

Н. Д. Юсубов, А. М. Мамедов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

**(Проектирование технологических операций
для станков с ЧПУ)**

Баку-2005

Н. Д. Юсубов, А. М. Мамедов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

(Учебное пособие)

Утверждено приказом № 519 от 27 июня
2005 года Министра Образования
Азербайджанской Республики в качестве
учебного пособия для студентов высших
технических учебных заведений.

Баку-2005

УДК 621.92 (07)

Юсубов Н. Д., Мамедов А. М. Проектирование машиностроительных технологических процессов (Проектирование технологических операций для станков с ЧПУ): Учебное пособие.-Баку: АзГУ, 2005. 164с.

Научный редактор: д.т.н., проф. **Мовла-заде В.З.**,
заведующий кафедрой
«Технология машиностроения»
Азербайджанского Технического
Университета

Рецензенты: д.т.н., проф. **Гусейнов Г. А.**,
заведующий кафедрой
«Технологические комплексы и
специальная техника»
Азербайджанского Технического
Университета, академик Академии
проблемы качества Российской
Федерации;
д.т.н. **Гаджиев В.Д.**, генеральный
директор ОАО "Нефтьгазмаш"

В учебном пособии излагаются сведения об особенностях технологии механической обработки на станках с ЧПУ, рассматривается методика проектирования технологических процессов и их элементов, показаны примеры подготовки технологической информации для разработки управляющих программ. Даны рекомендации по обеспечению точности размеров деталей, определению режимов резания. Изложена методика составления управляющих программ для операций механической обработки на станках с ЧПУ. Рассмотрены особенности программирования современных систем ЧПУ, используемых на станках токарной и фрезерной групп.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности Т06.01.00 «Технология машиностроения», но может быть полезно и студентам других машиностроительных специальностей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ	9
1.1. Принципы программного управления и типы систем	9
1.2. Технологические особенности позиционного и контурного управления	29
1.3. Системы координат станков	43
1.4. Выбор плоскости интерполяции	45
1.5. Установка требуемого инструмента в рабочую позицию. Выбор корректирующих данных на положение инструмента в системе координат станка	45
1.6. Управление системой отсчета координат	47
1.7. Управление ходом выполнения программы	48
1.8. Коррекция программы, визуальная информация и контроль	49
1.9. Структура кадра управляющей программы	50
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАНКОВ С ЧПУ	53
2.1. Определение номенклатуры деталей, рекомендуемых для обработки на станках с ЧПУ	56
2.1.1. Организационно-технические требования к деталям	57
2.1.2. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ	58
2.2. Технологический контроль чертежа детали	60

2.3. Особенности маршрутного технологического процесса при наличии операций, выполняемых на станках с ЧПУ	62
2.4. Структура операционного технологического процесса	70
2.5. Проектирование перехода.....	71
2.6. Расчетно-технологическая карта.....	79
2.7. Универсальные методы решения геометрических задач	81
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	84
3.1 Расчет траектории инструмента	86
3.2. Особенности программирования фрезерной обработки.....	92
3.2.1. Структура кадра	93
3.2.1.1. Задание режимов работы устройства .	93
3.2.1.2. Задание скорости подачи	94
3.2.1.3. Задание технологических команд	94
3.2.1.4. Задание перемещений при линейной интерполяции	95
3.2.1.5. Задание перемещений при круговой интерполяции	95
3.3. Коррекция управляющих программ	96
3.4. Кодирование программы	100
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ	102
4.1. Базирование детали, выбор исходной точки	102
4.2. Выбор и настройка инструмента.....	104
4.3. Проектирование переходов	106
4.4. Расчетно-технологическая карта	115

4.5. Оформление карты координат опорных точек	115
4.6. Особенности программирования токарной обработки	117
4.6.1. Задание режимов работы устройства ..	118
4.6.2. Задание скорости подачи	118
4.6.3. Задание технологических команд	119
4.6.4. Коррекция управляющих программ .	120
4.6.4.1.Коррекция нулевой точки	120
4.6.4.2.Коррекция инструмента	120
4.6.5. Кодирование программы	121
5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С СИСТЕМАМИ ЧПУ	
«ЭЛЕКТРОНИКА НЦ-31»	124
5.1. Задание номера кадра	124
5.2. Задание системы отсчета координат	124
5.3. Задание номера инструмента и режимов резания	125
5.4. Программирование перемещений инструмента	127
5.4.1. Программирование ускоренных перемещений	127
5.4.2. Программирование перемещений на рабочей подаче	128
5.4.3. Программирование обработки фасок .	128
5.4.4. Программирование круговой интерполяции	130
5.4.5. Программирования обработки галтелей и скруглений	132
5.5. Технологические циклы	133
5.5.1. Группа циклов многопроходной обработки	133
5.5.2. Группа однопроходных циклов	135

5.5.3.Группа циклов нарезания резьбы	136
5.5.4. Группа циклов специального назначения	138
5.6. Смещение нуля детали и коррекция инструмента	140
5.7. Повтор части управляющей программы	141
5.8. Параметрическое программирование и команды модификации управляющей программы	142
5.8.1. Команды модификации и переходов	143
5.8.2. Подпрограммы с формальными параметрами	146
5.8.3. Пример составление подпрограммы ...	148
6. ПРЕДПОСЫЛКИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА С ЧПУ	155
ЛИТЕРАТУРА	161

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основная задача промышленности в настоящее время состоит в расширении и усовершенствовании индустриальной базы экономики, повышении технического уровня и эффективности производства. Важнейшую роль в решении этих задач играет дальнейшая автоматизация и гибкость производства.

В таких отраслях, как станкостроение, электромашиностроение, большая доля общего объема выпускаемой продукции приходится на единичное и мелкосерийное производства. Как показывает исследование, даже в США с их огромным объемом производства около 75% всей машиностроительной продукции состоит из деталей, которые изготавливаются партиями в 50 штук и менее [1].

По данным ООН, 80% всей металлообработки приходится на мелкосерийное производство [1]. Конечно, применение автоматических линий в таком производстве экономически невыгодно: они простаивают и не окупаются в приемлемый срок. Расширение номенклатуры деталей неизбежно приводит к резкому усложнению и удорожанию средств автоматизации; к тому же частые переналадки связаны с потреблением большого количества вспомогательного времени.

Таким образом, для мелкосерийного производства необходимы принципиально новые средства автоматизации, сочетающие в себе производительность станков-автоматов с гибкостью универсального оборудования. Эта проблема решена путем создания оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) на базе последних достижений электроники и станкостроения.

В настоящее время станки с ЧПУ все более широко используются в машиностроении для автоматизации механической обработки деталей мелкосерийного

производства.

Эффективное использование возможностей металлорежущих станков с ЧПУ предъявляет более высокие требования к разработке технологических процессов изготовления на них деталей. Существенным образом изменяется при этом технологическая подготовка производства: ряд работ непосредственного производства перемещается в сферу инженерного труда; усложняется и увеличивается объем самой подготовки, обусловленный необходимостью разработки программы и представления ее на определенном программоносителе.

Для повышения качества технологических разработок и сокращения сроков выполнения подготовки производства на предприятиях, эксплуатирующих станки с ЧПУ, создаются специальные подразделения, в которых появилась новая инженерная специализация - технолог - программист. В связи с этим определилась необходимость изучения студентами машиностроительных специальностей технологии обработки деталей на станках с ЧПУ.

Для студентов специальности Т06.01.00 –«Технология машиностроения» введен курс "Проектирование машиностроительных технологических процессов», где предусмотрен в целом с учетом лекций (12 часов), практических (17 часов) и лабораторных работ (12 часов) 41 час по проектированию технологических операций для станков с ЧПУ. К сожалению, в учебниках по технологии машиностроения сведения по рассматриваемому вопросу излагаются частично. Эти материалы частью содержатся в различных изданиях, частью опубликованы в ведомственных изданиях, являющихся достоянием соответствующих служб предприятий и организаций.

Предлагаемое пособие предназначено для студентов при изучении вышеупомянутого курса и для решения практических вопросов разработки технологии изготовления деталей на станках с ЧПУ в курсовом и

дипломном проектировании.

Пособие подготовлено на кафедре «Технология машиностроения» Азербайджанского Технического Университета.

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ

1.1. Принципы программного управления и типы систем

Программное управление - это такая система управления, которая обеспечивает автоматическую работу механизмов и устройств станка по быстроустанавливаемой и легкозаменяемой программе. Традиционные средства автоматизации процессов обработки (копировальные станки, кулачковые автоматы и т.д.), в принципе, тоже являются программно управляемыми. Однако носители программы в них (копиры, кулачки) сами представляют собой детали машиностроительного производства. Поэтому подготовка новой программы, особенно изготовление ее, - самостоятельная, порой весьма трудоемкая производственная задача. Точность изготовления копиров, кулачков должна быть высокая, поскольку от этого зависит точность обработки на станке-автомате. Кроме того, на детали, которые обрабатываются по нескольким операциям, необходимо изготавливать и несколько копиров. Например, для обработки всех деталей современного самолета требуется свыше 1500 копиров.

Программа - определенная последовательность избранных действий. Состав избранных действий при обработке различных деталей очень разнообразен. Во-первых, это перемещение одного или нескольких, по отдельности или совместно различных органов станка (суппорта, стола, шпиндельной бабки, инструментального магазина и т.д.). Во-вторых, это перемещения на различные расстояния (измеряемые сотнями, десятками и единицами миллиметров, десятыми, сотыми и даже тысячными долями миллиметра). В-третьих, это различные

скорости перемещений. В-четвертых, это направления перемещений и т.д.

Основная особенность числового программного управления состоит в том, что программа о величине, скорости и направлении перемещений различных органов станка задается в математической (числовой) форме. Процесс подготовки программы отделен от процесса обработки во времени и пространстве.

Станок с ЧПУ выполняется в виде двух, в известной мере, самостоятельных агрегатов: металлорежущего станка и системы (пульта) числового программного управления. Существует достаточно большое разнообразие систем ЧПУ, выпускаемых серийно [2]. Станки и системы обычно конструируются с таким расчетом, чтобы каждый станок легко мог быть оборудован различными пультами зарубежных фирм. Это позволяет создавать на базе станки различной стоимости и разнообразного назначения.

Основоположителем систем с ЧПУ считается Джон Т. Парсонс, профессор Массачусетского технологического института. В конце 40-х годов он разработал оборудование для кодирования управляющей программы на металлических перфокартах. Программа управляла приводами подачи фрезерного станка (рис. 1.1).

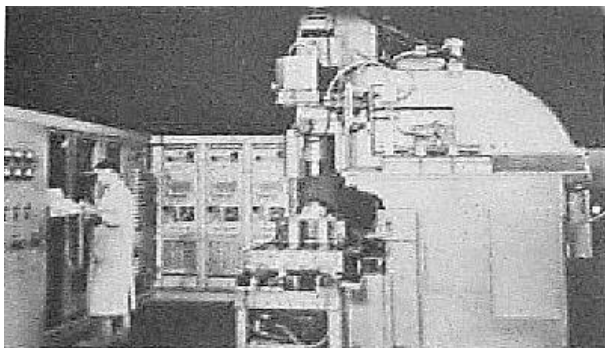


Рис. 1.1. Первый станок с ЧПУ (MIT, 1948)

Координаты точек задавались именно в цифровом виде, поэтому это уже была именно NC-система. В 1948 система была принята в эксплуатацию в военной авиапромышленности США. Первый коммерческий вариант NC-системы стал доступен покупателям в 1952. Дальнейшее развитие шло по пути модернизации аппаратной части (электронные лампы-транзисторы-СБИС), повышения точности, добавления функциональности. Параллельно шло и развитие специальных методов и языков программирования для оборудования с ЧПУ (программирование буквенными кодами ISO, язык АРТ и другие).

Системы программного управления, применяющиеся в станках с ЧПУ, можно классифицировать по различным признакам (рис.1.2).

По конструктивному признаку (методу задания программы) системы программного управления разделяются на системы с числовым программным управлением (СЧПУ) и системы с программированием цикла режимов обработки.

Системы с программированием цикла обработки (цикловые) определяют последовательность работы узлов и устройств станка. Размеры при обработке на станках с цикловой системой получаются посредством расстановки упоров (кулачков) по пути движения рабочих органов (суппорта, стола, шпиндельной бабки и т.п.). Программа набирается обычно прямо на пульте.

Станки с цикловым ПУ достаточно просты, дешевы, но переналадка их требует времени. В связи с этим их целесообразно применять для обработки типовых и специальных деталей при значительных размерах партии.

Системы с программированием режимов обработки производят включение наиболее рациональных режимов обработки (число оборотов, подачи), постоянных или изменяющихся во времени, для соответствующих

поверхностей деталей в зависимости от размеров и этапов обработки (черновая, чистовая).

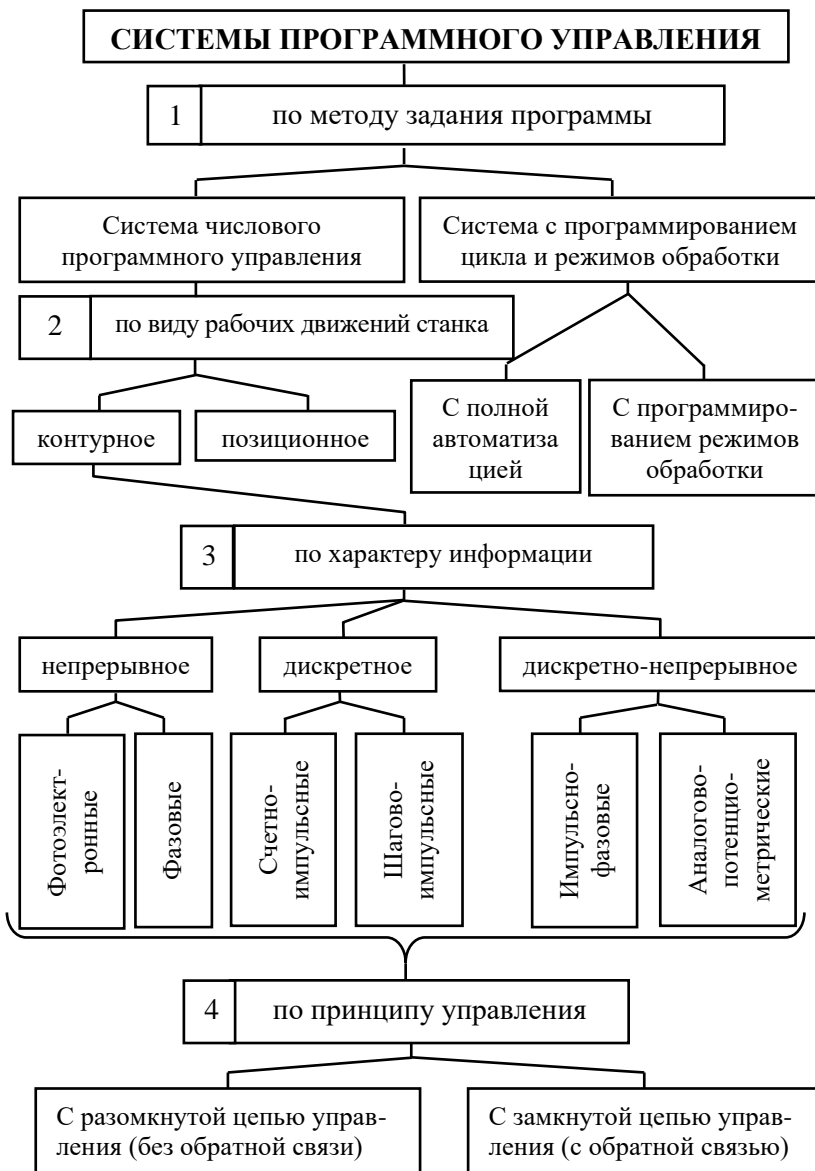


Рис. 1.2. Классификация систем программного управления [3]

В СЧПУ программа работы станка задается в виде определенного комплекса чисел, записанных на программноносителе в закодированном виде (в виде символов, имеющих свои неповторяющиеся обозначения).

В качестве программноносителей ранее использовалась перфолента, теперь же широко применяются дискеты, ZIP дисководы, съемные магнитные диски, а также съемные кассеты памяти.

По технологическому признаку (виду рабочих движений станка) системы программного управления разделяются на две группы.

Первая группа - позиционные, обеспечивают заданное относительное положение инструмента и заготовки (прерывистое, от точки к точке), точную установку инструмента в рабочую позицию. При этом перемещения между позициями осуществляются обычно по прямолинейным траекториям, без функциональной связи между движениями рабочих органов станка.

Вторая группа - контурные, обеспечивают непрерывное относительное перемещение инструмента и заготовки. Формообразование детали, в этом случае, осуществляется в результате совместных движений рабочих органов при наличии непрерывной функциональной связи между ними, что позволяет обрабатывать детали сложной конфигурации.

По характеру информации, выражающей программу, системы программного управления разделяются на три группы.

Непрерывные системы: программа записывается непрерывной величиной управляющего сигнала, изменение амплитуды или фазы синусоидального напряжения которого пропорционально программируемым перемещениям.

Дискретные (импульсные) системы: программа

записывается в виде соответствующего числа импульсов, определяющих перемещения инструмента или изделия по тому или иному направлению.

Рассмотрим основные принципы работы числового программного управления на примере станка с шагово-импульсной системой ЧПУ. В шагово-импульсной системе управления исполнительными механизмами являются шаговые двигатели. При поступлении на одну из обмоток шагового двигателя импульса электрического тока ротор поворачивается на строго определенный угол и останавливается. При подаче следующего импульса на другую его обмотку ротор вновь поворачивается на тот же угол, а следовательно, и рабочий орган станка переместится на конкретную величину- шаг. От частоты следования управляющих импульсов, подаваемых на шаговый двигатель, зависит скорость вращения ротора. Таким образом, количество отработанных шаговым двигателем импульсов определяет величину перемещения рабочего органа станка, а частота их следования задает подачу.

Работу станка рассмотрим на примере обработки ступенчатого валика (рис. 1.3, а). Для обработки валика резец из первоначального положения должен пройти вдоль продольной оси Z 35 мм, поперечной X - 5 мм и затем вновь продольной Z - 20 мм (рис. 1.3, а). На рис. 1.3, б показана схема управления рабочим органом токарного станка с помощью шагового двигателя продольной подачи $ШД_z$ и шагового двигателя поперечной подачи $ШД_x$.

Приняв, что при отработке шаговым двигателем одного импульса рабочий орган перемещается на 0,01 мм (т.е. цена импульса $h = 0,01$ мм), определим необходимое количество импульсов, которое следует подать на шаговые двигатели. Разделив величины требуемых перемещений на принятую цену импульсов, определим, что сначала нужно

подать на шаговый двигатель $ШД_z$ 3500 импульсов, потом на $ШД_x$ 500 импульсов и затем опять на $ШД_z$ 2000 импульсов. Следовательно, для подготовки и ввода программы необходимо: знать, сколько импульсов и в какой последовательности нужно подать на шаговые двигатели станка, определить необходимую частоту следования импульсов, так как от нее зависит подача; записать необходимое число импульсов на программоноситель; осуществить "считывание" числовой информации с программоносителя; преобразование ее в импульсы; передачу к исполнительным органам станка. Три последние функции и выполняет система числового программного управления. Все предшествующие им этапы выполняет технолог-программист в процессе программирования обработки.

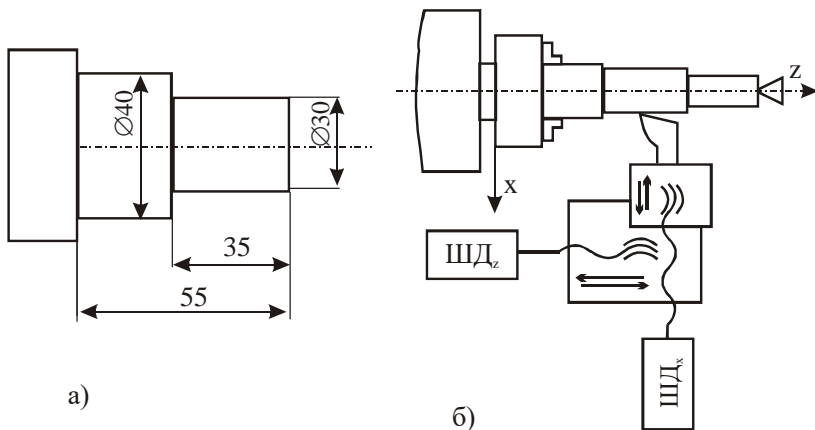


Рис. 1.3. Схема реализации числовой программы на токарном станке [1]

Дискретно-непрерывные системы: обеспечивают работу станка в позиционном и непрерывном режимах,

однако в непрерывном режиме функциональная связь осуществляется не по всем координатам. Например, в вертикально-сверлильном станке 2P118Ф2, имеющим систему такого типа, непрерывное управление осуществляется механизмами привода продольной и поперечной подач стола и позиционное управление - приводом вертикальной подачи шпинделя.

По принципу управления современные системы ЧПУ выполняются с разомкнутым и замкнутым контуром управления. На рис. 1.4 изображены блок-схемы разомкнутой (а) и замкнутой (б) систем.

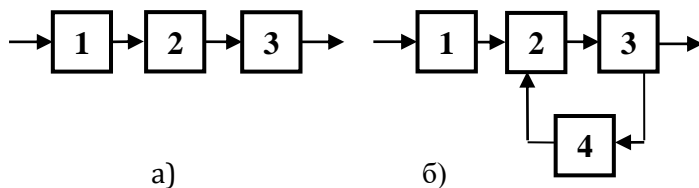


Рис. 1.4. Блок-схемы реализации принципа управления

На этих схемах цифрами обозначены узлы: 1 – узел программы, состоящей из считывающего устройства (читает информацию с программноносителя) и протяжного механизма (перемещает программноноситель в считывающем устройстве); 2 - узел управления, в котором происходит расшифровка поступающих команд и переработка этих команд в форму, пригодную для управления приводами исполнительных механизмов; 3 - узел приводов исполнительных механизмов; 4 - узел обратной связи, который регистрирует фактическое выполнение исполнительными устройствами заданных команд и устраняет через узел управления возникающие рассогласования.

В разомкнутых системах в качестве приводов устройств подачи часто применяются шаговые двигатели, поэтому их называют шаговоимпульсными. Системы с разомкнутым контуром значительно проще и дешевле в изготовлении, однако отсутствие контроля исполнения команд снижает ее точностные показатели. К примеру, такими системами оснащены станки 16К20Ф3, АТПр2М-12С, 6Н13Пр, ГФ-770, ФП-4, ЛФ-66 и др..

В замкнутых системах датчик обратной связи дает информацию о фактическом положении исполнительного органа, по которой узел управления осуществляет необходимую коррекцию положения. Такие системы обладают большой точностью (в пределах 0,002-0.08 мм для линейных размеров в зависимости от типов датчиков обратной связи), но они сложнее, менее надежны и дороже систем с разомкнутым контуром.

В соответствии с рассмотренной классификацией систем управления введена специальная индексация в обозначениях моделей станков с ПУ - после основного обозначения модели станка ставится один из следующих индексов: Ц - станки с цикловым управлением; Ф1 - станки с цифровой индексацией положения; Ф2 - станки с позиционной системой; Ф3 - станки с контурной системой управления.

Станки с ЧПУ современных конструкций, как правило, многоинструментальные. Они имеют револьверный суппорт, позволяющий устанавливать 4-8 инструментов (16К20Ф3; РТ699Ф3), револьверную головку (2Р118Ф2) или магазин с автоматической сменой инструмента по программе. Так, станок модели АТПр2М-12С имеет магазин на 12 инструментов, поочередная установка которых на суппорт и сьем осуществляется автооператором. Конструктивные особенности станка,

связанные с автоматической сменой инструмента, обозначаются индексами: Р-смена инструмента поворотом револьверной головки; М -смена инструмента из магазина (см. вышеуказанные марки станков).

В обозначениях некоторых моделей станков используются индексы Ф4 и Ф5. Они присваиваются станкам особой группы, называемым обрабатывающими центрами (ОЦ).

Обрабатывающий центр представляет собой высокоавтоматизированный станок с программным управлением, дополнительно оснащаемый специальным инструментальным магазином (емкостью 20 -130 единиц инструмента), расположенным вне рабочей зоны станка. Автоматическая смена инструмента выполняется отдельным устройством за 4-10 секунд. На некоторых обрабатывающих центрах вместо замены инструмента производится замена самих шпинделей, в одном из которых инструмент устанавливается во время работы другого. Время на замену инструмента сокращается в этом случае до 2-3 секунд.

Обрабатывающим центрам с позиционными системами управления присваивается индекс - Ф4, с контурными системами управления - Ф5.

Принята еще классификация систем ЧПУ по уровню использования вычислительной техники (рис.1.5):

NC (Numerical Control) - системы ЧПУ с покадровым чтением перфоленты па протяжении цикла обработки каждой заготовки;

SNC (Stored Numerical Control) - системы ЧПУ с однократным чтением всей перфоленты перед обработкой партии одинаковых заготовок;

CNC (Computer Numerical Control) - системы ЧПУ со встроенной миниЭВМ (компьютером, микропроцессором);

DNC (Direct Numerical Control) - системы прямого числового управления группами станков от одной ЭВМ;

HNC (Handled Numerical Control) - оперативные системы ЧПУ с ручным набором программ на пульте управления.

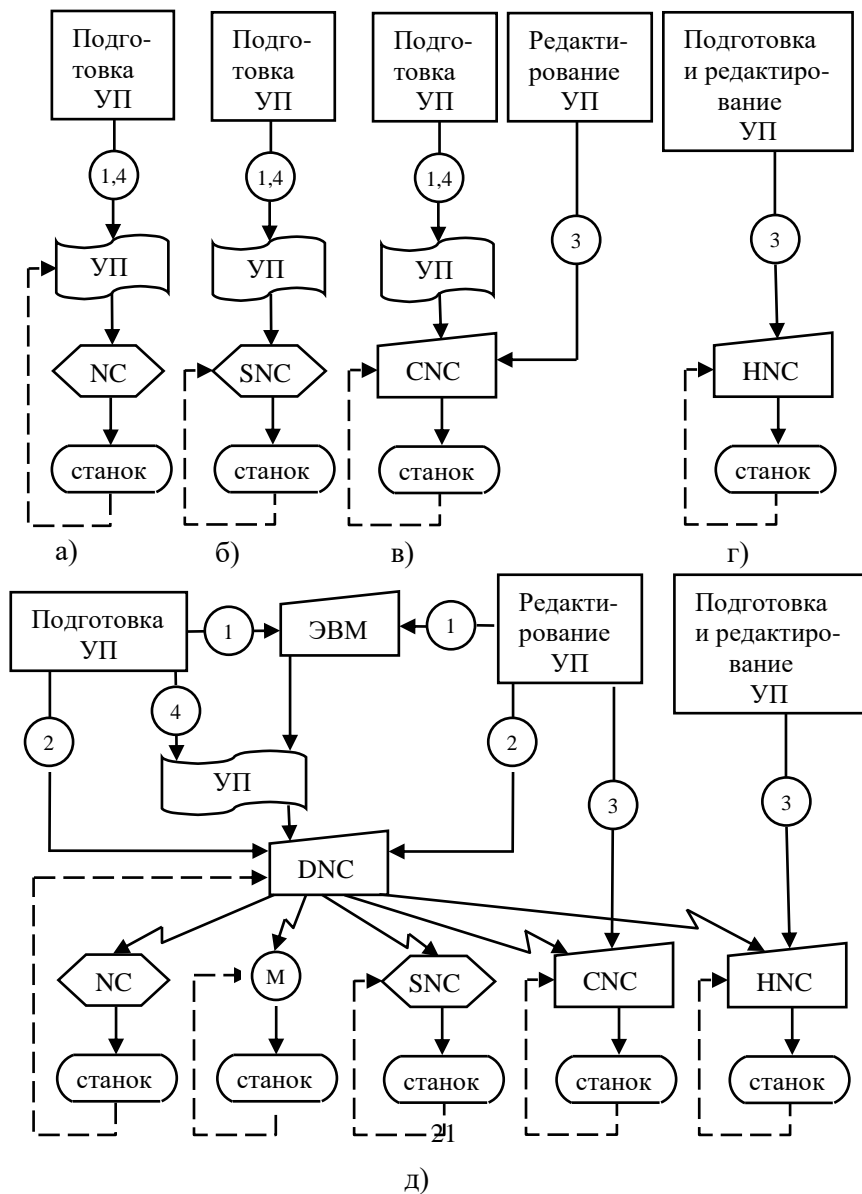


Рис. 1.5. Путь управляющей информации при использовании различных систем ЧПУ: а) – NC; б) – SNC; в) – CNC; г) – HNC; д) – DNC [4]

Системы класса **NC** являются наиболее распространенными. Они работают в следующем режиме. После включения станка и системы ЧПУ читаются первый и второй кадры программы. Как только закончилось их чтение, станок начинает выполнять команды первого кадра. В это время информация второго кадра программы находится в запоминающем устройстве системы ЧПУ. После выполнения первого кадра станок начинает обрабатывать второй кадр, который выводится из запоминающего устройства. В процессе обработки станком второго кадра система читает третий кадр программы, который вводится в освободившееся от информации второго кадра запоминающее устройство, и т.д.

Основным недостатком рассмотренного режима работы является то, что для обработки каждой следующей заготовки из партии системе ЧПУ приходится вновь читать все кадры перфоленты. В процессе чтения перфоленты нередко возникают сбои из-за недостаточно надежной работы считывающих элементов УЧПУ. В результате отдельные детали из партии могут оказаться бракованными. Повышенная вероятность сбоев в системах класса **NC** объясняется также очень большим числом кадров перфоленты, поскольку для работы таких систем в программе должно быть записано каждое элементарное действие станка. Кроме того, при таком режиме работы перфолента быстро изнашивается и загрязняется, что еще более увеличивает вероятность сбоев при чтении. Наконец, если в кадре записаны действия, которые станок выполняет очень быстро, то УЧПУ за это время может не успеть прочитать следующий кадр, что также ведет к сбоям.

Указанных недостатков лишены системы класса **SNC**, которые позволяют последовательно, кадр за кадром, прочитать всю программу и разместить информацию в

своим запоминающим устройством большой емкости (16 килобайт и более). Перфолента читается только один раз, перед обработкой всей партии одинаковых деталей, и поэтому мало изнашивается. Управление обработкой всех заготовок осуществляется по сигналам из запоминающего устройства, что резко уменьшает вероятность сбоев, а следовательно, и брак деталей. Системы CNC позволяют осуществлять однократный ввод управляющих программ при длине перфоленты от 40 до 310 м.

