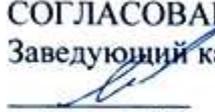


Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Машиностроительный факультет
Кафедра «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой

С. В. Монтик
«13» 05 2025 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета

С. Р. Онисько
«13» 05 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА»**

(название дисциплины)

для специальности

7-06-0714-02 Инновационные технологии в машиностроении

Составитель: Кудрицкий Ярослав Владимирович, старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета
университета 26.06.25 г., протокол № 4.

rec 24.06.24-25-140

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Основным направлением в развитии современного машиностроения является сокращение времени производственного цикла, снижение материалоемкости с одновременным повышением качества выпускаемой продукции, что в совокупности позволит снизить издержки производства и уменьшить себестоимость изделий машиностроения.

Наибольшая часть продукции машиностроения выпускается в условиях гибкого типа производства. Обеспечить высокую степень гибкости и производительность обработки без снижения качества можно за счет применения оборудования с числовым программным управлением.

Цель и задачи дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного производства» является изучение особенностей технологической подготовки производства для участков, оснащенных оборудованием с ЧПУ, ознакомление студентов с основными этапами проектирования технологических процессов в машиностроении при использовании станков с ЧПУ. Изучение основных типов металлорежущих станков с ЧПУ, их технологических возможностей и особенностей программирования обработки для некоторых СЧПУ.

Задачи дисциплины

Основной задачей изучения дисциплины «Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного производства» является обучение магистрантов методам, применяемым при механической обработке типовых поверхностей на различных станках с ЧПУ, изучение основных положений, используемых при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ. Также, одной из задач изучения дисциплины является приобретение магистрантами навыков в разработке типовых технологических процессов изготовления деталей на станках с ЧПУ в условиях серийного производства.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы магистрантов специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении» дневной и заочной форм получения образования по изучению дисциплины «Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного

производства».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г. № 427, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного производства» для специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении».

Цели ЭУМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы магистрантов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательным стандартам высшего образования специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении», а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

**Структура учебно-методического комплекса по дисциплине
«Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации
многономенклатурного производства»:**

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения лабораторных и практических учебных занятий в виде методических указаний для выполнения лабораторных и практических работ.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для итоговой аттестаций (экзаменационные вопросы), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования, и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел ЭУМК включает учебную программу учреждения высшего образования по дисциплине «Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного производства».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов, часть материала представляется с использованием персонального компьютера и мультимедийного проектора; при подготовке к экзамену, выполнению и защите лабораторно-практических работ магистранты могут использовать конспект лекций;
- лабораторные занятия проводятся в учебном классе, оборудованном компьютерами и симуляторами для программирования на стойках Siemens-840, HEIDENHAIN iTNC530, HEIDENHAIN MP620 с использованием представленных в УМК методических указаний, а также программных комплексов АСКОН (CAD-CAPP-CAM), НТТ(Heidenhain);
- экзамен проводится в письменном виде, и кроме теоретической части включает практическую задачу, связанную с разработкой технологического процесса и программированием обработки на станке с ЧПУ в определенном формате, вопросы к экзамену приведены в разделе контроля знаний.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1 ВВЕДЕНИЕ

Внедрение станков с ЧПУ для автоматизации ТП механической обработки позволяет обрабатывать детали такой же широкой номенклатуры, как и на универсальных станках соответствующих типов, но с меньшими затратами. Эффективность станков с ЧПУ объясняется их высокой производительностью.

Кроме того, повышается производительность труда обслуживающего персонала, сокращаются потребности в специальной технологической оснастке и режущих инструментах.

Сокращаются оборотные средства, вкладываемые в незавершенное производство, высвобождаются значительные производственные площади.

Эксплуатация станков с ЧПУ требует наличия не только соответствующего ТП, но также наличия УП. В связи с этим, технологическая подготовка производства при обработке на станках с ЧПУ отличается большей трудоемкостью и сложностью.

Задачи формообразования решает технолог-программист, а действия квалифицированного рабочего, производящего обработку на станке с ручным управлением, заменяются при использовании станка с ЧПУ обработкой по управляющей программе.

При использовании станков с ЧПУ вместо универсальных производительность труда значительно повышается за счет сокращения вспомогательного времени на переустановку и измерение обрабатываемой детали, за счет оптимизации режимов резания, одновременного использования в работе нескольких инструментов.

Снижению себестоимости обработки деталей на станках с ЧПУ способствует централизация разработки технологии и составление управляющих программ с применением средств автоматизации. В настоящее время станки с ЧПУ используются не только в единичном и мелкосерийном, но и в серийном, а также поточно-массовом производстве в составе автоматических станочных систем. Дальнейшее повышение степени автоматизации станков с программным

управлением может быть достигнуто за счет применения промышленных роботов, обеспечивающих установку и снятие обрабатываемых деталей. Снижению себестоимости обработки деталей на станках с ЧПУ способствует централизация разработки технологии и составление управляющих программ с применением средств автоматизации. В настоящее время станки с ЧПУ используются не только в индивидуальном и мелкосерийном, но и в серийном, а также поточно-массовом производстве в составе автоматических станочных систем. Дальнейшее повышение степени автоматизации станков с программным управлением может быть достигнуто за счет применения промышленных роботов, обеспечивающих установку и снятие обрабатываемых деталей.

Основные термины

- Абсолютный размер - линейный или угловой размер, задаваемый в УП и указывающий положение точки относительно принятого нуля отсчета.
- Размер в приращении - линейный или угловой размер, задаваемый в УП и указывающий положение точки относительно координат точки предыдущего положения рабочего органа станка.
- Нулевая точка станка - точка, принятая за начало координат станка. В УП относительно нулевой точки задаются абсолютные размеры перемещений рабочих органов станка.
- Исходная точка станка - точка, определенная относительно нулевой точки станка, и используемая для начала работы по УП. Исходная точка выбирается из условий сокращения вспомогательных ходов, безопасности смены инструмента и удобства закрепления заготовки на станке.
- Фиксированная точка станка - точка, определенная относительно нулевой точки станка, и используемая для определения положения рабочего органа станка.
- Точка начала обработки - точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.
- Нулевая точка детали - точка на детали, относительно которой заданы

ее размеры.

- Плавающий ноль - свойство СЧПУ помещать начало отсчета перемещения рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки.

- Интерполяция - получение координат промежуточных точек траектории движения центра инструмента в плоскости или пространстве.

- Аппроксимация - процесс замены одной функциональной зависимости на другую с определенной степенью точности.

- Опорная точка - точка расчетной траектории, в которой происходит изменение либо закона, описывающего траекторию, либо условий протекания технологического процесса. Бывают геометрические и технологические опорные точки.

- Центр инструмента - неподвижная относительно державки точка инструмента, по которой ведется расчет траектории его движения.

Основные преимущества станков с ЧПУ и область их применения

1. Сокращение сроков технологической подготовки производства до 50%;
2. Сокращение общей продолжительности цикла изготовления продукции на 50%;
3. Экономия средств на проектирование и изготовление режущего инструмента и технологической оснастки на 50%;
4. Повышение производительности труда за счет сокращения основного и вспомогательного времени обработки на станке до 20%;
5. Значительное снижение потребности в высококвалифицированных станочниках.

Два типовых варианта применения станков с ЧПУ

а) Обработка очень сложных уникальных деталей, с большим количеством фасонных поверхностей;

б) Обработка заготовок обычных машиностроительных деталей с точностью по IT 6-8 с параметром шероховатости Rz 3...10 мкм, при условии, что заготовки поступают на обработку партиями по 15...25 шт.

Таким образом, наиболее целесообразным является применение станков с ЧПУ в условиях единичного, мелкосерийного и среднесерийного типа производства, когда требуется оперативность в переналадке оборудования на выпуск изделий нового типа.

Целесообразно создавать крупные участки станков с ЧПУ, обслуживание которых значительно упрощается.

Кроме того, гибкость систем ЧПУ и простота их включения в общую систему управления от единой ЭВМ, делает целесообразным применение станков с ЧПУ в составе автоматических линий в условиях поточно-массового производства.

Основные условия целесообразности применения станков с ЧПУ

1. Обработка отверстий сложной конфигурации, требующих применения нескольких последовательно работающих инструментов, или обработка группы отверстий на сверлильных и расточных станках. Такие виды обработки можно выполнять на станках с ЧПУ без специальной оснастки, т. е. без копиров, без кондукторных втулок и без предварительной разметки.

2. При необходимости построения технологического процесса по принципу концентрации операции, т. е. сосредоточения на одном рабочем месте большого количества однотипных видов обработки.

3. Необходимость уменьшения доли вспомогательного времени, которое затрачивается на приемы, связанные с изменением режимов резания, переходы от обработки одной поверхности на другую, замену режущего инструмента.

4. При обработке нескольких аналогичных деталей на одном станке. В этом случае применение станка с ЧПУ позволит значительно сократить время на переналадку оборудования.

При необходимости сокращения числа операторов путем введения многостаночного обслуживания.

Типы систем ЧПУ

По характеру движения рабочих органов:

1. Позиционные СЧПУ - обеспечивают перемещение исполнительного органа станка в заданную позицию, обычно без осуществления процесса резания. Данными системами оснащаются станки сверлильно-расточной группы.

2. Контурные СЧПУ - позволяют управлять автоматическим перемещением рабочего органа станка по определенной траектории с заданной скоростью, осуществляя при этом процесс резания. Контурные СЧПУ более сложные и дорогие по сравнению с позиционными. Ими оснащаются токарные и фрезерные станки.

3. Комбинированные СЧПУ – сочетают в себе признаки позиционных и контурных. Такими системами чаще всего оснащаются обрабатывающие центры.

По числу потоков информации

1. Разомкнутые – используют только заданную на программноносителе информацию. В таких системах отсутствует обратная связь и контроль за выполнением заданной программы.

2. Замкнутые – работают на основе заданной информации, имеют датчики обратной связи, отображающие данные о ходе технологического процесса.

3. Самонастраивающиеся (адаптивные) – работают на основе заданной информации, имеют датчики обратной связи, анализируют данные о ходе технологического процесса, и при необходимости корректируют текущие параметры.

Схема обозначения СЧПУ, применяемая на ряде станков:

Ц – станки с цикловым управлением (штекерные);

Ф1 – станки с цифровой индексацией положения рабочих органов;

Ф2 – станки с позиционным управлением;

Ф3 – станки с контурным управлением;

Ф4 – станки с комбинированным управлением;

Ф5 – обрабатывающие центры с контурным управлением;

Р – смена инструментов поворотом револьверной головки;

М – смена инструментов из инструментального магазина.

2 РАСПОЛОЖЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ОСЕЙ КООРДИНАТ СТАНКОВ С ЧПУ

В основу СК положена правая система координат с осями X,Y,Z, которые указывают положительное направление движения инструмента относительно неподвижной заготовки.

Выбор направления осей системы координат станка связывают с положением оси вращения инструмента или заготовки. У сверлильных, расточных, фрезерных и токарных станков с осью вращения инструмента или детали совпадает положение оси Z. Причем, при положительном направлении оси Z инструмент должен двигаться из детали, т.е., удаляться от обрабатываемой поверхности.

При наличии двух осей, перпендикулярных оси Z, за ось X принимается та ось, относительно которой возможно большее перемещение исполнительного органа станка. Направление оси Y определяется исходя из положения осей Z, X по правилу «правой руки».

Для токарных станков с ЧПУ: стандартной является двухкоординатная система X,Z, с началом в базовой точке, лежащей на пересечении базового торца шпинделя с осью его вращения.

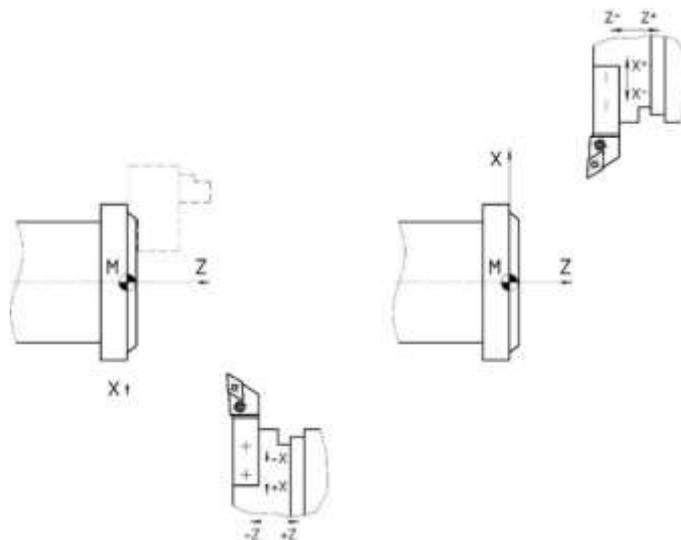


Рисунок 1 – система координат токарных станков с ЧПУ

Для станков сверлильной, расточной и фрезерной групп стандартной является 3-х координатная система X,Y,Z. За ее начало принимается базовая точка

стола в одном из его крайних положений или точка на пересечении поверхности стола с осью его вращения для поворотных столов. Направление координатных осей при этом зависит от компоновки станка.

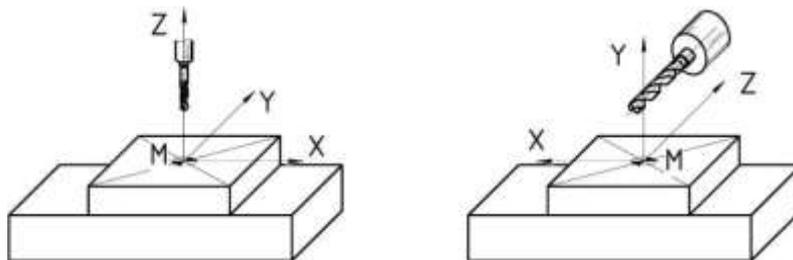
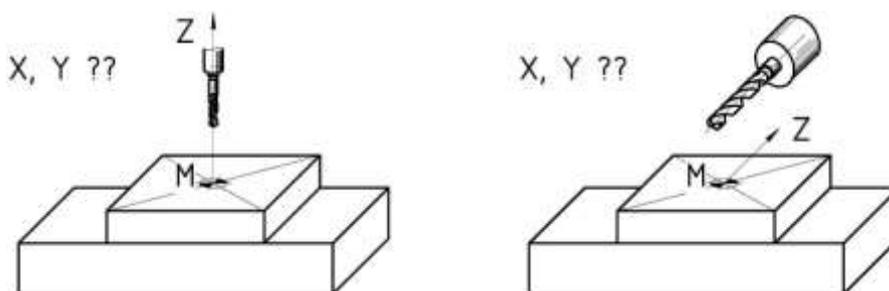


Рисунок 2 – системы координат фрезерных, сверлильных и расточных станков с ЧПУ

- закончить рисунки самостоятельно



Кроме системы координат станка рассматриваются системы координат детали, приспособления и инструмента. Все они взаимосвязаны через базовые точки.

В зависимости от конструкции станка заданное положение инструмента и заготовки при ее обработке может быть получено перемещением инструмента относительно неподвижной заготовки, заготовки относительно неподвижного инструмента или перемещением инструмента и заготовки одновременно. Так как учесть эти особенности сложно, при подготовке УП исходят из того, что инструмент движется относительно неподвижной заготовки. Знаки его координатных перемещений, задаваемые в УП, соответствуют при этом направлениям осей координат детали. В устройстве числового программного управления информация о направлении координатных осей рабочих органов станка отображается так, что перемещение инструмента выполняется с заданным

в УП знаком. Если перемещается заготовка, знак направления движения изменяется на противоположный.

Программирование и наладка станка для работы по УП осуществляются с использованием характерных точек. В ГОСТ 20523–80 эти точки названы нулевой, исходной и фиксированной.

За нулевую точку станка принято начало системы его координат. В УП относительно нулевой точки задаются абсолютные размеры перемещений рабочих органов станка.

Исходная точка станка определяется относительно нулевой, с нее начинается работа по УП. Выбирают исходные точки из условий сокращения вспомогательных ходов, обеспечения безопасности смены инструмента и удобства закрепления заготовки на станке. Перед началом работы станка по УП с исходными точками совмещаются базовые точки его рабочих органов.

Фиксированная точка станка определяется относительно нулевой и служит для нахождения положения его рабочего органа. Совмещение базовых точек рабочих органов с фиксированными точками станка производится с помощью датчиков положения.

При изготовлении первой детали партии (после переналадки станка) фиксированные точки станка служат исходными. Для последующих деталей партии исходные точки выбирают по возможности ближе к заготовке.

Система координат детали

Система координат детали (СКД) предназначена для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей, а также координат опорных точек траектории инструмента. Опорными при этом считаются точки начала, конца, пересечения или касания геометрических элементов, которые составляют контур детали и влияют на траекторию инструмента на переходах обработки.

В качестве СКД используются правая прямоугольная, цилиндрическая и сферическая системы координат.

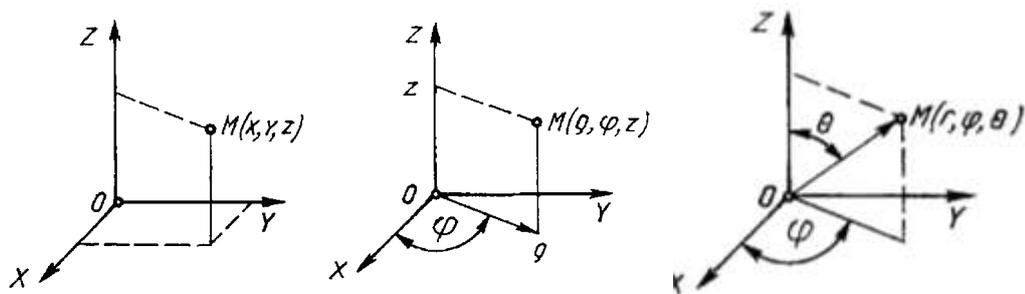


Рисунок 3 – примеры систем координат детали: прямоугольная, цилиндрическая, сферическая

Наиболее часто применяется правая прямоугольная система. Координатами точки в ней являются расстояния x, y, z от точки до трех взаимно перпендикулярных координатных плоскостей (соответственно абсцисса, ордината и аппликата), взятые с определенным знаком.

В цилиндрической системе координат точка задается радиусом-вектором ρ , центральным углом φ , определяющим положение проекции точки на основной плоскости, и аппликатой z .

В сферической системе координатами точки являются радиус-вектор r , долгота φ и полярный угол θ .

Для упрощения разработки УП при выборе системы координат детали целесообразно:

- 1) направление осей координат детали принимать таким же, как и направление осей координат станка;
- 2) координатные плоскости совмещать с поверхностями технологических баз, или располагать параллельно;
- 3) начало системы координат выбирать таким, чтобы все, или большая часть координат опорных точек имели положительные значения;
- 4) координатные оси совмещать с осями симметрии детали или выносными линиями, относительно которых проставлено наибольшее число размеров.

Система координат инструмента

Система координат инструмента (СКИ) предназначена для задания положения его настроечной точки относительно державки или центра поворота

инструментальной головки. Оси СКИ X_u и Z_u параллельны осям стандартной СКС и направлены в одну и ту же сторону. При выборе начала СКИ должны учитываться особенности установки инструмента на станке (чаще его совмещают с базовой точкой инструментального блока). Положение настроечной точки инструмента $A(B)$ задается координатами $X_{O_{иA}}, Z_{O_{иA}}$; $X_{O_{иB}}, Z_{O_{иB}}$. Инструмент рассматривают в сборе с державкой. Настройка, как правило, осуществляется вне станка с помощью специальных приборов.

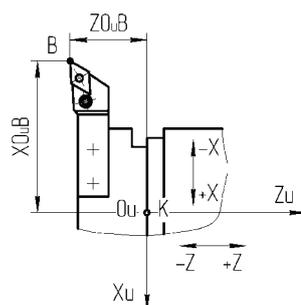


Рисунок 4 – система координат инструмента (токарного резца)

Связь систем координат

Наличие связи систем координат детали, станка и инструмента позволяет выдерживать заданную точность обработки детали при ее переустановке, а при подготовке УП траекторию перемещения инструмента задавать в системе координат детали. Связаны системы координат через базовые точки рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент.

Для станков токарной группы

На токарном станке за начало системы координат X_cZ_c принята базовая точка шпиндельного узла (точка пересечения торца шпинделя с осью его вращения). Настроечная точка B инструмента задается в системе его координат XZ и переводится в систему координат станка через базовую точку K суппорта (координаты X_oZ_o). С точкой K совмещено начало $O_{и}$ системы координат инструмента. Текущая точка A траектории инструмента переводится из системы координат детали X_dZ_d в систему координат станка через базовую точку B крепежного приспособления, которая определена в системе координат детали

(координата $Z_{OсБ}$) и станка (координата $Z_{OсБ}$) Чаще всего, точка Б совмещается с точкой O_d , т. е. технологическая база совмещается с соответствующей опорной поверхностью приспособления.

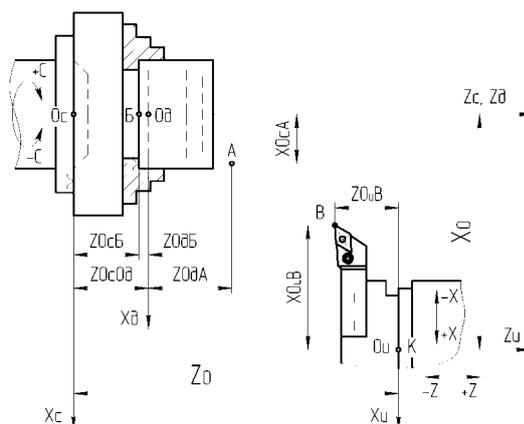


Рисунок 5 – связь систем координат токарного станка с ЧПУ

Для станков фрезерной, сверлильной и расточной групп

Начало системы координат $X_c Y_c Z_c$ многоцелевого станка с ЧПУ, имеющего горизонтальную компоновку, принято в базовой точке П при крайнем левом дальнем положении крестового поворотного стола (на стол следует смотреть со стороны шпиндельного узла). Настроечная точка В инструмента определена в системе координат $X_i Z_i$ при настройке его на размер и переводится в систему координат станка через базовую точку $O_{ш}$ шпиндельного узла (с точкой $O_{ш}$ совмещено начало системы координат инструмента). Любая точка Л траектории инструмента переводится из системы координат детали $X_d Y_d Z_d$ в систему координат станка через базовую точку Б приспособления.

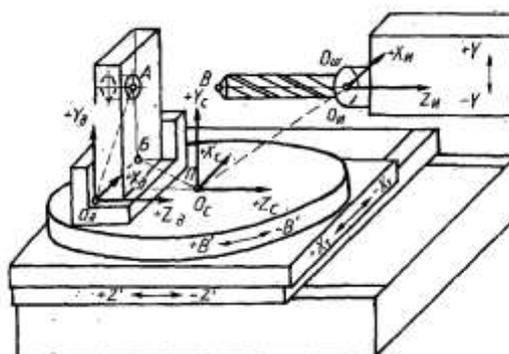


Рисунок 6 – связь систем координат многоцелевого станка с ЧПУ

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

Технологические возможности токарных станков с ЧПУ

Современные токарные станки с ЧПУ оснащены контурными системами СЧПУ с линейно-круговым интерполятором и устройством для нарезания резьбы, которые обеспечивают широкие технологические возможности станков.

Токарные станки с ЧПУ подразделяются по группам:

- 1) токарные патронные полу автоматы – 1П756ДФЗ; 1А734ФЗ; и др.;
- 2) Патронно-центровые станки – 1Б16ФЗ; 16К20ФЗ и др.;
- 3) Карусельные станки – 1512ФЗ; 1А512МФЗ и др.

Для наиболее полного использования возможностей станка особое значение имеет его технологическая оснастка. Обычно в комплект поставки токарных станков с ЧПУ входят: зажимные приспособления, контрольно-измерительные приспособления, режущий и вспомогательный инструмент.

Настройка инструментов на размер чаще всего выполняется вне станка в специальных приспособлениях. Применения с этой целью оптических приспособлений позволяет обеспечить точность наладочных размеров инструмента $\pm 0,02$.

Настройка станков осуществляется с помощью специальных датчиков касания, которые одновременно служат и для коррекции положения инструмента в связи с его износом.

Токарные станки с ЧПУ обеспечивают точность обработки заготовок до IT6 с параметром шероховатости поверхности до Ra2,5 мкм. На конусах с большим углом наклона обеспечивается шероховатость поверхности до Ra10...Ra20.

Технологические возможности сверлильных и расточных станков с ЧПУ. Область их применения

Сверлильные и расточные станки с ЧПУ создаются на базе существующих моделей универсальных станков, и по технологическим возможностям аналогичны им. Но станки с ЧПУ позволяют достигнуть более высокой производительности за счёт:

- Снижения потерь времени на установку инструмента;
- Исключение необходимости замеров в процессе обработки;
- Сокращение времени на холостые перемещения исполнительных органов.

Сверлильные станки с ЧПУ

Применение сверлильных станков с ЧПУ исключает необходимость предварительной разметки заготовки, а также использование специальных направляющих элементов для определения положения центров обрабатываемых отверстий. Кроме того, применение станка с ЧПУ позволяет сократить вспомогательное время за счет автоматического переключения частот вращения шпинделя, величин подач и возможности автоматической смены инструментов при наличии у станка револьверной головки.

Типовые модели – 2P118Ф3, 2P135Ф2.

Расточные станки с ЧПУ

Одним из преимуществ расточных станков с ЧПУ является то, что на них можно с одного станова выполнять обработку как точных соосных отверстий, так и системы мелких резьбовых отверстий.

На горизонтально-расточных станках с поворотным столом можно обрабатывать соосные отверстия отдельно с 2-х сторон при точном повороте стола на 180°. Поворотный стол также позволяет обрабатывать отверстия, расположенные под любым углом к оси шпинделя.

Например, на станках 2A620Ф2 или 2A622Ф2 с позиционной системой ЧПУ, можно сверлить, зенкеровать, растачивать и развёртывать точные отверстия, фрезеровать плоскости и нарезать резьбу. Точность межосевых расстояний при этом выдерживается в пределах 0,05...0,07 мм.

Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ

Большинство фрезерных станков с ЧПУ создано на базе универсальных моделей с ручным управлением. Но жесткость узлов станков с ЧПУ значительно выше жесткости узлов базовых моделей. Это обеспечивает более высокую точность и производительность станка с ЧПУ.

Современные фрезерные станки с ЧПУ оснащены контурными системами управления с линейно-круговым интерполятором, что обеспечивает управление станком по 3-м и более координатам.

По компоновкам фрезерные станки с ЧПУ бывают: вертикальными, горизонтальными, консольными и бесконсольными, с прямоугольным, крестовым или круглым столом, с ручной или автоматической сменой инструмента.

На фрезерных станках с ЧПУ выполняется фрезерование плоскостей, уступов плоских или объёмных контуров, а также, сверление, зенкерование и растачивание. Обеспечивается точность обработки контура до 0,1 мм, а точность получения линейных размеров до 0,08 мм.

На некоторых моделях с горизонтальным расположением шпинделя и круглым столом, например, 6306Ф3, можно выполнять обработку взаимно перпендикулярных и взаимно параллельных плоскостей без переустановки, а также выполнять растачивать точные отверстия. При этом обеспечивается взаимно перпендикулярность до 0,05 мм.

Технологические возможности обрабатывающих центров

Обрабатывающий центр – это высокоавтоматизированный станок с ЧПУ, дополнительно снабженный специальным инструментальным магазином для автоматической смены инструментов.

С помощью программного управления на ОЦ осуществляется автоматическое перемещение заготовки вдоль 3-х координатных осей и её вращение вокруг вертикальной оси поворотного стола.

ОЦ могут снабжаться глобусным столом, имеющим не только вертикальную, но и горизонтальную ось вращения. Это позволяет обрабатывать корпусные заготовки с разных сторон под различными углами с одного установа.

Ось шпинделя по программе может устанавливаться вертикально, горизонтально и под произвольным углом.

Обычно ОЦ применяются для полной обработки корпусных заготовок с большим количеством технологических переходов за один установ. На ОЦ выполняются следующие виды работ: сверление; зенкерование; развёртывание; растачивание; нарезание резьбы; фрезерование плоскостей, пазов и уступов.

Повышение производительности труда при обработке заготовок на ОЦ происходит за счёт значительного сокращения доли основного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени. Преимуществом ОЦ перед другими автоматизированными станками является также простота их наладки и переналадки, а также простота технологической оснастки.

Точность поверхностей отверстий при обработке на ОЦ может достигать IT7-IT6 с параметром шероховатости Ra1,25. Точность обработки в плоскости XY достигает $\pm 0,01$ мм.

Одним из недостатков ОЦ можно назвать их высокую стоимость. Но при разработке рациональной технологии и с учётом полной нормативной загрузки ОЦ может окупиться в течение 2-х 3-х лет.

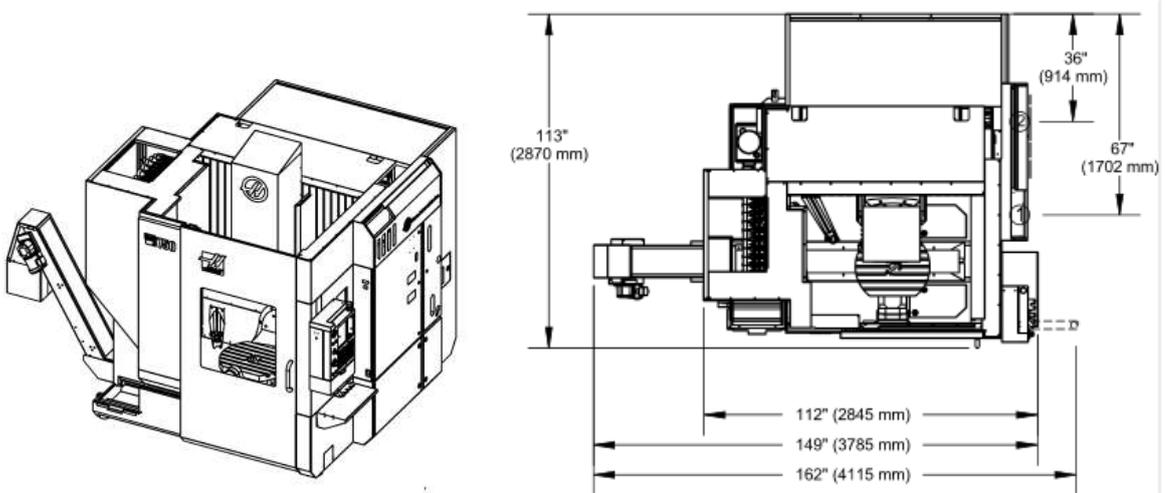


Рисунок 1 – Многоцелевой станок с ЧПУ HAAS UMC-750

4 МАРШРУТНЫЕ ТЕХПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

(особенности технологического проектирования для станков с ЧПУ)

Объём механической обработки деталей, изготавливаемых в условиях мелкосерийного и среднесерийного типов производства, составляет 75-80% от общего объёма механической обработки в машиностроении.

Технологический процесс обработки деталей на станках с ЧПУ требует повышенной степени детализации. Кроме того, отличительной особенностью технологического проектирования для станков с ЧПУ является подготовка управляющей программы, что требует дополнительных затрат времени и средств.

Отличительной особенностью технологического проектирования для станков с ЧПУ является также необходимость точной увязки траектории автоматического движения режущего инструмента с системой координат станка, исходной точкой и положением заготовки.

Процесс технологического проектирования для станков с ЧПУ можно разделить на три стадии:

- 1) Разработка технологического маршрута изготовления детали;
- 2) Разработка технологического процесса по операциям;
- 3) Подготовка управляющей программы.

Общие принципы построения технологического маршрута обработки деталей на станках с ЧПУ

Процесс механической обработки необходимо разделить на стадии – черновую, чистовую и отделочную, для обеспечения заданной точности обработки. При этом надо учитывать, что станки с ЧПУ обладают повышенной жесткостью, и это позволяет в некоторых случаях совмещать черновую и чистовую обработку поверхностей заготовки. Таким образом можно значительно снизить трудоёмкость обработки детали.

В целях уменьшения погрешности базирования и закрепления заготовки необходимо соблюдать принцип постоянства баз, и совмещать конструкторские,

технологические и измерительные базы. На первой операции целесообразно производить обработку тех поверхностей, относительно которых задано расположение остальных или большинства других конструктивных элементов детали.

При выборе последовательности операций необходимо стремиться к обеспечению полной обработки детали при минимальном числе её установов.

Для выявления минимального количества типоразмеров режущего инструмента необходимо выполнить группирование обрабатываемых поверхностей.

На всех этапах обработки детали необходимо соблюдать требования по обеспечению максимальной жёсткости. В связи с этим сначала планируют обработку с большей мощностью резания, а также обработку более жестких массивных конструктивных элементов детали.

До операций, выполняемых на станках с ЧПУ, рекомендуется производить обработку чистых баз на универсальных станках с ручным управлением. Такие участки должны располагаться рядом с участком станков с ЧПУ.

Для токарной обработки – это прежде всего подрезка торцов, центрование и проточка базовых шеек. Для фрезерной и других видов обработки – это фрезерование базовой плоскости и обработка базовых отверстий.

В ряде случаев одновременно с обработкой базовых поверхностей на станках с ручным управлением целесообразно выполнять переходы по удалению части чернового припуска.

В условиях автоматизированного производства операции по подготовке баз и удалению части припуска выполняются обычно на одноинструментных станках с ЧПУ, обладающих повышенной жесткостью и относительно невысокой стоимостью.

Стадия I (разработка технологического маршрута изготовления детали)	
Этап	Содержание этапа
1. Выбор номенклатуры	Определение целесообразности обработки заготовок на станках с ЧПУ. Проверяются конструктивно-технологические признаки и производственные условия. Оценивается возможность изменения заготовки, техпроцесса и конструкции детали. Выполняется технико-экономический расчет целесообразности использования станков с ЧПУ.
2. Ознакомление с типовыми технологическими процессами изготовления аналогичных деталей	Изучаются: заготовка, маршрут обработки, приспособления, режущий и вспомогательный инструмент, режимы резания, структура операций.
3. Повышение степени технологичности детали	Отработка конструкции детали на технологичность. Повышение жёсткости инструмента и детали. При необходимости корректировка чертежей детали и заготовки.
4. Согласование условий поставки	Определение технологического состояния заготовки и детали. определение требований к базовым поверхностям, припускам, наличию технологических отверстий.
5. Определение маршрута обработки.	См. "Общие рекомендации"
6. Заказ приспособлений	Эскизное проектирование приспособлений. Определение положения заготовки в приспособлении и в процессе обработки на станке. Определение схемы базирования и закрепления заготовки. Выполнение привязки систем координат станка, приспособления и детали.
7. Заказ инструмента	Определение типов и размеров инструмента. Выбор технологических параметров и конструкций.
Стадия II (разработка технологического процесса по операциям)	
Этап	Содержание этапа
1. Составление плана операций.	Определение содержания операций. Разделение операций на установки и позиции. Уточнение метода закрепления заготовки. Подготовка операционных карт.
2. Разработка операционной технологии	Определение последовательности выполнения переходов. Разделение переходов на ходы. Окончательный выбор режущих инструментов. Выбор контрольных точек. Определение траекторий позиционных и вспомогательных ходов. Расчет режимов резания. Подготовка карт наладки станка и инструмента.
Стадия III (Подготовка управляющей программы)	
Этап	Содержание этапа
1. Расчет траектории движения инструмента	Выбор и уточнение системы координат. Определение наладочных размеров детали. Расчет координат опорных точек. Построение траектории движения инструмента.
2. Кодирование и запись УП	Формирование элементарных перемещений. Определение технологических команд. Кодирование УП. Запись УП на программноноситель. Печатаение текста УП.
3. Контроль, редактирование и отладка УП.	Контроль программноносителя. Контроль траектории движения инструмента. Редактирование УП. Обработка опытных деталей.

5 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Оценка степени технологичности проводится по качественным и количественным признакам в соответствии с ГОСТ 14.201-83. Требования к технологичности конструкции деталей особенно повышаются в условиях автоматизированного производства. В некоторых случаях, при выполнении анализа конструкции детали на технологичность, возникает оправданная необходимость внесения изменений и поправок в конструкторскую документацию.

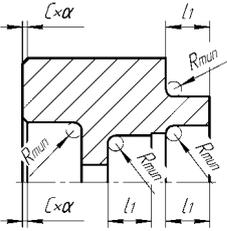
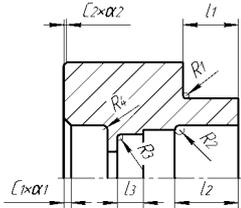
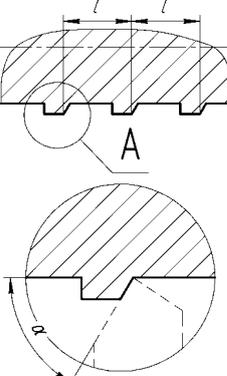
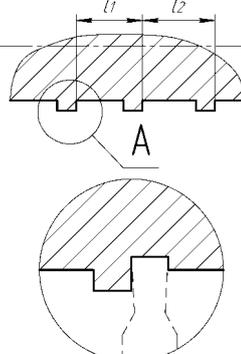
Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

1. Обоснованный выбор материала детали и требований к качеству её поверхностного слоя;
2. Обеспечение достаточной жёсткости конструкции;
3. Сокращение до минимума числа установов заготовки при её обработке;
4. Наличие у заготовки элементов, обеспечивающих её точное базирование и надёжное закрепление в приспособлении;
5. Возможность обработки максимального числа поверхностей заготовки с одного установа при консольном закреплении инструмента;
6. Отсутствие или сведение к минимуму числа глухих отверстий, а также отверстий, оси которых расположены под углом к координатным осям детали;
7. Максимально возможная унификация формы и размеров обрабатываемых элементов детали, что позволит сократить необходимое количество режущих инструментов, а также даст возможность применять типовые подпрограммы;
8. Задание координат обрабатываемых элементов с учётом возможностей устройства ЧПУ;

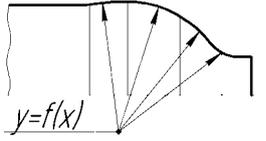
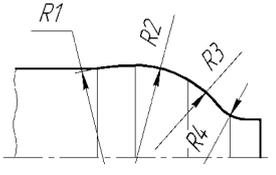
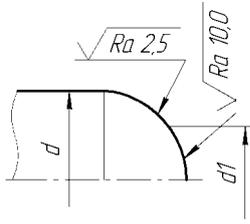
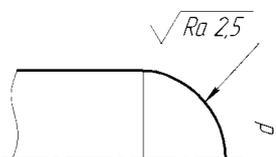
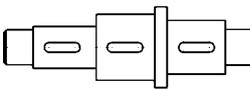
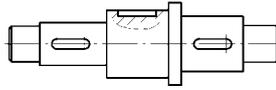
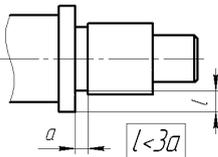
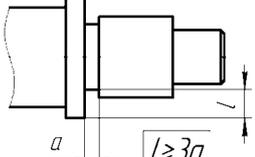
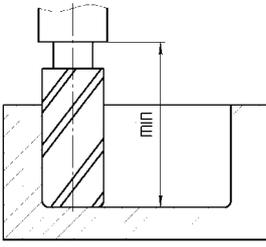
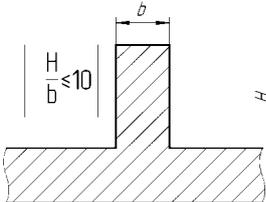
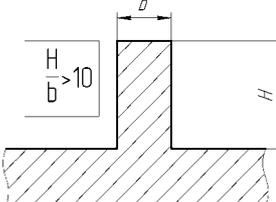
9. Форма детали должна быть удобной для автоматического контроля размеров и обеспечения лёгкого удаления стружки;
10. Припуск под обработку должен быть минимальным, но достаточным для обеспечения требуемых параметров точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей;
11. Колебания твердости поверхностного слоя материала заготовки должны быть в небольших пределах для сокращения времени на подбор режущих инструментов по стойкости, а также снижения затрат на замену инструментов;
12. Наличие технологических баз, используемых при обработке и при захвате заготовки промышленным роботом.

