю резьбу без компенсирующего патрона (рис. 3.14)

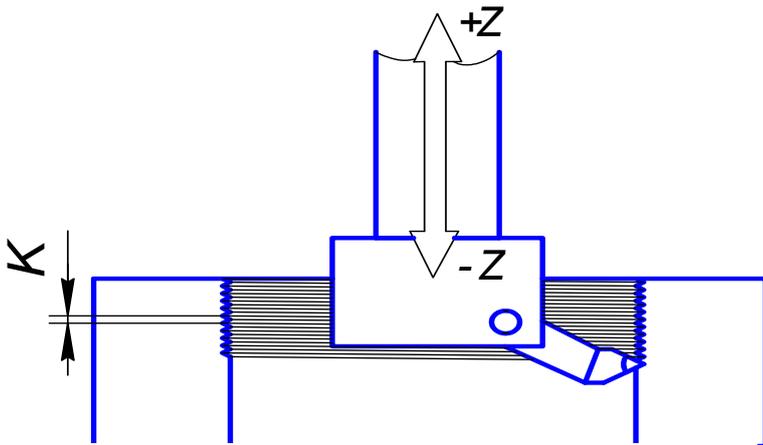


Рис. 3.14. Схема нарезания резьбы резцом на фрезерном станке с ЧПУ

нарезают с использованием команды G331/G332 в формате кадра:

N...G331 X...Z... K...

N...G332 X...Z... K...

X, Z - глубина сверления (конечная точка)

K - шаг резьбы

Нарезание внутренней резьбы метчиком программируется командой G331 и описывается глубиной сверления (конечная точка резьбы) и шагом резьбы. Движение отвода метчика программируется командой G332 (рис. 3.15), описывается тем же шагом, что и движение G331. Изменение направления вращения шпинделя с прямого на обратное выполняется автоматически.

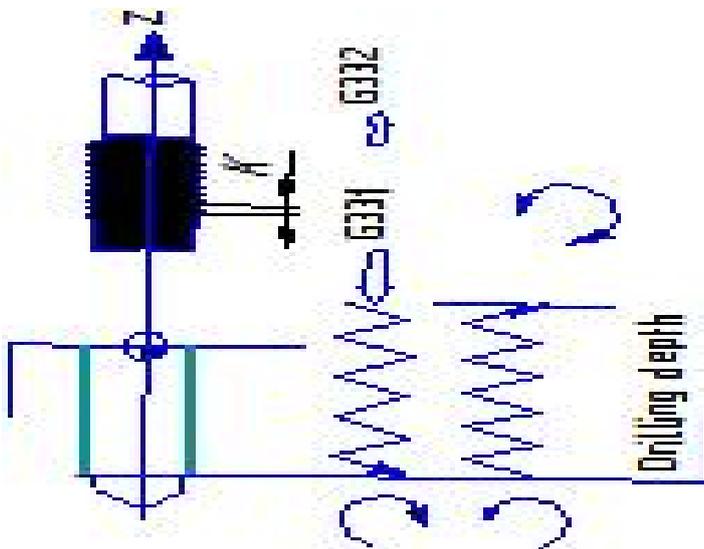


Рис. 3.15. Схема нарезания резьбы метчиком на фрезерном станке с ЧПУ

Примечание: для подготовки шпинделя к нарезанию внутренней резьбы следует использовать SPOS –позиционирование шпинделя станка.

Нарезание внутренней резьбы с компенсирующим патроном программируется командой G63 в формате:

G63 X..Y..Z..F..S..

Нарезание внутренней резьбы происходит без синхронизации движений. Программируемые скорость шпинделя S, скорость подачи F и шаг резьбы P (метчика) должны соответствовать уравнениям:

$$F [\text{мм/мин}] = S [\text{U/мин}] \cdot P [\text{мм/U}], \quad F [\text{мм/U}] = P [\text{мм/ U}].$$

Движение врезания метчика программируется при помощи команды G63, которая эффективна покадрово. При активации команды G63 ручная коррекция подачи режущего инструмента и частоты вращения шпинделя блокируется на 100%. Движение вывода режущего инструмента из резьбового отверстия осуществляется при противоположном направлении вращения шпинделя, и оно программируется при помощи команды G63.

Пример. Необходимо нарезать метрическую резьбу M5 метчиком с шагом $P = 0,8$ мм на фрезерном станке с ЧПУ. Частота вращения шпинделя $S = 200 \text{ мин}^{-1}$, потому минутная рабочая подача метчика при нарезании резьбы $F = 160$ мм/мин. Вначале необходимо переместить метчик из исходной точки эквидистанты к начальной точке, для этого создаем в управляющей программе следующий кадр:

N10 G1 X0 Y0 S200 F1000 M3 (подвод к начальной точке с координатами $X=0$, $Y=0$ при вращении шпинделя по часовой стрелке M3 со скоростью холостого хода метчика 1000 мм/мин).

Далее необходимо создать кадр, обеспечивающий нарезание резьбы N20 G63 Z-50 F160 (нарезание внутренней резьбы глубиной 50 мм на рабочей подаче метчика 160 мм/мин). Теперь выводим метчик из резьбового отверстия при помощи нижеследующего кадра:

N30 G63 Z3 M4 (отвод метчика путем включения направления вращения шпинделя против часовой стрелки M4).

3.7. Программирование коррекции инструмента и характеристик его подачи

G40 - коррекция на радиус инструмента ВЫКЛ

G41 - коррекция на радиус инструмента ВЛЕВО

G42 - коррекция на радиус инструмента ВПРАВО

При задании в управляющей программе команды G41/G42 инструмент проходит траекторию эквидистантно запрограммированному контуру. Расстояние от траектории движения оси фрезы до обрабатываемого контура равно радиусу фрезы. Для определения коррекции фрезы справа или слева необходимо посмотреть на процесс обработки контура заготовки в направлении рабочей подачи режущего инструмента. Если при этом фреза располагается слева от обрабатываемого контура заготовки, то и коррекция на радиус фрезы должна проводиться влево. В этом случае коррекция на радиус фрезы программируется командой G41. Если фреза располагается справа от обрабатываемого контура заготовки, то коррекция на радиус фрезы должна проводиться вправо. Коррекция инструмента вправо осуществляется командой G42 (рис. 3.16).

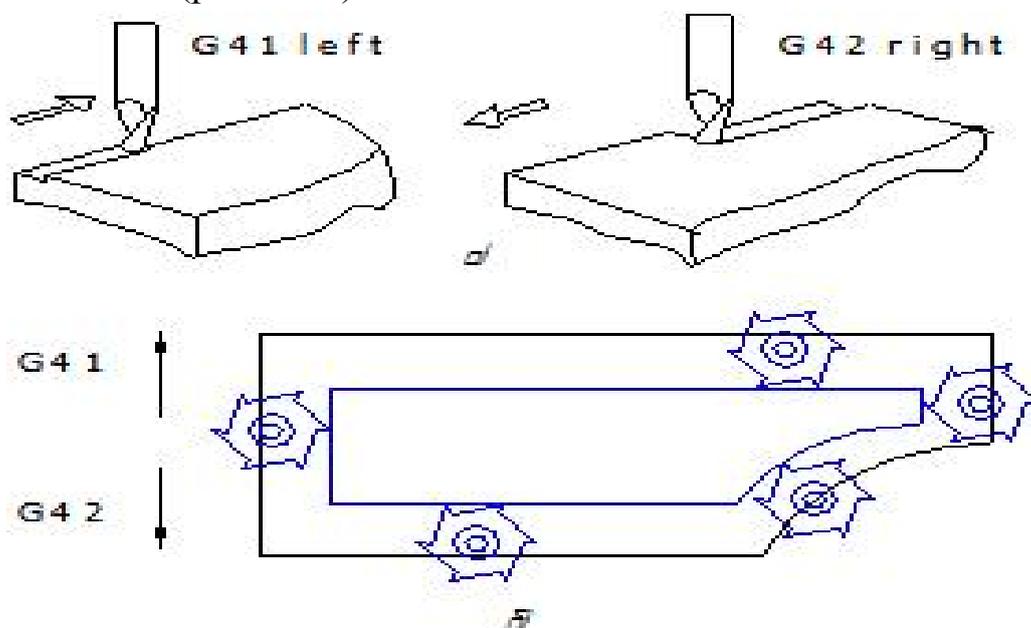


Рис. 3.16. Схема обработки, поясняющая выбор направления коррекции на радиус фрезы при обработке: а – прямолинейного контура, б – криволинейного контура

Характеристика обработки угла заготовки программируется командой G450/G451. При активации команды G450 ось фрезы проходит вокруг угла детали по дуге, радиус которой равен радиусу фрезы (рис. 3.17,а), а при активации команды G451 инструмент выполняет свободное резание на углу детали (рис. 3.17,б).

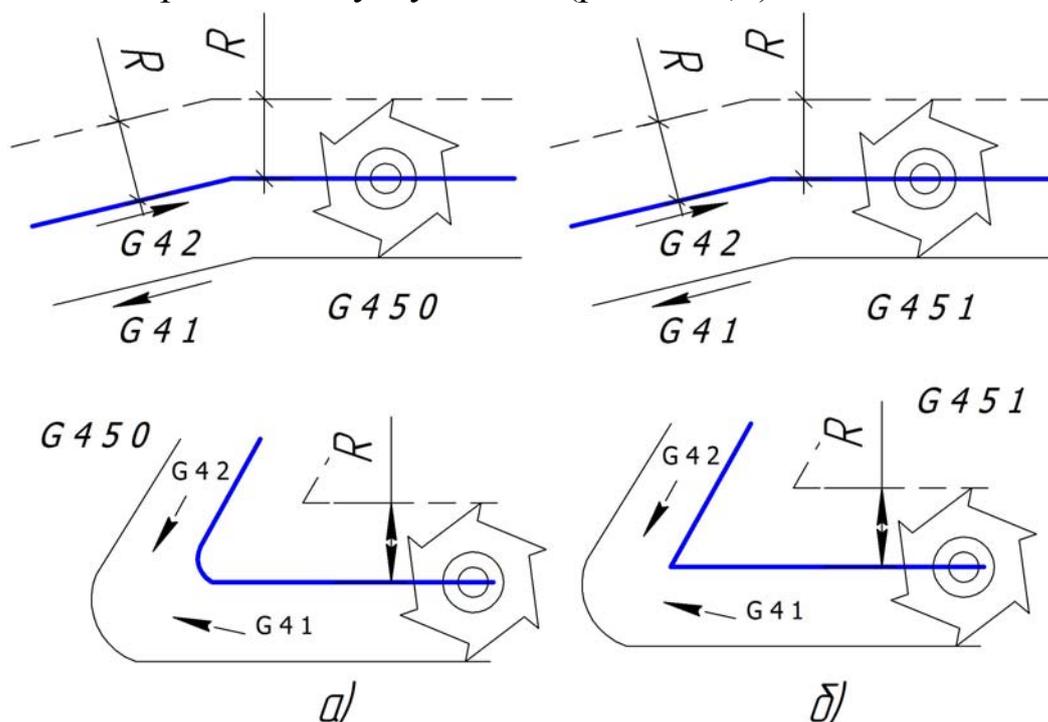


Рис. 3.17. Движение оси фрезы при обработке угла заготовки: а - по дуге, б - по прямым линиям; - - - программируемая траектория инструмента; ----- фактическая траектория инструмента с коррекцией

Размеры детали, которые должны быть получены в результате обработки заготовки, можно задавать в дюймах или в метрической системе в миллиметрах.

В зависимости от активации команды G70 или G71 соответственно вводится в дюймах или миллиметрах информация о траектории режущего инструмента (координаты X, Y, Z); параметрах круга I1, J1, K1, I, J, K, CR; шаге резьбы; программируемых сдвигов нуля TRANS, ATRANS; полярном радиусе RP.

Все другие значения, например скорости подачи, коррекции на размеры инструмента или устанавливаемые сдвиги нуля, вычисляются в единицах, предварительно установленных в машинных данных.

Программирование характеристик подачи режущего инструмента осуществляют командами G94, G95.

Команды G70/71 (дюйм/мм) не влияют на установки подачи, достоверны только установки машинных данных. После каждого изменения команд G93-95 рабочую подачу F необходимо программировать заново. Скорость подачи F достоверна только для осей траектории, но не для синхронных осей.

Скорость подачи в миллиметрах в минуту задают командой G94.

В этом случае адрес F означает скорость подачи в миллиметрах в минуту. Основное применение ее - для выполнения процессов фрезерования заготовок.

Скорость подачи в миллиметрах на оборот фрезы задают командой G95.

Адрес F - это скорость подачи в миллиметрах на оборот фрезы. Подача в указанных единицах измерения в основном используется при токарной обработке, в то время как при фрезеровании применяется подача режущего инструмента в миллиметрах на зуб фрезы и **в миллиметрах в минуту**. Применительно к механической обработке на фрезерных станках с ЧПУ осуществляется подача в миллиметрах в минуту. Именно подача фрезы в миллиметрах в минуту заносится в управляющую программу обработки детали.

Полярные координаты G110-G112

При программировании в полярных координатах позиции указываются как углы и радиусы относительно полюса (точка отсчета в полярной системе координат) (рис. 3.18).

Определение полюса

G110 - позиция полюса относительно последней запрограммированной позиции инструмента;

G111 - позиция полюса относительно текущего нуля системы координат детали;

G112 - позиция полюса относительно последнего достоверного полюса. Полюс может быть определен в прямоугольных или полярных координатах.

X, Z - координаты полюса (прямоугольные);

RP - полярный радиус (расстояние полюс-цель);

AP - полярный угол между полюсом, целью и основной осью угла (первая запрограммированная ось полюса).

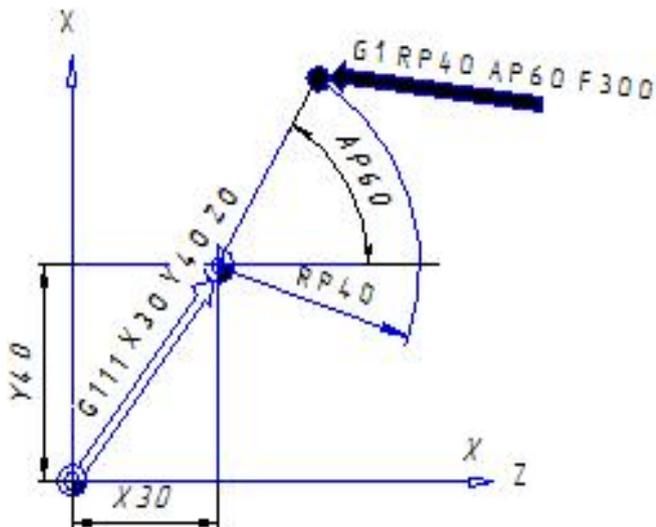


Рис. 3.18. Установка полюса в абсолютных координатах и последующее перемещение инструмента в полярной системе координат

Пример

G111 Z30 X40

G1 RP=40 AP=60 F300.

G111 устанавливает полюс в абсолютной позиции 30/40.

G1 перемещает инструмент от предшествующего положения в точку спольярными координатами RP40/AP60.

Подвод и отвод режущего инструмента на малой скорости программируют командами G140 -G341, DISR, DISCL, FAD.

G140 - подвод и отвод режущего инструмента на малой скорости;

G141 - подвод слева и/или отвод слева;

G142 - подвод справа и/или отвод справа;

G143 - направление подвода/отвода в зависимости от относительной позиции начальной и/или конечной точек к тангенциальному направлению;

G147 - подвод по прямой;

G148 - отвод по прямой;

G247 - подвод по четверти круга;

G248 - отвод по четверти круга;

G340 - подвод и отвод в пространстве (значение начальной позиции);

G341 - подвод и отвод в плоскости;

G347 - подвод по полукругу;
 G348 - отвод по полукругу;
 G450 - подвод и отвод от контура;
 G451 - подвод и отвод от контура;
 DISR (рис. 3.19):

- подвод или отвод по прямой, расстояние режущей кромки фрезы от начальной точки до контура;

- подвод и отвод по кругу, радиус траектории, очерченной по радиусу фрезы;

DISCL - расстояние конечной точки быстрого перемещения до уровня обработки;

DISCL=AC - определение абсолютной позиции конечной точки быстрого движения.

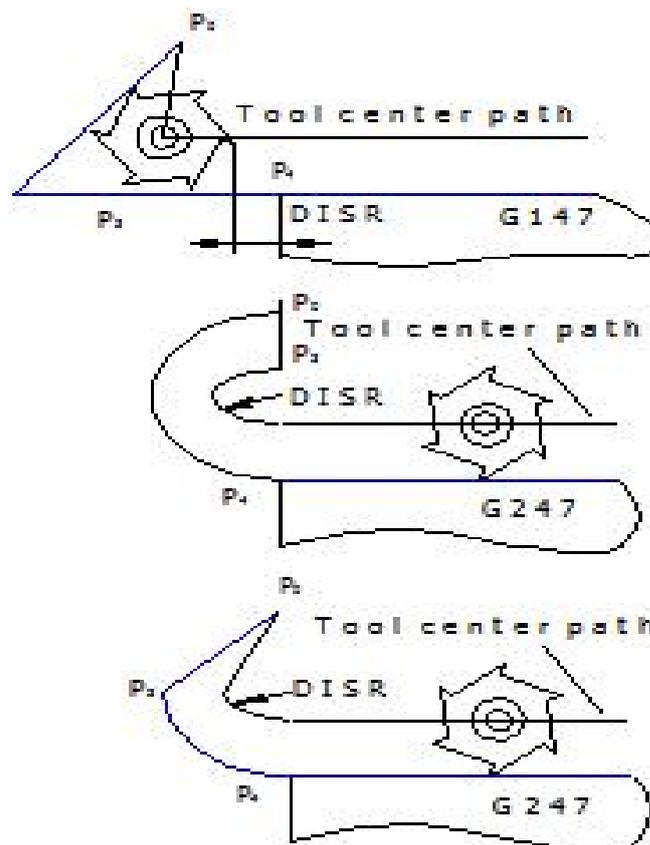


Рис. 3.19. Подвод фрезы к заготовке по прямой линии и кругу

DISCL=0 G340: P₁, P₂, P₃ совпадают

G341: P₂, P₃ совпадают

FAD - указание скорости подачи

G341: от P₁ до P₃

G340: от P₂ и/или P₃ до P₄

FAD=PM - линейная подача (как G94);

FAD=PR - круговая подача (как G95).

Функция подвода и отвода на малой скорости применяется для тангенциального подвода к начальной точке контура независимо от позиции исходной точки. Функция в основном используется в сочетании с коррекцией на радиус инструмента, однако это не обязательно.

Движение подвода и отвода состоит максимум из 4 частичных движений:

- начальная точка движения (P₀);
- промежуточные точки (P₁, P₂, P₃);
- конечная точка (P₄).

Точки P₀, P₃, и P₄ всегда определяются. Промежуточные точки P₁ и P₂ могут быть опущены в зависимости от условий обработки. Во время REPOS по полукругу DISR означает диаметр круга.

Направления подвода/отвода режущего инструмента можно выбирать при помощи коррекции на радиус инструмента: если активна команда G41, то подвод инструмента происходит слева, если активна G42 – подвод справа. Деление участка движения инструмента от начальной P₀ до конечной точки P₄ (команды G340 и G341) представлено на рис. 3.20,а. Для подвода к заготовке перемещают ось фрезы в точку с координатами X=10, Z =30 (рис. 3.20,б), затем в точку с координатами X=20, Y=-5 и Z =3 и далее по прямой до контакта с точкой P₄ заготовки. Расстояние режущей кромки фрезы от начальной точки до контура заготовки равно DISR=13 мм. Подвод оси фрезы от исходной до начальной точки осуществляем на холостом ходу, а затем на подаче F=1000 мм/мин (команда G0 и G1 соответственно). Описанная последовательность подвода фрезы отражена в нижеприведенном фрагменте управляющей программы:

```
$TC_DP1 [1,1]=120
```

```
$TC_DP6[1,1]=7
```

```
N10 G90 G0 X0 Y0 Z30 D1 T1
```

Движение подачи



Уровень обработки

Начальное движение зависит
от G340 / G341

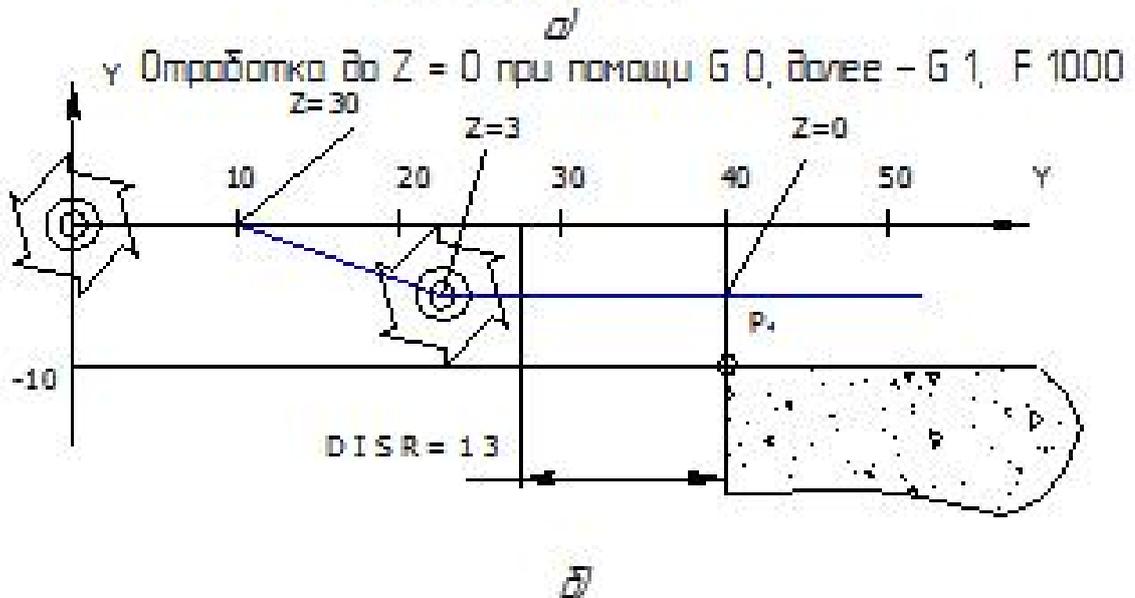


Рис. 3.20. Подвод режущего инструмента:
а - в зависимости от G340 / G341; б - при помощи G0 и G1

N20 X10

N30 G41 G147 DISCL=3 DISR=13 Z=0 F1000

N40 G1X40 Y-5

N30/40 можно заменить при помощи:

1. N30 G41 G147 DISCL=3 DISR=13 X40 Y-5 Z0 F1000

или

2. N30 G41 G147 DISCL=3 DISR=13 F1000
 N40 G1 X40 Y-5 Z0.

В случаях, когда позиция активного уровня программируется при помощи G17 - G19, в расчет принимается активный фрейм.

3.8. Подвод и отвод режущего инструмента от контура и программирование циклов сверления.

Подвод и отвод режущего инструмента от обрабатываемого контура заготовки программируют командой NORM/KONT. Если в управляющей программе указана команда NORM, то это означает, что режущий инструмент подводится к заготовке по прямой линии и расположен вертикально к начальной точке.

Если начальная и конечная точки контура (равносильно как первая и последняя точки) не расположены по одной его стороне, то происходит искажение обработанного контура. Искажения контура не происходит, если начальная и конечная точки контура лежат по одну его сторону.

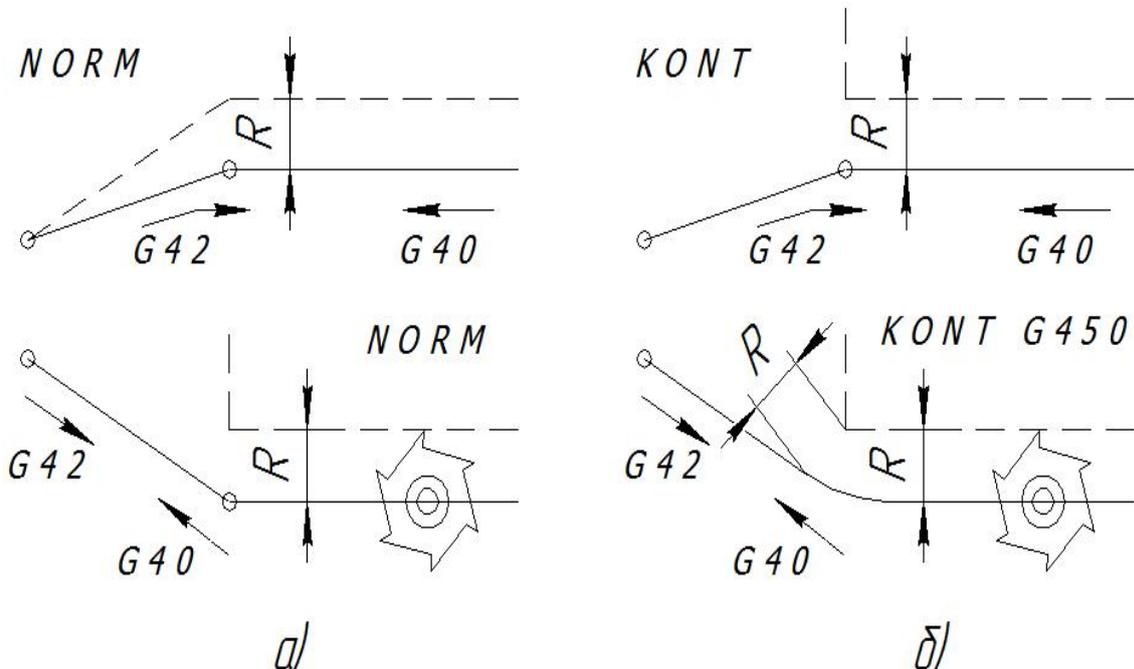


Рис. 3.21. Искажение контура при подводе/отводе фрезы по команде NORM (а) и его отсутствие при подводе/отводе по команде KONT (б)

Если запрограммирована команда KONT, то ось фрезы поворачивается вокруг точки контура как запрограммировано командой G450/451 и искажения обрабатываемого контура не происходит. Таким образом, при выполнении подвода или отвода с использованием NORM происходит нарушение контура (показано в виде срезанного угла на нижней части рис. 3.21,а), если начальная или конечная точка находятся за контуром. При выполнении подвода или отвода с использованием KONT, инструмент проходит вокруг угла по дуге (G450) или по прямой (G451) без нарушения контура (рис. 3.21,б).

Прежде чем реализовать цикл механической обработки, необходимо его вызвать. Вызов цикла выполняется следующим образом: необходимо написать слово «CYCLE» на английском языке и рядом с этим словом указать без пробела число, соответствующее номеру выбранного цикла. Например, CYCLE81. Далее через один пробел в круглых скобках указывают программируемые параметры этого цикла. Общая структура любого цикла имеет вид: цикл (параметр 1, параметр 2 и т. д.). В обзорах и описаниях циклов механической обработки содержатся названия и номера циклов, параметры, которые необходимо запрограммировать для конкретного цикла обработки. Конкретная реализация общей структуры цикла носит название формата кадра этого цикла. Зная формат кадра, можно без затруднений создать в управляющей программе тот или иной цикл механической обработки, начиная от названия цикла, его номера и кончая программируемыми параметрами цикла.

При вызове цикла на экране дисплея высвечивается название параметров, оператору необходимо ввести лишь их численные значения, при этом каждый параметр (введенное число) должен отделяться от других параметров запятой. Последовательность параметров, указанная в высветившемся окне дисплея, должна быть сохранена, чтобы избежать неправильной интерпретации введенных параметров системой числового программного управления станка. Если какой-либо параметр вводить не требуется, то на его место ставится дополнитель-

ная запятая и после предшествующего параметра необходимо поставить две запятые.

Пример

Требуется просверлить отверстие на станке, оснащенный системой ЧПУ WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling. Расстояние безопасности не требуется (например уже есть проточка в детали). Отверстие должно быть глубиной 15 мм относительно нулевой точки. В перечне циклов названного программного обеспечения находим, что для сверления обычного (неглубокого) отверстия используется CYCLE 81. Вызываем этот цикл на экран дисплея и напротив каждого названия программируемого параметра печатаем числа, соответствующие этим параметрам. В результате выполнения такой процедуры применительно к нашему примеру получим: CYCLE81 (5,0,-15). Раскроем содержание полученного результата:

CYCLE 81- цикл сверления, центrovания;

5 – параметр цикла, который указывает на расстояние 5 мм, на котором должна находиться плоскость отвода режущего инструмента от нулевой точки (поверхности детали);

0 – параметр, который указывает на то, что основная плоскость находится на нулевом уровне.

Далее должно быть запрограммировано расстояние безопасности. Но, поскольку система управления может принять введенное расстояние безопасности за глубину сверления, установлена вторая запятая;

15 - окончательная глубина просверленного отверстия в абсолютном значении.

Параметр DPR не указан. Поскольку далее не следует никаких параметров цикла, дополнительная запятая не требуется.

Вызов цикла может осуществляться также при помощи команды MCALL.

Подробнее опишем процедуру описания цикла. Описание цикла начинается с таблицы обзора, содержащей циклы и их описание. Далее идет полное описание параметров. В таблице обзора все циклы базируются на предшествующем цикле, это означает, что описываются

ся только те параметры, которые отличаются от предшествующего цикла или которые вводятся вновь.

Пример

CYCLE82 имеет параметры, аналогичные параметрам CYCLE81, циклы отличаются тем, что в CYCLE82 добавлен только 6-й параметр DTB;

CYCLE83 имеет первые 5 параметров, аналогичных CYCLE 81, параметры 6-12 добавлены;

CYCLE 84 имеет параметры 1-5, аналогичные параметрам CYCLE 81, параметр 6 аналогичен CYCLE 82 и параметры 7-12 добавлены и т.д. Ниже приведены циклы сверления отверстий, используемые в программном обеспечении WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling.

ЦИКЛ	ЗНАЧЕНИЕ
CYCLE81	Сверление, центрование
CYCLE82	Сверление, цилиндрическое зенкование
CYCLE83	Сверление глубоких отверстий
CYCLE84, CYCLE840	Жесткое нарезание внутренней резьбы Нарезание внутренней резьбы с компенсирующим патроном
CYCLE85	Растачивание 1
CYCLE86	Растачивание 2
CYCLE87	Растачивание 3
CYCLE88	Растачивание 4
CYCLE89	Растачивание 5
HOLES1	Ряд отверстий с MCALL
HOLES2	Отверстия по окружности с MCALL
CYCLE801	Линейный шаблон

CYCLE81 - сверление, центрование и CYCLE82 - сверление, цилиндрическое зенкование программируют соответственно в нижеследующих форматах кадров:

CYCLE81 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR),

CYCLE 82 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB),

где RTP - параметр цикла, который характеризует пространственное расположение плоскости отвода режущего инструмента (абсолютное значение). После выполнения цикла сверления режущий инструмент отводится в эту плоскость. Плоскость отвода (RTP) должна быть расположена выше основной плоскости, что обеспечивает полный вывод сверла из отверстия;

RFP - параметр цикла, который характеризует пространственное расположение основной плоскости (абсолютное значение). Чаще всего начало системы координат программы находится в основной плоскости (RFP=0);

SDIS - расстояние безопасности без знака. Инструмент перемещается с быстрой подачей до SDIS над основной плоскостью, затем происходит переключение подачи на рабочую;

DP - окончательная глубина сверления (абсолютное значение). Глубина отверстия измеряется относительно нулевой точки детали;

DPR - окончательная глубина относительно основной плоскости. Глубина отверстия относительно основной плоскости без знака. Программируют либо DP, либо DPR, если запрограммированы оба параметра, то достоверно DPR;

DTB - время выдержки на дне отверстия, с.

Инструмент следует выводить из отверстия только после истечения времени выдержки, которое обеспечивает зачистку дна отверстия (только для CYCLE 82). Перед выполнением цикла сверло должно быть размещено над нулем программы. Инструмент выполняет сверление с запрограммированной подачей до глубины отверстия DP/DPR и выводится из него на быстрой подаче (рис. 3.22). CYCLE82 имеет время выдержки DTB на дне отверстия.

Рассмотрим пример программирования CYCLE81.

Плоскость возврата, абсолютно	2 мм
Базовая плоскость (нуль программы), абсолютно	0
Расстояние безопасности	1 мм
Конечная глубина сверления, абсолютно	-10 мм
Глубина, инкрементально	0
Время выдержки (только CYCLE 82)	0

```

G54
TRANS Z70
T1 D1 M6
S1500 M3 F120
G0 X20 Y20 Z2
CYCLE81 (2,0,1,-10,0)
G0 Z40
M30

```

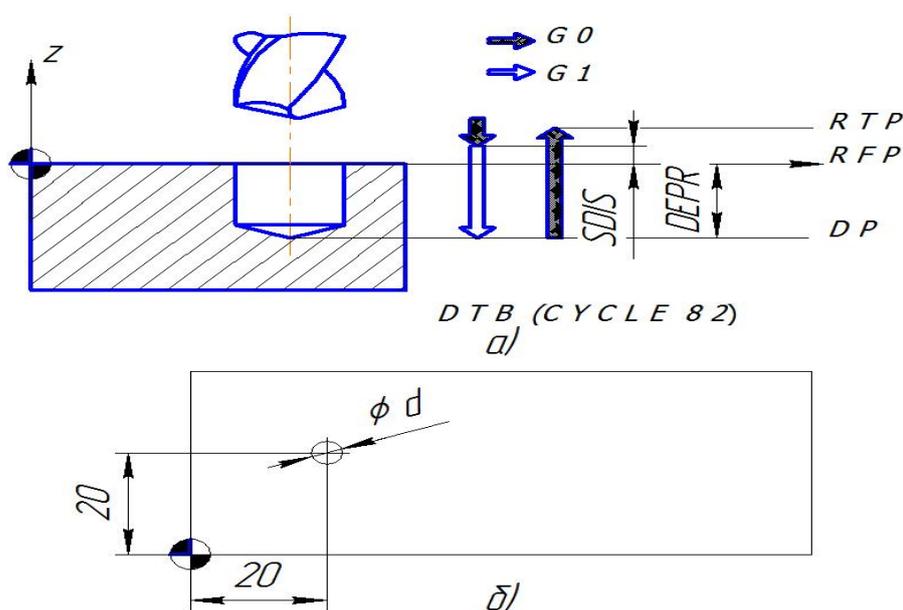


Рис. 3.22. Программируемые параметры CYCLE 82 (а)
и координаты отверстия (б)

CYCLE83 (рис. 3.23) - сверление глубоких отверстий программируют в формате кадра:

CYCLE83

(RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,FDEP,FDPR,DAM,DTB,DTS,FRF,VARI,AXN,MDEP,VRT,DTD,DIS1).

Смысловое содержание программируемых параметров, дополнительно введенных в цикл CYCLE83, представлено ниже:

FDEP - глубина сверления на первом проходе инструмента, абсолютное значение; FDPR - первая глубина сверления, измеренная относительно базовой плоскости;

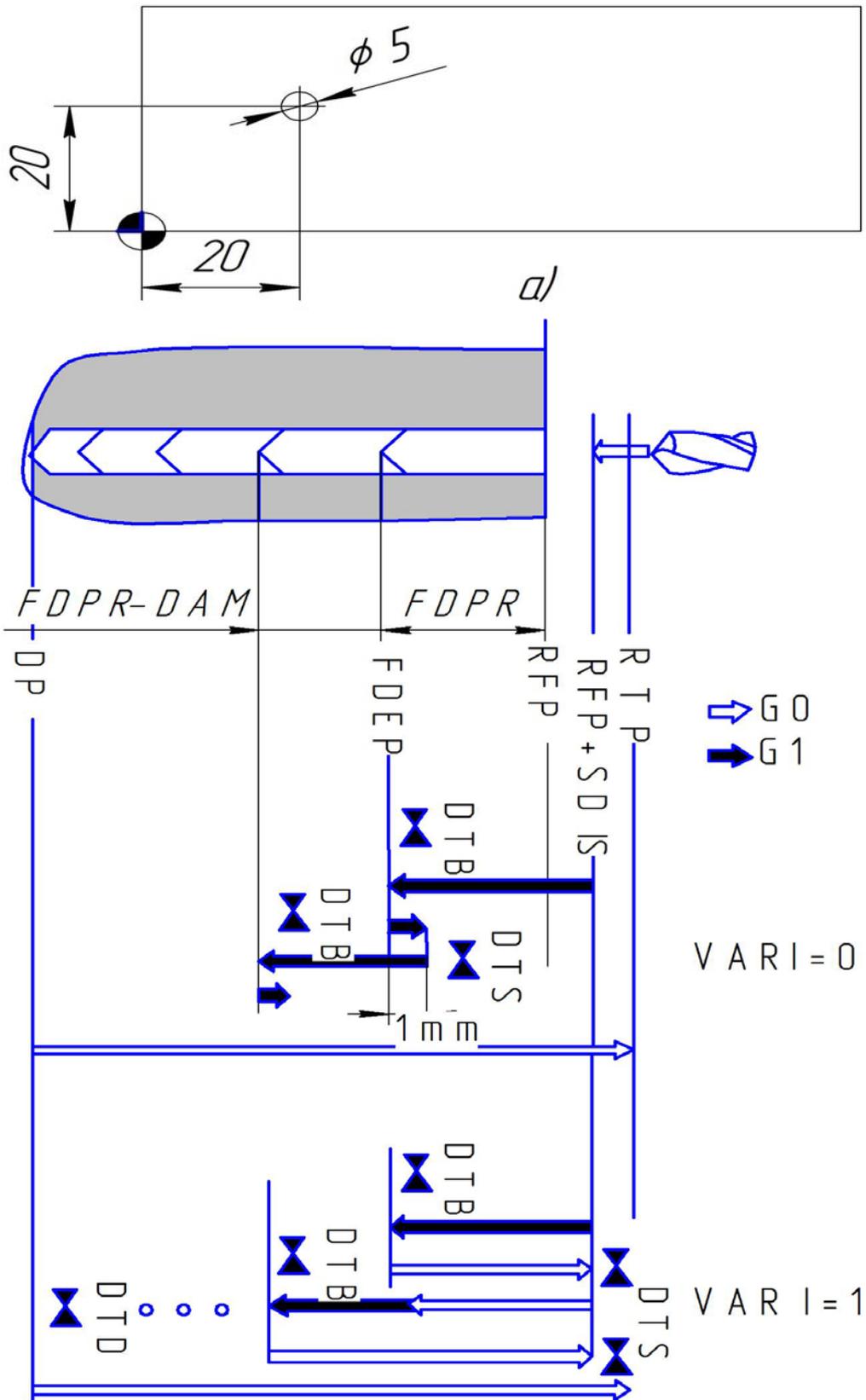


Рис. 3.23. Координаты отверстия (а) и схема глубокого сверления по CYCLE83 (б)

DAM - величина уменьшения первой глубины сверления;
DTS - время выдержки инструмента, с;
FRF - фактор снижения подачи для первой врезной подачи сверла;
VARI - вариант обработки;
AXN() - ось инструмента;
MDEP() = минимальная глубина сверления;
VRT() - переменная траектория возврата;
DTD() - время выдержки на конечной глубине сверления;
DIS1() - расстояние шага.