Системы класса CNC имеют больше возможностей из-за наличия в них миниЭВМ на основе микропроцессоров. В запоминающее устройство системы программа может быть введена не только полностью с подготовленной перфоленты, но и отдельными кадрами вручную с пульта УЧПУ. В кадрах программы могут записываться как команды на отдельные движения рабочих органов, так и команды, задающие целые группы движения, называемые постоянными циклами, которые хранятся в запоминающем устройстве УЧПУ. Это приводит к резкому уменьшению числа кадров программы и к соответствующему повышению надежности работы станка. Системы класса CNC позволяют достаточно просто в режиме диалога при отладке программ осуществлять редактирование с ручным вводом информации и с выводом ее на дисплей, а также получать откорректированную и отработанную программу на перфоленте.

Ряд систем класса CNC (или близких к нему) делают возможной работу по одной программе в различных масштабах, в режиме "матрица-пуансон", в режиме зеркального отображения и т.д. Системы допускают введение в процессе работы самых различных видов коррекции.

Обладая сравнительно низкой стоимостью, малыми габаритными размерами и высокой надежностью, системы

на микропроцессорах позволяют заложить в систему управления новые свойства, которые раньше не могли быть реализованы. Так, например, устройство ЧПУ "Электроника НЦ-31" имеет математическое обеспечение, позволяющее учитывать и автоматически корректировать постоянные погрешности станка и тем самым влиять на совокупность причин, определяющих точность обработки. Простейшим видом этих функций системы является компенсация люфта или зоны нечувствительности приводов в направлении перемещения по координатам. Надежность и работоспособность станков с устройствами ЧПУ на микропроцессорах повышает использование систем контроля и диагностики. Функции этих систем можно разделить на контроль состояния внешних по отношению к УЧПУ устройств, проверку внутренних блоков и контроль собственно УЧПУ. Так, например, то же устройство "Электроника НЦ-31" для токарных станков имеет специальные тест-программы для проверки работоспособности всех структурных частей системы. Эти тест-программы отработываются при каждом включении устройства, и в случае исправности всех частей возникает сигнал готовности системы к работе. В процессе работы станка и УЧПУ тест-программы частями отработываются в, так называемом, фоновом режиме, не мешая отработке основной управляющей программы. В случае появления неисправности на табло световой индикации возникает ее код, с помощью которого по таблице устанавливают место и причины неисправности. Кроме того, система определяет ошибки, связанные с неправильной эксплуатацией устройства, с превышением параметров теплового режима, дает величину напряжения для питания и другие параметры.

Создание и применение систем класса **DNC** связано с общей тенденцией развития современных комплексно-

автоматизированных производств. В таких производствах управление работой участков, состоящих из станков с ЧПУ, транспортно-складирующих, загрузочных средств, осуществляется от центральной вычислительной машины. Однако наличие центральной ЭВМ не означает, что необходимость в устройствах ЧПУ у станков при этом полностью отпадает. В одном из наиболее распространенных вариантов построения систем DNC каждый вид оборудования на участке сохраняет свои системы ЧПУ классов NC, SNC, CNC. Нормальным для такого участка является режим работы, при котором управляющие команды на УЧПУ всех видов оборудования подаются по проводам непосредственно от ЭВМ, минуя считывающие устройства. Это приводит к повышению надежности работы каждой единицы оборудования и всего участка в целом. Одновременно автоматизируется процесс подготовки управляющих программ (УП) с помощью ЭВМ. Вместе с тем в условиях временного выхода из строя вычислительной машины такой участок сохраняет работоспособность, поскольку каждый вид оборудования может работать от перфоленты, подготовленной заранее на случай аварийной ситуации.

Подготовка и отладка управляющих программ - процесс длительный и трудоемкий. При изготовлении простых по конфигурации деталей целесообразно было бы исключить этот процесс. Такая возможность на современных станках в принципе имеется. Она реализуется при использовании режима ручного ввода данных. Однако у большинства станков в этом режиме возможен ввод с пульта только одного кадра программы с последующей его отработкой на станке. Это слишком непроизводительно. Поэтому в последнее время разработаны так называемые оперативные системы числового программного управления класса HNC с

ручным вводом программы с пульта УЧПУ. Программа из достаточно большого числа кадров легко набирается и исправляется с помощью клавиш или переключателей на пульте УЧПУ. После отладки программа фиксируется до окончания обработки партии одинаковых заготовок. Системы класса НС обеспечивают как позиционное, так и контурное управление станками.

Следует отметить, что внедрение оборудования с ЧПУ в производственную практику всегда было и остается неоднозначным процессом с точки зрения экономики. Для принятия решения о необходимости применения такого оборудования следует рассмотреть преимущества и недостатки ЧПУ (табл. 1.1).

Итак, в каких же случаях применение оборудования с ЧПУ оправдано? Можно выделить следующие ситуации:

- **Мелкосерийное производство с часто сменяемыми программами выпуска.** Большую часть всего промышленного производства составляет мелкосерийное производство с объемом партии в 50 единиц и менее. Например: выпуск мерительного инструмента.
- **Сложная геометрия детали.** Некоторые детали вообще могут быть качественно получены только на станках с ЧПУ. Например: копиры автоматических роторных линий (АРЛ) (рис.1.6) имеют сложный синусоидальный профиль для обеспечения плавности движения роликов. Изготовить такую деталь на обычном фрезерном станке фактически невозможно.
- **Необходимость выполнения многих операций над заготовкой.** Многофункциональность станков с ЧПУ, особенно обрабатывающих центров, позволяет производить обработку с одного установка, что повышает точность и устраняет потери времени на загрузку и транспортировку. Например: изготовление

корпусной детали требует расточки с высокой точностью ряда отверстий, являющихся посадочными диаметрами подшипников. Наиболее подходящее оборудование для этого - обрабатывающий центр.

Табл. 1.1

Преимущества и недостатки оборудования с ЧПУ

Преимущества	Недостатки
<p>Сокращение времени простоя. Внедрение ЧПУ не оказывает принципиального влияния на собственно процесс обработки, но обеспечивает меньшее время установки, автоматическую смену инструмента, часто - автоматизацию загрузки и транспортировки деталей и заготовок. В среднем общее время операции на станке с ЧПУ составляет от 35% (обрабатывающие центры) до 65% (штамповка) от времени выполнения этой же операции на обычном станке</p>	<p>Высокая начальная стоимость. Станок с ЧПУ стоит в несколько раз больше, чем обычный. Для окупаемости затрат необходима его интенсивная эксплуатация в 2 или 3 смены, что не всегда возможно.</p>
<p>Сокращение расходов на оснастку. Оборудованию с ЧПУ многие виды оснастки вообще не требуются. Например, кондукторы сверлильных станков не используются на станках с ЧПУ - положение сверла задается УП.</p>	<p>Повышенная стоимость обслуживания. Оборудование с ЧПУ в целом менее надежно, чем обычное. Сложность конструкции</p>

Преимущества	Недостатки
	<p>требует повышенной квалификации обслуживающего персонала. В итоге стоимость обслуживания возрастает на величину от 48% (фрезерные станки) до 63% (обрабатывающие центры)</p>
<p>Повышение оперативности выполнения производственного задания. Несмотря на дополнительные затраты времени по подготовке УП, время выполнения заказа на оборудовании с ЧПУ сокращается на 26..44%</p>	<p>Затраты на переподготовку персонала. Внедрение оборудования с ЧПУ требует наличия на предприятии программистов и наладчиков соответствующей квалификации.</p>
<p>Повышение гибкости производства. Снижается стоимость переналадки на выпуск новых изделий.</p>	
<p>Повышение качества обработки. Станок с ЧПУ способен по программе изготовить очень сложную деталь, при изготовлении которой вручную высока вероятность внесения ошибок. Тщательная подготовка УП приводит к оптимизации процесса резания. Кроме того, встроенные средства контроля в адаптивных</p>	

Преимущества	Недостатки
системах с ЧПУ позволяют вообще не проводить дополнительные измерения готовой продукции, что приводит к снижению себестоимости изделия на 20..30%	
Меньшая площадь, занимаемая в цехе. Поскольку оборудование с ЧПУ, как правило, многофункционально, и заменяет собой несколько обычных станков, сокращается занимаемое место, расходы на отопление, освещение и т.д.	

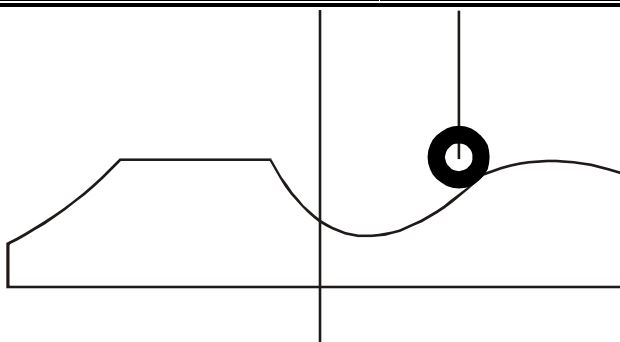


Рис. 1.6. Пример детали сложной формы, для изготовления которой необходим станок с ЧПУ (копир ротора АРЛ).

Необходимость удаления большого объема материала. Если геометрия заготовки или свойства материала требуют многопроходной обработки, то такая обработка гораздо эффективнее выполняется на оборудовании с ЧПУ. Например: инструментальное производство; обработка бронеплит в военном

производстве.

- **Высокая вероятность внесения изменений в конструкцию.** Стоимость разработки новой программы для станка с ЧПУ на порядок меньше стоимости переналадки, изготовления приспособлений, обучения персонала при работе на обычном станке. Например: экспериментальное производство, выпуск ряда прототипов изделия.
- **Высокие требования к точности обработки (узкие поля допусков).** Станки с ЧПУ обеспечивают более высокую точность, чем обычные, что связано как с иной конструкцией приводов подач, так и с наличием средств адаптивного контроля. Кроме того, обеспечивается стабильный выпуск партии прецизионных деталей. Например: выпуск сверхточных научных приборов (туннельный профилирующий микроскоп), средств измерения.
- **Высокая стоимость детали.** Иногда стоимость заготовки ввиду ее огромных размеров или особого материала очень высока, поэтому требуется гарантировать недопущение неисправимого брака, что можно сделать только на оборудовании с ЧПУ. Например: изготовление зубчатого венца шестерни поворота стрелы шагающего экскаватора (15м в диаметре).
- **Необходимость 100% контроля деталей.** В ряде производств (авиация, космос) требования безопасности предполагают полное исключение брака. Поэтому выполняется 100% контроль всей продукции. Оборудование же с ЧПУ выполняет такой контроль автоматически, да еще и в ходе обработки. Например: лопатки турбин реактивного двигателя.

Обоснованному принятию решения о необходимости применения оборудования с ЧПУ также помогают прогнозы роста производительности. Например: рассмотрим пример того, как можно повысить производительность станка за счет сокращения времени холостых ходов. Дан вертикальный координатно-сверлильный станок, который сверлит отверстия в печатных платах. При работе без ЧПУ рабочий накладывает кондуктор и последовательно перемещает шпиндель от отверстия к отверстию. Если же станок оснащен ЧПУ, то при разработке управляющей программы можно выполнить перебор всех возможных путей от отверстия к отверстию и получить оптимальный маршрут, экономящий от 20 до 50% времени холостых ходов.

1.2. Технологические особенности позиционного и контурного управления

Системы позиционного и контурного управления в современных станках с ЧПУ получили наибольшее распространение.

Высокий уровень автоматизации выполнения процесса обработки и возможности сравнительно быстрого перехода от обработки одних деталей к другим путем смены управляющей программы определяют основные технологические и организационные преимущества использования станков с ЧПУ:

- 1) исключение предварительных ручных, разметочных и пригоночных работ;
- 2) повышение точности и идентичности изготовленных деталей за счет предварительного учета в программе или внесения текущих корректировок

погрешностей обработки;

3) оптимизация режимов резания и повышение за счет этого качественных показателей обработки, применение этих режимов в управляющих программах независимо от субъективной оценки, опыта и знаний станочника;

4) сокращение машинного и вспомогательного времени за счет автоматичности и быстродействия необходимых движений и остановок, минимизации траекторий перемещения (на 15-20%);

5) сокращение затрат на контроль размеров за счет сохранения условий при повторяемости циклов обработки (на 50-70%);

6) снижение квалификации рабочих-операторов и осуществление многостаночного обслуживания;

7) сокращение периода освоения производства новых деталей или деталей, в которых произведены конструктивные изменения, за счет упрощения и удешевления необходимой оснастки.

В результате всего этого производительность изготовления деталей на станках, оснащенных указанными системами ЧПУ, в 2-5 раз превышает производительность обработки на универсальных станках.

Одной из важных характеристик станка с ЧПУ является разрешающая способность, Δl , под которой понимается то минимальное перемещение, которое может быть выполнено рабочим органом (РО) и соответственно задано в программе. Если разрешающая способность $\Delta l = 0,001$ мм, а требуемая величина перемещения $L = 100$ мм то число, фиксируемое в программе, должно быть

$$N = \frac{L}{\Delta l} = \frac{100}{0,01} = 10000 \quad (1.1)$$

Таким образом, все перемещения как бы набираются из того или другого количества элементарных перемещений.

Разрешающая способность (дискретность) может быть различной как для разных РО одного станка, так и для различных станков. Так, для токарных станков (16К20Ф3, АТПр2М-12С) дискретность отсчета перемещения-0,005мм; для фрезерных станков (6Р13Ф3, 654Ф3 и ЛФ-66Ф3) - $0,01 \div 0,025$ мм; для сверлильных станков (2Р118Ф2, 2Н135Ф2) – 0,005 мм; для расточных станков (2А611Ф2, 2А620Ф2, 2А622Ф2) - 0,01мм; для обрабатывающих центров (2Б622ПМФ2, 265ПМФ2) - 0,01мм; для координатно-расточных станков (243Ф2, 2Д450АФ2) - 0,001мм.

Позиционное управление обеспечивает взаимные положения - позиции инструмента и детали. Формообразование поверхностей на станках с позиционными системами управления осуществляется путем последовательного перемещения из одного положения в другое. Каждое такое конечное положение инструмента называется позицией. Позиционные системы программного управления широко применяются для вертикально-сверлильных, расточных (и на их базе обрабатывающих центров), координатно-расточных станках. Перемещения из позиции в позицию могут быть рабочими, т.е. такими, при которых выполняется обработка поверхностей, и вспомогательными - установочными, когда инструмент при переходе в новую позицию не соприкасается с деталью. Например, при обработке двух или нескольких отверстий в детали за позиции инструмента принимают центры этих отверстий. Вспомогательными точками позиционирования являются точки, определяющие положение инструмента вдоль его оси до начала движения подвода к детали, в момент включения подачи рабочего хода и в конце рабочего хода. Нахождение значений координат этих точек позиционирования в системе координат станка и занесение их

на программоноситель и составляет содержание этапа программирования для позиционной обработки.

Характерной особенностью позиционного вида управления являются высокие скорости вспомогательных (установочных) перемещений. Для сокращения затрат времени одновременно могут перемещаться несколько рабочих органов. Скорость вспомогательных (холостых) ходов составляет $3\div 8$ м/мин и более.

Точность останова исполнительного органа имеет разброс. Это вызывает погрешность рассеяния размеров обрабатываемых деталей, называемой погрешностью позиционирования ($\Delta_{\text{поз}}$)[5]. Точность выполнения заданных программой перемещений (точность позиционирования) ниже дискретности. Для сверлильных и расточных станков она не превышает $0,05\div 0,02$ мм. Для координатно-расточных станков, оснащенных датчиками обратной связи, одноразовая точность позиционирования не выше 0,01 мм, повторная до 0,002мм.

В системах позиционирования началом отсчета является "нуль" станка. Однако в большинстве случаев, когда величины позиций заданы от этого нуля, обработку вести неудобно. Это приводит к удлинению установочных перемещений РО для различных по размерам деталей и требует весьма точной установки базовых поверхностей ее от нулевой точки станка.

В связи с этим в системах ЧПУ предусмотрена возможность переносить начало отсчета в любую точку на всем пути в любом направлении перемещения РО. Такое устройство называется "плавающий нуль".

Для определения величин перемещений по позициям применяются два метода отсчета: абсолютный и относительный. По первому - отсчет перемещений до всех точек (позиций) ведется от начала, по второму - от положения точки, в которой закончилось предыдущее

перемещение. При относительном отсчете увеличивается накопленная систематическая ошибка.

В условиях позиционирования абсолютная система имеет некоторые преимущества: 1) многие размеры деталей на чертежах задаются от одной базы и их удобнее программировать; 2) оператору удобнее прерывать цикл обработки.

Контурное управление обеспечивает непрерывное управление взаимосвязанных движений рабочих органов одновременно по нескольким направлениям движения (координатам). Контурные системы могут быть двух-, трех-, четырех-, пяти- и многокоординатными. Координатами больше трех являются различные дополнительные движения (например, наклоны шпиндельной бабки фрезерного станка во время обработки вправо - влево или вперед - назад и т.п.).

Двухкоординатные фрезерные станки предназначены для контурной обработки только плоских деталей. 2,5-координатные фрезерные станки дополнительно к двум рабочим перемещениям имеют перпендикулярно им установочное перемещение. Это позволяет осуществлять вертикальное врезание фрезы, а также обрабатывать сложные многоконтурные детали, имеющие внутренние контуры, окна, выборки и т.д. 3-координатные фрезерные станки, имеющие независимые рабочие перемещения по трем координатам, могут быть использованы для обработки деталей сложной пространственной формы. Однако класс этих деталей ограничен. На указанных станках можно обрабатывать детали, образованные поверхностями малой кривизны, например, кривизны, лопатки турбин. Для обработки деталей с поверхностями большей кривизны необходимо использовать многокоординатные станки. Эти станки позволяют, кроме перемещения инструмента в пространстве по осям X , Y ,

Z, осуществлять его наклон в двух взаимноперпендикулярных плоскостях. Благодаря этому, например, при обработке деталей со сложной пространственной формой концевой фрезой ось инструмента может быть всегда установлена в положение, перпендикулярное обрабатываемой поверхности, или в любое другое, оптимальное для данного случая обработки.

Выше указывалось (см. (1.1)), что движение на определенное расстояние надо рассматривать как состоящее из большого числа элементарных перемещений. Из таких согласованных в каждый момент времени перемещений по соответствующим направлениям и строятся траектории движения инструментов, обрабатывающих фасонные поверхности деталей.

Контур поверхности (плоской или объемной) может представлять различные геометрические фигуры или их части (прямые и расположенные под углом линии, дуги окружностей, параболы или любые другие фасонные поверхности). Если контур фасонной поверхности составлен или может быть разделен на участки, соответствующие тем или иным геометрическим фигурам, то переход от одного участка к другому имеет точку перехода. Такие точки называются опорными. В большинстве случаев контур, заключенный между опорными точками, необходимо аппроксимировать.

Программа обработки детали описывает поступательное перемещение инструмента относительно детали. Описание перемещения проводится для некоторой точки инструмента - так называемого центра инструмента. Центр инструмента может быть выбран произвольно, но для удобства программирования его желательно совместить с центром симметрии режущей части инструмента. Например, для торцевой цилиндрической фрезы за центр инструмента удобно принять центр

основания фрезы; для электроэрозионной обработки проволочкой - точку пересечения плоскости детали с осью проволоки, для резцов - центр дуги окружности при вершине.

Для совершения цикла обработки и образования нужной конфигурации детали инструмент должен описать определенную траекторию. Проектирование и расчет траектории движения составляют одну из основных задач программирования обработки на станках с ЧПУ.

Если принять, что радиус инструмента во время обработки контура детали остается постоянным, то траектория центра инструмента при контурной обработке является эквидистантой к контуру детали. *Эквидистанта* - это геометрическое место точек, равноудаленных от какой-либо линии и лежащих по одну сторону от нее.

Характер эквидистанты отражает форму обрабатываемой детали и режущей части инструмента (рис. 1.7).

Эквидистанта формируется из так называемых геометрических элементов. Геометрическими элементами могут быть отрезки прямых, дуги окружностей, другие кривые второго и высших порядков. Отдельные геометрические элементы соединяются пересечением или касанием. Точки сопряжения участков, т.е. переходы от одного геометрического элемента к другому, как отмечено выше, называются опорными точками. Если участок одного геометрического элемента, например дуги окружности, размещается в разных квадрантах, то точка перехода из одного квадранта в другой должна выделяться как опорная.

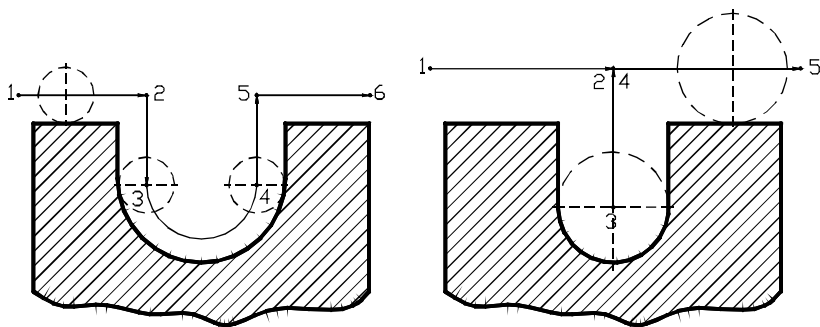


Рис.1.7. Эквидистанта для различных видов инструмента [1]

Кроме опорных точек рассмотренного вида, на линии обрабатываемого контура определяются точки, в которых изменяются те или другие параметры: скорость главного движения, скорость контурной подачи, инструмент. Такие точки называются технологическими опорными точками. В ходе обработки сложного контура может возникнуть необходимость непосредственной проверки правильности взаимного положения инструмента и детали. Для этого в технологическом процессе определяются места точек, в которых может быть произведена проверка. Такие точки называются контрольными точками. Контрольные точки должны быть так расположены, чтобы инструмент в них не находился в контакте с обрабатываемой поверхностью и достигалась наибольшая простота и удобство непосредственного измерения фактических координат инструмента относительно базовых поверхностей детали.

В программе, которая вводится в станок, эквидистанту задают в виде координат опорных точек. При выполнении программы закон движения центра фрезы должен обеспечить прохождение его через все опорные точки эквидистанты. Число опорных точек невелико и поэтому

возникает необходимость в получении промежуточной информации при обработке заданного контура детали. Закон движения центра фрезы между соседними опорными точками устанавливается путем интерполирования.

Интерполяция: сущность интерполирования заключается в отыскании функции $y = \varphi(x)$ по возможности более простой, которая на отрезке интерполирования позволяла бы возможно точнее определять значения заданной функции $y = f(x)$ для любого x в промежутках между опорными точками, а при заданных значениях x_0 принимала бы заданные значения y_0 , соответствующие координатам опорных точек. Интерполирование осуществляется по интерполяционным формулам Лагранжа или Ньютона.

При программном управлении станками в системах управления для интерполяции имеются специальные устройства - интерполяторы.

Интерполятор - это электронное устройство, работающее по принципу цифровой вычислительной машины. В элементной базе интерполятора заложен алгоритм той или иной интерполяции. В зависимости от того, по каким зависимостям осуществляется интерполирование, различают интерполяторы с линейной, квадратичной (круговой) или более высокого порядка интерполяцией. Интерполяция определяет характер движения исполнительных органов станка в интервале между смежными опорными точками, заданными программой. Наиболее просто выполняется линейная интерполяция. При линейной интерполяции движение инструмента между опорными точками может осуществляться только по прямой. Следовательно, траектория движения инструмента в этом случае может

быть представлена геометрическими элементами лишь одного вида - отрезками прямых. В этом случае для обработки деталей, содержащих криволинейные поверхности, когда требуется задать перемещение инструмента, положим, по дуге окружности, необходимо описать ее хотя бы приближенно отрезками прямых (например, произвести замену этих дуг многоугольниками, составленными из отрезков прямых, т.е. аппроксимировать).

При использовании круговой интерполяции движение между соседними опорными точками осуществляется по дуге окружности. В этом случае нет необходимости производить аппроксимацию траектории.

Аппроксимация элементов траектории.
Аппроксимация - процесс замены одной функциональной зависимости другой с определенной степенью точности. То есть аппроксимация - это замена точного криволинейного контура между опорными точками другим, близким к нему сплошным контуром или контуром, составленным из ряда отрезков тех или иных линий.

В процессе аппроксимации геометрический элемент, ограниченный опорными точками, разбивается на элементарные участки, называемые участками аппроксимации. Точки, разграничивающие участки аппроксимации, называются промежуточными, вспомогательными или узлами аппроксимации (рис. 1.8).

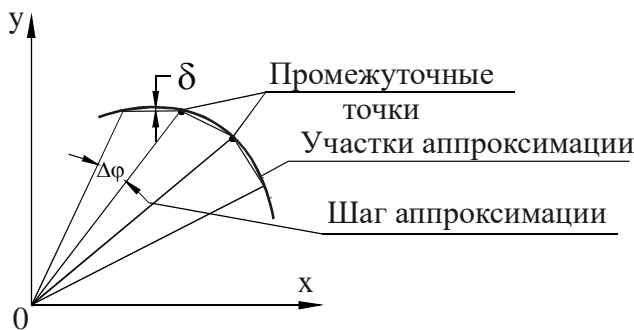


Рис. 1.8. Линейная аппроксимация дуги окружности

Точность аппроксимации тем выше, чем меньше длина элементов ломаной линии, определяемых шагом аппроксимации. За шаг аппроксимации удобно принимать величину центрального угла, опирающегося на концы участка аппроксимации.

При программировании обработки на станках с ЧПУ аппроксимация проводится из условия обеспечения требуемой точности обработки или шероховатости обработанной поверхности. Условие достижения заданной точности выражается уравнением

$$\delta_a \leq \delta - \Delta,$$

где δ_a - допустимое значение погрешности аппроксимации; δ - заданный допуск на обработку; Δ - суммарная погрешность метода обработки.

Если требуемая точность не обеспечивается, прибегают к использованию других интерполяторов, которым соответствуют кривые более высоких степеней. Так, например, при квадратичной (круговой) интерполяции движение инструмента между смежными опорными точками может осуществляться по окружности. При этом, как правило, сохраняется возможность перемещений по прямой.

Таким образом, применение линейно-кругового интерполятора дает возможность формировать траекторию

движения инструмента из отрезков прямых и из дуг окружностей. Если обработка детали требует применения в траектории инструмента других кривых второго или высших порядков, то необходимо производить аппроксимацию этих кривых набором прямых и дуг окружностей или применять интерполяторы с интерполяцией высших степеней.

Таким образом, характер траектории движения инструмента определяется геометрическими параметрами детали и составляется из набора геометрических элементов, ограниченных видом применяемого интерполятора.

На рис. 1.9 показан пример замены криволинейного контура между опорными точками А и В отрезком прямой (а) – линейная аппроксимация, дугой окружности (б) – круговая аппроксимация и участком параболы (в) – параболическая аппроксимация.

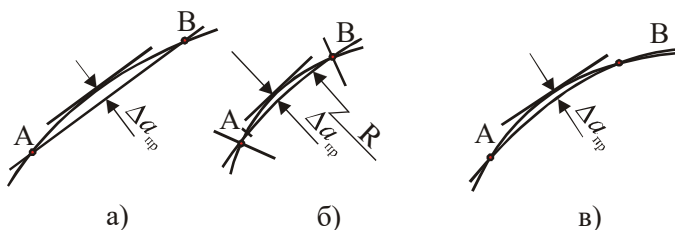


Рис. 1.9. Аппроксимация криволинейного участка контура

По рисунку видно, что погрешность аппроксимации ($\Delta_{a_{сп}}$) – чисто геометрическая величина. Ее можно уменьшить до приемлемых величин либо сближая точки А и В, либо разделив контур между точками А и В на несколько участков аппроксимации.

В настоящее время наиболее широко используется линейная и линейно-круговая аппроксимации. В последней аппроксимация дуг окружностей ведется короткими отрезками прямых линий. В соответствии с заданной

точностью контура ($\Delta_{анр} \leq \delta$) окружность разбивают на N участков (рис.1.10).

Приращения центрального угла ω в переходах от одного аппроксимирующего отрезка к другому составят

$$\Delta\omega = \frac{360^0}{N} \text{ и } \omega_i = \frac{\Delta\omega}{2} + (i-1) \quad (1.2)$$

при $i = 1; 2; 3; \dots; N$.

Для первой четверти дуги $\alpha_1 = 90 - \omega_1$

$$\Delta X_1 = \Delta r \cdot \cos \alpha_1, \quad \Delta Y_1 = \Delta r \cdot \sin \alpha_1$$

Значения Δr вычисляются и вводятся программой в систему управления. Величины проекций на оси координат ($\Delta X_i; \Delta Y_i$) вычисляются и хранятся в памяти специального устройства - интерполятора и выбираются оттуда в нужной последовательности.

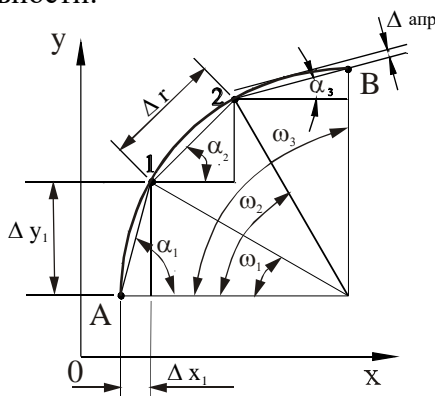


Рис. 1.10. Схема линейно-круговой аппроксимации

Расчет промежуточных точек (1;2;...) между опорными точками ручным способом очень трудоемок. Для автоматизации этих расчетов и преобразования числовых команд в число элементарных перемещений используются особые вычислительные и преобразующие устройства - интерполяторы. На рис. 1.11 показана схема замены наклонного участка прямой ступенчатой линией,

образуемой поочередным включением продольной (ΔI_x) и поперечной (ΔI_y) подачи станка на величину элементарных перемещений по соответствующему направлению.

Вследствии такой ломаной траектории возникает геометрическая неточность интерполирования. Её дополняют неравномерность передачи импульсов, ограничение быстродействия управляющего устройства, дискретность памяти интерполятора и неточность работы исполнительных устройств. Все это вместе вызывает появление погрешности интерполирования ($\Delta_{инт}$). По данным [5] погрешность интерполирования не превышает 0,1 допуска на обработку, а погрешность аппроксимации - не более $0,1 \div 0,15$ допуска.