Примеры повышения степени технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Таблица 5.1 – Способы повышения степени технологичности типовых деталей

Способ повышения степени технологичности	Эскиз повышения степени техн.-ти	Эскиз снижения степени техн.-ти	Эффект от мероприятия
Для деталей типа тел вращения			
Унификация форм, размеров поверхностей и их элементов			Сокращение числа применяемых инструментов, сокращение вспомогательного времени на смену инструментов
Рациональная геометрическая форма детали, обеспечивающая возможность осуществления минимального числа чистовых переходов и обработку одним инструментом			Это исключает появление рисок и уступов на обрабатываемой поверхности, а также повышает удобство базирования и закрепления заготовки

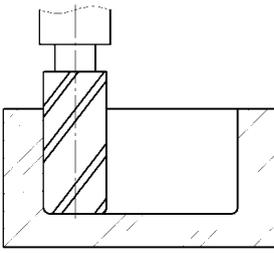
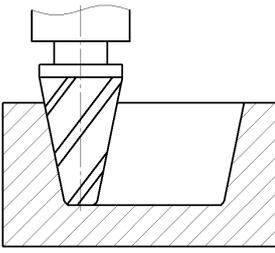
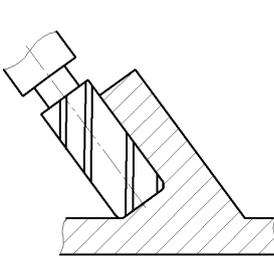
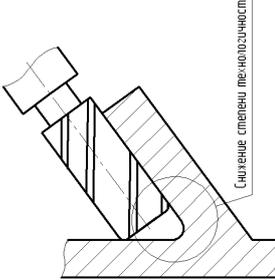
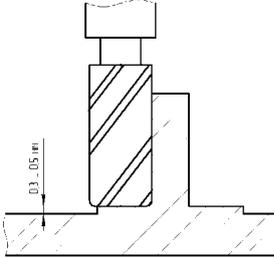
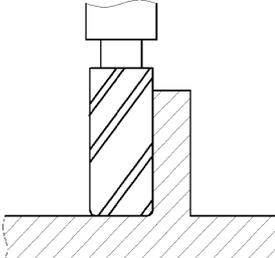
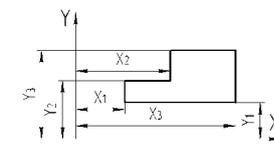
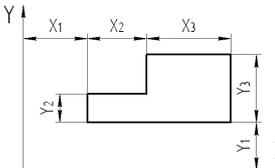
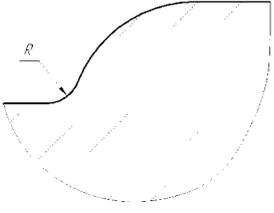
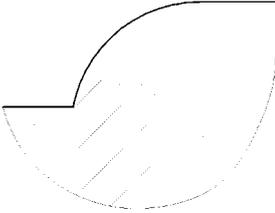
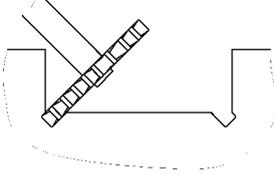
Продолжение таблицы 5.1

<p>Задание отдельных участков образующей уравнениями, а не координатным способом</p>			<p>Уменьшается объем вычислений при подготовке управляющей информации, повышается точность траектории инструмента при отработке соответствующих кадров УП</p>
<p>Некоторое снижение требований по шероховатости обрабатываемой поверхности у оси заготовки</p>			<p>Возможность обеспечить параметр шероховатости минимальным количеством операций и переходов</p>
<p>Расположение шпоночных пазов с одной стороны детали</p>			<p>Сокращение вспомогательного времени на поворот детали, уменьшение числа приспособлений</p>
<p>Уменьшение перепада диаметров детали</p>			<p>Снижение числа переходов, повышение производительности процесса обработки</p>
<p>Для деталей не тел вращения</p>			
<p>Уменьшение консольности закрепления инструмента при фрезеровании</p>		<p style="text-align: center;">-</p>	<p>Повышение точности и производительности процесса обработки вследствие применения более жесткого инструмента</p>
<p>Назначение рациональных размеров ребер жесткости</p>			<p>Повышение точности и производительности процесса обработки вследствие применения более жесткого инструмента</p>

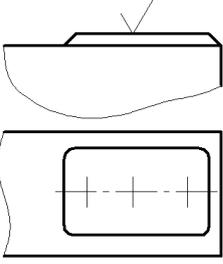
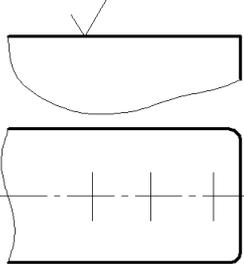
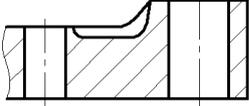
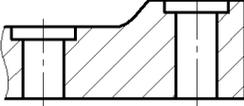
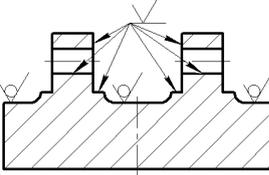
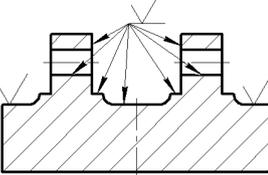
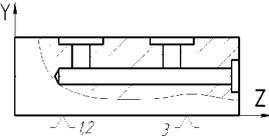
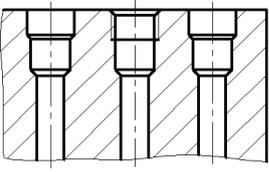
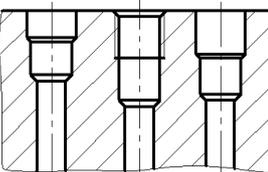
Продолжение таблицы 5.1

<p>Сопряжения стенок наружных и внутренних обрабатываемых контуров детали по возможности следует выполнять одинаковыми (типовыми для данного контура) радиусами</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $R_d = R_{фр} \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{6} \right) H; \quad R_d = R_{фр}$ </div> <p>где: H – наибольшая высота стенок обрабатываемого контура. При обработке заготовок из легких сплавов $R_{фр} \geq \frac{H}{6}$, при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов $R_{фр} \geq \frac{H}{4}$.</p> <p>При назначении радиусов сопряжений элементов контура детали R_d необходимо выдерживать такое соотношение между ними и радиусами фрезы $R_{фр}$, которое обеспечивало бы наличие на торце инструмента (концевой фрезы) плоского участка с диаметром</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $d = D_{фр} - 2R_{фр}$ </div>			<p>Сокращение типоразмеров применяемого режущего инструмента при обеспечении его достаточной жесткости и высокой производительности обработки.</p> <p>← Следует избегать равенства радиусов сопряжений элементов контура детали R_d и радиусов фрезы $R_{фр}$ как в осевом, так и в радиальном направлении. В этом случае необходимо применять более дорогие концевые сферические фрезы.</p>
<p>Способ повышения степени технологичности</p>	<p>Эскиз повышения степени техн.-ти</p>	<p>Эскиз снижения степени техн.-ти</p>	<p>Эффект от мероприятия</p>
<p>Для деталей не тел вращения</p>			
<p>Сопряжение стенок с полками и подсеками одинаковыми для данного контура радиусами $R_{тип}$</p>			<p>Это исключает необходимость обработки различными инструментами и возможность появления следов зарезания</p>
<p>Обеспечение конструкцией детали обработки с наименьшим числом установов на станке. В этом случае наибольшую степень технологичности имеют конструкции с односторонним расположением элементов и базовой плоскостью.</p>			<p>Такие заготовки, при выполнении условия унификации радиусов, можно обработать одним инструментом в одном приспособлении за один установ (по базовой плоскости).</p>
<p>Высокую степень технологичности имеют конструкции с двусторонним симметричным расположением элементов.</p>			<p>В этом случае обработку с двух сторон можно производить по одной программе одним инструментом.</p>
<p>Упрощение геометрических форм и типизация основных повторяющихся элементов детали. При конструировании деталей необходимо максимально использовать зеркально-отраженные и симметричные элементы.</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>Сокращение типоразмеров применяемых инструментов; упрощение программы. Сокращение общего цикла технологической подготовки</p>

Продолжение таблицы 5.1

<p>Следует по возможности избегать наклонных стенок и имитации штамповочных или литейных уклонов</p>			<p>Уменьшение стоимости инструментальной оснастки</p>
<p>Конфигурация детали должна обеспечивать свободный доступ к поверхностям при обработке их одним инструментом за минимальное число рабочих ходов</p>		 <p>Снижение степени телескопичности</p>	<p>Сокращение количества применяемых инструментов, уменьшение стоимости инструментальной оснастки. Сокращение общего цикла технологической подготовки</p>
<p>В местах сопряжения обрабатываемой стенки с дном необходимо предусмотреть завышение 0,3 ... 0,5 мм</p>	 <p>0,3 - 0,5 мм</p>		<p>Это позволит уменьшить объем обработки и предотвратить «зарезы»</p>
<p>Простановка размеров от одной базы</p>			<p>Повышение степени удобства при задании координат траектории движения инструмента. Сокращение времени подготовки УП.</p>
<p>Обеспечение сопряжения линий контура плавными радиусами</p>	 <p>R</p>		<p>Исключение концентраторов напряжений. Возможность обработки контура одним инструментом.</p>
<p>Увеличение ширины канавок с целью их обработки фрезерованием вместо строгания</p>		<p>—</p>	<p>Повышение производительности процесса за счет возможности полной обработки поверхностей детали на станке с ЧПУ</p>

Окончание таблицы 5.1

<p>Уменьшение размера обрабатываемой поверхности за счет конструктивного оформления опорных плоскостей</p>			<p>Повышение производительности процесса за счет уменьшения объема обработки</p>
<p>Замена углубления платиком</p>			<p>Сокращение числа инструментов, повышение производительности процесса</p>
<p>Увеличение размера необрабатываемой поверхности во избежание перезакрепления заготовки</p>	<p style="text-align: center;">—</p>	<p style="text-align: center;">—</p>	<p>Повышение производительности процесса обработки вследствие сокращения вспомогательного времени</p>
<p>Снижение требований к шероховатости свободной поверхности, уменьшение числа обрабатываемых поверхностей</p>			<p>Уменьшение площади поверхности обработки с соответствующим повышением производительности процесса</p>
<p>Расположение отверстий перпендикулярно к основным базовым плоскостям</p>			<p>Уменьшение числа поворотов заготовки, сокращение вспомогательного времени, упрощение программы, упрощение приспособлений</p>
<p>Расположение обрабатываемых отверстий на одном уровне</p>			<p>Повышение точности обработки за счет уменьшения вылета инструмента, упрощение программы</p>

6 ЭТАПЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Кодирование информации для устройств ЧПУ

Подготовленная исходная информация по обработке детали, т.е. программа записываемая на программноноситель по определенной форме и состоит из набора кадров. Каждый кадр содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного детали, чаще всего между двумя соседними опорными точками. Кадры состоят из слов - информации, определяющей программу работы отдельных исполнительных органов: перемещение по координатам X, Y, Z, скорость подачи, работу механизмов смены инструмента и др. Каждое из слов записывается обычно на нескольких поперечных строчках перфоленты.

Способ записи информации

Различают два способа записи управляющей информации: с постоянной (для перфолент) и переменной длиной кадра.

При постоянной длине кадра его объем остается постоянным по всей программе и занимает при записи постоянное число строк перфоленты. В постоянном кадре отводится место для записи всех слов (всех команд) вне зависимости от их повторяемости и числовых значений. Информация в каждом кадре строго распределена между различными строками и записывается в определенной последовательности. Если какая либо информация в данном кадре отсутствует, то строки кадра, предназначенные для этой информации, сохраняются и фиксируются в кадре с нулевым значением.

При записи программ кадрами постоянной длины считывание информации получается наиболее простым, так как заранее известна часть кадра, где фиксируется та или иная информация. Недостатки - большой расход перфоленты и более высокая трудоемкость программирования.

Информацию на перфоленте с постоянной длиной кадра обычно записывают при помощи двухпозиционного кода (двоичной системы счисления).

В настоящее время наиболее применима в системах ЧПУ запись с переменной длиной кадра как более удобная и краткая. Эта запись производится с использованием алфавитно-цифровых кодов.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО - 7 бит является основным для большинства современных станков с ЧПУ (СНГ). Значение букв и символов в терминах ЧПУ у этого кода должно соответствовать ГОСТ 20999-83. Код предназначен для записи информации на восьмидорожечной перфоленте и позволяет кодировать 128 символов. Первым четырем дорожкам (1 - 4) приписаны веса двоично-десятичного кода «8», «4», «2», «1», что обеспечивает 16 кодовых комбинаций. Дорожки 5, 6, и 7 являются определяющими. Перфорирование отверстий на дорожках 5 и 6 является признаком десятичных цифр 0 - 9. Буквы латинского алфавита от А до О, выражаемые комбинациями десятичных чисел от 0 до 15 определяется перфорированием дорожки 7. Признак букв Р - Z отверстия на дорожках 5 и 7. таким образом в коде ИСО-7 бит одним и тем же комбинациям первых четырех дорожек с весами «8», «4», «2», «1» соответствуют разные символы, различать которые можно по наличию отверстий на определяющих дорожках.

Помехозащищенность в коде ИСО-7 бит осуществляется построчным контролем на четность, которая обеспечивается введением отверстия на восьмой дорожке, если на семи предыдущих число отверстий нечетное.

Таблица 1 – Значения символов адресов по ГОСТ 20999-83

Символ	Значение
X, Y, Z	Первичная длина перемещения. Параллельно осям соответственно X,Y,Z
A, B, C	Угол поворота соответственно вокруг осей X, Y, Z
U, V, W	Вторичная длина перемещения, параллельного осям соответственно X,Y,Z
P, Q	Третичная длина перемещения, параллельного осям соответственно X,Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичная длина перемещения, параллельно оси Z
G	Подготовительная функция
F, E	Первая (F) и вторая (E) функции подачи

Окончание таблицы 1

S	Функция главного движения
N	Номер кадра
M	Вспомогательная функция
T, D	Первая (T) и вторая (E) функции инструмента
I, J, K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно осям соответственно X, Y, Z
H, L, O	Не определена

Таблица 2 – Значения управляющих символов и знаков по ГОСТ 20999-83 и ГОСТ 19767-74

Символ	Наименование	Значение
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало УП. Используется также для остановки носителя данных при обратной перематке перфоленты
LF (ПС)	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра УП. Перевод строки
:	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр УП.
+ , -	Плюс, минус	Математические знаки (направление перемещения)
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа "Конец кадра" может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления)
()	Круглые скобки : левая. правая	Знаки, обозначающие, что информация, расположенная внутри них, не должна обрабатываться
HT (TT)	Горизонтальная табуляция	Команда предназначена для управлением печати. УЧПУ не воспринимается
NUL (ПУС)	Пусто	Пропуск строки перфоленты
BS (ВШ)	Возврат на шаг	Для управления ЭПМ
CR (ВК)	Возврат каретки	Для управления ЭПМ
SP (ПР)	Пробел	Сдвиг каретки ЭПМ на шаг
KN	Конец носителя	Символ для останова ЭПМ при распечатке УП
DEL (ЗБ)	Забой	Символ забоя информации.

Таблица 3 – Дополнительные символы кода ИСО-7 бит

.	Точка
,	Запятая
’	Апостроф
#	Знак "диез"
*	Звездочка
\$	Знак доллара
&	Знак "коммерческое И"
;	Точка с запятой
<	Открывающаяся угловая скобка
=	Знак равенства
>	Закрывающаяся угловая скобка
?	Вопросительный знак
@	Коммерческий знак "По"
"	Кавычки
⌈	Левая фигурная скобка
⌋	Правая фигурная скобка
DC1	Пуск устройства считывания с ленты
DC2	Указания на перфорацию ленты
DC3	Останов устройства считывания с ленты
DC4	Освобождение перфоратора ленты

Для систем ЧПУ за символами кода ИСО - 7 бит согласно ГОСТ 20999 - 83 закреплены определенные значения, которые используются при кодировании технологической информации:

В некоторых существующих УЧПУ значение символов отличается от ГОСТа.

Структура управляющей программы

При построении УП в коде ИСО - 7 бит в последовательности кадров программы записывается только та геометрическая, технологическая и

вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. Другими словами для большинства команд, представляемых на перфоленте, действительно правило, согласно которому записанная в данном кадре команда не повторяется в последующих кадрах и отменяется лишь другой командой из этой группы или специальной командой отмены, отменяющей все команды данной группы.

Каждая УП должна начинаться символом % -"начало программы", после которого должен следовать символ ПС-"конец кадра". Кадр с символом % не нумеруется. Нумерация кадров программы начинается с последующего кадра.

Любая группа символов, не подлежащая отработке на станке, должна быть заключена в круглые скобки. Внутри скобок не должны применяться символы ПС -"начало программы" и:"главный кадр".

Если необходимо обозначить УП, это обозначение должно находиться непосредственно за символом % перед символом ПС, например % 012 ПС, т.е. программа с условным номером 12.

Местоположение информации, заключенной в скобки в кадре УП, а также возможность записи этой информации в памяти УЧПУ должны быть указаны в технических условиях на УЧПУ конкретного типа.

УП должна заканчиваться символом "конец программы" или "конец информации". Информация, помещенная после этого символа не должна восприниматься УЧПУ.

Перед символом "начало программы" и после символа "конец программы" или "конец информации" на перфоленте рекомендуется оставлять участки с символом ПУС "пусто".

Структура кадров управляющей программы

К структуре кадра предъявляются следующие требования.

1. Каждый кадр должен содержать слово "номер кадра".

Формат лишь для некоторых УЧПУ позволяет это слово не использовать. Далее в кадре приводятся информационные слова или слово. Завершается кадр символом ПС (конец кадра). Использование этого символа, как правило,

обязательно. При необходимости в кадре указывают символы табуляции ГТ. Их проставляют перед любым словом в кадре, кроме слова «номер кадра».

2. Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в определенной последовательности:

- слово (или слова) «подготовительная функция»;
- слово «размерные перемещения», которые рекомендуется записывать в последовательности символов; X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C;
- слово «параметр интерполяции или шаг резьбы»: I, J, K;
- слово (или слова) «функция подачи», которое относится только к определенной оси и должно следовать непосредственно за словом «размерное перемещение» по этой оси. Слово «функция подачи», относящееся к двум и более осям, должно следовать за последним словом «размерное перемещение», к которому оно относится;
- слово «функция главного движения»;
- слово (или слова) «вспомогательная функция».

3. Порядок записи слов с адресами U, V, W, P, Q, R, используемых в значениях, отличных от рассмотренных, и слов с адресами D, E, H должен быть указан в формате конкретного УЧПУ. Значение этих слов и кратность использования их в кадре должны быть указаны в технических условиях на УЧПУ конкретного типа.

4. В пределах одного кадра не должны повторяться слова «размерные перемещения» и «параметр интерполяции или шаг резьбы».

5. В пределах одного кадра не должны использоваться слова «подготовительная функция», входящая в состав одной группы.

6. После символа «главный кадр» в кадре должна быть записана вся информация, необходимая для начала или возобновления обработки. В этом случае символ «главный кадр» должен записываться вместо символа N в качестве адреса в слове «номер кадра». Символ «главный кадр» может быть использован для останова в нужном месте при перематке носителя данных.

7. При реализации режима «пропуск кадра» (например для осуществления наладочных режимов при наладке станка и исключения этих переходов после

окончания наладки) перед символом «номер кадра» и символом «главный кадр» должен записываться символ / (пропуск кадра).

Запись слов в кадрах управляющей программы

Каждое слово в кадре УП должно содержать : символ адреса (латинская прописная буква); математический знак «+» или «-» (при необходимости); последовательность цифр.

Слова в УП могут быть записаны одним из двух способов:

1 - без использования десятичного знака (подразумевается положение десятичной (разрядной) запятой);

2 - с использованием десятичного знака.

При записи слов с использованием десятичного знака те из них, в которых десятичный знак отсутствует, должны обрабатываться УЧПУ как целые числа. Незначащие нули, стоящие до и (или) после знака, могут быть опущены, например запись X.08 означает размер 0,08 мм по оси X; X950 - размер 950,0 мм по оси X.

Размер, представленный одними нулями, должен быть выражен, по крайней мере, одним нулем.

Подразумеваемое положение десятичной запятой должно быть определено в характеристике формата конкретного УЧПУ. При записи слов с подразумеваемой десятичной запятой в некоторых УЧПУ в целях сокращения количества информации допускается опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой. Если форматом УЧПУ допускается опускать последние нули, то нули перед первой значащей цифрой опускать нельзя. Например, размер оси X, равный 258,300 мм, может быть записан (в зависимости от конкретного УЧПУ) по разному:

X00258300 - полная запись, без использования десятичного знака;

X258300 - опущены первые нули, определение размера ведется от младших разрядов;

X002583 - опущены последние нули, определение размера ведется от старших разрядов;

X258.3 - запись с явной запятой.

Размерные перемещения в кадрах УП указываются или в абсолютных значениях или в приращениях. Это и определяет использование в кадрах УП подготовительных функций G90(абсолютный размер) или G91 (размер в приращениях).

В УП для современных УЧПУ все линейные перемещения обычно указываются в миллиметрах и их десятичных долях. Выражение линейных перемещений в дюймах возможно обычно лишь для станков, снабженных УЧПУ моделей зарубежных фирм.

Угловые размеры в УП для современных УЧПУ выражают в радианах или градусах. Для некоторых элементов станков, например для поворотных станков, угловые размеры выражают в десятичных долях оборота.

Если УЧПУ допускает задание размеров в абсолютных значениях (положительных или отрицательных в зависимости от начала координат), то математический знак (“плюс“ или “минус“) является составной частью слова “размерное перемещение“ и должен предшествовать первой цифре каждого размера. Математический знак должен также предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление перемещения, если УЧПУ допускает задание размеров в приращениях.

При задании размеров, как в абсолютных значениях, так и в приращениях математический знак “плюс“ в слове “размерные перемещения“ в некоторых УЧПУ допускается опускать. Это определяется форматом кадра.

Слово “номер кадра“ должно состоять из цифр, количество которых должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Слово “подготовительная функция“ должно быть выражено кодовым числом.

Функция подачи определяет скорость подачи, которую кодируют числом, количество разрядов которого указано в формате конкретного УЧПУ. В современных УЧПУ основным методом кодирования подачи является метод прямого обозначения, при котором применяют следующие единицы величины:

миллиметры в минуту - подача не зависит от скорости главного движения;

миллиметры на оборот - подача зависит от скорости главного движения;

радианы в секунду (градусы в минуту) - подача относится только к круговому перемещению.

Функция главного движения определяет скорость главного движения. Она также кодируется числом, количество разрядов которого должно быть указано в формате конкретного УЧПУ. В современных УЧПУ основным методом кодирования скорости главного движения является метод прямого обозначения,, при котором число обозначает частоту вращения шпинделя в радианах в секунду или оборотах в минуту.

Функция инструмента T используется для выбора инструмента. В ряде УЧПУ слово “функция инструмента“используют и для коррекции инструмента. Если для записи коррекции инструмента используется другой адрес, рекомендуется применить символ D или H.

Количество цифр, следующих за адресами T, D и H , должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Слово “вспомогательная функция“ во всех УЧПУ выражено кодовым числом. Значение и характер записи зависят от классности и модели УЧПУ.

Формат кадра управляющей программы

Каждый конкретный тип УЧПУ характеризуется так называемым форматом, т.е. принятым (рекомендуемым) порядком расположения слов в кадре и структурой каждого слова в отдельности.

В общем случае формат УП должен записываться с соблюдением определенных правил, символы указывают в определенной последовательности. Символы “начало программы“, “главный кадр“ обозначаются в соответствии с ГОСТом. Явная десятичная запятая обозначается символом DS; символ “табуляция“, если он используется, обозначается точкой (.).

Если УЧПУ требует указания символа “конец кадра“, то он обозначается звездочкой (*) в конце формата.

Слова в формате записываются также в определенной последовательности.

За адресом каждого слова “размерное перемещение“ следуют две цифры, первая из которых показывает количество разрядов перед подразумеваемой

десятичной запятой, отделяющей целую часть от дробной, вторая - количество разрядов после запятой. Если можно опустить нули, стоящие перед первой и после последней значащих цифр в слове “размерное перемещение“, то за адресом этого слова должны следовать три цифры. Если опускаются нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то нулем должна быть первая цифра. Если опускаются нули после значащей цифры, то нулем должна быть последняя цифра.

Если абсолютные размеры всегда положительны, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака. Если они или положительные или отрицательные, то между адресом и следующим за ним числом ставят знак “плюс“ (+) или “плюс - минус“ (+, -). В первом случае знак “плюс“ можно опустить, во втором - нет.

За адресом безразмерных слов следует записывать одну цифру, показывающую количество цифр в слове. Если можно опустить нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то за адресом безразмерных слов должны следовать две цифры, первая из которых нуль.

Пример записи формата.

%:/ DSN03G2X+053Y+053Z+042F031S04T05M2*

Данный формат указывает, что УЧПУ, для которого выполняется запись УП, воспринимает символы начала программы (%), главного кадра (:), пропуска кадра (/) и явную десятичную запятую (DS). Ведущие нули при записи кадров УП во всех словах (кроме слов с адресами G и M) разрешается опускать.

В приведенном формате N03 - трехзначный номер кадра. Это означает, что всего в программе можно привести кадры с номерами от N1 до N999. Если бы в формате было указано N3 (без нуля перед цифрой 3), то во все кадрах, где необходимо, обязательно было бы написание нулей как значащих цифр: например N001, N002,... . На перфоленте номер кадра записывается символом N и цифрами. Цифры записываются за символом N в последовательности: сотни, десятки, единицы.

Следующий элемент записи G2 - двузначная подготовительная функция. На перфоленте подготовительная функция указывается адресом G и двумя значащими цифрами.

Элемент записи X+053 - перемещение по оси X со знаком “плюс“ или “минус“. Числовое значение указывают после знака, при этом знак “плюс“ можно опускать. На целую часть значащего числа отводится пять разрядов, на дробную три разряда. В рассматриваемом формате обязательно указание точки (запятой) для разделения целой и дробной частей (на это указывает символ DS). Кроме того, могут не указываться первые нули в числе до запятой и последние в числе после запятой. Например, перемещение по оси X на величину 01280,500 в положительном направлении должно быть записано X1280,5. (Если бы в формате кадра было указано, например X +- 33, и в начале формата не было символа DS, это означало бы, что после адреса X необходимо писать знак (+), а значащие цифры следует указывать полностью как до условной запятой, так и после. Так, если в кадре УП записано X+053280, то это соответствует размерной величине 53,28 мм).

Элемент Y+053 - перемещение по оси Y (здесь справедливо все сказанное о перемещении по оси X).

Элемент Z+042 - перемещение по оси Z со знаком “плюс“ или “минус“. При знаке “плюс“ можно опускать передние и последние нули.

На размерную информацию отводится четыре десятичных разряда до запятой и два после запятой.

Элемент F031 - функция подачи, при этом подача указывается методом прямого обозначения. Значащие цифры - три слева от десятичной запятой и одна справа; нули после запятой и впереди можно опускать.

Следующие элементы записи: S04 - четырехзначная функция главного движения, T05 - функция инструмента, M2 - двузначная вспомогательная функция.

Подготовительные функции

Функции с адресом G, называемые подготовительными, определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Они кодируются от G00 до G99. За каждой из функций закреплено стандартом определенное значение:

G00 - быстрое позиционирование;

G01 - линейная интерполяция;
G02 - круговая интерполяция, движение по часовой стрелке;
G03 - круговая интерполяция, движение против часовой стрелки;
G04 - пауза;
G06 - параболическая интерполяция;
G08 - разгон;
G09 - торможение;
G17-G19 - выбор плоскости XY; XZ; YZ;
G41 - коррекция на фрезу - левая;
G42 - коррекция на фрезу - правая;
G43 - коррекция на положение инструмента - положительная;
G44 - коррекция на положение инструмента - отрицательная;
G53 - отмена заданного смещения;
G54-G59 - заданное смещение;
G80 - отмена постоянного цикла;
G81-G89 - постоянные циклы;
G90 - абсолютный размер;
G91 - размер в приращениях;
G92 - установка абсолютных накопителей положения;
G93 - скорость подачи в функции, обратной времени;
G96 - постоянная скорость резания;
G97 - обороты в минуту.

В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом, это оговаривается конкретной методикой программирования. В общем, подготовительные функции можно разграничить на несколько групп:

G00-G09 команды общего порядка: позиционирование, линейная или круговая интерполяция, ускорение, замедление, пауза;

G10-G39 -особенности непрерывной обработки: выбор осей, плоскостей, видов интерполяции;

G40-G59 - коррекция размеров инструмента без отсчета, смещение осей;

G60-G79 - вид и характер работы: точно, быстро;

G80-G89 - постоянные циклы;

G90-G99 - особенности задания размеров, режимов обработки.

В каждой из рассмотренных групп имеются резервные команды. Уточненные значения команд с адресом G приводятся в конкретных руководствах по программированию для соответствующих моделей УЧПУ. Хотя в применении подготовительных функций в различных УЧПУ встречаются разночтения, существует общий подход к их использованию согласно кодовым значениям.

Функция G00 программируется, если необходимо обеспечить линейное перемещение по одной из координат на ускоренной подаче.

Функция G01 означает, что режим обеспечивает линейную функциональную зависимость между перемещениями по двум координатам, обозначенным соответствующими знаками и числовыми значениями. При этом указывается скорость движения рабочего органа по траектории. В некоторых УЧПУ функцией G01 программируется и линейное перемещение на рабочей подаче, при этом подразумевается, что численное значение перемещения по одной из координат равно нулю. Режим, определенный функцией G, сохраняется до его отмены аналогичной функцией.

Функции G02, G03 (режимы круговой интерполяции по и против часовой стрелки) указываются в программах для УЧПУ, обеспечивающих круговую интерполяцию. Данные по круговой интерполяции зависят от задаваемой подготовительными функциями G17...G19 плоскости интерполяции. Подготовительная функция G17 определяет круговую интерполяцию в плоскости XY с обозначением параметров интерполяции (координат центра) символами I и J. Подготовительные функции G18 и G19 определяют круговую интерполяцию соответственно в плоскости XZ (параметры I, K) и YZ (параметры J, K).

Следует отметить определенную особенность функций G02 и G03. При определенных условиях (изменение направлений осей координат) значение функций меняется на обратное.

Траектория движения инструмента по дуге окружности задается у различных УЧПУ по разному. В общем случае дуга на плоскости может быть определена следующими данными: центром C с координатами X_C и Y_C , радиусом R , начальной точкой P_0 с координатами X_0 и Y_0 , конечной точкой P_1 с координатами X_1 и Y_1 , центральным углом дуги θ и углом α между касательной к начальной точке и осью (Рис. 6.1).

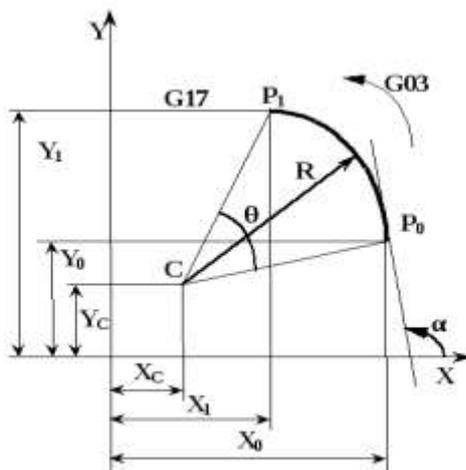


Рис. 6.1

Для того чтобы однозначно определить дугу на плоскости, все эти данные приводить в программе нет необходимости.

В полярной системе координат траектория задается функциями G02 или G03, радиусом R , координатами центра дуги относительно начальной точки т.е. значения I, J (при G17) с соответствующими знаками и углом θ (по адресу C).

В прямоугольной системе координат при задании последних абсолютными размерами наиболее распространен способ задания дуги координатами конечной точки и центра дуги.

Координаты конечной точки P_1 указывают с адресами X и Y , а координаты центра C дуги - с адресами I и J (для плоскости XOY). Для приведенного рисунка функция G03 определяет направление интерполяции. При таком задании параметров интерполятор достаточно просто вычисляет радиус дуги и выдает команды на движение. Кадр на интерполяцию будет иметь вид:

N { i } G17G90G03X { X1 } Y { Y1 } I { Xc } J { Yc } LF

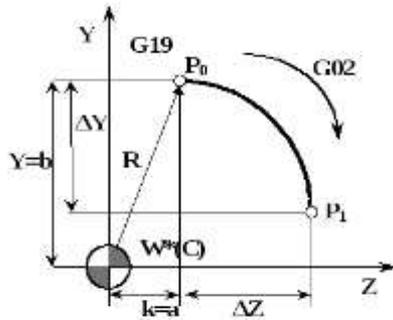


Рис. 6.2

В одном из вариантов задания круговой интерполяции в приращениях, для определения параметров интерполяции центр W^* принятой системы координат условно размещают в центре дуги C . В кадре, задающем интерполяцию, с адресами I и K (для плоскости YOZ) задаются координаты начальной точки P_0 в принятой условной системе координат. Эти координаты определяют проекции радиуса дуги ($RI=aI+ bI$).

По адресам Y и Z будут заданы относительные перемещения по осям от начальной точки P_0 к конечной P_1 с учетом знаков движения относительно направления осей. Для принятого примера кадр, определяющий круговую интерполяцию будет иметь вид:

N { i } G19G91G02Y- { ΔY } Z + { ΔZ } I { b } K { a } LF.

Определенные УЧПУ предусматривают задание в одном кадре информации о части дуги, расположенной только в одном квадранте. Если дуга расположена в двух квадрантах, то она описывается двумя кадрами, если в трех - тремя и т.д. (Рис. 6.3). При размещении дуги в двух квадрантах кадры УП могут иметь следующий вид:

N { I } G18G91G02 X-77.Z-98.I27.K98.Lf

N { i+1 } X+ { ΔX23 } Z- { ΔZ23 } I102.K0.LF

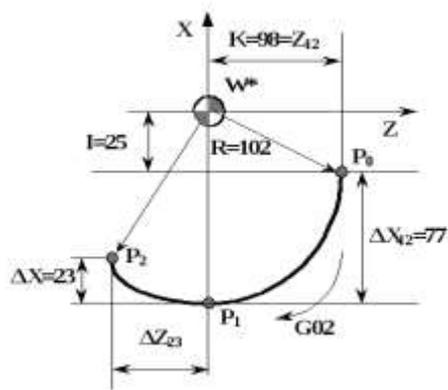


Рис. 6.3

Отметим, что в некоторых УЧПУ после адресов I и K приводятся абсолютные значения величин, т.е. со знаком “плюс”. При векторном способе (Рис. 6.4) под адресами интерполяции указывают численные значения и направления (относительно осей координат) векторов, проведенных из начальной точки дуги в ее центр, и координаты (или приращения) конечной точки дуги. Кадр интерполяции при таком способе может иметь вид:

$N\{i\}G17 G90 G03 X\{X1\} Y\{Y1\} I - \{Ic\} J - \{Jc\} LF.$

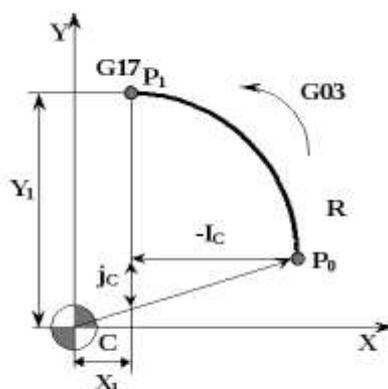


Рис. 6.4

Однако, несмотря на разнообразие способов задания параметров интерполяции все они сводятся к единой общей схеме, обеспечивающей определение радиуса дуги (если он не задан) по заданным элементам I, J, K.

Вспомогательные функции

Вспомогательные команды, задаваемые с адресом M, достаточно многочисленны:

- M00 - программируемый останов;
- M01 - останов с подтверждением (выполняется только при подтверждении с пульта управления);
- M02 - конец программы;
- M03 - вращение шпинделя по часовой стрелке;
- M04 - вращение шпинделя против часовой стрелки;
- M05 - останов шпинделя;
- M06 - смена инструмента;
- M07 - включение охлаждения №2 (например, масляным туманом);
- M08 - включение охлаждения №1 (например, жидкостного);
- M09 - отключение охлаждения (отменяет M07, M08);
- M10 - зажим (подвижных органов станка);
- M11 - разжим;
- M19 - останов шпинделя в заданной позиции;
- M30 - конец информации;
- M49 - отмена ручной коррекции;
- M59 - постоянная скорость шпинделя.

Остальные значения вспомогательных функций стандартом не определены.
Коррекция при программировании.

Схема введения коррекций при программировании УП для многоцелевых станков достаточно разнообразна, что позволяет варьировать имеющиеся методы. Это открывает большие возможности для программирования. Можно считать общепринятым, что в современных УЧПУ величина коррекции (со знаком плюс или минус) вводится с пульта УЧПУ или с перфоленты в память ЭВМ и хранится там в своеобразном списке коррекций с адресом D (линейные или диаметральные размеры) или H (осевые размеры - перемещения). Каждой коррекции присваивается свой номер. Список коррекции может быть задан таким образом:

D01=10мм; D02=15мм; D03=20мм и т.д. Необходимая коррекция в кадре УП обычно вызывается какой либо подготовительной функцией:

- G41 - коррекция слева от контура;
- G42 - коррекция справа от контура;

G45 - увеличение размера по абсолютной величине (величина коррекции прибавляется к заданным в определенном направлении в кадре УП значениям перемещений по осям);

G46 - уменьшение размера по абсолютной величине (величина коррекции вычитается из заданных в определенном направлении в кадре УП значений перемещения по осям);

G47 - увеличение размера по абсолютной величине на удвоенное значение коррекции указанного корректора;

G48 - уменьшение размера по абсолютной величине на удвоенное значение коррекции указанного корректора;

G43 и G44 - определяют направление осевого смещения;

Функции G41 и G42 обычно действуют на группу кадров УП и отменяются функцией G40 (отмена коррекции).

Функции G45 - G48 действуют только в том кадре, где указаны.

ПРИМЕР 1 . Обработка окружности с коррекцией радиуса фрезы.

На корректоре D05 установлено значение радиуса фрезы 10 мм. Фрагмент программы может иметь вид:

N01 G90 G00 X70.ПС

N02 G41 D05 X94.Y25.ПС

N03 G03 X130.Y80. I 70. J80. F500ПС

N04 G02 X130.Y80. I170. J80. F60ПС

N05 G03 X94.Y135. I 70. J80.F500ПС

N06 G00 G40 X70.Y80.ПС

N07 X0 M02ПС.

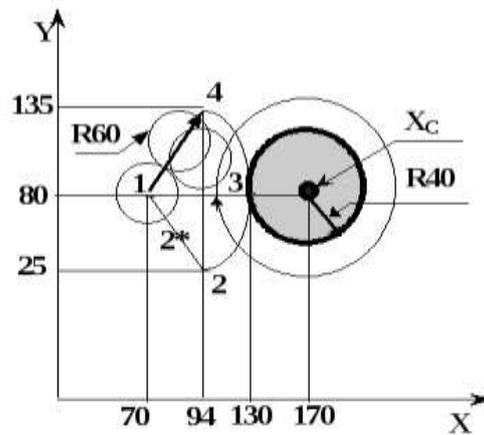


Рис. 6.5

Кадром N01 задается позиционирование в точку 1. Кадр N02 вводит коррекцию (D05) на радиус фрезы слева от контура (G41) и позиционирует в точку 2. Так как вводится коррекция, то фреза становится центром на эквидистанту (в точку 2*). Кадр N03 - на подаче 500 мм/мин фреза по дуге перемещается в точку 3. Кадром N04 задается обработка окружности с центром $X = 170\text{мм}$; $Y = 80\text{мм}$ (адреса I, J).

Кадрами N05, N06 и N07 инструмент возвращается в точку 0.