Ниже приведено пояснение функций цикла CYCLE83:

FDEP - глубина первого врезания относительно нулевой точки детали;

FDPR - глубина первого врезания относительно базовой плоскости, без знака;

DAM - начиная с первой глубины сверления каждая из последующих врезных подач будет уменьшена на значение DAM;

DTB - время выдержки на конечной глубине сверления (стружколомание) программируется в секундах или оборотах основного шпинделя;

DTB<0 - ввод в оборотах;

DTB=0 - ввод в секундах;

DTS - инструмент отводится после каждой врезной подачи и перемещается снова вперед после времени выдержки DTS;

FRF - с использованием данного фактора может быть снижена подача для первого врезания, возможный ввод: 0,001 – 1;

VARI=0 – стружколомание. После каждой врезной подачи инструмент отводится на 1 мм для стружколомания;

VARI=1 - удаление стружки. После каждой врезной подачи инструмент выводится из отверстия в базовую плоскость.

В процессе глубокого сверления отверстия режущий инструмент выполняет сверление с запрограммированной подачей до первой глубины. Глубокое отверстие обрабатывается повторными врезными проходами сверла на определенную глубину, максимальное значение которой может быть установлено до достижения конечной глубины

сверления. После выполнения каждого прохода сверло может быть отведено либо в базовую плоскость плюс расстояние безопасности для удаления стружки из отверстия, либо - на 1 мм для осуществления процесса стружколомания.

Таблица 3.1

Выбор активной плоскости

Команда	Плоскость отработки программы	Ось врезной подачи режущего инструмента
G17	XY	Z
G18	ZX	Y
G19	YZ	X

Необходимо также выбрать ось вращения режущего инструмента, для этого следует задать одну из команд AXN=1, AXN=2 или AXN=3 (табл. 3.1). Зная компоновку фрезерного станка с ЧПУ, пространственное расположение оси отверстия (X, Y, Z), которое надо просверлить в заготовке, плоскость отработки управляющей программы, а также команду G17, G18 или G19, можно по табл. 3.1 выбрать искомую команду AXN=1, AXN=2 или AXN=3.

Для вычисления шага сверления при применении фактора снижения глубины сверления на каждом проходе определяют минимальную глубину сверления MDEP. Если шаг сверления меньше минимальной глубины сверления, то оставшаяся глубина сверления обрабатывается в шагах, равных минимальной глубине сверления. VRT - величина отвода режущего инструмента во время стружколомания. При VRT=0 (параметр не запрограммирован) сверло отводится на 1 мм после каждого прохода.

DTD - время выдержки режущего инструмента на конечной глубине сверления, его можно программировать в секундах или оборотах главного шпинделя станка.

Если DTD>0, то время выдержки режущего инструмента программируют в секундах, а при DTD<0 время выдержки вводят в оборотах главного шпинделя станка.

DTD=0 время выдержки режущего инструмента соответствует запрограммированному командой DTB значению.

DIS1- расстояние шага после повторного входа инструмента в отверстие, может быть запрограммировано для VARI=1. DIS1>0 - позиционирование в запрограммированном значении шага.

DIS1=0 – автоматическое вычисление шага.

Перед выполнением цикла режущий инструмент должен быть расположен в позиции отверстия (X=0). Инструмент выполняет сверление с запрограммированной подачей до первой глубины сверления (FDEP/FDPR), отводится быстрым перемещением, далее выполняется следующая врезная подача и т.д. Глубина врезной подачи может быть снижена на значение DAM.

Пример: CYCLE83

Плоскость возврата, абсолютно	2
Базовая плоскость, абсолютная	0
Расстояние безопасности	1
Конечная глубина сверления, абсолютно	-10
Глубина инкремента	0
Первая глубина сверления	-5
Первая глубина	0
Понижение	5
Выдержка на глубине сверления	0
Выдержка времени пуска	0
Коэффициент скорости подачи	1
Тип обработки	0
Ось инструмента	1
Минимальная глубина сверления	1
Переменная траектории возврата	0
Время выдержки на конечной глубине сверления	0
Расстояние шага	0

Фрагмент управляющей программы:

G54

TRANS Z70

T2 D1 M6

S2000 M3 F150

G0 X20 Y20 Z2

CYCLE83 (2,0,1,-10,0,-5,0,5,0,0,1,0,1,1,0,0,0)

G0 Z40

M30.

Жесткое нарезание внутренней резьбы осуществляется циклом CYCLE84 (рис. 3.24).

Программирование цикла проводят в формате кадра: CYCLE84(RTP,RFP84,SDIS,DP,DPR,DTB,SDAC,MPIT,PIT,POSS,SST,SST1,AXN,PTAB,TECH,VARI,DAM,VRT).

Параметры, дополнительные к CYCLE1:

SDAC - направление вращения шпинделя после окончания цикла, 3- правое, 4- левое, 5- останов шпинделя;

MPIT - шаг нарезаемой резьбы как номинальное значение, который для метрической резьбы находится в пределах от 3 мм (M3) до 48 мм (M48).

PIT - шаг резьбы, мм, диапазон значений от 0,001 до 2000 мм. Программировать следует либо MPIT, либо PIT. Противоречивые установки способствуют активации сигнала тревоги;

POSS - позиция шпинделя для точного останова. Перед началом выполнения цикла шпиндель позиционируется при помощи команды POSS;

SST - скорость вращения шпинделя для нарезания внутренней резьбы;

SST1- скорость шпинделя при отводе режущего инструмента;

AXN - выбор оси инструмента, осуществляется в соответствии с табл.3.1;

PTAB() - оценка шага PIT нарезаемой резьбы:

0 - запрограммированная система измерений, 1 - шаг, мм, 2 – шаг, выраженный числом витков нарезаемой резьбы, приходящихся на

длину резьбы, равную одному дюйму; 3- шаг, выраженный в дюймах на оборот шпинделя.

TECH() - программирование технологических установок: точный останов, пилотное управление, ускорение и работа шпинделя.

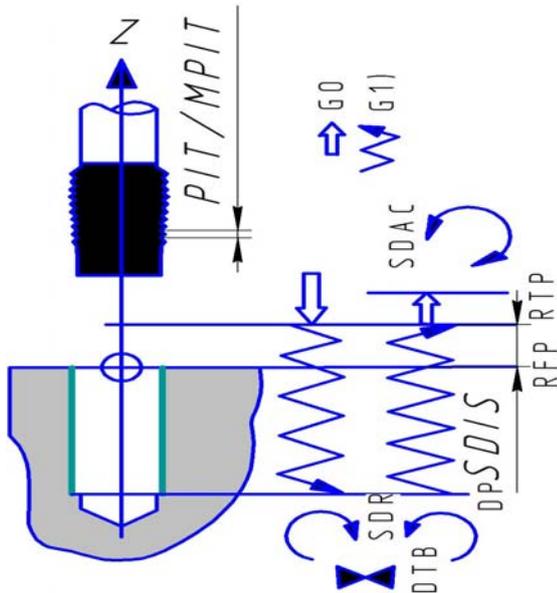


Рис. 3.24. Цикл жесткого нарезания внутренней резьбы

Точный останов:

0 - как запрограммировано перед вызовом цикла;

1 - (G601) активация шага при точном достижении позиционного окна;

2 - (G602) активация шага при приблизительном достижении позиционного окна;

3 - (G603) активация шага при достижении установки.

Пилотное управление:

0 - как запрограммировано перед вызовом цикла;

1 - с пилотным управлением

(FFWON) ;

2 - без пилотного управления (FFWOFF).

Ускорения:

0 - как запрограммировано перед вызовом цикла;

1 - разгон по оси с толчковым ограничением;

2 - быстрый разгон по оси;

3 - медленный разгон по оси.

Работа шпинделя:

0 - повторная активация работы шпинделя (для MCALL);

1 - остаться в режиме позиционного управления (для MCALL).

VARI() – программирование режима обработки:

0 - непрерывное нарезание внутренней резьбы;

1 - нарезание резьбы во внутреннем отверстии со стружколоманием;

2 - нарезание резьбы во внутреннем отверстии с удалением стружек.

DAM() - инкрементальная глубина сверления, программируется без арифметического знака.

VRT() - переменная траектория отвода инструмента для стружколомания, программируется без арифметического знака.

Последовательность обработки:

- перед выполнением цикла инструмент должен быть размещен над позицией отверстия ($X=0$);
- быстрое перемещение режущего инструмента на расстояние безопасности;
- ориентированный останов шпинделя POSS;
- нарезание внутренней резьбы на заданную глубину DP со скоростью шпинделя SST, вращение шпинделя и подача режущего инструмента синхронизируются;
- время выдержки на окончательной глубине;
- направление вращения шпинделя изменяется с прямого на обратное;
- отвод на расстояние безопасности со скоростью шпинделя SST;
- быстрый отвод в плоскость отвода RTP;
- восстановление направления вращения шпинделя SDAC.

Пример

CYCLE84 достоверен только для станков с позиционным управлением шпинделя.

Плоскость возврата, абсолютно	5
Базовая плоскость, абсолютно	0
Расстояние безопасности	2
Конечная глубина сверления	-15
Глубина инкремента	0
Время выдержки	0
Направление вращения после окончания цикла	3
Шаг резьбы как размер резьбы	0
Шаг резьбы как номинальное значение	1

Позиция шпинделя	0
Скорость подачи при нарезании резьбы	500
Скорость отвода режущего инструмента	800
Ось инструмента	1
Оценка шага резьбы	0
Технологические установки	0
Режим обработки	0
Инкрементальная глубина сверления	0
Переменная траектория возврата	0

Фрагмент управляющей программы жесткого нарезания внутренней резьбы имеет вид:

```
G54
TRANS Z20
T4 D1 M6
G0 X20 Y20 Z5
CYCLE84 (5,0,2,- 15,0,0,3,0,1,0,500,800,1,0,0,0,0,0)
G0 Z40
M30.
```

CYCLE 840 - нарезание внутренней резьбы с компенсирующим патроном (рис. 3.25) программируется в следующем формате кадра:

CYCLE 840(RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, SDR, SDAC, ENC, MPIT, PIT, AXNT, PTAB, TECH).

Параметры, дополнительные к CYCLE81.

SDR - направление вращения шпинделя для отвода режущего инструмента:

0 - автоматическое изменение направления вращения шпинделя,
3 – правое направление вращения, 4 - левое направление вращения;
SDAC - направление вращения шпинделя в конце цикла обработки:

3 - правое, 4 - левое, 5 - останов шпинделя.

ENC - использование датчика положения:

0 - использовать датчик положения, 1 - не использовать датчик положения, на станках без датчика положения данный параметр игнорируется.

MPIT - шаг резьбы как номинальное значение.

Шаг резьбы для метрической резьбы, диапазон значений 3 (M3) - 487 (M48).

PIT - шаг резьбы, мм, диапазон значений 0,001 - 2000 мм.

Программировать необходимо либо MPIT, либо PIT. Противоречивые установки приводят к активации сигнала тревоги.

AXN() - выбор оси инструмента осуществляется аналогично рассмотренному выше по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Выбор оси режущего инструмента

Команда ось ин-та	G17	G18	G19
X	AXN=1	AXN=2	AXN=3
Y	AXN=2	AXN=3	AXN=1
Z	AXN=3	AXN=1	AXN=2

PTAB() - оценка шага нарезания резьбы PIT:

0 - соответствует запрограммированной системе измерений, дюйм/мм,

1 – шаг, мм, 2 - шаг в витках на дюйм, 3 - шаг в дюймах на оборот.

TECH() - технологические установки: точный останов, пилотное управление, вычисление точки активации тормоза.

Точный останов:

0 - как запрограммировано перед вызовом цикла,

1 - (G601), 2 - (G602), 3 - (G603).

Пилотное управление:

0 - как запрограммировано перед вызовом цикла,

1 - с пилотным управлением (FFWON),

2 - без пилотного управления (FFWOFF).

Вычисление точки активации тормоза:

0 - без вычисления, 1 - с вычислением.

Последовательность обработки:

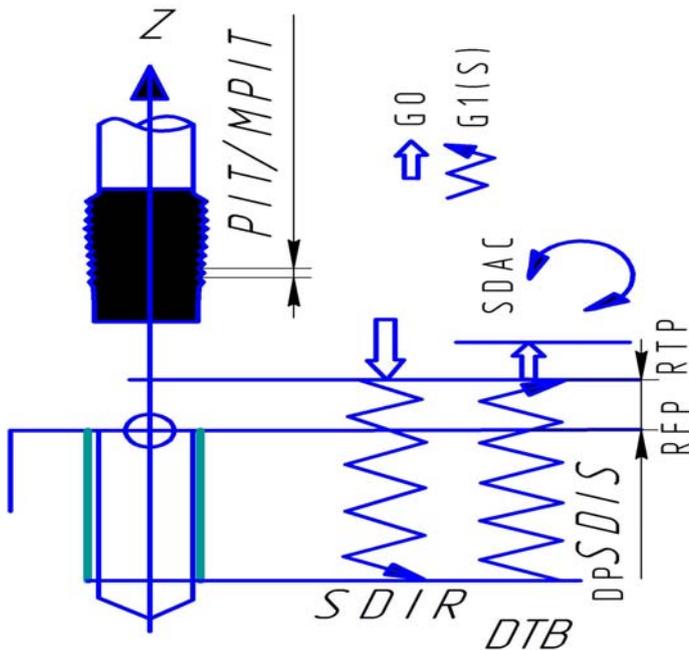


Рис. 3.25. Схема реализации CYCLE 840

- перед выполнением цикла инструмент должен быть размещен над позицией отверстия ($X=0$);
- быстрое перемещение на расстояние безопасности;
- нарезание внутренней резьбы до окончательной глубины DP с запрограммированной скоростью шпинделя;
- время выдержки на окончательной глубине;
- изменение направления шпинделя в соответствии с

SDR;

- отвод на расстояние безопасности;
- быстрый отвод в плоскость отвода RTP;
- восстановление направления вращения шпинделя SDAC.

Пример программирования CYCLE840 (см рис. 3.25).

Плоскость возврата, абсолютно	5
Базовая плоскость, абсолютно	0
Расстояние безопасности	2
Конечная глубина сверления	-15
Глубина инкремента	0
Время выдержки	0
Направление вращения для отвода	4
Направление вращения после окончания цикла с датчиком положения	3
Шаг резьбы как размер резьбы	0
Шаг резьбы как номинальное значение	1,25
Ось инструмента	1

Оценка шага резьбы	0
Технологические установки	0

Фрагмент управляющей программы для реализации CYCLE840 имеет вид:

```
G54
TRANS Z20
T4 D1
S600 M3
G0 X20 Y20 Z2
CYCLE840 (5,0,2,-15,0,0,4,3,0,0,1.25,1,0,0)
G0 Z80
M30.
```

3.9. Программирование циклов растачивания

Растачивают уже имеющиеся в детали отверстия. Такие отверстия могут получать сверлением, рассверливанием или в процессе получения самой заготовки (отливкой, штамповкой и др.). Программное обеспечение **WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling** оперирует несколькими циклами растачивания.

CYCLE85 - растачивание 1 и **CYCLE89 - растачивание 5** программируют соответственно в форматах кадра:

```
CYCLE 85 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,DTP,FFR,RFF),
CYCLE89 (RTP.RFP.SDIS.DP.DPR.DTB).
```

Растачивание 1 и 5 выполняются аналогично CYCLE 82.

Отличия от CYCLE 82:

- скорость подачи для врезания не является последним запрограммированным значением F, а программируется параметром FFR при вызове цикла;
- подача при отводе не является быстрой подачей, а программируется параметром RFF при вызове цикла;
- FFR - скорость врезной подачи;
- RFF - скорость подачи при отводе режущего инструмента.

• **CYCLE86 - растачивание 2** программируется в следующем формате кадра (рис. 3.26):

CYCLE86 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,DTB,SDIR,RPA,RPO,RPAP,POSS).

Растачивание 2 выполняется аналогично CYCLE 82, но допускается использование только расточной резцовой головки.

Отличия от CYCLE 82:

- направление вращения шпинделя программируется в цикле при помощи SDIR;

- на дне расточного отверстия выполняется ориентированный останов шпинделя (POSS) и расточная резцовая головка может подниматься от поверхности при помощи RPA, RPO, RPAP в направлении осей X, Y или Z во избежание царапания обработанной поверхности при отводе режущего инструмента;

SDIR - направление вращения шпинделя: 3 - правое, 4 - левое;

RPA - движение отвода режущего инструмента по оси X, с приращением, с соответствующим знаком;

RPO - движение отвода режущего инструмента по оси Y с приращением, с соответствующим знаком;

RPAP - движение подъема по оси Z с приращением, с соответствующим знаком;

POSS - позиция шпинделя для точного останова.

Движение подъема должно происходить в направлении, противоположном кромке расточной резцовой

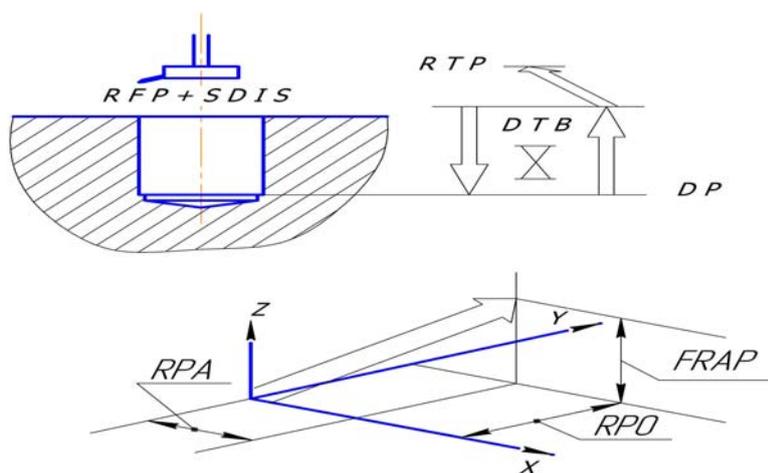


Рис. 3.26. Реализация CYCLE86 - растачивание 2

ГОЛОВКИ.

CYCLE87 - растачивание 3

Формат кадра: CYCLE 87 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,SDIR).

Осторожно: растачивание отверстия в соответствии с CYCLE87 осуществляется с программируемым остановом МО на дне отверстия. Отвод режущего инструмента выполняется после нажатия кнопки NC Start без вращения шпинделя.

CYCLE88 - растачивание 4

Формат кадра: CYCLE 87 (RTP,RFP,SDIS,DP,DPR,DTP,SDIR).

Осторожно: растачивание в соответствии с CYCLE88 со временем выдержки и программируемым остановом МО на дне отверстия. Отвод выполняется после нажатия кнопки NC Start без вращения шпинделя.

Цикл HOLES1 позволяет обрабатывать ряд отверстий, центры которых расположены на прямой линии (рис. 3.27,а).

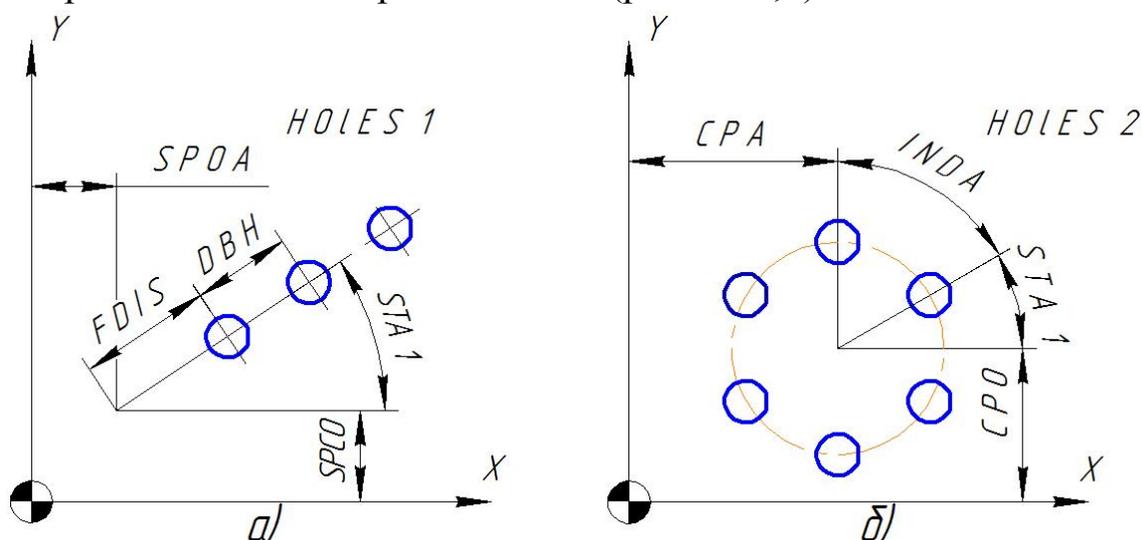


Рис. 3.27. Параметры циклов: а – HOLES1, б - HOLES2

С использованием данных функций, подвод на быстрой подаче выполняется к каждой индивидуальной позиции сверления поочередно, и в позициях сверления выполняется цикл сверления, который был предварительно вызван как модальный цикл. Последовательность позиций сверления выбирается с оптимизацией траектории движения режущего инструмента, обеспечивающей минимум вспомогательного времени на выполнение позиционирования инструмента.

Программирование

1. Модальный вызов необходимого цикла сверления

N60 MCALL CYCLE81 (....)

2. Программирование шаблона сверления

N65 HOLES 1 (....)

3. Отмена модального вызова цикла

N70 MCALL

Обработка ряда отверстий в соответствии с рассматриваемым циклом выполняется в формате кадра: HOLES1 (SPCA, SPCO, STA1, FDIS, DBH, NUM).

SPCA - начальная точка по оси X,

SPCO - начальная точка по оси Y,

STA1 - угол ряда отверстий относительно оси X,

FDIS - расстояние от начальной точки до первого отверстия (инкрементально, без знака),

DBH - расстояние между отверстиями (инкрементально, без знака),

NUM - число отверстий.

Обработку отверстий, расположенных по окружности, проводят в формате кадра (рис. 3.27,б): HOLES2 (CPA, CPO, RAD, STA1, INDA, NUM).

CPA - центральная точка по оси X,

CPO - центральная точка по оси Y,

RAD - радиус окружности расположения отверстий,

STA1 - начальный угол относительно X,

INDA - угол индексации.

Когда INDA=0, отверстия распределяются равномерно по окружности, NUM - число отверстий.

Пример реализации цикла HOLES1. Программируемые параметры цикла HOLES1 приведены ниже (рис. 3.28).

Базовая точка, абсцисса	20
Базовая точка, ордината	-40
Угол к абсциссе	15°
Расстояние первого отверстия от базовой точки	0
Расстояние между точками	30
Количество отверстий	4

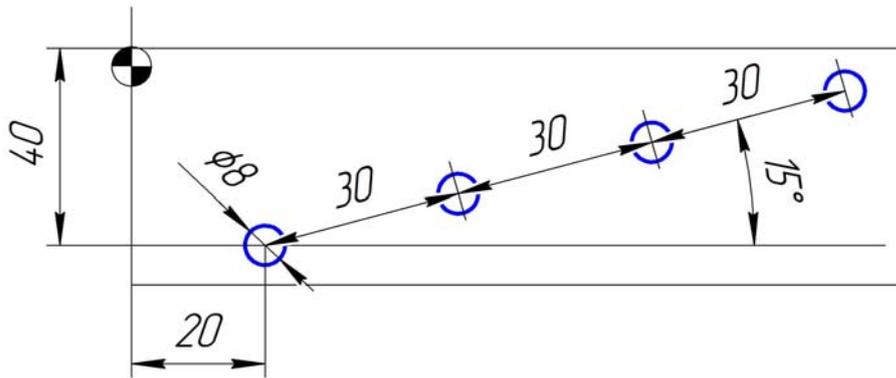


Рис. 3.28. Ряд отверстий, обрабатываемых в соответствии с циклом HOLES1

Фрагмент управляющей программы для сверления ряда отверстий:

```
G54
TRANS Z40
T1 D1 M6
S1000 M3 F2000
G0 X0 Y0 Z50
M8
MCALL CYCLE81 (10,0,2,-12,0)
HOLES1 (20,-40, 15, 0,30,4)
MCALL
M9 G0 Z250
M30.
```

Пример программирования цикла HOLES2. Программируемые параметры цикла HOLES2 приведены выше, а конкретные численные их значения следуют ниже.

Центральная точка, абсцисса	25
Центральная точка, ордината	25
Радиус окружности	15
Начальный угол	45°
Угол индексации	90°
Количество отверстий	4

Фрагмент управляющей программы, позволяющей реализовать цикл HOLES2 для обработки отверстий, представленных на рис. 3.29, имеет вид:

```
G54
TRANS Z20
T1 D1 M6
S1200 M3 F140
G0 X25 Y25 Z10
MCALL CYCLE83 (2,0,1,-10,0,-5,0,5,0,0,1,0)
HOLES1 (25,25,15,45,90,4)
MCALL
G0 Z50
M30.
```

Обработку линейного шаблона отверстий реализуют с использованием CYCLE801.

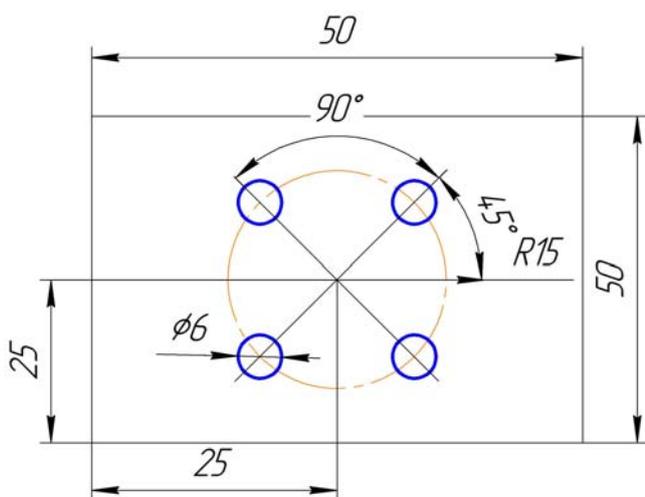


Рис. 3.29. Отверстия, обрабатываемые в соответствии с циклом HOLES2

Тип растачивания отверстий определяется предварительно вызванным модальным циклом сверления.

Программирование:

1. Модальный вызов необходимого цикла сверления
N60 MCALL CYCLE81(...)
2. Программирование линейного шаблона отверстий
N65CYCLE801(...)
3. Отмена модального цикла
N79 MCALL

Программируют CYCLE801 в следующем формате кадра: CYCLE801(SPCA, SPCO, STA1, DIS1, DIS2, NUM1, NUM2).

Программируемые параметры, кроме параметров, указанных в цикле HOLES1 (рис. 3.29):

STA1 - угол относительно X,

DIS1- расстояние между вертикальными рядами (без знака),

DBH - расстояние между горизонтальными рядами (без знака),
 NUM1 - число горизонтальных рядов,
 NUM2 - число вертикальных рядов.

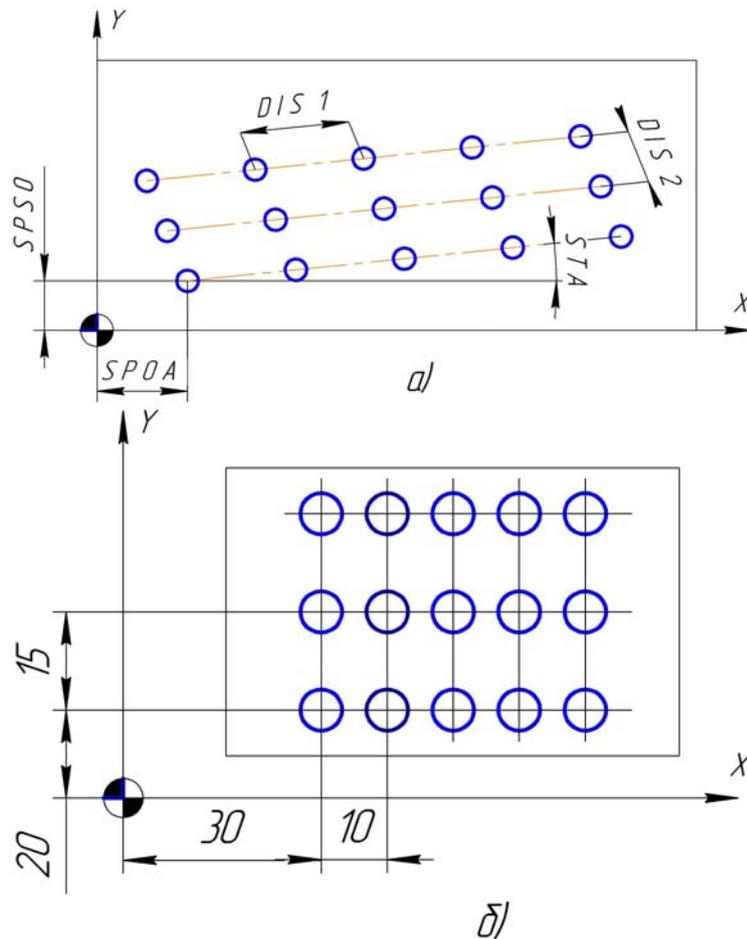


Рис. 3.30. Параметры CYCLE801 и деталь, обработанная с его использованием

Пример реализации CYCLE801 (рис. 3.30). Численные значения программируемых параметров приведены ниже.

Базовая точка, абсцисса	30
Базовая точка, ордината	20
Угол шаблона отверстий	0°
Расстояние между вертикальными рядами	10
Расстояние между горизонтальными рядами	15
Количество вертикальных рядов	5
Количество горизонтальных рядов	3

Фрагмент управляющей программы, реализующей CYCLE801:
 G54
 TRANS Z20
 T1 D1 M6
 S1200 M3 F140
 G0 X0 Y0 Z50
 M8
 MCALLCYCLE81 (10,0,2,-12,0)
 CYCLE801 (30,20,0,10,15,5,3)
 MCALL
 M9 G0 Z50
 M30.

3.10. Программирование циклов фрезерования плоскостей, контуров и резьб

Программное обеспечение WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling оперирует не только циклами механической обработки сверления, рассверливания, нарезания резьбы и растачивания, но и большим количеством циклов различных видов фрезерования, представленных ниже.

Команда	Циклы фрезерования деталей
CYCLE71	Торцовое фрезерование
CYCLE72	Контурное фрезерование
CYCLE90	Резбофрезерование
LONGHOLE	Резьбовая выточка
Slot1	Цикл нарезания резьбы
Slot2	Длинные отверстия по окружности
Pocket 1	Фрезерование прямоугольной выемки
Pocket2	Фрезерование круговой выемки
Pocket3	Фрезерование прямоугольной выемки
Pocket4	Фрезерование круглой выемки
Cycle76	Фрезерование прямоугольного выступа
Cycle77	Фрезерование круглого выступа

Рассмотрим процедуры программирования основных циклов фрезерования деталей на фрезерном станке с ЧПУ, оснащенном программным обеспечением WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling.

Цикл торцового фрезерования - CYCLE71 программируют в следующем формате кадра:

CYCLE71 (RTP, RFP, SDIS, DP, PA, PO, LENG, WID, STA.MID, MIDA, FDP, FALD, FFP1.VARI).

В цикле торцового фрезерования содержатся программируемые параметры, которые требуются всегда. Этими параметрами являются:

параметр RTP, который характеризует пространственное расположение плоскости отвода (абсолютно). После выполнения цикла обработки режущий инструмент устанавливается в плоскости отвода. Параметр RTP должен быть расположен выше базового уровня, у которого параметр RFP =0;

параметр RFP, который характеризует пространственное расположение референтной плоскости (абсолютно). В большинстве случаев нуль детали лежит в плоскости детали, координата Z которой является максимальной по величине;

SDIS - безопасное расстояние (задается без знака). Инструмент из исходной точки эквидистанты перемещается на холостом ходу до высоты SDIS (выше базового уровня), после чего подача переключается на рабочую для обеспечения плавного входа режущего инструмента в материал заготовки, то есть без удара;

DP - глубина резания (абсолютно, без знака), равная расстоянию обрабатываемой поверхности от обработанной, измеренному в направлении, перпендикулярном движению рабочей подачи;

PA - начальная точка, абсцисса (абсолютно);

PO - начальная точка, ордината (абсолютно);

LENG - длина прямоугольника по 1-й оси; угол, от которого задаются размеры, определяется знаком;

WID - длина прямоугольника по 2-й оси; угол, от которого задаются размеры, определяется знаком;

STA - угол между продольной осью прямоугольника и 1-й осью плоскости (абсцисса), задается без знака); численное значение угла находится в пределах $0^\circ < STA < 180^\circ$;

MID - максимальная глубина резания (задается без знака);

MIDA - максимальная ширина фрезерования (задается без знака);

FDP - уровень отвода инструмента в плоскости (инкрементально, задается без знака);

FALD - припуск на чистовую обработку (инкрементально, задается без знака). В режиме сглаживания параметр FALD определяет толщину обрабатываемого материала заготовки, подлежащего снятию при выполнении чистового технологического перехода;

FFP1- скорость подачи для поверхностной обработки;

VARI - тип обработки (задается без знака).

Численные значения параметра VARI выражаются двухзначными числами, при этом смысловое содержание цифры, находящейся в разряде единиц:

1 - выборка материала до чистового припуска, то есть снятие припуска на черновую обработку,

2 - чистовая обработка .

Смысловое содержание цифры, находящейся в разряде десятков:

1 - обработка параллельно абсциссе в одном направлении,

2 - обработка параллельно ординате в одном направлении,

3 - обработка параллельно абсциссе в различных направлениях,

4 - обработка параллельно ординате со сменными направлениями рабочей подачи режущего инструмента.

Охарактеризуем функции, выполняемые CYCLE71, торцовое фрезерование.

С помощью цикла CYCLE71 (рис. 3.31) можно фрезеровать любую прямоугольную поверхность. Цикл различает черновую и чистовую обработку. Черновая обработка плоскости заключается в снятии материала заготовки за один или несколько проходов до припуска на чистовую обработку. Чистовая обработка плоскости состоит в выполнении однократного прохода фрезерования. При выполнении черновой обработки можно задавать максимальную глубину резания и

максимальную ширину фрезерования, а при чистовой обработке - максимальную ширину фрезерования.

Цикл CYCLE71 не учитывает коррекцию на радиус фрезы. На требуемую глубину резания фрезу устанавливают без выполнения процесса резания.

Пример программирования CYCLE71 приведен ниже для следующих исходных данных (рис. 3.32).

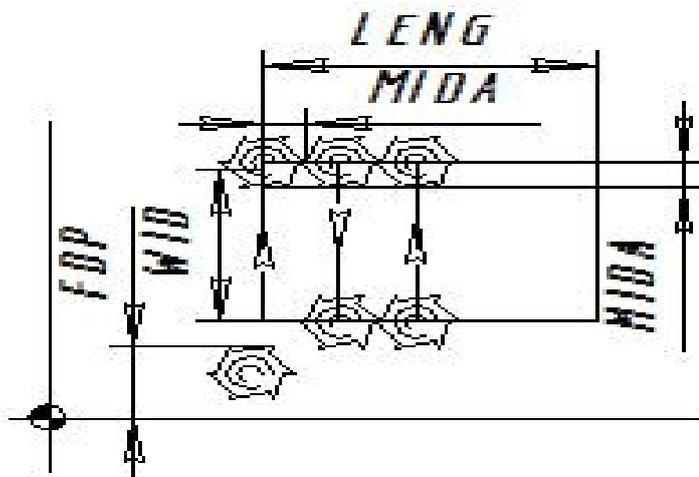


Рис. 3.31. Основные параметры, программируемые в цикле CYCLE71

Плоскость отвода, абсолютно	10
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	2
Глубина фрезерования, абсолютно	-6
Начальная точка, абсцисса	0
Начальная точка, ордината	0
Длина прямоугольника, абсцисса	60
Длина прямоугольника, ордината	40
Угол между продольной осью и абсциссой	10
Максимальная глубина резания	2
Максимальная ширина фрезерования	10
Траектория отвода	5
Чистовая обработка	0
Скорость рабочей подачи	400
Тип обработки	31
Величина перебега	2

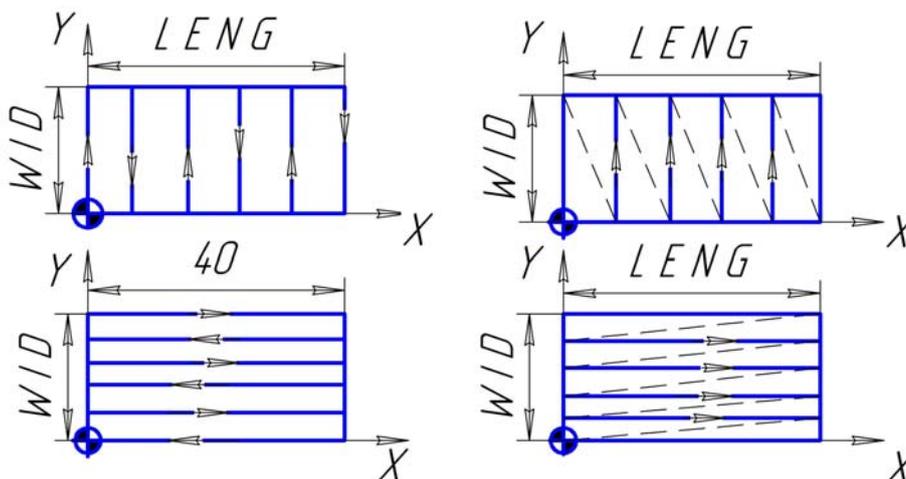


Рис. 3.32. Схемы торцового фрезерования, реализуемые в CYCLE71

Ниже приведен фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить торцовое фрезерование заготовки по CYCLE71.

```
G54
TRANS Z20
T6 D1 M6
S2500 M3 F400
G0 X0 Y0 Z20
CYCLE71 (10,0,2,-6,0,0,60,40,10,2,10,5,0,400,31,2)
G0 Z40
M30.
```

Контурное фрезерование заготовки выполняют в соответствии с CYCLE72 в следующем формате кадра:

```
CYCLE72 (KNAME, RTP, RFP, SDIS, DP, MID, FAL, FALD, FFP1,
FFD, VARI, RL, AS1, LP1, FF3, AS2, LP2).
```

Параметры, дополнительно программируемые в CYCLE72, кроме указанных в цикле CYCLE71, рассмотрены ниже, при этом следующие параметры необходимо программировать всегда:

KNAME - имя контурной подпрограммы. Контур, который должен быть отфрезерован, комплексно программируется в одной подпрограмме. Параметром KNAME устанавливается имя этой подпрограммы;

FAL - припуск на чистовую обработку по контуру (ввести без знака);

FFD - скорость рабочей подачи для врезания (вводит без знака);
RL - обработка контура по часовой или против часовой стрелки с использованием команды G40, G41 или G42.

Параметр RL может принимать значения:

40 G40 (подвод и отвод только линейно),

41G41,

42....G42.

LP1/LP2 - длина, радиус.

LP1 - длина подвода фрезы (по прямой) или радиус дуги окружности – траектории оси фрезы при подводе к заготовке;

LP2 - длина отвода фрезы (по прямой) или радиус дуги окружности - траектории оси фрезы при отводе. Данные значения должны программироваться >0 ;

FF3 - скорость подачи для возврата и промежуточного позиционирования инструмента в плоскости фрезерования. Если скорость подачи не запрограммирована, то промежуточные движения выполняются с прогнозированием поверхности или с использованием команды G01;

AS 1 /AS2 - характеристики перемещений при подводе/отводе (рис.3.33).

AS 1- перемещение подвода;

AS2 - перемещение отвода.

