

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»**

Кафедра технологии машиностроения

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению курсового проекта
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения**

Воронеж 2026

УДК 621.9-529
ББК 34.630.2я73

Составители: Д. М. Черных, канд. техн. наук Ю. Э. Симонова,
канд. техн. наук М. Н. Краснова

Системы управления и программирования оборудования с ЧПУ:
методические указания к выполнению курсового проекта для студентов
направления 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Технологии,
оборудование и автоматизация машиностроительных производств») всех форм
обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»; сост.: Д. М. Черных, Ю. Э. Симонова, М. Н. Краснова. -
Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2026. - 67 с.

Методические указания разработаны в рамках федерального проекта
«Наука и кадры для производства средств производства и автоматизации», с
целью усиления практической ориентированности и освоения современных
средств автоматизированного проектирования дисциплин модуля «Технологии,
оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

В методических указаниях изложены общие вопросы по выполнению
курсового проекта по дисциплине «Системы управления и программирования
оборудования с ЧПУ». Приведены требования к содержанию и объему,
примеры выполнения пунктов курсового проекта.

Предназначены для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных
производств») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в
файле МУ_СУИПОсЧПУ_КП_2026.pdf.

Ил. 27. Библиогр.: 10 назв.

**УДК 621.9-529
ББК 34.630.2я73**

Рецензент - В. Ф. Селиванов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
технологии сварочного производства и диагностики ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Введение

В настоящее время оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) является неотъемлемой частью современного машиностроительного производства. Числовым программным управлением (ЧПУ) металлорежущим станком, в соответствии с ГОСТ 20523-80, называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе (УП), в которой данные заданы в цифровой форме.

Управляющая программа (УП) представляет собой совокупность команд на языке программирования, которая соответствует заданному алгоритму функционирования станка, робота или другого объекта по выполнению технологических, транспортных или вспомогательных операций.

Станки с ЧПУ - высокопроизводительное, программно-управляемое технологическое оборудование с высоким уровнем автоматизации, широкими технологическими возможностями в сочетании с универсальностью и гибкостью.

Обеспечение высокого качества технологических процессов и УП при минимальных затратах труда и времени на их подготовку и изготовление - одно из главных условий рационального использования станков с ЧПУ в промышленности. При подготовке УП перерабатывается большой объем технологической информации, и в ряде случаев поиск и нахождение оптимальных решений возможны лишь при широком использовании в процессе программирования. Однако возможно точное управление большой номенклатурой различных режимных параметров обработки.

При выполнении курсового проекта студенты получают навыки в использовании технической справочной литературы и нормативной документации, опыт проектирования технологического процесса обработки деталей машин, выбора производительного оборудования, режущего и мерительного инструментов, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Приступая к выполнению курсового проекта, необходимо внимательно прочитать цель, краткие теоретические и учебно-методические материалы. При необходимости следует обратиться к преподавателю за разъяснениями.

1. Цель и задачи курсового проектирования

Курсовой проект направлен на демонстрацию способности студента самостоятельно решать инженерные задачи, связывая конструктивные особенности детали, технологию ее изготовления, возможности современных систем ЧПУ и выполняется с целью:

- закрепления, расширения и углубления теоретических знаний студентов по дисциплине «Системы управления и программирования оборудования с ЧПУ»;
- приобретения навыков практического применения полученных теоретических знаний к комплексному решению конкретных задач, предусмотренных курсовым проектом;
- получения навыков самостоятельного и творческого подхода к решению конкретных инженерных задач;
- обучения самостоятельной работе со справочной литературой, каталогами, справочниками, стандартами;
- отработки навыков оформления технической документации, составления пояснительной записки и оформления иллюстративного материала, чертежей и схем согласно стандартам ЕСКД и ЕСТД;

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ рабочего чертежа и технологичности детали;
- выбрать рациональный метод получения заготовки в зависимости от типа производства;
- разработать рациональный маршрутный технологический процесс изготовления детали;
- обосновать выбор технологических баз и схем базирования заготовки на различных операциях;
- выбрать модель станка с ЧПУ для выполнения одной или нескольких операций и обосновать его выбор (указать систему управления, например, Fanuc, Sinumerik, Heidenhain);
- подобрать режущий инструмент, технологическую оснастку и средства контроля;
- определить рациональные режимные параметры;
- составить управляющую программу (УП) для обработки детали на станке с ЧПУ на языке ISO 7-bit (G-код), либо с использованием современной САМ-системы;
- провести компьютерное моделирование процесса обработки;
- оформить пояснительную записку в соответствии с стандартами ЕСКД и требованиями вуза.
- выполнить графическую часть проекта (чертежи, технологические схемы, эскизы обработки) на требуемых листах формата.

2. Тематика и содержание курсовой работы

Темой курсового проекта является разработка управляющей программы для изготовления деталей, представленных в задании. Чертеж детали, для обработки которой следует разработать управляющую программу, выдается преподавателем (приложение 1) или подбирается студентом на производстве, а затем согласуется с преподавателем.

Курсовой проект содержит пояснительную записку и графическую часть.

Материалы пояснительной записки излагают в следующей последовательности:

- титульный лист;
- введение;
- анализ чертежа детали и технологичности ее конструкции;
- обоснование метода получения заготовки и назначение припусков;
- разработка маршрутно-операционного процесса обработки детали;
- выбор станочного оборудования и технологической оснастки;
- разработка управляющей программы и ее верификация;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

Общий объем графической части составляет 3-4 листа формата А1.

3. Рекомендации к выполнению разделов пояснительной записки

Титульный лист

Титульный лист является первой страницей курсовой работы и оформляется по установленной форме, представленной в приложении 2. Титульный лист не нумеруется.

Содержание

В содержании приводятся все разделы и подразделы курсовой работы, пронумерованные арабскими цифрами, и указываются страницы, с которых они начинаются.