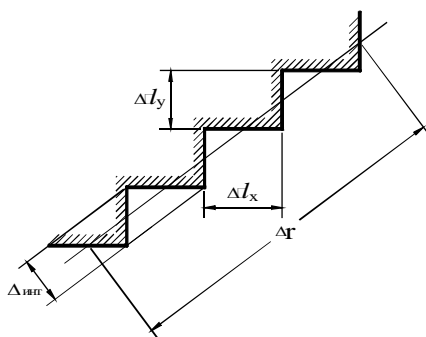


Рис. 1.11. Образование погрешности интерполяции

Таким образом при обработке на станках с ЧПУ возникают специфические погрешности. Помимо их в процессе обработки имеют место и погрешности, присущие вообще механической обработке [6], вызываемые: геометрическими неточностями станка (и в некоторых случаях - приспособления); упругими деформациями технологической системы; размерным износом инструмента; тепловыми деформациями звеньев

технологической системы; деформациями заготовки и других элементов технологической системы под влиянием сил закрепления; настройки (и поднастройки) инструмента на выполняемый размер; рассеиванием из-за отклонений свойств заготовки и условий обработки.

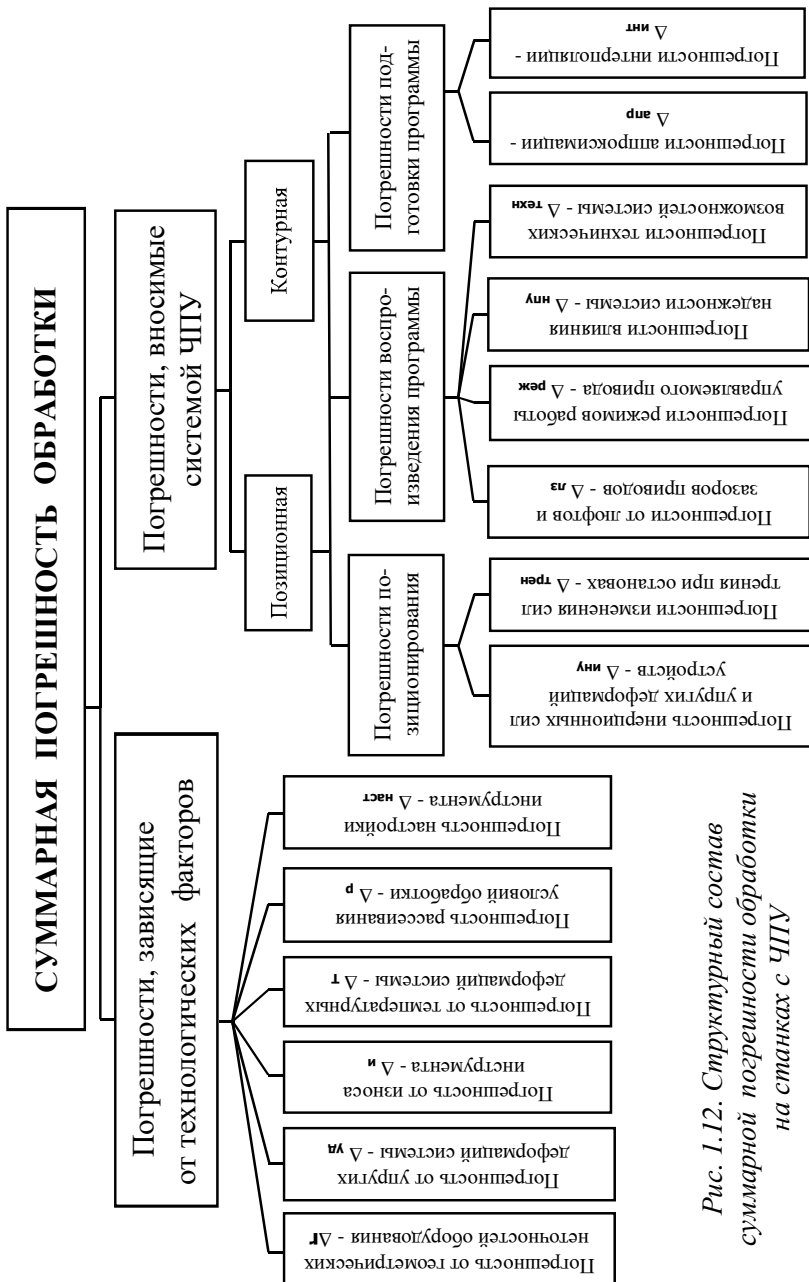


Рис. 1.12. Структурный состав суммарной погрешности обработки на станках с ЧПУ

Погрешности настройки и поднастройки инструмента на станках с ЧПУ имеют свою специфику. Настройка инструмента производится, как правило, вне станка (статическая, взаимозаменяемая), а выведение на размер осуществляется обработкой пробной детали с корректировкой по результатам обработки с помощью системы ЧПУ. Поэтому такая настройка является комбинированной.

Кроме того, при обработке на станках с ЧПУ возникают погрешности работы приводов исполнительных органов в статическом и динамическом режимах и отклонения в работе системы управления [7]. Общая схема погрешностей, возникающих при обработке на станках с ЧПУ, приведена на рис.1.12. Состав погрешностей и причины их появления указаны на схеме и не требуют подробного пояснения.

1. 3. Системы координат станков

Каждому направлению перемещений рабочих органов станков присваивается значение определенной координаты и соответствующий адресный символ, например, X, Y, Z, W и т.д.

Для обеспечения единства трактовки международный ISO-R841 (ИСО) стандарт устанавливают номенклатуру и единое направление осей координатных систем металлорежущих станков, обязательное для всех изготовителей. Стандартом ISO-R841 принято положительным направлением перемещения элемента станка считать то, при котором обрабатывающий инструмент (его держатель) или заготовка отступают друг от друга. Из сказанного, например, следует, что в процессе сверления, растачивания, обтачивания перемещение

инструмента или заготовки осуществляется в отрицательных направлениях. На рис. 1.13 приведены контура различных типов станков с указанием положения и направления осей их координатных систем.

Помимо линейных движений по главным осям X, Y, Z, элементы металлорежущих станков имеют движения, параллельные этим осям. Например, вертикальное перемещение стола консольно-фрезерного станка, параллельное осевому перемещению шпиндельной гильзы; продольное перемещение стола горизонтально-расточных станков, параллельное перемещению расточного шпинделя вдоль своей оси, и т.д.

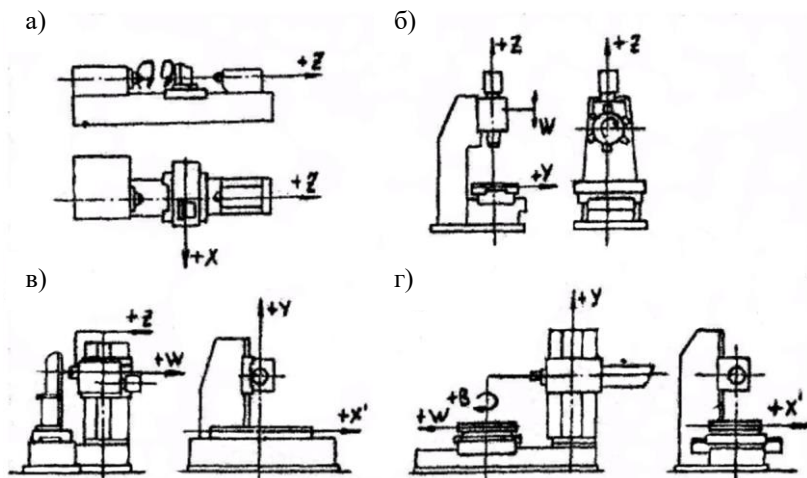


Рис.1.13. Направление осей координатных систем различных металлорежущих станков: токарных (а); фрезерных со стационарным столом, сверлильных (б); объемно-фрезерных с горизонтальной осью шпинделя (в); горизонтально-расточных (г)
[1]

Каждое такое перемещение должно иметь свое

обозначение (адрес), строго определенное для всех типов станков (например, U, V, W, и т.п.).

Обозначения установлены и для вращательных движений шпинделей, столов, револьверных головок и других элементов станков.

Положительными направлениями вращательных движений приняты направления вращения правых винтов при их (мысленных) перемещениях в положительных направлениях осей X, Y, Z.

1.4. Выбор плоскости интерполяции

Сложное движение инструмента (линейная или круговая интерполяции) , как правило, может осуществляться только в плоскости, образованной координатными осями, например, XY, или YZ, или XZ. Поэтому в трехкоординатных (и многокоординатных) системах ЧПУ необходимо производить выбор такой плоскости перед программированием интерполяции. Для выбора плоскости интерполяции используются специальные подготовительные функции (G функции). Для систем ЧПУ, работающих с токарными станками, где программируемые движения возможны только по двум осям, выбрать плоскость интерполяции не нужно.

1.5. Установка требуемого инструмента в рабочую позицию. Выбор корректирующих данных на положение инструмента в системе координат станка

Современные станки с ЧПУ позволяют использовать несколько инструментов при отработке одной

управляющей программы, причем смена инструмента осуществляется автоматически по этой же программе. Это легко осуществимо, благодаря применению револьверных и автоматических инструментальных головок, а также инструментальных магазинов с автооператорами (манипуляторами для автоматической смены инструмента). Чтобы сменить инструмент по программе, необходимо указать его номер (код), чаще всего по адресу T, и иногда специальную вспомогательную функцию (M-функцию) смены инструмента.

После смены инструмента координаты его центра, например, вершины резца, изменятся (рис. 1.14, а), поскольку предыдущий (T1) и последующий (T2) инструмент могут иметь различный вылет. При установке новой фрезы из-за изменения радиуса для получения требуемого контура детали необходимо также сместить центр инструмента (рис.1.14, б). Подобная ситуация возникает и при размерном износе инструмента.

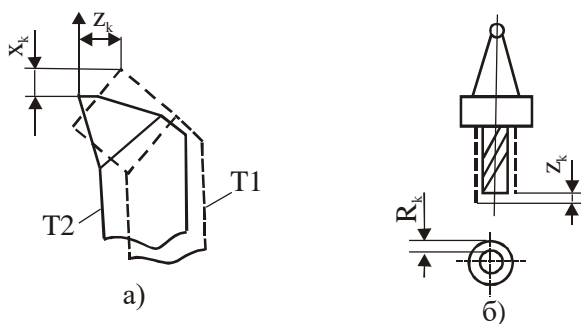


Рис.1.14. Коррекция на вылет и размеры инструмента:
 а - резец; б - фреза

Чтобы скорректировать положение центра инструмента, используются, так называемые группы корректоров. Это наборы значений коррекций, которые необходимо внести на положение центра инструмента при

его автоматической смене. Например, (x_k, z_k) при замене инструмента Т1 на Т2 (рис.1.14, а) или группа (z_k, R_k) для рис.(1.14, б). Каждая группа корректоров имеет свой номер. Значение коррекций для каждого инструмента рассчитывается и вводится в память системы наладчиком до отработки управляющей программы.

При смене инструмента по программе следует указать, какую группу корректоров система ЧПУ должна использовать при расчете траектории движения центра инструмента. Это осуществляется указанием номера группы в слове с адресом Т, где указан номер инструмента, или в отдельном слове, например, с адресом L в зависимости от системы ЧПУ.

1.6. Управление системой отсчета координат

Все современные системы ЧПУ позволяют производить отсчет координат в абсолютной или в относительной системе. Чтобы вывести инструмент в точку с координатами (x_1, y_1) в абсолютной системе отсчета (рис. 1.15), необходимо указать координаты этой точки относительно начала отсчета (точки 0). То есть в этом случае нужно запрограммировать по координате X значение x_1 , по координате Y значение y_1 .

Чтобы переместить инструмент в ту же точку при использовании относительной системы отсчета, следует указывать приращение координат между конечной и начальной точкой перемещения инструмента. То есть, если до начала перемещения инструмент находился в точке (x_0, y_0) , следует запрограммировать по координате X: $\Delta x = x_1 - x_0$, по координате Y: $\Delta y = y_1 - y_0$. Таким образом, в этом случае начало отсчета как бы перемещается в исходную точку движения инструмента и отсчет ведется в

новой системе $x_{отн}$, $y_{отн}$.

Указание на ту или иную систему отсчета производится в управляющей программе с помощью G-функций или путем использования отличающихся адресов для программирования перемещения по одной и той же координате, но в разных системах отсчета. Ряд систем ЧПУ позволяет также по программе поворачивать систему координат вокруг начала отсчета, изменять направление координатных осей, масштабировать изображение.

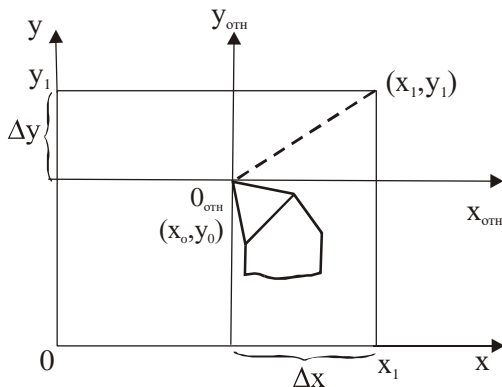


Рис. 1.15. Иллюстрация абсолютной и относительной систем отсчета

1.7. Управление ходом выполнения программы

В системах ЧПУ предусмотрена группа команд управления ходом выполнения управляющей программы. Это переход к нужному кадру, выдержка времени, прерывание программы, конец программы и др.

Значительная часть этих команд кодируется с помощью M-функции.

В первую очередь это команда "Конец программы" (чаще всего M02), по которой прекращается обработка; команда "Технологический останов" (M00), т.е. временное прекращение обработки до команды оператора. Кроме того, в ряде систем реализованы команды "Технологический останов с подтверждением" (прерывание обработки с приходом этой команды происходит, если на пульте оператора включен специальный тумблер), "Передача управления роботу" и др.

В наиболее современных системах реализована возможность программирования перехода к любому кадру управляющей программы (условный и безусловный переход).

1.8. Коррекция программы, визуальная информация и контроль

При составлении программы могут возникать ошибки, когда координаты некоторых фиксированных программой точек не совпадут с фактическими (на станке), которые эти точки должны бы иметь. Это может произойти из-за отклонения размеров и припусков заготовок от расчетных, изменения размеров вылета инструмента от предусмотренных программой и вследствие проявления погрешностей обработки (износа инструмента, температурных деформаций элементов станка и системы и т.д.).

В этом случае в программу необходимо вносить поправки: в размер соответствующей координаты той или другой точки (для погрешностей обработки - если эти изменения не учтены на этапе технологической подготовки данных для программы) или в значения скоростей и подач

исполнительных устройств. Для этих целей на пульте станка имеются так называемые "декадные" переключатели, предназначенные для смещения "нуля" и для коррекции инструмента по осям X, Y и т.д.

При ручном вводе поправочной информации необходимо это введение предусмотреть в программе. Если такая поправка фактически не требуется, ее неиспользование не нарушит отработки программы.

Визуальная информация, получаемая на пультах управления станками с ЧПУ, является самостоятельным средством, облегчающим контроль за работой станка.

Цифровая индикация, осуществляемая на специальных экранах пульта, может показывать: величины каждой координаты в любой точке перемещения того или иного РО; номера очередных инструментов, участвующих в обработке; значения чисел оборотов и подач на данном этапе обработки.

Цифровая индикация особенно ценна при работе на станках с позиционными системами ЧПУ, не имеющих автоматического (программного) управления некоторыми операциями.

Большое значение имеет применение цифровой индикации как контрольной операции. При пошаговой проверочной отработке программы легко обнаруживаются ошибки в запрограммированных размерах координат точек позиционирования, а в контурных системах по значениям координат контрольных точек - правильность выполнения.

1.9. Структура кадра управляющей программы

Запись управляющей программы осуществляется построчно в виде последовательности кадров (фраз) переменной длины в соответствии с объемом кодируемой

информации. В итоге управляющая программа представляется в виде совокупности кадров.

При записи управляющей программы, кроме числовой информации о величине перемещения рабочего органа, указывается, какой из механизмов станка должен выполнить заданное перемещение, направление перемещения, скорость подачи, номер инструмента и т.д. В большинстве случаев при обработке какого-либо участка детали одновременно выполняется несколько технологических команд.

Совокупность закодированных команд, содержащих информацию, необходимую для обработки определенного участка детали или выполнения технологических функций, составляет содержание одного кадра программы.

Кадр состоит из некоторого количества строк, в каждой из которых записываются кодовые обозначения символов программы. Несколько последовательно записанных строк, объединенных общим адресом, образуют "слово", например:

- первое слово - номер кадра;
- второе слово - подготовительная функция G;
- третье слово – перемещение по координате;
- четвертое слово - вспомогательная функция M;
- пятое слово - скорость подачи;
- шестое слово - конец кадра.

При адресном способе записи программы перед каждой командой кодируется ее адрес, который вызывает необходимые переключения на выходе считывающего устройства для направления числовой информации к соответствующим исполнительным механизмам или ячейкам памяти.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое программное управление?
2. Что такое программа?
3. Когда была создана первая система с ЧПУ?
4. По каким признакам классифицируются системы программного управления, применяющиеся в станках с ЧПУ?
5. На какие системы подразделяются системы программного управления по конструктивному признаку?
6. На какие группы подразделяются системы программного управления по технологическому признаку?
7. На какие группы подразделяются системы программного управления по характеру информации, выражающей программу?
8. Как подготавливаются современные системы ЧПУ по принципу управления?
9. Какую классификацию имеют системы ЧПУ по уровню использования вычислительной техники?
10. Каковы преимущества и недостатки оборудования с ЧПУ?
11. Каковы технологические особенности позиционного и контурного управления?
12. Что такое эквидистанта?
13. Что такое интерполятор?
14. Как осуществляется аппроксимация элементов траектории инструмента?
15. Как образуется погрешность интерполяции?
16. Назовите структурный состав суммарной погрешности обработки на станках с ЧПУ.
17. Как выбирается плоскость интерполяции?
18. Как управляется система отсчета координат?
19. Какова структура кадра управляющей программы?

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Технологическая подготовка обработки деталей на станках с ЧПУ имеет свои особенности по сравнению с обработкой на станках с ручным управлением [8-29].

В условиях единичного и серийного производства зачастую при технологической подготовке производства ограничиваются разработкой маршрутного или укрупненного операционного техпроцесса. Для обработки на станках с ЧПУ при любом характере производства необходим детально разработанный попереходный техпроцесс с тщательно установленными режимами резания. Никакие сокращения технологических работ недопустимы. Более того, необходимо установить не только вид и путь инструмента, но и его исходное положение, характер траектории на участке подхода к детали и врезания - т.е. элементы, которые в обычном техпроцессе не рассматриваются.

Еще одной особенностью является необходимость точного расчета траектории инструмента на всем его пути.

При использовании ЧПУ появляется принципиально новый элемент технологического процесса - программа, закодированная и нанесенная на программноситель. Поэтому технологическая подготовка производства для станков с ЧПУ включает в себя разработку и отладку управляющих программ.

Расширенные, а иногда и своеобразные технологические возможности станков с ЧПУ обуславливают некоторую специфику и в решении таких традиционных задач технологической подготовки, как проектирование маршрутного и операционного техпроцессов, базирование детали на операции, выбор

инструмента и т.д..

В процессе технологической подготовки обработки на станках с ЧПУ можно выделить следующие основные этапы [3]:

1) определение номенклатуры деталей, рекомендуемых для обработки на станках с ЧПУ, с учетом организационно-технических требований и требований технологичности;

2) технологический контроль чертежей;

3) проектирование маршрутного технологического процесса, предусматривающего разработку технических условий на операции, выполняемой на станках с ЧПУ;

4) проектирование операционного технологического процесса, в том числе выбор схемы базирования детали, способов установки и выверки ее, модели станка, формирование состава технологических переходов;

5) проектирование попереходного технологического процесса, в том числе выбор режущего инструмента, расчет режимов резания на каждом переходе;

6) оформление расчетно-технологической карты (РТК);

7) расчет траектории движения инструмента;

8) кодирование управляющей программы;

9) запись управляющей программы на программоноситель;

10) контроль программы с помощью специальных средств;

11) отработка программы на станке.

Кроме того, необходимо учитывать все общие принципы и закономерности науки технологии машиностроения, а также требования ГОСТов, нормалей и прочих нормативных рекомендаций общемашиностроительного характера. Однако специфика ЧПУ накладывает свои особенности и на решения традиционных задач технологической подготовки. Помимо

традиционных общемашиностроительных рекомендаций вводятся дополнительные ограничения и требования. Поэтому при рассмотрении методов решения всех перечисленных задач технологической подготовки обработки на станках с ЧПУ основное внимание будет уделяться именно специфическим особенностям решений, обусловленным применением числового программного управления.

Учитывая выше сказанное, следует отметить, что разработка техпроцесса выполняется обычным образом, но технолог учитывает дополнительные возможности оборудования с ЧПУ (например, отсутствие необходимости в некоторых видах оснастки). Затем маршрутный техпроцесс передается технологу-программисту обработки. Он выделяет те участки маршрута, на которых предполагается использование оборудования с ЧПУ, и выполняет программирование обработки одним из двух способов: вручную или при помощи компьютерных средств автоматизации программирования (САП). Далее готовая программа переносится на некоторый физический носитель (перфолента, дискеты, ZIP дисководы, съемные магнитные диски, съемные кассеты памяти). Программа подлежит обязательной верификации (проверке), которая проводится или путем обработки пробной (обычно деревянной) заготовки, или при помощи графических программ, отображающих на экране траекторию движения инструмента. В среднем требуется три пробных прогона для устранения всех ошибок в программе. Рассмотрим более подробно задачи, решаемые технологом-программистом.

1. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ОПЕРАЦИИ :
Определение содержания операции, разделение операции на установы и позиции, уточнение метода закрепления

заготовки, подготовка операционной карты.

2. РАЗРАБОТКА ОПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ:

Определение последовательности переходов, выбор инструмента, разделение переходов на ходы, выбор контрольных точек и точек останова, определение траекторий переходов, расчет режимов резания, подготовка карт наладки.

3. РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ ИНСТРУМЕНТА:

Выбор системы координат, определение наладочных размеров детали, расчет координат опорных точек, разделение проходов на ходы и шаги, построение траектории движения инструмента, преобразования систем координат.

4. КОДИРОВАНИЕ И ЗАПИСЬ УП:

Формирование элементарных перемещений, определение технологических команд, пересчет величин перемещений, кодирование УП, запись УП на носитель.

5. КОНТРОЛЬ И ОТЛАДКА УП:

Контроль носителя, контроль траектории инструмента, редактирование УП, обработка тестовой детали.

Как видно из перечня задач, технологу-программисту приходится обрабатывать большой объем информации.

2.1. Определение номенклатуры деталей, рекомендуемых для обработки на станках с ЧПУ

Рациональный подбор номенклатуры деталей, предназначенных для обработки на станках с ЧПУ, является основным фактором, предопределяющим

экономическую эффективность от внедрения этих станков.

Обрабатываемые детали должны быть такими, чтобы в максимальной мере использовались все технологические возможности станка с ЧПУ, а также создавались предпосылки для наилучшей организации производства. Требования, которым должны удовлетворять детали, рекомендуемые для обработки на станках с ЧПУ, можно подразделить на организационно-технические и требования технологичности.

2.1.1. Организационно-технические требования к деталям

Наиболее эффективна обработка на станке с ЧПУ сложных деталей с большим количеством поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки, а также элементы прямых и плоскостей, непараллельных координатным осям станка. Также целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ сравнительно простые детали, входящие в кинематические цепи и стыкующиеся с деталями, подлежащими обработке на станках с ЧПУ, так как при этом обеспечиваются сокращение подгоночных операций при сборке и взаимозаменяемость деталей.

Необходимо, чтобы конструкция детали позволяла использовать для ее установки и закрепления простейшие приспособления (упоры, прихваты и т.д.).

Целесообразна обработка на станке с ЧПУ деталей, требующих при обработке на универсальном оборудовании специальной оснастки и фасонных режущих инструментов.

Желательно, чтобы перевод детали на станок с ЧПУ позволял сократить число операций.

Трудоемкость операций на станке с ЧПУ, не оснащенном средствами автоматической установки и снятия деталей, не должна быть меньше 0,1 часа, чтобы

можно было организовать многостаночное обслуживание.

Квалитет точности обработки должен соответствовать классу точности станка. В этом случае можно совместить черновые, получистовые, а возможно, и чистовые переходы на одной операции.

Немаловажные факторы - серийность деталей и партия запуска. Считается оптимальной партия в 30-80 деталей при повторяемости партии 8-10 раз в году [1].

2.1.2. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Технологичность деталей при обработке на станках с ЧПУ часто значительно отличается от технологичности деталей, обрабатываемых на универсальных станках.

Наиболее технологичными для фрезерных и токарных станков с контурной системой ЧПУ являются детали с криволинейными поверхностями, заданными непосредственно математическими уравнениями. Для обычных станков такие поверхности задаются из условий технологичности только набором дуг окружностей или таблицей координат.

Обработка на универсальных станках резьбы с переменным шагом является нетехнологичной. На станках с ЧПУ изготовление таких деталей не вызывает затруднений.

Размеры в рабочих чертежах обычно задают исходя из условий возможности их контроля. Для станков с ЧПУ это требование не является обязательным.

Технологичность деталей с точки зрения их обработки на станках с ЧПУ приходится оценивать для двух этапов: 1) собственно процесса обработки; 2) программирования обработки. В принципе можно представить такую деталь, сама обработка которой может быть осуществлена точно, высокопроизводительно и недорого на станке с той или иной системой ЧПУ, но в то же время подготовка программы для ее обработки сопряжена с большими

трудностями и сложными расчетами, а следовательно, будет несообразно дорогой. С этой позиции более технологичными являются детали, контуры которых образуются набором геометрических элементов, обрабатываемых применяемым интерполятором, например, отрезками прямых и дугами окружностей при линейно-круговом интерполяторе.

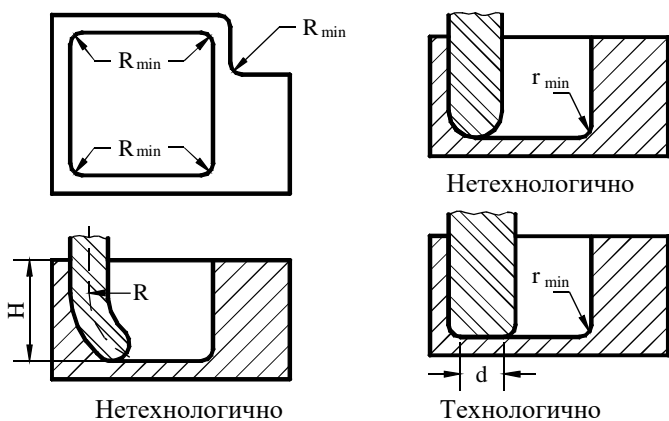


Рис. 2.1. Согласование радиусов сопряжения стенок детали и диаметра фрезы

При оценке для первого этапа технологичными следует считать детали, формы и размеры которых отвечают условиям выполнения обработки в непрерывном автоматическом цикле.

При токарной обработке на станках с ЧПУ скругления и галтели острых кромок желательно заменить фасками, причем более технологичны фаски под углом 45°. Канавки для выхода инструмента и других целей целесообразно унифицировать. Это позволит сократить число применяемых инструментов.

Для сокращения типоразмеров режущего инструмента при обработке на фрезерных станках с ЧПУ сопряжение

стенок наружных и внутренних обрабатываемых контуров деталей должно производиться по возможности одинаковыми, типовыми для данного контура, радиусами R_{min} с выполнением соотношения, обеспечивающего жесткость и высокую производительность инструмента при обработке (рис. 2.1): $R_{min} \geq (\frac{1}{5} \dots \frac{1}{6})H$. Величина R_{min}

должна соответствовать нормальному ряду типоразмеров концевых фрез (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 30 мм).

Сопряжение стенки с полкой должно также производиться одинаковым, типовым для данного контура или детали, радиусом с выполнением соотношения между R_{min} и r_{min} , обеспечивающего наличие на инструменте (концевой фрезе) торцевой плоскости с диаметром $d = 2(R_{min} - r_{min})$, необходимой для обработки горизонтальных участков детали, охватываемых контуром или прилегающих к нему (рис. 2.1). Следует избегать выполнения соотношения $R_{min} = r_{min}$, требующего применения шаровидных фрез.

Конструкция детали должна обеспечить ее обработку с наименьшим количеством переустановок на станке. Наиболее технологичной является односторонняя конструкция с базовой плоскостью. В этом случае при выполнении условий унификации радиусов деталь может быть полностью обработана одним инструментом на одном приспособлении при одной установке на базовую плоскость.

2.2. Технологический контроль чертежа детали

К чертежам деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, не предъявляется никаких требований, противоречащих ГОСТу на выполнение

машиностроительных чертежей. Однако для облегчения процесса программирования вводится ряд дополнительных правил. Простановка всех размеров должна производиться в прямоугольной системе координат от единых конструктивных баз деталей. Задание размеров в полярной системе координат требует пересчета при программировании.

Желательна простановка размеров от оси к центрам всех окружностей, если это не требует от конструктора дополнительных трудоемких вычислений; простановка размеров, определяющих координаты всех центров окружностей, за исключением радиусов сопряжений.

Размеры следует проставлять так, чтобы данные о каждом контуре были по возможности в одной проекции (см.рис. 2.2).

На поле чертежа должна быть помещена надпись "Изготавливать на станке с ЧПУ" и указаны поверхности и участки, подлежащие обработке на станке с ЧПУ.

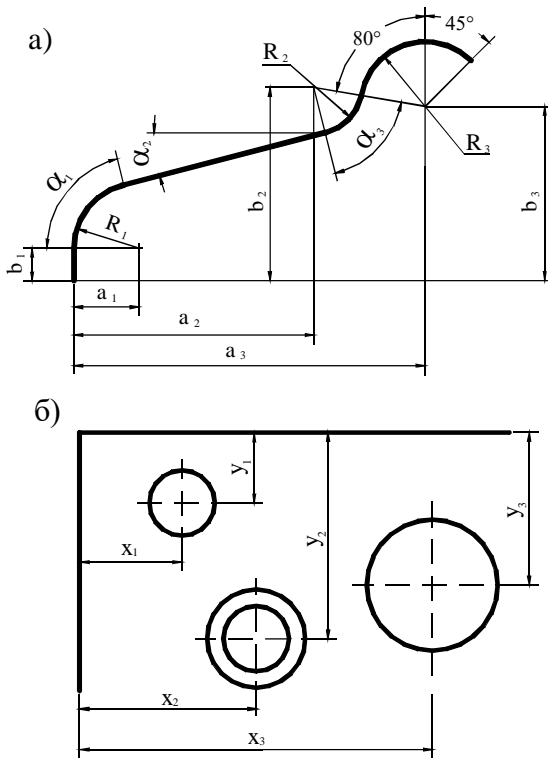


Рис. 2.2. Пример простановки размеров на чертеже

2.3. Особенности маршрутного технологического процесса при наличии операций, выполняемых на станках с ЧПУ

Проектирование маршрутного технологического процесса имеет цель определения общей последовательности выполнения операций обработки, в том числе и операций, выполняемых на станках с ЧПУ. Принципиально этот этап мало отличается от обычного проектирования маршрутной технологии. Также рассчитываются межоперационные припуски и допуски, устанавливаются технологические требования к заготовке, выбираются модели станков.