Та же программа, по приращениям будет иметь следующий вид;

```

N01 G91 G00 X70.ПС
N02 G41 D05 X24.Y-55.ПС
N03 G03 X36.Y55.I-24.J55.ПС
N04 g02 x0.Y0.I 40.J0.ПС
N05 G03 X-36.Y55.I-60.J0.ПС
N06 G00 G40 X-24.Y-55.ПС
N07 X0-70. M02ПС

```

ПРИМЕР 2. Обработка паза с введением коррекции и обеспечением плавной траектории подхода и отхода инструмента.

На корректоре D03 задан радиус фрезы 12мм.

Фрагмент программы в абсолютных размерах:

```

N1 G90 G17ПС

```

N2 G41 D03ПC

N3 G03 X95.Y90. I 95.J50.F200ПC N4 G01 X45. F40ПC

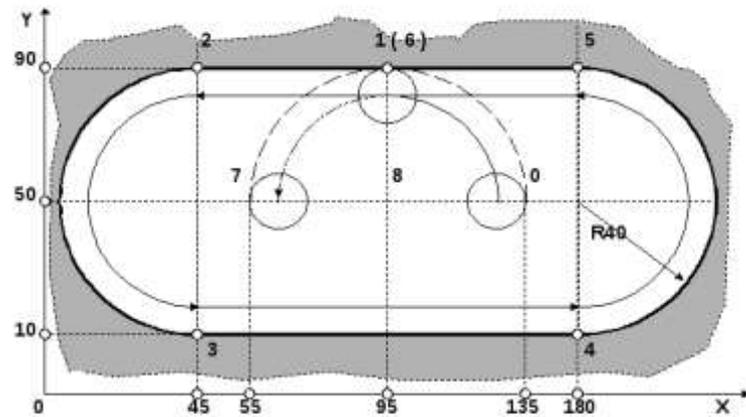


Рис. 6.6

N5 G03 Y10. I 50.ПC N6 G01 X180.ПC N7 G03 Y90. I 180.J50.ПC N8 G01
X95.ПC N9 G03 X55.Y50. I 95.J50.F200ПC

N10 G0 G40 X95.M02ПC.

7 РАЗРАБОТКА СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Обработка отверстий является одной из наиболее трудоемких операций. Это связано с особенностями процесса резания: затруднен подвод СОЖ к режущим лезвиям, вывод стружки, недостаточная жесткость режущего инструмента невозможность непосредственного наблюдения за резанием

При этом в большом количестве деталей время обработки, приходящееся на обработку отверстий, доходит до 80%.

Отметим, что не все отверстия могут быть обработаны на станках с ЧПУ. Одним из ограничений является длина отверстия.

Процессы обработки отверстий

Конфигурация любого отверстия может быть сформирована из основных и дополнительных элементов.

Основные элементы отверстий могут быть глухими и сквозными. Дно глухого отверстия может иметь плоский или произвольный характер. Большинство основных элементов составляют плоские цилиндрические отверстия от 7 ... 13 квалитетов. Рисунки 7.1-7.9 (гладкие сквозные с фаской и без фаски, глухие, конические глухие и сквозные с резьбой и без нее).

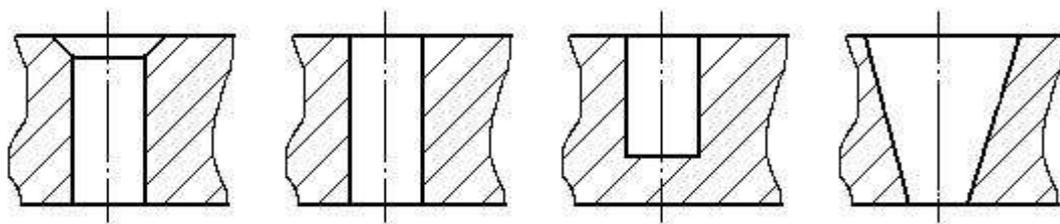


Рис. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4

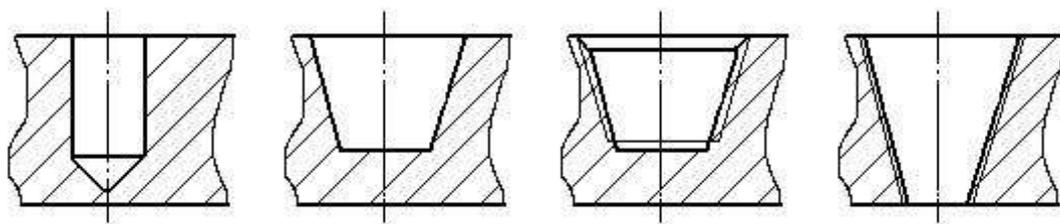


Рис. 7.5, 7.6, 7.7, 7.8

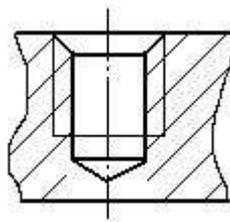


Рис. 7.9

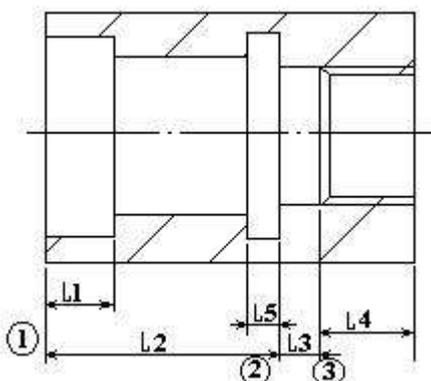


Рис. 7.10

Дополнительные элементы отверстий: фаски, углубления прямоугольного профиля со свободными размерами, наружные и внутренние торцы, требующие обработки, канавки и т.д.

Заготовки трех типов: сплошная, с литым отверстием, с предварительно обработанным отверстием. Из простых отверстий составлены сложные. Каждое отверстие отделяется друг от друга торцовыми поверхностями (рис. 7.10). Торцы обычно нумеруются (от которых производится отсчет размеров при обработке). Каждая выделенная ступень может быть обработана за один или несколько проходов.

Типовые переходы при обработке отверстий

Как правило, имеется определенная последовательность обработки (рис. 7.11 – 7.18), которая включает следующие типовые действия:

1. Позиционирование стола в плоскости X, Y;
2. Быстрый подвод инструмента вдоль оси Z в начальную точку;
3. Рабочий ход (чаще всего в режиме постоянного цикла);
4. Возврат в начальную точку;
5. Позиционирование или смена инструмента.

Недобег L_1 обычно принимается $1...3$ мм, величина перебега L_2 зависит от рабочего конуса инструмента, и принимается равной длине режущей части инструмента + 1 мм запаса. Характер движения инструмента от начальной точки до точки выхода и обратно зависит от типа применяемого постоянного цикла.

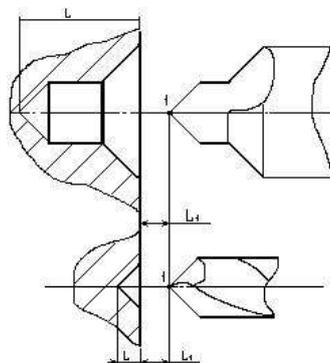


Рис. 7.11 – Центрование

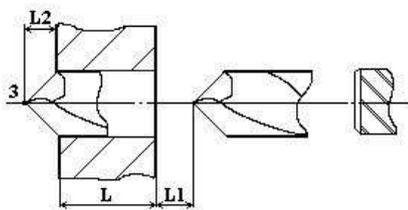


Рис. 7.12 – Сверление или зенкерование на проход

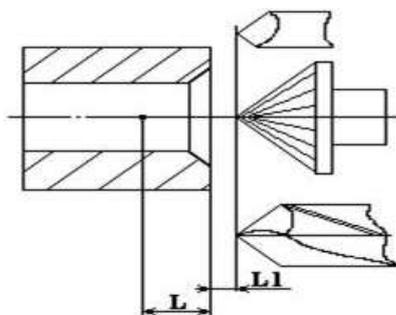


Рис. 7.13 – Зенкование

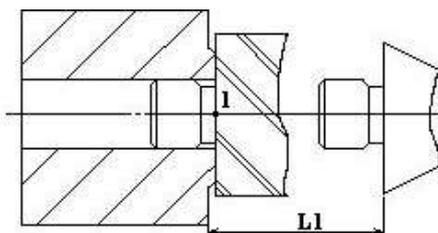


Рис. 7.14 – Цекование. подрезка торца

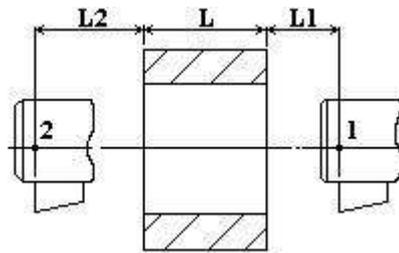


Рис. 7.15 – Растачивание на проход

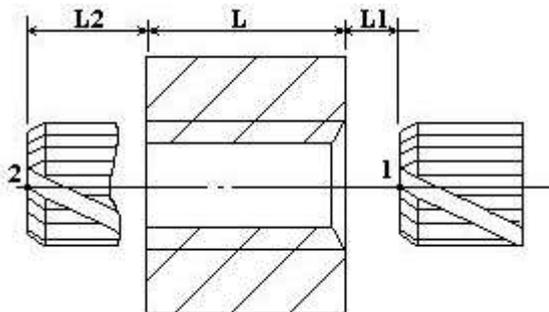


Рис. 7.16 – Нарезание резьбы метчиком

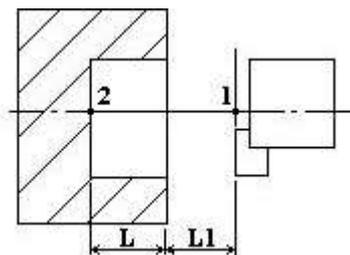


Рис. 7.17 – Растачивание в упор

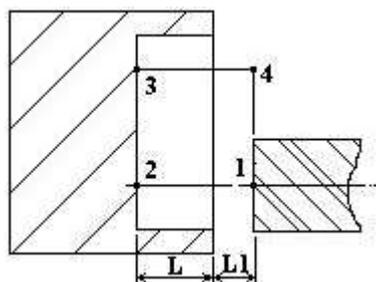


Рис. 7.18 – Фрезерование концевой фрезой

Последовательность обхода отверстий инструментами

После проектирования операций обработки отверстий, назначается последовательность их обхода инструментами.

Порядок обхода бывает последовательный или параллельный.

Последовательный – каждое отверстие обрабатывают всеми инструментами, затем после изменения позиции обрабатывают следующее отверстие.

Параллельный – каждый инструмент обходит все отверстия, подлежащие обработке этим инструментом, затем его меняют и цикл повторяется.

Выбор метода связан с минимизацией холостых ходов. Исключения бывают если метод определяется технологическими условиями обработки, например при обработке отверстий 7-9 го квалитетов с жесткими межцентровыми расстояниями (менее 0,2 мм), здесь целесообразно первые переходы(центрирование, сверление, зенкование) выполнять параллельно, а заключительные – последовательно, без перемещения детали.

Для решения задачи минимизации времени холостых ходов получим требуемые зависимости:

$$T_x = \tau \Sigma + \theta \Sigma$$

$\tau \Sigma$ - время на смену инструмента;

$\theta \Sigma$ - время на перемещение при позиционировании

При параллельном методе каждый инструмент меняют один раз, поэтому

$$\tau \Sigma = m \tau$$

m- число инструментов

τ – среднее время смены одного инструмента

Время обхода отверстия одним набором инструментов

$$\theta \Sigma = m \theta$$

θ -время обхода всех отверстий одним инструментом

Таким образом, общее время при параллельном методе

$$T_{\text{пар}} = m(\tau + \theta)$$

При последовательном переходе каждый инструмент меняют столько раз, сколько всего отверстий (n) в группе.

$$t = nm \cdot \tau_{\text{см}}$$

а время обхода комплектом инструментов всех отверстий будет

$$\theta \Sigma = \theta$$

т.к. обход осуществляется один раз.

Суммарное время на холостые перемещения при последовательном методе

$$T_{\text{посл}} = nmt + \theta$$

Введем коэффициент:

$$K = \frac{T_{\text{пар}}}{T_{\text{посл}}} = \frac{(1 + R)}{\left(n + \frac{R}{m}\right)}$$

$$K = \theta / \tau$$

Если $k > 1$ – то предпочтение отдается параллельному методу

$k < 1$ – последовательному

Тогда общее время обхода группы отверстий:

$$\theta = n t_{\text{рт}} + (\sum \epsilon_{\text{рт}} n) / V_y$$

n - число отверстий в группе

$t_{\text{рт}}$ – суммарное время на разгон и торможение

\sum - длина пути обхода отверстий в группе

$\epsilon_{\text{рт}}$ – суммарный путь на разгон и торможение

V_y – средняя скорость ускоренного перемещения

Типовые переходы при обработке отверстий

Технологические переходы обработки отверстий выполняются по типовым схемам, которые имеют ряд общих признаков:

1. Большинство переходов осуществляется за один проход. Многопроходная обработка применяется обычно для сверления глубоких отверстий при соотношении длины отверстия к диаметру $\frac{l}{d} \geq 3$.

2. Траектория движения инструмента в пределах одного прохода состоит из участков рабочего и вспомогательного хода. Рабочий ход включает недоход, участок резания и перебег (при обработке глухих отверстий перебег отсутствует).

3. Недоход принимают обычно равным 1...3 мм для предварительно обработанных поверхностей и 5...10 мм для необработанных поверхностей.

4. Перебег зависит от размера рабочего конуса инструмента и принимается больше его длины на 1...3 мм.

5. На участке резания траектория движения инструмента может иметь промежуточные опорные точки, которые характеризуются изменением частоты вращения шпинделя и величины подачи, либо выполнением включения-выключения или реверса вращения шпинделя.

6. Вспомогательный ход включает быстрый подвод инструмента к обрабатываемому отверстию и его возврат в исходную точку.

На выбор последовательности переходов при обработке отверстий может оказать влияние ряд следующих факторов: конфигурация отверстий; допустимые отклонения диаметров и относительного положения осей отверстий; число групп одинаковых отверстий; возможности станка с ЧПУ. Возможности станка с ЧПУ при этом характеризуются точностью и продолжительностью позиционирования стола, временем смены инструмента, а также числом позиций револьверной головки или емкостью инструментального магазина.

Общую последовательность выполнения переходов для всей совокупности обрабатываемых отверстий в каждом конкретном случае следует выбирать исходя из допусков на межцентровые расстояния, а также из условия сведения к минимуму времени на вспомогательные перемещения и смену инструмента. При этом различают две типовые схемы обхода отверстий:

1. Параллельная схема обхода - заключается в том, что одним инструментом обрабатываются все одинаковые отверстия, затем производится смена инструмента, и цикл обработки повторяется.

2. Последовательная схема обхода - заключается в том, что каждое отверстие обрабатывается полностью по всем переходам в одной позиции стола. Затем производится позиционирование и выполняется полная обработка следующего отверстия.

От варианта схемы обхода отверстий существенно зависит переменная доля технологической нормы времени, которая складывается из продолжительности позиционирования и времени смены инструментов. Обработка одинаковых отверстий с небольшим количеством переходов производится обычно по первому варианту.

Последовательная схема обхода предпочтительна для отверстий с жестким допуском на межцентровые расстояния, для окончательных переходов (развертывание, нарезание резьбы). Последовательная схема обхода осуществляется также для основных отверстий, требующих выполнения большого числа переходов (отверстия сложной формы и отверстия высокой степени точности). Используя последовательную схему для обработки таких отверстий можно исключить погрешность позиционирования.

Последовательность позиционирования определяется выбором кратчайшего пути обхода отверстий. При этом учитывается модель станка и возможный характер перемещений исполнительных органов: по каждой координате отдельно или одновременно по двум, трем координатам.

Состав операций и общее количество переходов обработки отверстий зависит от конкретных производственных условий. Для определения количества переходов также можно воспользоваться таблицами средне-экономической точности.

СРЕДНЯЯ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ И ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

СПОСОБ ОБРАБОТКИ	КВАЛИТЕТ	ПАРАМЕТР ШЕРОХОВАТОСТИ
В СПЛОШНОМ МЕТАЛЛЕ		
СВЕРЛЕНИЕ	14...12	Ra 6,3
СВЕРЛЕНИЕ И ЗЕНКЕРОВАНИЕ	11	Ra 6,3...3,2
СВЕРЛЕНИЕ И РАЗВЁРТЫВАНИЕ	9...8	Ra 3,2...1,6
СВЕРЛЕНИЕ И ПРОТЯГИВАНИЕ	9...8	Ra 3,2...0,4
СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАЗВЁРТЫВАНИЕ	9...8	Ra 1,6...0,8
СВЕРЛЕНИЕ И ДВУКРАТНОЕ РАЗВЁРТЫВАНИЕ	8...7	Ra 1,6...0,4
СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ И ДВУКРАТНОЕ РАЗВЁРТЫВАНИЕ	8...7	Ra 0,8...0,4
СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ И ШЛИФОВАНИЕ	8...7	Ra 0,8...0,4
СВЕРЛЕНИЕ, ПРОТЯГИВАНИЕ И КАЛИБРОВАНИЕ	8...7	Ra 0,8...0,4
В ЗАГОТОВКАХ С ОТВЕРСТИЕМ		
ЗЕНКЕРОВАНИЕ ИЛИ РАСТАЧИВАНИЕ	12	Ra 6,3...3,2
РАССВЕРЛИВАНИЕ	14...12	Ra 25...6,3
ДВУКРАТНОЕ ЗЕНКЕРОВАНИЕ ИЛИ ДВУКРАТНОЕ РАСТАЧИВАНИЕ	11	Ra 12,5...6,3
ЗЕНКЕРОВАНИЕ ИЛИ РАСТАЧИВАНИЕ И РАЗВЁРТЫВАНИЕ	9...8	Ra 3,2...1,6
ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАСТАЧИВАНИЕ	9...8	Ra 6,3...3,2
ДВУКРАТНОЕ ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАЗВЁРТЫВАНИЕ ИЛИ ДВУКРАТНОЕ РАСТАЧИВАНИЕ И РАЗВЁРТЫВАНИЕ	9...8	Ra 1,6...0,8
ЗЕНКЕРОВАНИЕ ИЛИ РАСТАЧИВАНИЕ И ДВУКРАТНОЕ РАЗВЁРТЫВАНИЕ	8...7	Ra 0,8...0,4
ЗЕНКЕРОВАНИЕ ИЛИ ДВУКРАТНОЕ РАСТАЧИВАНИЕ И ДВУКРАТНОЕ РАЗВЁРТЫВАНИЕ ИЛИ ТОНКОЕ РАСТАЧИВАНИЕ	8...7	Ra 0,8...0,2
ЗЕНКЕРОВАНИЕ ИЛИ ДВУКРАТНОЕ РАСТАЧИВАНИЕ И ХОНИНГОВАНИЕ	8...7	Ra 0,1...0,05
ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАСТАЧИВАНИЕ, ТОНКОЕ РАСТАЧИВАНИЕ И ХОНИНГОВАНИЕ	8...7	Ra 0,1...0,025
ПРОТЯГИВАНИЕ И ШЛИФОВАНИЕ	8...7	Ra 0,8...0,2

Единичные циклы обработки отверстий

При обработке отверстий на станках с ЧПУ удобно использовать постоянные циклы, которые представляют собой небольшие подпрограммы. В позиционных и контурных системах ЧПУ постоянные циклы постоянно находятся в памяти УЧПУ, и для их активизации требуется задать несколько формальных параметров. Обычно все постоянные циклы реализуются по аналогичной схеме – быстрое позиционирование стола в плоскости XY, быстрый подвод инструмента к обрабатываемой поверхности вдоль оси Z, перемещение инструмента от точки начала обработки в конечную точку на рабочей подаче и возвращение инструмента в начальную точку. Характер движения инструмента между начальной и конечной точками зависит от вида постоянного цикла.

До задания формальных параметров постоянного цикла рекомендуется выполнять очистку оперативной памяти СЧПУ, для чего используется подготовительная функция G80 – отмена постоянного цикла, очистка оперативной памяти. Эта же команда в ряде СЧПУ отводит инструмент в позицию смены.

Цикл G81 – сверление (зенкерование) на проход. При сверлении на проход, инструмент совершает рабочий ход вдоль оси Z. В конце рабочего хода вращение шпинделя прекращается, и на быстром ходу инструмент возвращается в начальную точку.

Цикл G82 – зенкование (цекование) в упор. При необходимости выполнить обработку в упор, применяется постоянный цикл G82. Он отличается от предыдущего тем, что в конце рабочего хода инструмент выдерживается с вращением без подачи. При этом подчищается торец или конус. Схемы постоянных циклов сверления на проход и в упор показаны на рисунке 7.19.

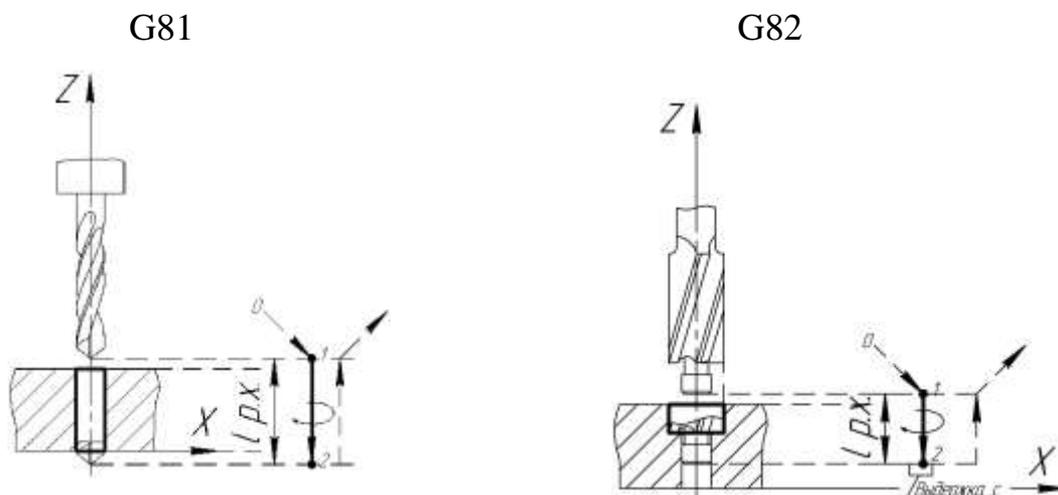


Рис. 7.19 – Постоянный цикл G81 сверления на проход (слева), и G82 зенкования с выдержкой в конце рабочего хода для подрезки торца (справа)

Цикл G83 – глубокое сверление. Для сверления отверстий с соотношением глубины к диаметру $\frac{l}{d} \geq 3$ применяется постоянный цикл глубокого сверления с периодическим выводом сверла из отверстия. Такой способ получения глубоких отверстий в сплошном металле позволяет избавляться от стружки в процессе сверления и охлаждать режущую часть сверла при выходе инструмента на поверхность, что повышает его стойкость. При реализации данного цикла каждый рабочий ход может иметь как равную длину, так и переменную.

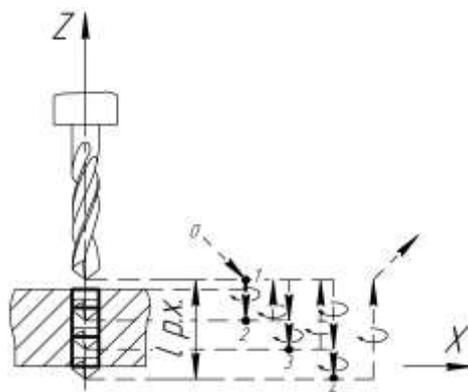


Рис. 7.20 – Постоянный цикл G83 «глубокое сверление»

Цикл G84 – нарезание резьбы метчиком. При нарезании резьбы метчиком, движение инструмента вдоль оси производится на рабочей подаче, с изменением направления вращения на противоположное в конце рабочего хода. Схема данного постоянного цикла показана на рисунке 7.20.

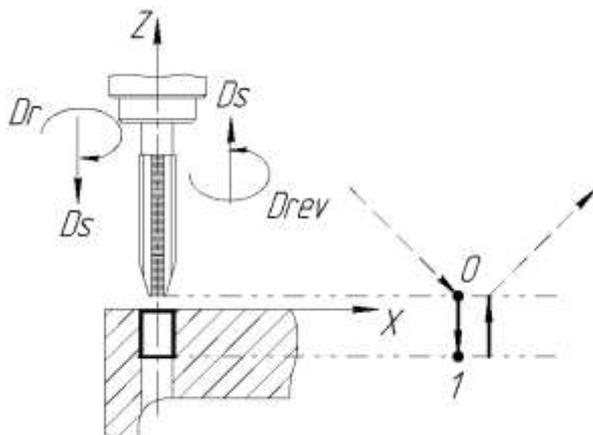


Рис. 7.20 – Схема постоянного цикла G84 нарезания резьбы метчиком

Цикл G85 – предварительное развертывание или растачивание. При выполнении данного цикла инструмент движется как в прямом, так и в обратном направлении на рабочей подаче с вращением.

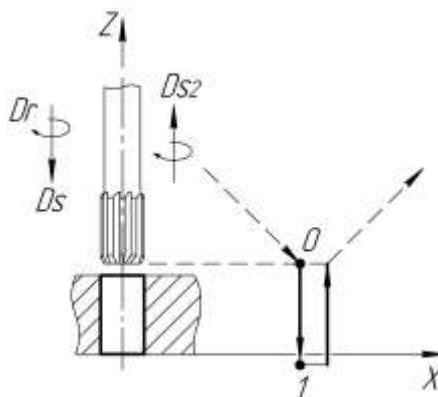


Рис. 7.21 – Схема постоянного цикла G85 предварительное развертывания или растачивания

Постоянные циклы растачивания предусматривают позиционирование, рабочий ход, и вывод инструмента в начальную точку. В зависимости от вида

расточивания – черновое или чистовое, вывод инструмента в начальную точку может выполняться вручную или автоматически. Вручную инструмент возвращается в исходное положение при чистовом растачивании.

Цикл G86 – черновое растачивание на проход. При выполнении данного цикла инструмент движется в прямом направлении на рабочей подаче с вращением, а возвращается в начальную точку на быстром ходу без вращения. В результате на обработанной поверхности может остаться царапина.

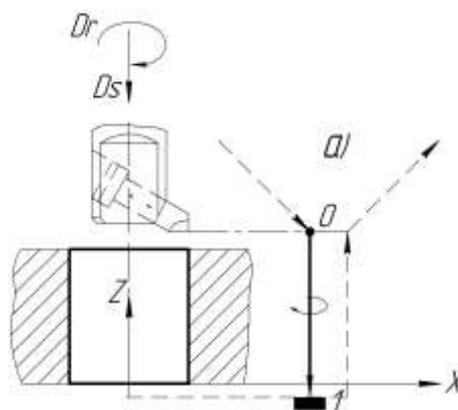


Рис. 7.22 – Схема постоянного цикла G86 чернового растачивания

Цикл G87 – чистовое растачивание на проход. В конце рабочего хода вращение шпинделя выключается. Выход на поверхность осуществляется вручную. При этом, вершину инструмента предварительно отводят от обработанной поверхности отверстия. Это позволяет исключить образование царапины, которая осталась бы при автоматическом выводе резца в начальную точку.

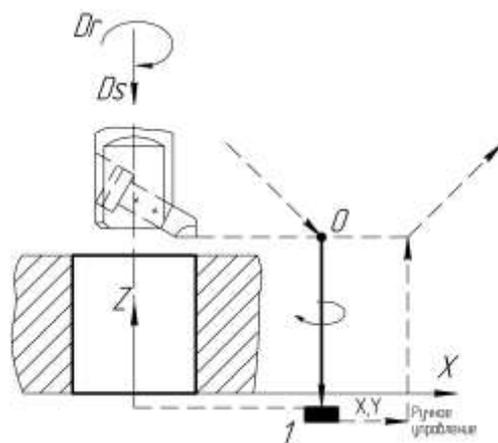


Рис. 7.23 – Схема постоянного цикла G87 чистового растачивания на проход

Цикл G88 – чистовое растачивание в упор. В конце рабочего хода выключается подача, инструмент некоторое время вращается без подачи, затем шпиндель останавливается полностью. Выход на поверхность осуществляется вручную. При этом, вершину инструмента предварительно отводят от обработанной поверхности отверстия. Это позволяет исключить образование царапины, которая осталась бы при автоматическом выводе резца в начальную точку.

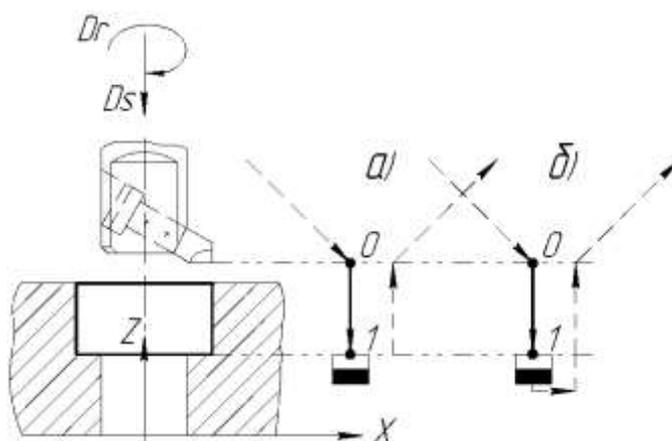


Рис.7.24 – Схема постоянного цикла растачивания в упор:
 а) с полностью автоматическим управлением;
 б) цикл G88 с ручным управлением при выполнении обратного хода

Цикл G89 – чистовое развертывание. При выполнении данного цикла в конце рабочего хода подача выключается, инструмент некоторое время вращается без подачи, выполняя калибровку отверстия, а затем движется в обратном направлении на рабочей подаче с вращением в начальную точку.

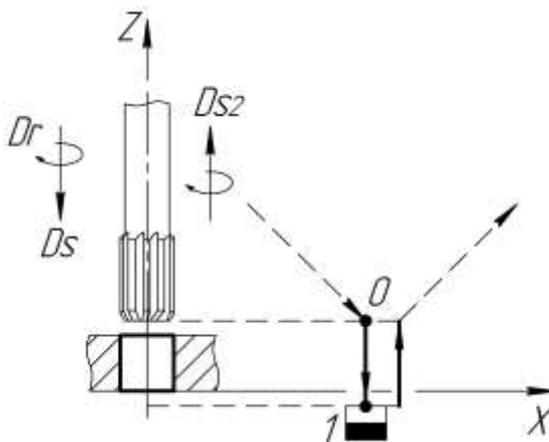


Рис.7.25 – Схема постоянного цикла G89 чистового развертывания

Методы выбора маршрута инструмента при обходе отверстий в процессе обработки

Задача состоит в обходе n точек один раз при минимальной длине пути. Данная задача отличается трудностью вычислительного характера при всей своей простоте постановки. Разработан ряд точных методов нахождения оптимального пути не прибегая к перебору вариантов. Наиболее известные из них: целочисленные и динамическое программирование, метод ветвей и границ.

Простейший эвристический подход: «иди в ближайшую, не пройденную точку».

Для n точек этот алгоритм требует n^2 арифметических операций.

Усовершенствованный алгоритм состоит из «к» - кратного повторения с выбором каждый раз другой начальной новой точки. В качестве оптимального выбирается лучший из n вариантов. Эти два метода дают достаточно хороший способ для малого числа точек ($n \leq 20$).

Другой рэндомизированный вариант: переход из *i*-той точки производится не в ближайшую, а в случайную, ранее не проходимую. При этом вероятность перехода взвешена в соответствии с расстоянием: чем ближе точка, тем выше вероятность перехода.

Пример разработки ТП и УП

Обход отверстий выполняем по *параллельной схеме*. Последовательность переходов:

О – 1. Сверлить отверстия 1, 2, 3, 4 Ø11 на проход, выдерживая размеры: 95*, 25, 100*, 20, 175*;

Т – ВИ. Втулка переходная ГОСТ XXX; РИ. Сверло Ø11 ГОСТ XXX; СИ. Калибр пробка ГОСТ XXX; СИ. Мастер-плита Спец.;

Для коррекции на длину первого инструмента Т1 используем корректор Н1, которому присвоено число 90, равное длине вылета первого инструмента. Наладочный размер по оси Z для сверла будет: 600-32-90=478;

	ПИ	Д или В	L	t	i	s	n	v
Р	1	11	22/30	5,5	2/2	0,25	630	21

О – 2. Зенкеровать отверстия 4, 1 Ø16Н11 на проход, выдерживая размеры: 95*, 25, 175*;

Т – ВИ. Втулка переходная ГОСТ XXX; РИ. Зенкер Ø16 ГОСТ XXX; СИ. Калибр пробка ГОСТ XXX; СИ. Мастер-плита Спец.;

Для коррекции на длину второго инструмента Т2 используем корректор Н2, которому присвоено число 88, равное длине вылета второго инструмента. Наладочный размер по оси Z для зенкера будет: 600-32-88=480;

	ПИ	Д или В	L	t	i	s	n	v
Р	2	16	20	2,5	2	0,2	500	25

О – 3. Зенковать отверстия 2, 3 Ø17 на глубину 4, выдерживая размеры: 100*, 20;

Т – ВИ. Втулка переходная ГОСТ XXX; РИ. Зенковка Ø17 ГОСТ XXX; СИ. Калибр пробка ГОСТ XXX; СИ. Щуп Спец.;

Для коррекции на длину третьего инструмента ТЗ используем корректор НЗ, которому присвоено число 36, равное длине вылета третьего инструмента. Наладочный размер по оси Z для зенковки будет: $600-32-36=532$;

	ПИ	D или B	L	t	i	s	n	v
P	3	17	6	3	2	0,15	400	21

Некоторые программные коды:

Технологические: S – скорость главного движения (частота вращения шпинделя, мин^{-1}); F – подача, (мм/об, мм/мин);

T – функция инструмента; H – функция корректора;

Подготовительные G:

G43, G44 – коды осепараллельной коррекции;

G59 – код смещения нуля;

G60 ... G64 – коды позиционирования;

G80 ... G89 – коды постоянных циклов обработки вдоль оси Z;

G90, G91 – коды способа отсчета координат (абсолютн./относит.);

Вспомогательные M:

M01 – останов с подтверждением;

M02 – полный останов, конец программы;

M03 – вращение шпинделя по часовой стрелке;

M04 – вращение шпинделя против часовой стрелки;

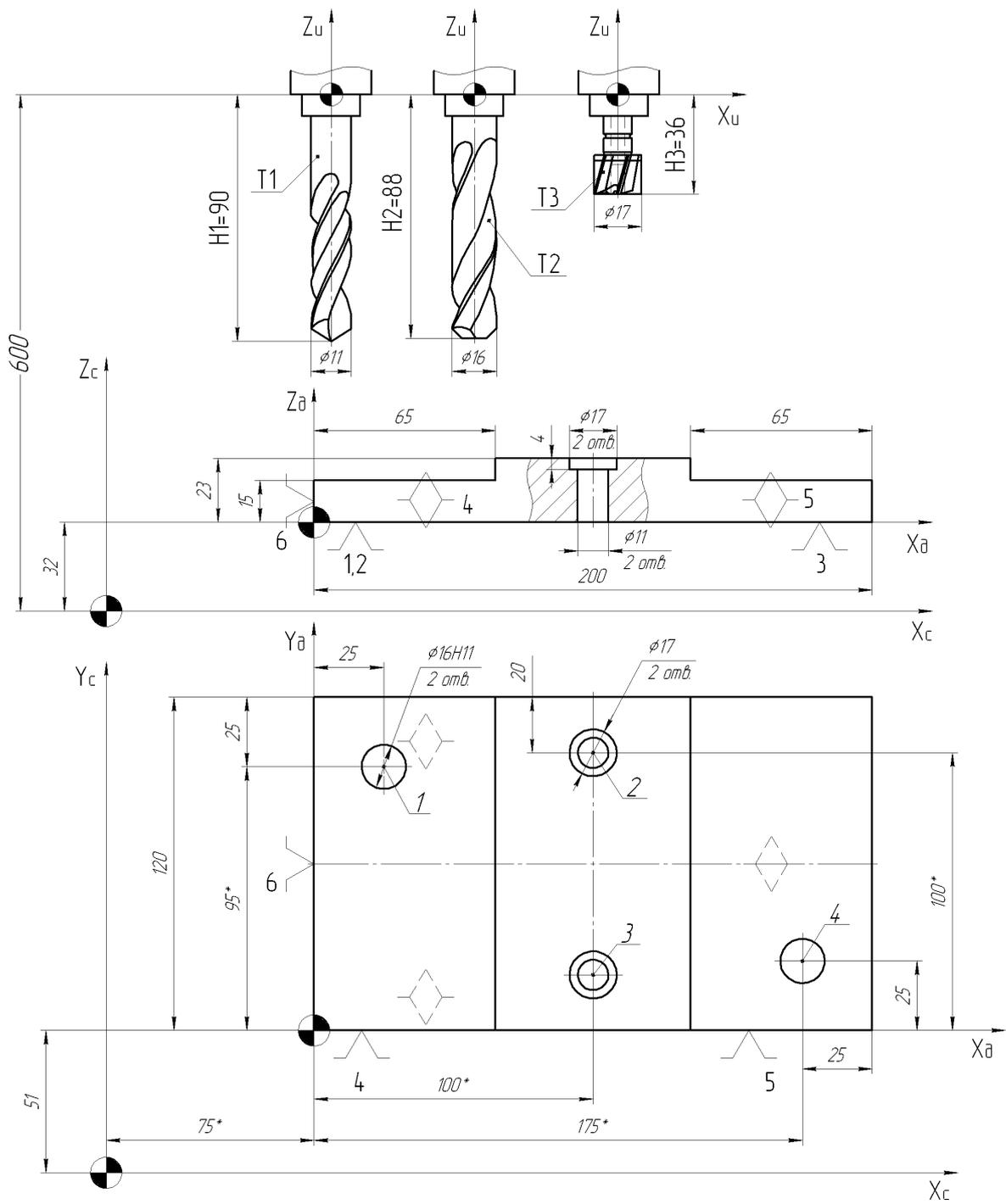


Рисунок 7.26 – Расчетно-технологическая карта

8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

При изготовлении деталей на токарных станках с ЧПУ геометрические элементы и соответствующие им обрабатываемые поверхности заготовки принято делить на основные и дополнительные. К основным элементам контура принадлежат поверхности, которые могут быть обработаны резцом для контурной обработки (рис.8.1), с главным углом в плане $\varphi=93^\circ\dots95^\circ$, и вспомогательным углом в плане $\varphi_1 = 30^\circ$ (проходные резцы при обработке наружных и торцовых поверхностей и расточные – для внутренних).

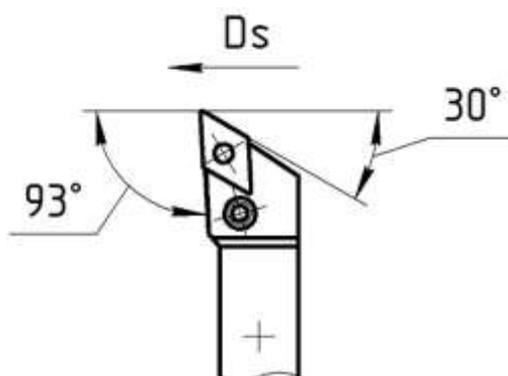


Рис.8.1 – Токарный проходной резец для контурно точения

Одной из особенностей технологического проектирования на станках с ЧПУ является широкое применение типовых схем движения инструмента, которые реализуются в виде подпрограмм. Использование типовых схем обработки предполагает объединение поверхностей детали по определённому конструктивному признаку. Наиболее крупное из таких объединений – это так называемые зоны обработки.

С учетом конфигурации обрабатываемого контура различают три зоны обработки – открытые, полуоткрытые и закрытые (рис.8.2). Вид зоны накладывает ограничения на углы резца в плане и выбор схем переходов.