Введение

Во введении указывается цель проекта, его связь с задачами машиностроения, рассматриваются пути решения проблем технологии механической обработки деталей и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Анализ чертежа детали и технологичности ее конструкции

При выполнении данного раздела анализируется чертеж детали, обращается внимание на конструкцию детали, качественно-точные характеристики, назначаемые на отдельные поверхности, взаимное расположение поверхностей, физико-механические свойства материала. Выявляют все конструктивные элементы, в том числе наиболее точные поверхности. Проверяют достаточность проекций, правильность простановки размеров, а также другие требования технических условий.

При контроле рабочего чертежа выявляют возможности улучшения технологичности конструкции детали, в том числе замену оригинальных элементов стандартными. Обращают внимание на унификацию размеров пазов, канавок, галтелей, отверстий и других элементов; обеспечение надежного и удобного базирования заготовки, а при простановке размеров возможность совмещения установочных и измерительных баз. Выполняют расчет количественных показателей технологичности.

Обоснование метода получения заготовки и назначение припусков

Выбор метода получения заготовки определяется:

- технологической характеристикой материала детали, т. е. его литейными свойствами и способностью претерпевать пластические деформации при обработке давлением, а также структурными изменениями материала заготовки, получаемыми в результате применения того или иного метода выполнения заготовки;
- конструктивными формами и размерами заготовки, в том числе сложностью конфигурации и наличием полостей;

- требуемой точностью выполнения заготовки, шероховатостью и качеством ее поверхностных слоев;
- величиной программы выпуска и заданными сроками выполнения этой программы.

После определения оптимального метода получения заготовки производят назначение припусков по соответствующим ГОСТ и разрабатывают эскиз заготовки.

Разработка маршрутно-операционного процесса обработки детали

Построение маршрутов обработки основывается на принципе последовательного повышения точности, предусматривающего переход от черновой обработки с большими припусками к чистовой и отделочной обработке. Критерием оптимальности является минимум суммарных затрат при гарантированном обеспечении требований чертежа.

Для каждой поверхности устанавливается последовательность технологических переходов на основе анализа требований чертежа. Количество переходов определяется необходимой точностью и качеством поверхности.

Выбор маршрута производят, исходя из требований рабочего чертежа и принятой заготовки. Для проектирования отдельной операции необходимо знать: маршрут обработки заготовки, схему ее базирования и закрепления, припуск на обработку.

При проектировании операции уточняют ее содержание (намеченное ранее при составлении маршрута), устанавливают последовательность переходов.

При определении базирующих поверхностей обосновать их использование по каждой технологической операции, показав при этом, как соблюдаются основные принципы базирования.

Выбор станочного оборудования и технологической оснастки

В состав технологического оснащения входит оборудование и технологическая оснастка – установочные приспособления, режущий, мерительный и вспомогательный инструменты.

Выбор оборудования производится в следующей последовательности:

- учитываются метод обработки и вид обрабатываемой поверхности;
- согласовываются габариты детали с техническими характеристиками станка;
- обеспечиваются качественно-точностные характеристики;
- мощность электродвигателей подбираемого оборудования не должна значительно превышать потребную мощность на обработку;
- учитывается система ЧПУ станка.

При выборе приспособлений учитывают:

- серийность производства и форму организации работы, предопределяющие целесообразность применения универсальных или специальных приспособлений, а также их быстродействие;
- форму и размеры базовой поверхности;

- возможность автоматизации.

Методика выбора инструмента основывается на анализе обрабатываемого материала, геометрии обрабатываемой поверхности, процесса формообразования и требований к точности обработки. Режимы резания для выбранного инструмента устанавливаются на основе рекомендаций производителя и корректируются с учетом конкретных условий обработки.

Выбор вспомогательного инструмента осуществляется исходя из технологических задач обработки. Определяются необходимые виды вспомогательного инструмента: державки, оправки, переходники, патроны. Основное внимание уделяется соответствию посадочных мест станка и инструмента. Анализируются типы хвостовиков и их геометрические характеристики. Оценивается биение инструментальной системы, которое должно обеспечивать заданную точность обработки. Учитывается удобство и безопасность установки инструмента. Время смены инструмента должно минимизироваться за счет применения быстросменных систем.

Разработка управляющей программы и ее верификация

В данном разделе необходимо описать процесс проектирования управляющей программы для станков с ЧПУ в САМ-системе или среде разработки. В соответствии с маршрутно-операционным процессом формируется последовательность технологических переходов. Для каждой операции назначаются:

- рабочая система координат (WCS), привязанная к технологическим базам;
- геометрические объекты (контуры, поверхности, зоны обработки);
- параметры безопасности (безопасные плоскости, зазоры).

Для каждого технологического перехода задаются:

- режущий инструмент;
- стратегия движения инструмента;
- скорость резания (или частота вращения шпинделя) и величина подачи;
- глубина резания и ширина прохода.

После этого выполняется расчет траектории перемещения инструмента и генерация (постпроцессирование) управляющей программы. УП верифицируется. Особое внимание уделяется зонам сопряжения поверхностей и зонам возможных зарезов. Выполняется контроль столкновений инструмента с узлами станка.

Формируется технологическая документация:

- карты наладки с эскизами установов;
- таблица используемого инструмента;
- временные характеристики операций.

Пример выполнения управляющей программы и карты наладки представлены в приложении 2.

Заключение

В заключении курсового проекта студент должен отразить следующие ключевые аспекты:

- краткие выводы по выполнению задания на курсовой проект;
- оценку полноты решения поставленных задач;
- обобщить основные разработанные решения (технологический процесс, режимы обработки, управляющие программы);
- оценить технологическую и экономическую целесообразность примененных решений;
- обозначить возможные направления совершенствования проекта;
- отметить приобретенные практические навыки и компетенции.

Список литературы

Список литературы должен содержать сведения об источниках, использованных при выполнении курсовой работы. Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок в тексте курсовой работы, нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа.

Описание источников осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003.

4. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ

Во время механической обработки инструмент и заготовка перемещаются относительно друг друга по некоторой траектории. Траекторию инструмента представляют состоящей из отдельных, переходящих друг в друга участков. Этими участками могут быть прямые линии, дуги окружностей, кривые второго или высших порядков. Точки пересечения этих участков называются опорными или узловыми точками.

Управляющая программа (УП) является упорядоченным набором команд, при помощи которых определяются перемещения исполнительных органов станка и различные вспомогательные функции. Как правило, в УП содержатся координаты именно опорных точек.

Язык G- и M-кодов (ИСО 7 бит) официально считается стандартом для производителей оборудования с ЧПУ (ISO 6983-1:2009, ГОСТ 20999-83). В зависимости от производителя систем ЧПУ может существовать разница в подготовительных и вспомогательных функциях, которую можно узнать из документации к конкретной системе ЧПУ.

4.1. Структура управляющей программы

Любая программа обработки состоит из некоторого количества строк, которые называются кадрами УП. Кадр управляющей программы - составная часть УП, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды. При отсутствии инструкций, управляющих потоком кадров, кадры обрабатываются последовательно один за другим. Эта последовательность может быть нарушена инструкциями: пропуска кадров, вызова подпрограмм, перехода к другим кадрам.

Если кадры программы помечены соответствующим символом '/', то система управления проигнорирует их, если активен режим «Пропуск кадра» (англ. Skip). Использование в УП пропускаемых кадров позволяет программисту одной УП описать обработку деталей, отличающихся друг от друга каким-либо элементом, включить дополнительные перемещения инструмента, необходимые при отладке программы.

Первый (а в некоторых случаях ещё и последний) кадр содержит только один необязательный символ начала программы '%'. Далее может быть указан номер программы, например, O1200, который позволит СЧПУ отделить в памяти одну программу от другой.

При подготовке УП для многоцелевых станков с ЧПУ особое внимание уделяют выделению главных кадров при помощи символа ':', а также комментариям, заключаемым в круглые скобки - символы '(' и ')'. В некоторых СЧПУ комментарии записываются после символа ';'.

Главный кадр характеризует исходное состояние СЧПУ перед началом или возобновлением какой-либо обработки, устанавливает исходное состояние

подготовительный и вспомогательных функций. В ряде случаев главный кадр в УП указывают сразу после смены очередного инструмента, определяя обработку каждым инструментом как отдельную часть программы. В главном кадре должна быть повторена информация, заданная ранее и необходимая для работы очередным инструментом. Некоторые УЧПУ позволяют быстро переходить от одного главного кадра к другому. Удобство применения главного кадра состоит в том, что после отключения станка оператор может начать обработку, ориентируясь на главный кадр без предварительного перемещения по УП в поисках команд, необходимых для дальнейшей работы.

Комментарии к программе содержат информацию, не предназначенную для считывания системой ЧПУ, но необходимую в УП. Они служат для пояснений и документирования. Комментарии могут включать название инструмента в кадре его смены, запрограммированные размеры, вылеты по осям, координаты контрольных точек, дополнительные указания наладчику и т. п.

Кадр завершается символом перевода строки ('LF' в соответствии со стандартом ISO, 'CR' в соответствии со стандартом EIA, иногда 'CR+LF' или ';' - в СЧПУ Fanuc) и может иметь номер, начинающийся с адреса N, за исключением первого кадра программы и комментариев, если они занимают кадр полностью. При ветвлениях и переходах программы номера кадров служат метками. Номера кадров используют также в циклах и подпрограммах. Кадры в УП рекомендуется нумеровать так, чтобы младшая цифра в номере была равна нулю или пяти. Это позволяет при редактировании программ вставляемым кадрам присваивать номера, отличающиеся младшей цифрой. Перевод строки (англ. line feed, LF) - управляющий символ ASCII (0x0A, '\n'), при выводе которого курсор перемещается на следующую строку. Возврат каретки (англ. carriage return, CR) - управляющий символ ASCII (0x0D, '\r'), при выводе которого курсор перемещается к левому краю поля. Таким образом, вывод последовательности CR+LF в семантике терминала гарантирует действие «создание новой строки».

Структура кадра

В свою очередь, каждый кадр УП состоит из слов данных. Слово данных состоит из адреса (буквы) и относящегося к нему числа.

| N20 G01 X1. Y1. F10. (G01 - слово данных: G – адрес; 01 – число)

Все цифровые значения, которые записаны за адресом в слове данных, могут быть записаны одним из двух способов:

- без использования десятичного знака (подразумеваемое положение десятичной точки);
- с использованием десятичного знака (явное положение десятичной точки).

При записи слов с подразумеваемой десятичной точкой в некоторых УЧПУ в целях сокращения количества информации допускается опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой (ведущие нули). Если форматом кадра

УЧПУ допускается опускать последние нули, то ведущие нули в этом случае опускать нельзя.

Размер, представленный одними нулями, должен быть выражен, по крайней мере, одним нулем. Подразумеваемое положение десятичной запятой должно быть определено в характеристиках формата кадра конкретного УЧПУ.

X00123400	(Полная запись, без использования десятичной точки)
X123400	(Опущены ведущие нули)
X001234	(Опущены последние нули)
X123.4	(Запись с десятичной точкой)

Адреса X, Y, Z. используют для обозначения координатных осей, вдоль которых осуществляются линейные перемещения (A, B, C для поворота вокруг соответствующих осей). Адреса I, J, K показывают смещения вдоль соответствующей оси координаты центра дуги при круговой интерполяции. В токарных станках с ЧПУ адреса U, V, W могут использоваться для относительных (инкрементальных) перемещений вдоль соответствующих линейных осей. Также в некоторых СЧПУ токарных станков в размеры по оси X указывают в диаметральном выражении.

Слова, описывающие перемещения, могут иметь знак '+' или '-'. При отсутствии знака перемещение считается положительным.