Если параметр AS2 не запрограммирован, то поведение при отводе аналогично поведению при подводе. Численные значения параметров AS1/AS2 состоят из двухзначных чисел, при этом разряд единиц имеет следующие значения:

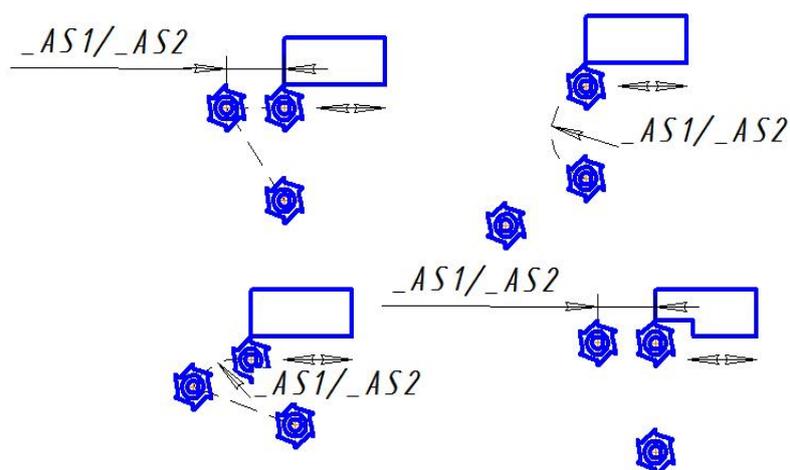


Рис. 3.33.Схемы подвода/отвода инструмента в цикле CYCLE72

1 - прямая соединительная линия, 2 - полукруг, 3 - квадрант.

А разряд десятков имеет следующие значения:

0 - подвод к контуру в плоскости,

1 - подвод к контуру физической траектории.

Пример CYCLE72

Название	Контур1
Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина фрезерования, абсолютно	-4
Глубина врезной подачи	4
Чистовая обработка	0
Чистовая обработка	0
Скорость подачи, поверхность	250
Скорость подачи, глубина	100
Тип обработки	11
Тип обработки	41
Траектория подвода	2
Длина, радиус	5
Подача при отводе	0
Траектория отвода	2
Длина, радиус	5

Ниже приведен фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить контурное фрезерование заготовки по CYCLE72 (рис. 3.34).

G 54

TRANS Z20

T1 D1 M6 (фреза Ø16)

S2500 F400 M3

CYCLE72 («Kontur1», 2,0,1,- 4,4,0,0,250,100,11,41,2,5,0,2,5)

G0 Z40

M30.

Подпрограмма «Kontur1»

G1 X50 Y44
 X94 RNDM=6
 Y6
 X6
 Y44
 X50 RNDM=0
 M17

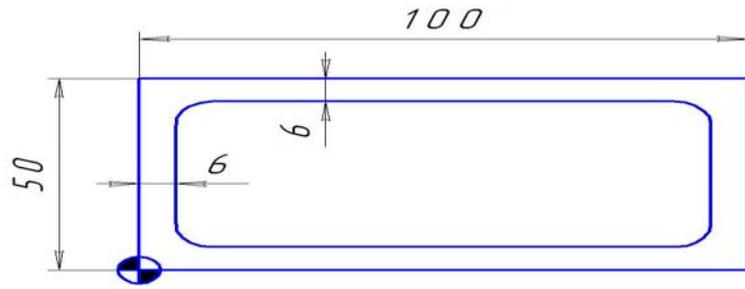


Рис. 3.34. Контур, обрабатываемый в цикле CYCLE72

Резьбофрезерова-

ние выполняют с использованием цикла CYCLE90, программирование которого выполняют в формате кадра (рис. 3.35):

CYCLE90 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DIATH, KDIAM, PIT, FFR, CDIR, TYTH, CPA, CPO).

Программируемые параметры цикла:

RTP - плоскость отвода (абсолютно);

RFP - референтная плоскость (абсолютно);

SDIS - безопасное расстояние (задается без знака) см. CYCLE81;

DP - длина резьбы (абсолютно) относительно нуля детали;

DPR - длина резьбы относительно референтной плоскости без знака.

Можно запрограммировать либо DP, либо DPR. Если запрограммированы оба значения, достоверным является параметр DPR;

DIATH - номинальный диаметр, представляет диаметр для внутренних и наружных резьб;

KDIAM - диаметр отверстия под резьбу;

PIT - шаг резьбы;

FFR - скорость подачи на винтовой траектории;

CDIR - направление резания:

2 - для резьбофрезерования с G2 (по часовой стрелке),

3 - для резьбофрезерования с G3 (против часовой стрелки).

typth - тип резьбы:

0 - внутренняя резьба,

1 - наружная резьба.

Внутренняя резьба: начальная позиция - центр резьбы, начальная позиция при CDIR=3: X>CPA, Y<CPO.

CPA - центральная точка по оси X;

CPO - центральная точка по оси Y.

Наружная резьба:

начальная позиция при CDIR=2: $X > CPA$, $Y > CPO$;

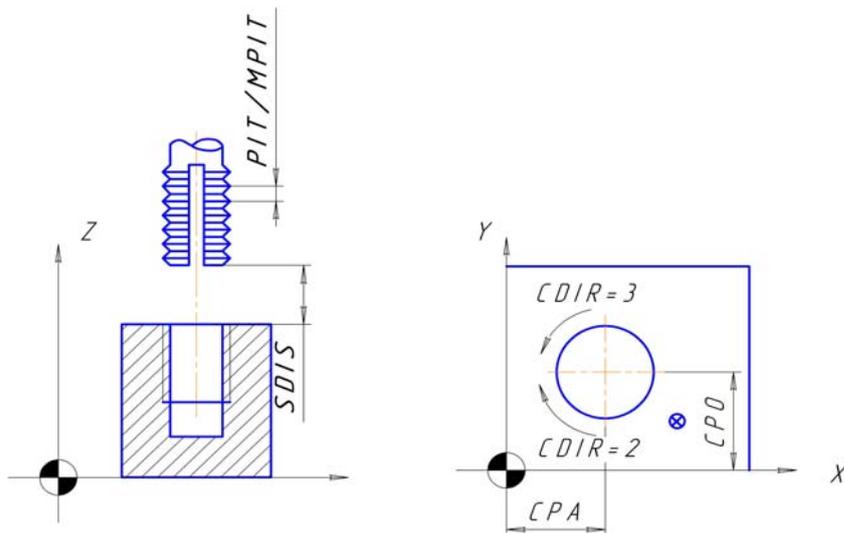


Рис. 3.35. Параметры цикла CYCLE90

Пример CYCLE90

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина резьбы, абсолютно	-4
Глубина инкремента	4
Номинальный диаметр	0
Отверстие под резьбу	0
Шаг резьбы	250
Скорость подачи	100
Направление фрезерования	11
Тип резьбы 0: внутренняя, 1: наружная	41
Центральная точка, абсцисса	2
Центральная точка, ордината	5

Ниже приведен мент управляющей граммы, позволяющей выполнить фрезерование резьбы в заготовке (рис. 3.36) с использованием CYCLE72:

```
G54
TRANS Z20
T1D1 M6
S2500 M3
GO X50 Y50 Z2
CYCLE90 (1,0,1,-
25,0,0,36,34,38,1.5,400
,2,0,5,0,5,0)
G0 X80 Y100 Z50
M30.
```

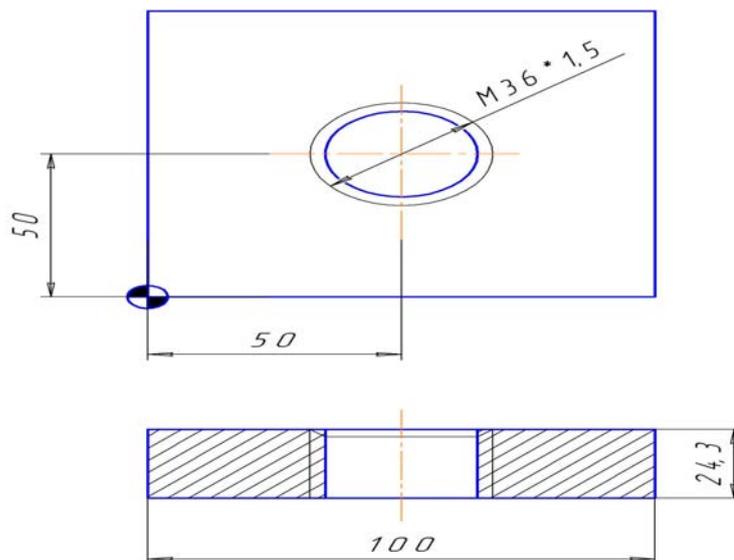


Рис. 3.36. Размеры нарезаемой резьбы по циклу CYCLE90

3.11. Программирование циклов фрезерования пазов

С использованием программного обеспечения WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling можно фрезеровать прямолинейные, круговые пазы, расположенные продольно (в направлении, параллельном оси X или Y) или по окружности определенного радиуса. Радиус инструмента, используемого для обработки паза, должен быть введен в регистр данных инструмента, а сам инструмент должен обеспечивать поперечное врезание в материал заготовки. Программируют обработку продольного паза с использованием значений NUM1=1, RAD=0, INDA=0.

Обработка прямолинейных продольных пазов на фрезерных станках с ЧПУ проводится с использованием цикла **LONGHOLE** (рис. 3.37). При программировании параллельных продольных пазов для каждого подлежащего обработке паза необходимо вызывать отдельный цикл. Так, для обработки четырех прямолинейных пазов, представленных на рис. 3.37, эти циклы имеют вид:

LONGHOLE (RTP, RFP, SDIS, DP, NUM=1, LENG, CPA=10, CPO=30, RAD=0, STA1=0, INDA=0, FFD, FFPI, MID);

LONGHOLE (RTP, RFP, SDIS, DP, NDM=1, LENG, CPA=10, CPO=50, RAD=0, STA1=0, INDA=0, FFD, FFPI, MID);

LONGHOLE (RTP, RFP, SDIS, DP, NUM=1, LENG, CPA=50, CPO=50, RAD=0, STA1=0, INDA=0, FFD, FFPI, MID);

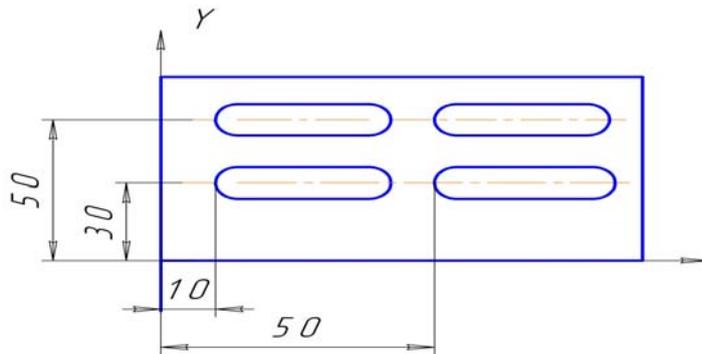


Рис. 3.37. Схема прямолинейных продольных пазов

LONGHOLE (RTP, RFP, SDIS, DP, NUM=1, LENG, CPA=50, CPO=30, RAD=0, STA1=0, INDA=0, FFD, FFPI, MID).

Обработку продольных пазов, расположенных по окружности, программируют также с использованием цикла LONGHOLE в следующем формате кадра: LONGHOLE (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, NUM, LENG, CPA, CPO, RAD, STA1, INDA, FFD, FFPI, MID).

RTP - плоскость отвода (абсолютно). После окончания цикла обработки режущий инструмент устанавливается в этой плоскости, то есть на этой высоте.

RFP - референтная плоскость (абсолютно). Высота поверхности детали, в большинстве случаев RTF=0.

SDIS - безопасное расстояние (задается без знака). Режущий инструмент перемещается на холостом ходу до высоты SDIS (выше базового уровня). Ниже базового уровня он перемещается со скоростью рабочей подачи.

DP - глубина продольного паза (абсолют.) Глубина продольного паза относительно нуля детали.

DPR - глубина продольного паза относительно референтной плоскости (задается без знака). При программировании цикла вводится либо DP, либо DPR.

NUM - число продольных пазов.

LENG - длина продольного паза.

CPA - средняя точка окружности, абсцисса (абсолютно).

CPO - средняя точка окружности, ордината (абсолютно).

RAD - радиус внутренней окружности.

STA1- начальный угол относительно X.

INDA - угол индексации.

Когда INDA=0, продольные пазы равномерно распределены по окружности.

FFD - скорость подачи при врезании на глубину.

FFP1- подача при обработке по плоскости.

MID - максимальная глубина для одного врезания (задается без знака).

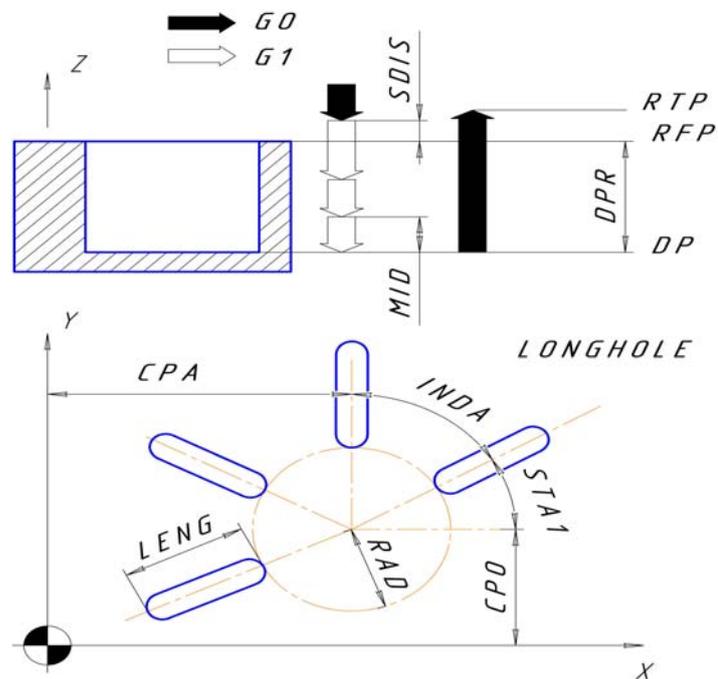


Рис. 3.38. Параметры, программируемые в цикле LONGHOLE при обработке прямолинейных пазов

Пример программирования цикла LONGHOLE

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование пазов, расположенных по окружности (рис. 3.38), с использованием цикла LONGHOLE имеет вид:

G54

TRANS Z20

T1 D1 M6

S2500 M3

G0 X50 Y50 Z2

LONGHOLE (2,0,1,- 6,0,3,30,50,50,10,0,45,80,350,2)

G0 Z50

M30.

Прямолинейные пазы, расположенные радиально по окружности, можно обработать с использованием цикла **SLOT1**, а **круговые пазы** - с использованием цикла **SLOT2**. Циклы SLOT1 и SLOT2 обес-

печивают сокращение времени на программирование, так как при использовании цикла LONGHOLE необходимо вызывать каждый раз, когда требуется обработать следующий паз.

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Продольный паз	-6
Глубина инкремента	0
Количество продольных пазов	3
Длина отверстия	30
Центральная точка, абсцисса	50
Центральная точка, ордината	50
Радиус окружности	10
Начальный угол	0
Инкрементный угол	245
Скорость подачи на глубину	80
Скорость подачи по поверхности	350
Глубина врезания на одну врезную подачу	2

Циклы SLOT1 и SLOT2 обеспечивают обработку всех прямолинейных (рис. 3.39) или круговых (рис. 3.40) пазов при однократном вызове и программировании.

Программирование пазов SLOT1 и SLOT2 выполняют соответственно в формате кадра:

SLOT1 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, NUM, LENG, WID, CPA, CPO, RAD, STAI, INDA, FFD, FFP1, MID, CDIR, FAL, VARI, MIDF, FFP2, SSF, FALD, STA2).

SLOT2 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, NUM, AFSL, WID, CPA, CPO, RAD, STAI, INDA, FFD, FFP1, MID, CDIR, FAL, VARI, MIDF, FFP2, SSF).

С использованием данных функций подвод к каждой конкретной позиции паза осуществляется с быстрой подачей, затем выполняется обработка запрограммированного паза на рабочей подаче режущего

инструмента. По известной ширине паза (из чертежа детали) выбираем диаметр фрезы так, чтобы ширина паза всегда была больше диаметра фрезы. Возможное минимальное значение диаметра фрезы принимают равным половине ширины паза.

Повод режущего инструмента к позициям пазов выполняется с оптимизацией траектории, то есть длина пути, проходимого фрезой в процессе позиционирования, должна быть минимальной. Такой подход к выбору траектории холостого перемещения фрезы позволяет уменьшить время цикла, а следовательно, повысить производительность технологической операции.

Цикл SLOT1 обеспечивает обработку прямолинейных пазов, расположенных радиально по окружности, а цикл SLOT2 позволяет обработать дугообразные пазы на окружности.

Параметры, программируемые в циклах SLOT1 и SLOT2, кроме описанных в цикле LONGHOLE, приведены ниже.

WID - ширина пазов (задается без знака); CDIR - направление 2 фрезерования паза (G2 - по часовой стрелке), направление 3 фрезерования паза (G3 - против часовой стрелки);

FAL - припуск на чистовую обработку (задается без знака);

VARI - тип обработки.

Разряд единиц:

0 - черновая и чистовая обработки до конечного размера,

1 - выборка материала до чистового припуска,

2 - только чистовая обработка до конечного размера;

разряд десятков:

0 - перпендикулярно, с командой G0,

1 - перпендикулярно, с командой G1,

2 - качание, с командой G1.

MIDF - максимальная глубина врезания при чистовой обработке;

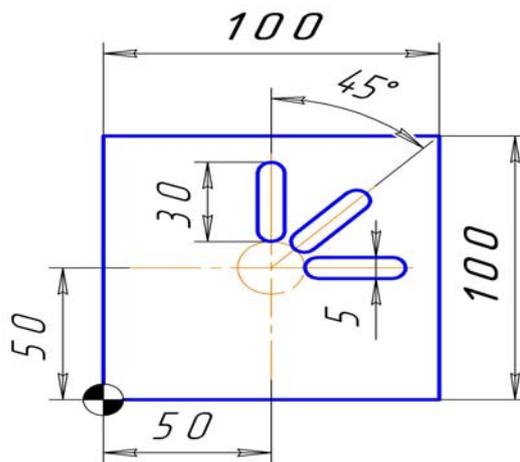


Рис. 3.39. Пример пазов, расположенных радиально по окружности

FFP2 - подача при чистовой обработке;
 SSF - скорость вращения шпинделя при чистовой обработке;
 AFSL – центральный угол, соответствующий длине кругового паза без знака, (программируется только для цикла SLOT2);
 FALD() - припуск на чистовую обработку на дне паза;
 STA2() - максимальный угол врезания для возвратно-поступательного движения режущего инструмента.

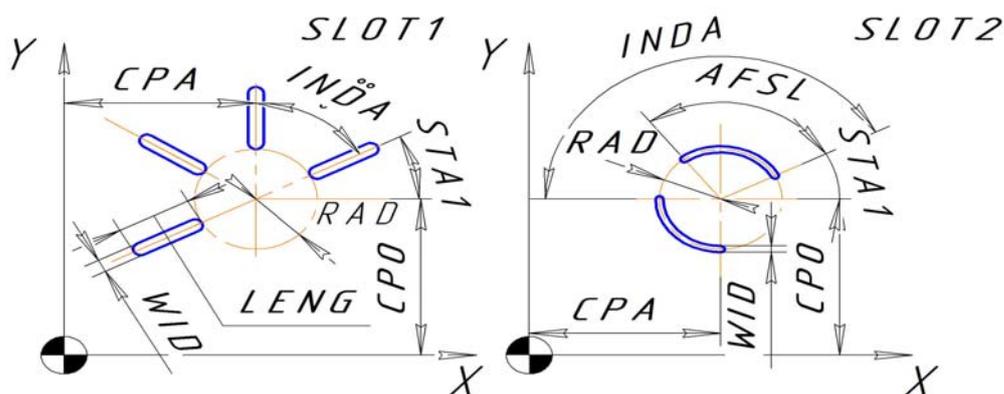


Рис. 3.40. Параметры, программируемые в циклах SLOT1 и SLOT2 при обработке прямолинейных пазов и криволинейных пазов, соответственно

Когда ширина паза WID или длина паза ASFL так велика или угол индексации INDA так мал, что пазы соприкасаются друг с другом, цикл обработки будет прерван и появится сигнал тревоги.

Пример программирования цикла SLOT1

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина паза, абсолютно	-6
Глубина инкремента	0
Количество пазов	4
Длина паза	30
Ширина паза	10
Центральная точка, абсцисса	0
Центральная точка, ордината	0

Радиус окружности	10
Начальный угол	45
Инкрементный угол	90
Скорость подачи на глубину	80
Скорость подачи по поверхности	350
Глубина врезания	2
Направление фрезерования	3
Чистовая обработка	0.2
Тип обработки:	0
0-полная	
1-черновая	
2-чистовая	
Максимальная глубина врезания для чистовой обработки	6
Скорость подачи для чистовой обработки	400
Частота вращения фрезы при чистовой обработке	3500
Припуск на чистовую обработку на дне паза	0.5
Максимальная глубина врезной подачи	5

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование пазов, расположенных по окружности (рис. 3.41), с использованием цикла SLOT1 имеет вид:

```
G 54
TRANS Z20
T1 D1 M6
S2500 M3
G0 X50 Y50 Z2
SLOT1 (2,0,1,-6,0,4,30,10,50,50,
10,45,90,80,350,2,3,0.2,0,6,4
00,3500,0.5,5)
G0 Z50
M30.
```

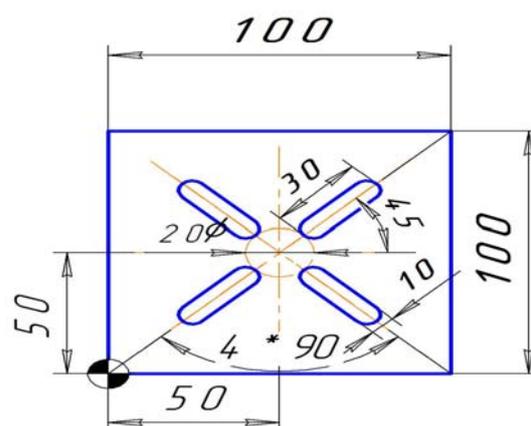


Рис. 3.41. Пример прямолинейных пазов, обрабатываемых с использованием цикла SLOT1

Пример программирования цикла SLOT2

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина кругового паза, абсолютно	-6
Глубина кругового паза, инкрементально	0
Количество круговых пазов	2
Угол для длины паза	90
Ширина кругового паза	10
Центральная точка, абсцисса	50
Центральная точка, ордината	50
Радиус окружности	30
Начальный угол	45
Инкрементный угол	180
Скорость подачи на глубину	80
Скорость подачи по поверхности	300
Глубина врезания на одну врезную подачу	2
Направление фрезерования	3
Чистовая обработка	0.2
Тип обработки, обработка полная	0
Максимальная глубина врезания для чистовой обработки	6
Скорость подачи для чистовой обработки	400
Частота вращения шпинделя при чистовой обработке	4000

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование круговых пазов, расположенных по окружности (рис. 3.42), с использованием цикла SLOT2 имеет вид:

```
G54  
TRANS Z20  
T1 D1 M6  
S2500 M3  
G0 X50 Y50 Z2  
SLOT2 (2,0,1,- 6,0,2,90,10,50,50,30,45,180,80,300,2,3,0.2,0,6,
```

400,4000,)
 G0 Z50
 M30.

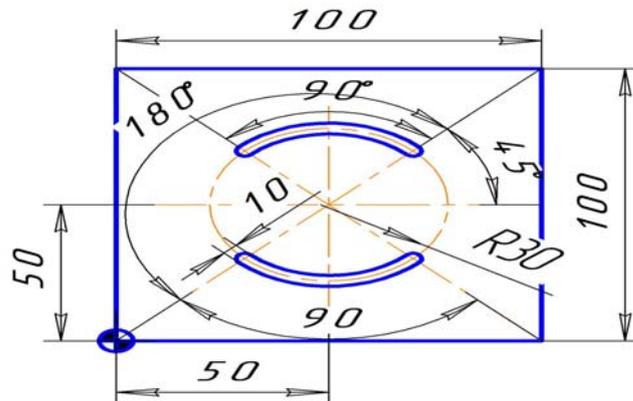


Рис. 3.42. Пример криволинейных пазов, обрабатываемых с использованием цикла SLOT2

3.12. Программирование циклов фрезерования прямоугольных и круговых выемок

Фрезерование прямоугольной выемки выполняют с использованием цикла **POCKET1**, а фрезерование **круговой выемки** - **POCKET2**.

Программирование циклов **POCKET1** и **POCKET2** осуществляют соответственно в формате нижеследующего кадра (рис. 3.43):

POCKET1 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, LENG, WID, CRAD, CPA, CPD, STA1, FFD, FFP1, MID, CDIR, FAL, VARI, MIDF, FFP2, SSF),

POCKET2 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, PRAD, CPA, CPO, FFD, FFP1, MID, CDIR, FAL, VARI, MIDF, FFP2, SSF).

Инструмент перемещается на быстрой подаче в центр выемки на уровне безопасного расстояния над базовой поверхностью и выполняет обработку выемки в направлении от её центра к краям. Длина и ширина выемки должны превышать

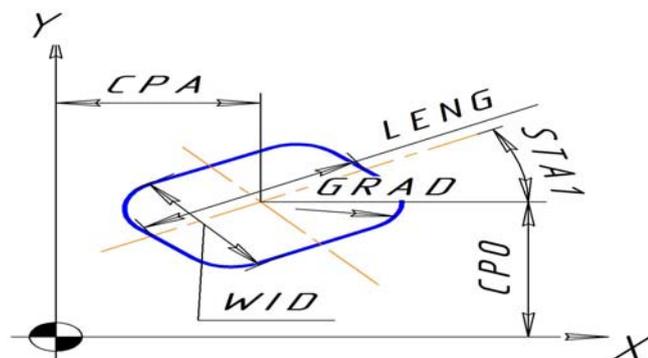


Рис. 3.43. Параметры, программируемые в циклах **POCKET1** и **POCKET2**

диаметр инструмента, в противном случае выполняются прерывание процесса обработки и включение сигнала тревоги.

Смысловое содержание программируемых параметров описано ниже.

- RTP - плоскость отвода,
- RFP - базовая плоскость,
- SDIS - расстояние безопасности,
- DP, DPR - конечная глубина, аналогичны предшествующему циклу LQNGHOLE ,
- PRAD - радиус паза без знака,
- LENG - длина выемки (задается без знака) ,
- WID - ширина выемки (задается без знака),
- CRAD, - угловой радиус (задается без знака),
- CPA - центральная точка выемки, абсцисса (абсолютно),
- CPO - центральная точка выемки, ордината (абсолютно),
- STA1 - угол выемки относительно X,
- FFD - подача для врезания на глубину,
- FFP1 - подача для обработки на плоскости,
- MID - максимальная глубина одного врезания (задается без знака),
- CDIR - направление фрезерования выемки, значения этого параметра:
 - 2 (для G2 по часовой стрелке),
 - 3 (для C3 против часовой стрелки),
- FAL - припуск на числовую обработку (задается без знака),
- VARI - тип обработки, значения этого параметра:
 - 0 - полная обработка до конечного размера,
 - 1 - выборка до припуска на чистовую обработку,
 - 2 - только обработка чистового припуска,
- MIDF - максимальная глубина врезания для чистовой обработки,
- FFP2 - подача при чистовой обработке,
- SSF - скорость вращения при чистовой обработке.

Пример программирования цикла РОСКЕТ1 (рис. 3.44)

Исходные данные для программирования приведены ниже.

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина выемки, абсолютно	-6
Глубина выемки, инкрементально	0
Длина выемки	60
Ширина выемки	30
Угловой радиус	5
Центральная точка, абсцисса	50
Центральная точка, ордината	50
Угол между абсциссой и продольной осью выемки	30
Скорость подачи на глубину	80
Скорость подачи по поверхности	300
Глубина врезания на одну врезную подачу	2
Направление фрезерования	3
Припуск на чистовую обработку	0.2
Тип обработки (полная обработка)	0
Максимальная глубина врезания для чистовой обработки	6
Скорость подачи для чистовой обработки	400
Частота вращения шпинделя при чистовой обработке	4000

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование выемки, с использованием цикла РОСКЕТ1 имеет вид:

```
G54  
TRANS Z20  
T1 D1 M6  
G0 X50 Y50 Z2  
РОСКЕТ1 (2,0,1 ,-6,0,60,30,5,50,50,30,80,400,2,3,0.2, 0,6,400,4000,)  
G0 Z50  
M30.
```

Пример программирования цикла РОСКЕТ2 (рис. 3.45)

Исходные данные для программирования приведены ниже.

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина выемки, абсолютно	-6
Глубина выемки, инкрементально	0
Радиус выемки	25
Центральная точка, абсцисса	50
Центральная точка, ордината	50
Скорость подачи на глубину	80
Скорость подачи по поверхности	300
Глубина врезания на одну врезную подачу	2
Направление фрезерования	3
Допуск на чистовую обработку	0.2
Тип обработки (полная обработка)	0
Максимальная глубина врезания для чистовой обработки	6
Скорость подачи для чистовой обработки	400
Частота вращения шпинделя при чистовой обработке	4000

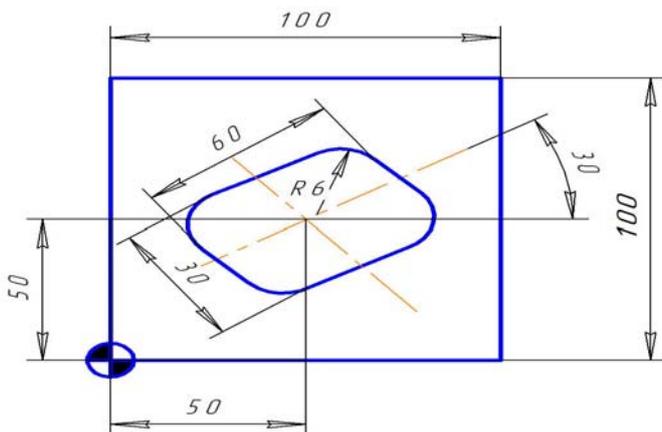


Рис. 3.44. Прямоугольная выемка, обрабатываемая с использованием цикла РОСКЕТ1

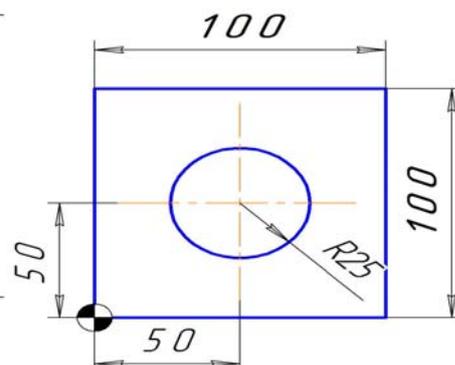


Рис. 3.45. Круговая выемка, обрабатываемая с использованием цикла РОСКЕТ2

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование круговой выемки с использованием цикла РОСКЕТ2, имеет вид:

```
G54
TRANS Z20
T1 D1 M6
G0 X50 Y50 Z2
РОСКЕТ2 (2,0,1,-6,0,60,30,5,50,50,30,80,400,2,3,0.2, 0,6,400,4000,)
G0Z50
M30.
```

Фрезерование прямоугольной выемки выполняется с использованием цикла РОСКЕТ3 и круговой выемки - РОСКЕТ4 (рис. 3.46). Программирование циклов РОСКЕТ3 и РОСКЕТ4 осуществляют соответственно в формате кадра:

РОСКЕТ3 (RTP, RFP, SDIS, DP, LENG, WID, CRAD, PA, PO, STA, MID, FAL, FALD, FFP1, FFD, CDIR, VARI, MIDA, AP1, AP2, AD, RAD1, DP1),

РОСКЕТ4 (RTP, RFP, SDIS, DR.PRAD, PA, PO, MID, FAL, FALD, FFP1, FFD, CDIR, VARI, MIDA, API, AD, RAD1, DP1).

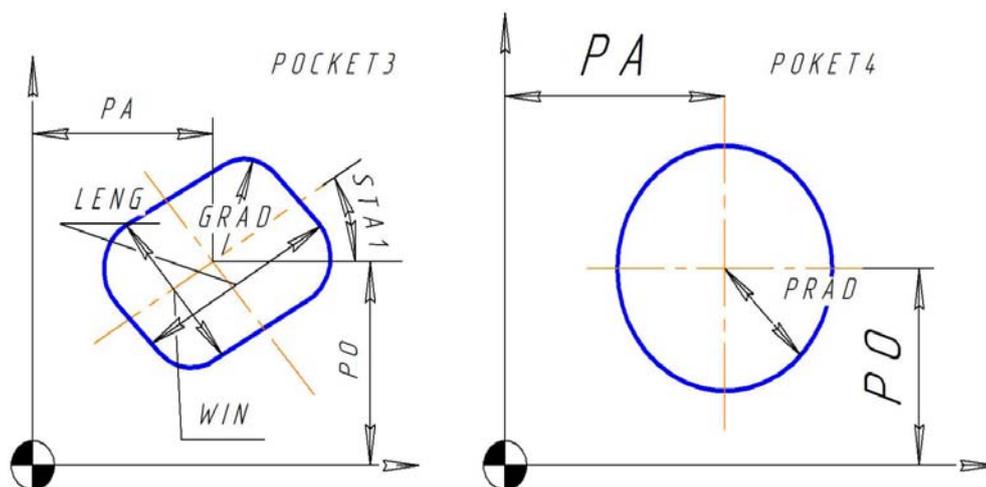


Рис. 3.46. Параметры, программируемые в циклах РОСКЕТ3 и РОСКЕТ4

Данные циклы могут применяться для черновой и чистовой обработки. Для чистовой обработки требуется торцовая фреза. Врезная подача всегда начинается в центре выемки и выполняется вертикально в этой точке. Целесообразно предварительно просверлить в этой позиции отверстие, что облегчит процесс фрезерования выемки. Поэтому коррекцию на инструмент следует программировать перед вызовом цикла. В ином случае цикл обработки прерывается сигналом тревоги.

Новые функции циклов РОСКЕТ3 и РОСКЕТ4 по сравнению с циклом РОСКЕТ1:

- направление фрезерования можно определить через G команды (G2/G3) или по направлению вращения шпинделя,
- максимальная ширина врезания в плоскости при выборке металла является программируемой,
- припуск на чистовую обработку определяют в соответствии с требованиями к выемке,
- циклы РОСКЕТ3 и РОСКЕТ4 обеспечивают три различные стратегии захода режущего инструмента в металл заготовки:
 - перпендикулярно в середине выемки,
 - по винтовой траектории от середины выемки,
 - челночно по средней оси выемки,
- кратчайший путь захода режущего инструмента в плоскости при чистовой обработке,
- принимается во внимание контур заготовки в плоскости и припуск на черновую обработку по дну (возможна оптимальная обработка предварительно сформованной заготовки).

Новые функции циклов РОСКЕТ3 и РОСКЕТ4 по сравнению с циклом РОСКЕТ2:

- направление фрезерования можно по выбору определять через G-функцию (G2/G3) или как попутное или встречное фрезерование по отношению к вращению шпинделя,
- максимальная ширина врезания в плоскости при выборке материала программируется,
- чистовой припуск по дну выемки также программируется,

- две различные стратегии захода режущего инструмента:
- перпендикулярно в центре выемки,
- по винтовой траектории от центра выемки,
- кратчайший путь при проходе в плоскости при чистовой обработке,
- принимаются во внимание контур заготовки в плоскости и размер по дну после черновой обработки (оптимальная обработка предварительно сформированной выемки);
- параметр MIDA при обработке контура рассчитывается заново.

Программируемые параметры RTP, RFP, DP, SDIS, PRAD, LENG, WID, CRAD, FFD, FAL, FFPI, MID, CDIR, VARI, MIDA, STA аналогичны параметрам предшествующих циклов.

Параметр CDIR означает направление фрезерования, которое задается без знака и может принимать следующие значения:

0 - попутное фрезерование (соответствует направлению вращения шпинделя),

1 - встречное фрезерование,

2 - с G2 (независимо от направления вращения шпинделя),

3 - с G3.

Параметр VARI означает тип обработки, который задается без знака и представляется в виде двухзначных чисел.

Значения разряда единиц:

1- обработка до припуска на чистовую обработку,

2 - чистовая обработка.

Значения разряда десятков:

0 - перпендикулярно центру выемки с G0,

1- перпендикулярно центру выемки с G1,

2 - по винтовой траектории,

3 - челночно по продольной оси выемки.

PA – центральная точка выемки по оси X,

PO - центральная точка выемки по оси Y,

FALD - припуск на чистовую обработку на основании выемки,

AP1 - длина выемки после черновой обработки,

AP2 - ширина выемки после черновой обработки,

AD - глубина выемки после черновой обработки,

RAD1 - радиус винтовой траектории при заходе режущего инструмента.

Пример программирования цикла РОСКЕТЗ. Ниже представлены исходные данные для программирования прямоугольной выемки с использованием цикла РОСКЕТЗ.

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина выемки	-6
Длина выемки	60
Ширина выемки	30
Угловой радиус	5
Базовая точка (центр выемки), абсцисса	50
Базовая точка(центр выемки), ордината	50
Угол между продольной осью и абсциссой	30
Максимальная глубина врезания на одну врезную подачу	2
Чистовая обработка края	0.2
Чистовая обработка дна	0.1
Скорость подачи по поверхности	300
Скорость подачи на глубину	80
Направление фрезерования	3
Тип обработки	21
Максимальная глубина врезания для чистовой обработки	7
Длина без чистовой обработки	0
Ширина без чистовой обработки	0
Глубина без чистовой обработки	0
Радиус, угол	10
Глубина врезания	2

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование прямоугольной выемки (рис. 3.47) с использованием цикла РОСКЕТЗ, имеет вид:

G54
 TRANS Z20
 T2 D1 M6
 S3000 M3
 РОСКЕТ3 (2,0,1,-
 6,60,30,5,50,50,30,2,0.2,0
 .1,300,80,3,21,7,10,2)
 G0 Z50
 M30.

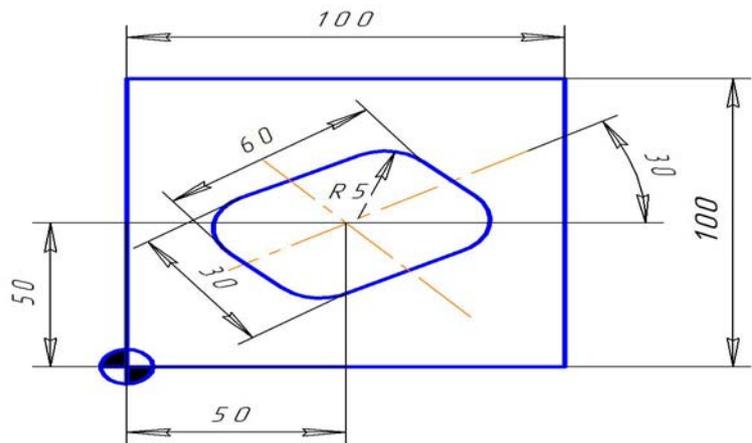


Рис. 3.47. Прямоугольная выемка, обрабатываемая с использованием цикла РОСКЕТ3

Пример программирования цикла РОСКЕТ4. Ниже представлены исходные данные для программирования круговой выемки с использованием цикла РОСКЕТ4.