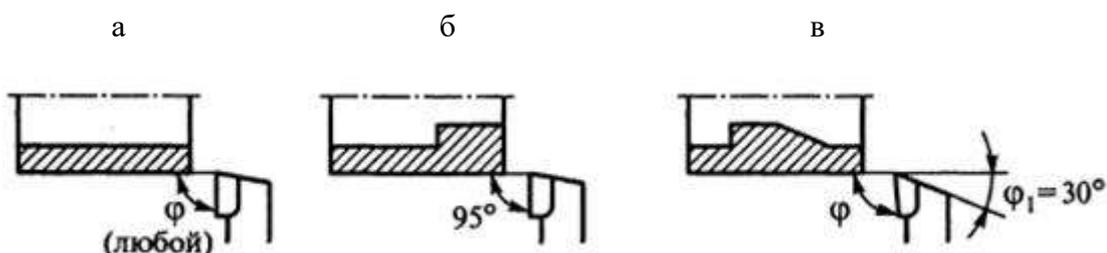


Рис.8.2 – Зоны токарной обработки: а - открытая; б - полуоткрытая; в – закрытая

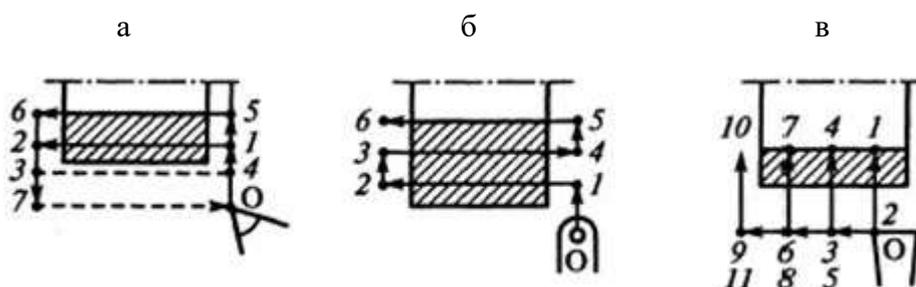


Рис.8.3 – Элементарные схемы движения инструмента при выполнении токарной обработки: а – петля; б – виток(зигзаг); в – спуск

При подготовке УП используют типовые схемы переходов токарной обработки основных поверхностей.

По схеме «петля» (рис. 8.3, а) после рабочего хода 1-2 резец отводится от обработанной поверхности на 0,5 мм (в точку 3) и быстро возвращается назад (в точку 4). Затем аналогично выполняются остальные циклы. Эту схему применяют при обработке открытых и полуоткрытых зон.

По схеме «виток» (или «зигзаг») резец работает на прямой и обратной подаче (рис. 8.3, б). Схему можно применять при обработке зон всех видов.

По схеме «спуск» припуск снимается при радиальном перемещении резца (рис. 8.3, в). Схему часто используют при черновых переходах для закрытых зон.

Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон

- Черновая схема с подборкой -

Построение схем движения инструмента при удалении чернового припуска выполняется с учётом максимально возможной формализации управления движением исполнительного органа станка. Данные схемы движения инструмента для большинства СЧПУ являются типовыми, и реализуются в виде стандартных подпрограмм. Из формальных параметров, задаваемых в управляющей программе для черновой обработки, обычно указываются черновая глубина резания, подача, частота вращения шпинделя и припуск под чистовую обработку. Поэтому после указания координат опорных точек чистового контура детали система автоматически определяет необходимое количество черновых проходов. При обработке полу- открытых зон наиболее часто применяются типовые схемы: 1) Черновая с подборкой; 2) Черновая с полу- чистовым зачистным ходом; 3) Контурная; 4) Эквидистантная.

Черновая схема с подборкой как включает следующие основные движения инструмента (рисунок 8.4).

1. Выполняется проход параллельно оси заготовки с заданной черновой глубиной резания от точки начала обработки до чистового контура.

2. Выполняется проход вдоль чистового контура с перебегом относительно предыдущего чернового прохода $\approx 0,5$ мм. По данной схеме в пределах одного цикла совмещается предварительная и получистовая обработка. Точность диаметральных размеров до IT12, параметр шероховатости Ra10.

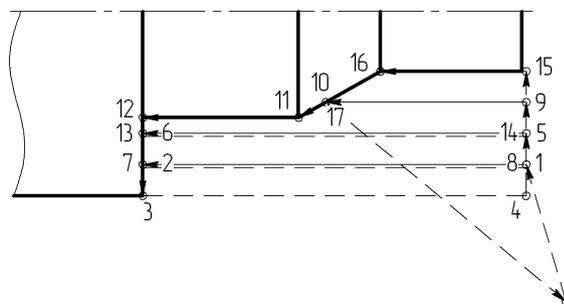


Рис.8.4 – Черновая схема с подборкой

- Черновая схема с полуцистовым зачистным ходом -

Черновая схема с полуцистовым зачистным ходом включает следующие основные движения инструмента.

1. Выполняется проход параллельно оси заготовки с заданной черновой глубиной резания от точки начала обработки до чистового контура.
2. Выполняется отскок инструмента от контура под углом 45° к осям X, Z приблизительно на 0,5 мм.
3. Инструмент петлёй возвращается на исходную позицию, затем смещается на заданную глубину резания для очередного прохода параллельно оси заготовки.

После завершения черновых проходов с заданной глубиной резания $t_{\text{ЧЕРН}}$ выполняется полуцистовой проход вдоль всего чистового контура с переменной глубиной резания, таким образом, выравнивается припуск под чистовой проход.

По данной схеме в пределах одного цикла совмещается предварительная и полуцистовая обработка. Точность диаметральных размеров до IT11, параметр шероховатости Ra10.

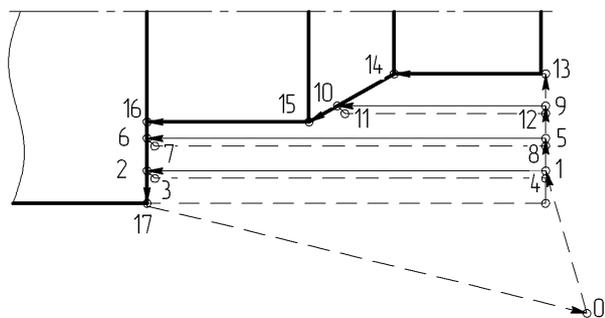


Рис.8.5 – Черновая схема с лучистовым зачистным ходом

- Контурная схема -

Контурная схема применяется при обработке заготовок с фасонным профилем (поковки, отливки, п.к.п). При реализации этой схемы инструмент движется по замкнутому контуру, повторяющему обрабатываемый контур на последнем проходе. После каждого контурного прохода выполняется смещение инструмента по координатам X, Z и цикл повторяется.

Для того, чтобы на последнем контурном проходе правильно вывести инструмент на торец первой ступени, в УП задают виртуальную ступень (показана тонкой линией). Недостаток данной схемы – значительная протяженность холостых ходов на рабочей подаче.

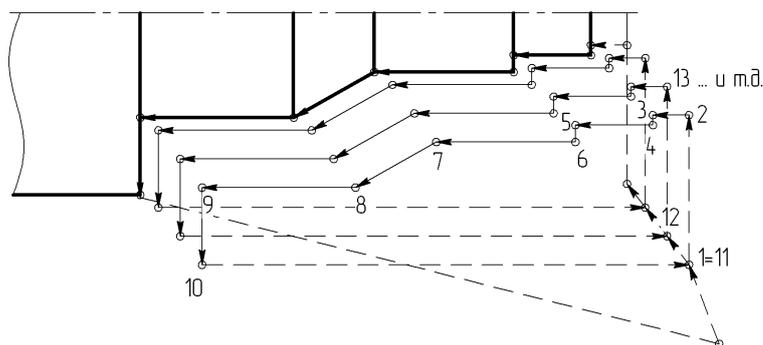


Рис.8.6 – Контурная схема

- Эквидистантная схема -

Эквидистантная схема показана на рисунке 8.7. В соответствии с этой схемой инструмент при удалении напуска совершает прямолинейные ходы, параллельные

оси заготовки. На последних двух проходах инструмент движется по эквидистанте к обрабатываемой поверхности. Для реализации данной схемы обычно применяются проходные контурные резцы с главным углом в плане 93° .

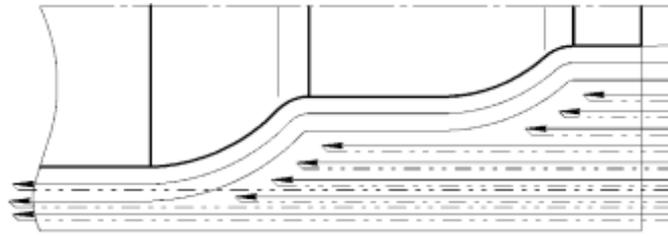


Рис.8.7 – Эквидистантная схема удаления припуска из полуоткрытой зоны

Оценка производительности и применимости основных схем удаления чернового припуска

1. Наибольшую производительность обеспечивает схема «виток» (рис. 8.3б), т.к. ходы инструмента, как в прямом, так и в обратном направлении выполняются на рабочей подаче. Кроме того, нет необходимости в зачистных ходах. Но в большинстве случаев данная схема обеспечивает равномерный припуск только для открытых зон.

2. Черновая схема с полу- чистовым зачистным ходом (рис. 8.5) более производительна, чем черновая схема с подборкой (рис. 8.4), т.к. в ней используется меньше холостых ходов.

9 СХЕМЫ УДАЛЕНИЯ ПРИПУСКА ПРИ ЧЕРНОВОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Формообразование при удалении напусков и припусков на станках с ЧПУ обычно выполняется по типовым схемам. При этом решаются две основные задачи:

- 1) Обеспечение заданных геометрических параметров обработки;
- 2) Обеспечение максимальной производительности.

Анализ реализованных в различных СЧПУ алгоритмов решения геометрических задач позволяет установить определенные формализованные правила построения траекторий инструмента.

Черновая обработка основных элементов контура

Рассмотрим на примере алгоритм подготовки геометрической и технологической информации для токарной обработки ступенчатого вала (рис.9.1).

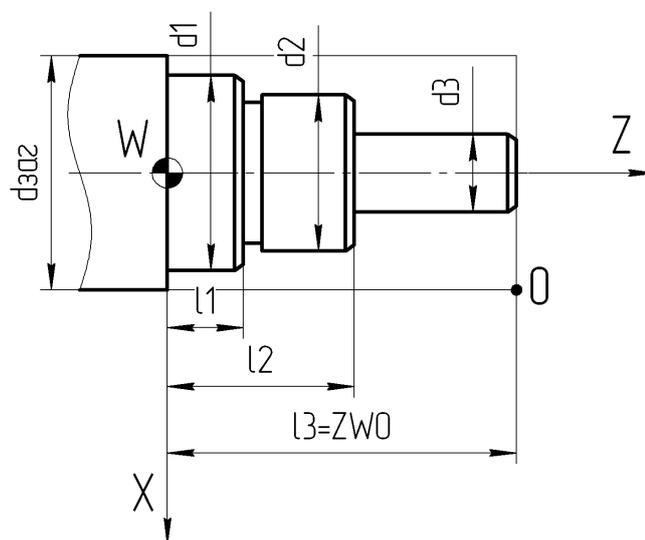


Рисунок 9.1 – Эскиз ступенчатого вала

1. Выделяем зону черновой обработки. Граница зоны черновой обработки определяется черновым контуром детали, образованным с учетом чистового припуска на цилиндрические и торцовые поверхности и контуром заготовки

(рис.9.2). В рассматриваемом примере заготовка – круглый прокат с предварительно обработанным правым торцом.

В результате можно выделить опорные точки (1,2,3) чернового контура с соответствующими координатами X, Z . Получаем максимально упрощенный контур, включающий только основные типовые поверхности (в нашем примере наружные цилиндрические и торцовые).

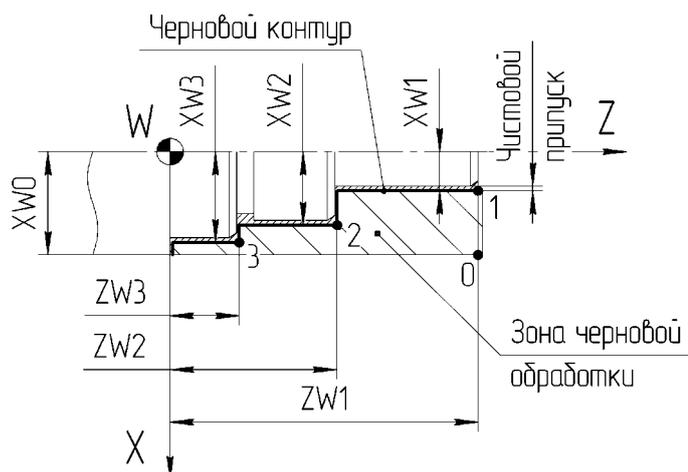


Рисунок 9.2 – Определение зоны черновой обработки

Вся черновая зона обработки разделяется на области с заданными размерами ($XW1-ZW1$; $XW2-ZW2$; $XW3-ZW3$), в соответствии с вертикалями, проходящими через опорные точки 1,2,3.

2. Определяем максимально допустимую глубину резания на черновом проходе t_{\max} (по справочнику, или аналитическими методами с учетом конкретных условий обработки).

3. Определяем величину напусков и черновых припусков для каждой выделенной области ($t1$; $t2$; $t3$; рис. 9.2).

4. Определяем число черновых проходов для каждой выделенной области. Для этого разделяем каждую область на горизонтальные уровни, определив среднюю черновую глубину резания $t_{\text{срi}}$. Алгоритм определения средней черновой глубины резания $t_{\text{срi}}$ (рис. 9.3):

4.1 Делим величину чернового припуска ($t1$; $t2$; $t3$) каждой выделенной области на максимальную черновую глубину резания t_{\max} .

4.2 Полученные в п.4.1 значения округляем до большего целого.

4.3 Делим величину черного припуска (t_1 ; t_2 ; t_3) каждой выделенной области на значения, полученные в п.4.2. В результате находим среднюю величину черновой глубины резания (t_{cp1} ; t_{cp2} ; t_{cp3}) для каждой из областей. Данные величины обычно получаются меньше, чем максимально допустимая черновая глубина резания $t_{cp_i} \leq t_{max}$.

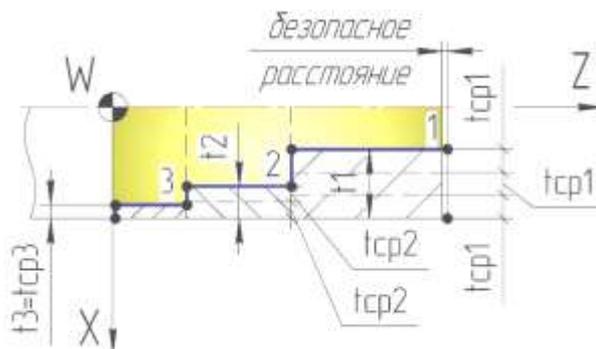


Рисунок 9.3 – Определение черновых припусков t_i и средней черновой глубины резания t_{cp_i} для выделенных областей обработки

5. Принимаем общую для всех областей черновую глубину резания t_p . Для этого из рассчитанных в п.4 величин t_{cp_i} выбираем наибольшую, и назначаем ее как черновую глубину резания t_p для всего черного цикла (рис. 9.4).

Принятая черновая глубина резания t_p делит весь черновой припуск на проходы более равномерно, чем максимально допустимая величина t_{max} .

Полученные вертикали и горизонталы формируют элементарные участки припуска, удалять которые можно различными типовыми методами.

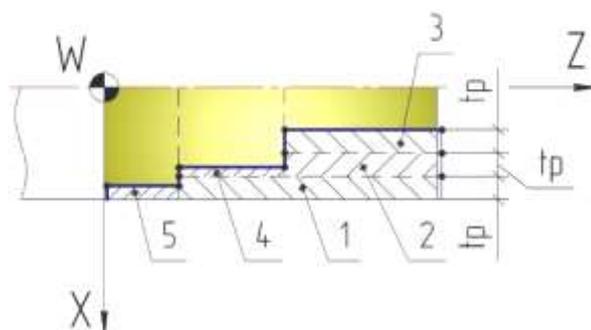


Рисунок 9.4 – Определение числа проходов с принятой глубиной резания t_p

Для удаления черновой части припуска в токарной обработке применяются три типовые схемы.

1. *Обработка по циклу вертикалей.* По данной схеме припуски (t_1 ; t_2 ; t_3) удаляются последовательно в каждой области, ограниченной черновым контуром, вертикалями, проходящими через опорные точки чернового контура, и контуром заготовки (рис. 9.5).

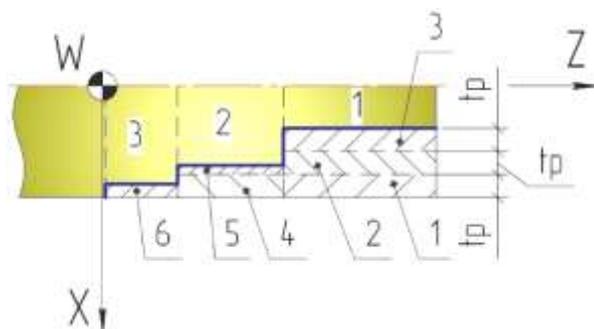


Рисунок 9.5 – Удаление чернового припуска по циклу вертикалей

2. *Обработка по циклу уровней.* По данной схеме припуски (t_1 ; t_2 ; t_3) удаляются сразу во всех областях, в пределах одного из горизонтальных уровней, ограниченных принятой черновой глубиной резания t_p (рис. 9.6).

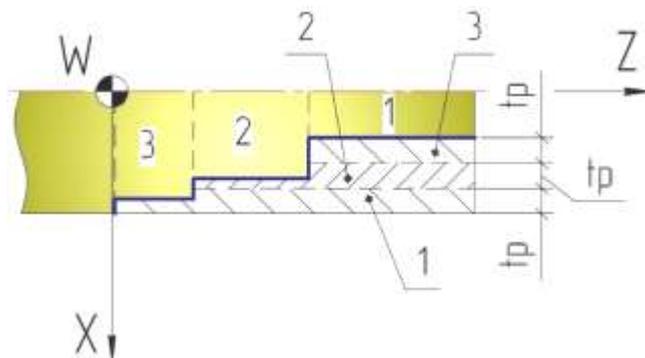


Рисунок 9.6 – Удаление чернового припуска по циклу уровней

3. *Обработка по циклу горизонталей чернового контура.* По данной схеме припуски (t_1 ; t_2 ; t_3) сначала удаляются сразу во всех областях только там, где выдерживается принятая черновая глубина резания t_p . Участки с меньшей глубиной резания удаляются в последнюю очередь отдельным проходом вдоль чернового контура (рис. 9.7).

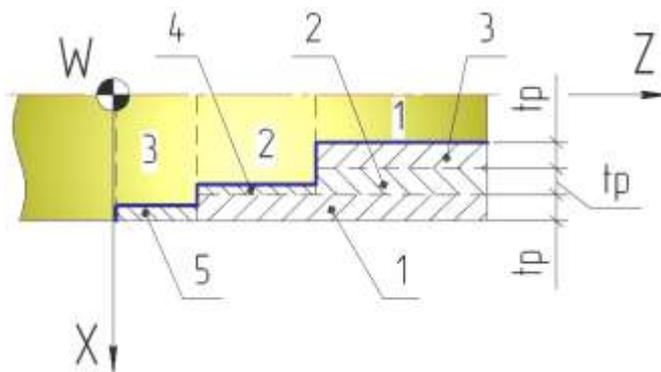


Рисунок 9.7 – Удаление припуска по циклу горизонталей черного контура

Типовые схемы обработки дополнительных поверхностей

Обработку *дополнительных поверхностей* осуществляют после формирования основных поверхностей контура. К наиболее часто встречающимся дополнительным поверхностям относятся стандартные наружные и внутренние канавки.

На рисунке 9.8 показана схемы обработки *наружных угловых канавок* для выхода шлифовального круга.

Число проходов зависит от соотношения размеров резца и канавки. Рекомендуется подбирать инструмент таким образом, чтобы обработку завершить за один ход или за три хода.

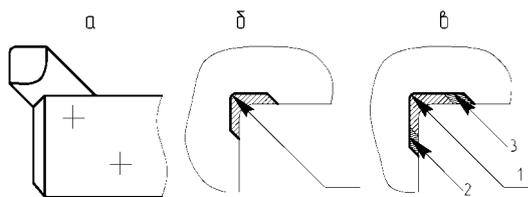


Рисунок 9.8 – Типовые схемы обработки наружных угловых канавок для выхода шлифовального круга: а) Резец; б) Однопроходная обработка; в) Трехпроходная обработка

Широкие канавки, у которых угол наклона фаски $\approx 30^\circ$ можно обрабатывать контурным резцом. В этом случае канавки относятся к основным поверхностям.

Зарезбовые канавки можно обрабатывать различными резцами соответственно по разным траекториям перемещения. Поэтому, если необходимо

обработать стандартную угловую канавку для выхода шлифовального круга иarezьбовую канавку, то можно ограничиться использованием одного резца — резца для обработки угловых канавок, а нестандартную прямоугольную иarezьбовую канавки можно выполнить одним прорезным резцом. Это сокращает количество применяемых режущих 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 ход осуществляют 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 числа. Рекомендуется планировать обработку таких канавок или за один рабочий ход (в этом случае форма канавки будет повторять форму резца, а время обработки минимально), или за три рабочих хода (в этом случае сопряжение стенок с дном канавки можно выполнить по радиусу, что предпочтительно, но время цикла будет больше).

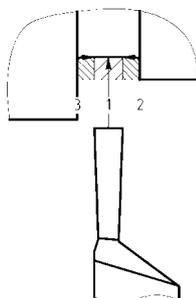


Рисунок 9.9 – Типовая схема обработки наружных прямых канавок за три рабочих хода

Широкие канавки ($b > 9B$) эффективнее обрабатывать двумя резцами. Обработку ведут сначала контурным резцом (рисунок 9.10а), которым при последнем рабочем ходе выполняют чистовое подрезание боковой стороны канавки и протачивают фаски. Затем остаток припуска срезают прорезным резцом (рисунок 9.10б), протачивающим в последнем чистовом рабочем ходе фаску и вторую боковую сторону канавки. При необходимости прорезной резец зачищает дно канавки.

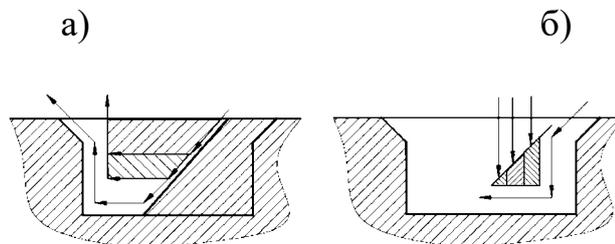


Рисунок 9.10 – Типовые схемы обработки широких канавок: а) Траектория движения проходного контурного резца; б) Траектория движения прорезного резца

Типовые технологические схемы многопроходной обработки *крепежных резьб* показаны на рисунке 9.11. Их строят исходя из того, что форма резьбового резца соответствует профилю обрабатываемой резьбы. Многопроходная обработка состоит из черновых проходов для выборки резьбовой впадины и чистовых проходов с небольшой глубиной резания или без нее. При необходимости после чистового прохода можно задать один или несколько калибрующих проходов без снятия припуска.

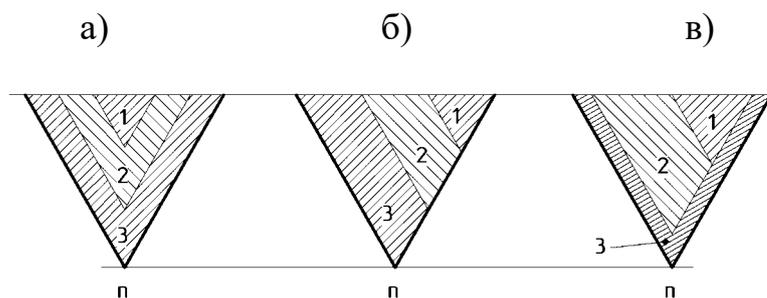


Рисунок 9.11 – Типовые схемы обработки резьбы: а) С радиальным врезанием; б) С боковым врезанием; в) Комбинированная схема

При нарезании резьбы по схеме с радиальным врезанием (рис. 9.11а) в резании участвуют одновременно обе режущие кромки резца, процесс образования стружки усложняется, стружка имеет корытообразную форму. Такую схему применяют при нарезании мелких резьб ($P \leq 2$ мм) и для чистовой обработки. Нарезание резьбы по схеме с боковым врезанием (рис. 9.11б) обеспечивает лучшее стружкообразование, но приводит к неравномерному износу режущих кромок резца. Схема на (рис. 9.11в) обеспечивает хорошее стружкообразование и равномерное изнашивание обеих кромок резца.

10 ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УЧПУ 2P22

В программах реализуемых системой ЧПУ 2P-22 отдельный кадр состоит из номера кадра (символ № и число, идентифицирующее кадр), а также из нескольких адресных команд (информационных слов, задающих информацию об отдельных действиях станка и об условиях его выполнения). Одна команда обычно состоит из нескольких частей:

- адрес в виде латинской буквы, определяющий вид задаваемой информации;
- математический знак «+» или «-»;
- число, соответствующее виду движения, координате перемещения, скорости перемещения, условию обработки;
- специальный символ, соответствующий способу задания координат, или виду движения.

При адресном способе записи команд буквенный адрес предшествует числовой информации. Управляющую программу рекомендуется составлять так, чтобы в последующих кадрах указывались только новые характеристики обработки, отличающиеся от характеристик, указанных в предыдущих кадрах. Для кодирования информации используются коды ИСО.

Для записи команд в данной системе ЧПУ используются следующие буквенные адреса:

N – адрес номера кадра.

F – адрес скорости подачи револьверной головки с инструментом, или шага нарезаемой резьбы;

G – адрес подготовительной команды.

Подготовительные команды задаются адресом G и двузначным десятичным кодом.

Подготовительные команды, задают виды движений или типовых циклов движений рабочих органов станка, способы задания режимов обработки, подрежимы работы устройства ЧПУ и др.

M – адрес вспомогательной команды. Вспомогательные команды задают действия станка, обслуживающие процесс обработки. S – адрес частота вращения шпинделя, или скорости резания;

T – адрес команды вызова инструмента в рабочее положение, и задание номера корректора для записи коррекции положений инструмента;

X – адрес координаты опорной точки траектории инструмента по оси X;

Z – адрес координаты опорной точки траектории инструмента по оси Z;

Для устройства ЧПУ 2P22 форматы слов следующие: N03; X + 043; Z + 043; U + 043; W + 043; F023; T2; M2; S1–4; D043; C + 043; Q4-043; R + 0 43; B3; H3; L2; P11; A11; E; G2. После адресов N, T, M, S, B, H, L, G в формате записывают одну цифру, показывающую количество цифр в слове. Если нули, стоящие перед первой значащей цифрой, можно опустить, то после адреса записывают две цифры, первая из которых нуль. После адреса слова, содержащего размерные перемещения A, P, X, U, R, Z, W, D, C, Q, F, записывают две цифры, первая из которых показывает количество разрядов перед, а вторая – после десятичной запятой, или три цифры, первая из которых нуль, что позволяет опустить нули перед первой значащей цифрой.

Если абсолютные размеры всегда положительны, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака, если они могут быть положительными или отрицательными, то между адресом и следующим за ним числом ставят знак «+». Например, N03 – трехзначный номер кадра. Незначащие нули перед номером можно не набирать: N125, N012 (или N12), N003 (или N3). Геометрическую информацию, т.е. значение координат конечных опорных точек участков траекторий по осям X и Z, или приращений U, W по осям X (U) или Z (W), записывают следующим образом: X043; Z – 0,43; U0,643; W0,43. Незначащие нули в начале и в конце геометрической информации, а также знак «+» могут опускаться. Например, перемещение по оси Z в точку с координатой +36,18 мм записывают Z36,18; перемещение по оси Z на 364,583 мм к передней бабке – W – 364,583; перемещение по оси X до Ø12,38 мм – X12,38; перемещение по оси X на 0,16 мм к оси центров – U-0,32 (величины размерных перемещений по координате X автоматически делятся на 2).

Время выдержки задают по адресу D с точностью до 0,001 с. Например, время выдержки 2 с записывают D2.

Подачу рабочего органа задают по адресу F, постоянные циклы – по адресу L, вспомогательные технологические команды – по адресу M, подготовительные функции – по адресу G (табл. 8.3 – 8.5). Обязательным условием конца управляющей программы является наличие в последнем кадре команды M02.

Таблица 10.1 – Обозначение и назначение постоянных циклов устройства ЧПУ 2P22

Обозначение цикла	Назначение
L01	Нарезание наружной или внутренней цилиндрической, конической, многопроходной, однопроходной резьбы
L02	Протачивание прямоугольных канавок
L03	Наружная обработка по схеме «петля»
L04	Внутренняя обработка по схеме «петля»
L05	Торцевая обработка по схеме «петля»
L06	Глубокое сверление
L07	Нарезание резьбы метчиком или плашкой
L08	Черновая обработка с припуском и без него
L09	Обработка поковок
L10	Чистовая обработка
L11	Повторение участка программы

Таблица 10.2 – Обозначение и назначение вспомогательных функций устройства ЧПУ 2P22

Обозначение функции	Назначение
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец управляющей программы
M08	Включение охлаждения
M09	Выключение охлаждения
M17	Конец описания детали для циклов L08, L09, L10
M18	Конец участка программы, повторяющегося в цикле L11
M20	Передача управления роботу РТК

Таблица 10.3 – Обозначение и назначение подготовительных функций устройства ЧПУ 2P22

Обозначение функции	Назначение
G05	Используется для сопряжения элементов контура, когда в конце кадра не требуется торможения (при сопряжении контуров)
G10	Задается перед кадрами, для которых необходима постоянная скорость резания (частота вращения изменяется автоматически в зависимости от диаметра)
G11	Отменяет действие функции G10
G12	Смена инструмента не в исходном положении
G94	Задание рабочей подачи в миллиметрах в минуту
G95	Задание рабочей подачи в миллиметрах на оборот шпинделя

Программирование частоты вращения шпинделя, подачи и позиции инструмента

Частота вращения шпинделя задается по адресу S, после которого записывают диапазон (1–3), знак направления вращения шпинделя и частоту вращения.

Знак минус обозначает вращение шпинделя по часовой стрелке (обратное вращение). Запись S3 -1500 показывает, что выбран третий диапазон и шпиндель вращается с частотой 1500 об/мин по часовой стрелке, а запись S2 150 – выбран второй диапазон, а шпиндель вращается с частотой 150 об/мин против часовой стрелки (прямое вращение).

Величину подачи рабочего органа задают по адресу F. Например, запись F0,25 показывает, что подача составляет 0,25 мм/об, запись F1 – подача 1 мм/об.

Поворот резцедержателя шестипозиционной револьверной головки для установки инструмента в рабочую позицию задают по адресу T, после которого записывают номер позиции. Например, запись T6 показывает, что на рабочую позицию устанавливается инструмент, находящийся в шестом гнезде поворотного резцедержателя.

Программирование линейных перемещений

В зависимости от простановки размеров на чертеже детали и последовательности обработки линейные перемещения могут быть заданы в абсолютной или относительной системах отсчета. Перемещение по оси X в абсолютной системе отсчета задается адресом X и координатой конечной точки пути относительно нулевой точки детали. Координаты в абсолютной системе по оси X задаются на диаметр.

Например, запись кадра N010 при линейном перемещении резца по координате X в абсолютной системе отсчета имеет вид: N010 X19 – для протачивания наружной канавки до Ø19 мм (рис. 8.19, а)

Без задания рабочей подачи линейное перемещение не реализуется, поэтому в одном из предыдущих кадров управляющей программы должна быть задана подача.

В относительной системе отсчета перемещение по оси X задается адресом U и числовым значением этого перемещения, которое представляет собой удвоенную

разность координат конечной и начальной точек относительно нулевой точки $(X_2 - X_1) \times 2$. Если резец перемещается от оператора к шпинделю станка, перед числовым значением перемещения ставят знак минус. Знак плюс опускают.

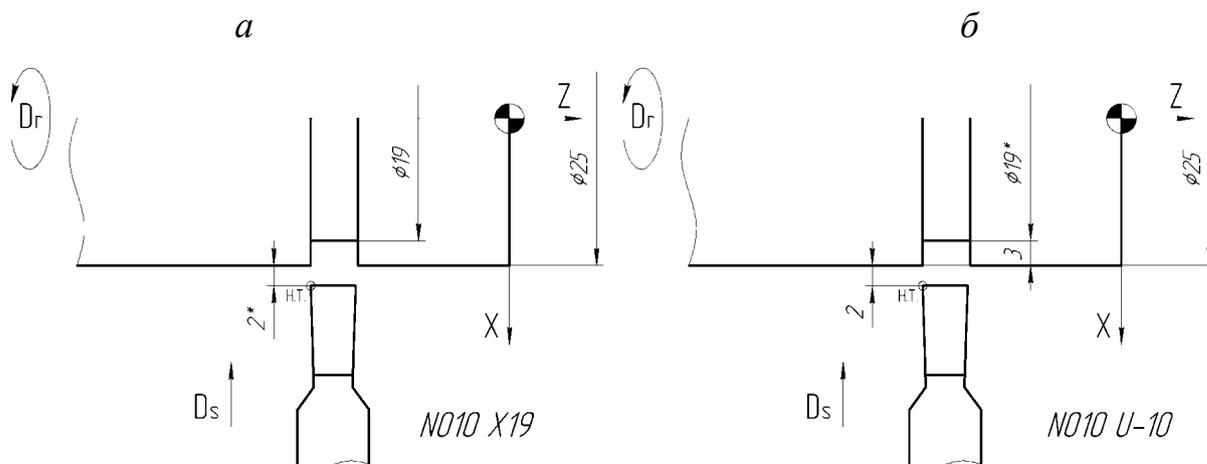


Рисунок 10.1 – Пример программирования линейных перемещений по оси X в абсолютной системе отсчета (а) и в относительной системе отсчета (б)

При протачивании наружной канавки (рис. 8.19, б) перемещение резца по оси X равно $(2+3) \times 2 = 10$ мм. Запись кадра в относительной системе отсчета имеет вид: N010 U-10.

Перемещения по оси Z в абсолютной системе задаются адресом Z и координатой конечной точки пути с ее знаком относительно нулевой точки детали. Перемещение по оси Z в относительной системе задается по адресу W. Числовое значение перемещения равно приращению координат соседних опорных точек $(Z_2 - Z_1)$. Направление движения в обеих системах определяется соответствующим знаком. В абсолютной системе ставится знак координаты, в которую происходит перемещение. В относительной системе перед числовым значением перемещения ставится знак минус, если перемещение происходит в сторону, противоположную положительному направлению оси Z.

Например, перемещение резца из начальной точки Н.Т. с координатами $X=40$ мм, $Z=2$ мм до точки с координатами $X=40$ мм, $Z = -45$ мм (рис. 8.20) в абсолютной системе записывается кадром N007 Z-45, а в относительной системе указывается полная длина перемещения вдоль оси Z – N007 W-47.

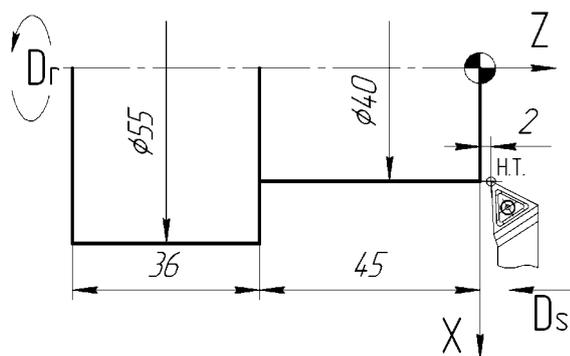


Рисунок 10.2 – Пример программирования линейных перемещений по оси Z в абсолютной и относительной системе отсчета

Программирование обработки конических поверхностей

При программировании обработки конических поверхностей линейные перемещения по осям X и Z задают в одном кадре. В этом кадре управляющей программы указывают координаты конечной точки перемещения вершины резца с учетом знаков. Такой способ программирования обработки конических поверхностей, включая и обработку фасок, является наиболее универсальным, так как позволяет программировать обработку с любым углом конусности.

Если резец имеет радиусную вершину, то при переходе от цилиндрической к конической поверхности по осям X и Z необходима коррекция на координаты конечной опорной точки.

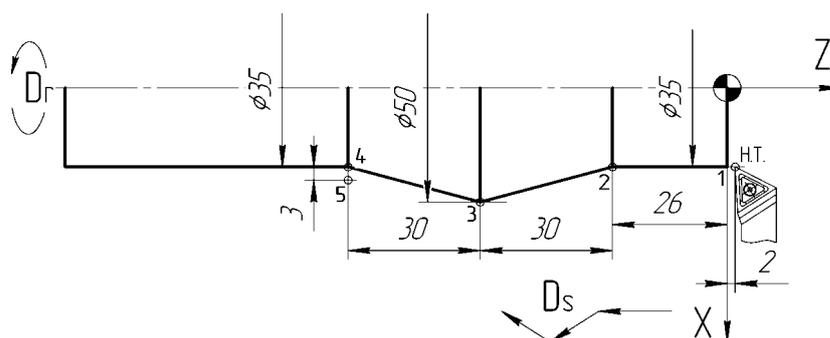


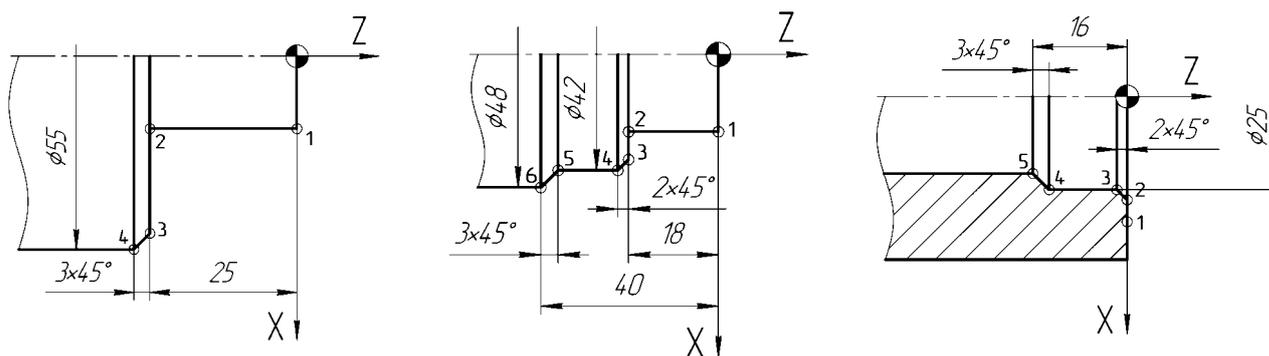
Рисунок 10.3 – Пример программирования обработки поверхностей с прямым и обратным конусом

Фрагмент управляющей программы к рисунку 10.3

N001 T1 S3 600 F0,25 –	Резец T1, третий диапазон, $n=600$ об/мин, $s=0,25$ мм/об.
N002 X35 Z2 E –	Подход резца к точке 1 с координатами $X=35$, $Z=2$, ускорено.
N003 Z0 –	Перемещение резца на рабочей подаче в точку с координатами $X = 35$, $Z = 0$.
N004 Z-26 –	Точение цилиндра $\phi 35$ на длине 26 мм на рабочей подаче.
N005 X50 Z-56 –	Точение прямого конуса на рабочей подаче.
N006 U-30 W-30 –	Точение обратного конуса на рабочей подаче, перемещение по координатам X и Z задано в относительной системе отсчета.
N007 U6 E –	Отвод резца на 3 мм от поверхности цилиндра в т.5 ускорено.
N008 M02 –	Конец управляющей программы; возвращение резца в И.Т.

Программирование фасок

Программирование обработки конических поверхностей с углами конуса 45° на станках с СЧПУ 2P22 может быть реализовано с применением типовой подпрограммы для обработки фасок. Фаска под углом 45° задается адресом C со знаком и конечным размером по той координате, по которой выполняется обработка перед фаской. Знак за адресом C должен совпадать со знаком изменения координаты X . Направление по координате Z задается только в отрицательную сторону (рис. 10.4).