Функции с адресом G – называются подготовительными и определяют режим и условия работы станка и системы ЧПУ. Стандартные подготовительные функции лежат в диапазоне G00-G99. Функции с адресом M – называются вспомогательными и предназначены для управления различными устройствами станка. Число, относящееся к G- или M- функциям, имеет ведущие нули (G01, G02, G03), однако при записи они могут быть опущены (G1, G2, G3)

Примерами адресов специальных функций могут послужить: F - подача, S - частота вращения шпинделя, O - метка подпрограммы с указанным номером, R - расстояние отвода инструмента в повторяющихся циклах или радиус дуги при круговой интерполяции, D - параметр коррекции радиуса выбранного инструмента, H - параметр коррекции длины выбранного инструмента, L - число вызовов подпрограммы, P - указание номера вызываемой подпрограммы или параметр в постоянных циклах, Q - относительная глубина прохода в циклах глубокого сверления, T - выбор инструмента.

Структура программы

Управляющую программу рекомендуется составлять таким образом, чтобы в кадре записывалась только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кад-

ру. При создании УП для структурирования программы и улучшения читаемости кода рекомендуется использовать следующий порядок слов данных:

- 1) код пропуска кадра (/);
- 2) номер кадра (N);
- 3) подготовительные функции (G);
- 4) адреса осевых перемещений (X, Y, Z, A, B, C, U, V, W);
- 5) команда подачи (F);
- 6) команда числа оборотов (S);
- 7) вспомогательные функции (M).

В конкретных СЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартов. Уточненные значения подготовительных и вспомогательных функций, а также различия в синтаксисе приводятся в конкретных руководствах по программированию для соответствующих моделей СЧПУ.

4.2. Основные подготовительные функции

Слова с адресом G называются подготовительными функциями (аббревиатура англ. General) и предназначены для программирования типа перемещения, трансформации системы координат, использования коррекции инструмента и т.д. Основные подготовительные функции представлены в приложении 3, табл. ПЗ.1.

В СЧПУ Fanuc для токарных станков присутствуют определенные отличия в составе базовых подготовительных функций в зависимости от типа группы: А (наиболее распространен, приложение 3, табл. ПЗ.2), В или С.

Подготовительные функции разбиты на группы; причем функции из разных групп взаимно независимы. Модальные функции действуют до тех пор, пока в УП не будет указана подготовительная функция из той же группы. В одном кадре не допускается наличие нескольких подготовительных функций из одной группы. Немодальные функции действуют только в том кадре, в котором они находятся. В приложении 3, табл. ПЗ.3 приведены основные группы модальных функций.

Без учета модального эффекта	С учетом модального эффекта
N12 G90 G01 X1.5 Y3.4 F18.0	N12 G90 G01 X1.5 Y3.4 F18.0
N13 G90 G01 X5.0 Y3.4 F18.0	N13 X5.0
N14 G90 G01 X5.0 Y6.5 F18.0	N14 Y6.5
N15 G90 G01 X1.5 Y6.5 F18.0	N15 X1.5
N16 G90 G01 X1.5 Y3.4 F18.0	N16 Y3.4
N17 G90 G00 X1.5 Y3.4 Z1.0	N17 G00 Z1.0

Строка безопасности

Строкой безопасности называется кадр, содержащий подготовительные функции, которые переводят СЧПУ в определенный стандартный режим, отменяют модальные функции и обеспечивают безопасную работу с управляющей программой. Состав строки безопасности может отличаться в зависимости от типа оборудования.

Для фрезерного станка	Для токарного станка
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	N10 G18 G21 G40 G90 G95

Функция G18 определяет плоскость интерполяции XZ.

Функция G21 означает, что все перемещения и подачи рассчитываются и осуществляются в миллиметрах (G20 - в дюймах).

Функция G40 отменяет автоматическую коррекцию на радиус инструмента.

Функция G49 отменяет компенсацию длины инструмента.

Функция G54 активирует смещение нулевой точки.

Функция G80 отменяет все постоянные циклы (например, циклы сверления) и их параметры.

Функция G90 активирует работу с абсолютными координатами (G91 – с относительными, рис. 4.1).

Функция G94 определяет величину подачи в мм/мин (G95 - в мм/об).

Выдержка времени - G04

Функция G04 позволяет выполнить выдержку (паузу) с заданным временем. Этот немодальная функция используется вместе с X или P адресом, который указывает длительность времени выдержки.

| G04 P_

Адрес P определяет время выдержки в миллисекундах (используется без десятичной точки), а X - в секундах. Если в кадре содержится только функция G04 без задания временного интервала выдержки, то она воспринимается системой ЧПУ как немодальная команда для точного останова.

Включение режима ввода данных в СЧПУ - G10

Функция G10 позволяет устанавливать или смещать рабочую систему координат и вводить определенные значения в регистры коррекции инструмента памяти СЧПУ при помощи управляющей программы или специальной (отдельной) программы.