Плоскость отвода, абсолютно	2
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	1
Глубина выемки, абсолютно	-6
Радиус выемки	25
Центр выемки, абсцисса	0
Центр выемки, ордината	0
Максимальная глубина врезания на одну врезную подачу	3
Чистова обработка края	0.2
Чистовая обработка дна	0.1
Скорость подачи по поверхности	400
Скорость подачи на глубину	80
Направление фрезерования	3
Тип обработки	21
Максимальная глубина врезания для чистовой обработки	7
Длина без чистовой обработки	0
Глубина без чистовой обработки	0
Радиус только для захода по винтовой траектории	10
Глубина для врезания	3

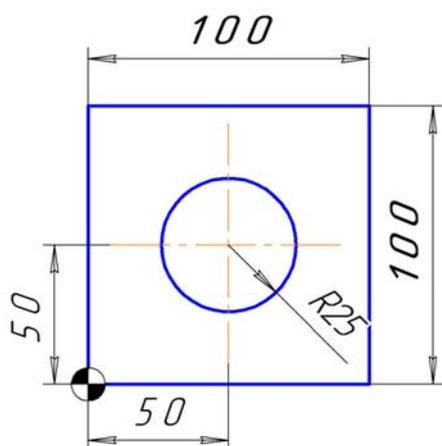


Рис. 3.48. Круговая выемка, обрабатываемая с использованием цикла РОСКЕТ4.

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование круговой выемки (рис. 3.48) с использованием цикла РОСКЕТ4, имеет вид:

```
G54
TRANS X50 Y50 Z20
T2 D1 M6
S3000 M3
РОСКЕТ4 (2,0,1,-6,25,0,0,3,0.2,0.1,400,
80,3,21,7,0,0,10,3)
G0 Z50
M30.
```

3.13. Программирование циклов фрезерования прямоугольных и круговых выступов

Фрезерование прямоугольного выступа осуществляют с использованием цикла CYCLE76, а фрезерование кругового выступа - CYCLE77. Программирование цикла CYCLE76 и CYCLE77 выполняют соответственно в формате кадра:

CYCLE76 (RTP, RFP, SDIS, DP, LENG, WID, CRAD, PA, PO, STA, MID, FAL, FALD, FFP1, FFD, CDIR, VARI, AP1, AP2),

CYCLE77(RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, PRAD, PA, PO, MID, FAL, FALD, FFP1, FFD, CDIR, VARI, AP1).

Данные циклы могут применяться для черновой и чистовой обработки. Для чистовой обработки требуется торцовая фреза.

Врезная подача всегда выполняется в позиции перед подводом к контуру по полукругу. Перед вызовом цикла следует активировать коррекцию на инструмент. В ином случае цикл будет прерван тревогой. Смысловое содержание программируемых параметров приведено ниже.

RTP - плоскость отвода режущего инструмента (абсолютно). После выполнения цикла обработки инструмент устанавливается на этой высоте.

RFP - референтная плоскость (абсолютно). Высота поверхности детали в большинстве случаев $RTF=0$.

SDIS - безопасное расстояние (задается без знака). Инструмент перемещается на скорости холостого хода до высоты SDIS выше базового уровня, ниже базового уровня – со скоростью рабочей подачи.

DP – глубина выступа относительно рабочей плоскости (абсолютно).

DPR - глубина выступа относительно базовой плоскости, без знака. Можно вводить либо DP, либо DPR.

PRAD - радиус выступа без знака.

leng - длина выступа со знаком.

WID - ширина выступа со знаком.

CRAD - угловой радиус без знака.

PA - базовая точка выемки, абсцисса (по оси X).

PO - базовая точка выемки, ордината (по оси Y).

STA - угол между продольной осью выемки и осью X.

MID - максимальная глубина для одного врезания задается без знака.

FAL - припуск на чистовую обработку без знака.

FALD - допуск на чистовую обработку по дну без знака.

FFP1 - подача для обработки в плоскости.

FFD - подача для врезания.

CDIR – параметр, характеризующий направление резания, принимает следующие значения:

0 - попутное фрезерование,

1 - встречное фрезерование,

2 - с G2 (по часовой стрелке),

3 - с G3 (против часовой стрелки).

Параметр VARI характеризует режим обработки, задается без знака, принимает следующие значения:

1- обработка до припуска на чистовую обработку,

2 - чистовая обработка до абсолютного размера.

AP1 - черновой размер длины/диаметра выступа без знака,

AP2- черновой размер ширины выступа без знака.

Пример программирования цикла CYCLE76. Ниже представлены исходные данные для программирования обработки прямоугольного выступа, представленного на рис. 3.49, с использованием цикла CYCLE76.

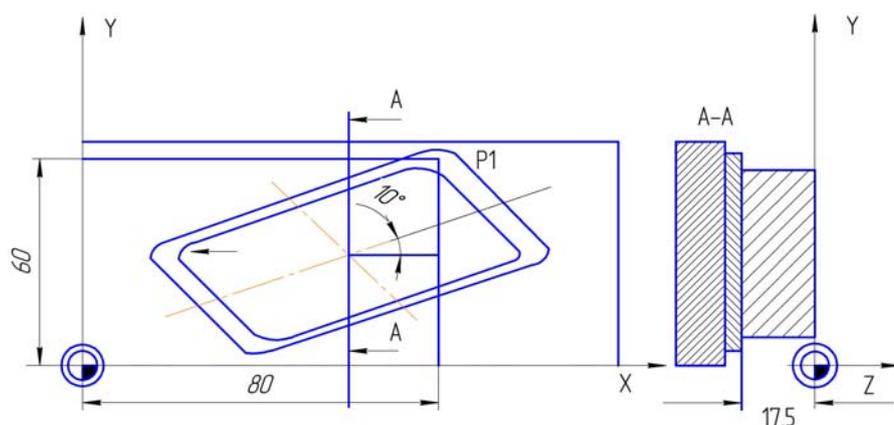


Рис. 3.49. Прямоугольный выступ, обрабатываемый с использованием цикла CYCLE76

Плоскость отвода, абсолютно	10
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	2
Глубина, абсолютно	-17.5
Глубина базовой плоскости, относительно	0
Длина выступа	-60
Ширина выступа	-40
Угловой радиус	15
Базовая точка первой оси плоскости	80
Базовая точка второй оси плоскости	60
Угол между продольной осью и абсциссой	10
Максимальная глубина врезания на одну врезную подачу	11
Допуск на чистовую обработку без знака	0
Допуск на чистовую обработку дна без знака	0
Скорость подачи по поверхности	900
Скорость подачи на глубину	800
Направление фрезерования	0
Тип обработки	1

Длина заготовки выступа	80
Ширина заготовки выступа	50

Установочные данные цикла:

`_ZSD[2]=0` - размер прямоугольной выемки или прямоугольного центрирующего выступа от центральной точки,

`_ZSD[2]=1` - размер прямоугольной выемки или прямоугольного центрирующего выступа от угла.

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование прямоугольного выступа (рис. 3.49) с использованием цикла `POCKET4`, имеет вид:

```
G54
TRANS Z20
T2 D1 M6 (концевая фреза диаметром 10 мм)
S3000 M3
G0 X50 Y50 Z2
_ZSD[2]=1 (измерение относительно угла)
CYCLE76 (10,0,2,-17.5,0,-60,-40,15,80,60,10,11,0,0,900,800,0,1,80,
50)
G0 Z50
M30.
```

Пример программирования цикла `CYCLE77`. Ниже представлены исходные данные для программирования обработки кругового выступа, представленного на рис. 3.50, с использованием цикла `CYCLE77`.

Плоскость отвода, абсолютно	10
Референтная плоскость, абсолютно	0
Безопасное расстояние	3
Глубина , абсолютно	-20
Глубина относительно базовой плоскости	
Радиус выступа	50
Базовая точка первой оси плоскости	60
Базовая точка второй оси плоскости	70

Максимальная глубина врезания на одну врезную подачу	10
Допуск на чистовую обработку без знака	0.5
Допуск на чистовую обработку дна без знака	0
Скорость подачи по поверхности	900
Скорость подачи на глубину	800
Направление фрезерования (встречное фрезерование)	1
Диаметр заготовки выступа	55

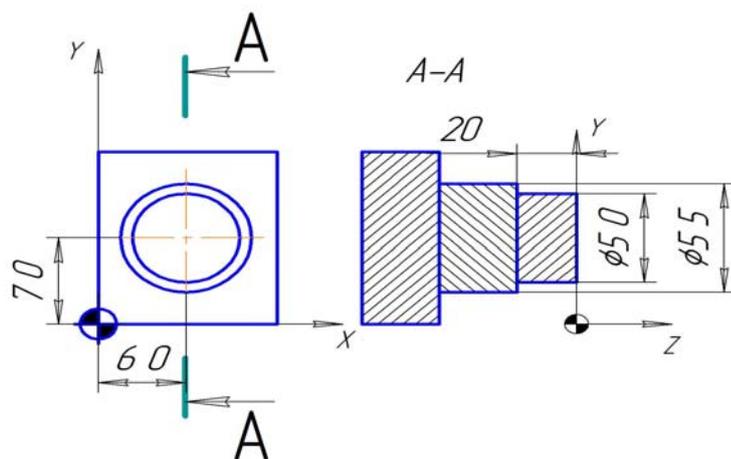


Рис. 3.50. Круговой выступ, обрабатываемый с использованием цикла CYCLE77

Фрагмент управляющей программы, позволяющей выполнить фрезерование кругового выступа (см. рис. 3.50) с использованием цикла CYCLE77, имеет вид:

```
G54
TRANS Z20
T2 D1 M6 (концевая
фреза диаметром 10 мм)
S1800 M3
G0 X50 Y50 Z2
```

```
CYCLE77 (10,0,3,-205,0,50,60,70,10,0,5,0,900,800,0,1,55)
```

```
G0 Z50
```

```
M30.
```

3.14. Общие сведения о фреймах, их программирование

Фрейм - это стандартный термин для обозначения геометрического выражения, описывающего арифметическое правило, например перемещения или вращения. Фреймы используются для описания позиций системы координат пункта назначения при помощи координат или углов в текущей системе координат детали. Фреймы предназначены для изменения текущей системы координат путем:

- сдвига системы координат TRANS, ATRANS (рис. 3.51);
- вращения системы координат ROT, AROT;

- программируемого масштабирования (масштабный коэффициент) SCALE, ASCALE;
- зеркального отражения системы координат MIRROR, AMIRROR. Фреймы программируют в отдельных кадрах управляющей программы и выполняют в заданной последовательности.

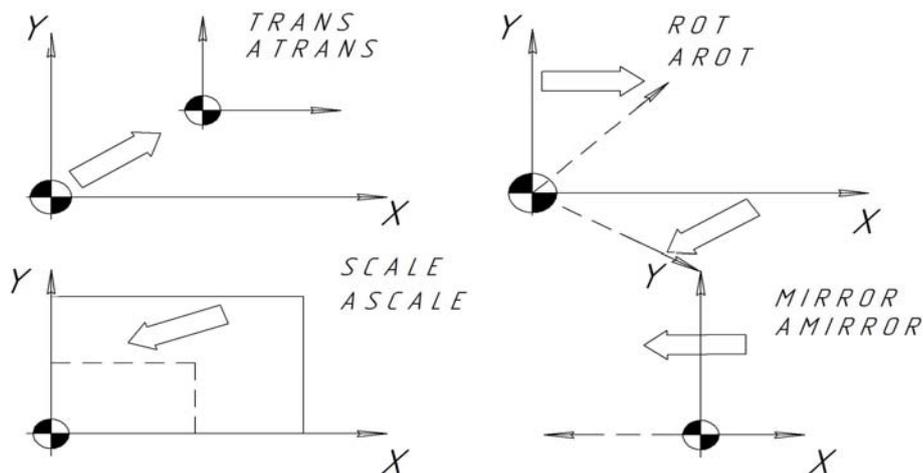


Рис. 3.51. Программируемые фреймы

Сдвиги нуля TRANS, ATRANS программируют в формате кадра:

TRANS/ATRANS X...
Z...

TRANS - абсолютный сдвиг нуля (рис. 3.52,а) относительно фактического нуля G54-G599. TRANS удаляет все предварительно запрограммированные фреймы (TRANS, ATRANS, ROT, AROT,...).

ATRANS - относительный сдвиг нуля (рис. 3.52,б), то есть отно-

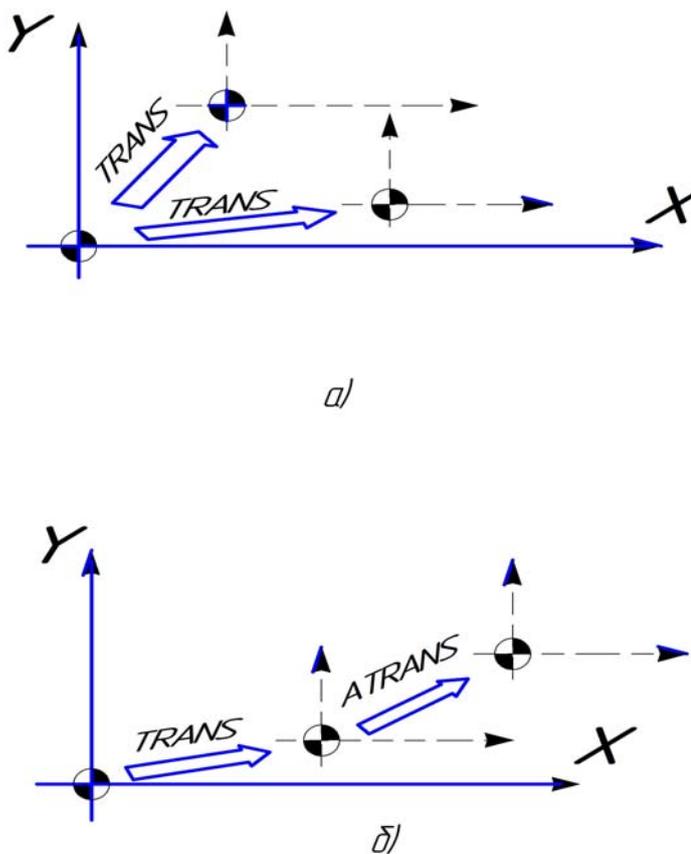


Рис. 3.52. Применение команды TRANS (а) и ATRANS (б)

сительно текущего устанавливаемого (G54-G599) или программируемого (TRANS/ATRANS) нуля. Сдвиг нуля, выполняемый в существующих фреймах (TRANS, ATRANS, ROT, AROT,...), программируется при помощи ATRANS.

Команда TRANS задает смещение системы координат всегда относительно фактического нуля G54 - G599, команда ATRANS – относительно последней запрограммированной точки нуля G54 - G599 и TRANS.

Команды ROT, AROT используются для вращения системы координат детали (см. рис. 3.51) вокруг каждой из геометрических осей X, Y или на угол RPL в выбранной рабочей плоскости G18. Это об-

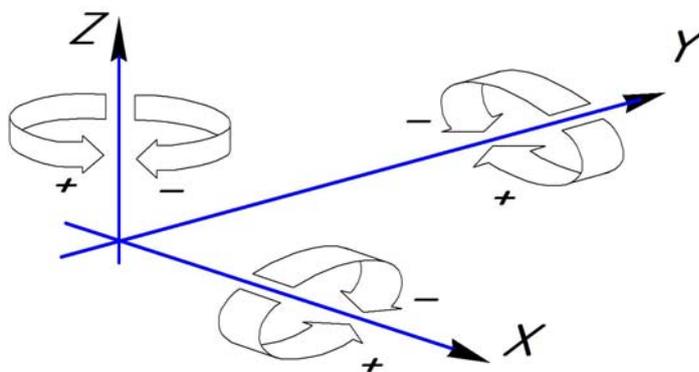


Рис. 3.53. Применение команды ROT

легчает программирование контуров, у которых основные оси наклонены по отношению к геометрическим осям.

Программирование поворота осей координат выполняют в формате кадра:

ROT/AROT X.. Z..

ROT - абсолютный поворот системы координат программы (рис. 3.53) относительно текущего сдвига нуля G54-G599. Команда ROT удаляет все предшествующие фреймы (TRANS, ATRANS, ROT, AROT, ...).

AROT - поворот относительно текущего устанавливаемого (C54-C599) или программируемого (TRANS/ATRANS) сдвига нуля (рис. 3.54).

Поворот, выполняемый в существующих фреймах TRANS, ATRANS, ROT, AROT и т. д., программируется при помощи AROT.

X, Z – поворот осей координат в пространстве в градусах; геометрическая ось, вокруг которой выполняется поворот.

RPL - поворот осей координат в плоскости, например G17, в градусах.

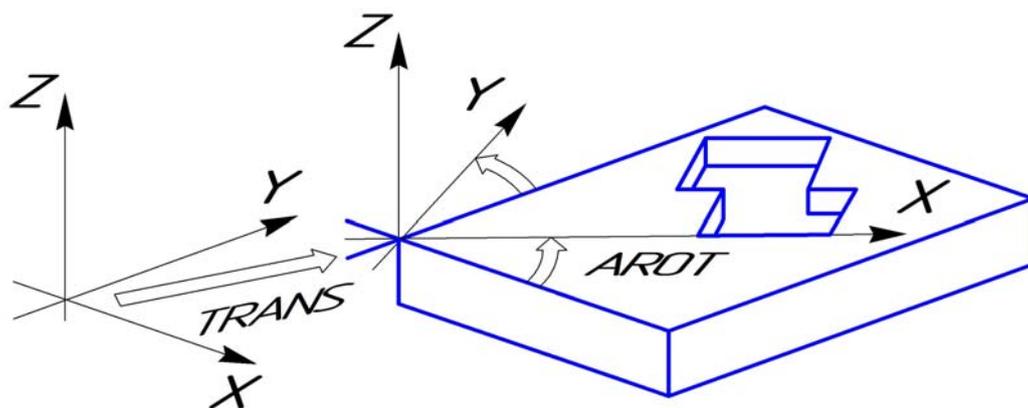


Рис. 3.54. Применение команды AROT

Пример

Для облегчения программирования указанного на рис. 3.54 контура систему координат следует повернуть на 30° , существующий запрограммированный сдвиг нуля следует сохранить. Фрагмент управляющей программы, реализующей поворот осей координат на 30° , представится в виде:

```
N.. G17
N.. TRANS
N..
N60 AROT Z30
или
N60 AROT RPL30
```

Масштабирование SCALE, ASCALE позволяет установить отдельный масштабный коэффициент для каждой оси X, Y, Z. При использовании разных масштабных коэффициентов для осей X, Y, Z возможно искажение контура.

Масштабирование SCALE, ASCALE программируют в следующем формате кадра:

```
SCALE/ASCALE X,. Y.. Z..
```

Если после команды SCALE/ASCALE программируется сдвиг нуля с ATRANS,

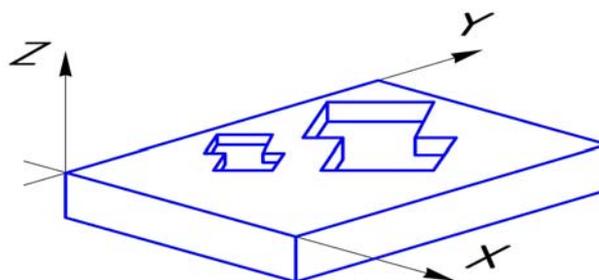


Рис. 3.55. Масштабирование контура

то масштабирование сохраняется после выполнения команды ATRANS.

SCALE - абсолютное масштабирование относительно текущего устанавливаемого сдвига нуля G54-G599 (рис. 3.55). SCALE удаляет все предварительно запрограммированные фреймы TRANS, ATRANS, ROT, AROT и др. Программирование SCALE без адреса оси отменяет масштабный коэффициент и все другие фреймы.

ASCALE - относительное масштабирование относительно текущей устанавливаемой (G54-G599) или запрограммированной (TRANS/ATrans) точки нуля. Масштабирование в существующих фреймах (TRANS, ATRANS, ROT, AROT, ...) программируется при помощи ASCALE.

X, Z - масштабный коэффициент для каждой оси.

Пример

Указанный на рис. 3.56 контур детали программируется в подпрограмме L10. Он используется дважды в различном размере и искажается.

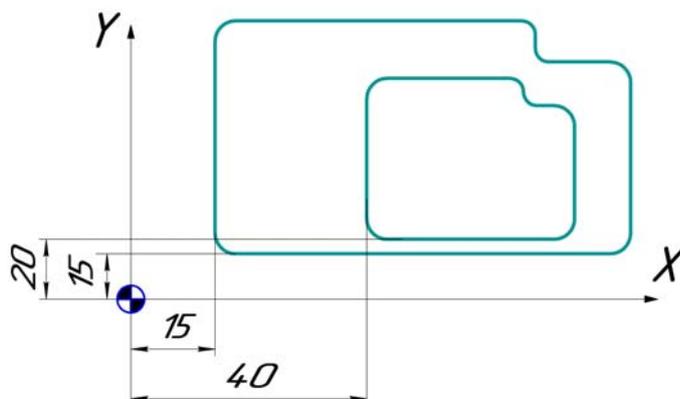


Рис. 3.56. Применение сдвига нуля с масштабированием контура

Фрагмент управляющей программы, реализующей сдвиг нуля и масштабирование контура, можно представить в виде:

N.. G54 - сдвиг нуля;

N35 TRANS X15 Y15 -

сдвиг нуля в абсолютном

программировании;

N40 L10 - программирование большого контура в подпрограмме L10;

N45 TRANS X40 Y20 - сдвиг нуля в абсолютном программировании;

N55 ASCALE X0.5 Y0.7 - масштабный коэффициент;

N60L10 программирование малого контура;

N75 SCALE отмена фреймов.

Зеркальное отражение MIRROR/AMIRROR реализует зеркальное отражение формы детали по осям X, Y, Z. Зеркальное отражение программируют в формате кадра:

MIRROR/AMIRROR X.. Y.. Z..

При зеркальном отражении контура направление круга G2/G3 и коррекция на радиус инструмента G41/G42 изменяются автоматически.

MIRROR - абсолютное зеркальное отражение (рис. 3.57) относительно текущего устанавливаемого сдвига нуля G54-G599, удаляет все предварительно запрограммированные фреймы (TRANS, ATRANS, ROT, AROT, ...). Программирование MIRROR без ад-

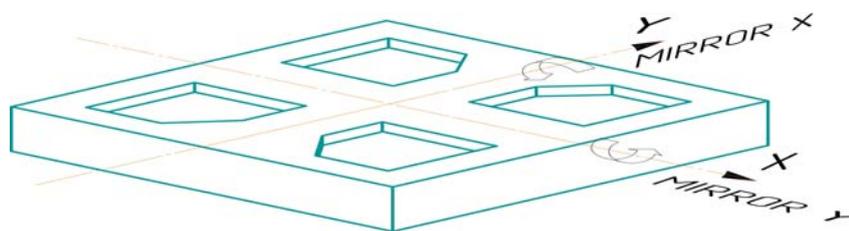


Рис. 3.57. Абсолютное зеркальное отражение контура

дреса оси отменяет зеркальное отражение и все другие фреймы.

AMIRROR - относительное зеркальное отражение относительно текущей устанавливаемой (G54-G599) или запрограммированной (TRANS/ATRANS) точки нуля. Зеркальное отражение в существующих фреймах (TRANS, ATRANS, ROT, AROT,...) программируется при помощи AMIRROR.

X, Y, Z - геометрические оси, относительно которых программируется зеркальное отражение. Значение координаты X, Y, Z определяет расстояние от оси зеркального отражения до геометрической оси, например, X0.

Пример

Контур 1 (рис. 3.58) программируется в подпрограмме L10. Последующие три контура 2 - 4 одной детали программируются зеркальным отражением контура 1. Ноль программы G54 является центром детали.

Фрагмент управляющей программы, реализующей зеркальное отражение контура 1 детали, представится в виде:

N.. G54 – сдвиг нуля;
 N40 L10 – программирование контура 1 в подпрограмме L10;
 N45 MIRROR X0 – зеркальное отражение по оси Y;
 N50 L10 – контур 2 вверху, слева;
 N55 AMIRROR Y0 – дополнительное зеркальное отражение по оси X;
 N60 L10 – контур 3 внизу, слева;
 N65 AMIRROR Y0 – дополнительное зеркальное отражение по оси X;
 N70 L10 – контур 4 внизу, справа;
 N75 MIRROR – зеркальное отражение выключено.

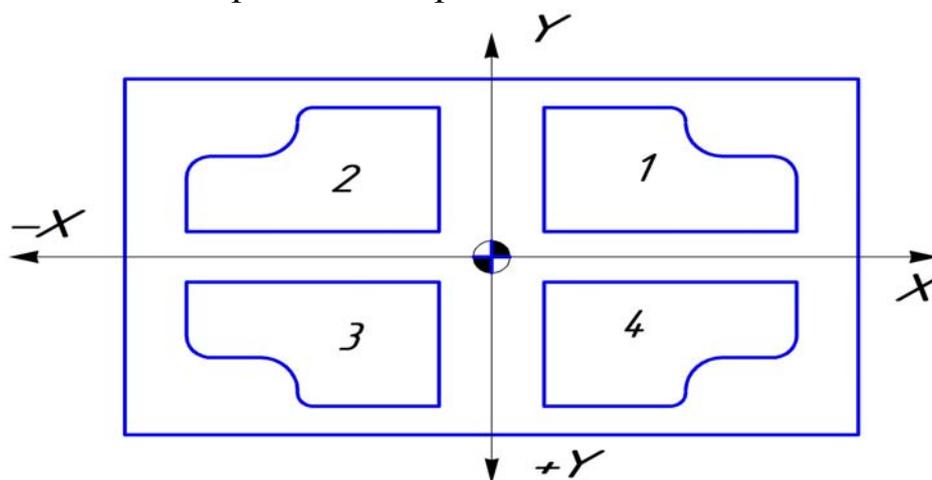


Рис. 3.58. Зеркальное отражение контура по осям X, Y

Возможные фреймы

- Базовые фреймы (базовый сдвиг) описывают трансформацию координат из базовой системы координат (BKS) в систему координат нуля (BOS) и имеют эффект, аналогичный управляемым фреймам.
- Регулируемые фреймы (G54...G599) являются сдвигами нуля, которые вызываются из любой программы NC командами G54 - G599. Значения сдвига предварительно устанавливаются оператором и сохраняются в ресурсах данных точки отсчета системы управления.
- Программируемые фреймы (TRANS, ROT,..) достоверны в фактической программе NC и относятся к регулируемым фреймам. Они используются для определения системы координат детали.

- Дополнительные фреймы - регулируемые точки нуля детали, запрограммированные через фреймы.

Используя указанные выше фреймы, соотношения позиций систем отсчета описываются при помощи арифметических правил.

Переменная фрейма \$P_PFRAME означает текущий программируемый фрейм.

Предварительно определяемые переменные фреймов \$P_IFRAME - переменная текущего устанавливаемого фрейма, которая устанавливает соотношение между системами координат детали и станка. \$P_IFRAME содержит сдвиг или вращение и т.д., определяется функцией G54.

Переменная фактического базового фрейма \$P_BFRAME устанавливает отношение между базовой системой координат и системой координат, которая определена оператором.

\$P_PFRAME - переменная фактического программируемого фрейма, определяющего отношение системой отсчета нуля детали и системой отсчета детали.

\$P_PFRAME содержит результирующий фрейм, который получается при программировании TRANS/ATRANS, ROT/AROT, SCALE/ASCALE, MIRROR/AMIRROR в программируемом фрейме.

\$P_ACTFRAME - фактический результирующий общий фрейм, состоящий из фактической переменной базового фрейма \$P_BFRAME, переменной регулируемого фрейма \$P_IFRAME и переменной программируемого фрейма \$P_PFRAME.

\$P_ACTFRAME описывает текущий достоверный нуль отсчета детали.

При помощи предварительно определяемых регулируемых фреймов, может быть установлено до 100 систем координат, которые могут использоваться в программе, например, как нулевые точки для различных устройств.

Запись переменной предварительно установленного фрейма \$P_UBFRJn] не активирует базовый фрейм, но активация происходит при первом выполнении инструкции G500, G54,... G599.

Регулируемые сдвиги нуля G54 - G599 могут считываться или записываться из программы обработки детали при помощи предварительно устанавливаемой переменной фрейма \$P_UIFR[n].

Пять регулируемых фреймов (с \$P_UIFR[0] по \$P_UIFR[4]) и/или пять синонимичных команд G - G500 (отключение), а также с G54 по G57 - устанавливаются как стандарт:

\$P_UIFR[0] соответствует G500

\$P_UIFR[1] соответствует G54

\$P_UIFR[2] соответствует G55

\$P_UIFR[3] соответствует G56

\$P_UIFR[4] соответствует G57.

3.15. Вызов подпрограмм, программирование функций шпинделя

Функции, выполняемые много раз, могут быть запрограммированы как подпрограммы. Вызов подпрограмм выполняется с использованием их имен. Параметр R может преобразовываться в подпрограммах.

Вызов подпрограммы в программе обработки, например: MiiL P1 LF;

MiiL – подпрограмма, P1 - количество циклов подпрограммы (максимальное число циклов равно 99). Конец подпрограммы задают командой M17.

например: N150 M17 LF

Приведенный кадр указывает на то, что выполнение программы происходило с использованием подпрограммы.

Вложение подпрограмм

Допускается 11-уровневое вложение подпрограмм. Поиск кадра может выполняться в одиннадцатом уровне вложения. Циклы также могут выступать как подпрограммы, это означает, например, что цикл сверления может быть вызван в 10-м уровне вложения подпрограммы.

Примечание: вызовы подпрограмм должны программироваться в отдельных кадрах УП.

Подпрограмма с механизмом SAVE

При помощи этой функции операционные данные, которые достоверны в данный момент для основной программы (например функции G или общий фрейм), сохраняются при вызове подпрограммы. При возврате к вызывающей программе автоматически восстанавливается прежнее состояние. Для этого необходимо установить дополнительную команду SAVE с определением с PROC.

Подпрограммы с переносом параметров

Начало программы, PROC. При определении условия выполнения программы словом PROC подпрограмма должна перенять параметры из основной программы.

Команда M17, RET означает конец программы и является также указанием возврата в основную вызывающую программу. Словарное слово RET указывает на конец подпрограммы без прерывания режима контурной обработки и без функционального вывода.

Подпрограмма с повтором программы, P

Если требуется выполнение подпрограммы последовательно несколько раз, можно запрограммировать нужное количество повторов в кадре вызова подпрограммы в адресе P. Параметры переносятся только при вызове программы или во время первого прохода. Для повторов параметры остаются неизменными.

Модальная подпрограмма MCALL

При выполнении программы обработки одновременно может применяться только одна MCALL. Перенос параметров выполняется только один раз при вызове MCALL. При использовании этой функции подпрограмма автоматически вызывается и выполняется после каждого кадра движения. Таким образом, можно автоматизировать вызов подпрограммы, которая должна быть выполнена в различных позициях на детали, например для шаблонов сверления.

Пример

N10 G0 X0 Y0

N20 MCALL L70

N30 X10 Y10

N40 X50 Y50

Отмена модального вызова подпрограмм возможна при помощи MCALL без вызова подпрограммы или программированием нового модального вызова подпрограммы для другой подпрограммы.

Безусловные программируемые переходы характеризуются следующим форматом:

Метка:

GOTOB LABEL

или

GOTOF LABEL

Метка:

GOTOB - указание перехода с назначением перехода назад (к началу программы);

GOTOF - указание перехода с назначением перехода вперед (к концу программы)

LABEL - назначение перехода (метка в пределах программы).

Примечание:

программируемые переходы должны указываться в отдельных кадрах управляющей программы.

В программах, работающих в стандартном режиме (основные программы, подпрограммы, циклы,..), может быть изменен порядок выполнения, при помощи программируемых переходов. Адреса назначения обозначаются в программе при помощи GOTOF и/или GOTOB. Выполнение программы продолжается с указанием следующего сразу после адреса назначения.

Условные программируемые переходы характеризуются следующим форматом:

Метка:

IF выражение GOTOB LABEL

или

IF выражение GOTOF LABEL

LABEL:

IF – условие,

GOTOB - указание перехода с назначением перехода назад (к началу программы),

GOTOF - указание перехода с назначением перехода вперед (к концу программы),

LABEL - назначение (метка в пределах программы),

LABEL - назначение перехода.

Условия перехода могут формулироваться при помощи оператора IF.

Переход к запрограммированному пункту назначения выполняется, только если выполнено условие перехода.

Примечание:

текст сообщения может содержать до 124 символов и отображается в двух строчках (2x62 символа). Содержание переменной может также быть отображено в тексте сообщения.

Программирование сообщений, MSG

Сообщения программируются для обеспечения пользователя информацией о текущей ситуации в процессе обработки. Сообщение генерируется в программе NC установкой ключевого слова "MSG" в круглых скобках (" ") с последующим текстом в кавычках.

Сброс сообщения выполняется программированием MSG().

Пример:

N10 MSG ("Roughing of contour")

N20 X... Y...

N ...

N90 MSG ()

Наряду с сообщениями в программе могут быть установлены сигналы тревоги. Сигналы тревоги отображаются в отдельном поле на экране дисплея и ассоциируются с соответствующей реакцией системы управления в зависимости от категории сигнала тревоги.

Сигналы тревоги программируются ключевым словом SETAL с последующим номером сигнала тревоги в круглых скобках. Сигнал тревоги всегда программируется в отдельных кадрах.

Пример:

N100 SETAL (65000);

Установка сигнала тревоги 65000.

Включение шпинделя с использованием M3/M4, скорость S, останов шпинделя STOP M5, позиционирование шпинделя SPOS

Для определения направления вращения шпинделя следует по-

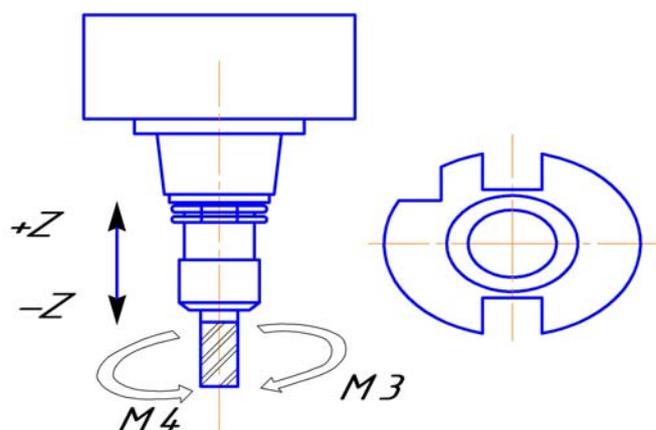


Рис. 3.59. Направления вращения шпинделя фрезерного станка с ЧПУ

смотреть на шпиндель со стороны положительного направления оси Z+ (рис. 3.59), при этом команде M3 соответствует вращение по часовой стрелке (правостороннее вращение), команде M4 - против часовой стрелки (левостороннее вращение), M5 - останов шпинделя.

Программирование скорости вращения шпинделя осуществляется адресом S.

Пример:

N20 M3 S2000.

Информация, записанная в кадре N20, означает: включить вращение шпинделя по часовой стрелке (вправо) с частотой 2000 мин⁻¹.

Позиционирование шпинделя осуществляют с помощью команды SPOS. При включении команды SPOS выполняется останов фрезерного шпинделя в запрограммированной позиции.

Формат: SPOS=... [].

Для фрезерования контура, расположенного на цилиндрической поверхности, ось A шпинделя и режущий инструмент должны двигаться в определенной взаимосвязи друг относительно друга. Поэтому ось A делительного устройства всегда является осью кругового вращения шпинделя, управление и программирование которой может выполняться как для линейной оси. Определение позиции шпинделя относительно оси A всегда выполняется в градусах.

Например:

G0 A90.

Примечание:

По причине текущей трансформации или отмены трансформации сдвиг нуля и предшествующие трансформации (например Transmit) отменяются и должны быть установлены вновь.

Для фрезерования контура на цилиндрической поверхности детали (рис. 3.60) используется функция **TRACYL** (трансформация цилиндрического изгиба), которая обеспечивает обработку следующих поверхностей:

- продольные канавки на цилиндрических объектах,
- поперечные канавки на цилиндрических объектах,
- любые другие канавки на цилиндрических объектах.

Форма канавки программируется относительно поверхности текущего уровня обработки цилиндра. Выбор: TRACYL(), отмена: TRAF OFF.

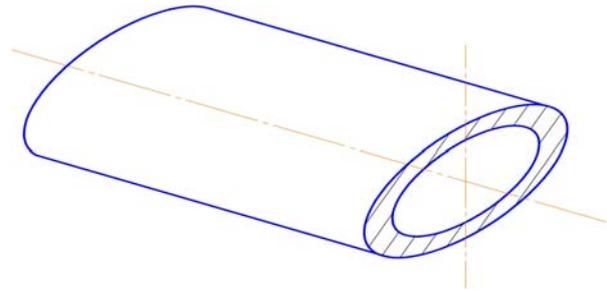


Рис. 3.60. Контур, обрабатываемый с использованием команды TRACYL

Пример использования функции TRACYL

```
G54  
TRANS X64.5  
T1 D1 M6  
S2000 F200 M3 M8  
G0 X10 Y0 Z20  
TRACYL(45)  
G55  
TRANS X61.5  
M11  
G0 Y0  
G1 X0 G42  
G3 X-1.591 Y-7.871 CR20  
G1 X-9.952 Y-27.508  
G2 X-1.592 Y-43.142 CR20  
G1 X-1.591 Y-62.833
```

```

G3 X-1.591 Y-78.467 CR20
G1 X-9.952 Y-98.158
G2 X-9.952 Y-113.483 CR20
G1 X-1.591 Y-133.483
G3 X-9.952 Y-113.483 CR20
G1 X10 G40
TRAFOFF
M10
G54
TRANS X64.5
G0 X60 Y60 Z60
M30.

```

Оптимизация скорости подачи режущего инструмента осуществляется командами CFTCP, CFC, CFIN.

CFC - базовый статус (рис. 3.61): при активной коррекции на радиус инструмента G41/42 подача режущего инструмента достоверна для запрограммированного контура. Характеристики подачи могут быть определены при помощи следующих команд:

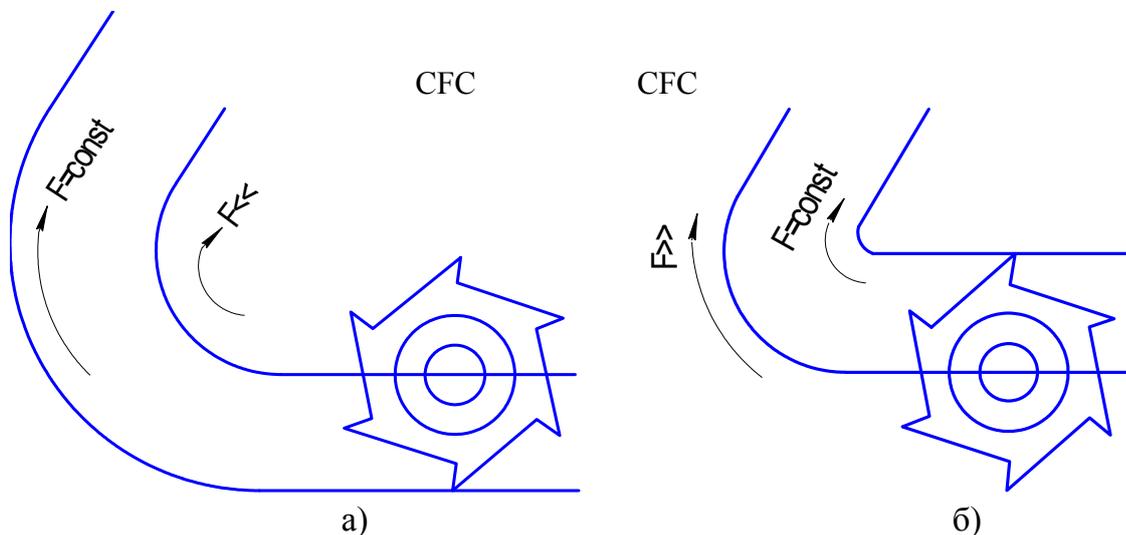


Рис. 3.61. Изменение скорости подачи фрезы на эквидистанте при обработке наружного (а), внутреннего (б) контуров

CFTCP - постоянная скорость на вершине режущего инструмента, (форма контура не влияет на скорость подачи в центре инструмента,

применение: инструмент выполняет резание по всему диаметру, например при черновой обработке);

CFC - постоянная скорость на контуре (базовая установка, обеспечивается постоянная скорость подачи режущего инструмента на изгибе контура, несмотря на то что скорость подачи центра фрезы увеличивается, когда инструмент расположен снаружи изгиба и уменьшается, когда он находится внутри изгиба; применяется, если инструмент выполняет резание только по окружности, например чистовая обработка). Базовая установка CFC может привести к нежелательной высокой или низкой скорости подачи на изгибах детали;

CFIN - постоянная скорость на внутреннем радиусе (скорость подачи инструмента на эквидистанте уменьшается, если инструмент расположен внутри изгиба; если он расположен снаружи изгиба, то скорость подачи центра инструмента не увеличивается, что важно при обработке полностью внедряемым в металл заготовки инструментом, чистовой обработке торца и т.д.).