Однако включение в маршрут операций, выполняемых на станках с ЧПУ, накладывает свои особенности на структуру техпроцесса и состав работ по проектированию маршрутной технологии. Появляется возможность снятия разметочных операций и уменьшения числа переустановок детали, уменьшения объема слесарных работ, снижения среднего разряда работ, сокращения объема контрольных операций и упрощения контрольно-измерительной оснастки. Необходимо полнее использовать возможности концентрации технологических переходов и операций.

В результате, технологический процесс обработки детали должен быть разделен на обработку деталей на универсальных станках с целью подготовки баз, обработку деталей на ЧПУ, доработку деталей на универсальных станках до выполнения всех требований чертежа.

Обязательным этапом проектирования маршрутного технологического процесса является определение и согласование условий поставки заготовок и деталей.

Условия поставки заготовок являются технологическим документом, разграничивающим этап осуществления операций, предшествующих обработке на

станках с ЧПУ, и непосредственной обработке деталей на станках с ЧПУ.

Основным содержанием технических условий на поставку заготовки являются требования к базовым размерам и поверхностям.

Наиболее точным для фрезерных станков считается базирование детали на чистые поверхности и технологические отверстия, служащие базами для последующих операций. В этом случае в условия поставки включаются величина допуска на *коробление* базовой плоскости при измерении на плите щупом, *а также допуски* на диаметр базовых отверстий и величину межцентрового расстояния.

Для токарной обработки чистые базы могут быть получены путем чистовой проточки и отрезки заготовок.

Технические условия на поставку заготовок оформляются на специальных бланках и согласовываются с участком (цехом) - поставщиком заготовок и участком (цехом), изготавливающим детали на станках с ЧПУ.

Условия поставки детали являются документом, разграничивающим технологический процесс обработки на станках с ЧПУ и этап последующей доработки детали. Основным содержанием технических условий на поставку детали после обработки на станках с ЧПУ является перечень обрабатываемых на станках с ЧПУ поверхностей с указанием фактически выполняемых размеров и необходимых доработок, определяющих последующие операции, производимые слесарным путем или на универсальном оборудовании. Технические условия на поставку деталей также оформляются на специальных бланках и согласовываются с участком (цехом), изготавливающим детали на станках с ЧПУ, и участком (цехом), производящим окончательную доработку деталей.

Последовательность разработки технологических

процессов для станков с ЧПУ может быть представлена следующим образом [3]:



От выбора последовательности операций зависит точность изготовления детали и производительность ее обработки. Для обеспечения заданной точности и с целью уменьшения погрешностей, возникающих от упругих перемещений технологической системы, от тепловых деформаций, следует соблюдать принцип процесса механической обработки на стадии: черновую, чистовую, отделочную. При этом надо учитывать, что станки с ЧПУ относительно жестче своих прототипов с ручным управлением (РУ). В отдельных случаях следует совмещать черновую и чистовую операции в одну, тем более, что станки с ЧПУ по своим конструктивным возможностям не боятся такого совмещения и при этом обеспечивают высокую точность.

В целях уменьшения погрешности базирования при установлении последовательности обработки надо там, где это возможно, придерживаться принципа постоянства технологической базы. Соображения, связанные с базированием, во многих случаях являются основными при установлении плана обработки детали на станках.

Установление последовательности обработки должно начинаться с определения количества установок детали на столе или в патроне станка, необходимых для полной ее обработки. Первая установка, как правило, выбирается из условия наиболее удобного базирования заготовки на черновые или заранее подготовленные чистовые базы.

Конечной целью при определении последовательности операций является установление такой схемы, которая обеспечит наиболее полную обработку детали со всех сторон с наименьшим числом установок и требуемой для этого оснастки.

После выяснения требуемого количества и последовательности установов определяется последовательность обработки по зонам, образованным конструктивными особенностями детали (внутренний и наружный контуры, окна, приливы и пр.). В каждой зоне выделяются отдельные элементы (торец, внутренний контур окна), для которых устанавливается вид обработки (черновая, чистовая) и требуемые типоразмеры режущих инструментов.

Отдельные элементы, обрабатываемые одним инструментом, группируются как внутри зоны, так и по всем зонам. Такое группирование позволяет выявить количество типоразмеров режущих инструментов для обработки всей детали и выяснить возможность обработки всех доступных зон на данном установе набором инструментов, размещаемых в магазине или револьверной головке. В том случае, когда режущий инструмент, необходимый для обработки всех элементов детали на данном установе, не размещается в магазине, надо либо делить операции на части, выполняемые при одном установе, либо менять инструмент вручную с запрограммированной остановкой станка.

При точении детали, когда последовательность обработки ее частей (зон) ничем не обусловлена, обработку следует начинать с более жесткой части (большого диаметра) и заканчивать зоной малой жесткости.

Определение последовательности обработки элементов детали, находящихся в данной зоне, производится на стадии проектирования операционного технологического процесса.

Эффективность применения станков с ЧПУ, как правило, повышается с ростом сложности обрабатываемых деталей. Поэтому для технологической операции на станке

с ЧПУ характерно наличие большого количества разнообразных переходов, сопряженных со снятием достаточно больших объемов металла. В силу этого форма заготовки, размеры ее конструктивных элементов в ходе операции претерпевают значительные изменения, что влечет изменение жесткости элементов детали и может явиться причиной дополнительных напряжений и деформаций.

Исходя из указанных особенностей технологических операций на станке с ЧПУ, при проектировании операции вводится дополнительный этап - выбор последовательности обработки детали по конструктивным зонам.

Последовательность обработки по зонам определяется конструкцией детали и заготовки. Так, для *фрезерной* обработки при наличии ребер в штампованной заготовке наиболее целесообразно в начале обрабатывать торцы ребер, так как ребра при этом будут наиболее жесткими. Затем желательно обработать внутренние контуры детали и заключенные в них плоскости, начиная обработку от центра, постепенно приближаясь к периферии.

Выборная с учетом изложенных соображений последовательность обработки по зонам должна быть приведена в соответствие с техническими возможностями станка и может быть окончательно принята только тогда, когда будет проведено эскизное проектирование приспособлений и выбран инструмент.

Базирование детали, приспособления.
Технологические базы, помимо их традиционного назначения, состоящего в обеспечении точного и неизменного в ходе обработки положения поверхностей детали относительно установочных и направляющих поверхностей, должны *удовлетворять еще условиям совмещения направления координатных осей с осями*

координатной системы станка и расположения нуля детали в заданной точке системы координат станка.

Смещение положения нуля приводит к смещению всего обрабатываемого контура и может вызвать появление брака или даже аварию станка.

Особое внимание следует обратить на закрепление детали при обработке наружного контура, когда возникает необходимость изменения положения прижимов в процессе обработки.

За технологические направляющие базы иногда принимают специально нанесенные взаимно-перпендикулярные разметочные риски, размещаемые в плоскости, параллельной плоскости стола станка. Установка по риску, нанесенной на необработанной поверхности, обеспечивает точность 0,5-0,6 мм на 1000 мм длины, а установка по риску, нанесенной на обработанной поверхности, закрашенной раствором медного купороса, - до 0,3 мм.

Способ установки по риску применяется в тех случаях, когда деталь не имеет других поверхностей, расположение которых относительно контура обработки должно быть равным по точности или точнее того, что обеспечивается по разметочным рискам.

Когда базовые установочные и направляющие поверхности параллельны или перпендикулярны координатным осям, установка заготовки производится так, чтобы нуль детали совместился с запрограммированной точкой, что осуществляется по специальной оправке с индикатором.

Нередко весь внешний контур обрабатывается с одной установкой. Ориентирование и закрепление детали в этих случаях должно производиться по поверхностям, находящимся внутри этого контура. Однако таких поверхностей может и не быть. В этих случаях может быть

рекомендован *метод технологических базовых и крепежных отверстий*.

Выбор исходной точки. Траектория движения инструмента начинается в исходной точке (ИТ). Если поверхность или поверхности обрабатываются одним инструментом, его ИТ является и конечной точкой траектории.

Применение нескольких инструментов для обработки детали приводит к 2-м возможным вариантам построения траектории движения этих инструментов (см.рис. 2.3 и 2.4). При первом варианте каждый инструмент начинает движение в одной общей для всех инструментов ИТ и, закончив обработку отведенного ему участка, возвращается в исходную точку, которая, таким образом, является и конечной точкой его траектории. Траектория в этом случае замкнута. Во втором варианте каждый инструмент начинает движение в своей ИТ и, закончив обработку соответствующего участка поверхности, перемещается на холостом ходу в позицию, удобную для автоматической смены инструмента. Траектория в этом случае незамкнута.

Первый вариант имеет несколько большую длину холостых ходов инструмента. Чтобы сократить холостые перемещения, надо ИТ располагать примерно в середине контура обрабатываемых поверхностей, что не представляет затруднения на фрезерных станках с автоматической сменой инструмента и очень осложняется в условиях ручной смены, так как инструмент меняется над деталью.

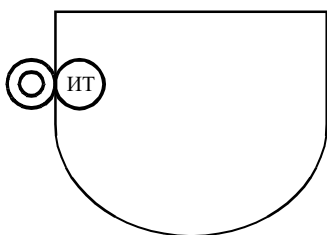


Рис. 2.3 Смена инструментов в единой точке

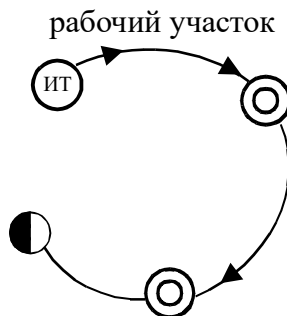


Рис. 2.4. Траектория не замкнута. Смена инструментов в удобных точках

При назначении положения исходной точки должны быть выполнены требования техники безопасности по выбору расстояния от исходной точки до оси ближайшего винтового зажима (рис. 2.5).

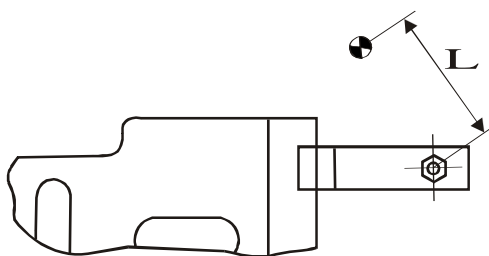


Рис. 2.5. Пример расположения зажима на детали:

L - должно быть равно длине ключа плюс дополнительное расстояние между ключом и осью фрезы, равное ширине ладони человека

2.4. Структура операционного технологического процесса

Элементарный переход для станка с ЧПУ должен сохранять все свойства технологического процесса, быть технологически неделимым и выполняться по заданной программе. Таким требованиям отвечает определение элементарного перехода как непрерывного процесса обработки одной элементарной поверхности одним инструментом без изменения режима резания. Элементарная обрабатываемая поверхность образуется при удалении одного слоя металла.

Из элементарных переходов образуется сложный переход или просто переход. Переход - законченный процесс обработки одной или нескольких обрабатываемых поверхностей одним инструментом при его непрерывном движении по заданной программе.

Из совокупности переходов и вспомогательных приемов складывается операция. Операцией механической обработки детали на станке с ЧПУ называется часть технологического процесса, выполняемая над определенной деталью непрерывно на одном рабочем месте по заданной программе и при одной настройке станка.

Все движения, связанные с выполнением операции на станке с ЧПУ, делятся на основные и вспомогательные. В результате основных движений производится удаление припуска с обрабатываемых поверхностей. К вспомогательным относятся движения, не связанные с образованием элементарной обрабатываемой поверхности. Вспомогательные движения делятся на три вида: врезание, выход инструмента из зоны обработки, холостой ход.

2.5. Проектирование перехода

Проектирование технологических переходов включает определение состава переходов и построение траекторий движения инструмента на каждом переходе. Наиболее трудной проблемой при разработке технологии является проблема рационального построения траектории движения инструмента.

Траектории рабочих перемещений инструмента. Технологические переходы, выполняемые на станках с ЧПУ, подразделяются на черновые и чистовые. Причем те и другие могут совмещаться в одной операции. Назначение черновых переходов состоит в максимальном приближении конфигурации заготовки к форме детали, т.е. в удалении лишних объемов металла, снятии напусков. *Основным требованием к черновым переходам является обеспечение равномерного припуска для чистовых переходов.*

Многообразие частных технологических и математических задач, которые необходимо при этом решать, требует высокой квалификации технолога-программиста. В соответствии с этим целесообразно проведение технологической нормализации форм траекторий инструмента. Так, для случая фрезерной обработки могут быть применены следующие нормализованные траектории:

- 1) Спираль типа Архимедовой с проходами, эквидистантными контуру обрабатываемой плоскости (рис. 2.6). Её преимущества - равномерный объем металла при неизменном способе фрезерования по всей длине траектории. Это позволяет производительно обрабатывать нежесткие элементы деталей, обеспечивая относительно малую шероховатость, и приводит к равномерному уменьшению жесткости поверхности обработки, что

предотвращает поводку детали. Недостатком спирали типа Архимедовой является ее непригодность для обработки поверхностей с негладким контуром.

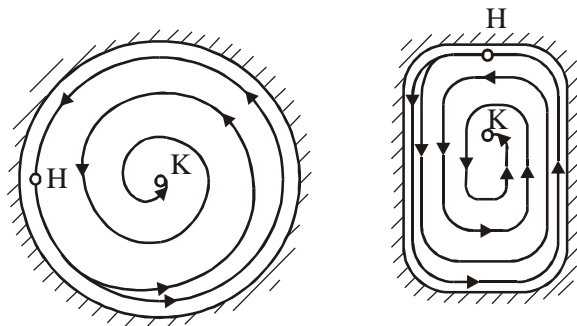


Рис. 2.6. Спираль типа Архимедовой

2) Ленточная спираль с эквидистантными проходами (рис. 2.7) в основном сохраняет преимущества спирали Архимедовой, но ей не присуще постоянство направления фрезерования, так как в каждом проходе направление фрезерования противоположно направлению фрезерования предыдущего прохода.

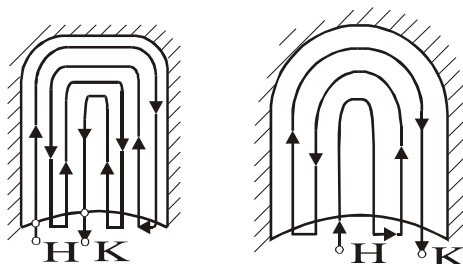


Рис. 2.7. Ленточная спираль с эквидистантными проходами

Выбор разновидности и модификации обоих видов спирали при обработке плоскостей зависит от марки обрабатываемого материала, состояния заготовки и ее поверхности.

3). Ленточная спираль с проходами, неэквидистантными контуру (перемещение "строка", рис. 2.8.)

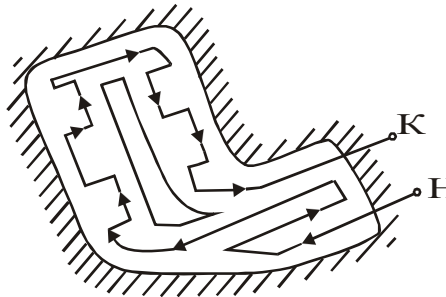


Рис. 2.8. Ленточная спираль с проходами, неэквидистантными контуру

Перемещение "строка" целесообразно применять, если критерием выбора формы траекторий является требование повышения надежности работы *линейного* интерполятора, т.е. сокращение числа кадров.

Если интерполятор является круговым, то спираль типа Архимедовой, построенная при помощи круговых траекторий, окажется более надежной, чем "строка".

При построении траектории черновых переходов для обеспечения равномерности припуска под чистовой переход часто приходится предусматривать дополнительные перемещения (рис. 2.9).

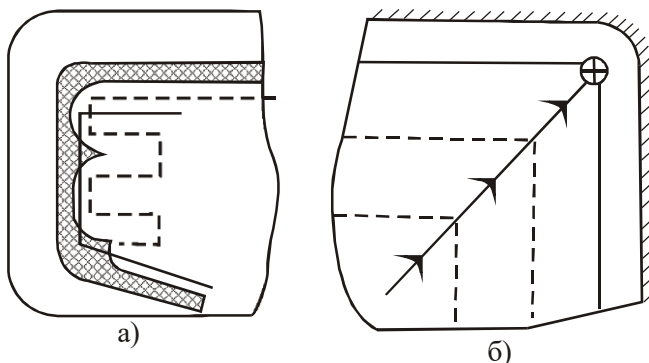


Рис. 2.9. Дополнительные рабочие перемещения: а-при обходе боковой стенки переходом «строка»; б-при обходе угла, когда радиус фрезы равен радиусу сопряжения стенок [1];

----- - основные перемещения;

————— - дополнительные перемещения.

Все указанные типовые решения в той или иной степени используются при построении траектории рабочих перемещений в черновых переходах. В целом это задача творческая, наилучшее решение ее непременно учитывает индивидуальные особенности детали, инструмента.

Проектирование операции начинают с выявления переходов обработки и установления необходимых рабочих ходов для удаления напусков. Из большого количества возможных вариантов построения операций стремятся выбрать наиболее производительный и рентабельный. Во всех случаях выгоднее сокращать число холостых и вспомогательных движений, а переходы обработки принимать более длительными.

На рис. 2.10, (а) и (б), показаны два варианта предварительной обработки ступенчатой детали.

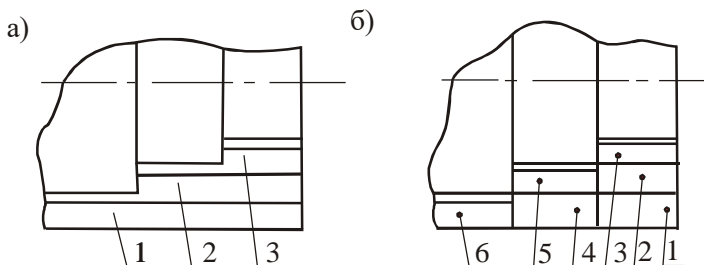


Рис. 2.10. Варианты обработки детали

Несмотря на то, что по суммарному пути резания оба варианта равноценны, вариант (а) более предпочтителен. При этом варианте требуется меньше команд на переключения, уменьшается время холостых движений за счет сокращения пути разгона и торможения суппорта станка и количество перемещений инструмента в поперечном направлении.

На рис. 2.11, (а) и (б), показаны два варианта обработки ступенчатого отверстия. Вариант "б" более предпочтителен, так как суммарное основное время обработки здесь меньше, лучше условия удаления стружки.

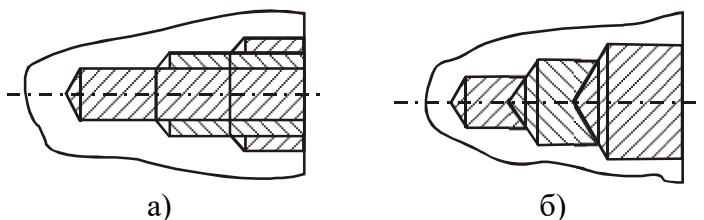


Рис. 2.11. Варианты обработки ступенчатого отверстия

Если в детали сверлят несколько отверстий одного диаметра, то при построении операции следует выбрать такую последовательность обработки, при которой суммарное время на перемещение шпинделя из позиции в

позицию будет минимальным.

При выборе схемы следует ориентироваться на работу с большими глубинами резания, так как при этом уменьшается длина траектории движения инструмента. Ограничением для этого является: прочность фрезы, виброустойчивость технологической системы, а также величина остающегося припуска на чистовую обработку.

На рис. 2.12 показан пример растачивания конического отверстия за несколько последовательных рабочих ходов.

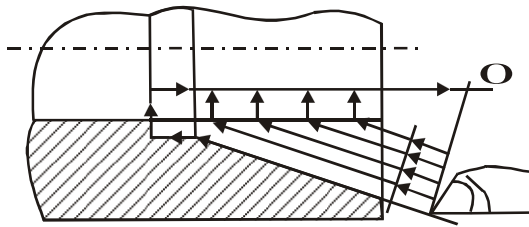


Рис. 2.12. Пример растачивания конического отверстия

Траектории вспомогательных ходов. Обработку фрезерованием контура с внешними поверхностями рекомендуется начинать с врезанием фрезы по касательной к обрабатываемому контуру (рис. 2.13).

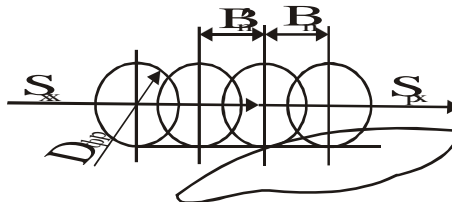


Рис. 2.13. Врезание фрезы в наружный контур

B_n' - путь, на котором скорость холостого хода снижается до скорости подачи врезания S_{xx} ;

B_n - путь врезания с сокращением подачи до рабочей

величины S_{px} .

Путь инструмента при врезании в припуск на внутренних поверхностях обрабатываемых контуров должен осуществляться по *криволинейной траектории* (см. рис. 2.14). Практически наиболее приемлемая кривая – участок окружности, при котором путь врезания равен $3 \div 4$ глубинам резания.

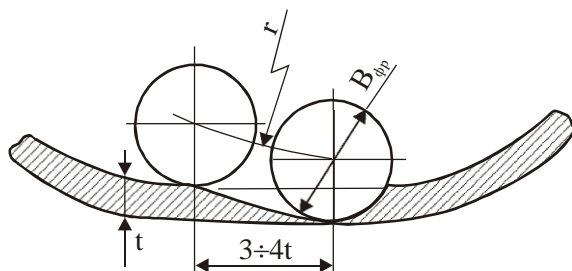


Рис. 2.14. Врезание фрезы в внутренний контур

При обходе наружного контура деталей могут встретиться прямые и острые углы, когда вектор скорости поступательного движения фрезы должен мгновенно изменить направление. Вследствие упругих деформаций технологической системы фактические траектории обвода прямоугольных и острых углов превращаются в дугообразные. Для устранения этого на траектории проектируются дополнительные петлеобразные перемещения (рис. 2.15).

Точки А и Б, в которых движение меняется на противоположное, находятся вне припуска.

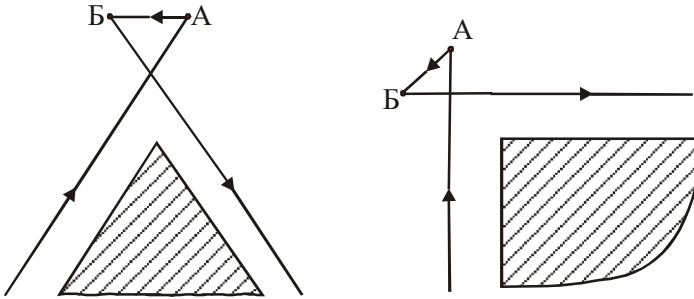


Рис.2.15. Петлеобразные перемещения фрезы

В изношенных станках с ЧПУ при формировании траектории вспомогательных движений приходится учитывать зазоры в сопряжениях механизма подачи.

На рис. 2.16 показано, что при фрезеровании горизонтального участка с переходом на вертикальный участок траектория должна быть выполнена следующим образом для обеспечения размера A .

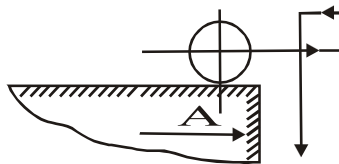


Рис. 2.16. Построение траектории обхода наружного контура.

Формирование вспомогательных участков траектории - важная задача. Эти участки необходимо назначать при врезании и ходе инструмента, а также при его отводе от обработанной поверхности во избежание ее порчи. Для сокращения времени следует уменьшать путь вспомогательных и холостых движений, а скорости их увеличивать. Траектории их должны быть по возможности простыми, а количество участков с разгоном и

торможением - минимальным.

2.6. Расчетно-технологическая карта (РТК)

Итогом разработки операционного технологического процесса для станка с ЧПУ является расчетно-технологическая карта. Она оформляется технологом и содержит все технологические решения, принятые на предыдущих этапах технологической подготовки.

Оформляется РТК в следующей последовательности:

1). Деталь вычерчивается в прямоугольной системе координат, оси ОХ и ОУ которой параллельны осям координат станка. Выбирается исходная точка обработки. Контуры детали, подлежащие обработке, вычерчиваются в масштабе с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2). Намечается расположение прихватов и зон крепления в соответствии с рекомендациями по выбору оснастки.

3). Цветным карандашом или специальными линиями на РТК наносится траектория движения центра инструмента в системах координат ХОУ и ХОZ. Началом (и, соответственно, концом) траектории является исходная точка обработки. Траектория наносится с учетом выбранной последовательности обработки и намеченных типовых траекторий в инструментальных переходах.

4). На траектории движения инструмента отмечаются и обозначаются цифрами опорные точки траектории и ставятся стрелки, указывающие направление движения.

5). Указываются места контрольных точек, обозначаются также точки останова, необходимые для смены инструмента, изменения оборотов шпинделя переаждима детали (с указанием продолжительности останова в секундах).

6). Указываются режимы резания по участкам обработки.

7). В порядке оформления РТК на неё наносятся

дополнительные данные - буквенная или цифровая последовательность обработки, параметры инструмента, ссылки на типовые технологические приемы.





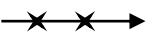
РТК является исходным документом для составления карты программирования, по которой в свою очередь составляется управляющая программа.

Табличная часть РТК для фрезерной операции отличается от РТК на токарную операцию дополнительной графой для координаты Z.

Для облегчения чтения графического материала следует применять условные обозначения (Табл. 2.1).

Таблица 2.1.

Условные обозначения в расчетно-технологической карте

Условное обозначение	Значение
	Исходная точка
	Точка остановки инструмента или смены инструмента
	Контрольная точка с координатами x и y
	Точка вертикального подъема на 20 мм
	Точка вертикального опускания на 15 мм
	Перемещение фрезы с одновременным подъемом
	Перемещение фрезы с одновременным опусканием
	Траектория холостого хода

2.7. Универсальные методы решения геометрических задач

Подготовка УП в конечном счете сводится к расчету траектории каждого инструмента, используемого в процессе обработки, в пространстве и во времени. За пространственную траекторию отвечают геометрические параметры детали и заготовки, а за временную - технологические данные.

Рассмотрим методы расчета траекторий движения инструмента при контурной обработке, когда инструмент перемещается по заданному плоскому контуру (токарная, некоторые виды фрезерной, шлифовальная, электроэрозионная обработки). При этом контур лежит в плоскости, параллельной одной из координатных плоскостей станка (например, при 5-координатном фрезеровании это условие не выполняется) [8-15].

Хотя расчет траектории на плоскости можно рассматривать как частный случай расчета траектории в пространстве и проводить по 3D-расчетным схемам, это было бы неэкономичным решением. Поэтому для расчетов на плоскости был разработан специальный математический аппарат.

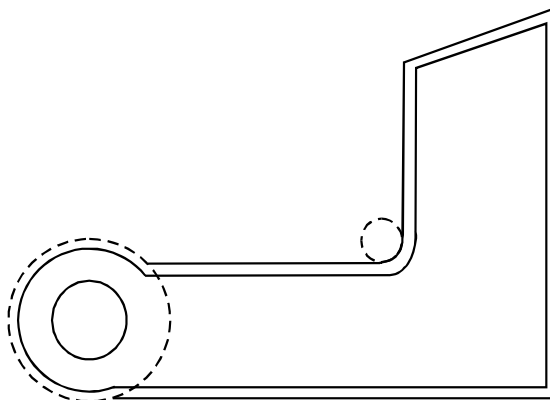


Рис. 2.17. Эквидистанта, состоящая из отрезков и окружностей

Как мы знаем, 2D проекция образуется из отрезков и дуг. Если рассматривать дуги как части окружностей, то траектория движения инструмента (эквидистанта) также будет образована последовательностью отрезков и окружностей (рис. 2.17).

Для начала нам необходимо выбрать способ математического описания геометрических примитивов. Для точек это, очевидно, их прямоугольные декартовы координаты. Прямые представляются нормальным уравнением:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha = 0 \quad (2.1)$$

Здесь p - расстояние от прямой до начала координат;
 α - угол, образованный перпендикуляром к прямой с осью OX .

Для окружности уравнение имеет вид:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 - r^2 = 0 \quad (2.2)$$

Здесь a, b - координаты центра;
 r - радиус.

Очевидно, что на чертеже детали указанные параметры уравнений (2.1) и (2.2), называемые каноническими, в явном виде не указываются. К примеру, координаты

центра скруглений не задаются, а должны быть вычислены по известному радиусу. Таким образом, **первой вычислительной задачей** является расчет канонических параметров геометрических элементов по имеющейся на чертеже информации.

Вторая вычислительная задача - расчет координат базовых точек по найденным каноническим параметрам уравнений геометрических элементов.

Для решения этих двух задач можно применять известные методы аналитической геометрии, получая частное решение для каждого конкретного случая.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие основные этапы разделяется процесс технологической подготовки обработки на станках с ЧПУ?
2. Какие задачи решает технолог-программист?
3. Как определяются номенклатуры деталей, рекомендуемых для обработки на станках с ЧПУ?
4. Каковы организационно-технические требования к деталям?
5. Как определяется технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ?
6. Как выполняется технологический контроль чертежа детали?
7. Каковы особенности маршрутного технологического процесса при наличии операций, выполняемых на станках с ЧПУ?
8. Какие имеются преимущества у спиралей типа Архимедовой с проходами, эквидистантными контуру обрабатываемой плоскости?
9. Когда применяется ленточная спираль с эквидистантными проходами?
10. Когда применяется ленточная спираль с проходами, не эквидистантными контуру?
11. Что такое расчетно-технологическая карта?

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Последовательность проектирования операционного технологического процесса для фрезерных станков с ЧПУ обладает определенными особенностями. К ним можно отнести: конфигурацию обрабатываемых деталей; использование многолезвийного инструмента (фрез), которые, как правило, не поставляются со станком; изменение характера обработки и рабочих органов станка; программирование перемещения центра фрезы; управление по трем координатам при пространственной обработке детали.