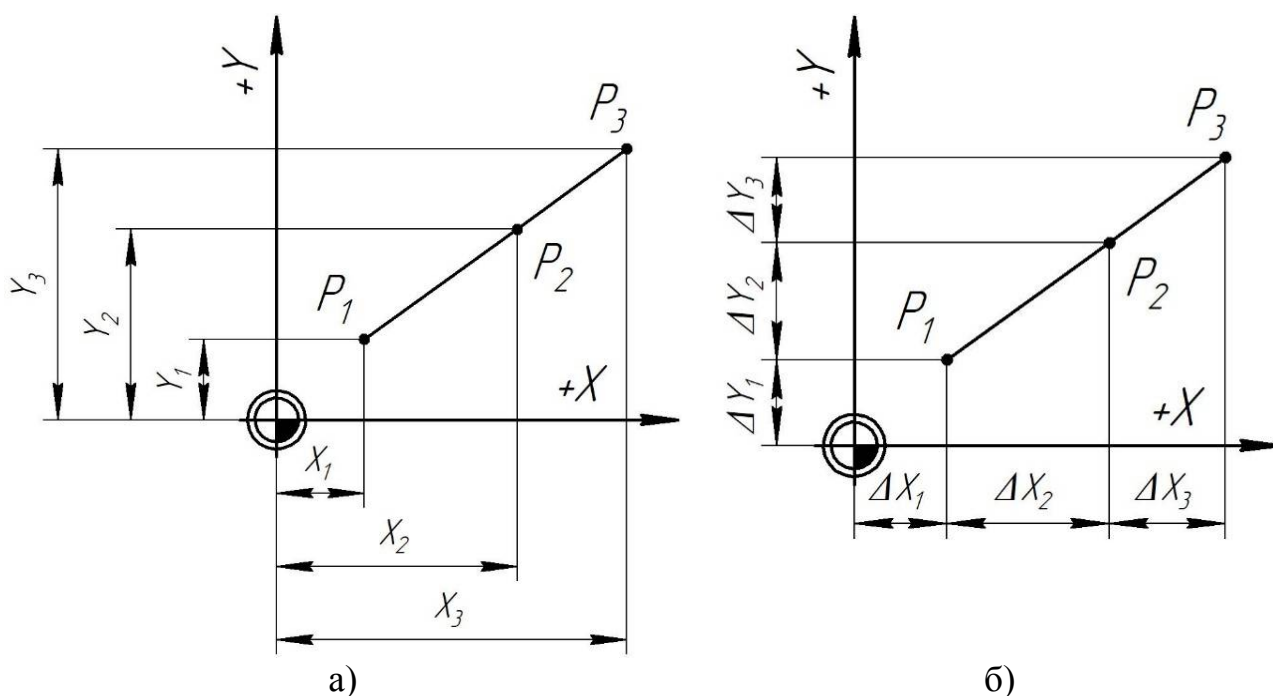


Рис. 4.1. Использование координат для задания опорных точек:
а – абсолютных; б – относительных

G10 L_P_R_	(L11 - настройка регистра коррекции инструмента; P - выбор регистра коррекции, который необходимо изменить; R - вводимое значение коррекции)
------------	--

Включение режима полярных координат - G16

Функция **G16** позволяет работать в полярной системе координат. При этом координаты точки определяются углом и расстоянием от нулевой точки текущей системы координат или от текущей действительной позиции (рис 4.2).

Для работы в полярной системе координат необходимо указать одну из трех плоскостей интерполяции **G17|G18|G19** (соответственно XY, XZ, YZ).

Пример работы с полярной системой координат

...	
G17 G16	(Задание плоскости XY, работа в полярных координатах)
G01 X50. Y30.	(Адрес X – радиус 50 мм, адрес Y – угол 30°)
...	

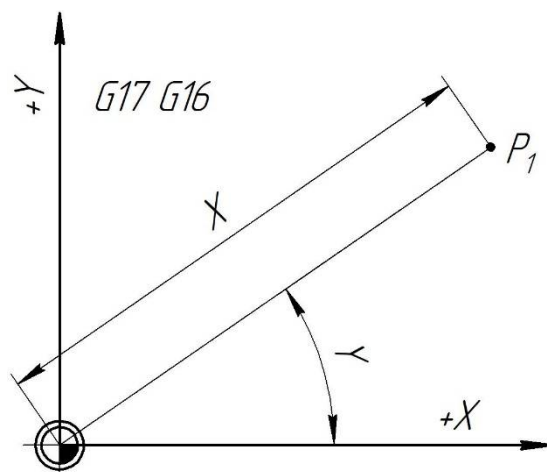


Рис. 4.2. Полярная система координат

Проверка возврата в исходную точку - G27

Функция **G27** работает аналогично **G28**. Разница заключается в том, что если позиция, к которой произошло перемещение исполнительного органа, не соответствует исходной позиции, то в случае с **G27** система ЧПУ станка выдает аварийное сообщение или сигнал. Функции **G27|G28|G30** могут использоваться в циклах и макросах.

| G91 G27 X_ Y_ Z_

Возврат в исходную точку - G28

Функция **G28** предназначена для возврата станка в исходную точку. Под этим понимается ускоренное перемещение исполнительных органов в исходную точку станка вдоль указанных осей.

| G91 G28 X_ Y_ Z_

В кадре с **G28** указываются оси **X**, **Y** и **Z** с соответствующими смещениями относительно исходной точки. Если указаны нулевые значения, то возврат в исходную позицию происходит по соответствующим осям.

| G91 G28 X0.0 Y0.0 (Перемещение в исходную точку по осям **X** и **Y**)

При использовании **G27|G28|G30** может отменяться действующая коррекция инструмента. Иногда код **G28** ставят в конец управляющей программы, чтобы после ее завершения рабочий стол переместился в положение, удобное для съема обработанной детали.

Возврат в точку смены инструмента G30

При помощи функции **G30** осуществляется автоматический возврат в точку смены инструмента (или в другую запрограммированную точку, например, для смены паллет).

| **G30 G91 Z0** (Перемещение в точку смены инструмента по оси Z)

Перемещение с реакцией на внешний сигнал - G31

В некоторых станках можно использовать функцию перемещения с реакцией на внешний сигнал. При помощи этого немодального кода программируется линейная интерполяция аналогично **G01**, но с возможной реакцией на внешний сигнал. Адрес **F** указывает величину подачи. Адрес **P** указывает источник сигнала. Если СЧПУ получит внешний сигнал во время выполнения кадра (например, с датчика касания), то выполнение программы переходит сразу же к следующему кадру УП.

| **G31 P_ X_ Y_ Z_ F_**

4.3. Управление перемещением

Ускоренное перемещение - G00

Ускоренное перемещение (перемещение на холостых ходах) необходимо для быстрого перемещения рабочих органов станка. Ускоренное перемещение никогда не используется для выполнения обработки. Для выполнения ускоренного перемещения достаточно указать в кадре функцию **G00** и координаты требуемой позиции.

| **G00 X_ Y_ Z_**

При позиционировании с кодом **G00** по трем осям одновременно траектория движения инструмента может не являться прямой (рис. 4.3). СЧПУ отдаст команду двигателям на перемещение рабочих органов на максимальной скорости в указанную координату.