3.16. Характеристика M-команд

Команда **M00** - **программируемый останов** выполняет останов процесса обработки детали по управляющей программе. Движение шпиндельной бабки и подача СОЖ отключаются. Дверь станка может быть открыта, при этом сигнал тревоги не подается.

При нажатии кнопки "NC START" можно продолжить выполнение программы. При этом привод главного движения будет включен со всеми значениями, введенными ранее.

Команда **M01** - **программируемый останов по дополнительному заданию** работает как M00, но только в том случае, если функция "PROGRAMMED STOP YES" была включена экранной клавишей в меню "PROGRAM control".

При нажатии кнопки "NC START"  выполнение программы может быть продолжено. При этом привод главного движения будет включен со всеми значениями, достоверными прежде.

Команда **M02** - **конец основной программы** работает как M30. Смысловое значение команды M02 приведено ниже:

M02=3 - приводные инструменты ВКЛ по часовой стрелке,
M02=4 - приводные инструменты ВКЛ против часовой стрелки,
M02=5 - приводные инструменты ВЫКЛ.

Команда M03 - фрезерный шпиндель ON по часовой стрелке.

Шпиндель будет включен, если запрограммирована скорость резания, закрыты двери станка и правильно выполнен зажим детали.

M03 должна использоваться для всех правосторонних резцов или перевернутых инструментов, если зажим режущего инструмента выполняется за центром вращения.

Команда M04 - фрезерный шпиндель ON против часовой стрелки.

Шпиндель фрезерного станка будет включен, если запрограммирована скорость резания, закрыты двери станка и правильно выполнено закрепление детали в станочном приспособлении.

Команда M04 используется для всех левосторонних резцов или нормально зажатых инструментов, если инструмент зажимается за центром вращения.

Команда M05 - **фрезерный шпиндель OFF**, выполняется электрическое торможение главного привода станка. В конце управляющей программы фрезерный шпиндель выключается автоматически.

Команда M06 означает смену режущего инструмента.

M-адрес означает код для смены инструментов.

Команда M08 - **подача СОЖ ON**, используется только для станков, оснащенных системой подачи смазочно-охлаждающей жидкости. Подача СОЖ включается.

Команда M09 - **подача СОЖ OFF** только для станков с системой охлаждения. Подача СОЖ выключается.

Команда M10 - **зажим делительного устройства ВКЛ**, активация зажима делительного устройства.

Команда M11 - отмена зажима делительного устройства.

Команда M17 - **конец подпрограммы**, записывается в последнем кадре подпрограммы. Она может стоять отдельно в этом кадре или с другими функциями. Вызов подпрограммы и команда M17 не должны находиться в одном кадре.

Команда **M25** - **открывание зажимного приспособления (станочных тисков)**. Зажимное приспособление/тиски открываются.

Команда **M26** - **закрывание зажимного приспособления/станочных тисков**. Зажимное приспособление/тиски закрываются.

Команда **M27** - **поворот делительного устройства**, действует только при наличии опции делительного устройства. Выполняется поворот делительного устройства на один шаг (угол шага регулируется механически).

Команда **M30** - **конец основной программы**. При активации M30 все приводы будут выключены и система управления сбрасывается на начало программы. Кроме того, показание счетчика деталей увеличивается на 1.

Команда **M71** - **продув ВКЛ**, включается устройство продува, команда действует только при наличии в станке с ЧПУ устройства продува.

Команда **M72** - **продув ВЫКЛ**, устройство продува выключается, команда действует только при наличии в станке с ЧПУ устройства продува.

При программировании M - команд, которые не могут быть выполнены станком, соответствующая M-команда игнорируется, а отработка программы продолжается. Это может привести к столкновениям исполнительных органов станка (например при отсутствии манипуляций с заготовкой).

3.17. Свободное программирование контура

Свободное программирование обработки контура - это инструментальная поддержка для редактора. Встроенный в станок компьютер вычисляет отсутствующие параметры контура, когда можно их определить по данным других параметров. Кроме того, доступны контурные переходы, такие как фаска или закругление.

Построение элементов контура (рис. 3.62) выполняем в операционной зоне «Программа». Выбираем уже существующую программу и/или открываем новую управляющую программу обработки при по-

мощи экранных клавиш «Workpiece» и «Part programs». Открываем редактор профиля при помощи клавиш «Support» и «New contour» и/или «Recompile».

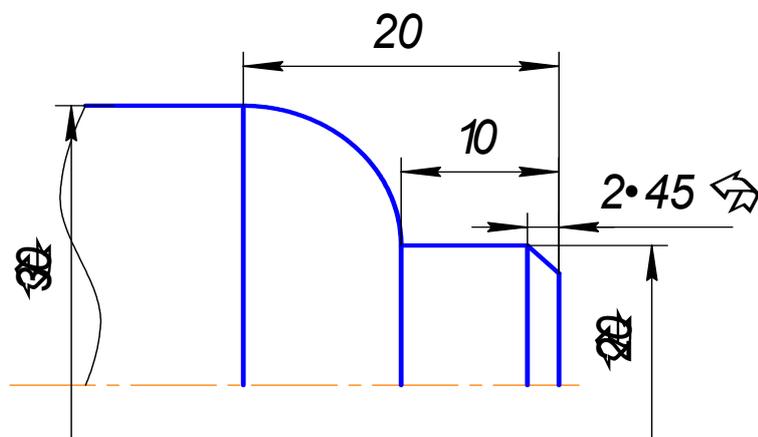


Рис. 3.62. Контур детали для свободного программирования

Начальная точка		
Z	0.000	abs
X	0.000	abs
Плоскость:	G18	<input type="checkbox"/>
Ввод разм.попереч.оси:	DIAMON Диаметр	<input type="checkbox"/>
Нач. точка	G0	<input type="checkbox"/>
Произвольный ввод		

Рис. 3.63. Поле для ввода исходной точки контура

ра -DIAMON (диаметр) -DIAMOFF (радиус) -DIAM90 (диаметр/радиус),

• указывают команду на подвод режущего инструмента к исходной точке: G0/G1.

В процессе свободного программирования контура необходимо описать контур, а для этого сначала ввести исходную точку (рис. 3.63). Описание контура выполняют в окне дисплея (рис. 3.64).

При переходе к следующему элементу можно выбрать фаску или закругление. Описание контура принимается в редакторе при нажатии экранной клавиши «accept element».

Определение исходной точки:

- программируют координаты X и Z исходной точки в абсолютных значениях,
- выбирают рабочую плоскость, то есть плоскость отработки управляющей программы:

• G17/G18/G19 указывают размеры поверхностей контура

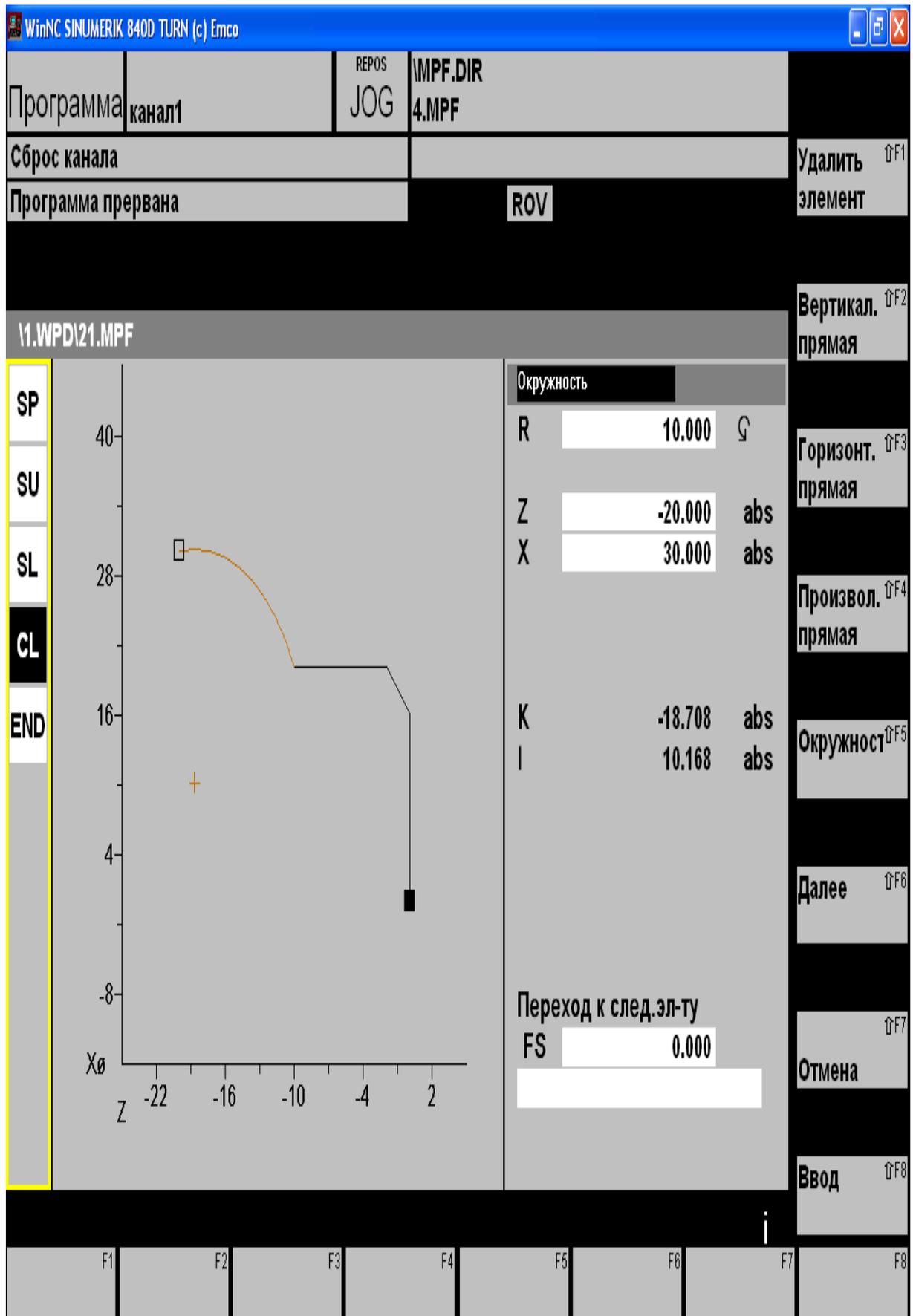


Рис. 3.64. Окно дисплея для свободного программирования контура

Запрограммированные значения параметров принимаются редактором при нажатии экранной клавиши «аспект element». Можно выбрать нужную опцию из предложенных опций нажатием клавиши пробела или экранной клавиши «Alternative». Экранная клавиша

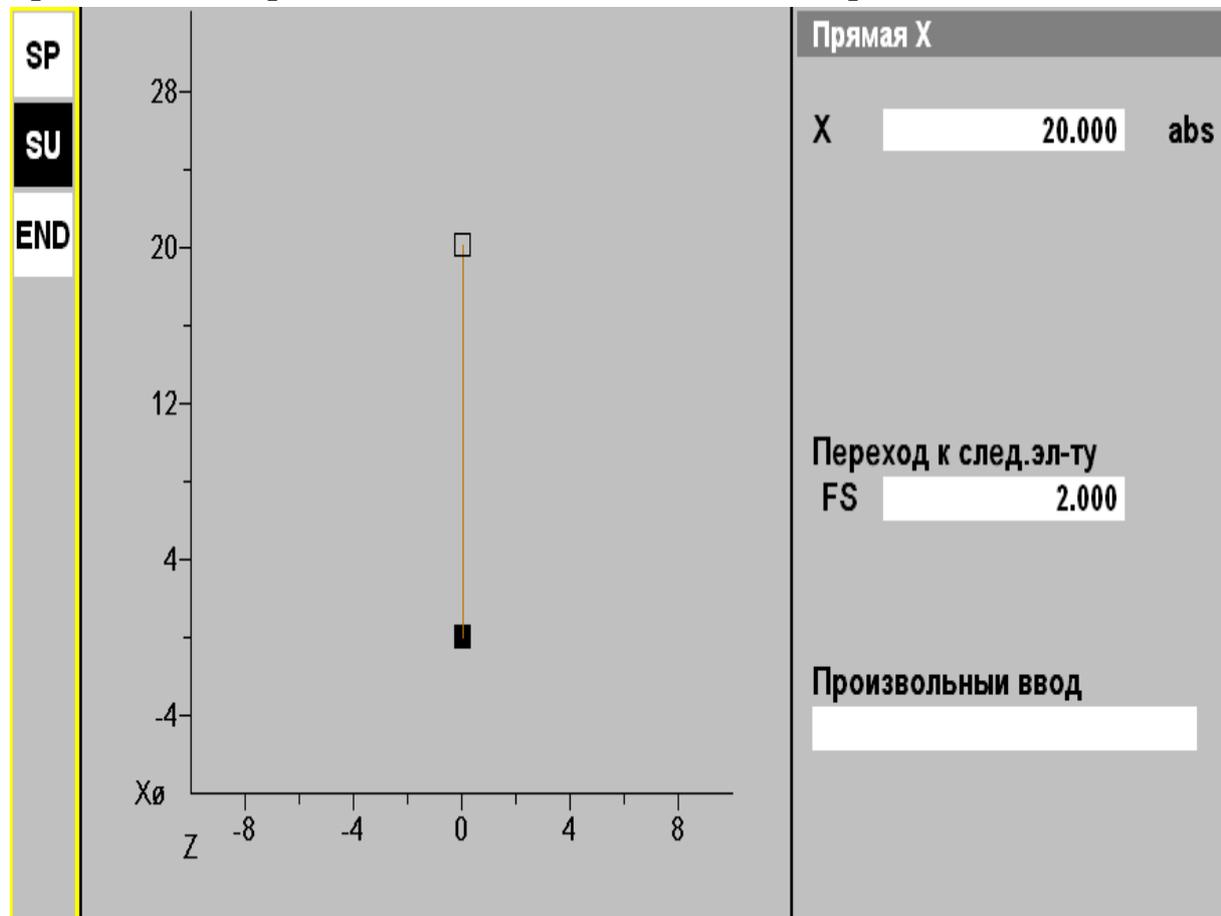


Рис. 3.65. Описание контура отрезком прямой вертикальной линии

«Straight vertical» позволяет выбрать вертикальную прямую с соответствующими координатами (рис. 3.65):

Конечная точка X	20.000
Фаска/радиус/выточка FS	2.000

Другие параметры для описания контура открываются экранной клавишей «All parameters». Экранная клавиша «Straight horizontal» позволяет выбрать горизонтальную прямую с соответствующими координатами (рис. 3.66):

Конечная точка X	-10.000
Фаска/радиус/выточка FS	0.000

Описание контура принимается в редакторе при нажатии экранной клавиши «асерт элемент». Экранная клавиша «Circle» позволяет выбрать окружность с соответствующими параметрами (рис. 3.67) описания контура:

Радиус	10
Конечная точка Z	-20.000
Конечная точка X	30
Переход к следующему элементу	0.000

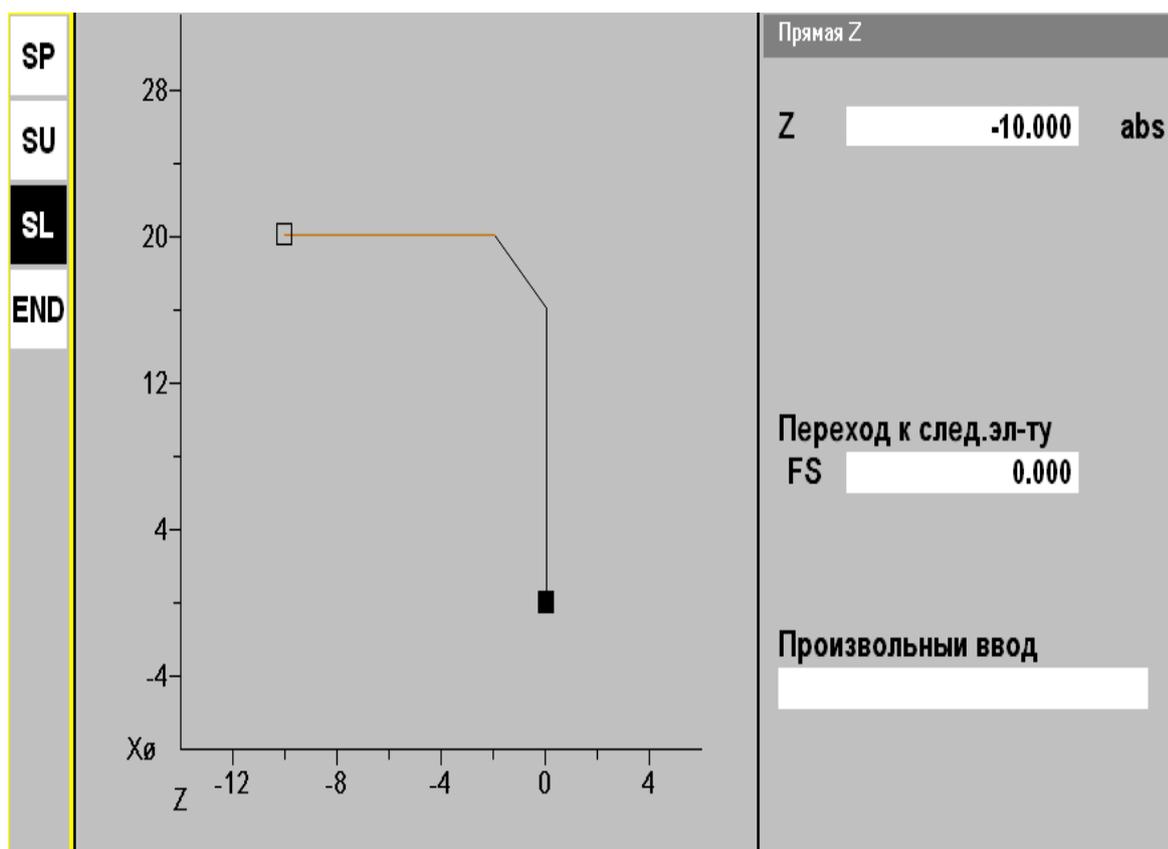


Рис. 3.66. Описание контура фаской и отрезком горизонтальной прямой линии

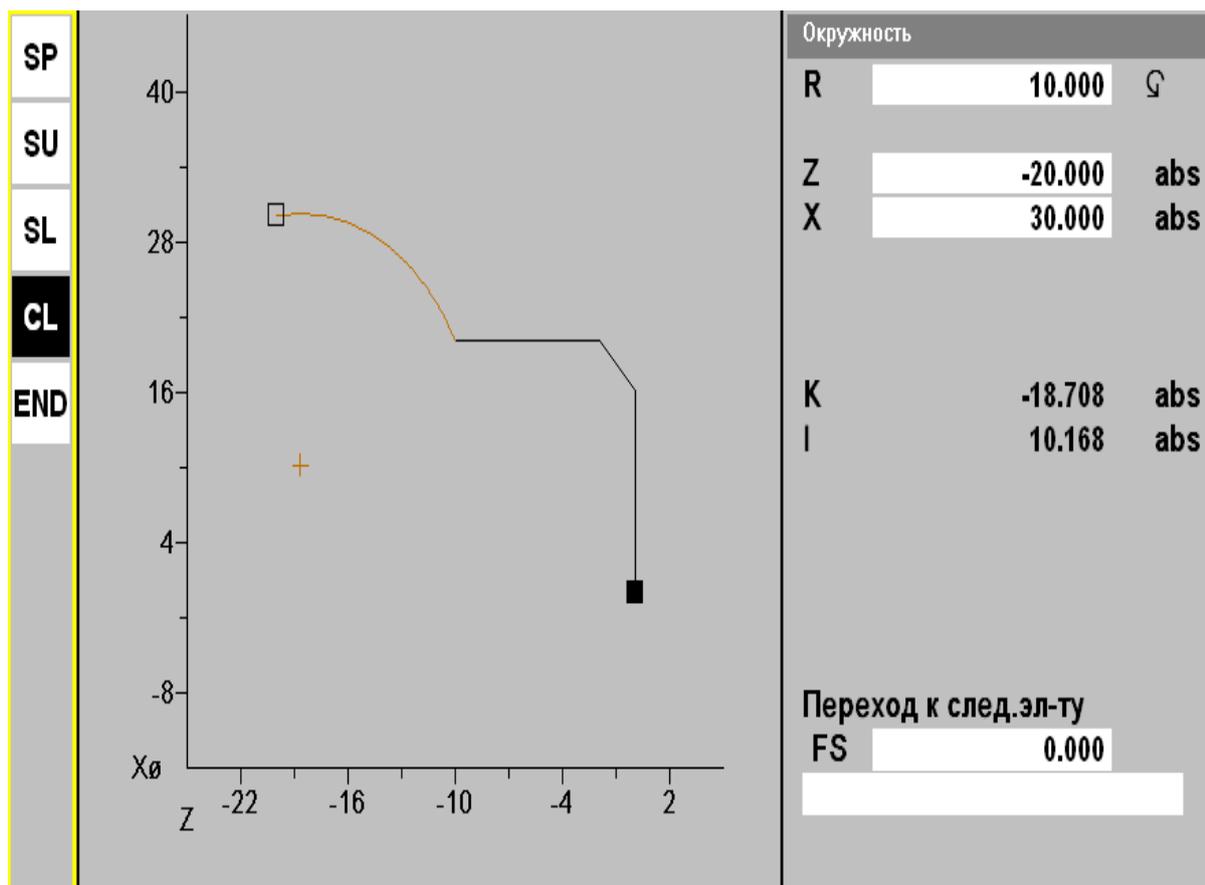


Рис. 3.67. Описание элемента контура в виде окружности

Прямая ZX

Z	<input type="text"/>	abs
X	<input type="text"/>	abs
$\alpha 1$	<input type="text"/>	%<SY
Переход к след.эл-ту		
FS	<input type="text" value="0.000"/>	
Произвольный ввод		
<input type="text"/>		

Рис. 3.68. Поле для ввода отрезка наклонной прямой линии

Переход из режима свободного программирования контура в программу редактирования выполняется экранной клавишей «Асерт». Уже существующий контур может быть изменен экранной клавишей «Recompile». При выполнении данной процедуры курсор должен находиться в пределах программируемого контура.

Используя экранную клавишу «Straight any», можно программировать прямые линии, наклонные к оси X или Z. Отрезок наклонной прямой линии программируется углом ее на-

клона и координатой Z конечной точки или координатами X и Z конечной точки (рис. 3.68). Если не запрограммированы поля ввода параметров, система управления предполагает, что такие значения неизвестны и пытается вычислить их по другим параметрам.

Экранная клавиша «Continue». Экранные клавиши «Pole» и «Close contour» находятся на вкладке «Continue». Экранная клавиша «Pole» не активна. Экранная клавиша «Close contour» используется для закрытия контура.

3.18. Коррекция на режущий инструмент и его размерная привязка

Программирование режущего инструмента выполняют с использованием адресов T и D . T .. номер инструмента в магазине, D ..номер коррекции на инструмент. Для каждого номера инструмента можно вводить до 9 номеров коррекций D .

Система управления SINUMERIK 810D/840D Milling описывает данные коррекций D как кромку, но это не отдельные кромки инструмента (зубья), а данные коррекции, присвоенные конкретному инструменту. В зависимости от использования в программе режущий инструмент может вызываться, например, с использованием $T1 D1$ или $T1 D2$. Команда $T..D..$ активирует коррекцию на инструмент.

Данные коррекции на инструмент (длина инструмента, радиус инструмента) считываются из регистра данных инструментов. Возможные номера инструментов $T1..32000$, $D1..9$.

Смена инструмента программируется командой M6. По команде $M6$ автоматически выполняются все необходимые движения для смены инструмента.

Для исключения столкновений инструмент следует сначала поднять (свободное перемещение) над заготовкой.

Пример:

$N50 G0 X200 Y120 Z80;$

$N55 T4 D1$ - подвод к позиции смены инструмента;

$N60 M6$ - вызов инструмента и коррекции;

$N65$ - смена инструмента.

Коррекция на длину инструмента L1 (рис. 3.69) эффективна в вертикальной (основной) плоскости (G17-G19).

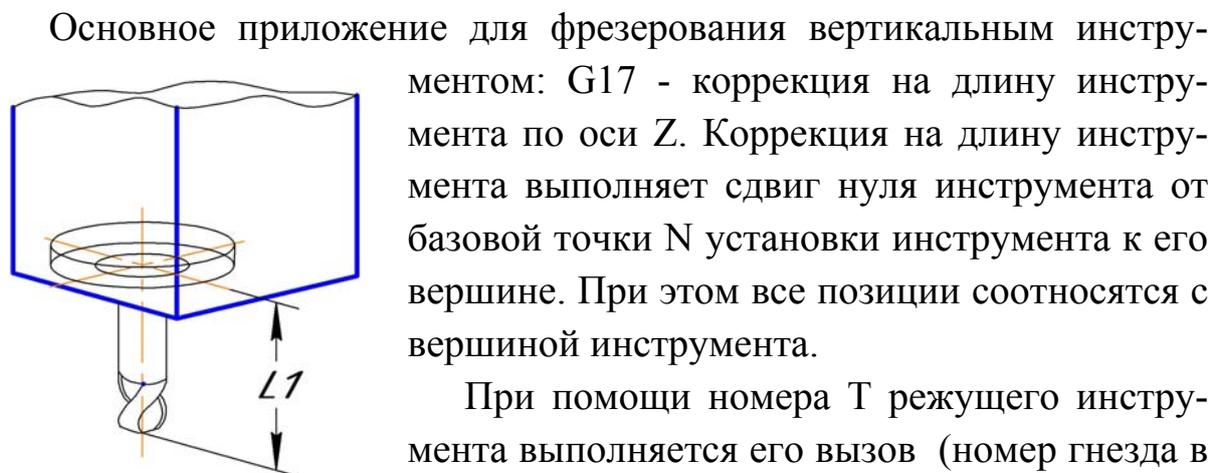


Рис. 3.69. Коррекция на длину фрезы

Основное приложение для фрезерования вертикальным инструментом: G17 - коррекция на длину инструмента по оси Z. Коррекция на длину инструмента выполняет сдвиг нуля инструмента от базовой точки N установки инструмента к его вершине. При этом все позиции соотносятся с вершиной инструмента.

При помощи номера T режущего инструмента выполняется его вызов (номер гнезда в револьверной головке или магазине инструментов).

Режущий инструмент может иметь несколько номеров D коррекций (например левый и правый угол резца).

Количество режущих кромок равно количеству номеров D для инструмента. Кроме этого каждый режущий инструмент имеет номер, характеризующий его тип. Геометрия инструмента определяется его размерами и износом, который характеризует отклонение размеров от первоначального геометрического значения. База инструмента определяется размерами инструментальной оправки, в которой он закреплен. Сумма геометрии, износа и базовой коррекции является эффективной общей коррекцией на режущий инструмент.

Экранные клавиши выполняют следующие функции (рис. 3.70):

T по +, T по - переход к следующему или предшествующему номеру инструмента.

D по +, D по - переключение на следующий или предшествующий номер коррекции на инструмент.

При нажатии экранной клавиши DELETE происходит удаление инструмента из списка или удаление коррекции для текущего инструмента. Вертикальный ряд экранных клавиш отображает экранные клавиши DELETE CUT, EDGE, DELETE TOOL и ABORT.

При нажатии экранной клавиши Delete tool происходит удаление текущего инструмента и его режущих кромок (коррекций D).

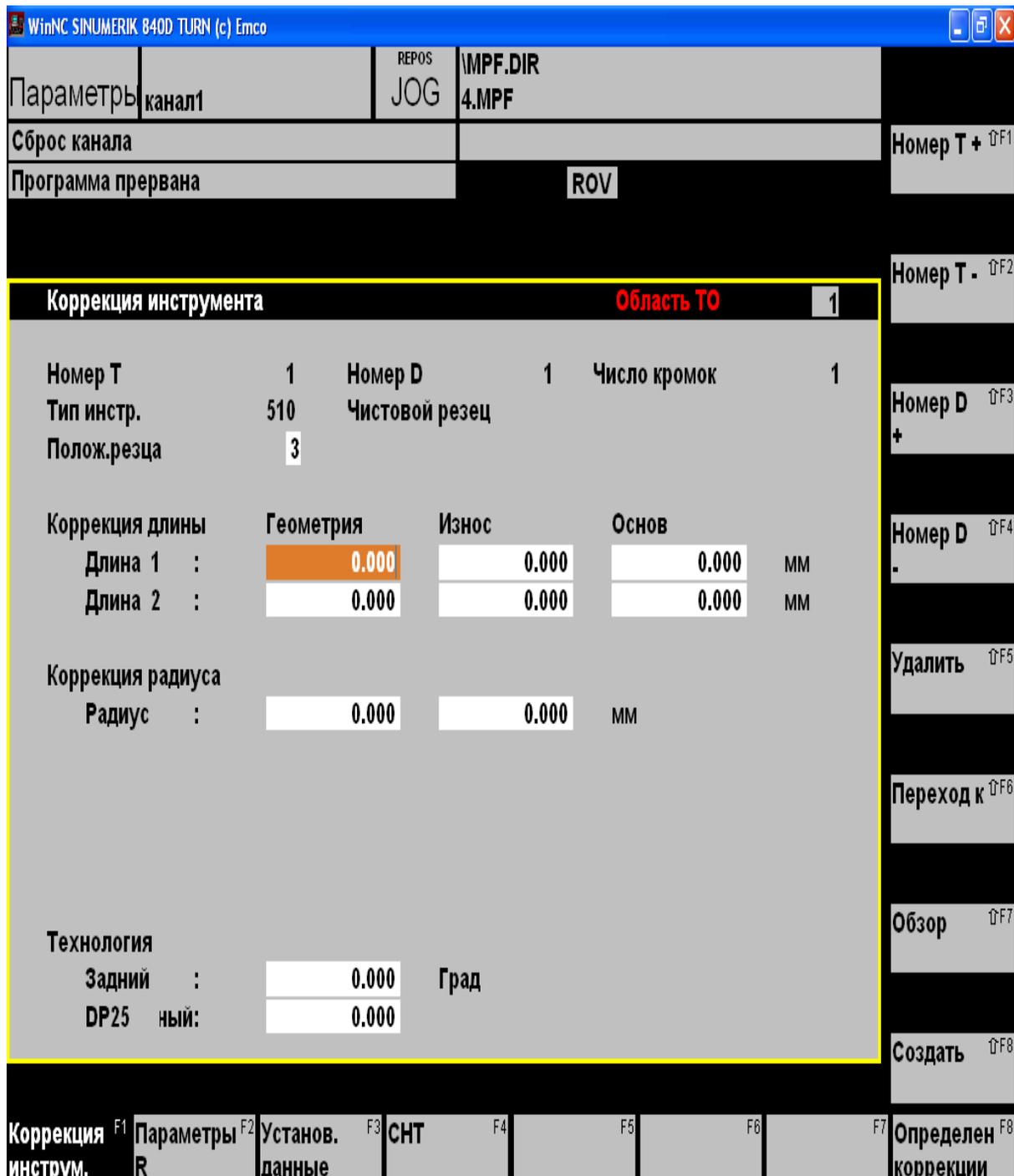


Рис. 3.70. Окно для ввода коррекции на режущий инструмент

Нажатием клавиши Delete cutting edge всегда удаляется режущая кромка с высшим номером D. Номера D должны быть последовательны, без перерывов, например, инструмент с четырьмя режущими кромками должен иметь коррекции D1, D2, D3, D4 и только D4 может

быть удален однократным нажатием клавиши Delete cutting edge. D1 не может быть удалена, для этого следует удалить весь инструмент, так как инструмент должен иметь как минимум одну режущую кромку.

Go to - прямой выбор инструмента. Для прямого выбора следует нажать экранную клавишу GO TO. В вертикальном ряду экранных клавиш отображается выбор экранных клавиш и окно ввода около них.

Preselected tool – номер инструмента, выбранный в УП CNC (во время или после отработки программы).

Active tool – инструмент, который поворачивается в рабочую зону в револьверной головке или магазине инструментов.

Input field - поле, в которое можно ввести необходимый номер T и D и принять при помощи нажатия клавиши ОК изменения в инструменте.

Abort - выход без выбора инструмента.

Overviews - отображение списка инструментов. Расположить курсор на требуемом инструменте и подтвердить выбор клавишей ОК.

New - установка нового инструмента или новой коррекции (режущей кромки).

New tool edge - введенные данные коррекции будут добавлены к имеющемуся инструменту. Ввести номер T, к которому должна быть добавлена новая режущая кромка (предполагается текущий инструмент) и тип инструмента для новой режущей кромки.

Подтвердить ввод нажатием клавиши . Экранная клавиша ОК устанавливает новую режущую кромку, ABORT - выход без сохранения новой режущей кромки.

New tool - новый инструмент будет добавлен к списку инструментов.

Ввести номер T и тип инструмента для нового инструмента.

Подтвердить ввод нажатием клавиши . Экранная клавиша ОК устанавливает новый инструмент, ABORT - выход без сохранения нового инструмента.

При вводе коррекции на режущий инструмент необходимо учитывать **направление коррекции**, которое зависит от активной плоскости G17 - G19. Активная плоскость G17 применяется в основном для вертикально-фрезерных станков с ЧПУ. Металлорежущий инструмент закрепляют в шпинделе с вертикальной осью Z. В этом случае длина L1 (рис. 3.71) вершины режущих зубьев фрезы расположены относительно базовой точки инструмента по оси Z. Радиусы R вершины режущих зубьев фрезы расположены в плоскости XY. Изложенная выше рекомендация описывает обычный случай использования активной плоскости XY (команда G17), если не указано другого варианта использования фрезерного оборудования с ЧПУ.

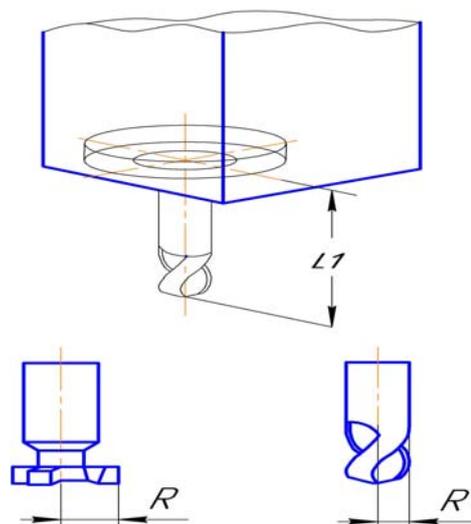


Рис. 3.71. Параметры коррекции на режущий инструмент для рабочей плоскости XY

Активная плоскость Z X (рис. 3.72, команда G18) в основном применяется для горизонтально-фрезерных станков с ЧПУ или при механической обработке деталей с использованием угловой головки, оснащенной зубчатым редуктором.

В этом случае длина режущего инструмента измеряется в направлении оси Y, а радиус R – в активной плоскости ZX (команда G18).

Обработка заготовки с использованием активной плоскости YZ (см. рис. 3.72, команда G19) возможна при наличии угловой головки с зубчатым редуктором. В этом случае длина режущего инструмента должна измеряться в направлении оси X, а радиус R – в плоскости YZ.

При вводе коррекции на режущий инструмент необходимо определить численные значения коррекции для фрезерных и сверлильных инструментов. Для фрезерных инструментов необходимо указать длину L и радиус R.

Для сверл следует ввести радиус $R = 0$, так как сверла не выполняют процесса резания при движении заготовки по окружности. В по-

ле экрана дисплея следует ввести значение длины, равное нулю. Все другие вводы системой числового программного управления игнорируются.

Значения коррекций, необходимые для режущих инструментов угловой головки с зубчатым редуктором: для инструментов угловой головки с зубчатым редуктором используется команда G18 или G19; команда G18 соответствует положению режущего инструмента, при котором его ось параллельна оси Y станка (вертикально передней поверхности станка); длина 1 (L1) измеряется по оси Y, длина 2 – по

оси Z, а длина 3 по оси –X; радиус R расположен в плоскости ZX.

Для угловой головки с зубчатым редуктором рекомендуется устанавливать всегда одинаковые размеры головки, как базовое значение, а размеры фрез - как геометрические значения (см. рис. 3.72, размеры *L1Basis*, *L2 Basis* и *L1Geometrie*).

При этом длина инструмента L1 (геометрическая) может быть измерена с использованием устройства для измерения инструментов, а точка N используется как базовая точка установки инструмента. Базовые значения размеров указывают рас-

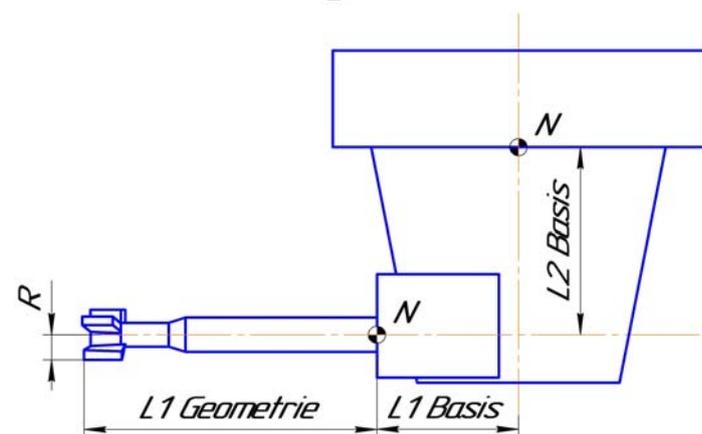


Рис. 3.72. Положение активных плоскостей G18, G19 и базовые размеры угловой головки
стояние от точки N до точки N в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Для расширения технологических возможностей современных фрезерных станков с ЧПУ используют **угловую головку с зубчатым редуктором и боковой коррекцией**.

Когда оси режущего инструмента и главного шпинделя станка не имеют точки пересечения, тогда инструмент должен иметь боковую коррекцию. Боковая коррекция должна быть введена дополнительно как базовое значение Length3 по оси X (для G18) или по оси Y (для G19). Для угловых головок с зубчатым редуктором без боковой коррекции для параметра Length следует ввести значение, равное нулю.

Размерная привязка режущего инструмента к системе координат станка осуществляется в результате выполнения нижеследующих процедур.

1. Установить измерительный модуль или циферблатное измерительное устройство на столе фрезерного станка.

2. Выбрать режим JOG. Переместить торец шпинделя к измерительному модулю/циферблатному измерительному устройству 1 (рис. 3.73). Создать незначительный натяг и установить циферблатное устройство на 0.