Базирование производится по трем взаимно перпендикулярным плоскостям или по плоскостям и двум точным отверстиям. Наиболее распространенным режущим инструментом, применяемым для обработки широкой номенклатуры деталей на фрезерных станках с ЧПУ, являются концевые фрезы. В зависимости от конфигурации обрабатываемых поверхностей и условий обработки к этим фрезам предъявляются особые требования, которые необходимо учитывать при выборе режущего инструмента для конкретной операции:

1). Обеспечение усиленного вывода стружки при обработке глубоких колодцев. Достигается увеличением угла наклона спирали фрезы.

2). Изменение направления осевой составляющей силы резания, чтобы она прижимала деталь к столу станка. Достигается применением праворежущих фрез с левой спиралью или леворежущих фрез с правой спиралью.

3). Снижение вибрации инструмента. Достигается несимметричным расположением зубьев фрезы.

4). Обеспечение возможности вертикального врезания в металл. Достигается специальной заточкой торца фрезы.

5). Повышение жесткости режущей части инструмента. Достигается увеличением сечения сердечника или применением конического сердечника.

6). Увеличение вылета инструмента, когда выступающие части не позволяют опустить пиноль ниже. В этом случае для сохранения жесткости инструмента предусматривают усилительный конус.

Выбор режущего инструмента для выполнения операции на фрезерном станке с ЧПУ производится поэтапно. Вначале выявляют виды инструментов, необходимых для обработки детали на данной операции. Затем определяют технологические параметры каждого вида инструмента: материал режущей части, углы заточки режущих кромок, количество зубьев и прочее. На заключительном этапе выбирают конструктивные параметры режущего инструмента: диаметр фрезы $D_{фр}$, длину режущей части l , вылет фрезы L , и т.д.

Число и последовательность технологических переходов зависят от количества и конфигурации зон, обрабатываемых на данной операции, от требований к точности расположения поверхностей (как внутри зоны, так и между зонами) и от требований к шероховатости поверхностей.

Рекомендации по выбору последовательности обработки по зонам приведены в настоящей главе выше.

Определение рациональной траектории рабочих перемещений инструмента при фрезеровании конкретной зоны является наиболее трудной проблемой при разработке операционного технологического процесса.

Характер траектории зависит от вида зоны, метода фрезерования и типа инструмента. Зоны по доступности делятся на закрытые (типа глухих колодцев), полуоткрытые и открытые.

На рис. 3.1, а, показана схема "петля", наиболее

применяемая в тех случаях, когда одна стенка выемки вертикальная, а другая -наклонная.

На рис. 3.1, б показана схема "зигзаг". Её удобно использовать при двух наклонных стенках. При глубоких выемках работа затруднена, в этом случае применяют схему "спуск", представленную на рис.3.1, в. Пример оформления РТК на фрезерную операцию представлен на рис. 3.2.

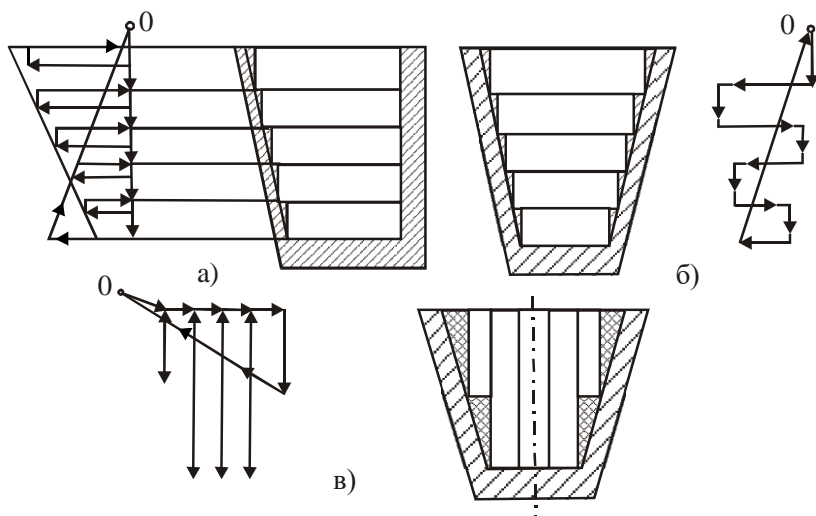


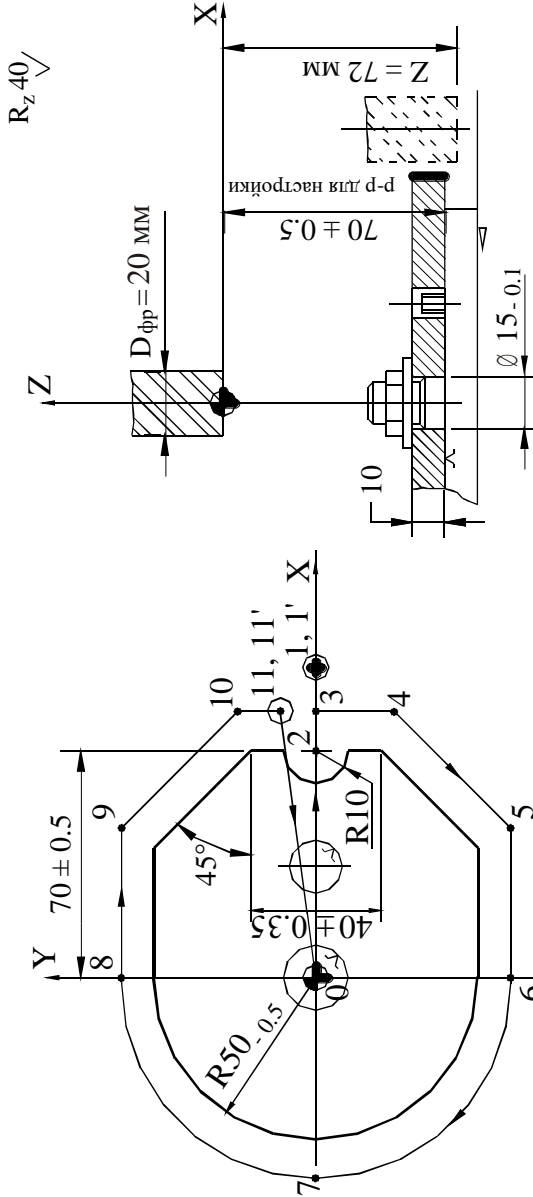
Рис. 3.1. Схемы вертикальных перемещений фрезы

3.1. Расчет траектории инструмента

Траектория инструмента задается опорными точками, следовательно, расчет траектории сводится к определению координат опорных точек. Координаты всех опорных точек обрабатываемого контура задаются от начала декартовой системы координат детали, которое было принято при разработке технологического процесса.

По координатам опорных точек определяются

величины перемещений инструмента вдоль каждой координаты для каждого участка траектории:



Исходные точки обкатать по базовому пальцу $\varnothing 15-0.1$

$D_{фр} = 20$ мм, $h = 0.01$ мм
 Подача 0-1-1', 11-11'-0 - 600 мм/мин
 1-11 - 50 мм/мин

Рис. 3.2. Пример оформления РТК для фрезерной обработки.

$$\begin{aligned}\Delta X_i &= X_i - X_{i-1} \\ \Delta Y_i &= Y_i - Y_{i-1} \\ \Delta Z_i &= Z_i - Z_{i-1}\end{aligned}\quad (3.1)$$

Прежде чем приступить к определению координат точек траектории, надо убедиться в наличии необходимых размерно-геометрических данных для всех элементов контура и, если есть недостающие, определить их косвенным путем по имеющимся данным чертежа.

Использование математических методов аналитической геометрии позволяет определять координаты точек с любой степенью точности.

При вычислении необходимо, исходя из требуемой точности обработки и точности перемещений, которую может обеспечить станок, установить числа знаков после запятой.

Точность вычислений не обязательно должна превышать точность обработки.

При расчете эквидистанты особое внимание нужно обратить на участки перехода от одного геометрического элемента к другому (рис. 3.3).

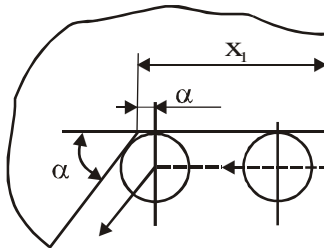


Рис. 3.3. Построение эквидистанты

Перемещение центра фрезы вдоль координаты $X - X_i$ должно быть уменьшено на величину a , определяемую методами тригонометрии. В данном случае $a = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$.

Приведем примеры расчета эквидистанты с учетом радиуса инструмента (табл. 3.1.).

Таблица 3.1

Расчет координат опорных точек

№	Вид траектории	Расчет		
		учас- ток	перемещения	
			по Z	по X
1		1-2	$z_1 + r - c_z$	0
		2-3	$z_2 - r + c_z$	$x_1 - r + c_x$
		3-4	0	$x_2 + r - c_x$
		$c_z = r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$ $c_x = r \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2} \right)$		
2		1-2	$z_1 - c_{z1} - E$	$x_1 - r + F$
		2-3	$z_2 + c_{z2} + E$	$x_1 - r + F$
		$c_{z1} = r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; c_{z2} = r \operatorname{tg} \frac{\beta}{2};$ $F = r \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}};$ $E = \frac{r}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \begin{cases} \sin^2 \frac{\alpha - \beta}{2} & \alpha > \beta; \\ \sin \frac{\beta - \alpha}{2} & \alpha < \beta. \end{cases}$		
3		0-1	$z_1 + r$	0
		1-2	$z_3 - A$	$x_1 - r + B$
		2-3	$z_4 - c_z + A$	$x_2 + r - B$
		3-4	$z_5 - r + c_z$	0
		$c_z = r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$ $A = r \sin \alpha; B = r \cos \alpha$		

Объем работ по программированию траектории зависит от применяемого интерполятора. Если траектория описывается кривой более высокого порядка, для которой в интерполяторе не заложены алгоритмы автоматической интерполяции, необходимо аппроксимировать эту кривую геометрическими элементами, для которых в применяемом интерполяторе предусмотрены соответствующие алгоритмы. Рассмотрим простейший пример аппроксимации - линейную аппроксимацию дуги окружности.

Дуги окружностей для ввода информации в линейный интерполятор аппроксимируются ломаными линиями. Шаг аппроксимации дуг окружностей удобно выражать величиной центрального угла $\Delta\varphi$, опирающегося на концы участков аппроксимации. Величина шага рассчитывается, исходя из заданной точности аппроксимации. Точность аппроксимации определяется стрелкой прогиба - максимальным отклонением аппроксимирующей линии от аппроксимируемой (хорда от дуги в нашем случае).

В зависимости от того, чем являются участки ломаной для дуги - хордами, секущими, касательными - существует три способа аппроксимации дуг окружностей (рис. 3.4).

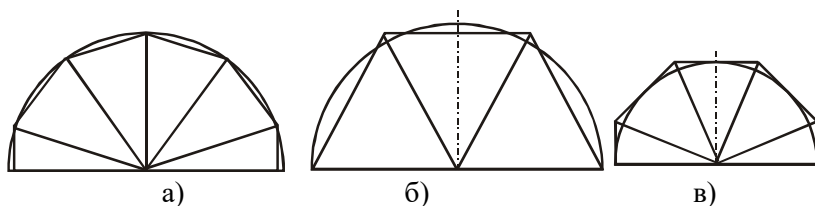


Рис.3.4. Аппроксимация дуг окружностей хордами (а); секущими (б); касательными (в)

Шаг аппроксимации определяют из соотношений:

$$\Delta\varphi = \left\{ \begin{array}{l} 2 \arccos\left(1 - \frac{\delta}{R}\right) \quad (\text{хорды}) \\ 2 \arccos\left(\frac{R - \delta}{R + \delta}\right) \quad (\text{секущие}) \\ 2 \arccos\left(\frac{R}{R + \delta}\right) \quad (\text{касательные}). \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Расчет дополнительных опорных точек проводится в относительной системе координат, связанной с центром аппроксимирующей окружности (рис. 3.5):

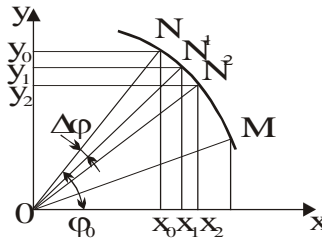


Рис .3.5. Схема расчета дополнительных опорных точек

$$X_k = R \cos(\varphi_0 - k\Delta\varphi); \quad (3.3)$$

$$\varphi_k = R \sin(\varphi_0 - k\Delta\varphi)$$

где k -текущий номер опорный точки. Затем находят приращения по осям координат:

$$X_k = |X_{k+1} - X_k|; \quad \Delta Y_k = |Y_{k+1} - Y_k| \quad (3.4)$$

и записывают в таблицу аппроксимации с соответствующими знаками перемещения.

Расчет траектории инструмента и оформление карты координат опорных точек рассмотрим на уже приведенном примере (см. рис. 3.2).

Для оформления карты координат опорных точек

необходимо по данным РТК определить координаты всех опорных точек траектории. Расчет производится в соответствии с рекомендациями, данными в п. 3.1.

В программе величины перемещений должны быть заданы целыми числами, которые определяются относительно величины разрешающей способности h используемого станка. Для шагово-импульсной системы h - цена импульса. Пересчет ведется по формуле $l_{им} = \frac{l_{мм}}{h}$.

Результаты расчетов заносятся в карту координат опорных точек. (табл. 3.2).

Таблица 3.2.

Карта координат опорных точек

Участок	Контур	Координаты конца участка								Подача, мм/имп.		
		X		ΔX	Y		ΔY	Z			ΔZ	
		мм	имп.	имп.	мм	имп.	имп.	мм	имп.		имп.	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0-1	Прямая	100	10000	10000	0	0	0	0	0	0	600	
1-1		100	10000	0	0	0	0	-72	-7200	-7200	600	
1-2		70	7000	-3000	0	0	0	-72	-7200	0	50	
2-3		80	8000	1000	0	0	0	-72	-7200	0	50	
3-4		80	8000	0	-24	-2400	-2400	-72	-7200	0	50	
4-5		44	4400	-3600	-60	-6000	-3600	-72	-7200	0	50	
5-6		0	0	-4400	-60	-6000	0	-72	-7200	0	50	
6-7		Ок- руж- ность	-60	-6000	-6000	0	0	6000	-72	-7200	0	50
7-8			0	0	6000	60	6000	6000	-72	-7200	0	50
8-9		Прямая	44	4400	4400	60	6000	0	-72	-7200	0	50
9-10	80		8000	3600	24	2400	-3600	-72	-7200	0	50	
10-11	80		8000	0	8	800	-1600	-72	-7200	0	50	
11-11	80		8000	0	8	800	0	0	0	7200	600	
11-0	0		0	-8000	0	0	-800	0	0	0	600	
				$\Sigma=0$			$\Sigma=0$			$\Sigma=0$		

3.2. Особенности программирования фрезерной обработки

Особенности программирования рассмотрим на примере подготовки программ для станка модели 6Р13ФЗ

с устройством ЧПУ - НЗЗ-ИМ.

Кодирование программы работы устройства НЗЗ-ИМ производится в соответствии с рекомендациями ISO.

3.2.1. Структура кадра

При записи числовой информации следует помнить, что после каждого адреса должно быть записано строго определенное для конкретного адреса количество строк. Начало программы задается символом «%». Номер кадра задается адресом “N”. Число строк в адресе 3. Например: N001, N002, N003 ...N125

3.2.1.1. Задание режимов работы устройства

Режим работы устройства задается подготовительной функцией G. Количество строк в адресе G 2. Назначение основных применяемых в устройстве функций G:

- G01 – линейная интерполяция;
- G02 – круговая интерполяция по часовой стрелке;
- G03 – круговая интерполяция против часовой стрелки;
- G17 – выбор плоскости XY;
- G18 – выбор плоскости XZ;
- G19 – выбор плоскости YZ;
- G40 – отмена коррекции;
- G41 – коррекция на длину фрезы положительная;
- G42 – коррекция на радиус фрезы положительная по часовой стрелке;
- G43 – коррекция на радиус фрезы положительная против часовой стрелки;
- G50 – функция расчета коррекции радиуса фрезы при отходе от эквидистантного контура;
- G51 – коррекция на длину фрезы отрицательная;
- G52 – коррекция на радиус фрезы отрицательная по часовой стрелке;
- G53 – коррекция на радиус фрезы отрицательная против часовой стрелки.

3.2.1.2. Задание скорости подачи

Скорость подачи программируется при помощи адреса-F . Количество строк в адресе 4.

Назначение строк следующее.

Первая строка:

0 - автоматическое определение необходимости разгона или торможения;

4 - торможение в конце кадра до фиксированной величины (240 мм/мин) и разгон в следующем кадре до прежней скорости в случае отсутствия в нем кода подачи.

Вторая строка: десятичный множитель, величина которого на 3 больше, чем количество целых чисел в величине подачи (мм/мин).

Третья и четвертая строки: величина подачи (мм/мин), округленная до двух значащих цифр.

Например: F0465- 6.5 мм/мин;

F0525-25 мм/мин;

F0675 –750мм/мин;

F0718-1800мм/мин

F0724 - 2400мм/мин (быстрый ход)

3.2.1.3. Задание технологических команд

В устройстве предусмотрено три адреса технологических команд: M, S и T. Количество строк в адресе 2.

По адресу M задаются следующие вспомогательные команды:

M03- пуск шпинделя по часовой стрелке;

M04 - пуск шпинделя против часовой стрелки;

M13 - пуск шпинделя по часовой стрелке с включением охлаждения;

M14 - пуск шпинделя против часовой стрелки с включением охлаждения;

M05 - стоп шпинделя и выключение охлаждения;

M06 - смена инструмента;

M80 - зажим консоли;

M81 - отжим консоли.

По адресу S задается величина чисел оборотов в соответствии с таблицей, которая приводится в паспорте станка.

По адресу T задается номер инструмента. Например: T01 -инструмент номер 1.

Технологические команды адресов S и T необходимы в одном кадре с командой адреса M, например: смена инструмента - T02M06; пуск шпинделя - 24M03.

В кадре можно задавать только одну технологическую команду адреса.

3.2.1.4. Задание перемещений при линейной интерполяции

Перемещение по осям X и Y кодируется соответственно буквами "X" и "Y". Количество строк в адресе 7. Первая строка, следующая после признака адреса, отводится для кодирования направления перемещения.

Движение в положительном направлении кодируется знаком "+", а в отрицательном "-".

Последующие шесть строк отводятся для кодирования величины перемещения.

Таким образом, перемещение по оси X в положительном направлении на величину 23759 дискрет должно быть закодировано так:

N1001 G01X+023759 F0660

Аналогично кодируются перемещения по оси Y.

Возможна работа по одной, двум и трем координатам.

3.2.1.5. Задание перемещений при круговой интерполяции

В одном кадре может быть задано не более одной четверти окружности. Начало координат при программировании дуги всегда находится в центре окружности, т.е. используется частная система координат.

При круговой интерполяции в программе задаются

следующие величины:

- плоскость обработки (G17, G18, G19);
- функция, определяющая вид работы (G02 - по часовой стрелке, G03 - против часовой стрелки);
- координаты начальной точки дуги с положительным знаком относительно центра дуги:

i - вдоль координаты X ;

j - вдоль координаты Y ;

k - вдоль координаты Z.

(нулевая начальная координата не указывается);

-приращения по координатам с учетом знака.

Например: N011 G 17

N012 G02 X-00400Y-004000I+004000.

3.3. Коррекция управляющих программ

Расчет управляющих программ осуществляется, как правило, чисто геометрически. При этом не учитываются такие параметры, как состояние станка, инструмента, заготовки в процессе обработки, силы резания, упругие деформации технологической системы и т.п. Вместе с тем, например, упругие деформации технологической системы могут привести к отклонению фактической траектории инструмента от заданной. Следствием этого является выход получаемых размеров детали за поле допуска. Расчет эквидистанты производится с учетом определенного радиуса инструмента, а в процессе резания происходит изменение этого радиуса в результате износа. Таким образом, даже качественно подготовленная управляющая программа не может обеспечить получение требуемых размеров на достаточно большой партии деталей. Появляется потребность внесения коррекции в геометрические параметры траектории и в скорость подачи. Внесение такой коррекции в саму управляющую программу неэффективно вследствие больших затрат

времени на ее изготовление. Поэтому современные системы ЧПУ имеют возможность вносить коррекцию на скорость подачи и на величины координатных перемещений инструмента непосредственно с пульта управления. Для этого на пультах управления имеются переключатели скорости подачи и панели набора размерной коррекции по координатам - корректоры. Каждому корректору присваивается свой номер (адрес).

Для фрезерных станков предусмотрено два вида коррекции: коррекция на радиус фрезы и коррекция на длину фрезы.

В устройстве ЧПУ возможна коррекция радиуса фрезы в программах обработки по контуру, образованному произвольно расположенными на плоскости сопряженными дугами окружностей и прямыми. Коррекция радиуса фрезы производится только при отведенном от обрабатываемой поверхности инструменте. Величина коррекции равна разности фактического радиуса фрезы и радиуса, заданного в программе. Наибольшая возможная величина изменения радиуса фрезы ± 255 дискрет.

Задание коррекции радиуса фрезы производится вводом в кадр L с трехразрядным числом. Адрес L всегда располагается перед концом кадра.

Назначение строк адреса следующее:

- 2-я строка может принимать только два значения (0 и 8),
- 2-я и 3-я строки - номера переключателя коррекции на пульте ЧПУ.

В случае применения коррекции на радиус подвод инструмента к заготовке должен производиться по нормали к обрабатываемому контуру. Выход на эквидистанту возможен к прямолинейному участку контура и к участку, образованному дугой окружности, а также к внешнему и внутреннему контурам.

Выход на эквидистанту к внешнему контуру (траектория 0-1) показан на рис. 3.6. Признаком выхода к

внешнему контуру является необходимость увеличения абсолютного перемещения 0-1 при увеличении радиуса фрезы. В программе внешний контур задается цифрой 0 в первой строке адреса коррекции L .

В кадре программы задаются следующие величины:
признак линейной интерполяции G01; приращения по координатам с учетом знака;

функция L коррекции эквидистантного контура с указанием признака внешнего контура 0 и номера коррекции на второй и третьей строках адреса.

Величина коррекции с положительным знаком набирается на переключателях коррекции (не более 2,55 мм).

Выход на эквидистанту внутреннего контура показан на рис. 3.7. Признаком подхода к внутреннему контуру является необходимость уменьшения абсолютного перемещения 0-1 при увеличении радиуса фрезы.

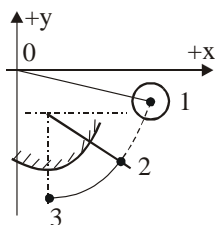


Рис.3.6. Пример подхода к внешнему контуру

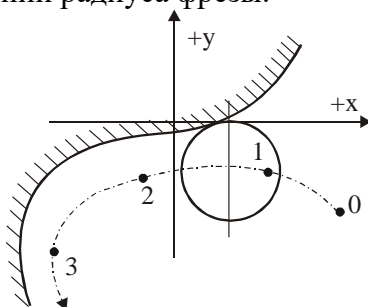


Рис. 3.7. Пример подхода к внутреннему контуру

В программе внутренний контур задается цифрой 8 в первой строке адреса коррекции L . Величина коррекции с положительным знаком задается на переключателях коррекции пульта ЧПУ.

Программирование производится как при подходе к внешнему контуру.

Если радиус фрезы меньше расчетного, величина коррекции задается с отрицательным знаком. В этом случае при задании признака внешнего контура 0 величина перемещения при выходе на эквидистанту уменьшается, а при задании признака внутреннего контура 8 - увеличивается. После окончания обработки для обеспечения возврата в исходную точку необходимо аналогичным образом задать "отход" от эквидистантного контура с одновременным заданием функции G50.

При обработке несопряженных дугами участков контура необходимо производить их программное сопряжение, используя траектории, показанные на рис. 3.8.

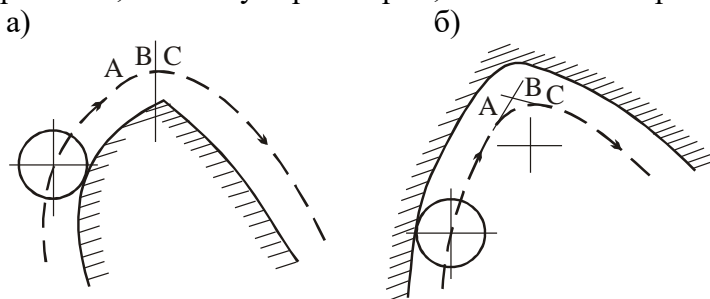


Рис. 3.8. Примеры сопряжения контуров обработки: внешнего, (а); внутреннего (б)

При изменении радиуса фрезы коррекция участка контура, образованного дугой окружности (кроме случая дугой подхода к контуру), задается: цифрой 0, если центр обрабатываемой дуги и траектория лежат с противоположных сторон обрабатываемого контура (рис. 3.9, а), и цифрой 8, если центр дуги и траектория центра фрезы лежат с одной стороны обрабатываемого контура (рис. 3.9, б).

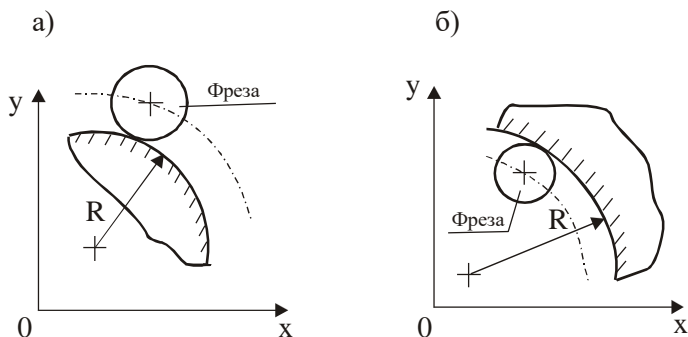


Рис. 3.9. Коррекция дуги окружности: а - внешний контур; б - внутренний контур.

3.4. Кодирование программы

На основании данных РТК, карты координат опорных точек для конкретной системы ЧПУ (в нашем случае НЗ3-ИМ), с учетом приведенных рекомендаций составляем текст управляющей программы (табл. 3.3)

Таблица 3.3

Управляющая программа

Участок	Текст программы	Пояснения
	%	Начало программы
	N 001 G 17#	Выбор плоскости XY
	N 002 F 0624M13#	Пуск шпинделя с включенным охлаждением
	N 003 G 01 F 0660#	Линейная интерполяция
0-1	N 004 X +010000 F 0660#	+X=100мм, 600мм/мин
1-1	N 005 Z -007200 F 0660 L 401#	-Z=72мм, коррекция по оси Z
1-2	N 006 X -003000 F 0550#	Обработка прямых участков
2-3	N 007 X +001000#	
3-4	N 008 Y -0024000#	
4-5	N 009 X -003600Y-003600#	
5-6	N 010X-004400#	
6-7	N 011G02X-006000Y+006000+006000#	Обраб.1/4 окруж. (круговая интерполяция по часовой стрелке)
7-8	N 012X+006000Y+0060001 +006000#	
8-9	N 013G01X+004400#	Линейная интерполяция,

9-10	N 014X+003600Y-003600‡	обработка прямых участков
10-11	N 015015Y-001600‡	
11-11	N 016 G40Z+007200F0660L401‡	Z=72 мм, отмена коррекции по оси Z
11-0	N 017G01X-008000Y-000800 0660‡	Возврат в исходную точку, 600 мм/мин
	N 018F0624M05‡	Стоп шпинделя и выключение охлаждения
	N 019F0624M02‡	Конец программы

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие имеются особенности проектирования операционного технологического процесса для фрезерных станков с ЧПУ?
2. Что определяет расчет траектории инструмента?
3. Сколько существует способов аппроксимации окружностей?
4. Как составляется карта координат опорных точек?
5. Какими функциями задается режим работы устройства?
6. При помощи какого адреса программируется скорость подачи?
7. С помощью каких адресов задаются технологические команды?
8. С какой целью осуществляют коррекцию управляющих программ?

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Токарная обработка на станках с ЧПУ в основном предназначена для изготовления деталей сложной конфигурации с фасонными поверхностями. Эти станки, как фрезерные, управляются контурными системами ЧПУ. Поэтому проектирование технологических процессов токарной и фрезерной обработки на станках с ЧПУ во многом сходно. В дальнейшем в пособии будут рассматриваться лишь вопросы проектирования, характерные для токарной обработки с ЧПУ.

4.1 Базирование детали, выбор исходной точки

При токарной обработке деталей типа тел вращения базирование производится, как правило, в центрах, самоцентрирующем патроне или в цанговом зажиме. Эти устройства автоматически совмещают направление оси заготовки с координатной осью Z . Поэтому для привязки детали к системе координат станка остается лишь определить ее положение на оси Z . Для определения местоположения начала отсчета необходимо иметь в заготовке базовый торец, который с достаточной точностью и постоянством ставил бы заготовку всегда на равном удалении от начала отсчета по оси Z .

При назначении положения исходной точки (нуля детали) должны быть выполнены требования минимизации холостых перемещений, свободной автоматической смены инструмента во время работы, удобства промежуточного контроля. Нуль станка назначается из условия удобства и безопасности при установке и снятии детали.

На рис. 4.1 изображена деталь, технологической базой

которой, помимо обработанной цилиндрической шейки $\varnothing 20$ мм и центрального гнезда со стороны задней бабки, является торец Б. От этой торцевой поверхности на расстоянии $188^{+0.1}$ мм отмечено местоположение по технологии нуля детали. Это расстояние становится определяющим только в том случае, если известно, на каком удалении от нуля станка по оси находится поверхность В кулачков патрона (рис. 4.2).

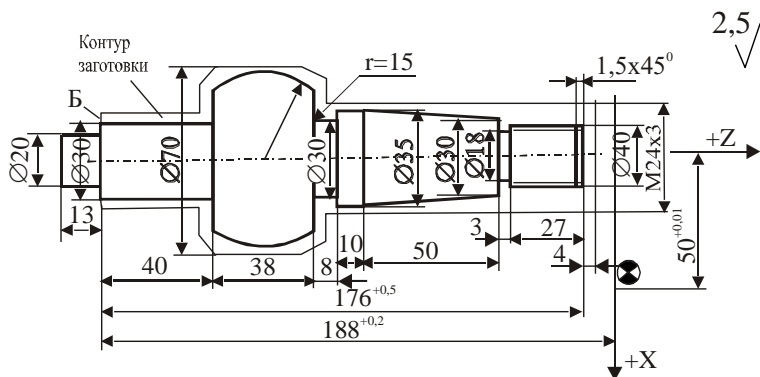


Рис. 4.1. Система координат детали

Обычно это устанавливается косвенным путем, так как в паспортах станков дается расстояние от нуля станка до торцевой поверхности фланца шпинделя.