Как только достигается требуемая координата по одной из осей, то ускоренное перемещение по этой оси прекращается, хотя перемещение по другим осям все еще может продолжаться.

Линейная интерполяция - G01

Функция **G01** предназначена для выполнения линейной интерполяции с заданной скоростью перемещения. Адрес **F** определяет величину подачи. Условно кадр для линейной интерполяции записывается следующим образом:

| G01 X_ Y_ Z_ F_

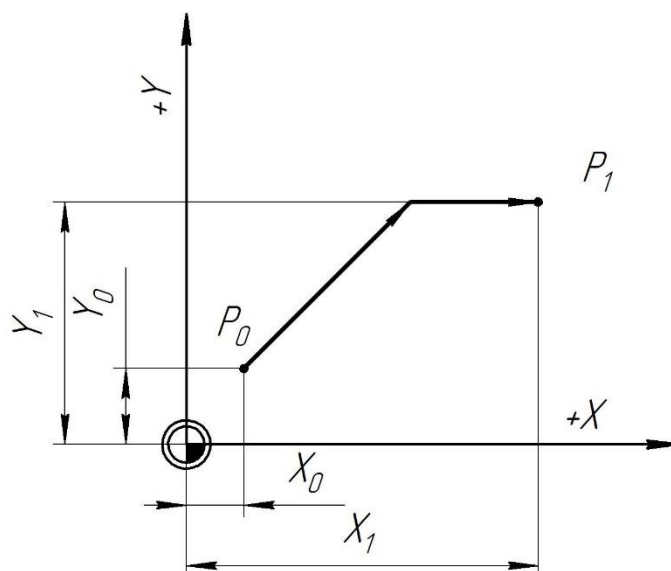


Рис. 4.3. Ускоренное перемещение

Перед началом интерполяционных расчетов система ЧПУ определяет длину пути, исходя из запрограммированных координат. В процессе движения осуществляется контроль контурной подачи так, чтобы ее величина не превышала допустимых значений. Движение по всем осям должно завершиться одновременно (рис. 4.4).

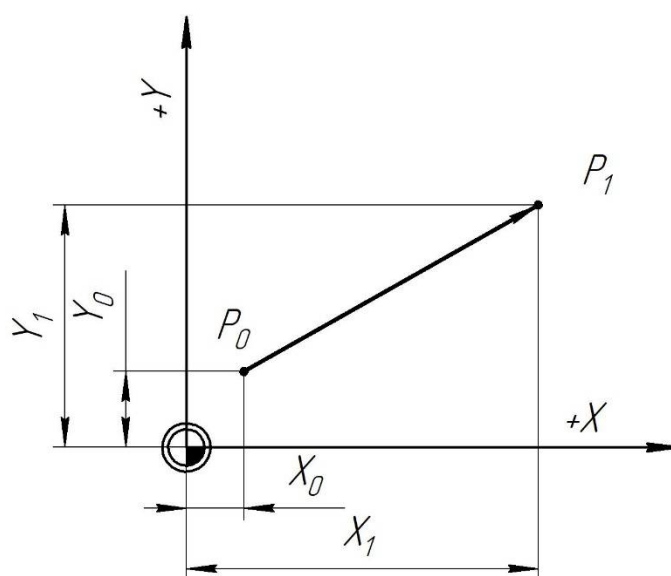


Рис. 4.4. Линейная интерполяция

Круговая интерполяция - G02|G03

Функции G02 и G03 предназначены для выполнения круговой интерполяции в плоскости. Код G02 используется для перемещения по дуге по часовой стрелке, а G03 - против часовой стрелки. Направление перемещения определяется в отрицательном направлении оси нормальной к плоскости. Как и при выполнении линейной интерполяции, в кадре круговой интерполяции необходимо указать скорость рабочей подачи F, а также плоскость интерполяции (G17|G18|G19).

Существуют два способа для формирования кадра круговой интерполяции (рис 4.5):

| G02 X_ Y_ Z_ I_ J_ K_ F_

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

| G02 X_ Y_ Z_ R_ F_

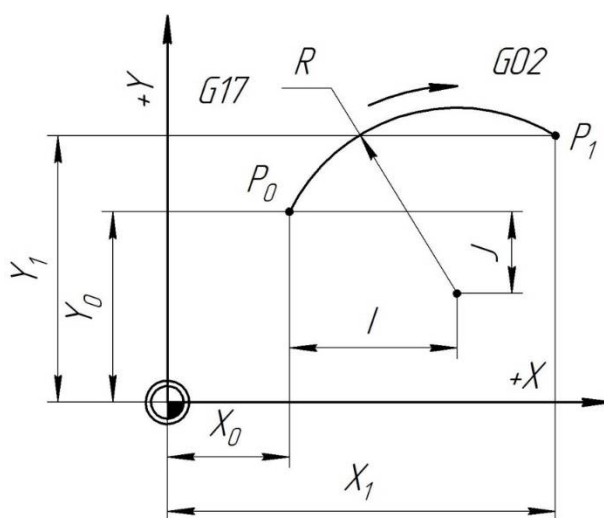


Рис. 4.5. Круговая интерполяция

Во втором варианте указывают радиус дуги R. СЧПУ самостоятельно производит необходимые расчеты для определения координат центра дуги. Для однозначного определения формы дуги нужно указывать соответствующий знак перед числовым значением радиуса R. Для дуги с центром C₁, которая больше 180°, значение R будет отрицательным. Для дуги с центром C₂, которая меньше 180°, значение R будет положительным (рис. 4.6).