3. Вызвать регистр данных инструмента. Операционная зона, Parameter - Tool Offset.

4. Нажать экранную клавишу "Determine compensation" (определить коррекцию).

5. В поле "Reference" установить ось на Z.

6. Снять позицию торца шпинделя при помощи клавиши ОК. Базовое значение (позиция торца шпинделя) отображается в Length. Ввести фактическую позицию в поле Ref.Value.

7. Ввести Length 1 в поле «Reference dimensions» как «базовое значение».

8. Вставить инструмент для измерения.

9. Переместить вершину инструмента на измерительный модуль/циферблатное измерительное устройство. Курсор расположен на Length 1 (Т-номер в системе управления).

10. Нажать «Determine compensation» (определить коррекцию). Выбрать ось Z и нажать ОК.

11. Выбрать следующий T- номер и повторить шаги, начиная с шага 9 до выполнения размерной привязки всех инструментов.

Чтобы ввести радиус режущего инструмента, выполняем прямое измерение инструмента ручную запись в регистр данных инструмента. Далее используем последовательность процедур, указанную выше, но для направления касания по X или Y; в пункте 6 установить ось на X или Y (в зависимости от направления касания).

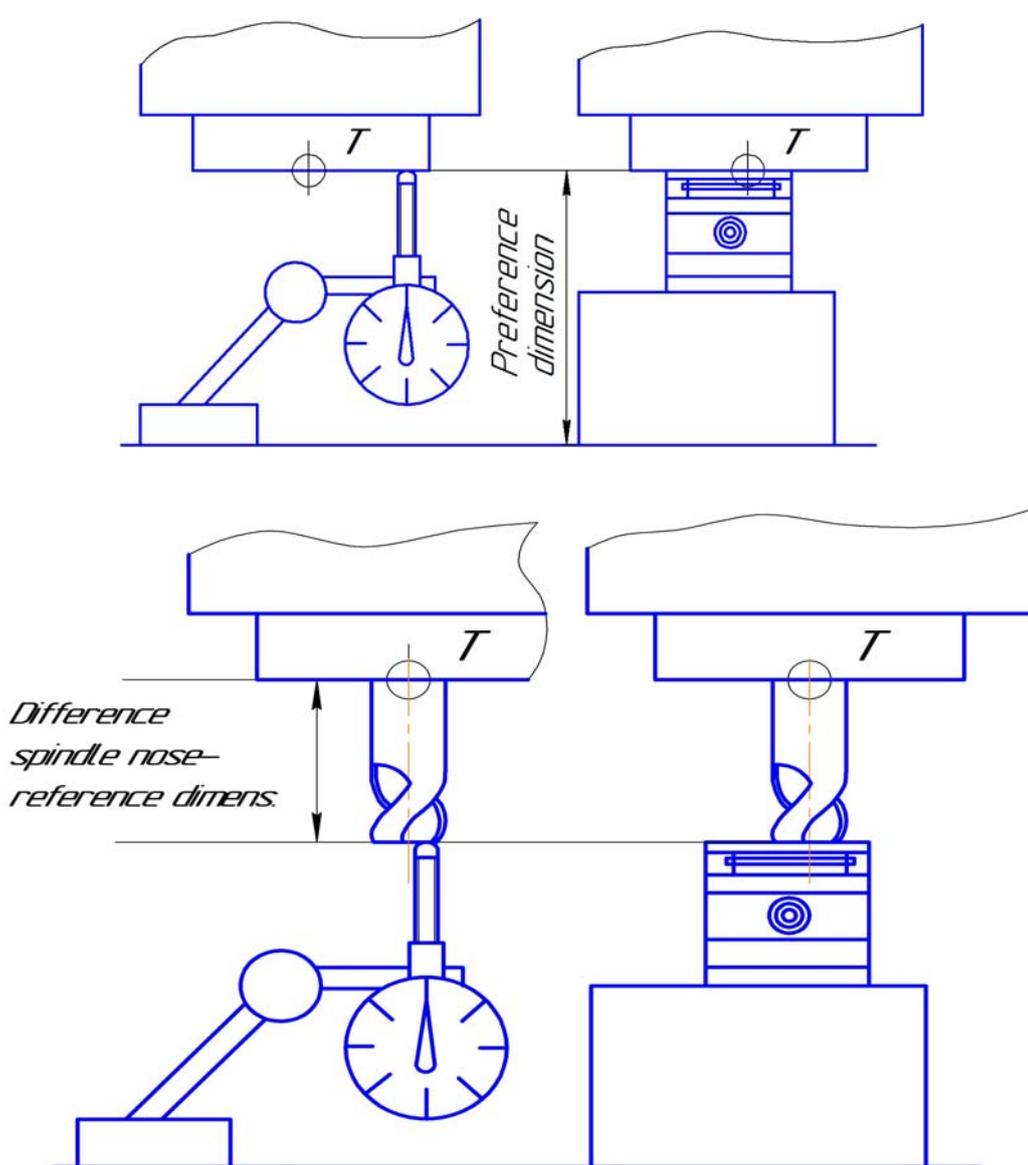


Рис. 3.73. Размерная привязка режущего инструмента

3.19. Обработка управляющей программы

Для обработки управляющей программы необходимо выполнить предварительные условия.

Используемые сдвиги нуля G54-G57 должны быть измерены и введены. Выполнена размерная настройка инструментов и введены данные. Инструменты находятся в соответствующих позициях (Т) в системе смены инструментов. Выполнен подвод к базовой точке по всем осям.

Станок находится в состоянии готовности к работе. Заготовка надежно зажата. Свободные детали (фиксирующие ключи и т.д.) следует удалить из рабочей зоны для предотвращения столкновений.

Для выполнения программы дверь станка должна быть закрыта.

Не должно быть включенных тревог.

Выбираем программы, для этого в операционной зоне Machine, режиме Automatic нажимаем экранную клавишу PROGRAM OVERVIEW. При помощи горизонтального ряда экранных клавиш возможно отображение программ определенного типа (детали, УП обработки, подпрограммы, стандартные циклы, пользовательские циклы, буфер обмена).

Активация программы

Для выполнения обработки программы ее сначала нужно активировать.

- Операционная зона Machine, режим Automatic.
- Нажать экранную клавишу PROGRAM OVERVIEW 
- Пометить необходимую программу или деталь при помощи клавиш.
- Активировать / инактивировать выбранную программу / деталь при помощи экранной клавиши ALTER ENABLE.
- Активация отражается знаком (X) в списке:
- (X) активировано,
- () инактивировано.
- Когда программа является частью детали (директории), следует активировать программу и деталь.

Выбор программы для отработки требует выполнения нижеследующих действий.

Выделить программу

- Операционная зона Machine, режим Automatic.
- Нажать экранную клавишу PROGRAM OVERVIEW 
- Пометить программу.
- Нажать экранную клавишу PROGRAM SELECTION.
- Имя программы отображается справа в строке заголовка.

Выбрать деталь

- В списке деталей выбрать деталь при помощи клавиш 
- Нажать экранную клавишу WORKPIECE SELECTION.
- Если в данной директории имеется УП обработки с таким же именем, то она автоматически выбирается для отработки (например при выборе детали PART1 .WPD автоматически выбирается программа PART1.MPF).

- Название программы и данные детали отображаются непосредственно в строке заголовка.

Если в этой директории имеется файл инициализации с таким же именем, он немедленно выполняется при выборе УП обработки (например PART1.INI).

Пуск /Останов программы требует выполнения следующих действий.

Выбрать программу для отработки. Перейти в операционную зону Machine, режим Automatic.

Нажать клавишу  для пуска программы, а для останова отработки программы клавишу . Нажимаем клавишу  для продолжения отработки программы. Прекращение отработки программы выполняется клавишей .

Процесс обработки детали сопровождается сообщениями в ходе отработки программы.

3 Stop: Emergency stop active. Нажата клавиша аварийного останова EMERGENCY OFF.

4 Stop: Alarm active with stop. Отработка программы остановлена тревогой.

5 Stop: M0/M1 active. Программируемый останов отработки программы. Продолжение клавишей .

6 Stop: Block ended in SBL mode. Кадр выполнен в покадровом режиме. Продолжение клавишей .

7 Stop: NC Stop active. Отработка программы остановлена клавишей  Продолжение клавишей .

8 Wait: Read-in enable missing. Активация считывания является сигналом станка в систему управления. Текущий кадр еще не выполнен (например, смена инструмента, делительное устройство, прутковый питатель и т.д.). Следующий кадр программы будет выполнен только после завершения текущего кадра.

9 Wait: Feedrate enable missing. Активация подачи является сигналом от станка в систему управления. Текущий кадр еще не выполнен (например, шпиндель не достиг запрограммированной скорости вращения и т.д.). Следующий кадр программы будет выполнен только после завершения текущего кадра.

10 Wait: Dwell time active. Отработка программы остановлена на заданный период выдержки.

17 Wait: Feedrate override to 0%. Переключатель ручной коррекции находится в позиции 0%.

18 Stop: NC block incorrect. Ошибка программирования

21 Wait: Block search active. При выполнении покадрового поиска перед целевым кадром выполняется внутренняя имитация, а по достижении заданного кадра поиска начинается обработка.

Управление отработкой программы выполняется в последовательности

Нажать экранную клавишу PROGRAM CONTROL. Выбрать необходимую функцию при помощи клавиш  и  курсора.

Активировать/отменить функцию при помощи клавиши .

Далее следует смысловое содержание команд. SKIP пропуск кадра.

Если активирована данная функция, все кадры, помеченные наклонной чертой перед номером кадра (/N...), не выполняются во время отработки программы.

DRY скорость подачи в пробном прогоне.

При выполнении пробного прогона без детали (нет обработки) во всех кадрах с запрограммированной скоростью подачи (G1, G2, G3, G33,...) перемещение выполняется с предварительно установленной скоростью подачи для пробного прогона вместо запрограммированной скорости подачи. Шпиндель не работает.

ROV ручная коррекция скорости подачи.

SBL1 покадровый режим с остановом после кадров машинных функций.

Отработка программы выполняется после каждого движения.

Продолжение программы нажатием клавиши .

SBL2 покадровый режим с остановом после каждого кадра.

Отработка программы останавливается после каждого кадра, даже если в кадре не запрограммировано движение (кадр вычисления).

M01 программируемый останов.

При задании команды M01 в управляющей программе отработка программы обычно останавливается при ее считывании. Если данная функция активирована, то выполняется останов программы при M01.

Для продолжения отработки программы нажимаем клавишу .

PRT проверка программы. Проверка выполняется без координатных перемещений исполнительных органов.

Покадровый поиск

Покадровый поиск позволяет просматривать программу до заданного кадра, после чего начинается обработка. Имеется два типа покадрового поиска.

1. С вычислением по контуру.

Во время покадрового просмотра проводятся такие же вычисления, что и при нормальном выполнении программы (внутренняя имитация программы).

В начале кадра, заданного для покадрового поиска, станок устанавливается в такое состояние, которое характерно для нормального выполнения программы. Затем кадр поиска выполняется аналогично предшествующим кадрам программы.

2. С вычислением в конечной точке кадра.

Во время покадрового просмотра производятся такие же вычисления, что и при нормальном выполнении программы (внутренняя имитация программы).

В конце кадра, заданного для покадрового поиска, станок устанавливается в такое состояние, которое было бы активировано для нормального выполнения программы. Подвод к концу кадра поиска осуществляется напрямую, сам кадр поиска не выполняется.

Последовательность:

- операционная зона Machine, выбран режим AUTO;
- выбрана программа для покадрового просмотра;
- система управления находится в состоянии RESET;
- нажать экранную клавишу BLOCK SEARCH;
- установить курсор на кадр для поиска;
- пуск покадрового просмотра выполняется клавишей CALCULATE CONTOUR или CALCULATE BLK ENDPT. Система управления вычисляет все кадры вплоть до заданного кадра для поиска, но движения исполнительных органов не выполняются;
- нажатием клавиши  отменяется покадровый просмотр;
- клавишей  осуществляется запуск отработки программы. На экране отображается запрос подтверждения;
- подтвердить запрос нажатием клавиши 
- подвод к целевой позиции поиска осуществляется компенсирующим движением, после чего программа выполняется автоматически.

Вопросы для проверки усвоения материала

1. Охарактеризуйте базовые точки M, W, R и N фрезерного станка с ЧПУ.
2. Что понимается под сдвигом нуля станка, для чего и в каких случаях выполняют неоднократный сдвиг станочного нуля?
3. В каких направлениях и как измеряют фрезу на фрезерном станке с ЧПУ?
4. Охарактеризуйте определение данных режущего инструмента методом царапания.

5. Назовите базовые адреса, используемые в программном обеспечении WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING.

6. Что представляет собой управляющая программа обработки детали?

7. Назовите и охарактеризуйте основные команды с адресом G.
8. Назовите и охарактеризуйте основные команды с адресом M.

9. Назовите циклы механической обработки деталей в программном обеспечении WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING.

10. Изложите процедуру программирования цикла торцового фрезерования.

11. Изложите процедуру программирования цикла контурного фрезерования.

12. Опишите процедуру программирования цикла сверления, центрирования.

13. Изложите процедуру программирования цикла сверления глубоких отверстий.

14. Какова процедура программирования цикла жесткого нарезания внутренней резьбы?

15. Изложите процедуру программирования цикла нарезания внутренней резьбы метчиком с компенсирующим патроном.

16. Опишите процедуру программирования цикла растачивания 1.

17. Изложите процедуру программирования цикла растачивания 2.

18. Изложите процедуру программирования цикла растачивания 3.

19. Какова процедура программирования цикла растачивания 4?

20. Какова процедура программирования цикла растачивания 5?

21. В каком формате кадра программируют цикл **HOLE S1** для обработки ряд отверстий, центры которых расположены на прямой линии?

22. В каком формате кадра программируют цикл **HOLE S2** для обработки отверстий, центры которых расположены по окружности?

23. Как программируют цикл **CYCLE801** обработки линейного шаблона отверстий?

24. Как программируют цикл **CYCLE71** торцового фрезерования?

25. Как программируют цикл **CYCLE72** контурного фрезерования?
26. Как программируют цикл **CYCLE90** резбофрезерования?
27. Охарактеризуйте цикл **LONGHOLE** обработки параллельных прямолинейных продольных пазов.
28. Приведите пример реализации цикла **LONGHOLE** обработки параллельных прямолинейных пазов и составьте фрагмент управляющей программы.
29. Охарактеризуйте цикл **LONGHOLE** обработки прямолинейных пазов, расположенных по окружности.
30. Приведите пример реализации цикла **LONGHOLE** обработки прямолинейных пазов, расположенных по окружности, и составьте фрагмент управляющей программы.
31. Охарактеризуйте цикл **SLOT1** обработки прямолинейных пазов, расположенных по окружности, в чем состоит отличие цикла **SLOT1** от **LONGHOLE** ?
32. Приведите пример реализации цикла **SLOT1** обработки прямолинейных пазов, расположенных по окружности, и составьте фрагмент управляющей программы.
33. Охарактеризуйте цикл **SLOT2** обработки круговых пазов.
34. Приведите пример реализации цикла **SLOT2** обработки круговых пазов и составьте фрагмент управляющей программы.
35. Охарактеризуйте цикл **POCKET1** фрезерования прямоугольной выемки.
36. Приведите пример реализации цикла **POCKET1** фрезерования прямоугольной выемки и составьте фрагмент управляющей программы.
37. Охарактеризуйте цикл **POCKET2** фрезерования круговой выемки.
38. Приведите пример реализации цикла **POCKET2** фрезерования круговой выемки и составьте фрагмент управляющей программы.
39. Какие новые функции может выполнять цикл **POCKET3** по сравнению с циклом **POCKET1**?

40. Какие новые функции может выполнять цикл **POCKET4** по сравнению с циклами **POCKET2**?

41. Изложите методику сдвига системы координат: **TRANS**, **ATRANS**.

42. Опишите методику поворота системы координат: **ROT**, **AROT**.

43. Изложите методику программируемого масштабирования (масштабный коэффициент): **SCALE**, **ASCALE**.

44. Изложите методику зеркального отражения системы координат: **MIRROR**, **AMIRROR**.

45. Назовите основные фреймы, используемые при программировании фрезерных станков с ЧПУ, дайте краткую характеристику.

46. Как вызвать подпрограммы в программе обработки?

47. Охарактеризуйте подпрограмму с механизмом **SAVE**.

48. Охарактеризуйте подпрограммы с переносом параметров.

49. Опишите подпрограмму с повторением.

50. Охарактеризуйте модальную подпрограмму **MCALL**.

51. Как программируется скорость **S**, останов **STOP M5** и позиционирование **SPOS** шпинделя фрезерного станка с ЧПУ?

52. Охарактеризуйте функцию **TRACYL** и приведите пример ее использования.

53. Как программируется постоянная скорость резания на вершине инструмента (параметр **CFTCP**)?

54. Как программируется постоянная скорость резания на контуре (параметр **CFC**)?

55. Охарактеризуйте процедуру свободного программирования контура.

56. Опишите определение исходной точки при свободном программировании контура.

57. Как описать контур отрезком вертикальной прямой линии?

58. Опишите контур в виде фаски и отрезка горизонтальной прямой линии.

59. Опишите элемент контура в виде окружности.

60. Как описать контур в виде прямых линий, наклонных к оси **X** или **Z**?

61. Для чего вводится коррекция на режущий инструмент?
62. Как программируется смена режущего инструмента ?
63. Как выполняется коррекция на длину инструмента в плоскости XY (G18)?
64. Как выполняется коррекция инструментов угловой головки с зубчатым редуктором (команда G18 или G19)?
65. Как выполняется размерная привязка режущего инструмента к системе координат станка?
66. Изложите методику отработки управляющей программы (предварительные условия, выбор, активация, пуск и останов).
67. Как выполняется покадровый поиск программы?

4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ FANUC 21 MB

4.1. Система координат фрезерного станка, локальная система координат и сдвиг нуля

Базовые точки в программном обеспечении **FANUC 21 MB** аналогичны программному обеспечению **WIN NC SINUMERIK 810D/840 D MILLING**, поэтому для изучения этих вопросов рекомендуется обратиться к пп. 3.1 и 3.2 настоящего учебного пособия. В программном обеспечении **FANUC 21 MB** система координат станка активируется в формате кадра **N... G53**.

Нулевая точка станка определяется производителем станка (у фрезерных станков с ЧПУ фирмы EMCO нулевая точка станка находится в левом переднем углу стола станка). Определенные технологические последовательности (смена режущего инструмента, позиция измерения и др.) всегда выполняются в одной позиции рабочей зоны.

При использовании команды **G53** сдвиг нуля отменяется для одного кадра управляющей программы, в котором становится активной система координат станка.

Локальная система координат активируется в формате кадра N... G52 X... Y...Z...

При помощи команды **G52** текущая точка нуля системы координат может быть смещена на значения X, Y, Z. При помощи данной функции можно создать подсистему координат в существующей системе координат. Команда G52 эффективна покадрово, результирующий сдвиг будет сохранен до активации другого сдвига.

Сдвиги нуля 1-6 программируются командами G54 - 59. Шесть позиций в рабочей зоне могут быть определены как нулевые точки (точки на жестко установленных зажимных устройствах). Такие нулевые точки можно вызывать при помощи команд G54-G59.

4.2. Основные адреса и функции

Управляющая программа (УП) является последовательностью программных кадров, сохраненных в системе управления. При выполнении обработки детали эти кадры считываются и проверяются компьютером в запрограммированном порядке. Соответствующие управляющие сигналы поступают на станок. УП состоит из номера программы, кадров УП, адресов, слов, комбинаций чисел (для адресов осей частично со знаком минус), а также графических знаков.

Программное обеспечение FANUC 21MB использует следующие основные адреса:

- С..фаска,
- F.. скорость подачи, шаг резьбы,
- G..функция траектории, подготовительная функция,
- H..номер адреса значения коррекции в регистре сдвигов (OFFSET),
- I..J..K.. параметры окружности, масштабный коэффициент, также количество повторов цикла, зеркальные оси;
- M... вспомогательная функция,
- N..... номер кадра от 1 до 9999,
- O..... номер программы от 1 до 9999,
- P..... пауза, вызов подпрограммы,
- Q.... глубина врезания или величина сдвига в цикле,
- R... радиус, величина отвода в цикле,
- S..... скорость вращения шпинделя,
- T..... вызов инструмента,

X, Y, Z...позиционные данные рабочего органа станка в абсолютных значениях (X также время выдержки),
;..... конец блока.

Адрес и стоящие после него цифры называются словом или командой. Команды с адресом G представлены ниже.

Программное обеспечение FANUC 21 MB оперирует подготовительными G-функциями. Смысловое содержание команд изложено ниже.

Команда	Смысловое содержание G-функций
G0	Позиционирование (быстрое перемещение)
G1	Линейная интерполяция (подача)
G2	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G3	Круговая интерполяция против часовой стрелки
G4	Пауза
G9	Точный останов
G10	Установка данных
G11	Установка данных ВЫКЛ.
G15	Интерполяция в полярных координатах ВЫКЛ
G16	Интерполяция в полярных координатах ВКЛ
G28	Возврат на базовую точку
G50	Отмена масштабного коэффициента
G51	Масштабный коэффициент
G52	Локальная система координат
G53	Система координат станка
G92	Установка системы координат
G17	Выбор плоскости XY
G18	Выбор плоскости ZX
G19	Выбор плоскости YZ
G90	Программирование в абсолютных значениях
G91	Программирование в значениях с приращением
G94	Подача в минуту
G95	Подача на оборот

G20	Ввод данных в дюймах
G21	Ввод метрических данных
G40	Отмена компенсации на радиус резца
G41	Компенсация на радиус резца влево
G42	Компенсация на радиус резца вправо
G43	Положительная коррекция на длину инструмента
G44	Отрицательная коррекция на длину инструмента
G49	Отмена коррекции на длину инструмента
G73	Цикл сверления со стружколоманием
G74	Цикл нарезания левосторонней внутренней резьбы
G76	Цикл точного сверления
G80	Отмена циклов сверления
G81	Цикл сверления
G82	Цикл сверления с прерыванием
G83	Цикл сверления с обратным ходом
G84	Цикл нарезания внутренней резьбы
G85	Цикл развертывания
G86	Цикл сверления с остановом шпинделя
G87	Цикл сверления глухих отверстий
G88	Цикл сверления с программируемым остановом
G89	Цикл развертывания с прерыванием
G98	Возврат в начальную плоскость
G99	Возврат в плоскость отвода
G97	Режим оборот в минуту
G 54	Сдвиг нуля 1
G55	Сдвиг нуля 2
G56	Сдвиг нуля 3
G57	Сдвиг нуля 4
G58	Сдвиг нуля 5
G59	Сдвиг нуля 6
G61	Режим точного останова
G62	Автоматическая коррекция угла
G63	Режим нарезания резьбы ВКЛ

G64	Режим резания
G68	Поворот системы координат ВКЛ
G69	Поворот системы координат ВЫКЛ

Основные вспомогательные функции, которыми оперирует программное обеспечение **FANUC 21 MB**, представлены ниже.

Команда	Смысловое содержание
M0	Программируемый останов
M1	Останов условный
M2	Конец программы
M3	Включение вращения шпинделя по часовой стрелке
M4	Включение шпинделя против часовой стрелки
M5	Шпиндель выключен
M6	Смена инструмента
M8	Включение подачи СОЖ
M9	Выключение подачи СОЖ
M10	Блокировка делительной головки
M11	Разблокировка делительной головки
M17	Конец подпрограммы
M17	Ориентированный останов шпинделя
M25	Открывание зажимного приспособления /тисков
M26	Закрывание зажимного приспособления/тисков
M30	Конец программы
M71	Выдувание ВКЛ
M72	Выдувание ВЫКЛ
M98	Вызов подпрограммы
M99	Конец подпрограммы

Далее следует подробная характеристика М-функций.

M00 - программируемый останов активизирует остановку выполнения программы обработки детали. Шпиндель станка, подача режущего инструмента и подача смазочно-охлаждающей жидкости выключаются (СОЖ). Защитная дверь, ограждающая оператора, обслу-

живающего фрезерный станок, от попадания стружки и брызг СОЖ может быть открыта без сброса сигнала тревоги. Выполнение программы может быть продолжено нажатием клавиши «NC START». После этого включается основной привод со всеми используемыми до этого значениями параметров.

M01- программируемый останов (условный) M01 работает как M00, но только, если включена функция OPT. STOP (OPT расположен в первой строке экрана дисплея). Если OPT.STOP не активна, то команда M01 не достоверна. Выполнение программы может быть продолжено нажатием «NC START». После этого включается основной привод со всеми используемыми до этого значениями параметров.

M02- конец основной программы. Команда M02 работает так же, как команда M30.

M03 - включение фрезерного шпинделя по часовой стрелке. Шпиндель включается при условии, что запрограммирована скорость резания, защитная дверь закрыта, а заготовка правильно закреплена. Команда M03 должна использоваться для всех инструментов правостороннего резания.

M04 - включение фрезерного шпинделя против часовой стрелки. Условия аналогичны описанным в M03. M03 должна использоваться для всех инструментов левостороннего резания.

M05 - выключение основного шпинделя. При активации этой команды происходит электрическое торможение основного привода. В конце управляющей программы основной привод автоматически выключается.

M06 - смена инструмента. Достоверна только для станков, оснащенных поворотным инструментальным магазином. По этой команде выполняется поворот инструмента, обозначенного словом T. Пример: N100 T04 M06, N110 G43 H4. В кадре N100 запрограммирован к использованию режущий инструмент, который выбирается командой T04 и поворачивается командой M06. В кадре N110 длина инструмента, введенная командой H4, учитывается при всех последующих перемещениях (коррекция на длину инструмента, введенная командой

G43). После этого включается основной привод со всеми используемыми до этого значениями параметров.

M08 - подача хладагента (СОЖ) в зону резания ВКЛ. Только для EMCO PC Mill 100/125/155.

M09 - подача хладагента (СОЖ) ВЫКЛ. Только для EMCO PC Mill 100/125/155.

M27 - поворот делительной головки. Достоверна только при наличии опции делительной головки. Выполняется поворот делительной головки на один шаг (угол шага регулируется механически).

M30 - конец программы. Командой M30 выключаются все приводы рабочих органов станка, а система ЧПУ возвращается на начало программы.

M71- выдувание ВКЛ. Применяется только для станков с ЧПУ, оснащенных дополнительным устройством выдувания.

M72 - выдувание ВЫКЛ. Применяется только для станков с ЧПУ, оснащенных дополнительным устройством выдувания.

M98 - вызов подпрограммы, в главном программном файле эту команду записывают в формате кадра:

N...M98 P...,

где P..... – первые четыре цифры, стоящие справа от адреса P , определяют номер подпрограммы, последующие цифры – количество повторений кадров подпрограммы.

Примечание:

- M98 может программироваться в одном кадре с командой движения исполнительных органов станка (например G01 X25 M98 P1235002);

- если количество повторов не определено, вызов подпрограммы выполняется один раз (M98 P5001);

- если запрограммированной подпрограммы не существует, активируется тревога;

- возможно выполнение двойного циклического вызова подпрограммы.

Команда M99 означает конец подпрограммы. Поскольку указан конец подпрограммы (отработка подпрограммы завершена), то необходимо указать адрес перехода.

Адрес перехода указывают в формате кадра:

N... M99 P...

Возможны два случая:

- M99 находится в программе,
- M99 находится в подпрограмме.

В первом случае, если адрес перехода не указан, то переход осуществляется к началу программы. Если адрес перехода указан командой Pxxxx, то переход осуществляется к кадру № xxxx.

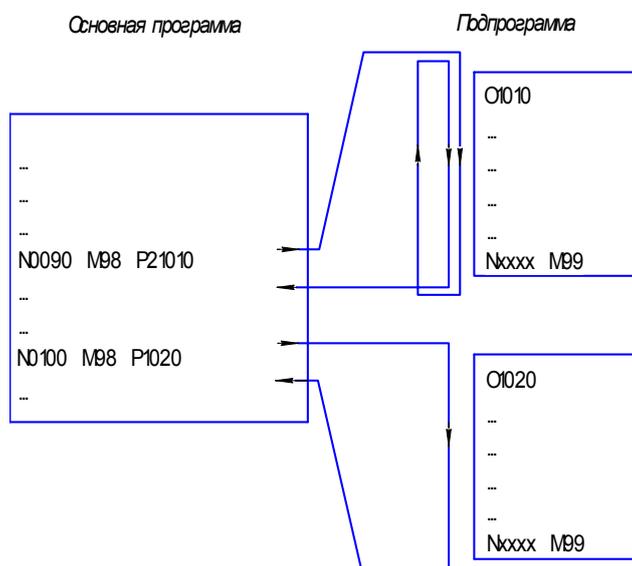


Рис. 4.1. Последовательность отработки программы

Во втором случае, если адрес перехода не указан, то переход осуществляется в программу вызова к следующему кадру после кадра с вызовом подпрограммы (рис. 4.1). Если адрес перехода указан в виде Pxxxx, то переход осуществляется в программу вызова к кадру № xxxx.

Примечание: M99 должна быть последней командой в подпрограмме.

4.3. Программирование позиционирования, фаски, закругления, выбора рабочей плоскости и интерполяции контура

Позиционирование (быстрое перемещение) исполнительного органа станка программируют в формате кадра:

N.... G00 X... Y... Z...

Рабочей позицией исполнительного органа станка (например суппорта с резцом, револьверной головки с режущими инструментами, заготовки и т. д.) называется каждое из возможных пространственных положений исполнительного органа. Так, при обработке заготовки после выполнения своей функции режущий инструмент отводится от заготовки и, чтобы в работу мог вступить другой запрограммированный инструмент, револьверная головка поворачивается на определенный угол. До поворота револьверная головка занимала одну рабочую позицию, а после поворота – другую.

Перемещение исполнительного органа выполняется с максимально возможной для конкретного станка с ЧПУ скоростью до запрограммированной (целевой) точки (позиция смены инструмента, исходная точка для следующей подпрограммы и т.д.). Естественно, что механическая обработка заготовки не может происходить на максимальной скорости, поэтому процесс резания выполняется на значительно меньших рабочих скоростях. Программирование рабочей подачи выполняют с использованием адреса F.

Примечание:

- запрограммированная подача F подавляется при выполнении G00;

- максимальная подача определяется изготовителем станка;

- ручная коррекция подачи ограничена до 100%;

Пример:

N50 G00 G90 X40 Z56,

где G90 – программирование в абсолютных размерах,

N50 G00 G91 X-30 Y-30.5,

где G91 - программирование в инкрементальных размерах (рис. 4.2).

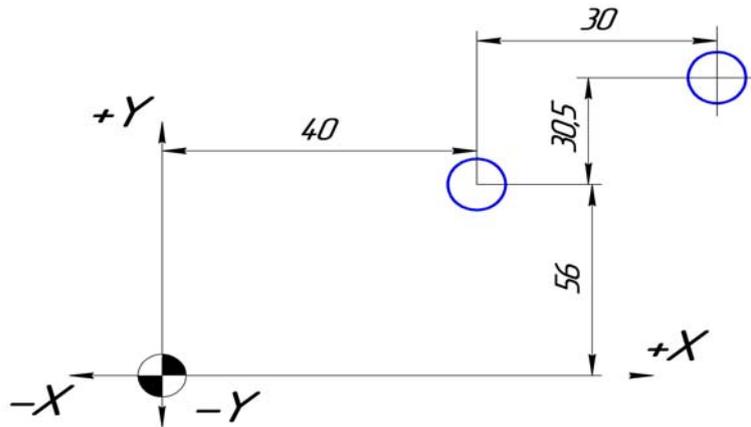


Рис. 4.2. Абсолютные и инкрементные размеры для G00

Линейная интерполяция G01 (подача) программируется в формате кадра:

N.. G01 X.. Y..Z.. F..

В соответствии с приведенным кадром исполнительный орган выполняет линейные перемещения (G01) с запрограммированной рабочей скоростью подачи F в точку с координатами X.. Y..Z..(в так называемую целевую точку).

Пример

В абсолютных размерах

N.. G90 G94 F500 – режим подачи в минуту F500;

N20 G01 X40 Y20.1 F500 (рис. 4.3).

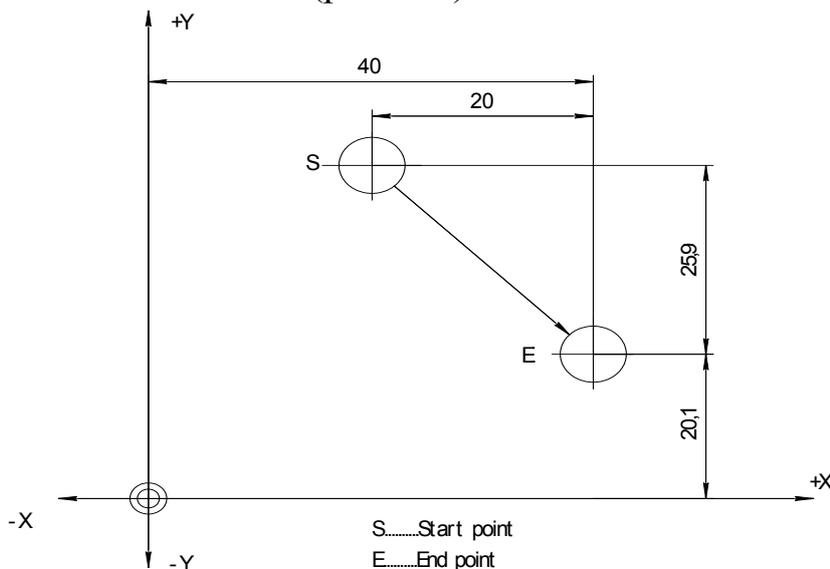


Рис. 4.3. Абсолютные и инкрементные размеры для G01

В инкрементных размерах

N.. G91 G95 F0,3 – режим подачи на оборот F0,3;

N20 G01 X20 Y-25.9.

Фаски и закругления

При программировании параметра C или R можно вставить фаску или закругление между движениями G00 и G01.

Пример:

N.. G00/G01 X..Y.. C/R

N.. G00/G01 X..Y..

Программирование фаски или закругления возможно только в активной плоскости. Далее приведен пример программирования в плоскости XY.

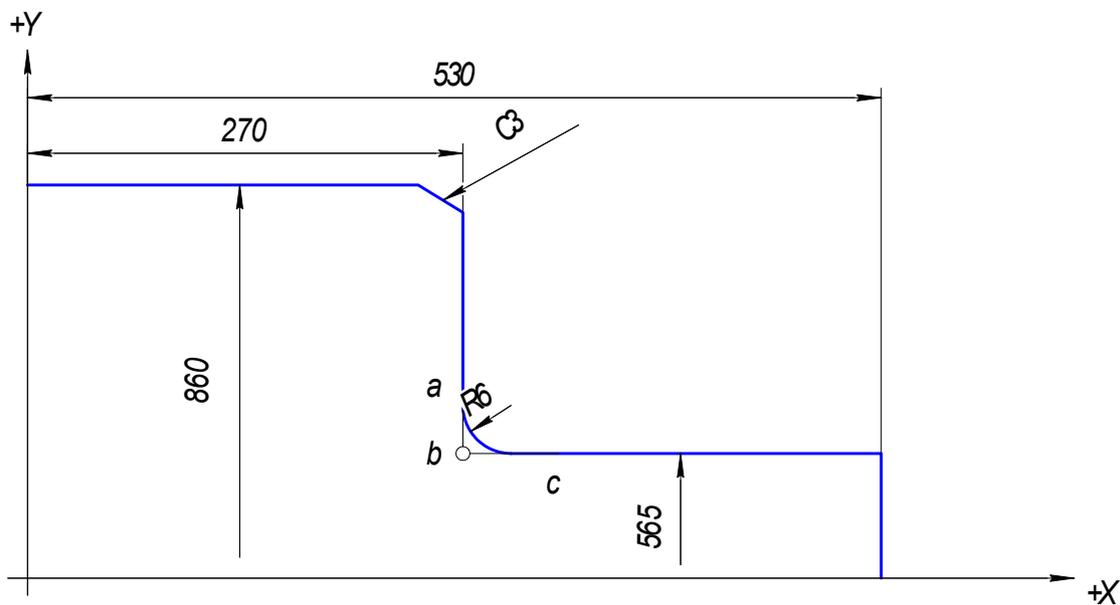


Рис. 4.4. Фаски и закругления на детали

Программируемое движение должно начинаться в точке b (рис. 4.4).

При программировании инкрементальных размеров следует программировать расстояние от точки b.

В покадровом режиме инструмент начинает движение сначала в точке c, а затем в точке d. При наличии следующих ситуаций возникает сообщение об ошибке:

- если движение в одном из кадров G00/G01 слишком короткое, так что при вставке фаски или закругления нет точки пересечения, активируется тревога 055;

- если во втором кадре не запрограммированы команды G00/G01, активируется сообщение об ошибке номер 51,52.

G02 - круговая интерполяция по часовой стрелке,

G03 - круговая интерполяция против часовой стрелки программируются в формате кадра:

N... G02/G03 X... Y...Z... I...J...K... F...

или

N... G02/G03 X... Y...Z... R...F...

X,Y,Z – координаты конечной точки дуги (с абсолютным или инкрементальным заданием),

I, J, K - параметры окружности в размерах с приращением (расстояние от начальной точки до центральной точки: I - относительно X; J - относительно Y; K - относительно Z),

R – радиус дуги окружности, может программироваться вместо параметров окружности I, J, K.

Центр окружности можно задать параметрами I и J (рис. 4.5). Инструмент перемещается к целевой точке вдоль установленной дуги с запрограммированной скоростью подачи.

Примечание. Круговая интерполяция может быть выполнена только в активной плоскости (рис. 4.6). Программирование значения 0 для I и K может быть пропущено.

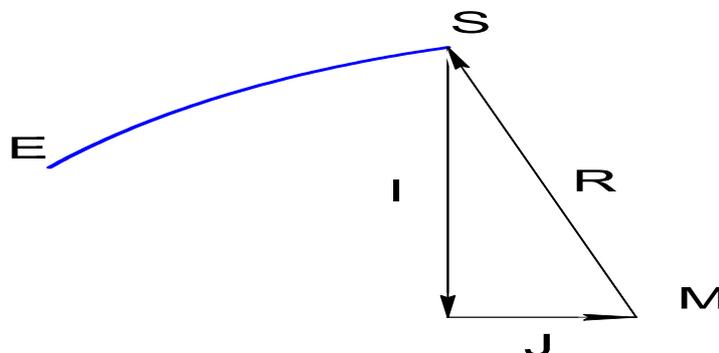


Рис. 4.5. Задание центра окружности при круговой интерполяции

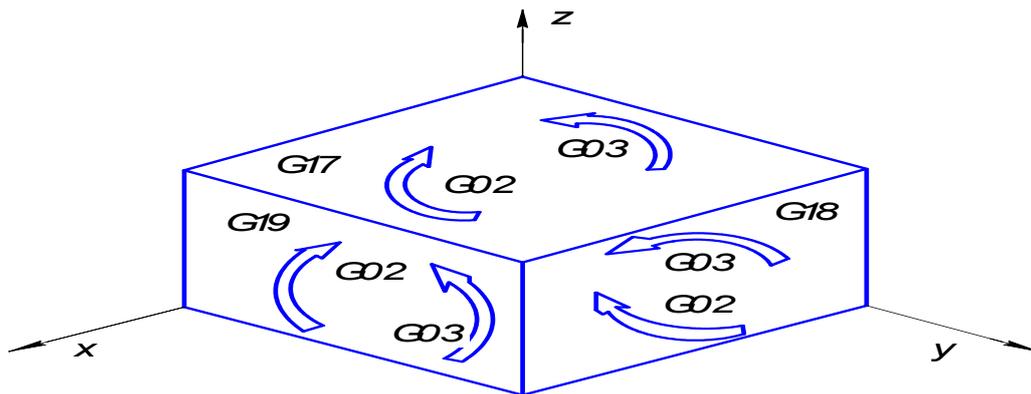


Рис. 4.6. Выбор направления вращения для G02 и G03

Отработка команд G02, G03 выполняется всегда перпендикулярно к активной плоскости.