N_i Z-25PC – т.1-т.2

N_{i+1} X55C3PC – т.2-т.3-т.4

N_i Z-18PC – т.1-т.2

N_{i+1} X42C2PC – т.2-т.3-т.4

N_{i+2} Z-40C3PC – т.4-т.5-т.6

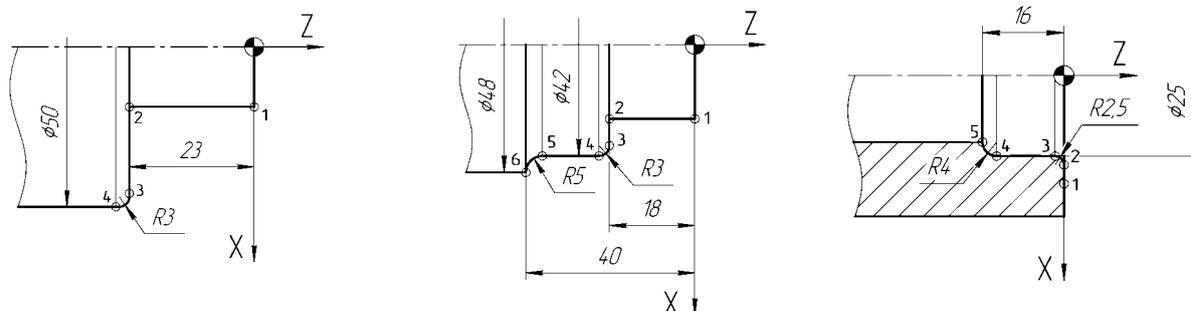
N_i X25C-2PC – т.1-т.2-т.3

N_{i+1} Z-16C-3PC – т.3-т.4-т.5

Рисунок 10.4 – Примеры задания фасок под углом 45° для наружного и внутреннего контура

Программирование галтелей

Галтель (дуга, равная $\frac{1}{4}$ дуги целой окружности) задается адресом Q со знаком и конечным размером по той координате, по которой выполняется обработка перед галтелью. Знак за адресом Q должен совпадать со знаком изменения координаты X. Направление по координате Z задается только в отрицательную сторону (рис. 10.5).



N_i Z-23PC – т.1-т.2

N_i Z-18PC – т.1-т.2

N_i X25Q-2.5PC – т.1-т.2-т.3

N_{i+1} X50Q3PC – т.2-т.3-т.4

N_{i+1} X42Q3PC – т.2-т.3-т.4

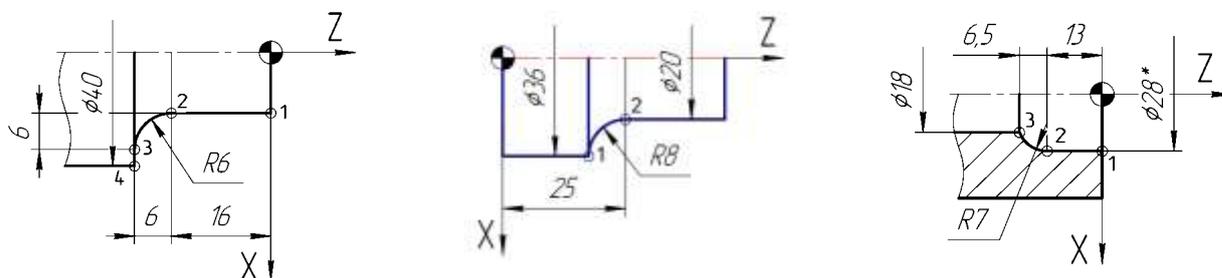
N_{i+1} Z-16Q-4PC – т.3-т.4-т.5

N_{i+2} Z-40Q5PC – т.4-т.5-т.6

Рисунок 10.5 – Примеры задания галтелей для наружного и внутреннего контура

Программирование дуг

Дуга окружности с радиусом R задается двумя кадрами. В первом кадре необходимо вывести инструмент в координаты начальной точки дуги X, Z. Во втором кадре указываются координаты конечной точки дуги X, Z, и величина радиуса дуги под адресом R со знаком «+» или «-». Знаки определяют направление обработки, «+» – по часовой стрелке, «-» – против часовой стрелки (рис. 10.6).



N_i Z-16PC – т.1-т.2

N_i X20Z25R8PC – т.1-т.2

N_i W-13PC – т.1-т.2

N_{i+1} V12W-6R-6PC – т.2-т.3

N_{i+1} X18W-6.5R7PC – т.2-т.3

N_{i+2} X40PC – т.3-т.4

Рисунок 10.6 – Примеры задания дуг для наружного и внутреннего контура

В отличие от галтели Q, дугу R можно задавать для наружного и внутреннего контура с проходом как по часовой стрелке, так и против часовой стрелки. Также, дуга R может задавать произвольную часть от целой окружности.

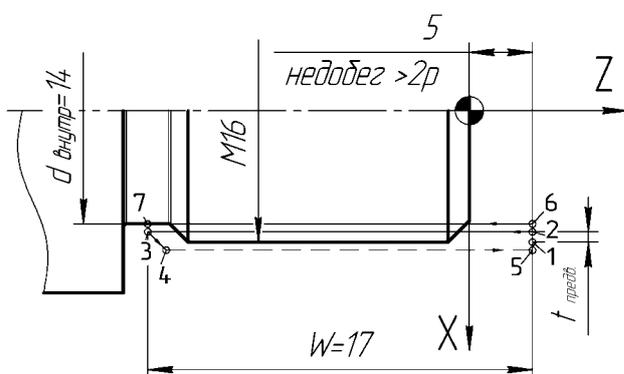
Программирование постоянных циклов

Постоянные циклы СЧПУ 16K20ФЗС32 (2P-22) задаются адресом L. Общий принцип задания постоянных циклов заключается в предварительном выводе инструмента в начальную точку цикла, затем под адресом L указывается номер цикла и формальные параметры. После этого система автоматически отработает все геометрические и технологические команды, заданные в цикле, определив координаты промежуточных опорных точек.

Цикл многопроходной обработки резьбы L1

Цикл предназначен для нарезания цилиндрических и конических резьбы, с автоматическим разделением на проходы.

Формат кадра цикла L1: N_i ; L1F2X14W-17A0P0.6C0 ПС



N_i X16Z5EПС – выход в т.1 на быстром ходу ($\geq 2p$ от торца)

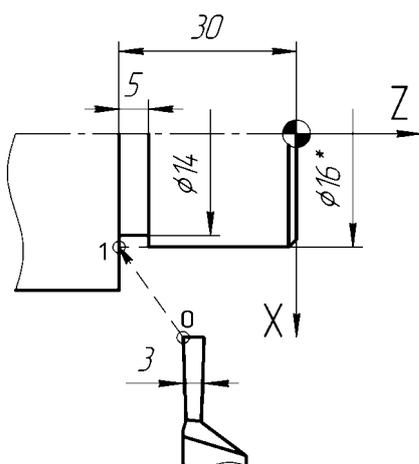
N_{i+1} L1F2X14W-17A0P0.6C0ПС – «L1» адрес и номер цикла; «F2» подача 2 мм/об, равная шагу резьбы (для M16 шаг $p=2$ мм); «X14» внутренний диаметр резьбы, мм; «W-17» общая длина рабочего хода, с учетом врезания и перебега, мм; «A0» уклон резьбы, для цилиндрических 0, для конических резьб – число за адресом A соответствует приращению диаметров конического участка; «P0,6» глубина резания на одном проходе, мм; «C0» сбеги резьбы, если 0 – сбеги отсутствуют, если 1 – сбеги равны шагу резьбы.

Рисунок 10.7 – Схема реализации цикла многопроходной обработки резьбы L1

Цикл многопроходной обработки прямых канавок L2

Цикл предназначен для обработки прямых канавок любой ширины с автоматическим разделением на проходы. Для обработки канавки с перекрытием параметр P задается меньше ширины резца, а параметр A необходимо уменьшить на эту же величину. Для обработки канавки за один проход параметры P и A задаются одинаковыми. Цикл заканчивается отскоком инструмента в начальную

координату по оси X, а по оси Z инструмент остается в координате последнего прохода. Формат кадра цикла L2: $N_i L2X14P3A5D2 PC$



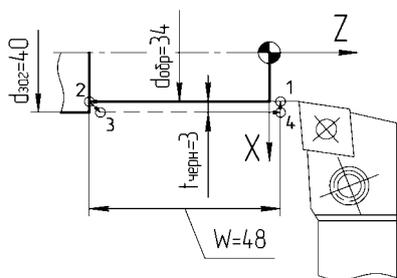
$N_i X16, IZ-30EPC$ – выход в т.1 на быстром ходу;
 $N_{i+1} L2X14P3A5D2PC$ – «L2» адрес и номер цикла;
 «X14» внутренний диаметр канавки, мм;
 «P3» глубина резания (ширина резца), мм;
 «A5» ширина канавки, мм;
 «D2» выдержка в конце рабочего хода, с.

Цикл состоит из следующих ходов: 1) Из точки 1 на рабочей подаче инструмент смещается до дна канавки; 2) Выдержка 2 с; 3) Возврат на быстром ходу в точку 1; 4) Смещение по координате Z слева направо (координата Z28); 5) Рабочий ход до дна канавки; 6) Выдержка 2 с; 7) Возврат на быстром ходу в исходную точку;

Рисунок 10.8 – Схема реализации цикла многопроходной обработки прямых канавок L2

Цикл «наружная петля» L3

Цикл предназначен для обработки наружных цилиндрических поверхностей по координате Z с автоматическим возвратом инструмента в начальную точку по схеме «петля». В этом цикле инструмент в конце рабочего хода отскакивает от обработанной поверхности на расстояние 1 мм под углом 45° в сторону от оси заготовки. Данный цикл удобно применять для многопроходной обработки открытых зон, задав необходимое количество повторений. Также по циклу петля удобно выполнять обработку разделительных ступеней на валах, с последующей многопроходной обработкой по контуру. В этом случае, после завершения цикла L3 инструмент останется в точке, которая будет начальной для последующего цикла многопроходной обработкой L8. Формат кадра цикла L3: $N_i L3W-48PC$.



$N_i X34Z1EPC$ – выход в т.1 на быстром ходу с недобегом по торцу 1 мм;
 $N_{i+1} L3W-48PC$ – «L3» адрес и номер цикла;
 «W-48» общая длина смещения по оси Z на рабочей подаче (с учетом врезания и перебега), мм;

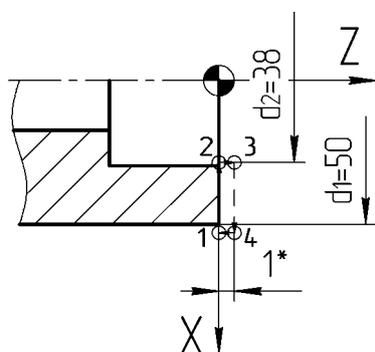
Рисунок 10.9 – Схема реализации цикла «наружная петля» L3

Цикл «внутренняя петля» L4

Цикл предназначен для обработки внутренних цилиндрических поверхностей по координате Z с автоматическим возвратом инструмента в начальную точку по схеме «петля». Схема реализации цикла аналогична предыдущей схеме, с той разницей, что в конце рабочего хода инструмент отскакивает в сторону оси заготовки.

Цикл «петля по торцу» L5

Цикл предназначен для обработки торцовых поверхностей по координате X с автоматическим возвратом инструмента в начальную точку по схеме «петля». Формат кадра цикла L5: $N_i L5X38PC$.



$N_i X51Z0EPC$ – выход в т.1 на быстром ходу с недобегом по наружной цилиндрической поверхности 1 мм;

$N_{i+1} L5X38PC$ – «L5» адрес и номер цикла;

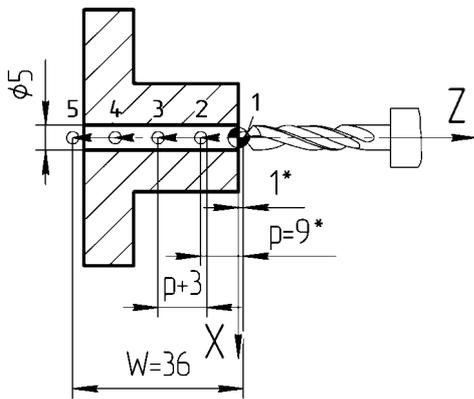
«X38» конечный диаметр подрезаемого торца, мм; смещение по оси X на рабочей подаче.

В кадре, предшествующем кадру с циклом L5, рекомендуется задать функцию G10 (постоянная скорость резания), тогда по мере изменения диаметра происходит автоматическая коррекция частоты вращения шпинделя.

Рисунок 10.10 – Схема реализации цикла «петля по торцу» L5

Цикл глубокого сверления L6

Цикл предназначен для сверления глубоких отверстий при соотношении глубины к диаметру $\frac{L}{D} \geq 2,5$. Цикл включает перемещение на рабочей подаче вдоль оси Z со знаком «-», на заданную величину одного шага P , возврат на быстром ходу в начальную точку ($Z+$), перемещение на быстром ходу в точку предыдущего положения инструмента в конце рабочего хода с недобегом 3 мм ($Z-$), перемещение на рабочей подаче на величину $(p+3)$ ($Z-$), и т.д., до конечной точки, определенной координатой $Z(W)$. Формат кадра цикла L6: $N_i L6W-36P9PC$.



N_i X0Z1EПC – выход в т.1 на быстром ходу с недобегом по торцу 1 мм (недобег принимают 1 ... 3 мм);

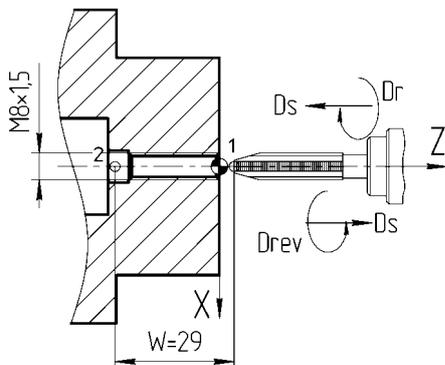
N_{i+1} L6W-36P9ПC – «L6» адрес и номер цикла;
«W-36» общая длина рабочего хода по оси Z с учетом недобега и перебега (при сверлении на проход) 36 мм;

«P9» величина одного шага 9 мм.

Рисунок 10.11 – Схема реализации цикла глубокого сверления L6

Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой L7

Цикл включает перемещение исполнительного органа станка на рабочей подаче F , равной шагу резьбы, на длину W вдоль оси Z , равную общей длине перемещения с учетом недобега и перебега. В конце рабочего хода включается реверс шпинделя, инструмент возвращается на рабочей подаче F в начальную точку. После отработки цикла L7 будет включено направление вращения шпинделя, противоположное, заданному до цикла. Формат кадра цикла L7: N_i L7W-29F1.5ПC.



N_i X0Z4EПC – выход в т.1 на быстром ходу с недобегом по торцу 4 мм (недобег принимают не менее двух шагов резьбы);

N_{i+1} L7W-29F1.5ПC – «L7» адрес и номер цикла;
«W-29» общая длина рабочего хода по оси Z с учетом недобега и перебега (при нарезании на проход) 29 мм;

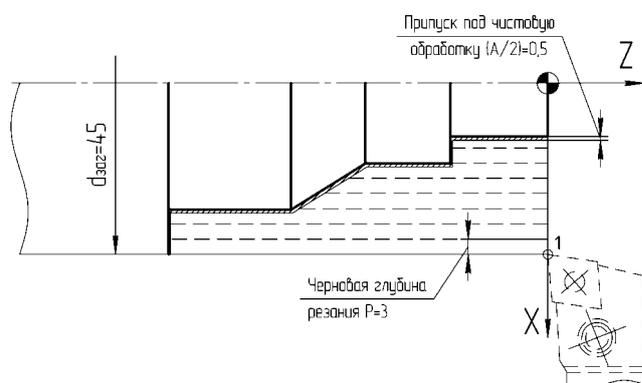
«F1.5» величина шага резьбы 1,5 мм.

Рисунок 10.12 – Схема реализации цикла нарезания резьбы метчиком или плашкой L7

Цикл многопроходной обработки цилиндрических заготовок с автоматическим разделением на проходы L8

Цикл применяется в случаях, когда заготовка имеет форму цилиндра. До задания постоянного цикла L8 необходимо вывести инструмент в начальную точку цикла.

Координаты начальной точки для цикла L8 выбирают следующим образом: координата по оси X должна соответствовать координате X заготовки (диаметр проката), или координате X предварительно обработанной разделительной ступени. Координата по оси Z должна соответствовать координате Z начальной точке чистового контура (обычно координата Z правого торца детали). Поскольку СЧПУ 2P-22 обеспечивает автоматический разгон и торможение исполнительного органа станка с точным выходом в заданные координаты, координаты начальной точки цикла L8 можно задавать в номинальных значениях. Формат кадра цикла L8: $N_i L8P3A1PC$.



$N_i X45Z0EPC$ – выход в т.1 на быстром ходу;
 $N_{i+1} L8P3A1PC$ – «L8» адрес и номер цикла;
«P3» глубина резания на черновых проходах 3 мм;
«A1» припуск под чистовую обработку на диаметр 1 мм, соответственно глубина резания на чистовом проходе $(A/2)=0,5$ мм;
Если чистовой проход не планируется, необходимо указать «A0». В этом случае будут выполняться только черновые проходы вдоль оси заготовки, и полу- чистовой проход по контуру.

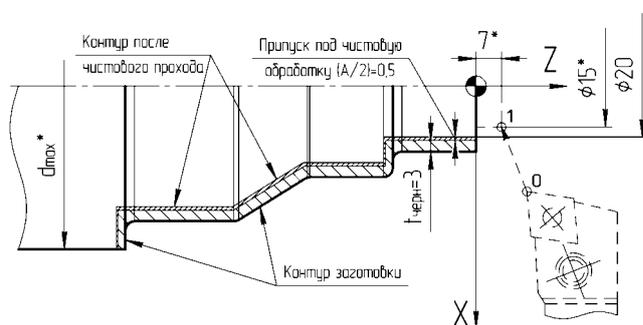
Рисунок 10.13 – Схема реализации цикла L8 многопроходной обработки заготовок из проката

Цикл многопроходной обработки фасонных заготовок с автоматическим разделением на проходы L9

Цикл применяется в случаях, когда форма заготовки приближается по форме к контуру детали.

До задания постоянного цикла L9 необходимо вывести инструмент в начальную точку цикла. Координаты начальной точки для цикла L9 выбирают следующим образом: координата по оси X должна быть меньше на величину общего припуска под токарную обработку (на сторону для цилиндрических поверхностей) относительно координаты X диаметрального размера крайней правой ступени после чистового или полу- чистового прохода. Если на крайней правой ступени предусмотрена фаска или галтель, то координату X начальной точки цикла L9 следует выбирать меньшей по величине, чем координата X ближайшей к оси заготовки точки фаски или галтели.

Координата по оси Z должна быть больше координаты Z начальной точки чистового контура (от правого торца детали) на величину 5 ... 7 мм. Такое положение начальной точки цикла позволяет обеспечить точный выход инструмента на крайний правый торец детали после смещения по координатам X, Z в конце первого контурного прохода. Формат кадра цикла L9: $N_i L9P3A1PC$.



$N_i X15Z7EPC$ – выход в т.1 на быстром ходу;
 $N_{i+1} L9P3A1PC$ – «L9» адрес и номер цикла;
 «P3» глубина резания на черновом проходе 3 мм;
 «A1» припуск под чистовую обработку на диаметр 1 мм, соответственно глубина резания на чистовом проходе $(A/2)=0,5$ мм;
 Если чистовой проход не планируется, необходимо указать «A0». В этом случае будут выполняться только черновой и полу- чистовой проход.

Рисунок 10.14 – Схема реализации цикла L9 многопроходной обработки фасонных заготовок

Циклы L8, L9 можно применять как для наружной обработки с увеличением диаметров цилиндрических ступеней, так и для внутренней обработке с уменьшением диаметров цилиндрических ступеней. Во всех случаях, до задания этих циклов необходимо подготовить диаметральный размер крайней левой

ступени d^* в соответствие с размером чертежа или эскиза, чтобы получилась полуоткрытая зона обработки.

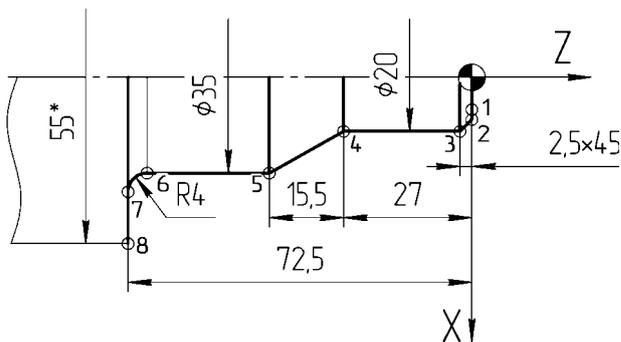
При задании циклов L8, L9 описание контура детали может состоять из одного, или нескольких кадров, но общее количество кадров управляющей программы, описывающих контур не должно превышать 15. Причем кадр, задающий фаску, или галтель считается за 2 кадра. Признаком описания контура служит функция M17, которую необходимо казать в конце последнего кадра, описывающего контур. По этой же функции M17 заканчивается описание контура для цикла чистовой обработки L10.

Циклы L8, L9 заканчиваются в конечной точке описания контура детали. При обработке конечного контура изменение частоты вращения шпинделя, при поддержании СЧПУ постоянной скорости резания, происходит между кадрами управляющей программы. Частота вращения шпинделя после окончания цикла не восстанавливается.

Цикл чистовой обработки по контуру с заданного номера кадра L10

Цикл выполняется после ранее отработанных циклов L8, L9 по координатам чистового контура, начиная с номера кадра, указанного под адресом «В», и заканчивая кадром, в котором указана функция M17. До задания цикла L10 необходимо задать технологические параметры обработки – частоту вращения шпинделя S, величину подачи F, чистовой контурный резец T. После технологической информации необходимо задать кадр с выходом инструмента в начальную точку цикла.

Координаты начальной точки для цикла L10 выбирают следующим образом: координата по оси X должна быть меньше координаты X первой точки чистового контура приблизительно на 1 мм. Координата по оси Z должна совпадать с координатой Z первой точки чистового контура. Формат кадра цикла L10: Ni L10B(Ni-n)ПС.

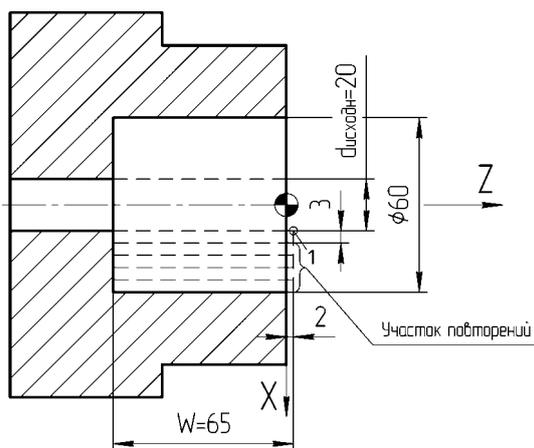


N_i L8P3A1ПC – цикл черновой обработки;
 N_{i+1} X20C2.5ПC – начало описания чистового контура;
 N_{i+2} Z-27ПC – координаты точек контура;
 N_{i+3} X35W-15.5ПC – координаты точек контура;
 N_{i+4} Z-72.5Q4ПC – координаты точек контура;
 N_{i+5} X55M17ПC – конец описания чистового контура;
 N_{i+6} X150Z150EПC – выход в точку смены инструмента;
 N_{i+7} F0.1S2_800T2ПC – режимы, инструмент для чист.;
 N_{i+8} X14Z0EПC – выход в т.1 на быстром ходу;
 N_{i+9} L10B(N_{i+1})ПC – цикл чистовой обработки, начиная с кадра N_{i+1}

Рисунок 10.15 – Схема реализации цикла чистовой обработки по контуру L10

Цикл повторений заданного участка программы L11

Цикл позволяет выполнять отработку фрагмента управляющей программы, начиная с номера кадра, указанного под адресом «В» и заканчивая кадром, в котором указана функция M18. Количество повторений данного фрагмента программы указывается под адресом «Н». Формат кадра цикла L11: N_i L11B(N_i , n)H(n_i)ПC.



N_i X20Z2EПC – выход в т.1 на быстром ходу;
 N_{i+1} U6ПC – смещение по координате X ($\frac{6}{2}=3$), мм;
 N_{i+2} LAW-65M18ПC – цикл «петля внутренняя»;
 N_{i+3} L11B(N_{i+1})H4ПC – цикл повторений участка программы, начиная с кадра N_{i+1} , количество повторений «Н» – четыре.
 Повторяющийся фрагмент программы включает смещение инструмента по координате X в приращениях из т.1 на величину равную глубине резания за один проход (*все размеры по оси X автоматически делятся на 2); затем выполняется цикл L4 «петля внутренняя» на длину W=65 мм с учетом врезания. В кадре N_{i+3} задан цикл повторений кадров N_{i+1} , N_{i+2} т.е., смещение по X, рабочий ход по Z, возврат петель в начальную точку – 4 раза.

Рисунок 10.16 – Схема реализации цикла повторений участка программы L11

11 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Элементы контура детали. Зоны обработки

При проектировании фрезерных операций для обработки заготовок на станках с ЧПУ, так же, как и при токарной обработке, элементы контура обрабатываемых деталей могут быть разделены на основные и дополнительные. К дополнительным поверхностям относят сопрягающие поверхности с постоянным и переменным радиусами сопряжения. При плоской обработке внутренние сопряжения постоянного радиуса формируются за счет соответствующей конфигурации инструмента.

Для обеспечения более высокой степени технологичности детали, такие сопряжения должны выполняться с одинаковым радиусом. Назначенный радиус сопряжения должен быть типовым для данного контура или детали. Минимальный радиус сопряжения r_{\min} , назначается с учетом определенного соотношения между этим радиусом и типовым радиусом $R_{\text{тип}}$ на контуре, регламентирующем максимально допустимый диаметр фрезы для чистовых переходов.

При фрезеровании можно выделить определенные области (зоны) обработки. Они делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 11.1).

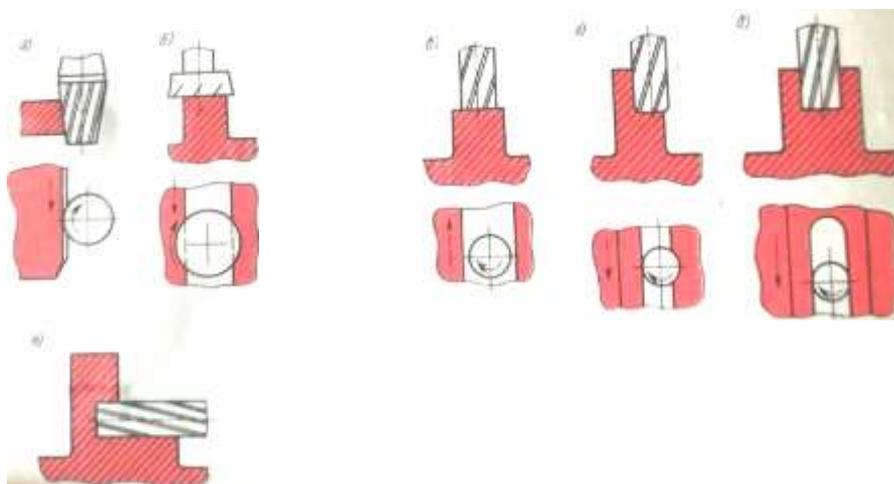


Рисунок 11.1 – Типовые зоны обработки при фрезеровании: а,б,в – открытые; г – полуоткрытая; д – закрытая; е - комбинированная

К числу открытых относятся области, не налагающие ограничений на перемещения инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной к этой оси.

В полуоткрытых областях перемещения инструмента ограничены как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной.

В закрытых областях перемещение инструмента ограничено по всем направлениям.

Комбинированные области формируются в результате объединения нескольких областей различных типов из числа описанных выше.

При программировании фрезерной обработки вышеперечисленных областей используют типовые схемы технологических переходов, определяющие правила построения траектории инструмента.

Типовые схемы движения инструмента при удалении чернового припуска на фрезерных операциях

Чаще всего типовые схемы движения инструмента при обработке заготовок на станках с ЧПУ разрабатываются с учётом удобства формализации. Можно выделить следующие основные методы формообразования траектории фрезы.

1. **Зигзагообразный.** Данный способ является наиболее распространённым, хотя имеет ряд недостатков, из которых можно выделить: а) переменный характер резания; б) повышенное число изломов на обработанной поверхности.

Зигзагообразный метод имеет три разновидности: а) без обхода границ; б) с проходом вдоль границы контура в конце обработки; в) с проходом вдоль границы контура в начале обработки. Типовые схемы движения инструмента для зигзагообразного метода показаны на рисунке 11.2.

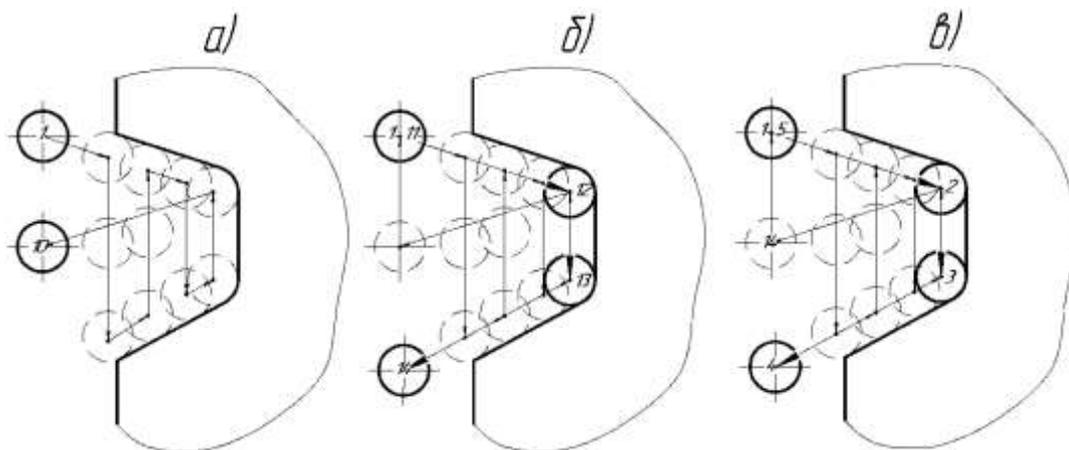


Рисунок 11.2 – Зигзагообразный метод удаления припуска и напуска: а) без обхода границ; б) с проходом вдоль границы контура в конце обработки; в) с проходом вдоль границы контура в начале обработки

2. **Спиралевидный.** Этот способ обеспечивает более плавный режим работы, что позволяет получить поверхность с меньшим числом изломов. Существуют две разновидности спиралевидного метода: а) от центра к периферии; б) от периферии к центру. Типовые схемы движения инструмента для спиралевидного метода показаны на рисунке 11.3.

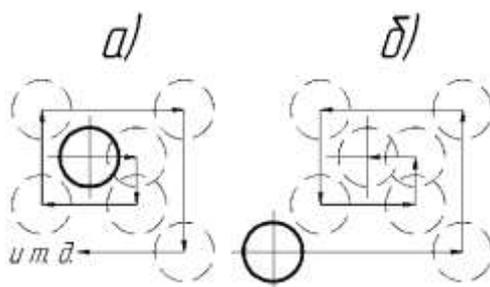


Рисунок 11.3– Спиралевидный метод удаления припуска и напуска: а) от центра к периферии; б) от периферии к центру

3. **Ш-образный метод.** Этот способ применяется не так часто, как предыдущие, обычно при обработке открытых плоскостей. По этому методу инструмент сначала линейно перемещается на рабочей подаче вдоль обрабатываемой поверхности. Затем отводится по нормали от обрабатываемой поверхности, выполняет обратный быстрый ход, смещается на один шаг и снова подводится к обрабатываемой поверхности. После этого цикл повторяется.

Типовая схема движения инструмента для Ш-образного метода показана на рисунке 11.4.

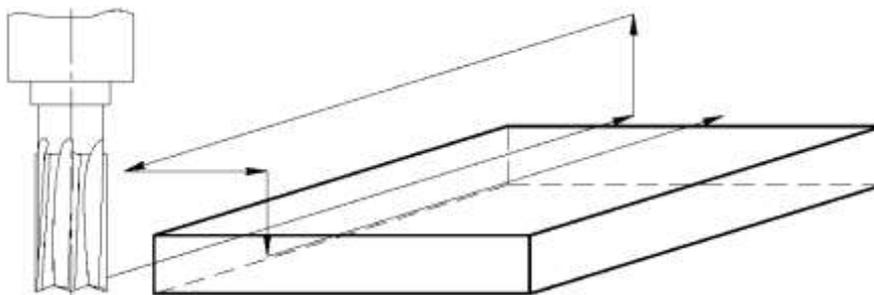


Рисунок 11.4 – Ш-образный метод удаления припуска и напуска

Встречное и попутное фрезерование. Назначение глубины резания при чистовом проходе. Выбор инструмента при контурном фрезеровании

При чистовом контурном фрезеровании концевыми фрезами на станках с ЧПУ применяют как встречную, так и попутную схему фрезерования. При встречном фрезеровании стойкость инструмента и параметр шероховатости обрабатываемой поверхности ниже, чем при попутном фрезеровании. Но при встречном фрезеровании деформация фрезы и детали меньше, чем при попутном, поэтому припуск может быть назначен в размере до 30% от диаметра фрезы. В данном случае обработку контура можно выполнять за один проход с большой глубиной резания, что повысит производительность.

Глубину резания при контурном фрезеровании назначают исходя из величины минимальных радиусов сопряжений внутренних элементов контура. Для повышения точности обработки внутренних радиусов их получают не копированием, а обходом по дуге. Это связано с тем, что при изменении направления подачи скачком изменяется величина и направление силы резания. В данном случае это может привести к упругому отжатию фрезы от обрабатываемой поверхности и искажению контура. Кроме того, фреза имеет износ по диаметру, что также может повлиять на точность обработки контура.

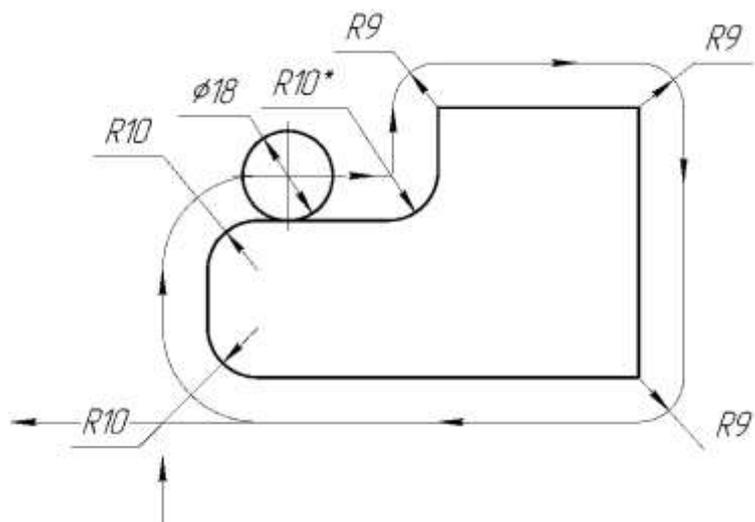


Рисунок 11.5 – Схема выбора диаметра фрезы для чистового контурного фрезерования

При назначении диаметра фрезы для обработки контура без ограничений по внутренним радиусам исходят из соображений максимальной производительности. При этом назначают максимально возможный диаметр фрезы.

Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании

При проектировании траектории движения инструмента следует уделять внимание методам построения вспомогательных ходов. Обработку фрезерованием внешнего контура рекомендуется начинать врезанием фрезы по касательной к нему (рис. 11.6). Участок L_i — путь, на котором скорость холостого хода $V_{s.x.x.}$ снижается до скорости подачи врезания V_s . На участке L_a происходит врезание фрезы с дальнейшим снижением скорости подачи до рабочего V_s .

Врезание фрезы в припуск на внутренних поверхностях детали производится по криволинейной траектории. Наиболее благоприятной траекторией является участок окружности радиуса, при котором путь врезания примерно равен $(3...4) t$ (t – глубина резания) (рис. 11.7). Наружный контур может иметь прямые, тупые и острые углы. Траекториями обвода углов при этом являются дуги окружности с радиусом, равным радиусу фрезы (рис. 11.8, а). Часто вместо перемещений по дуге используются дополнительные петлеобразные перемещения (рис. 11.8, б).

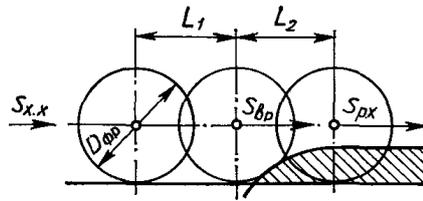


Рисунок 11.6 - Схема врезания фрезы для наружного контура

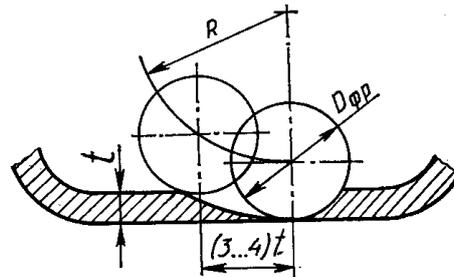


Рисунок 11.7 - Схема врезания фрезы для внутреннего контура

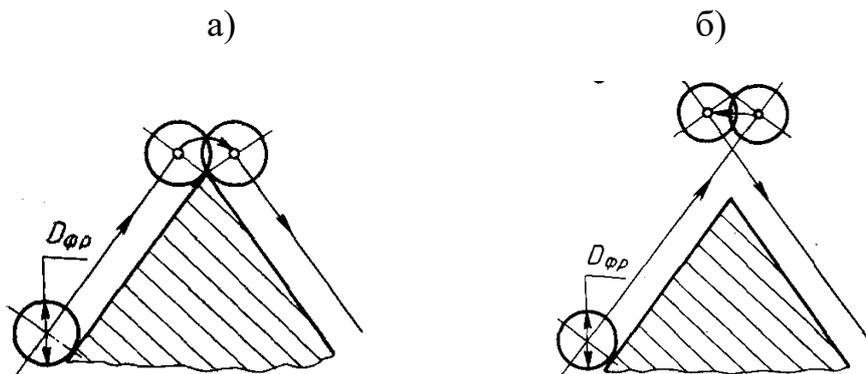


Рисунок 11.8 - Схемы траекторий инструмента при обходе углов

Назначение припусков на обработку

При назначении припусков на чистовую обработку необходимо учитывать специфику закономерностей резания при фрезеровании, т.к., даже при чистовых режимах контурного фрезерования концевыми фрезами ошибки, вызываемые деформацией системы СПИД, в которой наиболее слабым элементом в большинстве случаев является инструмент, могут превышать допуск на размер.

Поэтому при фрезеровании снижение производительности для получения точности не всегда дает желаемый результат.

В отдельных случаях можно значительно уменьшить ошибки от деформации системы СПИД за счет надлежащего выбора при программировании размера чистового припуска и схемы фрезерования. Схема фрезерования особенно важна, так как процессы резания в схемах фрезерования «против подачи» и «по подаче» существенно различаются.

Например, при чистовом фрезеровании по схеме «против подачи» параметры стойкости инструмента и шероховатости поверхности ниже, но одновременно (при работе в зоне контакта не более двух зубьев) деформации фрезы и детали меньше, поэтому припуск может быть назначен в размере до 30% диаметра фрезы.

12 ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Коррекция на радиус инструмента. Способы задания

Современные УЧПУ позволяют программировать обработку непосредственно по контуру детали без определения опорных точек эквидистантной траектории. При этом, с пульта оператора в корректор заносят действительное значение радиуса применяемой фрезы. Характер кодирования информации зависит от типа УЧПУ, но в большинстве случаев коррекция задается подготовительными функциями **G41..G46** в два этапа. Первый этап предусматривает выход инструмента на эквидистанту, а второй – корректировку процесса обработки. Функции **G41..G46** задают при коррекции следующие команды.