Зная или измерив ширину патрона от его опорной поверхности до поверхности В кулачков, можно установить величину удаления нуля станка. Для расчета координаты нуля детали в системе координат станка можно использовать выражение:

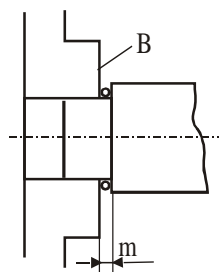


Рис. 4.2. Схема установки детали

$$Z_0 = L - (b + m - l),$$

где L - расстояние от торца фланца шпинделя до нуля станка; b - ширина патрона; m - промежуток для выхода инструмента (рис. 4.2); l - координата базового торца Б в системе координат детали (рис. 4.1).

Чтобы точность выполнения размера детали от базового торца находилась в пределах заданного допуска, нужно на ее базирование использовать не более половины допустимого отклонения.

4.2. Выбор и настройка инструмента

Выбор режущего инструмента (резцов) производится в основном по общим правилам и рекомендациям, как и для универсальных станков.

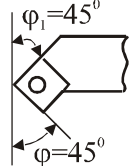

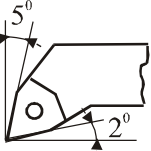


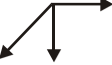
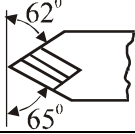

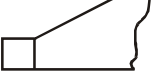

Наиболее распространенные типы резцов и области их применения приведены в табл. 4.1. Несколько повышены требования (в силу автоматического цикла обработки) по стружколоманию, т.е. геометрия режущей части должна обеспечивать стабильное стружколомание.

При токарной обработке возникает еще один вопрос, связанный с инструментом: точное размещение его в системе координат станка. Если на фрезерном станке инструмент (фреза) при установке в шпиндель автоматически размещается в нуле координатной системы станка, то при токарной обработке требуется специальная настройка резца с целью точного позиционирования его в точке, заданной в управляющей программе. На рис. 4.3 показаны положения режущих кромок некоторых резцов, отвечающие нулевым положениям координат.

Для установки резцов в места, отвечающие их выходу в исходные точки, применяются высокоточные приспособления, определяющие положение режущих

кромки относительно плоскостей координат XOY и XOZ . Эти приспособления делаются как для установки вне станка, так и для настройки резцов в резцовых головках прямо на станке.

Таблица 4.1
Типы резцов, применяемых на станках с ЧПУ

Тип резцов	Форма рабочей части	Направление рабочих перемещений
Проходной		
Проходной		
Контурный		
Контурный		
Канавочный (отрезной)		

Требование точной настройки резцов обусловило некоторые изменения в их конструкции. Так, на станках с ЧПУ часто применяются резцы с укороченной державкой или резцы-вставки. И те и другие снабжены регулировочными винтами для настройки по координатам.

Обычные полномерные резцы закрепляются в

специальных резцовых блоках, которые настраиваются на определенный размер. Для установки резцов вне станка применяют приборы модели БВ-2010 и БВ-2011. На приборе модели БВ-2010 (рис. 4.4) инструмент предварительно настраивают в инструментальных блоках по заданным размерам в двух горизонтальных координатах. Положение режущей кромки инструмента по вертикали проверяют индикатором, установленным на отдельной стойке. Настройка производится совмещением изображения режущей кромки инструмента на экране проектора с координатной сеткой.

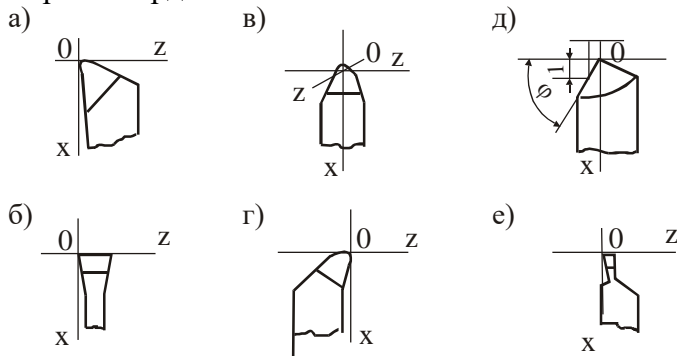


Рис.4.3. Схема положения режущих кромок резцов при нулевых значениях координат

Проектор устанавливают на заданные координаты по стеклянным линейным шкалам с отсчетными микроскопами.

Точность установки инструмента по каждой координате 0,005 мм.

4.3. Проектирование переходов

При проектировании переходов обрабатываемая

область, ограниченная контурами детали и заготовки, разделяется на отдельные зоны, в зависимости от требований к шероховатости и точности поверхностей детали, возможностей режущего инструмента и способа крепления заготовки на станке. Все многообразие зон может быть представлено зонами выборки объемов металла и зонами контурной обработки. Зоны выборки разделяются на закрытые, полукрытые и открытые. Зоны выборки служат для многопроходной обработки при больших съемах металла, а зона контурной обработки - для прохода эквидистантно к участкам контура детали.

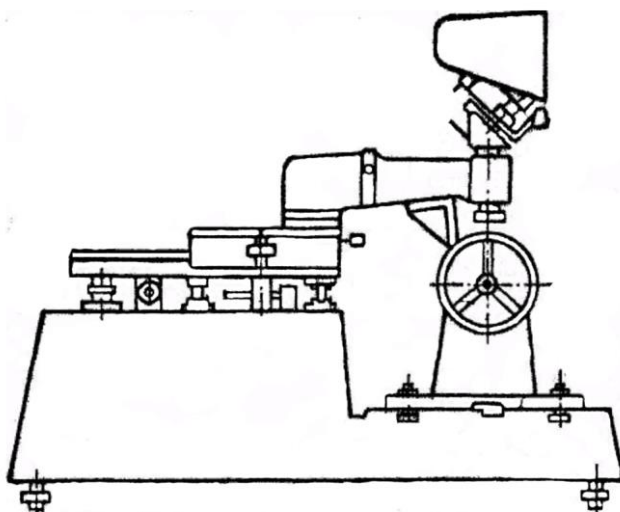


Рис. 4.4. Прибор модели БВ-2010 для размерной настройки режущего инструмента вне станка

При разработке траектории движения инструмента для зон выборки рекомендуется применять типовые схемы движения инструмента типа "петля", "зигзаг", "виток" и "спуск" (рис. 4.5).

Схема "петля" используется при обработке резцами,

которые работают в одном направлении. Схема "зигзаг" в основном применяется при обработке в обоих направлениях глубоких впадин чашечными резцами.

Схема "виток" мало отличается от схемы "зигзаг", но имеет преимущества при обработке неглубоких и относительно пологих впадин чашечными резцами. Схема "спуск" предназначена для работы канавочными резцами.

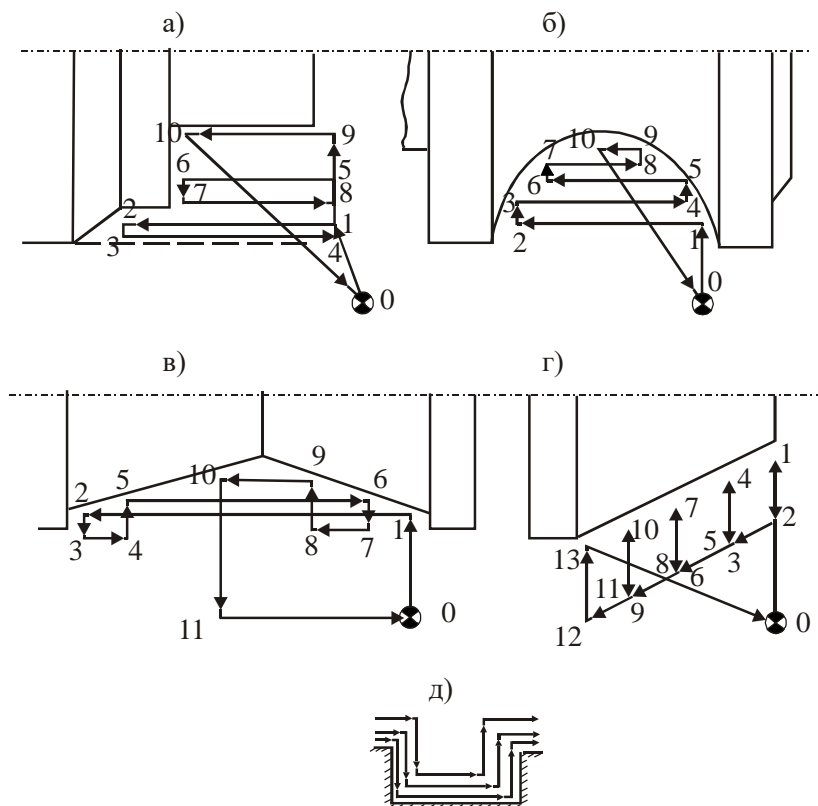


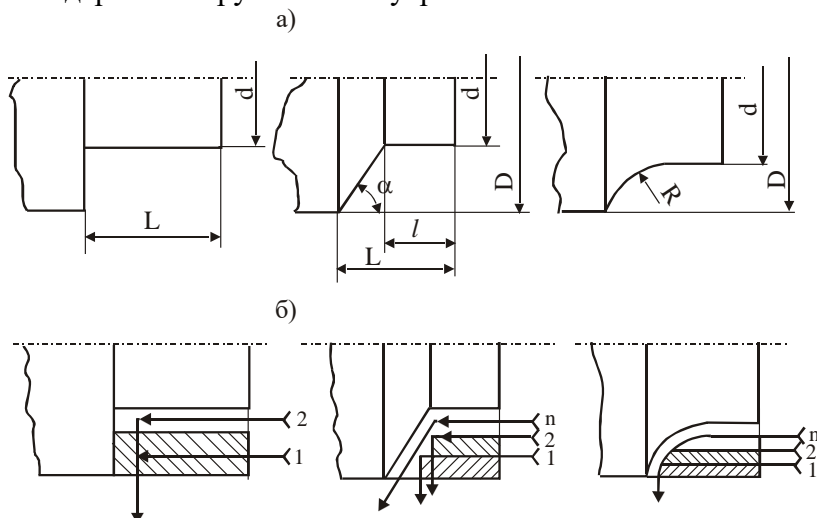
Рис.4.5. Типовые схемы движения инструментов типа "петля" (а); "зигзаг" (б); "виток" (в); "спуск" (г) "контурная" (д).

Зона типа "контурная" имеет три схемы,

различающиеся по назначению: чистовая, получистовая и черновая. Две последние формируются при помощи линий, эквидистантных к основному контуру детали. Основное их назначение состоит в формировании контура детали или при необходимости чистовой обработки в обеспечении равномерного припуска для нее.

Чистовая обработка необходима для поверхностей, шероховатость которых меньше 40 мкм, а также для диаметральных поверхностей, требования к точности которых соответствуют допуску 0,3 мм и меньше.

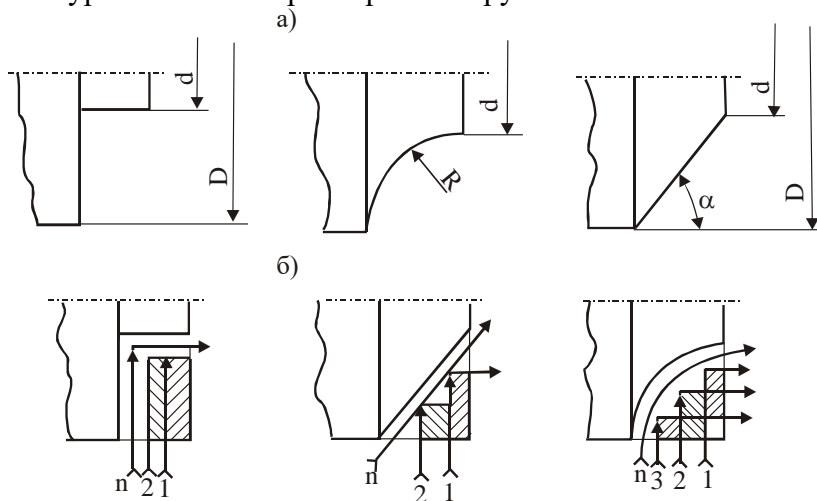
Типовые схемы перемещений проходного и подрезного резцов при обработке основных форм поверхностей приведены на рис. 4.6 и 4.7. Обработку дополнительных поверхностей осуществляют после образования основных поверхностей. К наиболее часто встречающимся дополнительным поверхностям относятся стандартные наружные и внутренние канавки.



*Рис. 4.6. Схемы перемещений проходного резца при обработке основных форм поверхностей:
а- формы обрабатываемых*

поверхностей; б - схемы перемещений резца.

Обработка наружных угловых канавок для выхода шлифовального круга может быть выполнена одним и тем же резцом при движении по разным траекториям (см. табл. 4.2) в зависимости от требуемой геометрии контура канавки и параметров инструмента.



*Рис. 4.7. Схемы перемещений подрезного резца при обработке основных форм поверхностей:
а - формы обрабатываемых поверхностей;
б - схемы перемещений резца*

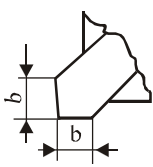
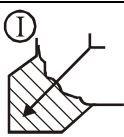
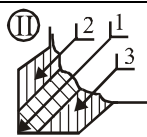
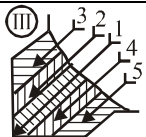




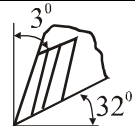
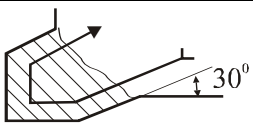
При обработке широких канавок не целесообразно делать более пяти рабочих ходов. Обработку таких канавок нужно производить резцом с более широкой рабочей частью (В). Канавки, у которых угол наклона фаски равен 30° , могут обрабатываться контурным резцом и, в этом случае, относятся к основным поверхностям. Последний вариант более предпочтительный, так как уменьшает количество инструментов, участвующих в обработке.

Зарезьбовые канавки можно обрабатывать различными резцами соответственно по разным траекториям

перемещения. Поэтому, если надо обработать стандартную угловую канавку для выхода шлифовального круга и зарезбовую канавку, то можно ограничиться использованием одного резца - резца для обработки угловых канавок, а нестандартную прямоугольную и зарезбовую канавки можно выполнить одним прорезным резцом. Это позволяет сократить количество применяемых инструментов. При обработке прямоугольных канавок для определения требуемого числа рабочих ходов необходимо знать ширину канавки (b) и ширину резца (B). С целью равномерного износа обеих вершин канавочного резца первый рабочий ход производят вблизи середины канавки. Число последующих рабочих ходов находят из соотношения $(b-B)/(B-0,5)$, где $0,5$ - величина перекрытия резцом срезаемого слоя, равная радиусу вершины резца. Частное от деления округляют до ближайшего большего целого.

Таблица 4.2

Схемы перемещения инструмента при обработке наружных угловых канавок для выхода шлифовального круга

Инструмент	Схемы перемещения при B , мм				
	B , мм	2	3	5	8
	2x2				-
	3x3				
	5x5				
					

Более длинные канавки ($b > 9B$) эффективнее обрабатывать двумя резцами. Обработку ведут сначала контурным резцом, которым при последнем рабочем ходе выполняют чистовое подрезание боковой стороны канавки и протачивают фаски. Затем остаток припуска срезают прорезным резцом, протачивающим в последнем чистовом рабочем ходе фаску и вторую боковую сторону канавки (рис. 4.8). При необходимости прорезной резец зачищает дно канавки.

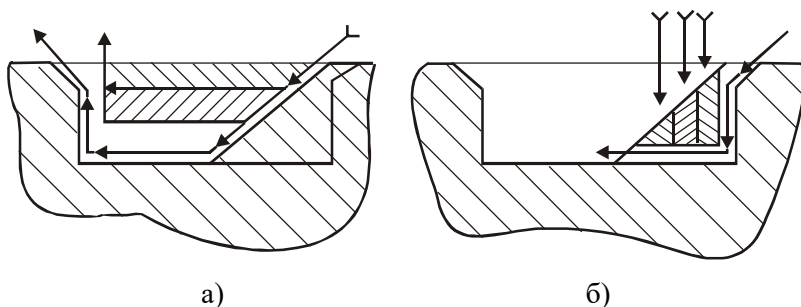


Рис. 4.8. Схемы перемещения инструмента при обработке наружных прямоугольных канавок ($b > 9B$): а - траектория контурного резца; б - траектория прорезного резца

Технологические схемы многопроходной обработки крепежных резьб показаны на рис. 4.9. Их строят исходя из того, что форма резьбового резца соответствует профилю обрабатываемой резьбы. Многопроходная обработка резьб состоит из черновых проходов для выборки резьбовой впадины и чистовых проходов с небольшой глубиной резания или без нее. На схеме (рис. 4.9, а) представлен общий случай радиального смещения резьбового резца на каждом рабочем ходе под некоторым углом α к направлению винтовой поверхности. Частным случаем

этой схемы являются схемы, которые предусматривают заглубливание резца перпендикулярно к направлению винтовой поверхности (рис. 4.9, б) и вдоль одной из сторон профиля резьбы (рис. 4.9, в и г). По схемам, приведенным на рис. 4.9, д и е перемещения резца производятся поочередно вдоль обеих сторон профиля резьбы.

При нарезании резьбы по схемам рис. 4.9, а и б, в резании участвуют одновременно обе режущие кромки резца, стружка имеет корытообразную форму, что повышает ее жесткость и, тем самым, увеличивает нагрузку на резец. Нарезание резьбы по схемам рис. 4.9, в, и г, обеспечивает лучшее стружкообразование, но приводит к неравномерному изнашиванию режущих кромок резца. Схемы на рис. 4.9, д, и в, позволяют наряду с удовлетворительным стружкообразованием достигнуть равномерности изнашивания обеих кромок резца. Резьбонарезание по схеме рис. 4.9, е, предусматривает образование зазора между проходами, исключаящего трение ненагруженной кромки резца, что повышает стойкость инструмента.

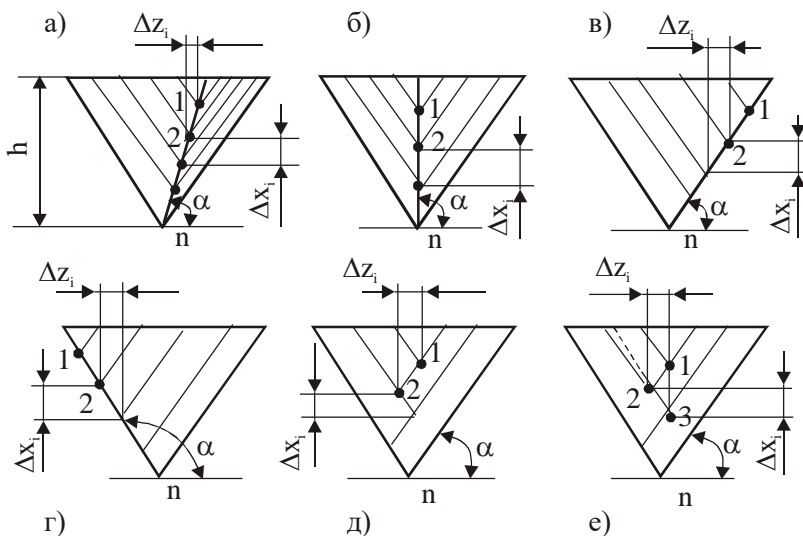


Рис. 4.9. Схемы обработки резьбы

Разделение припуска на черновые проходы при резбонарезании является самостоятельной задачей, решаемой с учетом требований к параметрам режима резбонарезания.

Простейшим решением, наиболее часто применяемым на практике, является выбор одинаковой глубины резания t на всех черновых проходах: $t = h/k$, где h - глубина впадины резьбы; k - число черновых проходов.

Такое равномерное распределение припуска приводит к увеличению сечения стружки на каждом последующем рабочем ходе и, следовательно, к увеличению нагрузки на резец. В этом случае допустимо глубину рабочего хода выбирать из условия прочности резца на последнем черновом проходе, а все предшествующие прохода проводят недогруженным резцом.

Постоянство сечения стружки на каждом i -ом рабочем

ходе достигается разделением припуска по закону геометрической прогрессии:

$$t_i = \frac{h}{\sqrt{k}}(\sqrt{i} - \sqrt{i-1}) \quad (4.1)$$

Нагрузка на единицу длины режущей кромки более равномерна при разделении припуска на проходы по закону арифметической прогрессии:

$$t_i = \frac{2h}{k} \left(1 - \frac{i}{k+1}\right) \quad (4.2)$$

Приращение координаты ΔZ вершины резбового резца на i -ом рабочем ходе для схем на рис. 4.9, а, б, в, г, определяется по формуле $\Delta Z = t_i ctg \alpha$, а для схем на рис. 4.9, д и е, - по формулам $\Delta Z = -t_i ctg \alpha$ (при четных i), $\Delta Z = t_{i-1} ctg \alpha$ (при нечетных i , кроме $i = 1$), $\Delta Z_1 = 0$.

Приращение координаты ΔX для всех схем, кроме схемы на рис. 4.9, е, $\Delta X = -t_i$, а для схемы на рис. 4.9, е, с целью образования зазора ε первое приращение увеличивают на $(k-1)\varepsilon$, а последующие уменьшают на ε : $\Delta X_1 = -t_1 - (k-1)\varepsilon$; $\Delta X_i = t_i + \varepsilon$

4.4. Расчетно-технологическая карта

Расчетно-технологическая карта для токарной обработки проектируется с применением тех же условных обозначений, которые применяются при составлении РТК для фрезерной обработки. Для составления РТК необходимо:

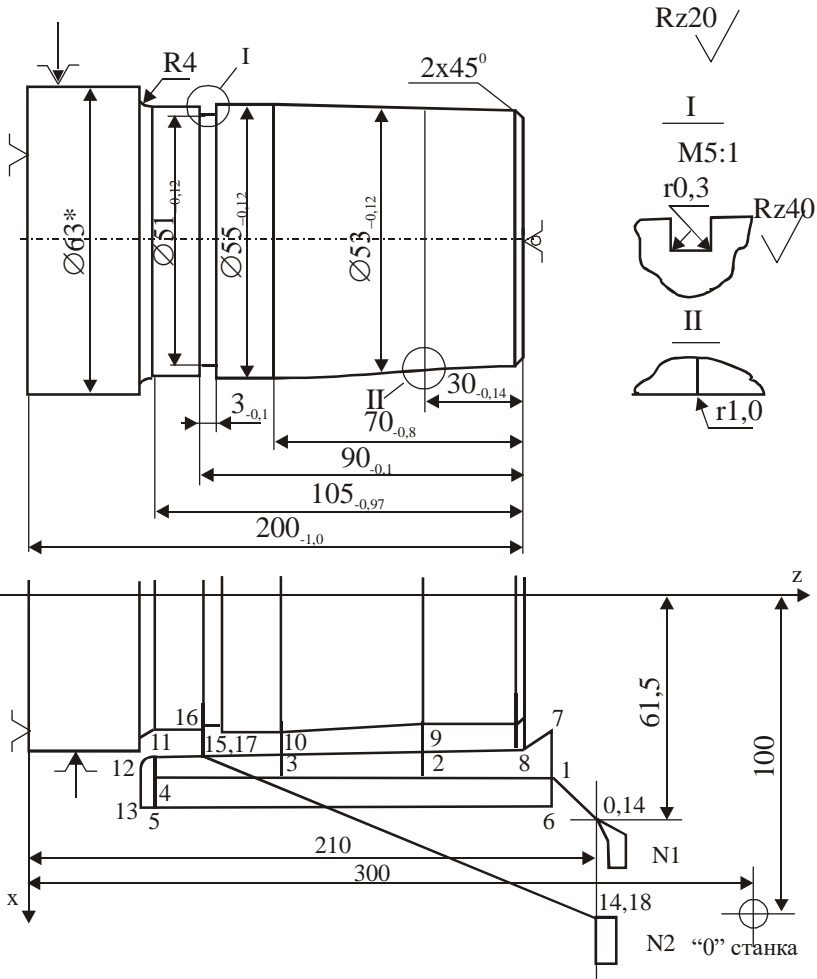
- а) вычертить эскиз детали в системе координат;
- б) выбрать исходную точку инструмента исходя из удобства установки, зажима и контроля детали и безопасности при установке и снятии детали;

- в) выбрать положения центров инструментов;
- г) вычертить расчетную траекторию движения центров инструментов с указанием технологических команд (изменений оборотов шпинделя, смен позиций резцедержателя и т.п.).

Пример оформления РТК для детали (рис. 4.10, а) приведен на рис. 4.10, б.

4.5. Оформление карты координат опорных точек

На основании данных РТК (рис. 4.10, б) определяем координаты опорных точек с учетом основных правил и методов для контурных систем ЧПУ, изложенных в п. 3.1. Рассчитанные значения заносятся в карту координат опорных точек (табл. 4.3). При этом учитывается, что цены импульсов соответственно равны по Z - 0,01 мм, по X - 0,005 мм (для системы ЧПУ H22).



1. Переход 0-1 с коррекцией размеров.
2. Переходы 1-5: $n=560$ об/мин, $S=140$ мм/мин.
3. Переходы 6-13: $n=560$ об/мин, $S=100$ мм/мин.
4. На переходах 1-14 инструмент N1.
5. Переходы 5-17: $n=800$ об/мин, $S=80$ мм/мин.
6. На переходах 14-18 инструмент N2.
7. Переход 6-7 с коррекцией размеров.

Рис. 4.10. Расчетно-технологическая карта

Таблица 4.3

Карта координат опорных точек

Карта опорных точек		Номер программы		Номер чертежа		Изделие		Лист			
№	Индекс	Контур	Координаты конца участка						п,об/мин	S,мм/мин	
			X		ΔX	Z		ΔZ			
			мм	имп.	имп.	мм	имп.	имп.			
1	0-1	Прямая	28,44	5688	-6612	204	20400	-600	560	Ускор.	
2	1-2		28,44	5688	0	170,14	17014	-3386			
3	2-3		29,44	5888	+200	130,2	180,2	-3994		140	
4	3-4		29,44	5888	0	99,77	9977	-3043			
5	4-5		33,44	6688	+800	99,77	9977	0			
6	5-6		33,44	6688	0	204	20400	+10423		100	
7	6-7		21,854	4370	-2317	204	20400	0			
8	7-8		27,44	5488	+1117	198,414	19841	-559			
9	8-9		27,44	5488	0	170,14	17014	-2827			
10	9-10		28,44	5688	+200	130,20	13020	-3994			
11	10-11		28,44	5688	0	99,77	9977	-3043		800	Ускор.
12	11-12	Ок-ружность	31,44	6288	+600	96,77	9677	-300			
13	12-13	Прямая	33,44	6688	+400	96,77	9677	0	80		
14	13-14		61,5	12300	15612	210	21000	+11323			Ускор.
15	14-15		31,5	6300	-6000	110,4	11040	-9960			
16	15-16		25,74	5148	-1152	110,4	11040	0			
17	16-17		31,5	6300	+1152	110,4	11040	0			
18	17-18		61,5	12300	+6000	210	21000	+9960			Ускор.
				$\Sigma=0$			$\Sigma=0$				

4.6. Особенности программирования токарной обработки

Особенности программирования рассмотрим на примере подготовки программ для станка модели 16K20Ф3 с устройством ЧПУ H22.

Кодирование информации производится в соответствии с рекомендациями ISO.

Система позволяет работать в приращениях и в

абсолютной системе координат. При работе в приращениях - (G26) после адресов X Z набивается числовая информация, соответствующая приращениям по осям ΔX и ΔZ . Информации присваивается знак в зависимости от того, с каким направлением координатных осей станка совпадает направление движения при обработке.

При работе в абсолютной системе координат (G27) после адресов X и Z набивается числовая информация, соответствующая координатам конечной точки в кадре относительно выбранной системы координат. Началом отсчета (координат) может быть нулевая точка станка или обрабатываемой детали, принятая за начало координат. Знаки координат конечной точки зависят от квадранта, в котором она находится.

Основные управляющие команды для устройства ЧПУ H22 такие же, как и для устройства H33-IM, но имеется ряд дополнительных команд.

4.6.1. Задание режимов работы устройства

G04 -рассчитанный по времени перерыв;

G25 - возврат в "0" станка;

G26 -работа в приращениях;

G27 - работа в абсолютной системе координат;

G33 - режим резьбонарезания.

4.6.2. Задание скорости подачи

Скорость подачи в программе задается по адресу F пятью десятичными цифрами. Величина подачи задается в мм/мин. Введенная величина подачи сохраняется на все время отработки до прихода новой величины подачи.

В первом разряде после адреса задаются признаки состояния генератора:

1 - разгон (первый диапазон рабочих подач от 1 до 1200 мм/мин);

2 - торможение (второй диапазон рабочих подач от 0,05 до 120 мм/мин);

7 - признак быстрого хода с разгоном-торможением в одном кадре (4800 мм/мин - по Z или 2400 мм/мин по X).

При задании режима быстрого хода перемещение допускается только по одной из координат.

4.6.3. Задание технологических команд

В устройстве предусмотрено три адреса технологических команд: S, T и M. После адресов следует трехразрядное десятичное число. Старший разряд принимает значения "0" или "1".

При наличии "0" выполнение технологических команд начинается вместе с обработкой геометрической информации, при наличии "1" обработка следующего кадра начинается только после ответа станка о выполнении команды. Два младших разряда являются номерами команды от 00 до 99.

Адрес S - скорость вращения шпинделя, определяется по паспорту станка.

Адрес T - номер инструмента, берется из технологической карты обработки.

По адресу M задаются следующие вспомогательные команды:

M000 - запрограммированный стоп;

M006 - команда на замену инструмента;

M008 - включение охлаждения жидкостью;

M009 - выключение охлаждения;

M010 - зажим инструмента;
M032...M035- постоянная скорость резания;
M036 - диапазон подач №1
M037 - диапазон подач №2
M038 - диапазон скорости №1
M039 - диапазон скорости №2

4.6.4. Коррекция управляющих программ

4.6.4.1. Коррекция нулевой точки

Смещение нулевой точки - начала отсчета осуществляется по функции G58. Режим СМЕЩЕНИЕ "0" возможен только в абсолютной системе (G27). Функция G58 программируется либо отдельным кадром без геометрической информации, либо вместе с геометрической информацией. Смещение "0" нельзя задавать в одном кадре с коррекцией (L), так как G58 представляет собой один из видов коррекции - коррекцию нулевой точки. Величина и знак смещения по каждой из координат набираются на декадных переключателях СМЕЩЕНИЕ OX и СМЕЩЕНИЕ OZ на пульте оператора. По функции G58 смещение переписывается в соответствующие накопители. Обрабатывается смещение только в кадре с соответствующими адресами X и Z. При этом величины смещения вычитываются из числовой информации, запрограммированной по адресам X и Z и полученная разность обрабатывается. Чтобы обработать только смещение «0», набранное на переключателях, необходимо в программе задать X+000000, Z+000000. Смещение «0» обрабатывается с обратным знаком.