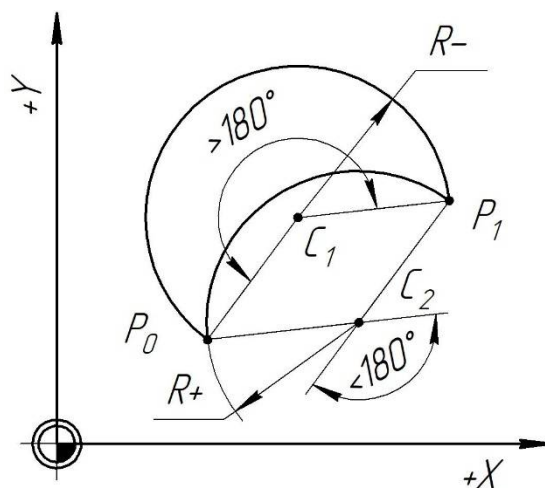


Рис. 4.6. Траектория при круговой интерполяции в зависимости от знака адреса R

Выбор варианта записи кадра кругового перемещения зависит от возможностей ЧПУ. Большинство современных станков с ЧПУ поддерживают оба варианта записи. Если, кроме X и Y (для G17), в кадре находится адрес Z, то это значит, что выполняется винтовая интерполяция. В процессе винтовой интерполяции осуществляется круговая интерполяция в выбранной плоскости и линейная интерполяция для оставшейся линейной оси.

Цилиндрическая интерполяция - G07.1

Цилиндрическая интерполяция позволяет выполнять фрезерную обработку на цилиндрической поверхности по имеющейся развертке траектории (рис. 4.7). Развертка программируется в координатах ZC. В режиме цилиндрической интерполяции поворотная ось преобразуется в линейную для возможности реализации линейной или круговой интерполяции. При этом ось вращения инструмента всегда будет нормально к обрабатываемой цилиндрической поверхности даже с учетом коррекции на радиус.

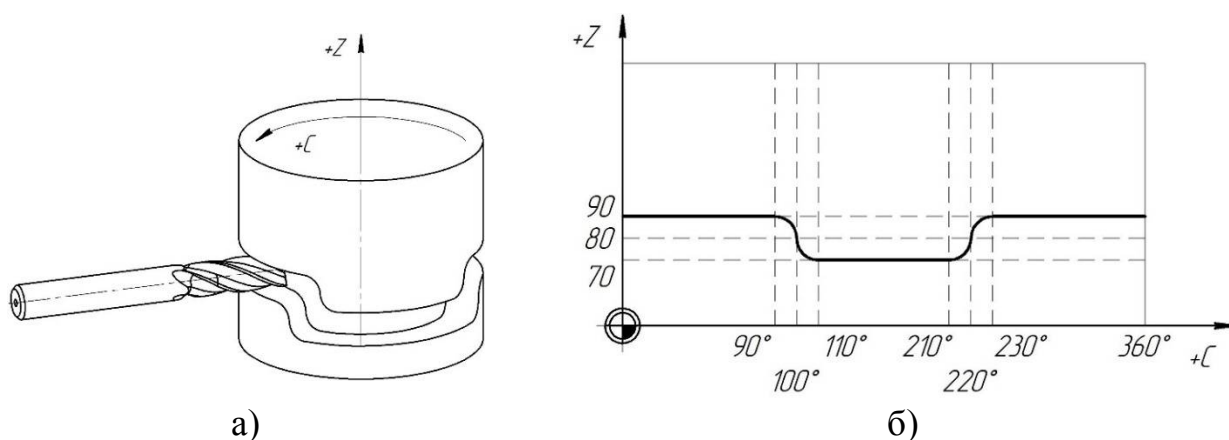


Рис. 4.7. Цилиндрическая интерполяция:
а – обрабатываемая геометрия; б – развертка траектории.

Пример использования цилиндрической интерполяции	
...	
G07.1;	(Включение цилиндрической интерполяции)
G01 Z90.0 F250.;	
C90.0;	
G03 Z80.0 C100.0 R10.0;	
G02 Z70.0 C110.0 R10.0;	(Перемещение вдоль траектории с
G01 C210.0;	применением линейной и круговой
G02 Z80.0 C220.0 R10.0;	интерполяции вдоль осей X и C)
G03 Z90.0 C230.0 R10.0;	
G01 C360.0;	
G07.1 C0;	(Отключение цилиндрической интерполяции)
...	

Интерполяция NURBS - G06.2

При проектировании изделий со сложными криволинейными поверхностями (например, штампы), используют неоднородный рациональный B-сплайн, NURBS (англ. Non-uniform rational B-spline).

Функция G06.2 в СЧПУ Fanuc позволяет непосредственно задать сплайн при помощи координат узлов (рис. 4.8, а) для СЧПУ, что исключает необходимость аппроксимации сплайна с помощью коротких линейных сегментов и дуг (рис. 4.8, б), а также позволяет использовать параметрическое управление подачей. Интерполяция NURBS может выполняться максимум для пяти осей, включая две оси вращения. Оси интерполяции NURBS должны задаваться в первом кадре. Адрес K определяет узел, а адрес R – его вес (по умолчанию - 1). При помощи адреса P может быть указана степень сплайна (по умолчанию - кубический сплайн).

G06.2 K_ X_ Y_ Z_ A_ C_ R_ F_

Точный останов - G09|G61

Из-за автоматического ускорения и замедления осевых перемещений исполнительных органов станка с ЧПУ не происходит точная обработка кромок углов при переходе от одного движения резания к другому (рис. 4.9, а, б).

Немодальный код G09 предназначен для согласования фактической траектории инструмента с запрограммированной траекторией. То есть при переходе от одного кадра к другому СЧПУ обеспечит законченное и точное перемещение в указанную координату за счет снижения величины подачи до нуля в конце кадра (рис. 4.9, в).

Для выполнения данной функции также может использоваться модальная функция G61. Для отмены используется G64.