Функция **G41** – выход на эквидистанту «плюс». По этой команде происходит линейная интерполяция отрезка, заданного конечной точкой, принадлежащей контуру. Причем, координата конечной точки этого отрезка увеличивается на радиус фрезы, который задан на соответствующем корректоре с пульта УЧПУ. Например (рис. 12.1а), если в программе задано перемещение из точки *A* в точку *B*, то действительное перемещение по команде будет осуществлено в точку *C* с учетом конкретного значения радиуса фрезы, набранного на корректор с определенным номером. При этом номер корректора указывается под адресом *L*.

Функция **G42** – выход на эквидистанту «минус». По этой команде обрабатывается отрезок, координата конечной точки которого равна запрограммированному значению, минус радиус фрезы (рис. 12.1б).

Следует указать, что при программировании команд выхода на эквидистанту направление в точке подхода к обрабатываемому контуру должно быть принято по нормали

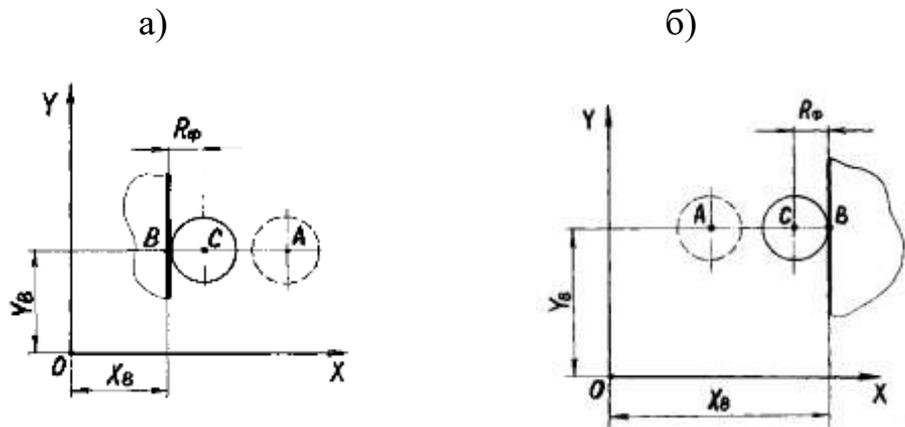


Рисунок 12.1 -Схема вывода фрезы на эквидистантный контур

Функция **G43** – круговая интерполяция по часовой стрелке с эквиди-стантой «плюс». По этой команде (рис. 12.2а) происходит круговая интерполяция по часовой стрелке дуги окружностью от точки *A* до точки *C* радиусом, равным радиусу запрограммированной дуги *R* плюс радиус фрезы. При этом в кадрах УП задаются координаты начальной и конечной точек дуги контура относительно центра дуги.

Функция **G44** – круговая интерполяция по часовой стрелке с эквидистантой «минус». По этой команде происходит круговая интерполяция по часовой стрелке дуги окружности от точки *A*, до точки *C* радиусом, равным радиусу *R* запрограммированной дуги минус радиус фрезы (рис. 12.2, б). В кадрах УП при этом задаются координаты начальной и конечной точек дуги обрабатываемого контура относительно центра дуги.



Рисунок 12.2 - Схема перемещения фрезы по дуге окружности, эквидистантной программируемому контуру.

Функция **G45** – круговая интерполяция против часовой стрелки с эквидистантой «плюс».

Функция **G46** – круговая интерполяция против часовой стрелки с эквидистантой «минус».

При обработке несопряженных участков контура необходимо осуществить их программное сопряжение. В одном из вариантов этого можно добиться с помощью подготовительных функций **G47** (сопрягающая дуга по часовой стрелке) и **G48** (сопрягающая дуга против часовой стрелки) По этим командам инструмент обходит острый угол по с радиусом, равным радиусу фрезы. В кадре УП одновременно с командой G47 (G48) задаются координаты произвольной точки с учетом знака перемещения на луче, проходящем через конечную точку дуги. Это делается для указания направления обхода. При задании координат произвольной точки необходимо выдерживать соотношение: $(x^2+y^2)^{1/2} \geq Rф$, где x, y – координаты выбранной произвольной точки А, $Rф$ – радиус применяемой фрезы.

Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании

При фрезеровании внешних контуров обход внешних углов детали выполняется по типовым схемам, которые обычно связаны с системой ЧПУ станка. Для современных СЧПУ наиболее характерным является способ обката фрезой углов контура детали, схема которого показана на рисунке 12.3.

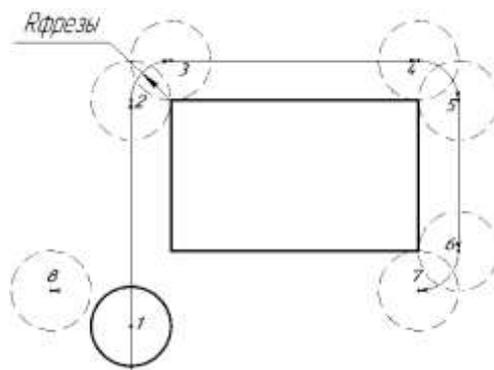


Рисунок 12.3 – Схема автоматического сопряжения внешних углов при контурном фрезеровании

Ещё один способ обхода внешних углов контура – это задание таких координат опорных точек, которые позволяют вывести центр инструмента на эквидистантную прямую, рисунок 12.4. Этот способ предполагает выполнение дополнительных расчётов координат опорных точек. Кроме того, он менее производителен, так как на рабочей подаче инструмент перемещается по вспомогательному участку траектории без резания.

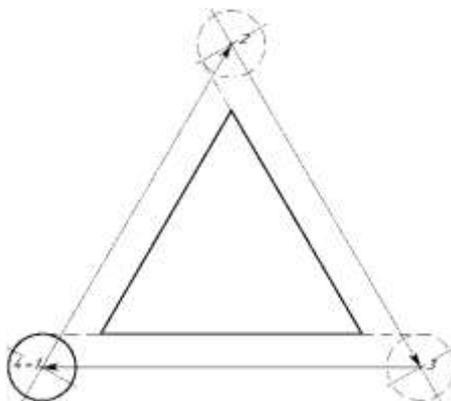


Рисунок 12.4 – Схема обхода внешних углов контура при использовании дополнительных опорных точек

13 ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Технологические особенности обработки заготовок на многоцелевых станках

Многоцелевые станки (МС) позволяют совместить операции фрезерования прямолинейных и криволинейных поверхностей, центrovания, сверления, зенкерования, развертывания, растачивания, нарезания резьбы (метчиками, плашками, резцами, резцовыми головками), круговое фрезерование наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и круговых пазов концевыми и дисковыми фрезами.

Для достижения высокой эффективности МС всю обработку заготовок стремятся выполнять на одном станке за один – два установка. При обработке заготовок малой жесткости и с большими припусками технологический процесс разделяют на операции черновой и последующей после термообработки чистовой обработки.

Плоскости фрезеруют торцевыми и концевыми фрезами с твердосплавными многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП). Для получения поверхностей с малой шероховатостью при малых припусках применяют торцевые фрезы с пластинами из эльбора и минералокерамики. Пазы, окна и уступы обычно обрабатывают концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами.

На МС отверстия глубиной до 80 мм могут быть обработаны фрезерованием, для этого фрезе сообщают круговую подачу. Особенно успешно используется круговое фрезерование для предварительной обработки отверстий в литых заготовках.

Соосные отверстия в противоположных стенках корпусных деталей обрабатывают на МС консольно закрепленными инструментами последовательно, с поворотом заготовки вместе со столом станка на 180°.

При обработке отверстий осевым инструментом и высоких требованиях к точности и форме отверстий, их обрабатывают полностью по отдельности, со

сменой инструментов у каждого отверстия и перемещением шпинделя только по оси Z. В противном случае погрешность обработки будет увеличиваться за счет погрешности позиционирования. Значительно повышается производительность обработки отверстий при использовании комбинированных инструментов.

Большое число обрабатываемых поверхностей, наличие нескольких рабочих ходов при обработке каждой поверхности, значительное число инструментов в магазине усложняют выбор плана операций обработки деталей на многоцелевом станке. Возможностей при выборе плана операций достаточно много, но есть несколько общих принципов, которыми следует руководствоваться при этом:

- 1) чем выше точность элемента конструкции, тем позже следует его обрабатывать;
- 2) сначала следует планировать черновую обработку, затем чистовую;
- 3) чем меньше время срабатывания исполнительного органа (смена инструмента, поворот стола и др.), тем чаще этот орган должен функционировать;
- 4) для деталей с большими припусками должны быть предусмотрены разгрузочные операции, часть которых целесообразно выполнять на универсальном или специализированном оборудовании.

При выборе плана операций обработки деталей на МС необходимо использовать типовые схемы обработки, рекомендуемые соответствующими нормативными документами. В этих документах предлагается последовательность переходов операций в зависимости от типа детали и заготовки, от вида обрабатываемых поверхностей и их точности и т.д.

Разнообразие операций, выполняемых на многоцелевых станках с ЧПУ, определяет и сложности программирования обработки деталей на этих станках. В цикле обработки одной детали могут быть операции различной сложности, осуществляемые в разных плоскостях разными инструментами. При этом программированию подлежит множество вспомогательных переходов (замена инструмента, смещения и повороты детали и др.).

Современные УЧПУ, обеспечивающие функционирование МС, оснащены микропроцессорными устройствами. Это позволяет программировать обработку деталей с широким использованием различных постоянных циклов, стандартных,

типовых и разрабатываемых в процессе программирования подпрограмм. Значительно упрощает программирование обработки возможность задания в УП запрограммированных повторений. В этом случае в УП достаточно указать номера кадров и число их повторов.

Перемещения, подачи и частоты вращения шпинделя при обработке деталей на МС координируют в общем виде также, как и в УП для других станков. Линейные перемещения современные УЧПУ позволяют задавать в мм, с точностью до третьего или четвертого знака (после условной запятой) без пересчета величин в количестве импульсов. Повороты столов координируют или значением угла в градусах, или цифровым кодом при использовании соответствующего адреса.

Подачу и частоту вращения шпинделя кодируют с указанием адреса F или S и числового истинного значения, т.е. в мм/мин или об/мин. Некоторые УЧПУ позволяют задавать подачу как в мм/мин, так и в мм/об, что регулируется командами G 94 и G 95. Во всех УЧПУ реализуется возможность коррекции заданных в УП значений подачи и частоты вращения шпинделя установкой соответствующих переключателей на пульте УЧПУ.

При составлении УП для сравнительно простых деталей возможно покадровое программирование всей обработки детали от начала до конца. Для более сложных деталей программирование удобно вести по этапам (по элементам детали или по инструментам) определяя отдельные этапы как подпрограммы. Постоянные (типовые) подпрограммы, составленные для различных инструментов, охватывают наиболее часто повторяющиеся схемы и циклы обработки. Имеющиеся для данного УЧПУ подпрограммы, оформленные в виде каталога, приложены к инструкции по программированию, или могут быть вызваны из памяти ЭВМ УЧПУ в виде своеобразного меню. Использование постоянных подпрограмм значительно упрощает программирование и сокращает время подготовки УП, снижает частоту ошибок программирования.

Современные модели УЧПУ позволяют вести оперативное программирование путем ввода информации непосредственно с пульта УЧПУ. Работа ведется в диалоговом режиме с отображением данных на экране дисплея,

совмещающего алфавитно-цифровую и графическую информацию. По команде на экран дисплея может быть вызвана любая из имеющихся в памяти УЧПУ подпрограмм. При этом траектория инструмента (в разных плоскостях) высвечивается на экране дисплея.

Последовательный ввод подпрограмм, данных инструмента и его режимов и другой информации позволяет в диалоговом режиме полностью сформировать УП непосредственно по чертежу обрабатываемой детали. Эта программа может быть введена в память УЧПУ и отработываться; при необходимости УП может быть записана на магнитный диск или другой носитель информации.

14 РЕЖУЩИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Для обработки на станках с ЧПУ все условия выполнения технологических операций (выбор режущего и вспомогательного инструмента, конструкции приспособления, задающего определенным образом базирование и крепление заготовки, последовательность обработки и др.) должны быть определены на стадии разработки технологического процесса и занесены в программоноситель. В технологическую наладку станка с ЧПУ входят инструменты и приспособления, необходимые для обработки всех поверхностей, а также инструменты, применение которых снижает время обработки, облегчает обслуживание и т.д.

Технологически необходимые инструменты составляют комплект, состав которого зависит от вида заготовки, ее конфигурации, системы ЧПУ и технологических возможностей станка. Станок с ЧПУ благодаря своим конструктивным решениям (возможность автоматического изменения по программе частот вращения и подач в широком диапазоне) обеспечивает работу инструментов в рекомендуемых для него режимах на каждом из переходов.

Режущие инструменты закрепляются в шпинделе или на суппорте станка с помощью разнообразных вспомогательных приспособлений (оправок, втулок, патронов, державок, блоков). Инструменты станков с ЧПУ должны обладать:

- высокой режущей способностью;
- благоприятными условиями стружкоотвода;
- стабильностью качества и высокой стойкостью;
- возможностью настройки на размер вне станка;
- технологичностью в изготовлении и относительной простотой конструкции.

Для обеспечения этих требований для отдельных групп станков подобраны типовые комплекты (системы) инструментов. Типовой комплект (система) инструментов – это минимальный по числу и строго регламентированный по

исполнению набор вспомогательных и режущих инструментов, позволяющий реализовать технологические возможности данной группы станков.

Такой комплект в сочетании с прибором предварительной настройки должен обеспечивать наладку инструмента для работ на станке с ЧПУ.

Конструкции режущего инструмента для станков с ЧПУ

Режущий инструмент для станков с ЧПУ представлен инструментами стандартных и специальных конструкций. Специальные конструкции, в свою очередь, делятся на комбинированные и модульные. Стандартные конструкции режущих инструментов приведены в справочниках. Эти инструменты являются режущими инструментами общего назначения и рекомендуются для использования на токарных, сверлильных, расточных и фрезерных станках с ЧПУ при обработке заготовок из конструкционных сталей и чугуна.

Условия эксплуатации инструмента на станках с ЧПУ отличаются от условий эксплуатации инструмента на обычных станках и определяются следующими факторами:

1) обработка отверстий осуществляется без кондукторных втулок и других направляющих устройств для инструмента. Погрешности обработки (например, увод сверла) не могут быть уменьшены при изготовлении деталей и не всегда могут быть учтены при составлении программы;

2) удельный вес времени резания от общего времени работы возрастает до 45 – 75 % вместо 20 % на обычных станках. Это снижает стойкость инструмента и увеличивает его расход;

3) детали обрабатывают по принципу автоматического получения заданных размеров, поэтому размерную настройку инструмента с учетом точностного баланса производят вне станка специальными контрольно-измерительными средствами.

Учитывая перечисленные условия эксплуатации, при выборе режущих инструментов необходимо руководствоваться следующим. При относительно большой серийности обработки на станках с ЧПУ используют комбинированный инструмент (например, для точных и взаимосвязанных отверстий и поверхностей).

Применение комбинированного инструмента позволяет сократить штучное время при обработке заготовок корпусных деталей на 10...20 % благодаря уменьшению времени резания и вспомогательного времени.

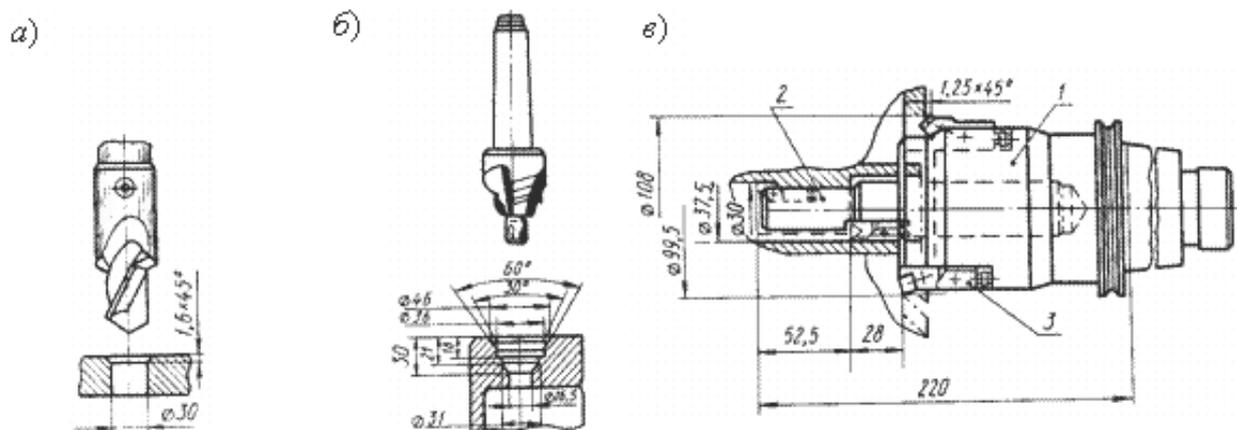


Рисунок 14.1 – Варианты применения комбинированного инструмента

Например, двухступенчатое сверло применяют для обработки ступенчатых отверстий (рис. 14.1а); многоступенчатый зенкер (рис. 14.1б) обеспечивает высокую производительность и допускает большое число повторных заточек. Длины ступеней этих зенкеров обычно равны соответствующим размерам обрабатываемых поверхностей. Затылование режущих зубьев зенкеров выполнено одинаковым на всех ступенях, чтобы при повторной заточке диаметры и длины ступеней не изменялись.

Комбинированный расточной инструмент (рис. 14.1в) представляет собой державку 1, несущую сменные головки 2 с резовыми вставками 3.

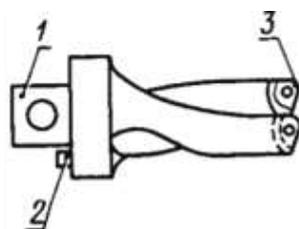


Рисунок 14.2 – Сверло с МНП

Примером комбинированной (модульной) конструкции являются сверла с многогранными неперетачиваемыми пластинами (рис. 14.2). Это сверло с коротким цилиндрическим хвостовиком 1 и штифтом 2, передающим крутящий

момент. В качестве элемента модульной конструкции, применяемого на всей группе сверлильно-расточного инструмента, является использование шестигранных неперетачиваемых твердосплавных пластин 3 с механическим креплением.

Режущий инструмент, применяемый на станках с ЧПУ, подразделяют на мерный, немерный и промежуточный. Мерными инструментами являются развертки, метчики, зенкеры. К немерным следует отнести резцы, у которых вершина режущей кромки не имеет точных расстояний от трех базовых поверхностей. Промежуточное исполнение имеют стандартные сверла: в диаметральном направлении они являются мерными, в осевом направлении их вершина занимает переменное положение, в зависимости от числа повторных заточек режущих кромок. Такая классификация режущего инструмента важна для компенсации параметров изнашивания инструмента с помощью системы ЧПУ.

Размерный износ режущего инструмента вызывает закономерно изменяющуюся погрешность. Инструмент изнашивается по задней и передней поверхностям. Особенно существенно сказывается на точности обработки изнашивание по задней поверхности инструмента. Размеры обрабатываемой заготовки меняются как по причине изменения положения вершины затупившегося инструмента, так и в связи с увеличением радиальной составляющей силы резания и повышенными отжимами инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Необходимо на основе контроля результатов обработки предвидеть наиболее вероятные размеры каждой последующей детали и своевременно вносить коррекцию.

Программист рассчитывает перемещение одной из характерных (отсчетных) точек, принадлежащих рабочему органу станка.

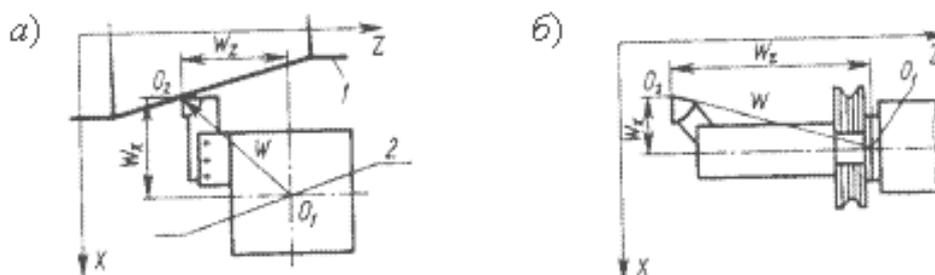


Рисунок 14.3 – Схемы базирования РИ в инструментальном блоке станка с ЧПУ

Так, на токарных станках с поворотной головкой (рис. 14.3а) чаще всего отсчетная точка O_1 совмещается с проекцией оси поворота головки на координатную плоскость осей X и Z . В расточных, фрезерных, сверлильных и многооперационных станках (рис. 14.3б) отсчетная точка O_1 находится на оси шпинделя у его переднего торца.

Вершина режущего инструмента отстоит от отсчетной точки на некотором расстоянии:

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_z^2},$$

где: W_x и W_z – проекции вектора W на координатные оси X и Z .

Координаты W_x и W_z выбирают с учетом оптимальных вылетов режущих инструментов. Используя каталоги поверхностей, программист рассчитывает траекторию 2 перемещения отсчетной точки, представляя обрабатываемую поверхность 1 в виде кривой, равноотстоящей от программируемой точки на расстояние W .

Инструменты должны быть настроены таким образом, чтобы их вершины отстояли от отсчетной точки точно на предусмотренные управляющей программой координатные расстояния. Решению этой задачи служит настройка инструментов на размер.

Конструкции вспомогательного инструмента

Конструкции вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ определяются их основными элементами: присоединительными поверхностями для крепления на станке его самого и режущего инструмента на нем. Устройства, осуществляющие автоматическую смену инструмента и его крепление, определяют конструкцию хвостовика, который должен быть одинаковым для всего режущего инструмента данного станка. Принята конструкция хвостовика с конусностью 7:24.

В качестве примера рассмотрим типовую оправку для сверлильных, фрезерных, расточных и многоцелевых станков с ЧПУ (рис. 14.4,а). Оправка имеет поверхность 1 для зажима в шпинделе станка после установки штыря 7

(рис.14.4,б). На рис.14.4,б показано размещение кодовых (6) и промежуточных (5) колец; поверхность 2 – для базирования в шпинделе станка; поверхность (3) контактирует с захватами; поверхность (4) – для установки и закрепления режущих и вспомогательных инструментов.

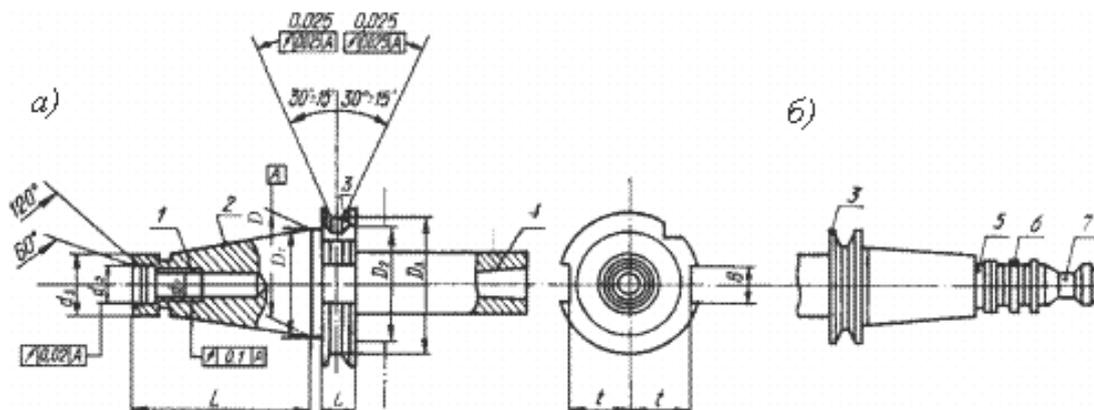


Рисунок 14.4 – Оправка для многоцелевых станков с ЧПУ: а – хвостовик; б – хвостовик с кодовыми кольцами

Основные размеры хвостовиков оправок приведены в таблице 14.1. Размер D_2 определяет свободное пространство для захвата автоматической рукой. Протяженность свободного пространства, очерченного на рисунке штрихпунктирными линиями, от торца фланца не менее 10 мм для хвостовика №40 и не менее 16 мм для хвостовика №50. Это пространство нельзя занимать элементами оправок и режущих инструментов. Коническая поверхность (б) (рис. 14.4б) с конусностью 7:24 и кольцевая канавка под захват автоматической рукой должны иметь твердость HRC 52...56. Канавки для кодирования оправки разрешено выполнять на поверхности диаметром d_3 и на штырях под захват механизмом осевого закрепления.

Таблица 14.1 – Размеры хвостовиков оправок для многоцелевых станков с ЧПУ, мм

Номер конуса	D	D1	D2	D3	d1	d2	d3	L	l	B	t, не более
40	44,45	44,5	58	63	M16		25,3	93,4	10	16,1	22,5
50	69,85	69,9	94	100	M24	17 25	39,6	126,8	12	25,7	35,3



Рисунок 14.5 – Классификация вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ

Вспомогательный инструмент служит для компоновки специальных функциональных единиц – инструментальных блоков (комбинаций режущего и вспомогательного инструмента), каждый из которых предназначен для выполнения конкретного технологического перехода. Вспомогательный инструмент классифицируют в соответствии с назначением для различных групп станков с ЧПУ, степенью их автоматизации (рис. 14.5).

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к практическим работам

по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ»
для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения»

1. Определение уровня экономической эффективности от внедрения станков с ЧПУ при токарной обработке заготовок

Цель работы: Определить степень эффективности обработки поверхностей детали на станках с ЧПУ. Сделать заключение о целесообразности применения станков с ЧПУ для обработки заготовки на определенных технологических операциях.

Внедрение станков с ЧПУ для автоматизации ТП механической обработки позволяет обрабатывать детали такой же широкой номенклатуры, как и на универсальных станках соответствующих типов, но с меньшими затратами. Эффективность станков с ЧПУ объясняется их высокой производительностью.

Кроме того, повышается производительность труда обслуживающего персонала, сокращаются потребности в специальной технологической оснастке и режущих инструментах. Сокращаются оборотные средства, вкладываемые в незавершенное производство, высвобождаются значительные производственные площади.

При использовании станков с ЧПУ вместо универсальных производительность труда значительно повышается за счет сокращения вспомогательного времени на переустановку и измерение обрабатываемой детали, за счет оптимизации режимов резания, одновременного использования в работе нескольких инструментов.

Снижению себестоимости обработки деталей на станках с ЧПУ способствует централизация разработки технологии и составление управляющих программ с применением средств автоматизации. При этом используются базовые техпроцессы и типовые подпрограммы.

Основными источниками экономической эффективности обработки на станках с ЧПУ являются:

1. Сокращение нормы вспомогательного времени на выполнение операции;
2. Снижение затрат на изготовление режущего инструмента и технологической оснастки;
3. Снижение затрат на подготовку управляющей информации для обработки сложных фасонных поверхностей;
4. Увеличение доли основного времени в штучном (для универсальных станков с ручным управлением $T_0 \approx 0,3T_{шт}$, для станков с ЧПУ $T_0 \approx 0,7T_{шт}$);

5. Высокая степень концентрации операций.

О целесообразности применения станков с ЧПУ ориентировочно можно судить при необходимости выполнения следующих видов обработки:

- 1) Обработка очень сложных уникальных деталей, с большим количеством фасонных поверхностей;
- 2) Обработка заготовок обычных машиностроительных деталей с точностью по IT 6-8 с параметром шероховатости Rz 3 - 10 мкм, при условии, что заготовки поступают на обработку партиями по 15-25 шт.

Таким образом, наиболее целесообразным является применение станков с ЧПУ в условиях единичного, мелкосерийного и среднесерийного типа производства, когда требуется оперативность в переналадке оборудования на выпуск изделий нового типа.

Степень эффективности обработки на станках с ЧПУ растёт с повышением сложности детали и увеличением объёма или количества технологических переходов. Это характеризуется коэффициентом конструктивно-технологической сложности детали $C_{КТ}$

$$C_{КТ} = 0,02 \sum_{i=1}^k \beta_i, \quad (1.1)$$

где k – количество конструктивных элементов заготовки, обрабатываемых на рассматриваемой операции; β_i – весовой коэффициент, определяющий относительную трудоемкость обработки i -го конструктивного элемента заготовки на станке с ручным управлением по сравнению с трудоемкости обработки на станке с ЧПУ.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать деталь с точки зрения сложности её поверхностей и их количества.
2. Сгруппировать поверхности детали по признакам, приведённым в таблице 1.1. Присвоить каждой поверхности детали весовой коэффициент, определяющий относительную трудоемкость её обработки.
3. Определить степень целесообразности применения станков с ЧПУ для обработки поверхностей детали.
4. Сделать вывод о целесообразности применения станка с ЧПУ для обработки детали на определенной технологической операции (степень целесообразности определяется условно как низкая, средняя, или высокая).

Таблица 1.1 – Значение весовых коэффициентов, учитывающих трудоёмкость обработки различных поверхностей

Тип поверхности	β_i
Цилиндрическая наружная и торцовая	1
Цилиндрическая внутренняя	1,5
Коническая наружная	1,8
Коническая внутренняя	2
Резьба наружная	5
Резьба внутренняя	7
Фасонная наружная	10
Фасонная внутренняя	12

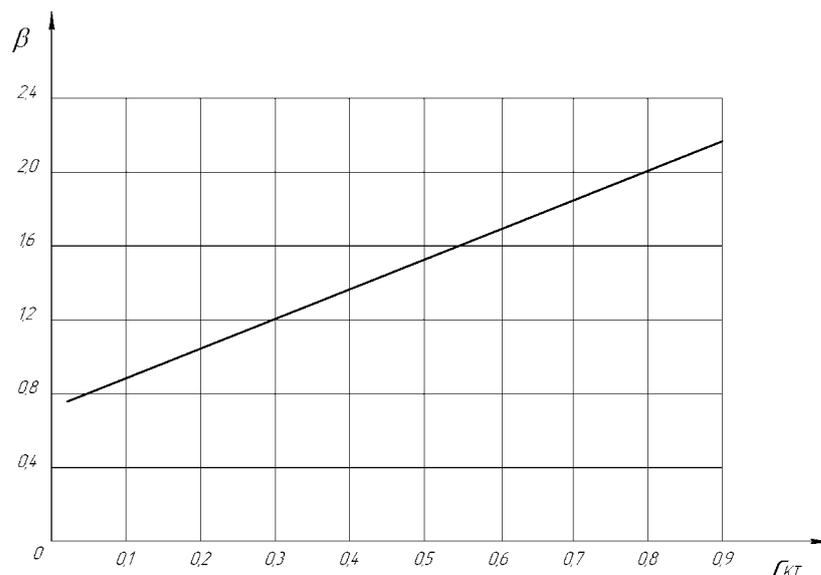


Рисунок 1.1 – Зависимость относительной трудоёмкости обработки поверхностей от коэффициента конструктивно-технологической сложности детали

2. Погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента

Цель работы: определить максимальную партию заготовок, обрабатываемых в период между переналадками станка с ЧПУ.

Исходные данные: чертеж детали или операционный эскиз обработки, марка обрабатываемого материала, марка инструментального материала.

Размерный износ инструмента является одной из составляющих общей погрешности обработки и измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности. На размерный износ влияют обрабатываемый материал, материал режущей части инструмента, его конструкция, геометрия и состояние режущей кромки, режимы обработки, жесткость технологической системы и другие факторы.

Обобщенных значений размерного износа инструмента от этих факторов в виде определенных зависимостей не выведено. Поэтому при определении размерного износа инструмента для обрабатываемой партии деталей обычно исходят из ориентировочных

значений относительного износа, или задаются допустимым размерным износом инструмента для конкретного вида обработки.

Основной участок зависимости размерного износа инструмента от длины пути резания является линейным. В связи с этим, на основном участке данной зависимости можно принять за характеристику размерного износа инструмента относительный (удельный) износ на 1000 м пути резания - (u_o , мкм/км).

Длину пути резания L_d , м, при точении одной заготовки можно определить по формуле:

$$L_d = \frac{\pi D l_d}{1000s}, \quad (2.1)$$

где: D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; l_d – длина обрабатываемой поверхности, мм; s – подача, мм/об.

Длина пути резания L_N для партии заготовок n , обрабатываемых в период между подналадками станка будет:

$$L_N = L_d n, \quad (2.2)$$

Для того чтобы учесть более интенсивное изнашивание в начальный период обработки (на первом участке зависимости размерного износа инструмента от длины пути резания), принято условно увеличивать расчетную длину резания на 1000 м. Тогда полная длина пути резания на партию заготовок будет:

$$L = L_N + 1000, \quad (2.3)$$

Размерный износ инструмента ориентировочно можно определить по формуле:

$$\Delta u = \frac{L}{1000} u_o, \quad (2.4)$$

где: u_o – относительный размерный износ инструмента. Относительный размерный износ инструмента принимается по нормативным или экспериментальным данным с учетом конкретных условий выполнения операции.

Ориентировочные значения относительного и допустимого размерного износа инструмента приведены в таблицах 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 – Относительный размерный износ u_o резцов при чистовом точении различных конструкционных материалов, мкм/км

Материал режущей части инструмента	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун НВ 375-400
Т60К6	0,7 – 4	0,7 – 4	-	-
Т30К4	3 – 7	4 – 7	-	-
Т15К6	5 – 8	9 – 12	-	-
Т5К10	8 – 12	12 – 15	-	-
ВК9	-	65 – 70	-	-
ВК8	-	17 – 25	13 – 16	-
ВК6	-	-	14 – 17	-
ВК4	-	25 – 30	-	-
ВК3	-	9 – 13	6 – 9	16 – 20
ВК2	-	-	4 – 26	12 – 16

ПРИМЕЧАНИЕ. Меньшие значения относительного размерного износа соответствуют чистовой обработке, большие – черновой. Данные получены при следующих условиях обработки: углеродистая сталь – $\sigma_B = 500 - 600$ МПа, скорости резания $v_p = 100 - 400$ м/мин; сталь легированная – $\sigma_B = 920 - 1100$ МПа, скорости резания $v_p = 100 - 200$ м/мин; серый чугун – **НВ** 187 – 207, скорости резания $v_p = 50 - 150$ м/мин; данные для закаленного чугуна относятся к тонкому растачиванию [СТМ т. 1].

Таблица 2.2 – Допустимый размерный износ $\Delta U_{доп}$ инструмента при обработке партии заготовок, мкм

Выдерживаемый размер, мм	Вид обработки			
	Черновая	Чистовая	Тонкая	Однократная
До 30	30 – 80	15	2	20
Св. 30 до 80	45 – 120	20	3	25
- 80 – 180	60 – 150	30	6	30
- 180 – 360	75 – 200	40	10	40
- 360 – 500	90 – 250	50	15	50

* определение величины партии заготовок рекомендуется выполнить с помощью редактора Microsoft Office Excel.

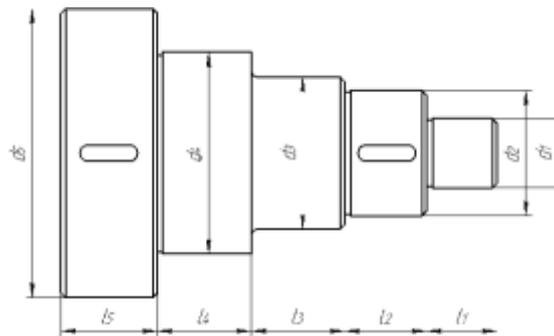


Рисунок 2.1 – Ступенчатый вал

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета

№ п/п	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	Марка обработ. материала	Марка инструм. материала
1	10	20	25	35	50	12	25	30	35	25	Сталь 45	T15K6
2	20	30	40	45	55	20	30	15	15	25	Сталь 40X	T15K6
3	25	28	30	35	60	15	20	15	12	25	Сталь 30X	T30K4
4	22	30	35	40	55	16	22	25	10	15	СЧ15	ВК6
5	10	15	20	25	40	14	20	13	30	20	СЧ30	ВК8
6	15	25	30	40	60	15	20	25	20	30	12X13	T60K4
7	20	30	38	45	65	20	15	25	30	20	10XСНД	T30K4
8	15	22	30	40	55	17	22	20	15	20	25XГМ	T30K6
9	10	20	24	35	50	20	30	22	25	20	СЧ20	ВК3
10	15	25	35	40	60	22	25	30	20	15	14Г2	T30K4
11	10	20	35	45	65	23	20	30	35	20	Сталь 50	T15K6
12	12	25	32	40	45	20	18	35	28	30	30XГСА	T15K6
13	18	24	28	36	48	17	20	28	30	30	20X	T15K6
14	11	25	30	32	45	15	25	22	24	34	СЧ10	ВК3
15	14	16	24	38	52	20	23	32	35	30	КЧ 30-6	ВК6
16	16	20	25	38	45	22	30	18	32	45	КЧ 50-5	ВК9
17	18	28	32	45	50	25	28	20	30	34	10Г2	T15K6
18	24	28	36	46	52	22	24	28	35	40	12XН3А	T30K4
19	16	24	28	32	40	18	17	30	25	35	СЧ35	ВК8
20	14	18	30	40	48	20	25	22	30	34	КЧ 37-12	ВК6

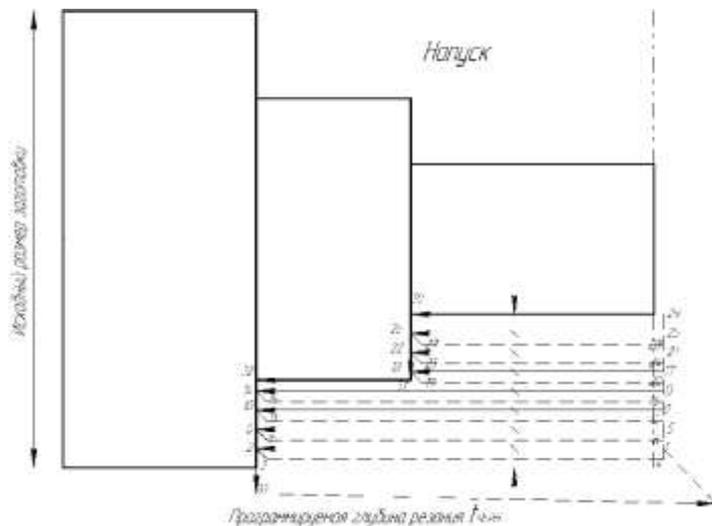


Рисунок 2.2 – Схема удаления напуска и чернового припуска из полуоткрытой зоны обработки

3. Влияние условий обработки на точность поверхности при растачивании отверстия на горизонтально-расточном станке с ЧПУ

Цель работы: выбрать режимы обработки и параметры расточной консольной оправки так, чтобы величина максимального смещения режущей кромки вследствие упругих отжатий инструмента не превышала $0,25\delta$ (величины допуска) на размер обрабатываемого отверстия. При оптимизации режимов обработки необходимо обеспечить требуемую точность при максимально возможной производительности.

Влияние условий обработки на точность деталей может быть установлено аналитически, или экспериментально.