Винтовая интерполяция. Обычно для окружности программируется только две оси. Данные оси определяют также активную плоскость. Если программируется третья вертикальная ось, то движение исполнительных органов станка выполняется таким образом, что получается винтообразная линия.

Запрограммированная скорость подачи не выдерживается в соответствии с запрограммированной траекторией, а согласуется с круговой траекторией (проекция). Управление третьей линейной осью происходит таким образом, что достижение конечной позиции выполняется одновременно с осями кругового перемещения.

Ограничения при использовании винтовой интерполяции:

- винтовая интерполяция возможна только с использованием команды G17 (плоскость XY);

- угол f (рис. 4.7) градуса траектории движения режущего инструмента (угол подъема винтовой линии) должен быть менее 45° ;

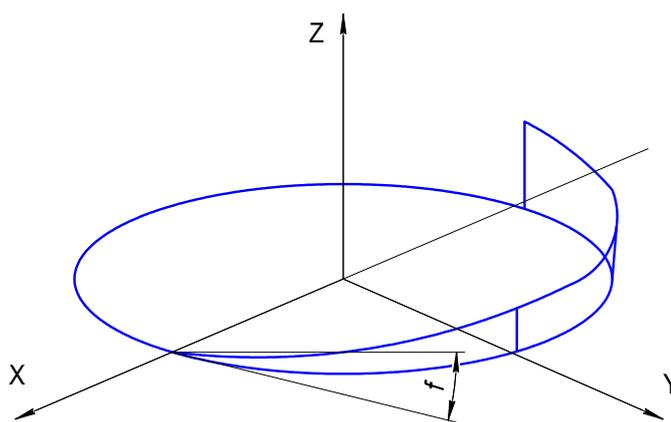


Рис. 4.7. Движение режущего инструмента по винтовой линии

- если пространственные переходы различаются более чем на 2° при смене кадров, выполняется точный останов перед/после винтовой интерполяции.

G04 Пауза программируется в следующих форматах кадра:

N... G04 X... (секунд)

или

N... G04 P... (миллисекунд).

Движение инструмента останавливается в последней достигнутой позиции для выдержки определенного численного значения параметра X или P (чтобы убрать острые края, очистить дно отверстия, выполнить точный останов).

Примечание:

- в адресе P недопустимо использование десятичного знака;
- отсчет времени выдержки начинается с того момента, как скорость движения инструмента стала равной нулю;
- максимальное время выдержки $t_{\max} = 2000$ с, минимальное время $t_{\min} = 0,1$ с;
- разрешение ввода 100 мс (0,1 с).

Примеры:

N75 G04 X2.5 (время выдержки равно 2,5 с);

N95 G04 P1000 (время выдержки равно 1 с = 1000 мс).

G7.1 Цилиндрическая интерполяция программируется в формате кадра:

N... G7.1 C...

N... G7.1 C0,

где G7.1 C... - начало цилиндрической интерполяции.

Значение параметра C описывает радиус заготовки.

G7.1 C0 - конец цилиндрической интерполяции.

Функция позволяет выполнять программирование обработки различных поверхностей на цилиндрической поверхности заготовки (рис. 4.8). Таким образом, могут создаваться программы для обработки цилиндрических кулачков на токарных станках. Численная величина поворота оси C, программируемая углом поворота, конвертиру-

ется системой ЧПУ в расстояние по фиктивной линейной оси вдоль внешней поверхности цилиндра.

Становится возможным выполнение линейной и круговой интерполяции с использованием дополнительной оси. Команда G19 определяет уровень, где ось вращения устанавливается параллельно оси Y.

Позиция вершины режущей кромки должна быть запрограммирована для всех инструментов, которые будут использоваться при обработке с цилиндрической интерполяцией.

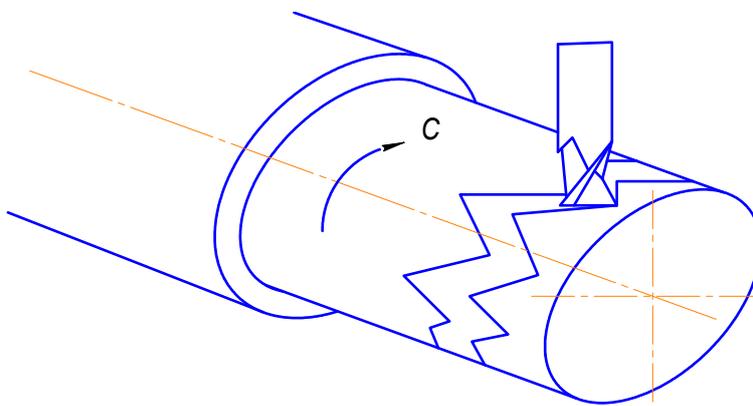


Рис. 4.8. Цилиндрическая интерполяция при фрезеровании

Примечания.

- Базовая точка цилиндра должна вводиться в инкрементальных размерах, так как к ней подводится режущий инструмент.

- В данных сдвига необходимо установить позицию 0 для вершины зуба фрезы (резца). Необходимо ввести радиус фрезы.

- Изменение системы координат в режиме G7.1 недопустимо.

- G7.1 и/или G13.1 C0 необходимо программировать в режиме «Компенсация на радиус резца ВЫКЛ» (G40). G7.1 и/или G13.1 C0 не может быть запущена или завершена в режиме «Компенсация на радиус резца ВКЛ» (G41 или G 42). G7.1 C... и G7.1 C0 необходимо программировать в отдельных кадрах.

- В кадре между G7.1 C... и G7.1 C0 прерванная программа не может быть перезапущена.

- Радиус дуги с круговой интерполяцией (G2 или G3) должен программироваться с использованием адреса R и не должен программироваться в градусах и/или через координаты K и J.

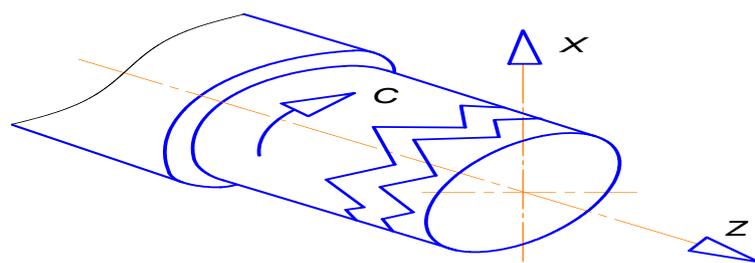
- В геометрической программе между G7.1 C... и G7.1 C0 не должны программироваться быстрые перемещения(G0) и/или операции позиционирования, приводящие к быстрым перемещениям(G28), или циклы сверления (с G83 по G89).

Вводимые значения подачи в режиме цилиндрической интерполяции должны рассматриваться как скорость перемещения в необработанной области цилиндра.

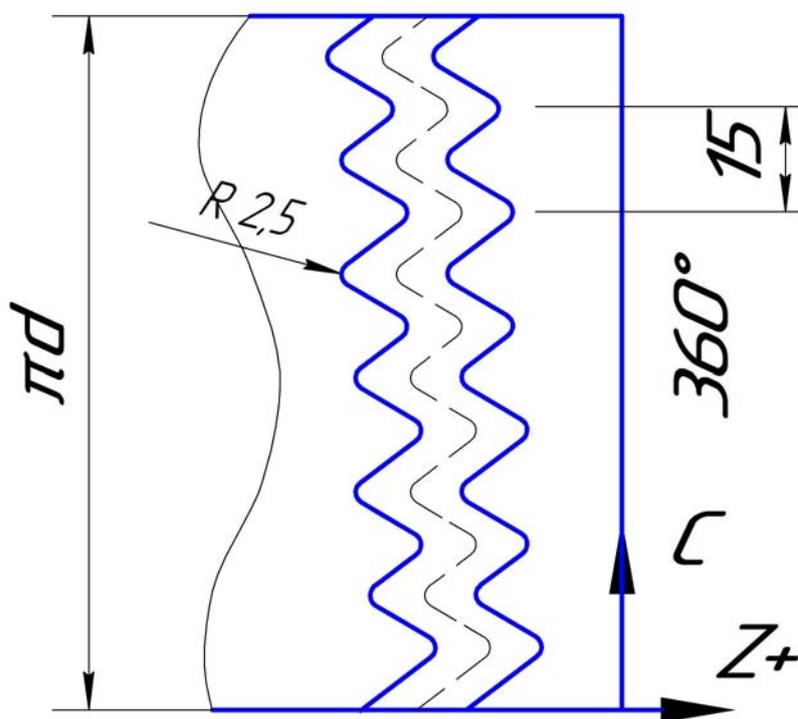
Пример программирования цилиндрической интерполяции (рис. 4.9,а, б).

Ось X программируется с диаметральной значением координаты, а ось C - с угловым значением. Обработка заготовки проводится концевой фрезой диаметром 5 мм.

O 0002 Цилиндрическая интерполяция
N15 T0505
N25 M13 Направление вращения приводных инструментов
(эквивалентно M3)
N30 G97 S2000
N32 M52 Позиционирование шпинделя
N35 G7.1 C19.1 Начало цилиндрической интерполяции/радиус за-
готовки
N37 G94 F200
N40 G0 X45 Z-5
N50 G1 Z-15 C22.5
N55 Z-5 C45
N60 Z-15 C67.5
N65 Z-5 C90
N70 Z-15 C112.5
N75 Z-5 C135
N80 Z-15 C157.5
N85 Z-5 C180
N90 Z-15 C202.5
N95 Z-5 C225
N100 Z-15 C247.5
N105 Z-5 C270
N110 Z-15 C292.5
N115 Z-5 C315



a)



б)

Рис. 4.9. Графическая интерпретация цилиндрической интерполяции (а) и ее развертка (б)

N120 Z-15 C337.5

N125 Z-5 C360

N130 X45

N135 G7.1 C0

N140 M53

N145 G0 X80 Z100 M15

N150 M30.

Конец цилиндрической интерполяции

Конец движения оси вращения

Точный останов (команда G09) программируют в формате кадра:

N...G09

Переход к следующему кадру выполняется только после того, как скорость исполнительных органов станка станет равной нулю. Вследствие этого не происходит закругления углов заготовки (рис. 4.10). Команда G09 имеет покадровую эффективность.

Режим точного останова можно программировать также в другом формате кадра:

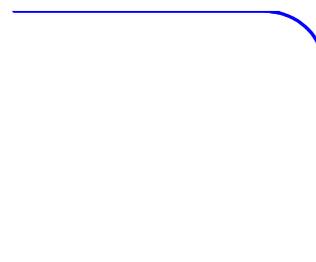
N...G61

Отработка кадра выполняется также после торможения и уменьшения скорости исполнительного органа до нуля. Вследствие этого края заготовки не закругляются и выполняется точный технологический переход обработки взаимно перпендикулярных плоскостей. Команда **G61** активна до отмены функцией G62 или G64.

Отличие команды **G61** от **G09** состоит в том, что первая из них является модальной, а вторая – не модальной.



Точный останов активен



Точный останов не активен

Рис. 4.10. Форма углов заготовки при активном и неактивном точном останове

Если точный останов не активирован, происходит закругление угла обрабатываемой заготовки. Команда G09 имеет покадровую эффективность.

G10 - Установка данных

Команда G10 позволяет изменять данные системы управления, программировать параметры, записывать данные инструмента и т. д.

G10 часто используется для программирования нулевой точки детали.

Пример

Сдвиг точки нуля

Формат

N... G10 L2 Pp IP...;

p=0 внешний сдвиг нуля детали.

p=1 - 6 нормальный сдвиг нуля детали.

IP сдвиг нуля детали для нескольких осей.

При программировании параметр IP заменяется адресами, обозначающими ось (X, Y или Z).

Коррекция на инструмент программируется в формате кадра:

N...G10 L11 P...R...,

P....номер коррекции на инструмент.

R....величина коррекции в режиме абсолютного задания (G90).

При программировании с приращением (G91) значение коррекции на инструмент прибавляется к уже существующему значению. В целях совместимости с более старыми версиями ЧПУ система позволяет ввод L1 вместо L11.

Отмена интерполяции в полярных координатах (команда G15) программируется в формате кадра:

N...G15/G16

Между G16 и G15 точки могут определяться полярными координатами. Выбор плоскости, в которой могут быть запрограммированы полярные координаты, выполняется функциями G17 - G19.

С использованием адреса первой оси программируется радиус, с адресом второй оси программируется угол, оба значения программируются относительно нуля детали (рис. 4.11).

Пример

N75 G17 G16 N80 G01 X50 Z30

Первая ось: радиус X=50.

Вторая ось: угол Y=30.

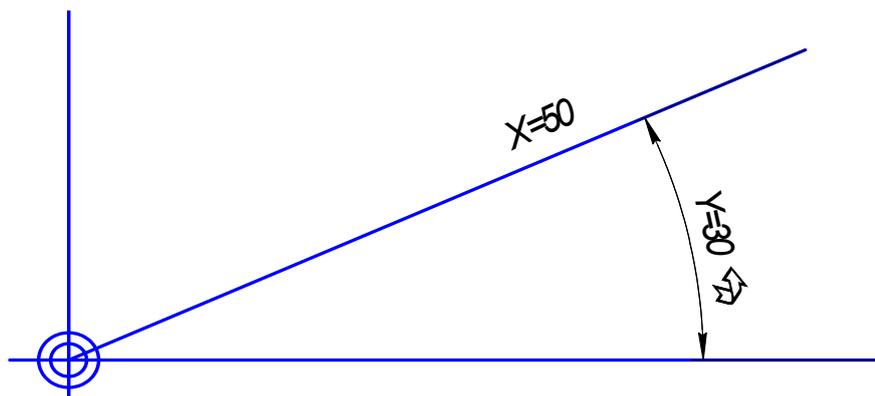


Рис. 4.11. Точка, определяемая полярными координатами

Выбор рабочей (активной) плоскости (одна из команд G17-G19) выполняются в формате кадра (рис. 4.12):

N...G17/G18/G19

С использованием G17- G19 определяется плоскость, в которой могут быть выполнены круговая интерполяция и интерполяция в полярных координатах и в которой вычисляется компенсация на радиус резца.

В направлении оси, перпендикулярной к активной плоскости, выполняется компенсация на длину режущего инструмента.

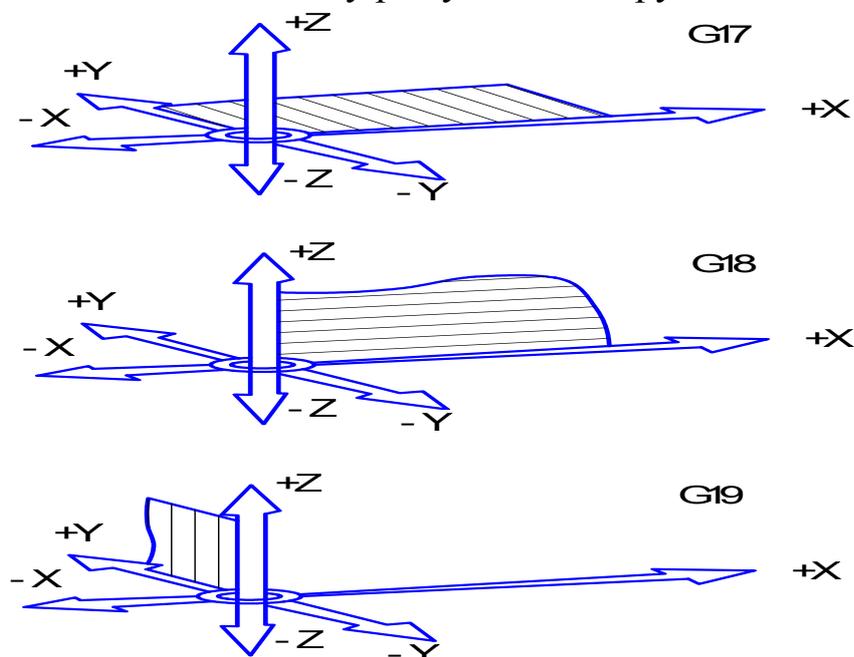


Рис. 4.12. Определение рабочих (активных) плоскостей

У фрезерных станков с ЧПУ рабочими плоскостями являются:

G17 - плоскость XY (см. рис. 4.12),

G18 - плоскость ZX,

G19 – плоскость YZ.

Измерение в дюймах (команда G20) программируют в формате кадра:

N... G20

При программировании размеров в соответствии с командой G20 в дюймы переводятся следующие значения:

- подача F, мм/мин, мм/об, дюйм/мин, дюйм/об.,
- значения сдвигов (WORK, коррекция на геометрию и на износ), мм, дюйм,
- траектории перемещений режущего инструмента, мм, дюйм,
- дисплей текущей позиции, мм, дюйм,
- скорость резания, м/мин, фут/мин.

Для ясности G20 следует программировать в первом кадре.

Последняя активная система измерений остается эффективной даже при выключении и включении станка. Для возврата в исходную систему измерений лучше всего использовать режим MDI (например MDI-G20-Cycle Start).

Измерение в миллиметрах программируют в формате кадра: N...G21. Комментарии аналогичны комментариям к команде G20.

Подвод к базовой точке (команда G28) программируют в формате кадра:

N...G28 X... Y...Z...,

где X, Y, Z - координаты промежуточной точки. При программировании команды G28 выполняется подвод к базовой точке через промежуточную точку (X, Y, Z). Сначала выполняется движение в направлении X, Y и Z, затем - подвод к базовой точке. Оба движения выполняются с максимальной скоростью холостого хода G00! При этом сдвиг G92 будет удалён.

4.4. Программирование коррекции на режущий инструмент

При применении коррекции на радиус инструмента система управления автоматически вычисляет траекторию параллельно запрограммированному контуру и таким образом компенсирует радиус резца (рис. 4.13).

Коррекция на радиус резца отменяется командой G40. Отмена допустима только в сочетании с командой линейного перемещения (G00, G01). G40 может программироваться в одном кадре с G00 или G01, а также в предшествующем кадре. Обычно G40 программируется с отводом в точку смены инструмента.

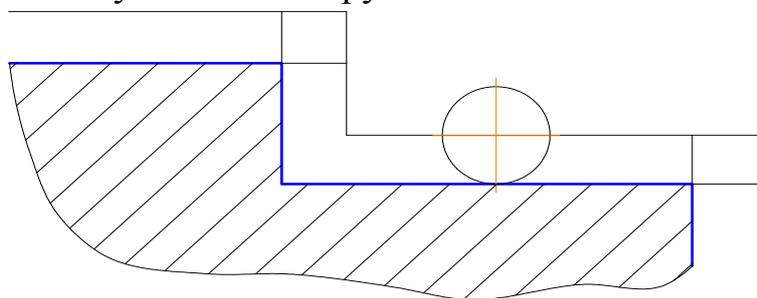


Рис. 4.13. Траектория инструмента с коррекцией на радиус

G41 Коррекция на радиус инструмента влево (рис. 4.14).

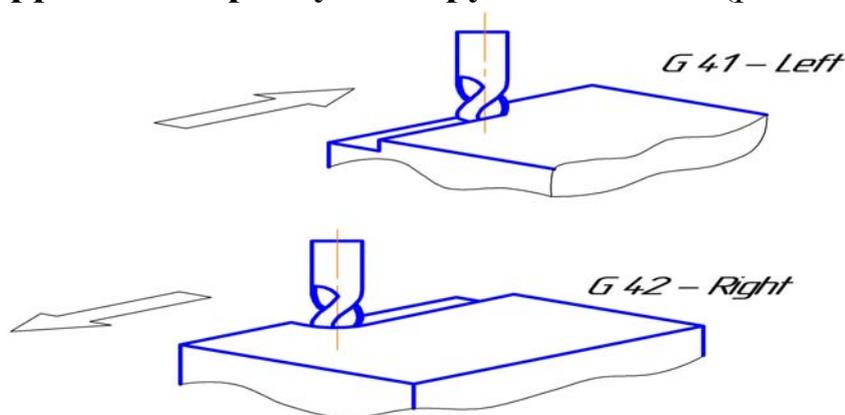


Рис. 4.14. Выбор направления коррекции на радиус инструмента

Если фреза, рассматриваемая в направлении подачи, находится слева от обрабатываемого контура, то коррекция на радиус зуба фрезы должна устанавливаться командой G41. Коррекцию на радиус фрезы влево программируют в формате кадра:

N... G41H...

Примечания:

Прямая смена между G41 и G42 невозможна, необходима предварительная отмена коррекции командой G40.

Выбор команды допустим только в сочетании с G00 или G01.

Необходимо безусловное программирование параметра H, параметр H эффективен модально.

G42 Коррекция на радиус фрезы вправо.

Если фреза, рассматриваемая в направлении подачи, находится справа от обрабатываемого контура, то коррекция на радиус должна устанавливаться командой G42 (см. рис. 4.14).

Примечания: (см. для G41).

Траектории инструмента с активированной/отмененной коррекцией на радиус инструмента представлены на рис. 4.15 - 4.17.

При обработке дуги подвод всегда выполняется тангенциально к начальной или конечной точке дуги. Траектория приближения к профилю и траектория отвода от профиля должны быть больше, чем радиус вершины зуба фрезы R , иначе программа прерывается тревогой.

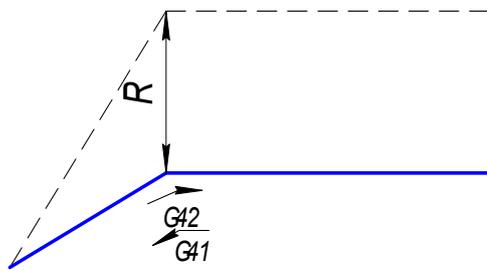


Рис. 4.15. Фронтальный подвод или отвод от крайней точки

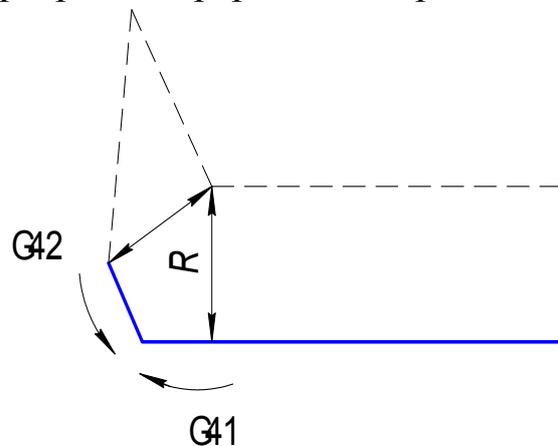


Рис. 4.16. Подвод или отвод от крайней точки сбоку – назад

Если элементы обрабатываемого профиля меньше радиуса R фрезы, возможно нарушение профиля. Программное обеспечение считает с опережением три последующих кадра для распознавания таких нарушений профиля и прерывания дальнейшего выполнения управляющей программы тревогой.

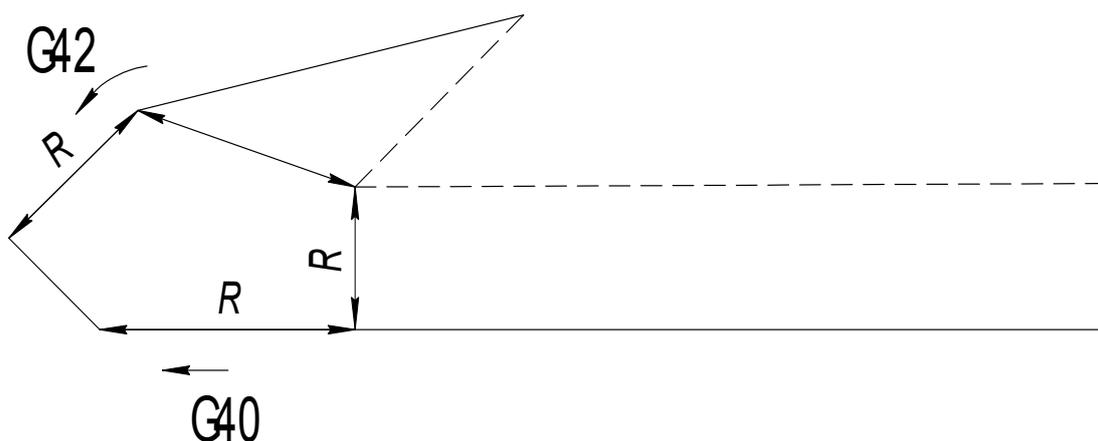


Рис. 4.17. Подвод или отвод от крайней точки назад

Пунктирной линией изображена программируемая траектория инструмента, а сплошной - фактически пройденная траектория инструмента.

Траектории инструментов в цикле выполнения программы с активированной коррекцией на радиус фрезы изображены на рис. 4.18.

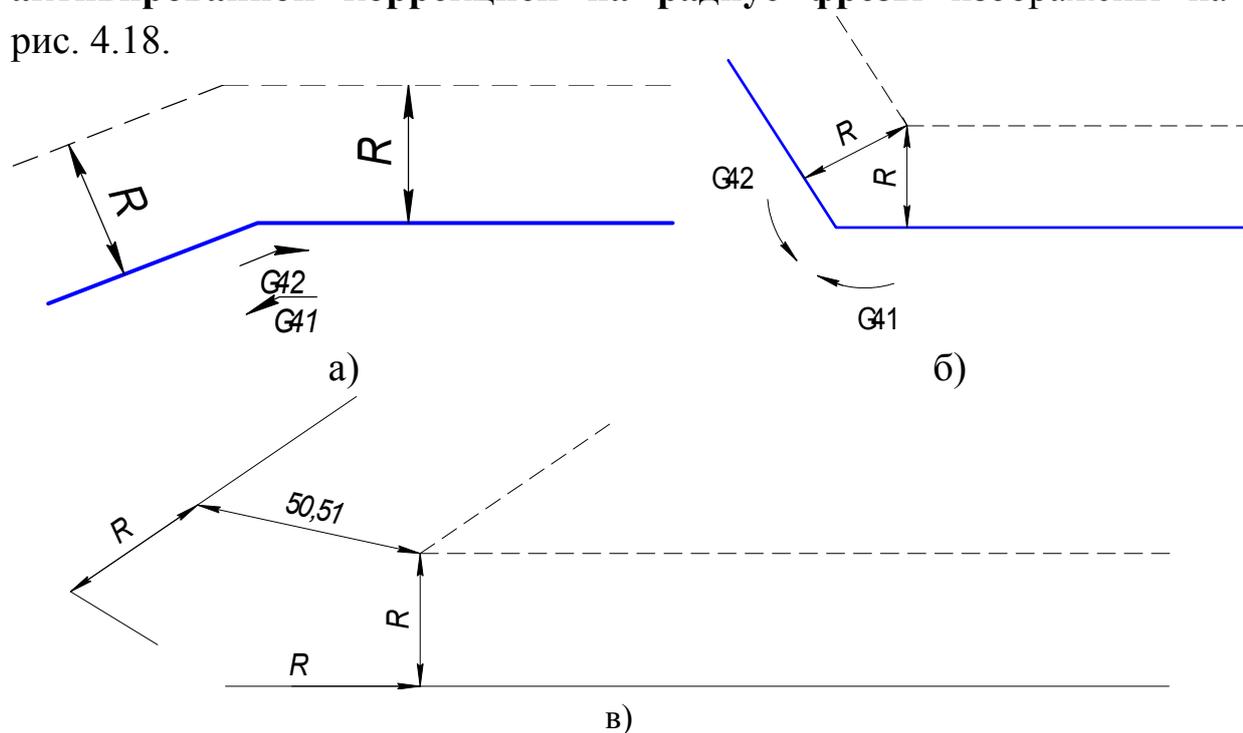


Рис. 4.18. Траектория инструментов с активированной коррекцией на радиус:
 а – на внутренней кромке, б – на внешней кромке с углом больше 90° ,
 в – на внешней кромке с углом меньше 90°

Положительную коррекцию (команда G43) и отрицательную коррекцию (команда G44) на длину инструмента программируют в формате кадра:

N5 G43/G44 H...

При помощи команды G43/G44 выполняются вызов значения коррекции из регистра сдвигов (OFFSET) и сложение или вычитание из длины инструмента. Для всех последующих движений по оси Z (при активированной плоскости XY - G17) в программе будет выполняться сложение или вычитание этого значения.

Пример: N5 G43 H05

Значение, записанное в регистре под H05, будет прибавлено при всех последующих движениях Z как длина инструмента. При активировании команды G49 коррекция на длину инструмента отменяется, то есть положительный (G43) или отрицательный (G44) сдвиг отменяется.

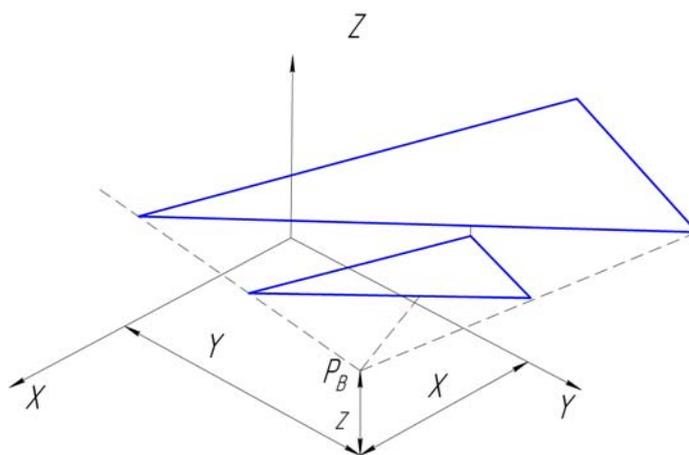
Отмена масштабного коэффициента и зеркального отображения программируется в формате кадра:

N...G50,

а активирование масштабного коэффициента и зеркального отображения - в формате кадра:

N... G51 X...Y...Z...I...J...K...

При применении команды **G51** все позиционные данные вычисляются в масштабе до отмены масштабирования функцией **G50**. Координаты X, Y, Z определяют положение базовой точки P_B (рис. 4.19), от которой вычисляются все значения. Параметры I, J и K определяют масштабный коэффициент для каждой оси.



G51 X Y I2000 J2000 K2000

Рис. 4.19. Масштабирование контура 1:2 без искажения

Если для осей определены различные по величине масштабные коэффициенты, то контур будет искажен (рис. 4.20). Круговые движения не должны искажаться, это вызывает сигнал тревоги.

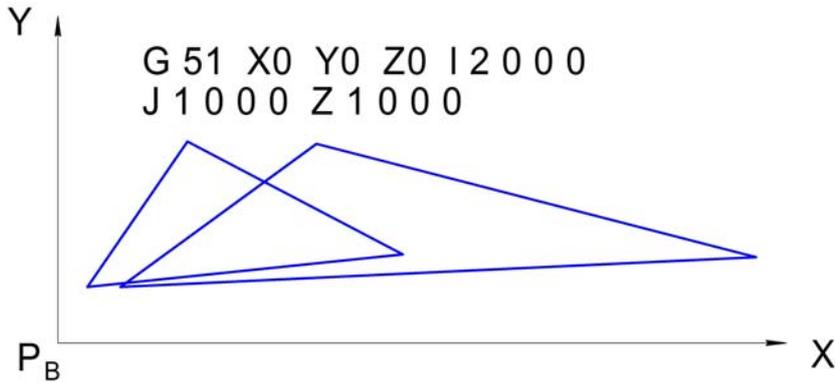


Рис. 4.20. Искажение контура X1:2, Y и Z 1:1

При программировании отрицательного масштаба

выполняется зеркальное отображение контура относительно базовой точки P_B . При программировании I-1000 все позиции X зеркально отображаются относительно плоскости YZ (рис. 4.21). При программировании J-1000 все позиции Y зеркально отображаются относительно плоскости ZX (рис.4.22).

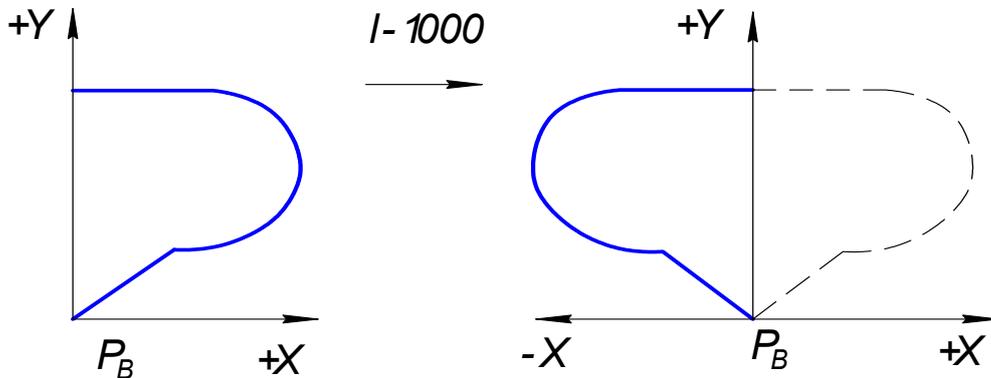


Рис. 4.21. Зеркальное отображение контура относительно плоскости YZ

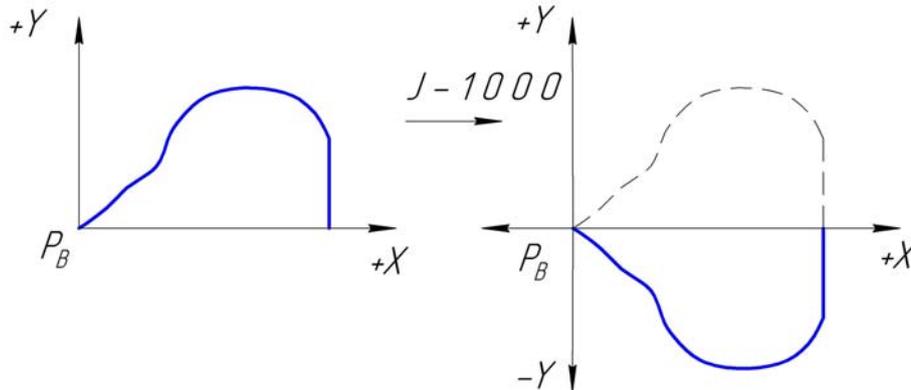


Рис. 4.22. Зеркальное отображение контура относительно плоскости ZX

При программировании К-1000 все позиции Z зеркально отображаются относительно плоскости XY (рис. 4.23).

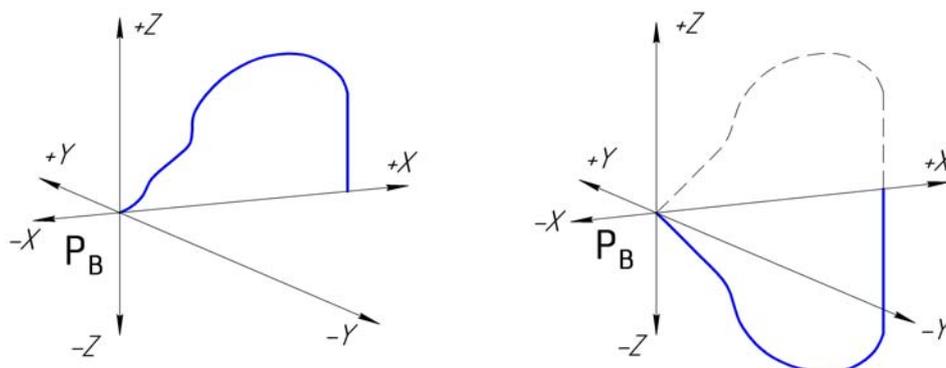


Рис. 4.23. Зеркальное отображение контура относительно плоскости XY

Режим нарезания резьбы программируется командой G63.

Функция G63 может использоваться только для станков фирмы EMCO модели PC Mill 100/125/155, так как станок EMCO PC Mill 50/55 не имеет датчика положения на фрезерном шпинделе.

При нарезании резьбы необходимо всегда использовать держатель для метчика с компенсацией длины.

Формат программирования следующий:

N...G63 Z...F...

Z - глубина резьбы,

F - шаг резьбы.

Переключатель ручной коррекции подачи и скорости вращения шпинделя не активен при применении команды G33 (100%).

Режим резания программируют в формате кадра:

N...G62/64

Функции **G62** и **G64** по функциональному своему значению равнозначны, то есть имеют одина-

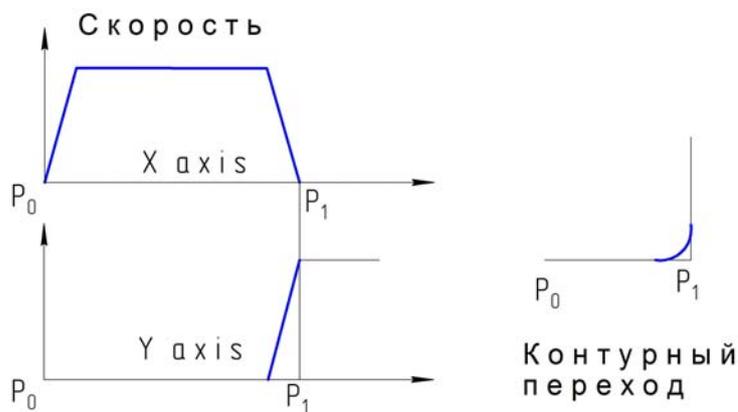


Рис. 4.24. Скоростная реакция при использовании G62 и G 64

ковый эффект. Перед достижением точки назначения в направлении оси X будет уже выполнен разгон в направлении оси Y (рис. 4.24.), что позволяет достичь стабильного перемещения при выполнении технологических переходов. Контурный переход не является совершенно заостренным (гипербола, парабола, окружность и др.), а размер контурного перехода обычно находится в пределах допуска, определяемого чертежом детали, поэтому такой режим резания обеспечивает не только требуемую точность обрабатываемого контура, но и высокую производительность обработки.

Поворот осей координат (рис. 4.25) программируют (команды G68/G69) в формате:

N... G68 a... b... R

N...G69,

где G68 означает поворот системы координат ВКЛ,

G69 - поворот системы координат ВЫКЛ,

a/b – параметры, которые определяют координаты центра вращения в соответствующей плоскости,

R – угол поворота.

Например, данная функция может использоваться для изменения программы при помощи команды поворота.

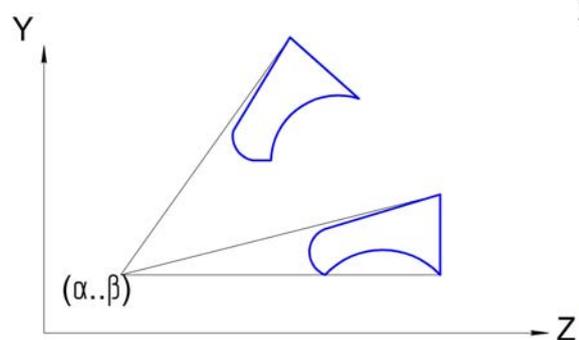


Рис. 4.25. Поворот системы координат G68/G69

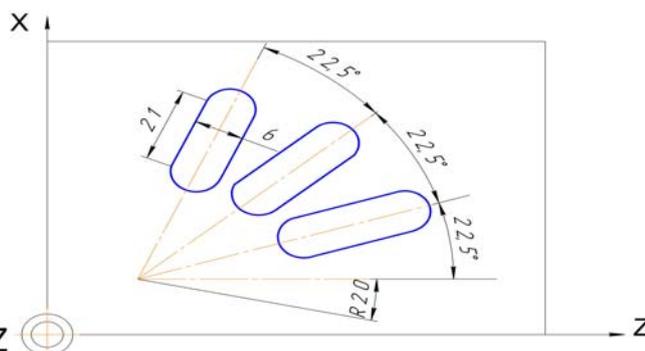


Рис. 4.26. Три паза, обрабатываемые с использованием поворота оси

Поворот выполняется в текущей активной плоскости (G17, G18 или G19). Пример применения функции поворота осей координат при обработке детали представлен на рис. 4.26.