Максимальное смещение по оси $Z \pm 9999,99$ мм и по оси $X \pm 49999,99$ мм.

4.6.4.2. Коррекция инструмента

Коррекция инструмента позволяет компенсировать износ инструмента и разницу между теоретической установкой инструмента, принятой программистом, и действительной.

Необходимым условием для введения коррекции является режим линейной интерполяции (G01).

Величины коррекции инструмента набираются на декадных переключателях пульта оператора перед началом работы (переключатели разбиты на 2 группы до 9 номеров в каждой).

Величина коррекции может меняться в пределах ± 9999 дискрет.

В устройстве возможен ввод коррекции по одной из осей или по двум (парная коррекция).

В младшем разряде адреса L указывается номер корректора (1...9), в старшем - тип коррекции (1; 2 или 3).
Обозначение типа коррекции:

- 1-одиночная коррекция первой группы (по оси X);
- 2- одиночная коррекция второй группы (по оси Z);
- 3- парная коррекция (по осям X и Z).

Коррекция на переключателях набирается в виде количества дискрет (для оси Z по 0,01 мм, для оси X по 0,005 мм).

Величины, набранные на переключателях, алгебраически складываются с величинами приращений (или абсолютными значениями) координат, введенными в этом кадре.

4.6.5. Кодирование программы

На основании данных РТК, карты координат опорных

точек для конкретной системы ЧПУ (в нашем случае H22), с учетом приведенных рекомендаций составляют текст управляющей программы (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Текст управляющей программы

%	
N 001 G27S028T101M1004‡	Работа в абсолютной системе, n=560 об/мин, инстр.№1, включение шпинделя
N 002 G58‡	Смещение "0"
N 003 X+000000 +000000‡	Отработка смещения "0"
N 001 G26‡	Работа в приращениях
N 002 G01F10500Z-00600‡	Быстрый ход, подвод в зону отработки
N 003 F70000X-06612‡	
N 004 F10140Z-03386‡	
N 005 X+00200Z-03994‡	
N 006 Z-03043‡	
N 007 X+00800‡	Рабочая подача, 140 мм/мин; отработка прямых
N 008 F70000Z+10423‡	Быстрый ход, подвод на 2-й проход
N 009 F10100X-02317L31‡	Ввод коррекции, корректор №1, рабочий подвод, 100 мм/мин; обработка прямых
N 010 X+01117Z-00558‡	
N 011 Z-02827‡	Отработка прямых
N 012 X+00200Z-03994‡	
N 013 Z-03043‡	
N 014 G03i+00600 X+00600Z-00300‡	
N 015 G01X+00400‡	Круговая интерполяция против часовой стрелки
N 016 G40L31‡	Линейная интерполяция
N 017 F70000X+05612‡	Отмена коррекции
N 018 F70000Z+11323‡	Быстрый ход, подвод в исходное положение
N 019 S029T102‡	То же
N 020 G01F70000Z-09960‡	Инструмент №2, n=800об/мин
N 021 F70000X-06000‡	Линейная интерполяция, быстрый ход, подвод в зону обработки
N 022 F10080X-01152‡	Быстрый ход, подвод в зону обработки
N 023 X+01152‡	Рабочий ход, обработка канавки
N 024 F70000X+06000‡	Отвод инструмента
N 025 F70000Z+09960‡	Быстрый ход, отвод в исходное положение
N 026 G25X+999999‡	То же
N 027 M005‡	Быстрый ход, отвод в "0" станка по X
N 028 G25Z+999999‡	Выключение шпинделя
N 029 M002‡	Быстрый ход, отвод в "0" станка по Z
	Конец программы

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие имеются проектирования, характерные для токарной обработки с ЧПУ?
2. Какие ставятся требования для назначения положения исходной точки?
3. Когда рекомендуется применять типовые схемы движения инструмента типа «петля», «зигзаг», «виток» и «спуск»?
4. Каковы особенности программирования токарной обработки?
5. Как задается задание скорости подачи?
6. С помощью каких адресов задаются технологические команды?
7. Как осуществляется коррекция нулевой точки?
8. С какой целью осуществляют коррекцию инструмента?

5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С СИСТЕМАМИ ЧПУ "ЭЛЕКТРОНИКА НЦ-31"

Устройство "Электроника НЦ-31" предназначено для оперативного управления токарным станком [15]. Устройство обеспечивает ввод и редактирование управляющей программы с помощью клавиатуры пульта, а также возможность передачи программ в кассету внешней памяти.

Особенностью программирования в этом устройстве является то, что каждый кадр УП состоит максимум из трех частей: номера кадра, буквенного адреса с числом и при необходимости дополнительных признаков.

К дополнительным признакам относятся:

- признак относительной системы отсчета;
- признак быстрого хода;
- признак обработки фаски $\pm 45^0$;
- признак вхождения кадра в группу.

5.1. Задание номера кадра

Номер кадра программируется адресом N и может принимать значения от 0 до 999. При наборе УП нумерация кадров осуществляется системой ЧПУ автоматически. Программа может начинаться с любого номера кадра.

5.2. Задание системы отсчета координат

Отсчет координат возможен в абсолютной системе (в устройстве ЧПУ этот режим предусмотрен по умолчанию)

и в относительной. В последнем случае в кадре УП должен стоять дополнительный признак $\frac{mm}{min}$.

5.3 Задание номера инструмента и режимов резания

Номер инструмента программируется под адресом T. По команде T производится вызов инструмента в рабочую позицию и автоматический пересчет координат его вершины в соответствии с вылетом данного инструмента, определенного в режиме "Размерная привязка инструмента".

Программирование рабочей подачи осуществляется адресом F. В данном устройстве ЧПУ задается контурная минутная подача или подача на оборот детали. Под контурной подачей следует понимать скорость перемещения инструмента, направленную по касательной к запрограммированной траектории перемещения. Для задания подачи в мм/мин предварительно должна быть задана подготовленная функция G94, устанавливающая режим минутной подачи. Функция G95 устанавливает режим задания подачи на оборот (мм/об).

В тех случаях, когда работают только в одном из режимов задания подачи, можно необходимый режим задать в параметры станка и использовать его в программе "по умолчанию". Дискретность задания подачи зависит от того, в каком месте управляющей программы задан адрес F. При задании подачи в отдельном кадре дискретность задания F равна 0,01 мм/об. При задании подачи в группе кадров дискретность ее задания составляет 0,0001 мм/об.

Требуемая величина оборотов шпинделя программируется в устройстве под адресом "S".

Программирование скорости главного движения "S" зависит от конструкции станка и привода главного движения.

Для станков, имеющих ступенчатое регулирование привода главного движения, число оборотов под адресом "S" задается двухзначным кодом. Каждому коду соответствует определенное число оборотов шпинделя в минуту.

Для станков с регулируемым приводом главного движения возможны два режима программирования: режим задания частоты вращения шпинделя и режим задания постоянной скорости резания. В первом случае должна быть задана подготовительная функция G97, во втором - G96.

В режиме прямого задания частоты вращения шпинделя (G 97) под адресом "S" записывается значение частоты вращения в об/мин.

В режиме задания постоянной скорости резания (G96) под адресом "S" записывается значение скорости резания в м/мин. Кроме этого, при задании функции G96 должны быть указаны параметры: P_1 - ограничение максимального числа оборотов шпинделя в об/мин и P_2 - ограничение минимального числа оборотов шпинделя в об/мин. Значения P_1 и P_2 сохраняются в памяти до повторного программирования функции G96 с новыми значениями P_1 и P_2 .

Пример: N50...

N51 G96* - режим постоянства скорости резания,

N52 P950*- максимальное число оборотов шпинделя
950 об/мин,

N53 P200.- минимальное число оборотов шпинделя
200 об/мин ,

N53 S90 - скорость резания 90 м/мин.

Режим G97 устанавливается автоматически при включении устройства.

Включение и выключение вращения шпинделя программируется функциями:

M3 - включение вращения по часовой стрелке;

M4 - включение вращения против часовой стрелки;

M5 - выключение вращения шпинделя.

5.4. Программирование перемещений инструмента

5.4.1. Программирование ускоренных перемещений

Задание перемещений вдоль осей координат представляется командами с буквенными адресами X и Z. После адреса записывается шестиразрядное число со знаком + или -, указывающее координату конечной точки программируемого участка траектории или приращение соответствующей координаты, если принята относительная система отсчета. В последнем случае после числа указывается дополнительный признак $\text{G}^{\text{***}}$.

Незначащие нули и знак "+" могут опускаться. Необходимо учитывать, что значение X задается не на радиус, а на диаметр детали.

Если перемещение инструмента на программируемом участке траектории должно происходить с ускоренной подачей, то в кадре указывается дополнительный признак $\text{G}^{\text{***}}$.

Например

N100 X3000 $\text{G}^{\text{***}}$ - перемещение по оси X на быстром ходу в точку с координатой 15 мм,

N101Z-15000 $\text{G}^{\text{***}}$ - перемещение по оси Z на быстром ходу в точку с координатой 150 мм,

N102 Z2000 $\text{G}^{\text{***}}$ $\text{G}^{\text{***}}$ - перемещение на быстром ходу по оси Z на 20 мм.

Ускоренное перемещение инструмента одновременно по двум осям задается группой кадров.

Например: N103 X1000~*~

N104 1500~

5.4.2. Программирование перемещений на рабочей подаче

В кадрах, предшествующих перемещению на рабочей подаче, должно быть указано ее значение.

Например:

N30...

N31 F20 - подача 0,2 мм/об,

32 X6400 - перемещение по оси X на рабочей подаче в точку с координатой X=32мм,

N33 Z50000 - перемещение по оси Z на рабочей подаче в точку с координатой 500 мм.

Одновременное перемещение по двум координатам на рабочей подаче задается группой кадров.

Например:

N60 X 1000 $\overset{***}{\sim}$ * - перемещение (при включенной относительной системе отсчета)

N61 Z1500 $\overset{***}{\sim}$ - по осям X и Z.

5.4.3. Программирование обработки фасок

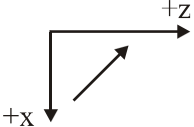
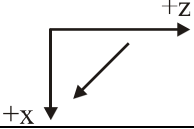
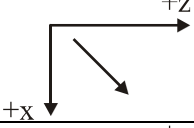
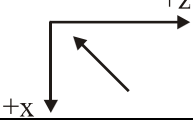
Частным случаем перемещения по двум осям является обработка фасок под углом 45°.

Задание на обработку фаски под углом 45° представляется командой с буквенным адресом X или Z, числовым значением этого адреса и признаком +45° или „-45°”. Знак у признака „45°” должен соответствовать знаку направления движения по координате, адрес которой отсутствует в кадре обработки фаски.

Возможные варианты выбора признака фаски приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Варианты выбора признака фаски

Направление движения реза	Задание признака фаски	
	задано X	задано Z
	+45°	-45°
	-45°	+45°
	+45°	+45°
	+45°	-45°

На рис. 5.1 приведен эскиз детали, для которой фрагмент управляющей программы запишется в следующем виде.

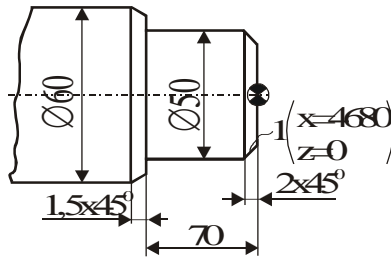


Рис. 5.1. Эскиз детали для программирования фасок

Резец подведен в режиме быстрого подвода или рабочей подачи к точке 1 (начало фаски) с координатами

X=4600 (диаметр), Z=0. Фаску можно задать в абсолютной системе:

N10 X5000-45°.

Фаску можно задать и программируя перемещение по оси Z:

N10 Z-200+ 45°.

Затем идет проточка диаметра ф50 вдоль оси Z до координаты Z -7000:

N11 Z -7000.

Проточка торца до диаметра Ф57 (начало фаски):

N12 X5700.

Следующую фаску 1,5x45° для примера зададим в относительной системе отсчета:

N13 X300- 45° $\overleftarrow{\text{***}}$ или

N13 Z150+ 45° $\overleftarrow{\text{***}}$.

5.4.4. Программирование круговой интерполяции

Для программирования обработки криволинейных поверхностей, у которых образующий контур представляет собой дугу с произвольным углом, необходимо использовать функции G2 и G3.

G2 обеспечивает движение по окружности по часовой стрелке.

G3 обеспечивает движение по окружности против часовой стрелки.

В данном устройстве ЧПУ с помощью этих функций можно запрограммировать движение инструмента внутри одного квадранта, т.е. дуги окружности с углом не более 90°. Для программирования дуги окружности применяется группа из пяти кадров. В первом кадре задается подготовительная функция G2 (если движение осуществляется по часовой стрелке) или G3 (если

движение против часовой стрелки), в двух последующих кадрах задаются адреса X и Z, еще два кадра - с адресом P.

Кадры с адресами X и Z определяют перемещение из начальной точки дуги в ее конечную точку соответственно по оси X или Z. Они задаются, как обычно, с учетом той или иной системы отсчета. Кадры с адресами P определяют координаты центра программируемой дуги относительно начальной точки движения по ней.

P_1 - определяет расстояние от центра дуги до начала окружности вдоль координаты X (задается на радиус).

P_2 - определяет расстояние от центра дуги до начала окружности вдоль координаты Z.

Независимо от задания системы отсчета под адресами P_1 и P_2 всегда задаются относительные координаты.

На рис. 5.2 показан эскиз детали, для обработки которой составим фрагмент управляющей программы.

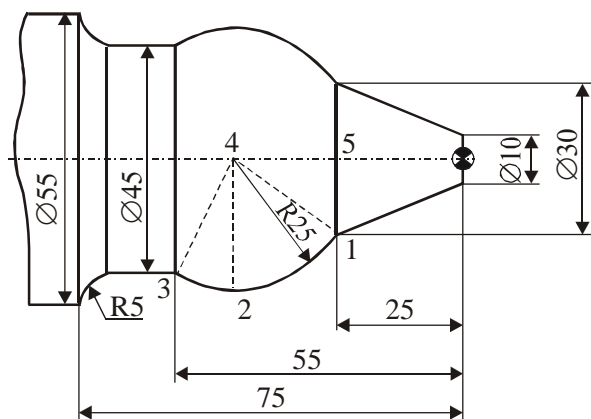


Рис. 5.2. Эскиз детали для примера программирования круговой интерполяции

Участок окружности 1-3 располагается в разных

квадрантах системы координат, проведенной из центра этой окружности, поэтому он должен быть разбит на два отдельно программируемых участка: 1-2 и 2-3. Для первого участка координаты начальной и конечной точек окружности определяются по чертежу. Они соответственно равны: $X_1 = 30$ мм (на диаметр), $Z_1 = -25$ мм; $X_2 = 50$ мм (на диаметр), $Z_2 = 45$ мм. Координаты центра окружности относительно точки 1 определяются из треугольника 1-3-4. Они соответственно равны: $P_1 = 15$ мм, $P_2 = 20$ мм.

Для второго участка окружности начальной точкой является точка 2, конечной - точка 3. Координаты точки 3: $X_3 = 45$ мм (на диаметр), $Z_3 = 55$ мм. Координаты центра окружности относительно точки 2 соответственно равны: $P_1 = 25$ мм, $P_2 = 0$.

На основании этих данных программа обработки участков детали будет иметь вид

N50 XX1000	N54 X 5000*	N58 G2*	N62 P0
N51 X3000*	N55 Z-4500*	N59 X4500*	N63...
N52 Z-2500	N56 P1500 ^x	N60 Z-5500*	
N53 G2*	N57 P2000	N61 P2500*	

5.4.5. Программирование обработки галтелей и скруглений

В системе "Электроника НЦ-31" предусмотрено упрощенное задание обработки дуг окружностей с углом 90° . Они программируются группой из трех кадров.

В первом кадре задается подготовительная функция G12 (если движение производится по часовой стрелке) или G13 (если движение производится против часовой стрелки). В остальных двух кадрах задаются адреса X и Z с

соответствующими числовыми значениями. Эти адреса задают перемещения из начальной точки дуги в ее конечную точку соответственно по оси X или Z.

Эти перемещения могут задаваться как в относительной, так и в абсолютной системах отсчета.

Например, галтель радиусом 5 мм (см.рис. 5.2) программируется следующим образом:

N64 G13*

N65 X5500*

N66 Z-7500

5.5. Технологические циклы

Для удобства программирования, сокращения УП и времени ее подготовки применяются постоянные циклы.

5.5.1. Группа циклов многопроходной обработки

Упрощенное задание многопроходной обработки в виде цикла обработки предусматривается по функциям:

G77 - цикл продольного точения припуска (параллельно оси Z);

G78 - цикл поперечного снятия припуска (параллельно оси X).

Схема работы цикла G77 приведена на рис. 5.3.

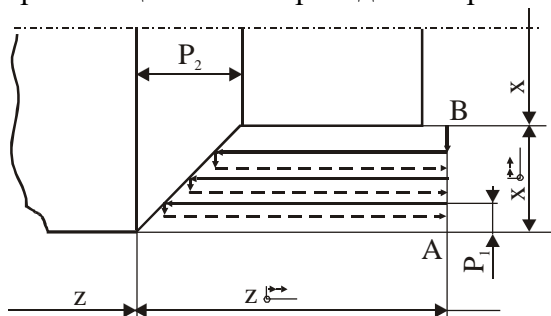


Рис.5.3. Схема многопроходного продольного цикла обработки

Многопроходные циклы могут быть описаны группой из пяти кадров. Группа кадров содержит следующие команды:

$$\sim G77 * X \dots (\text{или } X \overset{***}{\leftarrow}) * Z \dots (\text{или } Z \overset{***}{\leftarrow}) * F * \dots P_1^* P_2 \dots,$$

где \sim - признак, указывающий, что установка резца на глубину резания будет происходить на ускоренном ходу. Если признак \sim опущен, то установка резца на глубину резания будет осуществляться на рабочей подаче;

$X \dots (X \overset{***}{\leftarrow})$ - конечный диаметр детали или общая величина припуска по X ;

$Z \dots (Z \overset{***}{\leftarrow})$ - координата конечной точки прохода или длина прохода по оси Z ;

F - контурная рабочая подача на черновых рабочих ходах (ее значение действует только в цикле). Дискретность задания подачи 0,0001 мм/об. При опускании параметра F принимается значение подачи, определенное ранее в кадрах УП;

P_1 - припуск, снимаемый за один рабочий ход (задается на диаметр);

P_2 - величина скоса по оси.

Признак $\overset{***}{\leftarrow}$ в первом кадре группы указывает на необходимость возврата на контур в направлении раскрыя припуска (точка В). Если признак $\overset{***}{\leftarrow}$ опущен, то по окончании цикла инструмент возвращается в исходную точку цикла (точка А). В циклах $G77$ и $G78$ может быть реализовано стружкодробление за счет периодических отводов инструмента на быстром ходу в направлении, противоположном подаче. Параметры стружкодробления определяются оперативными параметрами станка.

Цикл $G78$ аналогичен циклу $G77$ и отличается от него

тем, что снятие припуска происходит в поперечном направлении.

5.5.2. Группа однопроходных циклов

Упрощенное задание однопроходной обработки осуществляется функциями:

G70 - однопроходный продольный цикл;

G71 - однопроходный поперечный цикл.

Цикл G70 работает по схеме, приведенной на рис. 5.4.

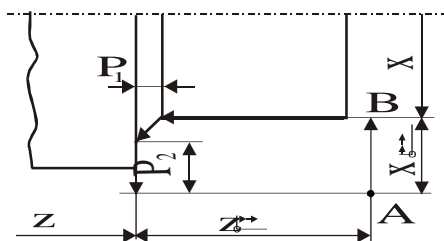


Рис. 5.4. Схема однопроходного продольного цикла обработки

Цикл осуществляет чистовую обработку цилиндрических и конических ступеней с подторцовкой.

Однопроходные циклы могут быть описаны группой кадров, содержащих следующие команды:

$$\sim G70(G71)*X...(X_{\text{start}})^*Z...(Z_{\text{end}})*F*... P_1 * P_2 \dots,$$

Значение параметров понятно из рис. 5. 4.

Параметры P_1 и P_2 могут при необходимости опускаться. Задание в цикле подачи (F) аналогично заданию в циклах многопроходной обработки (G77, G78).

Цикл G71 аналогичен циклу G70 и отличается от него тем, что снятие припуска происходит в поперечном направлении.10

5.5.3. Группа циклов нарезания резьбы

Группа циклов резьбонарезания включает работу по функциям:

G31 - многопроходный цикл с автоматическим распределением припусков по проходам,

G32 - функция нарезания резьбы, которая позволяет программировать отдельные проходы резьбонарезания и, таким образом, формировать проходы по технологическим требованиям, если они не соответствуют функции G31,

G33 - функция нарезания резьбы плашкой или метчиком.

Наиболее сложным из этих циклов является цикл G31. Схема перемещений инструмента при выполнении цикла G31 показана на рис. 5.5 и 5.6.

Цикл позволяет нарезать метрическую резьбу на цилиндрических и конических поверхностях.

Цикл описывается группой из семи кадров, содержащих следующие команды:

G31*X...(X^{mm})*Z...(Z^{mm})*F*...P₁*P₂*...P₃...,

где: X - наружный диаметр резьбы;

X^{mm} - расстояние между исходной точкой и наружным диаметром резьбы;

Z - координата конической точки резьбы;

Z^{mm} - длина резьбы;

F - шаг резьбы, дискретность задания 0,0001 мм.

Диапазон нарезаемого шага резьбы 0,0001...99,99 мм;

P₁ - глубина резьбы (положительная, задается на радиус, в приращениях);

P₂ - максимальная глубина резания на одном проходе (положительная, задается на радиус, в приращениях);

P₃ - конусность резьбы (перепад диаметров); величина положительная, задается на диаметр, в приращениях.

Нарезание резьбы по циклу G31 может выполняться по схеме резания, обеспечивающей смещение резца на каждом рабочем ходе вдоль продольной оси. Для этого процесс врезания осуществляется под углом δ (см.рис. 5.5), значение которого определяется оперативным параметром станка. Если этот параметр задан равным нулю, нарезание резьбы осуществляется без смещения резца на каждом рабочем ходе. Для обеспечения сбега в конце резьбы оперативным параметром станка задается величина модуля катета сбега r (см.рис. 5.5). Его значение равно $0,1F...3,1F$.

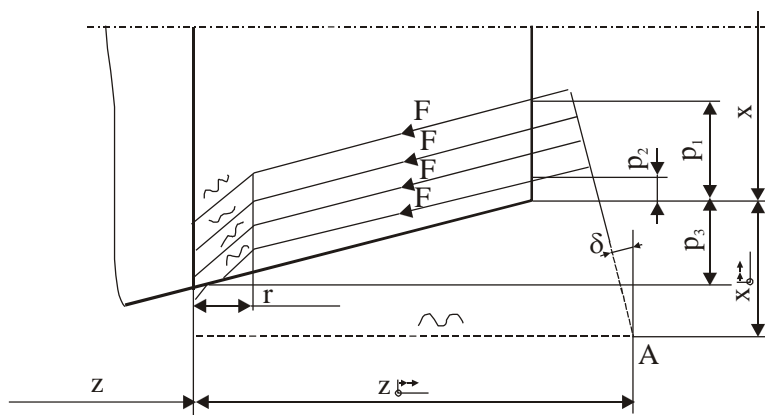


Рис. 5.5. Схема перемещений инструмента при нарезании конической резьбы в цикле G31 (со сбегом и смещением резца на каждом проходе)

Если в группе кадров описания цикла G31 опущен параметр F , то система автоматически принимает шаг резьбы, равный подаче, заданной в кадрах, предшествующих циклу G31.

содержащих следующие команды:

$\sim G75*X...(X_{\text{***}})*Z...(Z_{\text{***}})*P*...F....,$

где: \sim - признак, определяющий режим движения по оси Z; если признак \sim задан, то движение по оси Z осуществляется на быстром ходу, если нет, то на рабочей подаче;

$X(X_{\text{***}})$ - координата по оси X дна канавки или смещение по оси X от исходной точки цикла (точка А, рис. 5.7) до дна канавки;

$Z(Z_{\text{***}})$ - координата по оси Z точки позиционирования последнего рабочего хода (точка В, рис. 5.7);

F - контурная рабочая подача, действует только в цикле. При опускании адреса F в цикле будет действовать модульное значение подачи, определенное ранее в кадрах УП;

P - шаг рабочих ходов. Величина P не должна превышать Z.

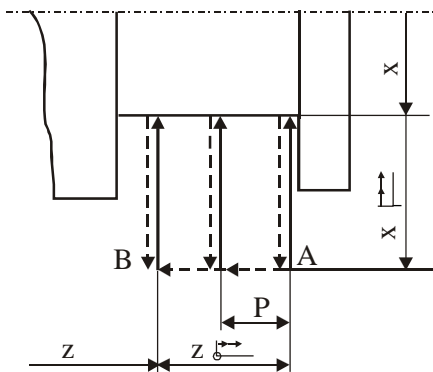


Рис. 5.7. Схема перемещений инструмента при прорезании канавок по циклу G75

5.6. Смещение нуля детали и коррекция инструмента

В режиме "размерной привязки инструмента" наладчиком устанавливается связь между нулевой точкой детали и фактическим положением режущих кромок инструмента. Программирование перемещений инструмента в УП осуществляется относительно нуля детали.

Ряд деталей имеют несколько конструкторских баз и размеры на детали задаются от нескольких поверхностей (рис. 5.8). При разработке УП для таких деталей, меняя положение нуля детали, можно задавать координаты без дополнительного пересчета чертежных размеров. Такую возможность обеспечивает подготовительная функция G92. Команда G92 описывается группой из трех кадров:

$$G92 * X \dots (X_{\text{факт}}) * Z \dots (Z_{\text{факт}}),$$

где X и Z - координаты фактического положения инструмента в данный момент относительно нового положения нуля детали;

$X_{\text{факт}}$ и $Z_{\text{факт}}$ - смещение нового нуля детали относительно первоначального.

Допускается в этих кадрах опускать адрес X или Z, а также применять для каждой оси любой вид системы отсчета.

Функция G92 действует только на тот инструмент, при работе которого она была применена.

На рис. 5.8 приведен эскиз детали, для которой целесообразно менять положение нуля детали. Начальное положение нуля детали принято на правом торце. Фрагмент управляющей программы без учета

технологических команд для обработки этой детали имеет вид:

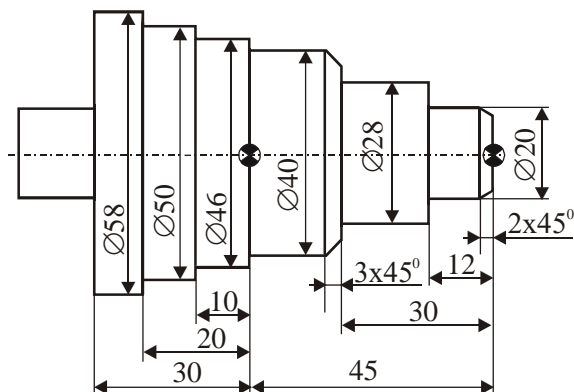


Рис.5.8. Эскиз детали с несколькими конструкторскими базами

N10 Z0	N14 Z-3000	N18 G92*	N22 X5000
N11 X2000-45°	N15 X3400	N19 Z0	N23 Z-2000
N12 Z-1200	N16 X4000-45°	N20 X4600	N24 X5800
N13 X2800	N17 Z-4500	N21 Z-1000	N25 Z-3000

5.7. Повтор части управляющей программы

Для удобства программирования, сокращения управляющих программ есть возможность обращаться к какой-либо части УП из различных ее мест по функции G25. Такое обращение осуществляется группой из трех кадров, содержащих следующие команды:

$$G25* P_1* \dots P_2 \dots,$$

где под адресом P_1 записывается шестиразрядное число, три старших разряда которого определяют номер начального кадра части УП, а три младших разряда - номер

конечного кадра части УП, к которой идет обращение по функции G25. Под адресом P_2 записывается количество повторений части УП. Максимальное число повторений не более 32767. Если адрес P_2 опущен, то часть УП будет отрабатываться один раз. Внутри части УП, вызванной по команде G25, может также находиться команда G25. Такая процедура называется вложением. Число таких вложений не должно превышать семи.

5.8. Параметрическое программирование и команды модификации управляющей программы

В системе "Электроника НЦ-31", начиная с третьей версии программного обеспечения, предусмотрены дополнительные возможности для программирования, позволяющие существенно повысить эффективность использования оборудования с ЧПУ. К ним относятся;

- передача данных между программой и подпрограммой, составленных технологом, через формальные параметры (параметрическое программирование);

- организация вычислений в ходе отработки управляющей программы и осуществление переходов к нужному участку программы при выполнении определенных условий (команда модификации, условные и безусловные переходы).

Составив подпрограммы с использованием указанных возможностей, можно решать, например, следующие задачи:

- 1) автоматически разбивать припуск на проходы по требуемому алгоритму без предварительных расчетов;
- 2) автоматически выбрать скорость подачи и частоту

вращения шпинделя в зависимости от глубины резания и условий обработки;

3) контролировать ресурс стойкости инструмента и автоматически изменять коррекцию на его вылет или выдавать сигнал наладчику о необходимости замены инструмента;

4) пересчитывать коррекции на вылет инструмента, если в одной инструментальной позиции находится более одного инструмента (это позволяет обрабатывать сложные детали с одного установка большим набором инструментов);

5) организовывать циклы измерений внутри управляющей программы, если есть возможность применения встроенных средств измерений, например, индикаторов контакта БВ4271 и др.;

6) осуществлять работу с промышленными роботами, накопителями, тактовыми столами, выбирая ту или иную программу обработки деталей в зависимости от пришедшего от этих устройств сигнала и т.д.

5.8.1. Команды модификации и переходов

В командах модификации управляющей программы, условных и безусловных переходов используют в качестве числового значения только номера кадров, то есть номера ячеек памяти, в которых хранится информация о перемещениях, подаче, частоте вращения и т.д. Другими словами, эти команды указывают на номер кадра (номер ячейки), откуда должна быть взята информация для обработки системой ЧПУ.