При аналитическом исследовании исходным является уравнение, устанавливающее взаимосвязь между смещением режущей кромки инструмента $\Delta r(P)$ и составляющими силового воздействия:

$$\Delta r(P) = \sum_q A_q P_q, \quad (3.1)$$

Оператор преобразования A_q и силовое воздействие P_q в общем случае имеют сложную структуру. В данном расчете ограничимся рассмотрением простейшей технологической системы, когда оператор A_q равен податливости технологической системы. Таким образом, при растачивании отверстия консольной оправкой выражение (3.1) можно представить в следующем виде:

$$\Delta r(P_x, P_y) = A_x P_x + A_y P_y = \Delta r(P_x) + \Delta r(P_y), \quad (3.2)$$

где:

$$A_x = -1,5 \frac{l_a}{l} \frac{l^3}{3EJ_x}, \quad (3.3)$$

$$A_y = \frac{l^3}{3EJ_x}, \quad (3.4)$$

где: P_q – величина силы резания, определяемая по эмпирической формуле в зависимости от режимов и условий обработки, Н; P_x , P_y – осевая и радиальная составляющие силы резания (также определяются по эмпирическим формулам); l_a – расстояние от точки приложения составляющей силы резания P_x до оси оправки; l – длина оправки; E – модуль упругости материала оправки (можно принять в качестве материала оправки сталь марки 40Х с модулем упругости $E=2,5 \times 10^5$ МПа); J_x – момент инерции поперечного сечения оправки, определяемый по формуле:

$$J_x = \frac{\pi d_{\text{опр}}^4}{64}, \quad (3.5)$$

Порядок выполнения расчета:

1. Принять стандартную оправку, выбрать материал режущей части;
2. По справочнику принять режимы резания для выполнения заданной операции, считая операцию как окончательную, а отверстие предварительно подготовленное;
3. Выполнить расчет максимального смещения вершины инструмента относительно идеального положения с учетом принятых режимов;
4. По результатам расчета сделать вывод о возможности выполнения обработки с принятыми параметрами, ограничив допустимое отжатие настроечной точки инструмента на величину, не превышающую 0,25 величины допуска размера обрабатываемого отверстия;
5. После получения результатов и их анализа, исходные параметры режимов резания и геометрии оправки подлежат оптимизации. Выбор режимов резания и параметров расточной оправки необходимо выполнять с точки зрения обеспечения максимальной производительности обработки и требуемого качества обработанной поверхности.
6. Сделать общий вывод по теме работы.
7. *Разработать алгоритм оптимизации исходных данных и реализовать его в редакторе Microsoft Office Excel (пункт выполняется как дополнительный).

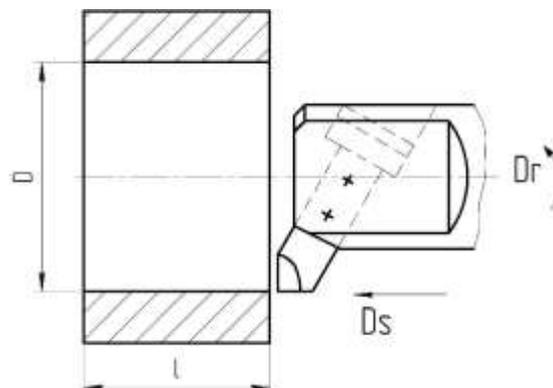


Рисунок 3.1 – Схема растачивания отверстия на проход

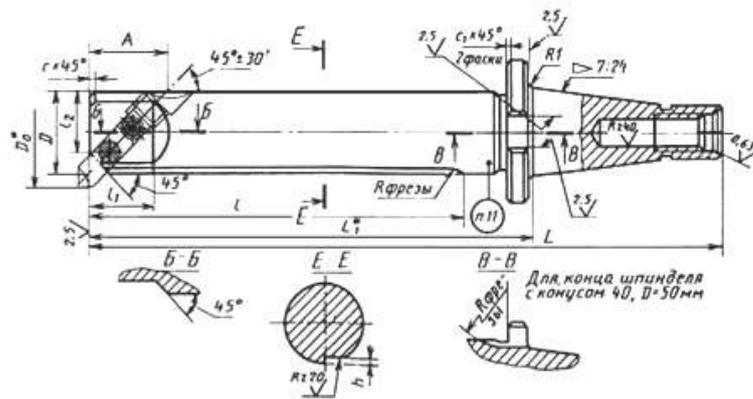


Рисунок 3.2 – Оправка расточная консольная

Таблица 3.1 – Оправки расточные консольные с креплением резца под углом 45° и хвостовиком конусностью 7:24 (№40) ГОСТ 21226-75

Обозначение оправок	Применяемость	Диаметр растачивания D_0	Обозначение конуса	D	Сечение резца	L	A	L_1	i	l_1	l_2	k
6300-0901		От 30 до 45	40	25	8x8	190	25	96,6	70	22	20	з
6300-0902		От 40 до 55		32	10x10	200	33	106,6	80	28	24	
6300-0903				300				206,6	180			
6300-0904		От 50 до 65	40	40	12x12	240	40	146,6	140	32	30	
6300-0905				360				266,6	240			
6300-0906		От 60 до 85	40	50	16x16	260	50	166,6	140	40	36	е
6300-0907				420				326,6	300			

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчета

Вариант №	Обрабатываемый материал	Диаметр исходного отверстия D_1 , мм	Окончательный диаметр отверстия D , мм	Квалитет	Глубина отверстия l , мм	Вид обработки
1	Сталь 45	33	35	H8	110	На проход
2	Сталь 40X	53	55	H7	115	В упор
3	СЧ30	63	65	H8	120	На проход
4	12X18H9T	73	75	H7	150	В упор
5	СЧ15	75	76	H8	123	На проход
6	14X17H2	68	70	H7	130	В упор
7	Сталь 40XH	78	80	H8	155	На проход
8	У10	54	55	H7	98	В упор
9	12X21H5T	43	45	H8	112	На проход

10	Сталь50	78	80	H7	134	В упор
11	ХН78Т	58	60	H8	117	На проход
12	12ХГСА	68	70	H7	123	В упор
13	14ХМЗА	55	56	H8	108	На проход
14	20Х23Н18	48	50	H7	95	В упор
15	Сталь 30	38	40	H8	87	На проход
16	У12А	52	54	H7	88	В упор
17	14Г2	56	58	H8	98	На проход
18	30ХГСА	76	78	H7	121	В упор
19	25ХГМ	70	72	H8	113	На проход
20	50ХГ	38	40	H7	132	В упор
21	10ХСНД	32	33	H8	108	На проход
22	30Х	46	48	H7	115	В упор
23	СЧ30	72	74	H8	135	На проход
24	У8А	38	40	H7	115	В упор
25	Сталь 30Х	31	33	H8	120	На проход

4. Проектирование операции механической обработки с применением фрезерного станка с ЧПУ

Цель работы: спроектировать технологическую операцию механической обработки поверхностей детали на фрезерном станке с ЧПУ.

Технологические процессы обработки деталей с применением станков с ЧПУ отличаются повышенной степенью детализации, что связано с необходимостью точной увязки траектории автоматического движения режущего инструмента с системой координат станка, исходной точкой и положением заготовки.

Проектирование технологических процессов, реализуемых на станках с ЧПУ обычно разделяют на три стадии: 1) Разработка технологического маршрута изготовления детали; 2) Разработка технологического процесса по операциям; 3) Подготовка управляющей программы. Каждая из этих стадий проектирования включает в себя комплекс типовых мероприятий, направленных на оптимизацию разрабатываемого технологического процесса.

На этапе разработки технологических операций в определенном порядке выполняются типовые действия, приведенные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Содержание этапов разработки операционной технологии

Стадия II (разработка технологического процесса по операциям)	
Этап	Содержание этапа
1. Составление плана операций.	Определение содержания операций. Разделение операций на установки и позиции. Уточнение метода закрепления заготовки. Подготовка операционных карт.
2. Разработка операционной технологии	Определение последовательности выполнения переходов. Разделение переходов на ходы. Окончательный выбор режущих инструментов. Выбор контрольных точек. Определение траекторий позиционных и вспомогательных ходов. Расчет режимов резания. Подготовка карт наладки станка и инструмента.

При проектировании фрезерных операций для обработки заготовок на станках с ЧПУ, элементы контура обрабатываемых деталей могут быть разделены на основные и дополнительные. К дополнительным поверхностям относят сопрягающие поверхности с постоянным и переменным радиусами сопряжения. Для обеспечения более высокой степени технологичности, сопряжения элементов контура детали должны выполняться с одинаковым радиусом. Назначенный радиус сопряжения должен быть типовым для данного контура или детали. Минимальный радиус сопряжения r_{\min} , назначается с учетом

определенного соотношения между этим радиусом и типовым радиусом $R_{тип}$ на контуре, регламентирующем максимально допустимый диаметр фрезы для чистовых переходов. При фрезеровании можно выделить определенные области (зоны) обработки. Они делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные.

К числу открытых относятся области, не налагающие ограничений на перемещения инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной к этой оси.

В полуоткрытых областях перемещения инструмента ограничены как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной.

В закрытых областях перемещение инструмента ограничено по всем направлениям.

Комбинированные области формируются в результате объединения нескольких областей различных типов из числа описанных выше.

При программировании фрезерной обработки вышеперечисленных областей используют типовые схемы технологических переходов, определяющие правила построения траектории инструмента.

Типовые схемы движения инструмента при удалении чернового припуска на фрезерных операциях

Чаще всего типовые схемы движения инструмента при обработке заготовок на станках с ЧПУ разрабатываются с учётом удобства формализации. Можно выделить следующие основные методы формообразования траектории фрезы.

1. Зигзагообразный. Данный способ является наиболее распространённым, хотя имеет ряд недостатков, из которых можно выделить: а) переменный характер резания; б) повышенное число изломов на обработанной поверхности.

Зигзагообразный метод имеет три разновидности: а) без обхода границ; б) с проходом вдоль границы контура в конце обработки; в) с проходом вдоль границы контура в начале обработки. Типовые схемы движения инструмента для зигзагообразного метода показаны на рисунке 4.1.

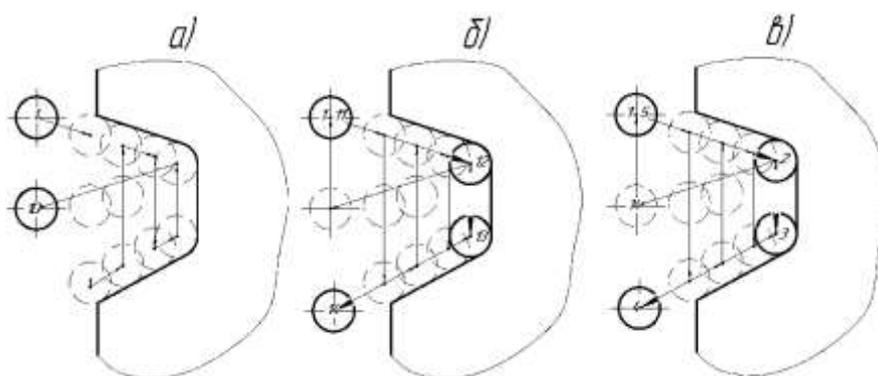


Рисунок 4.1 – Зигзагообразный метод удаления припуска и напуска: а) без обхода границ; б) с проходом вдоль границы контура в конце обработки; в) с проходом вдоль границы контура в начале обработки

2. Спиралевидный. Этот способ обеспечивает более плавный режим работы, что позволяет получить поверхность с меньшим числом изломов. Существуют две разновидности спиралевидного метода: а) от центра к периферии; б) от периферии к центру. Типовые схемы движения инструмента для спиралевидного метода показаны на рисунке 4.2.

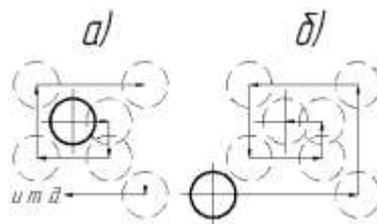


Рисунок 4.2 – Спиралевидный метод удаления припуска и напуска: а) от центра к периферии; б) от периферии к центру

3. Ш-образный метод. Этот способ обычно применяется при обработке открытых плоскостей. По этому методу инструмент сначала линейно перемещается на рабочей подаче вдоль обрабатываемой поверхности. Затем отводится по нормали от обрабатываемой поверхности, выполняет обратный быстрый ход, смещается на один шаг и снова подводится к обрабатываемой поверхности. После этого цикл повторяется. Типовая схема движения инструмента для Ш-образного метода показана на рисунке 4.3.

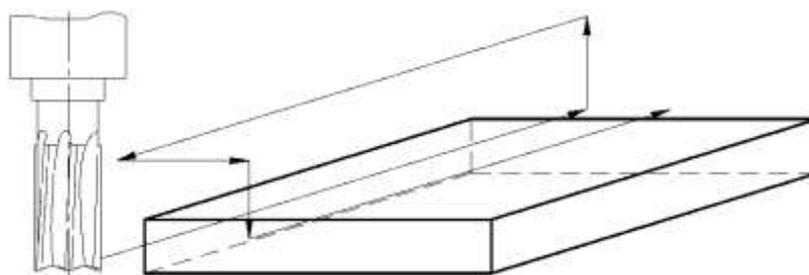


Рисунок 4.3 – Ш-образный метод удаления припуска и напуска

Встречное и попутное фрезерование. Назначение глубины резания при чистовом проходе. Выбор инструмента при контурном фрезеровании

При чистовом контурном фрезеровании концевыми фрезами на станках с ЧПУ применяют как встречную, так и попутную схему фрезерования. При встречном фрезеровании стойкость инструмента и параметр шероховатости обрабатываемой поверхности ниже, чем при попутном фрезеровании. Но при встречном фрезеровании деформация фрезы и детали меньше, чем при попутном, поэтому припуск может быть назначен в размере до 30% от диаметра фрезы. В данном случае обработку контура можно выполнять за один проход с большой глубиной резания, что повысит производительность.

Глубину резания при контурном фрезеровании назначают исходя из величины минимальных радиусов сопряжений внутренних элементов контура. Для повышения точности обработки внутренних радиусов их получают не копированием, а обходом по дуге. Это связано с тем, что при изменении направления подачи скачком изменяется величина и направление силы резания. В данном случае это может привести к упругому отжатию фрезы от обрабатываемой поверхности и искажению контура. Кроме того, фреза имеет износ по диаметру, что также может повлиять на точность обработки контура.

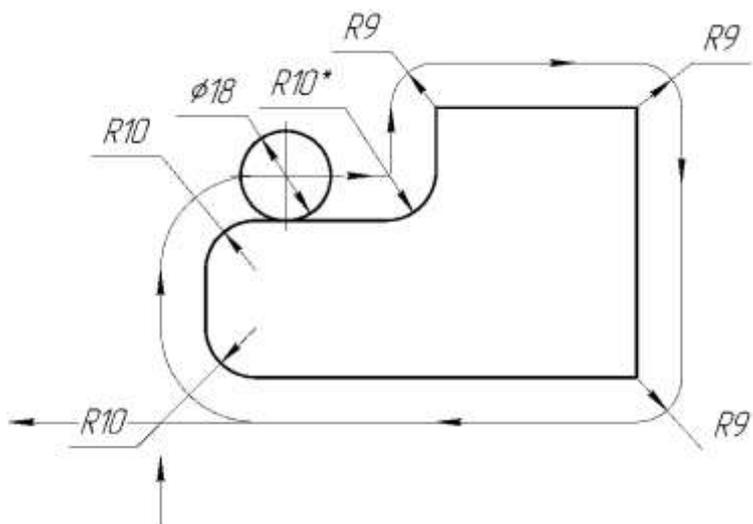


Рисунок 4.4 – Схема выбора диаметра фрезы для чистового контурного фрезерования

При назначении диаметра фрезы для обработки контура без ограничений по внутренним радиусам исходят из соображений максимальной производительности. При этом назначают максимально возможный диаметр фрезы.

Обработка отверстий на фрезерных станках с ЧПУ

Технологические возможности современных фрезерных станков с ЧПУ кроме обработки плоскостей, различных контуров, пазов и уступов, позволяют планировать выполнение на них типовых переходов обработки отверстий стержневыми инструментами, таких как сверление, зенкерование, нарезание резьбы, растачивание и развертывание. При этом в зависимости от модели станка обеспечивается точность межцентровых расстояний 0,1...0,05 мм.

Основные и дополнительные элементы отверстий

Конфигурация любого отверстия может быть сформирована из основных и дополнительных элементов.

Большинство основных элементов – это цилиндрические отверстия с точностью диаметрального размера IT6...IT14. Основные элементы отверстий могут быть глухими и сквозными (гладкие сквозные, с фаской и без фаски, глухие, конические глухие и сквозные, с резьбой и без нее). Дно глухого отверстия может иметь плоский или произвольный характер.

Дополнительные элементы отверстий – это фаски, углубления прямоугольного профиля со свободными размерами, наружные и внутренние торцы, требующие обработки, канавки и т.д.

Заготовки под отверстия бывают трех типов: сплошная, с литым отверстием, с предварительно обработанным отверстием. Из простых отверстий составлены сложные. Каждое отверстие отделяется друг от друга торцовыми поверхностями. Торцы обычно нумеруются (от которых производится отсчет размеров при обработке). Каждая выделенная ступень может быть обработана за один или несколько проходов.

Общая схема обработки отверстий

Как правило, имеется определенная последовательность обработки, которая включает следующие типовые действия (рис. 4.5):

1. Позиционирование стола в плоскости X, Y;
2. Быстрый подвод инструмента вдоль оси Z в начальную точку;
3. Рабочий ход (чаще всего в режиме постоянного цикла);
4. Возврат в начальную точку;
5. Позиционирование стола, или смена инструмента.

Недоход L1 обычно принимается 1...3 мм, величина перебега L2 зависит от рабочего конуса инструмента, и принимается равной длине режущей части инструмента +1 мм запаса. Характер движения инструмента от начальной точки до точки выхода и обратно зависит от типа применяемого постоянного цикла.

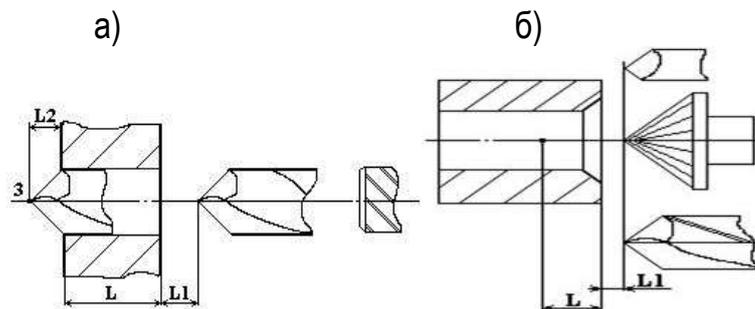


Рисунок 4.5 – Схема перемещения инструмента при реализации постоянных циклов обработки отверстий: а) Обработка на проход; б) обработка в упор

Типовые переходы при обработке отверстий

Технологические переходы обработки отверстий выполняются по типовым схемам, которые имеют ряд общих признаков:

1. Большинство переходов осуществляется за один проход. Многопроходная обработка применяется обычно для сверления глубоких отверстий при соотношении длины отверстия к диаметру $\frac{l}{d} \geq 3$.
2. Траектория движения инструмента в пределах одного прохода состоит из участков рабочего и вспомогательного хода. Рабочий ход включает недоход, участок резания и перебег (при обработке глухих отверстий перебег отсутствует).
3. Недоход принимают обычно равным 1...3 мм для предварительно обработанных поверхностей и 5...10 мм для необработанных поверхностей.
4. Период перебега зависит от размера рабочего конуса инструмента и принимается больше его длины на 1...3 мм.
5. На участке резания траектория движения инструмента может иметь промежуточные опорные точки, которые характеризуются изменением частоты вращения шпинделя и величины подачи, либо выполнением включения-выключения или реверса вращения шпинделя.

6. Вспомогательный ход включает быстрый подвод инструмента к обрабатываемому отверстию и его возврат в исходную точку.

На выбор последовательности переходов при обработке отверстий может оказать влияние ряд следующих факторов: конфигурация отверстий; допустимые отклонения диаметров и относительного положения осей отверстий; число групп одинаковых отверстий; возможности станка с ЧПУ. Возможности станка с ЧПУ при этом характеризуются точностью и продолжительностью позиционирования стола, временем смены инструмента, а также числом позиций револьверной головки или емкостью инструментального магазина.

Состав операций и общее количество переходов обработки отверстий зависит от конкретных производственных условий. Для определения количества переходов также можно воспользоваться таблицами средне-экономической точности.

Последовательность обхода отверстий инструментами

Общую последовательность выполнения переходов для всей совокупности обрабатываемых отверстий в каждом конкретном случае следует выбирать исходя из допусков на межцентровые расстояния, а также из условия сведения к минимуму времени на вспомогательные перемещения и смену инструмента. При этом различают две типовые схемы обхода отверстий:

1. Параллельная схема обхода – заключается в том, что одним инструментом обрабатываются все одинаковые отверстия, затем производится смена инструмента, и цикл обработки повторяется.

2. Последовательная схема обхода – заключается в том, что каждое отверстие обрабатывается полностью по всем переходам в одной позиции стола. Затем производится позиционирование и выполняется полная обработка следующего отверстия.

От варианта схемы обхода отверстий существенно зависит переменная доля технологической нормы времени, которая складывается из продолжительности позиционирования и времени смены инструментов. Обработка одинаковых отверстий с небольшим количеством переходов производится обычно по параллельной схеме.

Последовательная схема обхода предпочтительна для отверстий с жестким допуском на межцентровые расстояния, для окончательных переходов (развертывание, нарезание резьбы). Последовательная схема обхода осуществляется также для основных отверстий, требующих выполнения большого числа переходов (отверстия сложной формы и отверстия высокой степени точности). Используя последовательную схему для обработки таких отверстий можно исключить погрешность позиционирования.

Последовательность позиционирования определяется выбором кратчайшего пути обхода отверстий. При этом учитывается модель станка и возможный характер перемещений исполнительных органов: по каждой координате отдельно или одновременно по двум - трем координатам.

Программирование операций механической обработки на фрезерных станках с ЧПУ

Исходными документами для подготовки управляющей программы являются чертеж детали, операционный эскиз расчетно-технологическая карта (РТК) и операционные технологические карты с информацией о заготовке, станке с ЧПУ, приспособлении, методах и режимах обработки, применяемых режущих, вспомогательных инструментах, последовательности технологических и вспомогательных переходов.

Разработка программы включает несколько этапов:

1. Выбор систем координат детали и инструментов;
2. Выбор центров инструментов, разработка траекторий движений инструментов и расчет координат их опорных точек;
3. Кодирование информации о перемещениях инструментов и условиях обработки, формирование кадров программы;
4. Ввод программы в устройство ЧПУ, или запись на программноноситель;
5. Наладка станка с ЧПУ на обработку по составленной программе, привязка систем координат детали и инструмента к системе координат станка.
6. Отработка программы в тестовом режиме и ее корректировка.
7. Обработка пробной детали и корректировка программы.

Программирование обработки выполняется с привязкой траектории движения настроечной точки инструмента к системе координат станка. Для станков сверлильной, расточной и фрезерной групп стандартной является 3-х координатная система X,Y,Z. За ее начало принимается базовая точка стола в одном из его крайних положений или точка на пересечении поверхности стола с осью его вращения для поворотных столов. Направление координатных осей при этом зависит от компоновки станка.

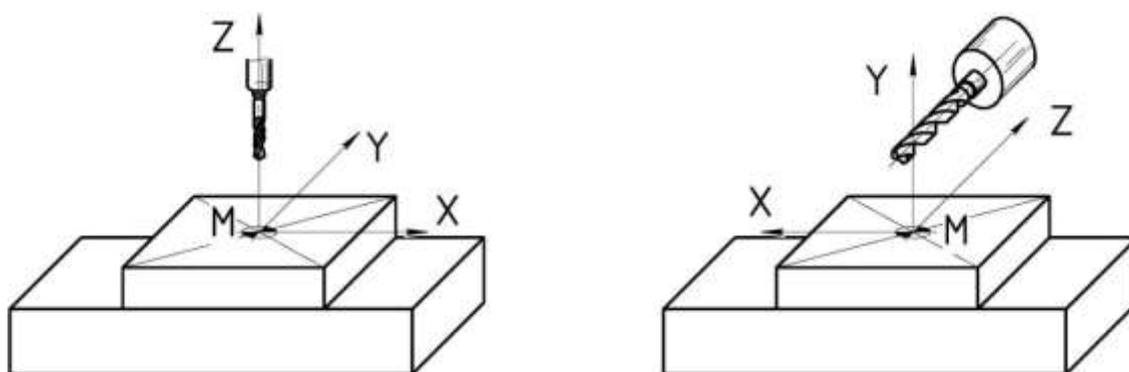


Рисунок 4.6 – Типовые системы координат фрезерных, сверлильных и расточных станков с ЧПУ

При разработке управляющей программы обработки, координаты точек траектории инструмента удобно задавать, используя чертеж детали, операционный эскиз или расчетно-технологическую карту (РТК), (т.е. используется система координат детали, без учета размеров станка и оснастки). Пример расчетно-технологической карты (РТК) показан на рисунке 4.7

Система координат детали (СКД) предназначена для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей, а также координат опорных точек траектории инструмента. Опорными при этом считаются точки начала, конца, пересечения или касания геометрических элементов, которые составляют контур детали и влияют на траекторию инструмента на переходах обработки.

Для упрощения разработки УП при выборе системы координат детали целесообразно:

- 1) направление осей координат детали принимать таким же, как и направление осей координат станка;

- 2) координатные плоскости совмещать с поверхностями технологических баз, или располагать параллельно;
- 3) начало системы координат выбирать таким, чтобы все, или большая часть координат опорных точек имели положительные значения;
- 4) координатные оси совмещать с осями симметрии детали или выносными линиями, относительно которых проставлено наибольшее число размеров.

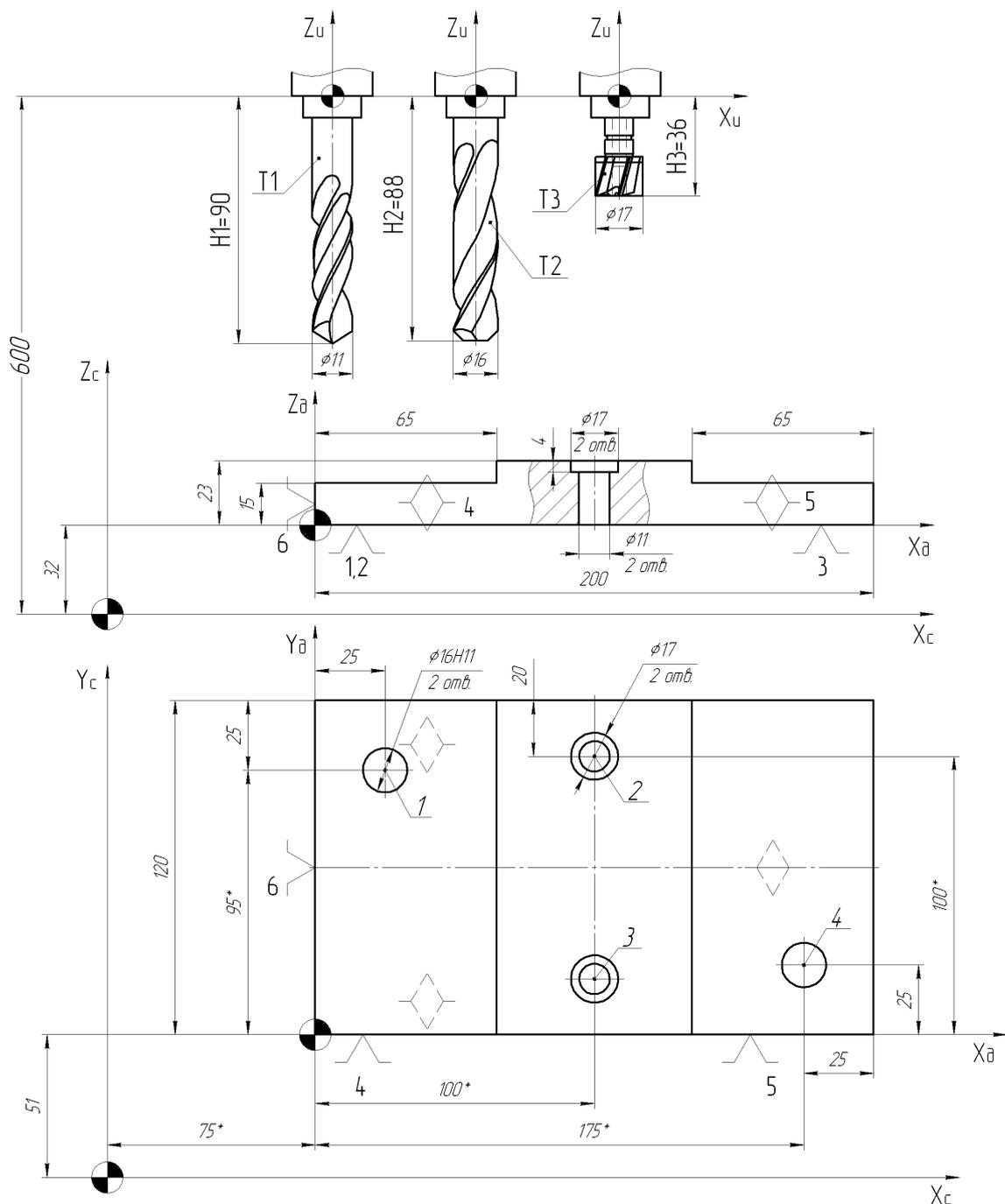


Рисунок 4.7 – Пример расчетно-технологической карты для станка с ЧПУ с вертикальной компоновкой шпинделя

Каждый конкретный тип УЧПУ характеризуется так называемым форматом, т.е. принятым (рекомендуемым) порядком расположения слов в кадре управляющей программы и структурой каждого слова в отдельности.

В общем случае формат УП должен записываться с соблюдением определенных правил, а символы и слова программы указываются в определенной последовательности. В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом. Это оговаривается конкретной методикой программирования.

Пример разработки управляющей программы в формате УЧПУ Heidenhain iTNC530

Информацию о системах управления технологическим оборудованием Heidenhain можно получить на официальном сайте <https://www.heidenhain.ru>.

Одним из преимуществ СЧПУ данного производителя является доступность официальных beta- версий программных станций для установки на ПК и их самостоятельного изучения. В дополнение к программным станциям компания Heidenhain предлагает методику HIT Klartext, в которой подробно на примерах рассмотрены основные принципы управления станком и программирования обработки в формате СЧПУ iTNC530. Данными УЧПУ оснащаются фрезерные и многоцелевые станки.

Программирование и управление станком с помощью УЧПУ iTNC520 схоже с программированием в форматах TNC320 и TNC620. В отличие от устройств TNC320 и TNC620, УЧПУ iTNC520 имеет сенсорную панель (Touchpad), а также алфавитную клавиатуру.



Рисунок 4.8 – Панель СЧПУ iTNC530

Рассмотрим порядок действий при создании управляющей программы в формате iTNC530 для детали «Полумуфта», показанной на рисунке 4.9.

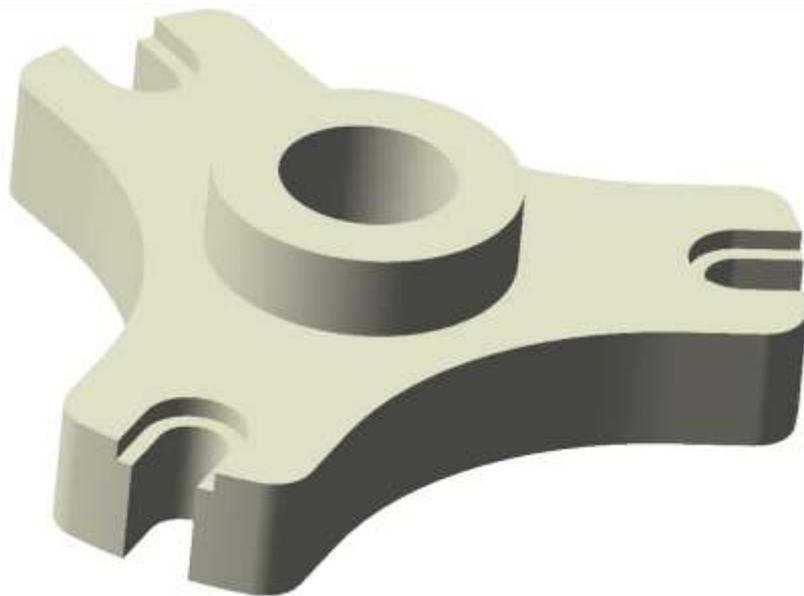


Рисунок 4.9 – 3D модель детали «Полумуфта»

1. Разработаем маршрутно-операционный технологический процесс обработки с учетом мелкосерийного типа производства. Принимаем заготовку плиту толщиной 50 мм. Технологический маршрут сводим в таблицу.

Таблица 4.1 – Технологический маршрут обработки детали «Плита»

№ Оп.	Наименование	Краткое содержание
1	2	3
001	Гидроабразивная DWJ13/15/20-FB	Нарезать плиту на штучные заготовки $\square 204 \times 204$ мм
005	Транспортная Электрокар	Доставить штучные заготовки на участок механической обработки
010	Вертикально-фрезерная с ЧПУ VMC320	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установить заготовку в приспособление и закрепить боковыми прихватами; 2. Контролировать положение заготовки в системе координат станка, внести коррекцию положения; 3. Сверлить отверстие $\phi 16$ на проход; 4. Рассверлить отверстие $\phi 40$ на проход; 5. Останов, выход инструмента на безопасное расстояние, режим ожидания; 6. Закрепить заготовку через центральное отверстие, снять боковые прихваты; 7 Фрезеровать цилиндр по программе, выдерживая размер $\phi 200$; 8. Фрезеровать цилиндр по программе, выдерживая размеры $\phi 70 \times 20$; 9. Фрезеровать внешний контур по программе, выдерживая размеры согласно эскизу; 10. Фрезеровать 3 паза 16×14 по программе, выдерживая размеры согласно эскизу; 11. Фрезеровать 3 паза 22×14 по программе, выдерживая размеры согласно эскизу; 12. Открепить, снять деталь, положить в тару; 13. Контроль исполнителем – 10%.
015	Слесарная Верстак слесарный	Зачистить заусенцы, притупить острые кромки
020	Моечная Машина моечная	Промыть детали в мощном растворе
025	Контрольная Стол ОТК	Проверить размеры согласно ОК контроля
030	Транспортная Электрокар	Доставить годные детали на СГП

2. Выполним операционный эскиз

На операционном эскизе показываем схему базирования, систему координат детали, получаемые размеры с предельными отклонениями и параметром шероховатости. В рассматриваемом примере считаем, что параметры точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей могут быть достигнуты однократной обработкой лезвийным инструментом.

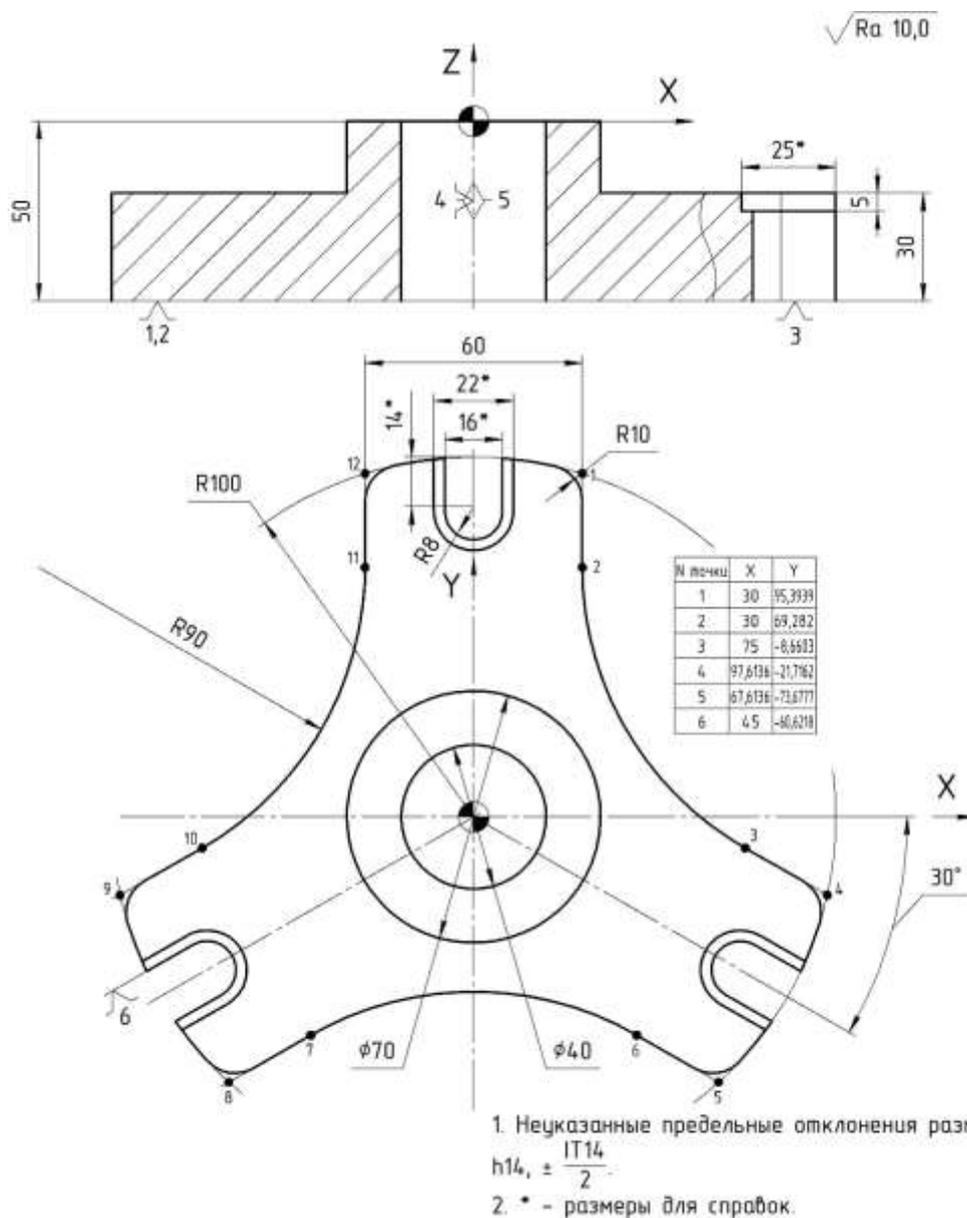


Рисунок 4.10 – Операционный эскиз обработки детали «Полумуфта» на операции 010

3. Запускаем программную станцию iTNC530. Поле запуска необходимо выполнить сброс данных нажатием клавиши «**CE**» в нижнем правом углу рабочего поля программы. Затем необходимо продублировать сброс данных нажатием клавиши «**CE**» на виртуальной клавиатуре (рис.4.11).

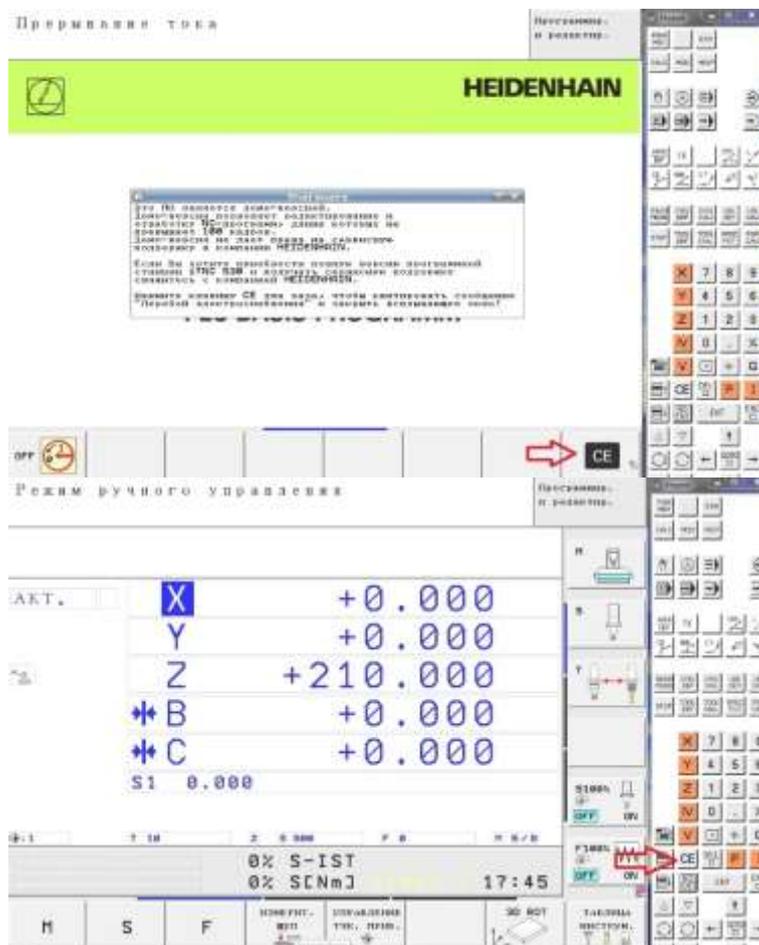


Рисунок 4.11 – Окно запуска программной станции iTNC530

4. Система по умолчанию находится в режиме ручного управления. Находясь в режиме ручного управления, переключаемся на вкладку «Программирование и редактирование». Кнопка для переключения показана на рисунке 4.12.