G54
N10 G43 T10H10 M6
N15 S2000 M3 F300
N20 M98 P030100 вызов подпрограммы
N25 G0 Z50
N30 M30.
O0100 (подпрограмма 0100)
N10 G91 G68 X10 Y10 R22.5
N15 G90 X30 Y10 Z5
N20 G1 Z-2
N25 X45 N30 G0 Z5
N35 M99.

4.5. Программирование циклов обработки

С использованием программного обеспечения FANUC 21 MB на фрезерных станках с ЧПУ можно выполнять самые разнообразные автоматические циклы механической обработки:

- циклы сверления, сверления со стружколоманием, точного сверления, сверления с прерыванием, с отводом, с остановом шпинделя, обратного сверления, сверления с программируемым остановом;
- циклы нарезания внутренней левосторонней резьбы, нарезания правосторонней резьбы;
- циклы развертывания, развертывания с прерыванием;
- циклы торцового фрезерования, контурного фрезерования, резьбофрезерования, фрезерования параллельных продольных пазов, продольных пазов по окружности, круговых пазов, прямоугольных и круговых выемок, прямоугольных и круговых выступов.

Перечисленные автоматические циклы, выполняемые с использованием программного обеспечения FANUC 21 MB, свидетельствуют о широких технологических возможностях как фрезерных станков фирмы EMCO, так и применяемого программного обеспечения. Таким образом, совокупность указанного оборудования системы число-

вого программного управления представляет собой многофункциональный технологический комплекс для выполнения самых разнообразных и высокоточных операций механической обработки.

Циклы сверления G73 - G89. Систематические функции G98/G99

При активировании команды **G98** инструмент отводится в исходную плоскость после достижения глубины сверления. При активировании команды **G99** инструмент после достижения глубины сверления возвращается в плоскость отвода, положение которой определяется параметром **R** (рис. 4.27).

Если функции **G98** или **G99** не активированы, инструмент отводится в исходную плоскость. При активировании команды **G99** необходимо установить адрес **R**. При программировании **G98** нет необходимости в программировании параметра **R**.

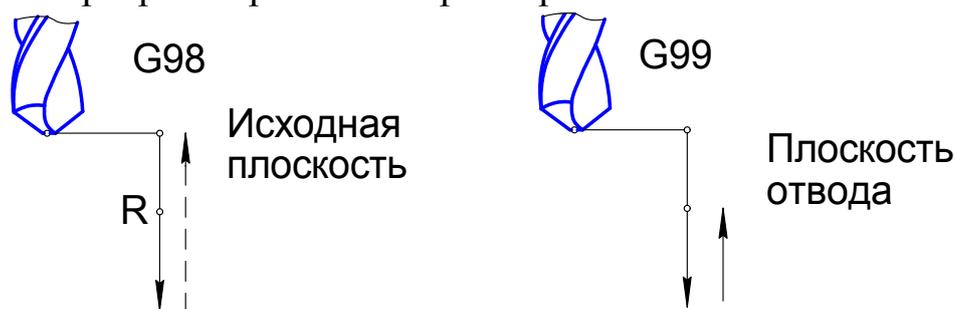


Рис. 4.27. Движения режущего инструмента при активировании G98 и G99

Вычисление параметра **R** при абсолютном и инкрементальном программировании различается. При абсолютном программировании численное значение параметра **R** задает высоту плоскости отвода инструмента над текущей нулевой точкой детали. При инкрементальном программировании параметр **R** определяет высоту плоскости отвода относительно последней позиции по оси **Z** (исходная позиция цикла сверления). При отрицательном значении параметра **R** плоскость отвода находится ниже исходной позиции, при положительном значении **R** плоскость отвода находится выше исходной позиции.

Последовательность движений режущего инструмента при выполнении цикла сверления (рис. 4.28):

- инструмент перемещается с высокой скоростью от исходной позиции S в плоскость R, определенную параметром R,

- обработка сверлением, определяемая характеристиками цикла, на глубину сверления (E),

- выполняется отвод режущего инструмента при помощи команды G98 в плоскость (S), при помощи G99 в плоскость отвода.

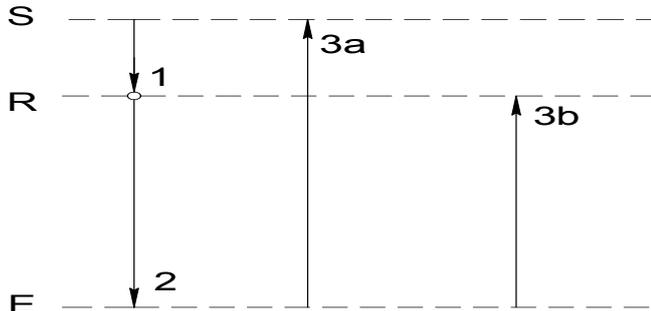


Рис. 4.28. Последовательность движений режущего инструмента при выполнении цикла

Цикл сверления со стружколоманием (команда G73) программируют в формате кадра:

N...G98(G99) G73/G83 X... Y... Z... (R...) P... Q... F... K,

где G98(G99) - возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X... Y... - координаты позиции обрабатываемого отверстия,

Z..... абсолютная или инкрементальная глубина сверления,

R..... абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода, мм,

P..... выдержка режущего инструмента на дне отверстия (миллисекунда),

P1000 = 1 с,

F..... скорость подачи

Q..... (мм) деление обработки на проходы, (врезная подача – проход),

K..... количество повторений.

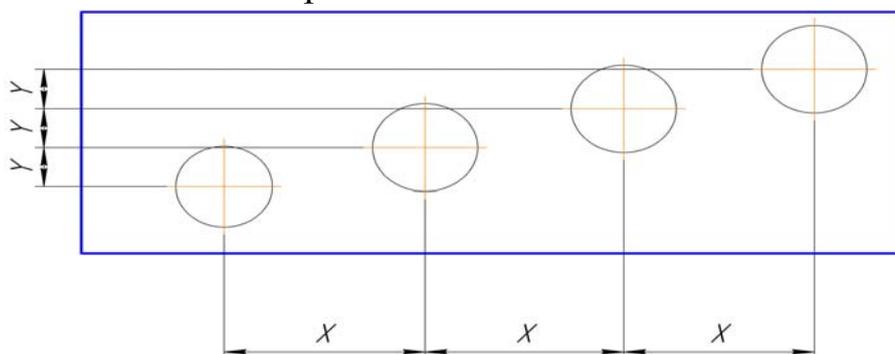


Рис. 4.29. Повторение цикла при обработке ряда отверстий

При обработке ряда отверстий (рис. 4.29) инструмент врезается в заготовку на длину Q, отводится назад на 1 мм для выполнения надлома стружки, врезается вновь и т.д. до достижения конечной глубины просверленного отверстия и затем быстро выводится из отверстия в исходную плоскость (рис. 4.30).

При сверлении ряда отверстий, имеющих одинаковый диаметр, отвод режущего инструмента после обработки каждого отверстия в исходную плоскость нецелесообразен. Достаточно возвращать сверло в плоскость отвода (рис. 4.31). Цикл применяется для глубокого сверления и сверления труднообрабатываемых материалов.



Рис. 4.30. Цикл сверления с отводом сверла в исходную плоскость

Рис. 4.31. Цикл сверления с возвратом сверла в плоскость отвода

Параметр K определяет количество повторений цикла. При абсолютном программировании (G90) не имеет смысла сверлить одно и то же отверстие несколько раз. При инкрементальном программировании (G91) инструмент каждый раз перемещается на расстояния X и Y для совмещения обрабатываемого отверстия с осью сверла. Это простой способ программирования обработки ряда отверстий в одной заготовке.

Цикл нарезания левосторонней внутренней резьбы (команда G74) применим только для PC Mill 100/125/155. Данный цикл позволяет выполнять левосторонние резьбы. Цикл G74 работает как G84, но с измененным направлением обработки. См. цикл нарезания резьбы G84.

Цикл точного сверления (команда G76) применим только для станков с функцией ориентированного останова шпинделя.

Формат кадра:

N... G98(G99) G76 X...Y... Z... (R...) F... Q... K...

Данный цикл предназначен для увеличения диаметра отверстия с использованием расточных и подрезных головок, то есть этот цикл правильнее было бы назвать циклом растачивания.

G98(G99) - возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X..., Y... абсцисса и ордината позиции отверстия,

Z.... абсолютная (инкрементальная) глубина сверления,

R.... (мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

P.... (мс) выдержка на дне отверстия P1000=1 с,

F.... подача,

Q.... величина горизонтального увода,

K.... количество повторов.

Инструмент перемещается со скоростью быстрой подачи в плоскость отвода (рис. 4.32), с запрограммированной рабочей подачей - до конечной глубины отверстия. Далее выполняется ориентированный останов фрезерного шпинделя, инструмент перемещается с быстрой скоростью горизонтально по стрелке Q от обработанной поверхности и на быстрой скорости возвращается в плоскость отвода (G99) или исходную плоскость (G98) и перемещается назад на значение Q к исходной позиции.

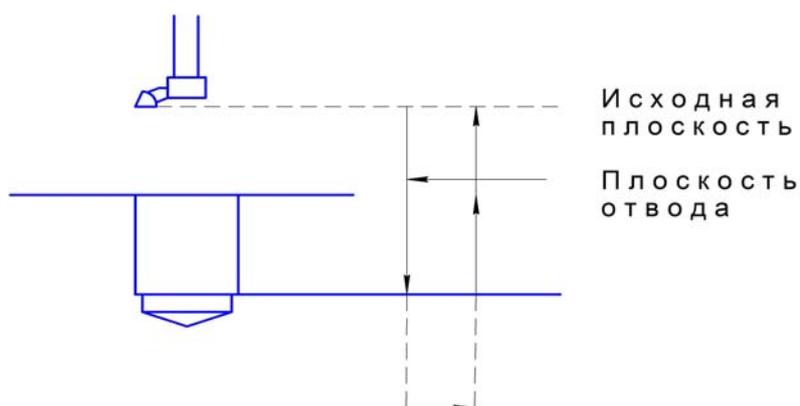


Рис. 4.32. Движения инструмента при G76 - цикл точного сверления

Отмену цикла сверления (команда G80) программируют в формате кадра:

N... G80

Циклы сверления являются модальными. Они отменяются функцией G80 или другой командой группы 1 (G00, G01, ...).

Цикл сверления по команде G81 программируют в формате кадра:

N...G98 (G99) G81 X...Y...Z...(R...) F... K...

G98(G99) – возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X,Y - позиция отверстия,

Z – абсолютная (инкрементальная) глубина сверления,

R - (мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

F – подача,

K - количество повторений.

Инструмент перемещается до конечной глубины со скоростью рабочей подачи и отводится на быстром ходу (рис. 4.33).

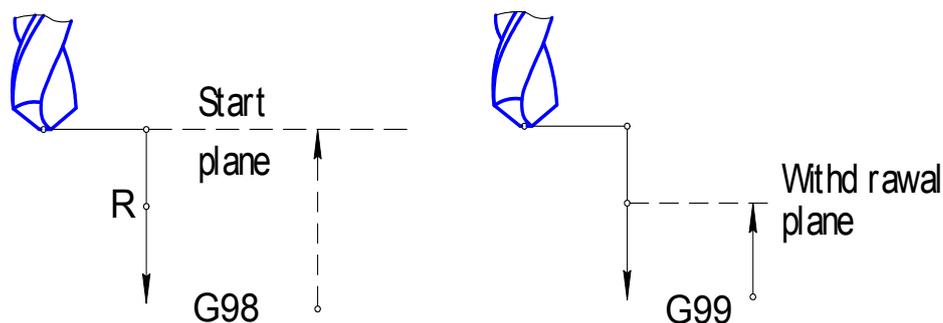


Рис. 4.33. Движения инструмента при G81 - цикл сверления

Цикл применяется при неглубоком сверлении, при резании хорошо обрабатываемых материалов.

G82 Цикл сверления с прерыванием программируют в формате кадра:

N...G98(G99) G82 X... Y... Z... (R...)P... F... K

G98(G99) – возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X,Y... позиция отверстия,

Z ...абсолютная (инкрементальная) глубина сверления,

R...(мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

P...(мс) выдержка на дне отверстия P1000 мс = 1 с,

F..скорость подачи,

K.количество повторений.

Инструмент перемещается на конечную глубину со скоростью подачи, выполняет задержку для очистки дна отверстия и отводится быстрым перемещением (рис. 4.34). Применение:

Неглубокое сверление, материалы с хорошими режущими свойствами.



Рис. 4.34. Движения режущего инструмента при выполнении цикла G82

G83 Цикл сверления с отводом

Формат:

N...G98(G99) G73/G83 X... Y... Z... (R...) P... Q... F...

Инструмент врезается в заготовку на величину врезной подачи Q, возвращается в исходную плоскость (G98) или в плоскость отвода (G99) для стружколома и удаления стружки из отверстия. Перемещается на быстром ходу до глубины 1 мм над предшествующей глубиной сверления, врезается снова на величину врезной подачи Q и т.д. до достижения конечной глубины, а затем отводится быстрым перемещением (рис. 4.35, 4.36).

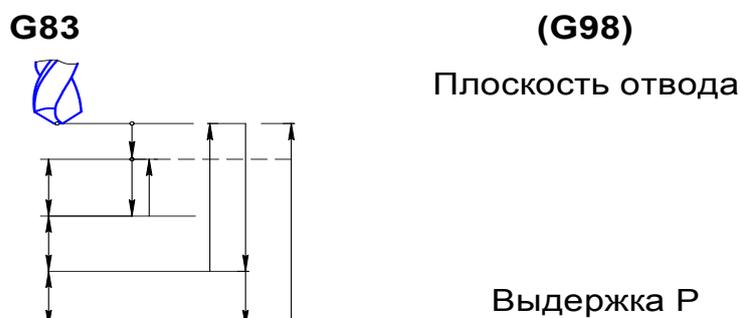


Рис. 4.35. Движения режущего инструмента при активированной G98

Применение: глубокое сверление, обработка мягких материалов с образованием длинных и сливных стружек.

G73

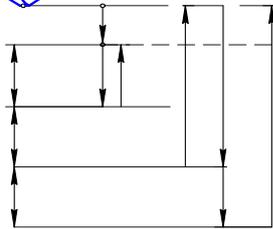


Рис. 4.36. Движения режущего инструмента при активированной G99

(G99)

Плоскость отвода

Выдержка P

G98(G99) - воз-

врат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X.Y...позиция отверстия,

Z...абсолютная (инкрементальная) глубина сверления,

R....(мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

P....(мс) выдержка на дне отверстия P1000 мс = 1 с,

F....скорость подачи,

Q....(мм) деление обработки (врезная подача на проход),

K....количество повторений.

G84 Цикл нарезания внутренней резьбы (рис. 4.37) используется только для PC Mill 100/125/155 и программируется в формате кадра:

N... G98(G99) G84X...Y... Z... (R...) F... P... K...

G98(G99) - возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X.Y...позиция отверстия,

Z...абсолютная (инкрементальная) глубина сверления,

R.... (мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

P....(мсек) выдержка на дне отверстия P1000 мс = 1с,

F....шаг резьбы (подача на оборот),

K....количество повторений.

Следует использовать держатель для метчика с компенсацией длины. Во время обработки переключатели ручной коррекции скорости подачи и скорости вращения шпинделя фиксируются на установке 100%.

Инструмент перемещается по часовой стрелке с граммированной подачей на глубину сверления Z , выполняет выдержку P , переключается в режим вращения против часовой стрелки и отводится со скоростью подачи.

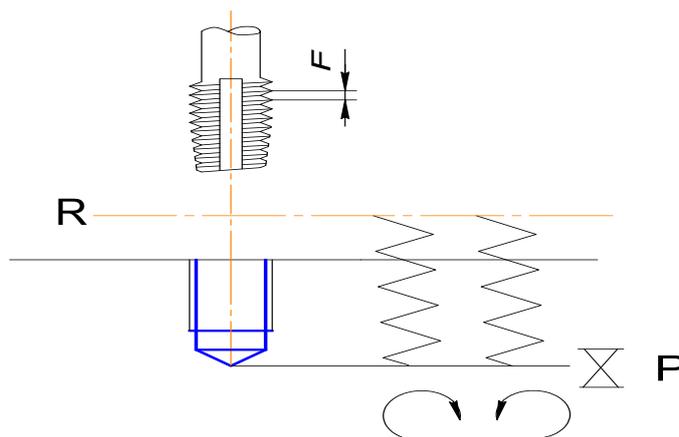


Рис. 4.37. Нарезание внутренней резьбы при активированной G99

G85 Цикл развертывания (рис. 4.38) программируют в формате кадра:

$N...G98(G99) G85 X...Y...Z...(R...)F...K...$

G98(G99) - возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X,Y... позиция отверстия,

Z абсолютная (инкрементная) глубина сверления,

R...(мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

F скорость подачи,

K количество повторений.

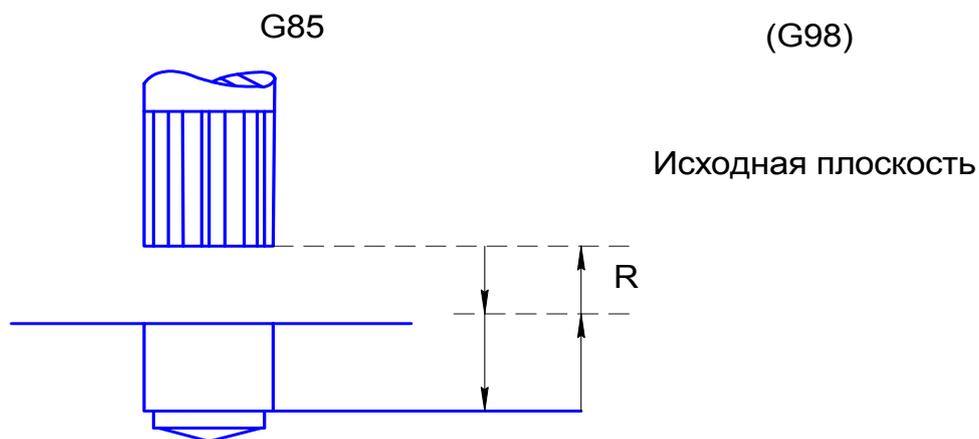


Рис. 4.38. Цикл развертывания с отводом в исходную плоскость

Инструмент перемещается до конечной глубины со скоростью подачи и отводится в плоскость отвода со скоростью рабочей подачи.

Отвод в плоскость отвода со скоростью быстрой подачи возможен в зависимости от G98.

G85 Цикл сверления с остановом шпинделя (рис. 4.39) программируют в формате:

N...G98(G99)G86X...Y...Z...(R...)

G98(G99) - возврат в исходную плоскость (плоскость отвода),

X.Y...позиция отверстия,

Z абсолютная (инкрементная) глубина сверления,

R...(мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода, F...скорость подачи, K...количество повторений.

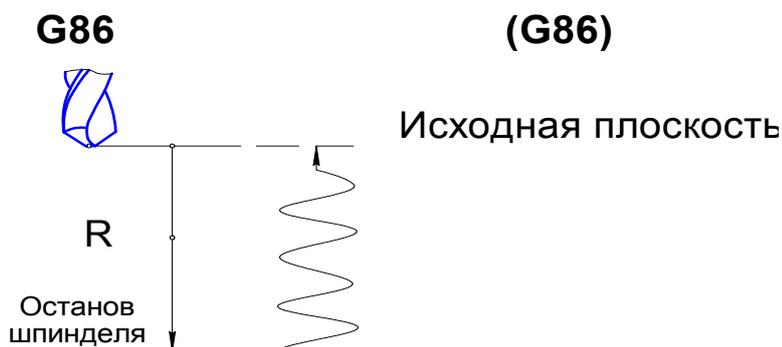


Рис. 4.39. Цикл сверления с остановом шпинделя и отводом в исходную плоскость

Инструмент перемещается до конечной глубины со скоростью подачи. На дне отверстия шпиндель останавливается и инструмент отводится со скоростью быстрой подачи (рис. 4.39).

G87 Цикл обратного сверления используют только для станков с ориентированным остановом шпинделя.

Формат кадра:

N...G87X...Y...Z...R...Q... F...

X,Y...позиция отверстия,

Z...абсолютная (инкрементная) глубина сверления,

R...глубина обратного сверления,

Q...величина горизонтального перемещения,

F...скорость подачи.

Существующие отверстия можно увеличить в одном направлении с использованием расточной или подрезной головки. Команда G99 не может быть запрограммирована, так как режущий инструмент всегда отводится в исходную плоскость.

Последовательность движений при выполнении цикла обратного сверления (расточивания) включает в себя несколько холостых и рабочих ходов инструмента.

В начале цикла инструмент позиционируется в точке с координатами X и Y и выполняет ориентированный останов, затем перемещается горизонтально на расстояние Q для следующего ориентированного останова (рис.

4.40). Далее он опускается на глубину R (без обработки), совершает обратное горизонтальное перемещение инструмента на расстояние Q в позицию X,Y (обработка).

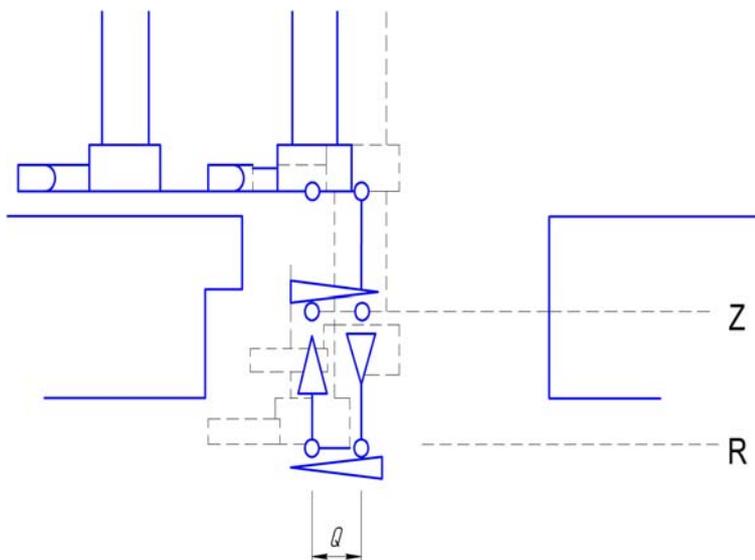


Рис. 4.40. Цикл обратного сверления (расточивания)

На высоте Z выполняются ориентированный останов шпинделя, горизон-

тальное перемещение на расстояние Q, быстрый вывод из отверстия и горизонтальное перемещение инструмента на величину Q обратно в позицию с координатами X,Y.

G88 Цикл сверления с программируемым остановом (рис. 4.41)

выполняется в последовательности: инструмент перемещается до конечной глубины со скоростью подачи. На дне отверстия программа останавливается вследствие запрограммированной паузы, а затем инструмент отводится в ручном режиме.

G88

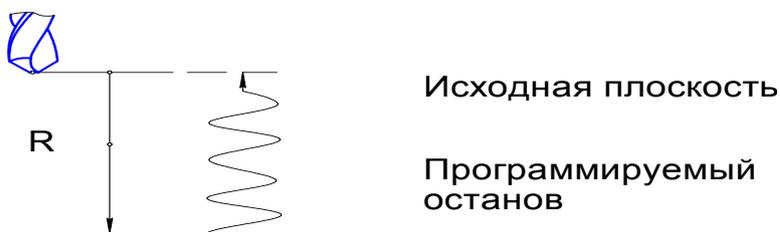


Рис. 4.41. Цикл сверления с программируемым остановом

Формат кадра:

N...G88 X...Y...Z...(R...) P...F...M...

X,Y...позиция отверстия,

Z...абсолютная (инкрементная) глубина сверления,

R...(мм) абсолютное (при G90), инкрементальное (при G91) значение плоскости отвода,

P...пауза на дне отверстия, P1000 мс = 1с,

F...скорость подачи.

G89 Цикл развертывания с прерыванием (см. G85).

Инструмент перемещается с запрограммированной скоростью подачи до конечной глубины и выполняется пауза P.

Возвращение в плоскость отвода осуществляется со скоростью подачи, а при G98 выполняется отвод в исходную плоскость на быстром ходу.

G90 Программирование в абсолютных размерах выполняют в формате кадра:

N...G90

Примечания:

- допускается прямое переключение между G90 и G91 от кадра к кадру,

- G90 (G91) могут также программироваться с некоторыми другими подготовительными функциями с адресом G.

Пример

N... G90 G00X...Y... Z....

G91 Программирование в размерах с приращением выполняют в формате кадра:

N...G91

G92 Установку системы координат выполняют в формате кадра:

N...G92 X...Z...

Иногда бывает необходимо смещение нулевой точки в пределах программы. Это выполняется с использованием функции G92.

Сдвиг нуля с помощью G92 является модальным и не отменяется командой M30 или RESET. Поэтому не следует забывать о необходи-

мости выполнения сброса сдвига нуля G92 перед завершением программы.

G94 Режим минутной подачи программируют в формате N...G94 F... Ввод команды G94 означает, что все значения, запрограммированные с использованием адреса F (подача), имеют единицы измерения мм/мин.

G95 Режим подачи на оборот программируют в формате N...G95 F... Ввод команды G95 означает, что все значения, запрограммированные с использованием адреса F (подача), имеют единицы измерения мм/об.

G97 Режим обороты в минуту программируют в формате N...G97 S... При вводе команды G97 все значения частоты вращения (скорости шпинделя) S выражаются в об/мин. Многочисленные циклы торцового фрезерования, контурного фрезерования, резьбофрезерования, фрезерования параллельных продольных пазов, продольных пазов по окружности, круговых пазов, прямоугольных и круговых выемок, прямоугольных и круговых выступов программируют с использованием обеспечения FANUC 21 MB так же, как и в программном обеспечении WIN NC Sinumerik 810D/840 D Milling. Для изучения процедур программирования названных выше циклов фрезерования рекомендуется обратиться к пп. 3.8 – 3.11 настоящего учебного пособия.

Для закрепления теоретического материала приведено приложение, в котором приведен пример управляющей программы для механической обработки детали на современных фрезерных станках с ЧПУ. Целью управляющей программы является усвоение изучающими методики практического использования программного обеспечения Win NC Sinumerik 810|840D Milling и FANUC 21 MB. В примерах содержатся рабочие чертежи деталей (рис. П1, П3 и П4), необходимые для разработки технологии фрезерования и управляющих программ.

Программы предназначены для использования в условиях автоматизированного компьютерного учебного класса и могут быть реализованы для обработки деталей на фрезерных станках с ЧПУ фирмы

EMCO. Для обработки деталей на реальном станке требуется обязательная адаптация приведенных программ к конкретной модели фрезерного станка.

Прежде чем создавать УП, необходимо проработать технологические вопросы обработки детали: выбор схемы базирования и закрепления, станочного приспособления, режущих инструментов и др. Решение этих вопросов оформляется в виде таблиц, представленных на рис. П2 и П5.

Вопросы для проверки усвоения материала

1. Охарактеризуйте основные **G**-функции, используемые в программном обеспечении FANUC 21 MB.
2. Охарактеризуйте основные **M**-функции, используемые в программном обеспечении FANUC 21 MB.
3. Изложите методику быстрого перемещения (позиционирования) исполнительного органа станка с ЧПУ.
4. В каком формате кадра программируют перемещения исполнительного органа станка с ЧПУ на холостом ходу?
5. Как программируют абсолютные и инкрементные размеры? Приведите примеры.
6. Каким образом программируют обработку фаски и закругления?
7. Каким образом программируется круговая интерполяция по часовой стрелке G02?
8. Как программируется круговая интерполяция против часовой стрелки G03?
9. Как программируется винтовая интерполяция?
10. В каких форматах кадра программируется пауза (G04)?
11. В каком формате кадра программируется цилиндрическая интерполяция (команда G7.1)?
12. Приведите пример программирования цилиндрической интерполяции и составьте фрагмент управляющей программы.
13. Как программируют режим точного останова (команда G61)?
14. В каком формате кадра программируется коррекция на инструмент (команда G10)?

15. Изложите методику определения рабочих (активных) плоскостей.
16. Как программируются измерения в дюймах (команда G20) и в миллиметрах (G210)?
17. Каким образом программируется коррекция на радиус фрезы влево (G41) и вправо (G420)?
18. Как программируется положительная (команда G43) и отрицательная коррекция (команда G44) на длину фрезы?
19. В каком формате кадра активируется масштабный коэффициент и зеркальное отображение?
20. Какие форматы кадра используют для отмены масштабного коэффициента и зеркального отображения (команды G50, G50)?
21. Изложите методику масштабирования без искажения и с искажением контура.
22. Как программируется зеркальное отображение контура относительно плоскости XY?
23. Каким образом программируется зеркальное отображение контура относительно плоскости YZ?
24. Как программируется зеркальное отображение контура относительно плоскости ZX?
25. В каком формате кадра программируют режим нарезания резьбы (команда G63)?
26. В каком формате кадра программируют режим резания (команда G62/64)?
27. В каком формате кадра программируют поворот осей координат (команды G68/G69)?
28. Приведите пример применения функции поворота осей координат и составьте фрагмент управляющей программы.

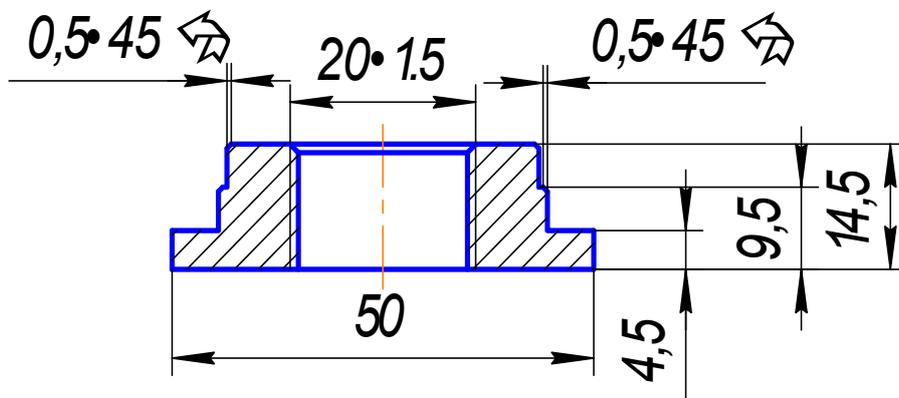
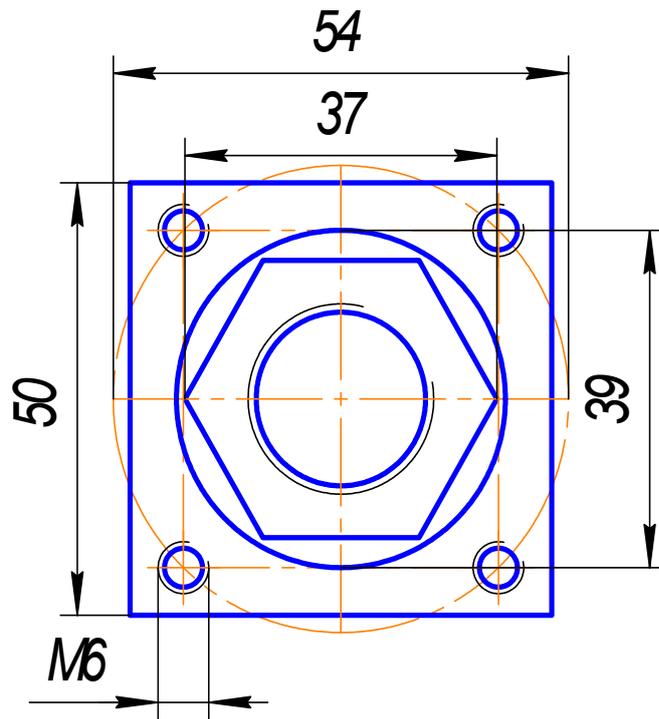
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные фрезерные станки с числовым программным управлением способны выполнять самые разнообразные технологические переходы механической обработки с высокой точностью и производительностью. На них можно выполнять обтачивание наружных цилиндрических поверхностей, нарезать различные виды резьб, сверлить, зенкеровать, развертывать не только отдельные отверстия, но и целые группы (шаблоны) отверстий, выполнять контурное фрезерование, фрезерование различных углублений, выступов и др. Столь широкие технологические возможности этого вида прогрессивного оборудования с числовым программным управлением позволяют объединить несколько металлорежущих станков (сверлильный, расточной, фрезерный) в один современный фрезерный станок, что значительно сокращает требуемую производственную площадь под металлорежущее оборудование, транспортные средства и уменьшает количество рабочих-станочников, задействованных в технологическом процессе и др.

Все выше сказанное позволяет значительно сократить время на обработку деталей и уменьшить их технологическую себестоимость при одновременном обеспечении высокой точности и производительности обработки, что существенно повышает конкурентоспособность выпускаемой продукции и стабильное состояние предприятия в условиях мирового рынка.

Вместе с этим эффективная эксплуатация современных фрезерных станков с ЧПУ требует высокой теоретической и практической подготовки специалистов не только в области традиционной технологии, режущего инструмента и металлорежущих станков, но и методологии программирования обработки деталей с использованием самых современных систем числового программного управления. Такими программными обеспечениями являются разработки ведущих мировых фирм Германии, Австрии и Японии, рассмотрению которых в настоящем учебном пособии уделено основное внимание.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Material: AlCuPbBi F38
Rawmaterial: 50x50x15r

Рис. П1. Рабочий чертеж детали «Гайка»

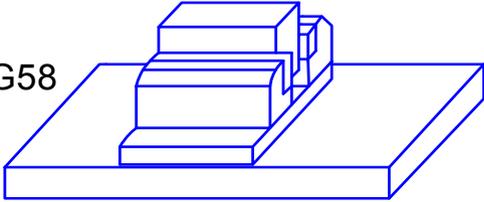
Rawmaterial	Material	Code	Demension	Dimension	Note	
	Aluminium	AlCuPbBiF38	Al	50x50x15		
Clamping device	Type	Workpiece zero point				
	Maschine vice					
	Order number					
	F1Z 310					
Shell end mill		Order No: 764 410	Shank end mill		No: 781 152	
Tools	T1	 <p>Offset number: D1 Tool radius: 20 Tool offset: Spindle: 1300 rpm Feed: 350 mm/min</p>		T2	 <p>Offset number: D2 Tool radius: 5,1 Tool offset: Spindle: 2300 rpm Feed: 450 mm/min</p>	
	Milling arbor		Order No: F1Z860	Mill arbor $\varnothing 10$		Order No: F1Z 830
	Slot end mill		Order No: 764 380	Angle milling cutter Ord No:771 050		
	T3	 <p>Offset number: D3 Tool radius: 5 Tool offset: Spindle: 4000 rpm Feed: 400 mm/min</p>		T4	 <p>Offset number: D4/14 Tool radius: 5/7 Tool offset: Spindle: 4500 rpm Feed: 600 mm/min</p>	
	Mill arbor $\varnothing 10$		Order No: F1Z 830	Mill arbor $\varnothing 6$		Order No: F1Z 850
	T5	<p>Offset number: Tool radius: Tool offset: Spindle: Feed:</p>		T6	<p>Offset number: Tool radius: Tool offset: Spindle: Feed:</p>	

Рис. П2. Данные о материале и технологической оснастке для обработки гайки

ТЕКСТ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ГАЙКА» НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Demonut:

G54

TRANS X25 Y-25 Z10.4

T1 D1

MSG («FACE MILL 40MM»)

S2200 F350 M3

G0 X-47 Y0 Z5

Z-0.4

G1 X47

G0 Z50

M0

T2 D1

MSG("SHANK END MILL 10MM")

S3000 F250 M3

G0 X-30 Y-30 Z5

Z0

OUTSIDE P2

G0 Z2

X-32 Y0

Z20

CIRCLE P2

G0 Z-5

HEXAGON P1

G0 Z2

X0 Y0

POCKET2(2,,1,-16,0,9.08,0,0,60,250,6,3,0,0,0,0,)

G0 Z50

M0
T3 D1

MSG("SLOT END MILL 10MM")
S3500 F300 M3
G0 X-30 Y-30 Z2
Z-5
OUTSIDE P1
G0 Z2 Z-5
CIRCLE P1
G0 Z-5

HEXAGON P1
G0 Z2
X0 Y0
Z-16
G41 G1 X-9.08
G3 X-9.08 Y0 I9.08
G40 G0 X0
G0 Z50
M0
T4 D2

MSG («ANGLE MILL 45°»)
S3500 F300 M3
G0 X-32 Y0 Z2
Z-3.5
CIRCLE P1
G0 Z-1.5 D1

HEXAGON P1
G0 Z2
X0 Y0
Z-2.5

G41 G1 X-9.08
G3 X-9.08 Y0 I9.08
G40 G0 X0
Z50
M0
T7 D1
X-32 Y0

MSG(«NC-DRILL»)
S2500 F100 M3
MCALL CYCLE81 (1 ,-9,1 ,-11.8,0)
HOLES2(,27,45,90,4)
MCALL
G0 Z50
M0
T8 D1
MSG(«TWIST DRILL 5MM»)
S2500 M3 F120
MCALL CYCLE81 (1 ,-9,1 ,-18,0)
HOLES2(,27,45,90,4)
MCALL
G0 Z50
M0
T10 D1

MSG(«THREAD MILL»)
S2000 M3 F200
G0 X0 Y0 Z0
G42 G1 X-10 Y0 THREAD P11
G90
G40 G1 X0 Y0
G0 Z50 X80 Y20
M30.

Subprogram CIRCLE:

G0 Z=IC(-5)
G41 G1 X-19.5 Y0
G2 X-19.5 Y0 I19.5
G40 G1 X-32 Y0
M17

Subprogram HEXAGON:

G111 X0 Y0
G1 G41 RP=18.5 AP=180
AP=120
AP=60
AP=0
AP=300
AP=240
AP=180
G40 X-32 Y0
M17

Subprogram THREAD:

G91 G2 X0 Y0 Z-1.5 110
M17

Subprogram OUTSIDE:

G0 Z=IC(-5)
G41 G1 X-20 Y-20
Y20
X20
Y-20
X-20
G40 X-30 Y-30
M17.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов, В. В. Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособие / В. В. Морозов, В. Г. Гусев. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009.
2. Гжиров, Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справ. / Р. И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий. – Л. : Машиностроение, 1990. – 588 с. – ISBN 5-217-00909-8.
3. Ловыгин, А. А. Современные станки с ЧПУ и CAD/CAM системы / А. А. Ловыгин, А. В. Васильев, С. Ю. Кривцов. – М. : Эльф ИПР, 2006. – 286 с. – ISBN 5-900891-60-7.
4. Серебrenицкий, П.П. Программирование автоматизированного оборудования / П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе; под ред. Ю.С. Соломенцева. – М. : Высш. шк., 2003. – 592 с. - ISBN 5-06-004081-X.
5. WWW. arinstein.com

Учебное издание

МОРОЗОВ Валентин Васильевич
ГУСЕВ Владимир Григорьевич

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
НА СОВРЕМЕННЫХ
ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Учебное пособие

Подписано в печать 05.03.10

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 14,41. Тираж экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.