Условимся при описании команд обозначать: (α) - содержимое ячейки с номером α , то есть информация, записанная в кадре $N\alpha$; \rightarrow - пересылка.

Команды и их краткое описание приведены в табл. 5.2.

Проиллюстрируем выполнение этих команд.

Команда пересылки обеспечивает запись содержимого кадра номер α в кадр номер β , например, после выполнения фрагмента

N5 X100^{8mm}

N6 \sim S5010,

в 10-м кадре будет содержаться информация

N 10 X100^{8mm}.

Если теперь выполнить команду алгебраического сложения,

N17^{8mm} \sim S5010,

то в ячейке 10 окажется алгебраическая сумма содержимого ячеек 5 и 10, то есть

N10 X1200^{8mm}.

Необходимо обращать внимание на то, что теряется предыдущее содержимое кадра (ячейки) N 10, с которым работают команды модификации. Выполнение команды косвенной обработки N8 + 45° S10000 вызовет перемещение инструмента по оси X на 200 дискрет (2 мм) в положительном направлении, так как такое перемещение задано в кадре 10, к которому обращается эта команда.

Выполнение команды косвенной обработки с инверсией N8 -45° S 10000 вызовет перемещение инструмента по оси X на 200 дискрет в отрицательном направлении. Содержимое ячеек 10 при этом не изменится.

После кадров, содержащих команду косвенной обработки, которая ссылается на любой другой кадр, выполняется кадр, следующий за командой косвенной обработки (в нашем примере: после 3-го кадра, содержащего ссылку на 10-й кадр, будет выполняться кадр N9).

Команды переходов отличаются от команд косвенной обработки тем, что после перехода к указанному кадру не происходит автоматического возврата, то есть если 8-й кадр записать в виде N8 P10, тогда после отработки 10-го

кадра, будет выполняться 11- й.

Команды условных переходов, указанные в табл. 5.2, иллюстрируются рисунком 5.9, а, на котором приведен фрагмент блок-схемы для команды перехода по плюсу.

Таблица 5.2

Перечень команд модификации и переходов

№	Наименов. команды	Кодирование	Описание
1	Пересылка	$\sim\sim S \overbrace{\quad\quad}^{\alpha} \overbrace{\quad\quad}^{\beta}$	$(\alpha) \rightarrow (\beta)$
2	Алгебраичес. сложение	$\oplus\oplus\oplus \sim\sim S \overbrace{\quad\quad}^{\alpha} \overbrace{\quad\quad}^{\beta}$	$(\alpha)+(\beta) \quad (\beta)$
3	Косвенная обработка	$+45^0 S \overbrace{\quad\quad}^{\quad} \emptyset\emptyset\emptyset$	Выполнить кадр № α
4	Косвенная обработка с инверсией	$-45^0 S \overbrace{\quad\quad}^{\quad} \emptyset\emptyset\emptyset$	Выполнить кадр № α , сменив знак его числовой части
5	Безусловный переход	$P \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Перейти к кадру № α
6	Переход по плюсу	$+45^0 P \overbrace{\quad\quad}^{\beta} \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Если $(\beta)>0$, перейти к кадру № α , если нет, выполнить следующую команду
7	Переход по минусу	$-45^0 P \overbrace{\quad\quad}^{\beta} \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Если $(\beta)<0$, перейти к кадру № α , если нет, выпол. след. команду
8	Переход по меньше или равно	$\oplus\oplus\oplus -45^0 P \overbrace{\quad\quad}^{\beta} \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Аналогично, но проверяется условие $(\beta)\geq 0$
9	Переход по больше или равно	$\oplus\oplus\oplus +45^0 P \overbrace{\quad\quad}^{\beta} \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Аналогично, но проверяется условие $(\beta)\leq 0$
10	Переход по нулю	$\sim\sim \oplus\oplus\oplus P \overbrace{\quad\quad}^{\beta} \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Аналогично, но проверяется условие $(\beta)=0$
11	Переход по нулю счетчика с декрементом	$\sim\sim \oplus\oplus\oplus P \overbrace{\quad\quad}^{\beta} \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Если $(\beta)=0$, перейти к кадру № α , если нет, выполнить $(\beta)=(\beta)-1$ и выпол. след. команду
12	Переход по внешнему	$\sim\sim P \overbrace{\quad\quad}^{\alpha}$	Если не подано напряж. на 12 разряд контроллера

	условию		элек.автом. станка, перейти к кадру № α , если подано, выпол. след. команду
--	---------	--	---

Команда перехода по нулю счетчика с декрементом, то есть с уменьшением его содержимого на 1 (рис. 5.9, б), удобна при организации многократных циклических повторений, а команда перехода по внешнему условию необходима для работы с измерительными устройствами, роботами, накопителями.

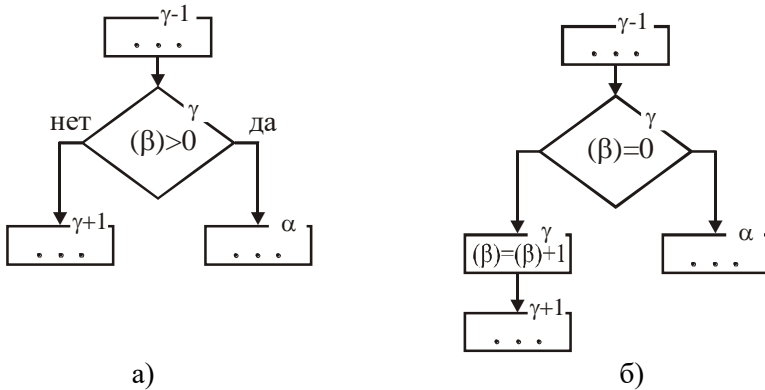


Рис. 5.9. Фрагменты блок-схемы с кадром j , содержащим условный переход: а- по плюсу; б- по нулю счетчика с декрементом.

5.8.2. Подпрограммы с формальными параметрами

Все перечисленные выше команды могут использоваться непосредственно в тексте управляющей программы. Однако, чтобы решать задачи, перечисленные в начале раздела 5, представляется целесообразным оформить типовые алгоритмы в виде подпрограмм, которые могут быть вызваны из основной программы так же, как и стандартные циклы обработки.

Для этого используется функция G21. В общем виде вызов подпрограммы по функции G21 осуществляется

группой кадров:

G21*

X...*

Z...*

F...*

....*

P...*

... ,

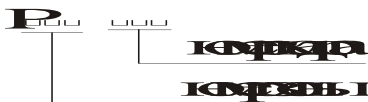
где с адресами X, Z, F, P записываются числовые значения, которые будут служить исходными данными для вызываемой подпрограммы. Всего в этой группе может быть записано до 100 кадров, в том числе до 7 кадров с адресом P.

Первый параметр с адресом P в этой группе является обязательным. Он указывает номер зоны памяти, в которой хранится вызываемая подпрограмма, и номер кадра, с которого она начинается. Например, простейшее обращение к подпрограмме

...C21*

...P1050

обеспечивает вызов подпрограммы, начинающейся с 50-го кадра 1-й зоны памяти. То есть формат первого параметра P:



Вызову подпрограммы по функции G21 предшествует перепись всей группы кадров вызова в зону, где находится вызываемая подпрограмма. При этом начальный адрес (номер кадра), с которого размещается группа кадров в этой зоне, определяется параметром станка T с номером 59 (рис. 5.10). В дальнейшем подпрограмма может обращаться к кадрам этой группы, чтобы воспользоваться исходными данными. Кроме того подпрограмма может

записывать промежуточную информацию и результаты расчета в свободные ячейки (кадры) зоны памяти.

Номер ячейки (кадра) памяти может использоваться как имя переменной, значение которой хранится в этой ячейке (кадре).

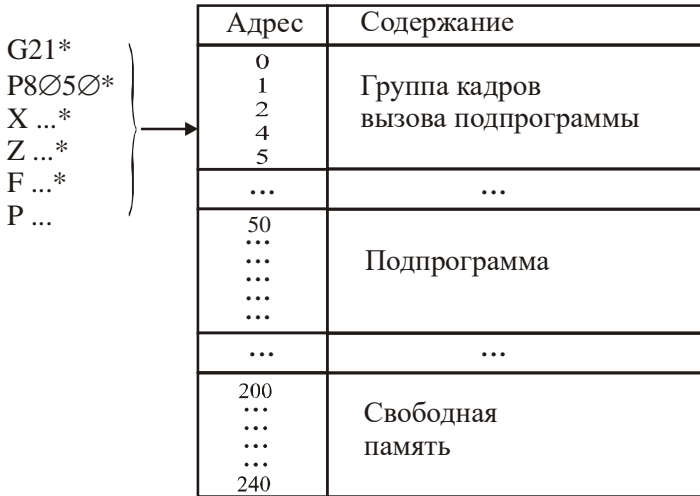


Рис. 5.10. Распределение памяти в зоне вызываемой подпрограммы (при $T_{59} = 0$, начальном адресе 50)

Подпрограмма должна заканчиваться вспомогательной функцией M17, по которой происходит возврат к программе, откуда было сделано обращение к подпрограмме.

5.8.3. Пример составления подпрограммы

Напишем подпрограмму, осуществляющую цикл глубокого сверления.

Пусть полная глубина сверления Z_n , глубина одного

прохода Z_1 (рис. 5.11). Необходимо просверлить отверстие на глубину Z_1 , отвести инструмент ускоренно на величину a , подвести на величину a . Затем сравнить остаток под сверление $Z_{ост}$ с величиной Z_1 . Если $Z_{ост} \geq Z_1$, можно продолжать цикл таким же образом; если $Z_{ост} < Z_1$, необходимо досверлить отверстие на величину $Z_{ост}$, затем вывести инструмент в конечную точку цикла $Z_{км}$.

Алгоритм приведен на рис. 5.12. Первоначально (рис. 5.11) остаток равен полной глубине отверстия (блок 50).

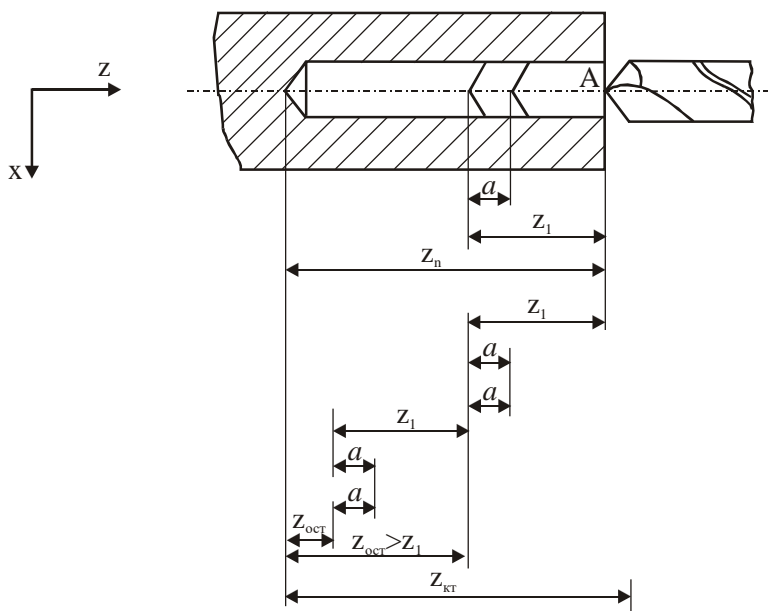


Рис. 5.11. Схема цикла глубокого сверления

Остаток на сверление после очередного прохода (вычисляется до выполнения этого прохода) может быть определен как разность между остатком до прохода и глубиной одного прохода (блок 52). Например, после

первого прохода, очевидно, останется

$$Z_{ост} = Z_n - Z_1,$$

так как до первого прохода было $Z_{ост} = Z_n$. Если остаток больше нуля, выполняется стандартный проход (блоки 54-56): сверление на величину Z_1 , отвод на a , подвод на a , а затем вычисления повторяются. Если остаток меньше нуля, это означает, что предыдущий остаток был меньше глубины этого прохода Z_1 , и необходимо досверлить отверстие на величину предыдущего остатка, который был заполнен как $Z'_{ост}$ в блоке 51 (блок 58). После досверливания осуществляется выход инструмента в конечную точку цикла (блок 59) и подпрограмма завершается.

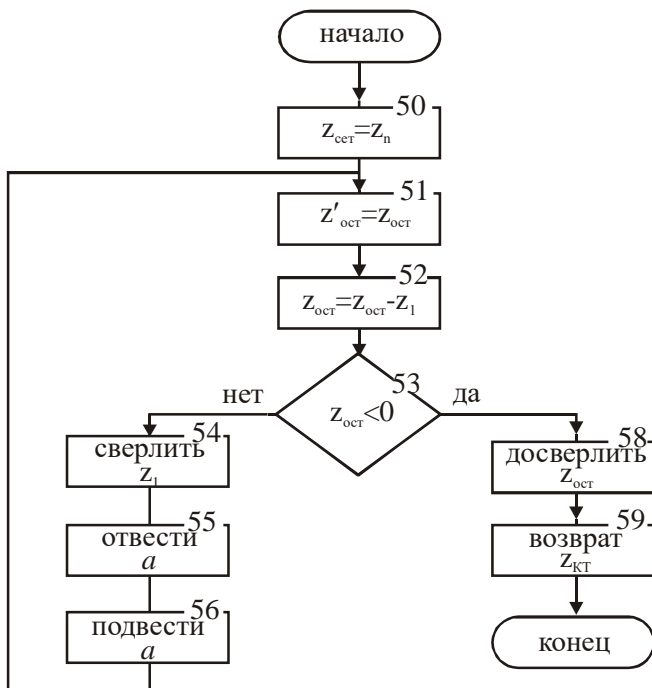


Рис. 5.12. Блок-схема подпрограммы

Исходными данными для подпрограммы, которые должны быть переданы в неё из основной программы, являются Z_n (со знаком "+", чтобы реализовать блок 52 с помощью команды алгебраического сложения), Z_1 (со знаком "-"), a (со знаком "+"), $Z_{км}$ (со знаком "+").

Предположим, что параметр $T_{59} = 0$, а подпрограмма будет храниться в 1-й зоне памяти, начиная с 50-го кадра. Тогда группа кадров вызова подпрограммы и распределения памяти 1-й зоны соответствует рис. 5.13.

Чтобы обратиться к Z_n в соответствии с рис. 5.13, необходимо обратиться к ячейке N1, Z_1 соответствует ячейке N3, a – N4, $Z_{км}$ – N5, $Z_{ост}$ – N200, $Z'_{ост}$ – N201.

		Адрес	Содержимое		
Группа кадров вызова подпро- граммы	$G21^*$ →	0	Полная глубина (z_n)	Исходные данные	}
	$Z_1 \leftrightarrow Z_n^*$ →	1	Номер зоны 1, адрес 50		
	$P1050^*$ →	2	Глубина прохода		
	$Z \leftrightarrow Z_1^*$ →	3	Величина отвода (a)		
	$\sim Z \leftrightarrow a^*$ →	4	Величина отвода ($z_{от}$)		
	$\sim Z \leftrightarrow Z_{от}$ →	5			
	...				
	50			Текст подпро- граммы	}
		
	60		...		
		
	200		Остаток вычислений ($z_{ост}$)	Промежу- точные данные	}
	201		Остаток на досверл. ($z_{ост}$)		
		
	240				

Рис. 5.13. Группа кадров обращения к подпрограмме и распределение памяти зоны подпрограммы

Учитывая это и пользуясь командами табл. 5.2, запишем блок-схему (рис. 5.12) в виде подпрограммы в кодах системы «Электроника НЦ-31»:

N50 \sim S1200 - (запомнить полную глубину как остаток в ячейке 200)

N51 \sim S200201-(еще раз сохранить остаток в ячейке 201)

N52 ~~***~~ \sim S3200 –(вычислить следующий остаток в ячейке 200)

N53 -45° P200 058 – (сравнить этот остаток с нулем)

N54 +45°S3000 - (если больше нуля, сверлить на глубину одного прохода)

N55 +45°S4000 - (отвести инструмент)

N56 -45°S4000 - (подвести инструмент)

N57 P51 – (переход на кадр номер 51)

N58 -45°S201000 - (досверлить на величину остатка в ячейке 201)

N 59 +45° S 5000 (отвод в конечную точку цикла)

N 60 M17 (конец подпрограммы)

Теперь, чтобы воспользоваться написанной подпрограммой, например, для сверления отверстия глубиной 40 мм, при глубине одного прохода 15 мм, величине отвода 5 мм и возврате в конечную точку на 50 мм, необходимо в управляющую программу включить следующую группу кадров:

G21*

Z ~~***~~ 4000*

P1050*

Z^{***} -1500*

^^ Z^{***} 500*

^^ Z^{***} 5000.

Следует отметить, что подача должна быть предварительно задана, а инструмент выведен в исходную точку цикла (точка А на рис. 5.11). Если потребуются просверлить другое отверстие, необходимо только вновь записать группу кадров вызова с новыми исходными данными для подпрограммы.

Аналогично можно составить подпрограммы для решения всех задач, перечисленных в начале раздела 5.8.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначено устройство «Электроника НЦ-31» в токарных станках?
2. Как задается задание номера кадра?
3. Как задается задание системы отсчета координат?
4. Как задается задание номера инструмента и режимов резания?
5. Как осуществляется программирование перемещений инструмента?
6. Какие задачи предусмотрены для обработки в системе «Электроника НЦ31»?
7. Какими функциями выражается группа циклов многопроходной обработки?
8. С помощью каких функций выполняется группа однопроходных циклов?
9. Как осуществляется группа циклов нарезания резьбы?
10. Какие группы циклов специального назначения существуют в системе «Электроника НЦ-31»?
11. Как выполняется смещение нуля детали и коррекция инструмента?
12. С помощью какой функции выполняется повтор части управляющей программы?
13. Каковы команды модификации управляющей программы?
14. Как составляются подпрограммы?

6. ПРЕДПОСЫЛКИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА С ЧПУ

Технологическая подготовка производства, базирующаяся на оборудовании с числовым программным управлением, помимо традиционного набора проектных задач - проектирование маршрутных и операционных технологических процессов, проектирование специальной технологической оснастки режущего, вспомогательного и мерительного инструмента, формирование сводных ведомостей - заявок на стандартный и нормализованный режущий, вспомогательный и мерительный инструменты, унифицированные приспособления - включает в себя новую, дополнительную задачу - подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Подготовка управляющей программы является одним из наиболее ответственных и трудоемких этапов технологической подготовки производства для станков с ЧПУ. Задачи, требующие для своего решения привлечения интуиции технолога, его специальных знаний, решаются до этапа программирования обработки. Все эти решения содержатся в РТК. На данном этапе решаются задачи формализованные. Это расчет координат опорных точек, описание траектории движения инструмента, аппроксимация участков траектории, формирование кадров управляющей программы, кодирование, нанесение программы на программоноситель. Решение этих задач проводится по формальным правилам и не предусматривает привлечения интуиции человека. При этом трудоемкость перечисленных задач чрезвычайно велика. Расчет опорных точек или аппроксимация сопряжены с большим количеством вычислительных и логических действий. Все это обусловило необходимость и возможность применения ЭВМ для решения задач

программирования обработки.

Первые попытки применения ЭВМ проводились в направлении создании индивидуальных расчетных программ для ЭВМ, автоматизирующих расчет управляющей программы для какой-либо отдельной детали. Однако сама разработка расчетной программы оказалась столь трудоемкой, что это направление оказалось нерентабельным, тем более, что разработанная таким образом расчетная программа годится лишь для одной детали.

Проведение типизации деталей, разработка расчетных программ, позволяющих осуществлять подготовку управляющих программ для некоторого типа деталей, оказались весьма перспективными. Со временем в вычислительных центрах накапливались программы для ЭВМ, неоднократно применяемые для программирования обработки некоторых деталей и доведенные до типовых. Таким образом, формировались библиотеки типовых программ. Были разработаны, например, типовые программы для программирования с помощью ЭВМ обработки гребных винтов, шнеков, лопаток турбин и т.д. Трудность программирования процесса обработки этих деталей осложняется еще тем, что обрабатываемый контур задается функциональной зависимостью или таблицей и обработка должна вестись с одновременным управлением по 3-5 координатам как линейным, так и круговым. Расчет программы обработки шнека с переменным шагом при ручном программировании занимает 30 часов, при автоматическом - 1,5 часа.

При использовании типовой программы входная информация содержит лишь сведения о размерах конструктивных элементов детали, так как конструкция детали и схема ее обработки предусмотрены в самой программе.

Узкая область применения типовых расчетных

программ позволяет сделать простой и саму программу, увеличивая ее быстродействие и упрощая работу с ней. При использовании типовых расчетных программ автоматизированную подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ может производить технолог, имеющий невысокую квалификацию в программировании.

Однако все же номенклатура типовых деталей ограничена, а следовательно, ограничена и сфера применения типовых расчетных программ.

В то же время в вычислительных центрах были разработаны программы, позволяющие решать с помощью ЭВМ отдельные, наиболее трудоемкие расчетные задачи подготовки управляющих программ. Это, в первую очередь, целый ряд аппроксимаций траекторий базовыми геометрическими элементами, расчеты опорных точек, задаваемых разными способами и т.д. В итоге были созданы библиотеки программ, решающие отдельные частные задачи программирования обработки.

Создалось такое положение, что в отдельных случаях расчет управляющей программы для станка с ЧПУ сводился к последовательному обращению к тем или иным программам из указанной библиотеки.

Следующим этапом автоматизации подготовки управляющих программ явилось создание комплексной программы, позволяющей автоматизировать и сам процесс обращения к той или иной расчетной программе, т.е. создание систем автоматизированного программирования обработки (САП).

САП является программно-математическим обеспечением, выполняющим функцию обработки информации в процессе технологической подготовки производства для оборудования с ЧПУ. Она осуществляет преобразование данных чертежа детали и технологии ее обработки в коды, задающие движения исполнительных органов станка в процессе обработки.

Информация, обрабатываемая САП, делится на две группы: геометрическая информация, описывающая конфигурацию детали и заготовки; технологическая информация, описывающая процесс обработки, оборудование, оснастку и материал детали. Основным источником геометрической информации является чертеж детали. Если чертеж представлен в бумажном виде, то его считывание для ввода геометрии детали в САП практически невозможно. Электронные же чертежи, напротив, прекрасно подходят для САП, но они есть в наличии далеко не всегда. Поэтому альтернативный способ задания геометрической информации - использование специальных языков описания геометрии детали.

Перед началом составления программы необходимо знать не только геометрию, но и условия поставки заготовки, включающие в себя информацию по базированию и сведения об обработанных и необработанных поверхностях.

САП берет на себя автоматизацию получения технологических справочных данных. Достаточно указать модель оборудования, материал детали и требования по качеству обработки, и САП автоматически построит нужную последовательность технологических переходов. Для этого в САП предусмотрены базы данных по оборудованию, имеющейся оснастке, свойствам материалов. На выходе САП выдает не только собственно УП, но и другие документы: карту наладки, операционную карту, схему траекторий инструмента и т.д.

Для эксплуатации САП в структуре предприятия обычно предусматривается отдел программного управления (ОПУ).

Интересная особенность САП - их высокая степень универсальности. Дело в том, что собственно траектория движения инструмента в пределах одного типа обработки

(точение, фрезерование и т.д.) фактически не зависит от вида применяемого оборудования и контроллера ЧПУ. Достаточно знать, что станок в принципе может обеспечить требуемые перемещения рабочих органов. Поэтому применяется следующий подход: геометрическая и технологическая информация хранится в некотором промежуточном формате, называемом CLDATA (Cutter Location DATA), а для генерации УП для конкретного станка программа на CLDATA пропускается через постпроцессор этого станка .

Одно из новшеств, появившихся в программировании обработки для ЧПУ в 80-е гг. - системы интерактивной компьютерной графики, позволяющие визуализировать процесс разработки УП. Чаще всего речь идет о надстройке к существующей системе САПР, которая, используя встроенный в САПР графический редактор, генерирует траектории движения инструмента. Это позволяет добиться высокой степени интеграции проектных процедур подготовки производства, поскольку одно и то же машинное описание детали используется и при ее проектировании, и при разработке УП. Результатом работы САП с интерактивной графикой может быть файл с программой на АРТ или с программой непосредственно на ISO-7bit.

Значительное преимущество графического программирования - возможность визуализации контуров и заготовки, и детали, что особенно удобно при многопроходной обработке. Кроме того, исключаются ошибки "наезжания" инструмента на оснастку, так как оснастка явно отображается на экране.

В большинство современных "тяжелых" САПР встроены возможности генерации УП. Например, такими возможностями обладают Pro/Engineer, I-DEAS, Caddy, Компас. По не совсем понятным причинам приложения для AutoCAD в этой области практически отсутствуют.

"Тяжелые" САПР обычно рекламируют полностью автоматическую генерацию УП, что все же возможно лишь для относительно простых случаев, да и то в конце необходим визуальный контроль траектории.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую новую дополнительную задачу включает в себя помимо традиционного набора проектных задач технологическая подготовка числовым программным управлением?
2. Что такое система автоматизированного программирования обработки?

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузев В. И. и др. Проектирование технологических процессов для станков с ЧПУ: Учебное пособие. - Челябинск:ЧПИ, 1983. Ч.1.-85 с.

2. Станки с программным управлением. Справочник, М., "Машиностроение", 1975.

3. Башутский В. А., Яценко Ю. П. Особенности проектирования технологии для станков с ЧПУ. Владивосток, изд-во ДГУ, 1979, 52 стр.

4. Иоголович В.А., Исаков В.М., Николаенко А. А. Автоматизация механообрабатывающего производства: Учебное пособие. – Челябинск: ЧГТУ, 1993.-86 с.

5. Корсаков В.С. Автоматизация производственных процессов. М., "Высшая школа", 1978.

6. Комиссаров В.И., Леонтьев В.Й., Старостин В.Г. Размерная наладка универсальных металлорежущих станков. М., "Машиностроение", 1958.

7. Ратминов В.А. и др. Повышение точности и производительности станков с программным управлением. М., "Машиностроение", 1970.

8. C. Schoene. Fertigungsinformatik.Digitalisieren und Digitalisierdatenverarbeitung. 3. Studienbrief.Dresden, TU Dresden, 1997.-38 Seiten.

9. D. Fichtner. Fertigungsinformatik.Grundkurs NC-Bearbeitung. 1. Studienbrief.Dresden, TU Dresden, 2000.-90 Seiten.

10. D. Fichtner. Fertigungsinformatik. CAD/CAM Systeme. 2. Studienbrief.Dresden, TU Dresden, 1999.-113 Seiten.

11. A. Nestler. Fertigungsinformatik. Rechnerunterstuetzte NC-Programmierung. 5. Studienbrief.Dresden, TU Dresden, 1997.-71 Seiten.

12. D. Fichtner. Fertigungsinformatik. NC-Technik Mehrachsbearbeitung. 6. Studienbrief.Dresden, TU Dresden, 1998.-80 Seiten.

13. CNC-Ausbildung fuer die betriebliche Praxis. Teil 3a.

Drehen mit Komplettbearbeitung auf Ein- und Doppelschlitzenmaschinen. Herausgegeben von Firma Traub AG, Reichenbach/Fils und von IFAO Informationssysteme GmbH, Karlsruhe, 1989. Carl Hanser Verlag Muenchen Wien.

14. Mikell P. Groover, Emory W. Zimmers, Jr. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing. Prentice-Hall, Inc. 1984

15. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Методика программирования: Учебное пособие/ В. И. Гузеев, В.А. Батуев, В.А. Иоголевич, И.В. Сурков.-Челябинск: ЧПИ,1989.-Ч.П.-81 с.

16. Автоматизация проектирования операций, выполняемых на станках с ЧПУ с помощью ЭВМ: Учебное пособие/В.И. Гузеев, А. А. Кошин, В.А. Батуев и др.-Челябинск: ЧПИ, 1984, Ч 2.-75 с.

17. Гжиров Р.И., Обольский Я.З., Серебrenицкий П.П. Автоматизированное программирование обработки на станках с ЧПУ. - Л.: Лениздат, 1986. - 176с., ил.

18. Евгeнев Г.Б. Основы программирования обработки на станках с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1983. - 304с., ил.

19. Позиционные системы программного управления станками. Серия "Электроавтоматика станков", М., "Машиностроение", 1967.

20. Никитенко В.Д. Подготовка программ для станков с программным управлением. М., "Машиностроение", 1973.

21. Сафраган Р.Э. и др. Эксплуатация станков с числовым программным управлением. Киев, "Техника", 1974.

22. Маталин А.А. и др. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением. Л., изд-во ЛГУ, 1977.

23. Зазерский Е.И., Жолнерчик С.И. Технология обработки деталей на станках с программным

управлением. Л., "Машиностроение", 1975.

24. Эстерзон М.А. и др. Технология обработки на станках с программным управлением. М., НИИМАШ, 1974.

25. Гузеев В. И., Соколов Б. В. Проектирование технологических операций для станков с ЧПУ: Учебное пособие по лабораторным работам.-Челябинск: ЧГТУ, 1991.-43 с.

26. Гузеев В. И. Проектирование технологических процессов, выполняемых на станках с ЧПУ: Учебное пособие. - Челябинск: ЧГТУ, 1996.-79 с.

27. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением-М.: Экономика, 1988.-Часть 1.-480 с.

28. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением-М.: Экономика, 1990.-Часть 2.-473 с.

29. Тишенина Т. И., Федеров В. Б. Токарные станки и работа на них. - М.: Машиностроение, 1990.-144 с.: ил.-(Б-ка станочника).

30. Михеев Ю. Е., Сосонкин В. Л. Системы автоматического управления станками. М., «Машиностроение», 1978. 264 с. с ил.

31. Jacobs H.-J., Duerr H. Entwicklung und Gestaltung von Fertigungsprozessen. Planung und Steuerung der spanenden Teilefertigung. - Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 2002.260s.

32. Koethler, Reinhrd: Fertigungstechnik fuer Wirtschaftsingenieure / Reinhard Koethler; Wolfgang Rau. - Muenchen; Wien: Hanser, 1999-356s.

33. Weck M. Werkzeugmaschinen. Automatisierung von Maschinen und Anlagen. - Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,

2001. -570s.

34. Aqiszus B., Bast J., Duerr H., Mattes K.-J. Grundlagen der Fertigungstechnik. - Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2003. - 396s.

**Юсубов Низами Дамир оглы
Мамедов Адил Мурсал оглы**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*(Проектирование технологических
операций для станков с ЧПУ)*

*Сдано в набор: 03.06.05. Подписано в печать: 02.07.05.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Ус.п.л. 10,25. Бумага высшего сорта.
Заказ №58. Тираж 200 экз.*

Типография Академии Государственного Управления