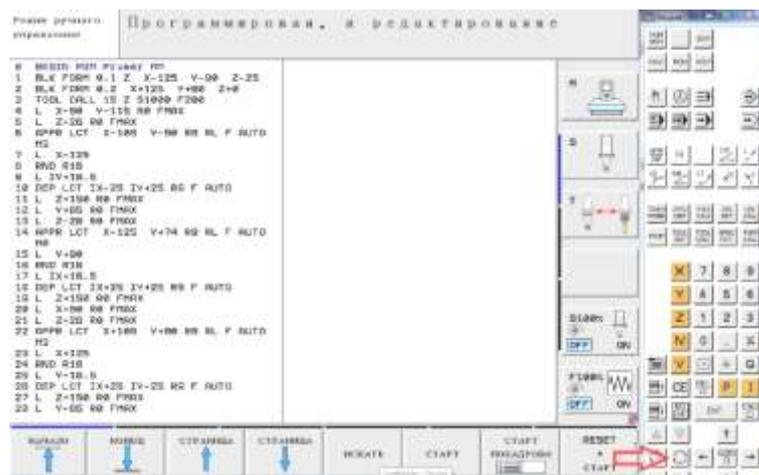


Рисунок 4.12 – Переключение в режим программирования и редактирования

5. Находясь в режиме «Программирование и редактирование», запускаем администратор файлов (кнопка «PGM_MGT», рис.4.13), и создаем файл новой программы. Имя файла программы в формате Heidenhain iTNC 530 должно состоять из букв латинского алфавита

и цифр в произвольном сочетании. В конце имени файла обязательно должна стоять точка и литера «Н», например, имя файла «*zadacha1*» записываем так: *zadacha1.N*
 После этого откроется панель способа задания размеров, либо в «*mm*», либо в «*inch*», выбираем «*mm*».



Рисунок 4.13 – Кнопка включения администратора файлов

6. После завершения создания нового файла, система автоматически переходит в диалог задания контура заготовки «**BLK_FORM**» (Blank Form). Контур заготовки в формате Heidenhain iTNC 530 может быть задан только в форме прямоугольного параллелепипеда. При этом последовательно задается сначала положение левой нижней вершины **min**, а затем – правой верхней вершина **max** относительно принятого нуля СКД (рис.4.14).

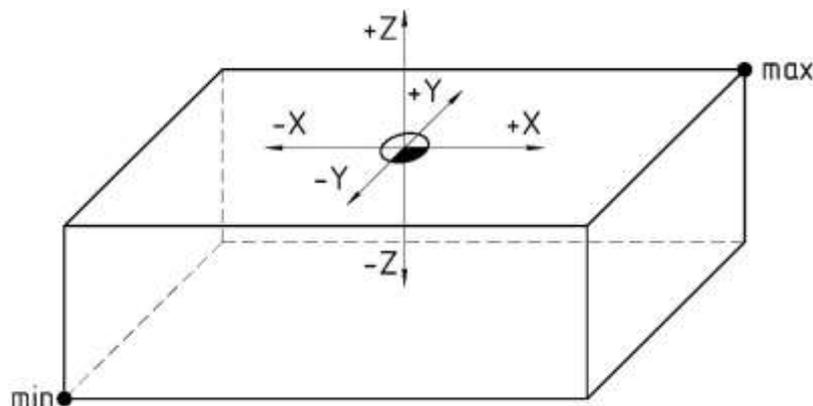


Рисунок 4.14 – Система координат детали в формате Heidenhain iTNC 530

Положение контура заготовки относительно нуля принимаем исходя из удобства определения координат опорных точек траектории движения центра инструмента. Нулевая точка заготовки (детали) обычно располагается на верхней плоскости, и все отрицательные координаты вдоль оси *Z* соответствуют положению настроечной точки инструмента «в металле».

Поскольку деталь «Полумуфта» имеет симметричную конструкцию, нулевую точку удобно расположить на поверхности заготовки в точке пересечения оси детали и верхней плоскости. Кадры управляющей программы в формате Heidenhain iTNC 530, задающие крайние точки заготовки будут иметь вид:

```

0 BEGIN PGM Polumufta MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-102 Y-102 Z-50 – координаты точки min
2 BLK FORM 0.2 X+102 Y+102 Z+0 – координаты точки max
    
```

7. Программируем обработку детали «Полумуфта» в соответствии с принятой технологией. Основы программирования для УЧПУ Heidenhain iTNC 530 подробно изложены в «Heidenhain_Klartext_Основы фрезерования».

Таблица 4.2 – Вариант УП обработки детали «Полумуфта» в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530

<pre> 0 BEGIN PGM Z_Polumufta.1 MM 1 BLK FORM 0.1 Z X-102 Y-102 Z-50 2 BLK FORM 0.2 X+102 Y+102 Z+0 3 TOOL CALL 0 Z S1000 F150 4 L X+0 Y+0 Z+50 R0 FMAX 5 L Z+2 R0 FMAX 6 L Z-55 R0 F AUTO M3 7 L Z+2 R0 FMAX 8 TOOL CALL 20 Z S500 F150 9 L X+0 Y+0 Z+50 R0 FMAX 10 L Z+2 R0 FMAX 11 L Z-55 R0 F AUTO M3 12 L Z+2 R0 FMAX 13 TOOL CALL 25 Z S500 F150 14 L X-140 Y-10 Z+70 R0 FMAX 15 L Z-55 R0 FMAX 16 APPR LCT X-100 Y+0 R10 RL F AUTO M3 17 CC X+0 Y+0 18 C X-100 Y+0 DR- 19 DEP LCT X-130 Y+20 R10 F AUTO 20 L Z-20 R0 FMAX 21 L X-100 Y+0 R0 22 CC X+0 Y+0 23 C X-100 Y+0 DR- 24 L X-75 25 C X-75 Y+0 DR- 26 L X-60 27 C X-60 Y+0 DR- 28 L X-61 29 L Z-10 30 L Y+130 R0 FMAX 32 CVCL DEF 10.0 POWOROT 33 CVCL DEF 10.1 ROT-30 34 L X+110 Y+0 R0 FMAX 35 L Z-55 R0 FMAX 36 L X+85 R0 37 L X+110 R0 FMAX 38 L Z+5 R0 FMAX 39 CVCL DEF 10.0 POWOROT 40 CVCL DEF 10.1 ROT+30 41 L X-110 Y+0 R0 FMAX 42 L Z-55 R0 FMAX 43 L X-85 R0 44 L X-110 R0 FMAX 45 L Z+5 R0 FMAX 46 TOOL CALL 11 Z S500 F150 47 L X-115 Y+0 Z+50 R0 FMAX 48 L Z-25 R0 FMAX 49 L X-85 R0 M3 50 L X-115 R0 FMAX 51 L Z+5 R0 FMAX 52 CVCL DEF 10.0 POWOROT 53 CVCL DEF 10.1 ROT-30 54 L X+115 Y+0 R0 FMAX 55 L Z-25 R0 FMAX 56 L X+85 R0 57 L X+115 R0 FMAX 58 L Z+5 R0 FMAX 59 CVCL DEF 10.0 POWOROT 60 CVCL DEF 10.1 ROT+0 61 L X+0 Y+115 R0 FMAX 62 L Z-25 R0 FMAX 63 L Y+85 R0 64 L Y+115 R0 FMAX 65 L Z+100 R0 FMAX 66 END PGM Z_Polumufta.1 MM </pre>	<pre> 31 L X-30 R0 FMAX 32 L Z-55 R0 FMAX 33 APPR LCT X+0 Y+100 R10 RL F AUTO 34 CC X+0 Y+0 35 C X+30 Y+95.3939 DR- 36 RND R10 37 L X+30 Y+65.282 38 CT X+75 Y-8.6603 39 L X+67.6136 Y-21.7162 40 RND R10 41 C X+67.6136 Y-73.6777 DR- 42 RND R10 43 L X+45 Y-60.6218 44 CT X-45 Y-60.6218 45 L X-67.6136 Y-73.6777 46 RND R10 47 C X-67.6136 Y-21.7162 48 RND R10 49 L X-75 Y-8.6603 50 CT X-30 Y+65.282 51 L X-30 Y+95.3939 52 RND R10 53 C X+0 Y+100 DR- 54 DEP LCT X+30 Y+130 R10 55 L Z+150 R0 FMAX 56 TOOL CALL 0 Z S000 F100 57 L X+0 Y+110 Z+100 R0 FMAX 58 L Z-55 R0 FMAX 59 L X+0 Y+85 R0 M3 60 L Y+110 R0 FMAX 61 L Z+5 R0 FMAX </pre>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Перечень вопросов, выносимых на экзамен по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ»

1. Основные преимущества станков с ЧПУ.
2. Область применения станков с ЧПУ.
3. Условия целесообразности применения станков с ЧПУ.
4. Системы ЧПУ. Классификация, обозначение.
5. Расположение и обозначение осей координат станков с ЧПУ.
6. Связь систем координат.
7. Технологические возможности токарных станков с ЧПУ. Область их применения.
8. Технологические возможности сверлильных станков с ЧПУ. Область их применения.
9. Технологические возможности расточных станков с ЧПУ. Область их применения.
10. Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ. Область их применения.
11. Технологические возможности обрабатывающих центров. Компоненты, область применения.
12. Анализ чертежа детали. Требования к простановке размеров и оформлению чертежей деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.
13. Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.
14. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ.
15. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на фрезерных станках с ЧПУ.
16. Типовые переходы при обработке отверстий.
17. Методы обхода отверстий.

18. Единичные циклы обработки отверстий. Сверление напроход, подрезка торцов. Показать схемы.
19. Единичные циклы обработки отверстий. Глубинное сверление, развертывание. Показать схемы.
20. Единичные циклы обработки отверстий. Нарезание резьбы метчиком, растачивание в упор.
21. Единичные циклы обработки отверстий. Растачивание предварительное, растачивание чистовое.
22. Токарные операции. Элементы контура детали. Зоны обработки.
23. Типовые схемы движения инструмента при токарной обработке открытых, полуоткрытых и закрытых зон.
24. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Черновая схема с подборкой.
25. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Черновая схема с получистовым (зачистным) проходом.
26. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Контурная схема.
27. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Эквидистантная схема.
28. Формирование черновой зоны обработки для токарных операций. Порядок расчета средней глубины резания.
29. Разделение припуска при черновой токарной обработке ступеньчатых валов. Схема удаления припуска по циклам уровней.
30. Разделение припуска при черновой токарной обработке ступеньчатых валов. Схема удаления припуска по циклам вертикалей.
31. Разделение припуска при черновой токарной обработке ступеньчатых валов. Схема удаления припуска по циклам горизонталей чернового контура.
32. Типовые схемы переходов при токарной обработке дополнительных поверхностей.
33. Фрезерные операции. Зоны обработки при фрезеровании.

34. Типовые схемы движения инструмента при удалении чернового припуска на фрезерных операциях.
35. Встречное и попутное фрезерование. Назначение глубины резания при чистовом проходе. Выбор инструмента при контурном фрезеровании.
36. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании.
37. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус.
38. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании.
39. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.
40. Коррекция на длину инструмента. Способы задания.
41. Способы наладки станка с использованием осепараллельной коррекции вылета инструмента. Наладка инструментов вне станка.
42. Смещение нуля станка. Способы задания и отмены.
43. Инструментальная наладка станка с использованием функции смещения нуля.
44. Постоянные циклы станка 16К20Ф3С32. Цикл многопроходной обработки резьб.
45. Постоянные циклы станка 16К20Ф3С32. Цикл многопроходной обработки
46. канавок.
47. Программирование фасок и галтелей на наружных и внутренних поверхностях для станка 16К20Ф3С32.
48. Программирование радиусов скруглений при обработке на станке 16К20Ф3С32.
49. Понятие интерполяции. Линейная и круговая интерполяция. Способы задания в УП.
50. Понятие формата кадра УП. Правила записи.
51. Требования к заготовкам, обрабатываемым на станках с ЧПУ.
52. Общие требования к металлорежущим инструментам, применяемым на станках с ЧПУ.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

**Учебная программа дисциплины
«Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации
многономенклатурного производства
Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине
для специальности:
7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»**

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ М.В. Нерода

« ___ » _____ 2024

Регистрационный № УД- _____ /уч.

Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации
многономенклатурного производства
Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальности:
7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»

2024

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта Республики Беларусь ОСВО 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении» и на основании примерного учебного плана № 7-06-07-023/пр., утвержденного 30.01.2023

СОСТАВИТЕЛЬ:

Я.В. Кудрицкий, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Котыло А. А., начальник технического отдела Унитарного Предприятия «Гефест-Кварц»

Голуб В.М., заведующий кафедрой «Машиноведение», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

Заведующий кафедрой _____ С.В. Монтик

(протокол №__ от __. __. 2024)

Методической комиссией машиностроительного факультета

Председатель методической комиссии _____ В.П. Горбунов

(протокол №__ от __. __. 2024)

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол №__ от __. __. 2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

«Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного производства» - прикладная инженерная дисциплина, в которой изучаются особенности технологической подготовки производства и основы программирования для реализации техпроцессов на оборудовании с числовым программным управлением.

Целью изучения дисциплины является Ознакомление магистрантов с основными этапами технологической подготовки машиностроительного производства при использовании станков с ЧПУ. Изучение основных типов металлорежущих станков с ЧПУ, их технологических возможностей и основ программирования обработки.

Задачей изучения дисциплины «Технология обработки на станках с ЧПУ» является обучение магистрантов методам, применяемым при механической обработке типовых поверхностей на различных станках с ЧПУ, а также, изучение основных положений, используемых при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ. Также, одной из задач изучения дисциплины является приобретение магистрантами навыков в разработке типовых технологических процессов изготовления деталей на станках с ЧПУ в условиях серийного производства.

В результате изучения дисциплины магистранты должны:

знать:

- основные принципы технологической подготовки производства при использовании оборудования с числовым программным управлением;
- основные типы металлорежущих станков с ЧПУ и их технологические возможности;
- особенности расположения и обозначения систем координат станков с ЧПУ разных типов;
- особенности режущего инструмента и оснастки для оборудования с ЧПУ;
- схемы движения инструментов при обработке типовых поверхностей на станках с ЧПУ;
- понятие формата кадра СЧПУ, базовые навыки в подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ.

уметь:

- проектировать технологические процессы механической обработки деталей с применением оборудования с числовым программным управлением;
- разрабатывать расчетно-технологические карты и карты инструментальной наладки для станков с ЧПУ;
- разрабатывать управляющие программы для некоторых СЧПУ;
- разрабатывать схемы движения исполнительных органов станка с учетом минимизации машинно-вспомогательного времени;
- выполнять нормирование операций, выполняемых на станках с ЧПУ;
- уметь представлять технологические процессы механической обработки в виде маршрутно-операционной и операционной технологии в соответствии с ЕСТД

владеть:

– типовыми приемами работы, связанными с разработкой техпроцессов и подготовкой управляющей информации для реализации обработки деталей на станках с ЧПУ.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

СК-2, 3. Применять высокоэффективные инновационные технологии, эффективные методы получения заготовок деталей машин, методы объемного и поверхностного упрочнения деталей машин для увеличения их ресурса с учетом условий их эксплуатации.

Внедрять тенденции совершенствования станков с ЧПУ, методы и средства автоматизации производства, уметь использовать их для автоматизации инновационного многономенклатурного механосборочного производства

В соответствии с учебным планом, на изучение дисциплины «Перспективы применения станков с ЧПУ для автоматизации многономенклатурного производства» отводится 136 часов, в том числе:

дневная форма обучения - 54 часа аудиторных занятий (42 часа лекций и 12 часов лабораторных занятий);

заочная форма обучения - 10 часов аудиторных занятий (6 часов лекций и 4 часа лабораторных занятий).

Форма итогового контроля - экзамен.

План учебной дисциплины для дневной формы получения образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные	Практические занятия	Семинары		
7-06-0714-02	Инновационные технологии в машиностроении	2	3	136	3	54	42	12	-	-	-	Экзамен 3 семестр.

План учебной дисциплины для заочной формы получения образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	Семинары		
7-06-0714-02	Инновационные технологии в машиностроении	2	3	136	3	10	6	4	-	-	-	Экзамен 1 семестр.

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Введение. **Дисциплина, её предмет, цели и задачи.**

Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Специальные термины. Актуальность организации гибкого многономенклатурного производства в современном машиностроении, и роль в этом оборудования с ЧПУ.

Тема 1. **Основные условия целесообразности и область применения станков с ЧПУ.** Преимущества станков с ЧПУ перед станками с ручным управлением. Применимость станков с ЧПУ для обработки различных типов деталей в разных условиях производства. Типажи СЧПУ. Условные обозначения основных типов СЧПУ.

Тема 2. **Расположение и обозначение систем координат станков с ЧПУ.** Системы координат типовых станков. Положение нулевой точки для различных систем. Правила определения расположения систем координат для станков различных компоновок. Система координат детали. Система координат инструмента. Связь систем координат: СКС-СКД-СКИ.

Тема 3. **Технологические возможности станков с ЧПУ.** Технологические возможности токарных станков с ЧПУ. Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ. Технологические возможности сверлильных и расточных станков с ЧПУ. Технологические возможности обрабатывающих центров.

Тема 4. **Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.** Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Способы повышения уровня технологичности типовых конструкций деталей.

Тема 5. **Маршрутные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ.** Особенности технологической подготовки производства для оборудования с ЧПУ. Основные этапы технологического проектирования и их содержание.

Тема 6. **Этапы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.** Общий порядок задания управляющей информации. Запись слов в кадрах управляющей программы. Понятие «формат кадра» УЧПУ.

Тема 7. **Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530.** Подготовка программной станции к работе. Создание файла управляющей программы. Задание габаритов заготовки и положения нулевой точки. Выбор режущего инструмента. База данных режущих инструментов. Редактирование и пополнение базы данных режущих инструментов.

Тема 8. **Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530.** Размерные перемещения. Задание размерных перемещений исполнительных органов станка в абсолютных значениях и в приращениях (increments). Задание размерных перемещений в полярных координатах. Типовые примеры.

Тема 9. **Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530.** Планирование программы. Выявление возможностей создания повторяющихся участков программы. Создание подпрограмм с помощью меток (LBL). Типовые примеры.

Тема 10. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Обработка отверстий стержневым инструментом. Постоянные циклы обработки отверстий. Схемы обработки отверстий. Применение шаблонов для программирования обработки отверстий. Типовые примеры.

Тема 11. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Программирование 2,5- осевой фрезерной обработки. Выбор фрезы. Привязка инструмента к обрабатываемому контуру (APPR/DEP). Основные и дополнительные элементы контура. Программирование фасок и дуг окружностей. Типовые примеры.

Тема 12. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Программирование многопроходной обработки плоскостей, пазов, карманов и отверстий с помощью шаблонов. Типовые примеры.

Тема 13. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка программной станции к работе. Знакомство с функционалом системы. База данных режущих инструментов. Редактирование и наполнение базы данных режущих инструментов.

Тема 14. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка информации для программирования. Основные и дополнительные элементы контура. Способы задания элементов контура заготовки и детали.

Тема 15. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Программирование токарной обработки основных элементов контура. Типовые циклы обработки. Примеры создания управляющих программ обработки основных элементов контура.

Тема 16. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Программирование токарной обработки дополнительных элементов контура. Типовые циклы обработки. Примеры создания управляющих программ обработки дополнительных элементов контура.

Тема 17. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – сверлильные и расточные операции. Обработка отверстий на станках с позиционными СЧПУ. Типовые переходы при обработке отверстий. Методы обхода отверстий. Единичные циклы обработки отверстий. Способы задания осе-параллельной коррекции. Особенности нормирования сверлильных операций с ЧПУ. Программирование обработки на станках с позиционными СЧПУ.

Тема 18. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – токарные операции. Элементы контура детали. Зоны обработки. Типовые схемы движения инструмента при токарной обработке открытых, полуоткрытых и закрытых зон. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Особенности нормирования токарных операций с ЧПУ.

Тема 19. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Токарные операции. Формирование черновой зоны обработки для токарных операций. Порядок расчета средней глубины резания. Разделение припуска при черновой токарной обработке ступенчатых валов. Схемы удаления напусков и черновых припусков. Типовые схемы переходов при токарной обработке дополнительных поверхностей.

Тема 20. **Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ.** Токарные операции. Постоянные циклы на примере станка 16К20Ф3С32-2Р22. Способы задания в УП. Цикл многопроходной обработки по контуру с автоматическим разделением на проходы. Цикл многопроходной обработки резьб. Цикл многопроходной обработки канавок.

Тема 21. **Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – фрезерные операции.** Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.

Тема 22. **Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ.** Фрезерные операции. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.

Тема 23. **Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ.** Планирование операций на многоцелевых станках. Техпроцессы механической обработки типовых деталей на ОЦ. Особенности проектирования высококонцентрированных операций.

Тема 24. **Технологическая оснастка и инструмент для станков с ЧПУ.** Основные особенности технологической оснастки для станков с ЧПУ. Особенности режущего инструмента для станков с ЧПУ.

1.2 ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1.2.1. Лабораторная работа №1. Разработка технологического процесса обработки детали с применением вертикально-фрезерного станка с ЧПУ.

1.2.2. Лабораторная работа №2. Разработка технологического процесса обработки детали с применением токарного станка с ЧПУ.

1.2.3. Лабораторная работа №3. Разработка технологического процесса обработки детали с применением многоцелевого станка с ЧПУ.

1.2.4. Лабораторная работа №4. Разработка управляющей программы обработки типовой детали в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530.

1.2.5. Лабораторная работа №5. Разработка управляющей программы обработки типовой детали в формате УЧПУ Heidenhain MP 620.

1.2.6. Лабораторная работа №6. Разработка управляющей программы обработки типовой детали в формате УЧПУ 2Р22.

2.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения образования

Таблица 2.1 – Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
	3-й семестр						
	Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи. Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Специальные термины. Актуальность организации гибкого многономенклатурного производства в современном машиностроении, и роль в этом оборудования с ЧПУ.	1	-	-	-	2	экзамен
1	Тема 1. Основные условия целесообразности и область применения станков с ЧПУ. Преимущества станков с ЧПУ перед станками с ручным управлением. Применимость станков с ЧПУ для обработки различных типов деталей в разных условиях производства. Типажи СЧПУ. Условные обозначения основных типов СЧПУ.	1	-	-	-	2	экзамен
2	Тема 2. Расположение и обозначение систем координат станков с ЧПУ. Системы координат типовых станков. Положение нулевой точки для различных систем. Правила определения расположения систем координат для станков различных компоновок. Система координат детали. Система координат инструмента. Связь систем координат: СКС-СКД-СКИ.	2	-	-	-	2	экзамен
3	Тема 3. Технологические возможности станков с ЧПУ. Технологические возможности токарных станков с ЧПУ. Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ. Технологические возможности сверлильных и расточных станков с ЧПУ. Технологические возможности обрабатывающих центров.	2	-	-	-	2	экзамен
4	Тема 4. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Способы повышения уровня технологичности типовых конструкций деталей.	2	-	-	-	2	экзамен
5	Тема 5. Маршрутные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Особенности технологической подготовки производства для оборудования с ЧПУ. Основные этапы технологического проектирования и их содержание.	2	-	-	-	2	экзамен
6	Тема 6. Этапы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Общий порядок задания управляющей информации. Запись слов в кадрах управляющей программы. Понятие «формат кадра» УЧПУ.	2	-	-	-	4	экзамен
7	Тема 7. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Подготовка программной станции к работе. Создание файла управляющей программы. Задание габаритов заготовки и положения нулевой точки. Выбор режущего инструмента. База данных режущих инструментов. Редактирование и пополнение базы данных режущих инструментов.	1	-	-	-	4	экзамен

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
8	Тема 8. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Размерные перемещения. Задание размерных перемещений исполнительных органов станка в абсолютных значениях и в приращениях (increments). Задание размерных перемещений в полярных координатах. Типовые примеры.	1	2	-	-	4	экзамен
9	Тема 9. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Планирование программы. Выявление возможностей создания повторяющихся участков программы. Создание подпрограмм с помощью меток (LBL). Типовые примеры.	1	-	-	-	6	экзамен
10	Тема 10. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Обработка отверстий стержневым инструментом. Постоянные циклы обработки отверстий. Схемы обработки отверстий. Применение шаблонов для программирования обработки отверстий. Типовые примеры.	1	2	-	-	6	экзамен
11	Тема 11. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Программирование 2,5- осевой фрезерной обработки. Выбор фрезы. Привязка инструмента к обрабатываемому контуру (APPR/DEP). Основные и дополнительные элементы контура. Программирование фасок и дуг окружностей. Типовые примеры.	2	2	-	-	6	экзамен
12	Тема 12. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Программирование многопроходной обработки плоскостей, пазов, карманов и отверстий с помощью шаблонов. Типовые примеры.	1	-	-	-	4	экзамен
13	Тема 13. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка программной станции к работе. Знакомство с функционалом системы. База данных режущих инструментов. Редактирование и наполнение базы данных режущих инструментов.	1	-	-	-	4	экзамен
14	Тема 14. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка информации для программирования. Основные и дополнительные элементы контура. Способы задания элементов контура заготовки и детали.	2	-	-	-	4	экзамен
15	Тема 15. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Программирование токарной обработки основных элементов контура. Типовые циклы обработки. Примеры создания управляющих программ обработки основных элементов контура.	2	2	-	-	6	экзамен
16	Тема 16. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Программирование токарной обработки дополнительных элементов контура. Типовые циклы обработки. Примеры создания управляющих программ обработки дополнительных элементов контура.	2	2	-	-	4	экзамен
17	Тема 17. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – сверлильные и расточные операции. Обработка отверстий на станках с позиционными СЧПУ. Типовые переходы при обработке отверстий. Методы обхода отверстий. Единичные циклы обработки отверстий. Способы задания осе- параллельной коррекции. Особенности нормирования сверлильных операций с ЧПУ. Программирование обработки на станках с позиционными СЧПУ.	2	-	-	-	4	экзамен
18	Тема 18. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – токарные операции. Элементы контура детали. Зоны обработки. Типовые схемы движения инструмента при токарной обработке открытых, полуоткрытых и закрытых зон. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Особенности нормирования токарных операций с ЧПУ.	2	-	-	-	2	экзамен

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
19	Тема 19. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Токарные операции. Формирование черновой зоны обработки для токарных операций. Порядок расчета средней глубины резания. Разделение припуска при черновой токарной обработке ступенчатых валов. Схемы удаления напусков и черновых припусков. Типовые схемы переходов при токарной обработке дополнительных поверхностей.	2	-	-	-	2	экзамен
20	Тема 20. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Токарные операции. Постоянные циклы на примере станка 16К20ФЗС32-2Р22. Способы задания в УП. Цикл многопроходной обработки по контуру с автоматическим разделением на проходы. Цикл многопроходной обработки резьб. Цикл многопроходной обработки канавок.	2	2	-	-	2	экзамен
21	Тема 21. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – фрезерные операции. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.	2	-	-	-	2	экзамен
22	Тема 22. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Фрезерные операции. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.	2	-	-	-	2	экзамен
23	Тема 23. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Планирование операций на многоцелевых станках. Техпроцессы механической обработки типовых деталей на ОЦ. Особенности проектирования высококонцентрированных операций.	2	-	-	-	2	экзамен
24	Тема 24. Технологическая оснастка и инструмент для станков с ЧПУ. Основные особенности технологической оснастки для станков с ЧПУ. Особенности режущего инструмента для станков с ЧПУ.	2	-	-	-	2	экзамен
	Всего часов по дисциплине	42	12	-	-	82	136

2.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения образования

Таблица 2.2 – Заочная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
	3-й семестр						

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
	Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи. Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Специальные термины. Актуальность организации гибкого многономенклатурного производства в современном машиностроении, и роль в этом оборудования с ЧПУ.	0,25	-	-	-	2	экзамен
1	Тема 1. Основные условия целесообразности и область применения станков с ЧПУ. Преимущества станков с ЧПУ перед станками с ручным управлением. Применимость станков с ЧПУ для обработки различных типов деталей в разных условиях производства. Типажи СЧПУ. Условные обозначения основных типов СЧПУ.	0,25	-	-	-	2	экзамен
2	Тема 2. Расположение и обозначение систем координат станков с ЧПУ. Системы координат типовых станков. Положение нулевой точки для различных систем. Правила определения расположения систем координат для станков различных компоновок. Система координат детали. Система координат инструмента. Связь систем координат: СКС-СКД-СКИ.	0,25	-	-	-	6	экзамен
3	Тема 3. Технологические возможности станков с ЧПУ. Технологические возможности токарных станков с ЧПУ. Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ. Технологические возможности сверлильных и расточных станков с ЧПУ. Технологические возможности обрабатывающих центров.	0,25	-	-	-	6	экзамен
4	Тема 4. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Способы повышения уровня технологичности типовых конструкций деталей.	-	-	-	-	6	экзамен
5	Тема 5. Маршрутные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Особенности технологической подготовки производства для оборудования с ЧПУ. Основные этапы технологического проектирования и их содержание.	-	-	-	-	6	экзамен
6	Тема 6. Этапы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Общий порядок задания управляющей информации. Запись слов в кадрах управляющей программы. Понятие «формат кадра» УЧПУ.	-	-	-	-	6	экзамен
7	Тема 7. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Подготовка программной станции к работе. Создание файла управляющей программы. Задание габаритов заготовки и положения нулевой точки. Выбор режущего инструмента. База данных режущих инструментов. Редактирование и пополнение базы данных режущих инструментов.	0,5	-	-	-	6	экзамен
8	Тема 8. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Размерные перемещения. Задание размерных перемещений исполнительных органов станка в абсолютных значениях и в приращениях (increments). Задание размерных перемещений в полярных координатах. Типовые примеры.	0,5	-	-	-	6	экзамен
9	Тема 9. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Планирование программы. Выявление возможностей создания повторяющихся участков программы. Создание подпрограмм с помощью меток (LBL). Типовые примеры.	0,5	-	-	-	6	экзамен
10	Тема 10. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Обработка отверстий стержневым инструментом. Постоянные циклы обработки отверстий. Схемы обработки отверстий. Применение шаблонов для программирования обработки отверстий. Типовые примеры.	0,5	1	-	-	6	экзамен

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Тема 11. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Программирование 2,5- осевой фрезерной обработки. Выбор фрезы. Привязка инструмента к обрабатываемому контуру (APPR/DEP). Основные и дополнительные элементы контура. Программирование фасок и дуг окружностей. Типовые примеры.	0,5	1	-	-	6	экзамен
12	Тема 12. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Программирование многопроходной обработки плоскостей, пазов, карманов и отверстий с помощью шаблонов. Типовые примеры.	0,5	-			6	экзамен
13	Тема 13. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка программной станции к работе. Знакомство с функционалом системы. База данных режущих инструментов. Редактирование и наполнение базы данных режущих инструментов.	0,5	-	-	-	4	экзамен
14	Тема 14. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка информации для программирования. Основные и дополнительные элементы контура. Способы задания элементов контура заготовки и детали.	0,5	-	-	-	4	экзамен
15	Тема 15. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Программирование токарной обработки основных элементов контура. Типовые циклы обработки. Примеры создания управляющих программ обработки основных элементов контура.	0,5	1	-	-	6	экзамен
16	Тема 16. Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Программирование токарной обработки дополнительных элементов контура. Типовые циклы обработки. Примеры создания управляющих программ обработки дополнительных элементов контура.	0,5	1	-	-	6	экзамен
17	Тема 17. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – сверлильные и расточные операции. Обработка отверстий на станках с позиционными СЧПУ. Типовые переходы при обработке отверстий. Методы обхода отверстий. Единичные циклы обработки отверстий. Способы задания осе- параллельной коррекции. Особенности нормирования сверлильных операций с ЧПУ. Программирование обработки на станках с позиционными СЧПУ.	-	-	-	-	6	экзамен
18	Тема 18. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – токарные операции. Элементы контура детали. Зоны обработки. Типовые схемы движения инструмента при токарной обработке открытых, полуоткрытых и закрытых зон. Типовые схемы движения инструмента при черновой токарной обработке полуоткрытых зон. Особенности нормирования токарных операций с ЧПУ.	-	-	-	-	4	экзамен
19	Тема 19. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Токарные операции. Формирование черновой зоны обработки для токарных операций. Порядок расчета средней глубины резания. Разделение припуска при черновой токарной обработке ступенчатых валов. Схемы удаления напусков и черновых припусков. Типовые схемы переходов при токарной обработке дополнительных поверхностей.	-	-	-	-	4	экзамен
20	Тема 20. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Токарные операции. Постоянные циклы на примере станка 16K20Ф3С32-2Р22. Способы задания в УП. Цикл многопроходной обработки по контуру с автоматическим разделением на проходы. Цикл многопроходной обработки резьб. Цикл многопроходной обработки канавок.	-	-	-	-	6	экзамен

Окончание таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
21	Тема 21. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – фрезерные операции. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.	-	-	-	-	4	экзамен
22	Тема 22. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Фрезерные операции. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.	-	-	-	-	4	экзамен
23	Тема 23. Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Планирование операций на многоцелевых станках. Техпроцессы механической обработки типовых деталей на ОЦ. Особенности проектирования высококонцентрированных операций.	-	-	-	-	4	экзамен
24	Тема 24. Технологическая оснастка и инструмент для станков с ЧПУ. Основные особенности технологической оснастки для станков с ЧПУ. Особенности режущего инструмента для станков с ЧПУ.	-	-	-	-	4	экзамен
	Всего часов по дисциплине	6	4	-	-	126	136

3 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.).

Основная

1. Бондаренко Ю.А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ: Уч. пособие – ТНТ. 2016. – 292 с.: ил.
2. Серебrenицкий П.П. Программирование автоматизированного оборудования: Справочное пособие – Москва: Дрофа. 2008. – 301 с.: ил.
3. Жолобов А.А. Программирование процессов обработки поверхностей на станках с ЧПУ: Уч. пособие – Могилев: Белорус.-Рос. ун.-т 2009. – 339 с.: ил.
4. Каштальян И.А., Клевзович В.И. Обработка на станках с числовым программным управлением: Справочное пособие.– Мн.: Вышэйшая школа, 1989.– 271 с.
5. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник.–Л.: Машиностроение, 1990.–588 с.

Дополнительная

6. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова., М.: Машиностроение–1, 2001, 912 с
7. Жолобов А. А. Технология автоматизированного производства – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 624 с.

8. Фельдштейн Е.Э. Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ: Справ. пособие. – Мн.: Выш. шк., 1988.-336 с.: ил.

3.2 Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ.

9. Методические указания к лабораторной работе «Проектирование и реализация операций механической обработки валов на токарном станке с ЧПУ модели 16К20Ф3С32» по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» - Брестский государственный технический университет; сост.: О. А. Медведев, Я. В. Кудрицкий, Н. С. Ялковский. – Брест : БрГТУ, 2018. – 52 с.

10. Методические указания «Нормирование операций механической обработки, выполняемых на станках с ЧПУ» для выполнения курсового и дипломного проектирования для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» - Брестский государственный технический университет; сост.: Н. С. Ялковский, Я. В. Кудрицкий. – Брест : БрГТУ, 2019. – 44 с.

11. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» - Брестский государственный технический университет; сост.: Я. В. Кудрицкий, Н. С. Ялковский, – Брест : БрГТУ, 2020. – 26 с.

12. Компьютерный класс для проведения лабораторных занятий.

13. Симулятор станка с ЧПУ на базе SINUMERIK Operate SinuTrain.

14. Программное обеспечение для симуляции фрезерной обработки ShopMill.

15. Программное обеспечение для симуляции токарной обработки ShopTurn.

16. Программное обеспечение для симуляции фрезерной обработки Heidenhain

17. Программное обеспечение для симуляции токарной обработки Heidenhain.

18. <https://www.heidenhain.com>

19. Санок с ЧПУ модели 16К20Ф3С322Р22.

3.3 Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в виде:

- письменный зачет, или выполнение тестового задания на компьютере;

При расчете итоговой отметки по текущей аттестации учитывается объем качественно выполненных к моменту аттестации лабораторных работ (в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины).

В семестре предусмотрена одна текущая аттестация.

Обучающиеся допускаются к промежуточной аттестации по учебной дисциплине при условии успешного прохождения текущей аттестации.

Результаты текущей аттестации учитываются при проведении промежуточной аттестации по учебной дисциплине.

Промежуточная аттестация по учебной дисциплине проводится в форме тестового задания на компьютере.

3.4 Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся учебной дисциплине

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе обучающихся учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденного ректором БрГТУ №56 от 01.06.2020:

- самостоятельное изучение тем лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 3 настоящей программы;
- самостоятельная подготовка к выполнению лабораторно-практических работ по методическим указаниям, разработанным на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей и указанным в разделе 3 настоящей программы;
- самостоятельная работа под контролем преподавателя во время лабораторно-практических занятий по расписанию по индивидуальным заданиям;
- самостоятельная подготовка к экзамену.

Таблица 3.1 – Виды самостоятельной работы

Виды самостоятельной работы	Форма контроля
Работа над лекционным материалом	Устный опрос
Подготовка к лабораторным занятиям	Защита лабораторных работ
Подготовка к сдаче экзамена	Экзамен

Таблица 3.2 – Литературные источники для самостоятельного изучения тем лекционного курса

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литературного источника
1	Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи. Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Актуальность организации гибкого многономенклатурного производства в современном машиностроении, и роль в этом оборудования с ЧПУ.	[1,2,3,4]
2	Расположение и обозначение систем координат станков с ЧПУ. Системы координат типовых станков. Положение нулевой точки для различных систем. Правила определения расположения систем координат для станков различных компоновок. Система координат детали. Система координат инструмента. Связь систем координат: СКС-СКД-СКИ.	[1,2,3,4]
7	Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530. Подготовка программной станции к работе. Создание файла управляющей программы. Задание габаритов заготовки и положения нулевой точки. Выбор режущего инструмента. База данных режущих инструментов. Редактирование и пополнение базы данных режущих инструментов.	[18]
13	Программирование обработки в формате УЧПУ Heidenhain MP 620. Подготовка программной станции к работе. Знакомство с функционалом системы. База данных режущих инструментов. Редактирование и наполнение базы данных режущих инструментов.	[18]
17	Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – сверлильные и расточные операции. Обработка отверстий на станках с позиционными СЧПУ. Типовые переходы при обработке отверстий. Методы обхода отверстий. Единичные циклы обработки отверстий. Способы задания осе- параллельной коррекции. Особенности нормирования сверлильных операций с ЧПУ. Программирование обработки на станках с позиционными СЧПУ.	[1,2,3,4]

Окончание таблицы 3.2

20	Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ. Токарные операции. Постоянные циклы на примере станка 16К20Ф3С32-2Р22. Способы задания в УП. Цикл многопроходной обработки по контуру с автоматическим разделением на проходы. Цикл многопроходной обработки резьб. Цикл многопроходной обработки канавок.	[1,2,3,4,9]
22	Операционные техпроцессы обработки деталей на станках с ЧПУ – фрезерные операции. Способы врезания инструмента в заготовку при контурном фрезеровании. Коррекция на радиус инструмента. Способы задания. Состав кадра УП при задании коррекции на радиус. Способы вывода инструмента на эквидистантный контур при фрезеровании. Способы обхода внешних углов при контурном фрезеровании.	[1,2,3,4]
24	Технологическая оснастка и инструмент для станков с ЧПУ. Основные особенности технологической оснастки для станков с ЧПУ. Особенности режущего инструмента для станков с ЧПУ.	[1,2,3,4,8]

4 ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменении в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Научные основы технологии машиностроения	Машиностроение и эксплуатация автомобилей		Рекомендовать к утверждению (протокол №__ от __. __. 2024) Зав. кафедрой МЭА С.В.Монтик _____

Содержание учебной программы согласовано с выпускающей кафедрой
Заведующий выпускающей кафедрой,
кандидат технических наук, доцент _____ С.В. Монтик