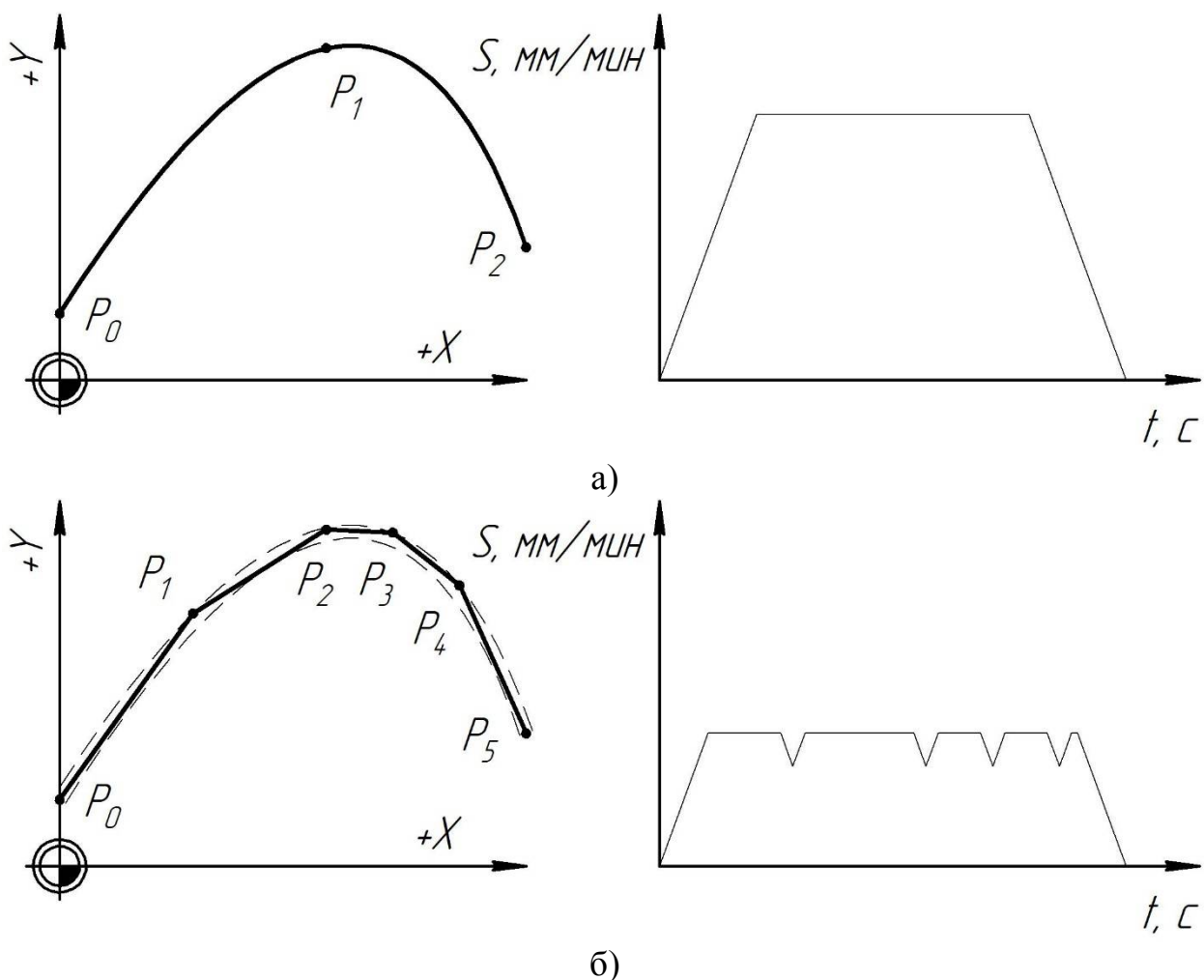


Рис. 4.8. Траектория перемещения инструмента и управление подачей:
а – при включенной сплайновой интерполяции; б – при выключенной
сплайновой интерполяции

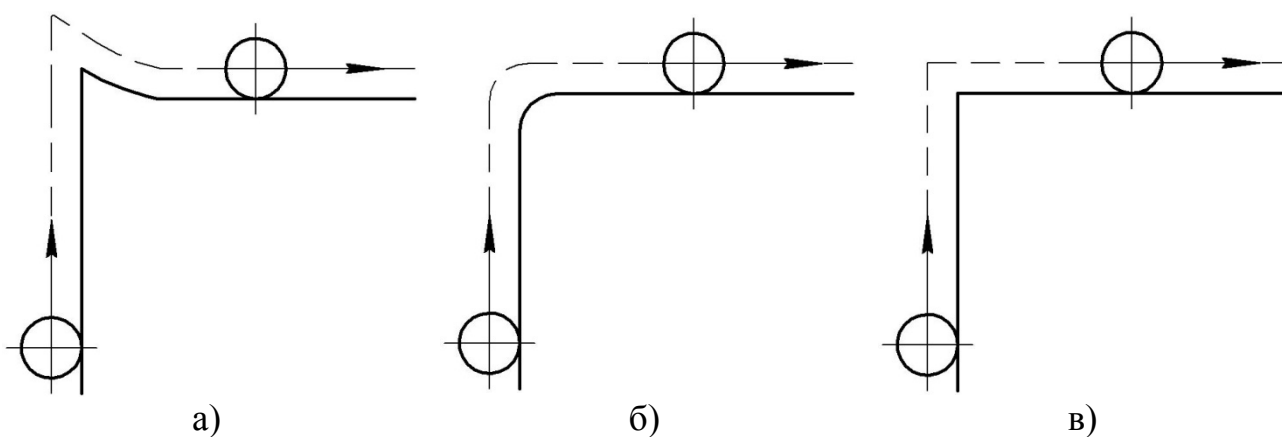


Рис. 4.9. Управление величиной подачи в углах:
а, б – выключено, в – включено

Интерполяция в полярных координатах - G12.1|G13.1

Интерполяция в полярных координатах позволяет реализовать виртуальную (теоретическую) линейную ось в декартовой системе координат за счет согласования других линейной и поворотной осей (рис. 4.10).

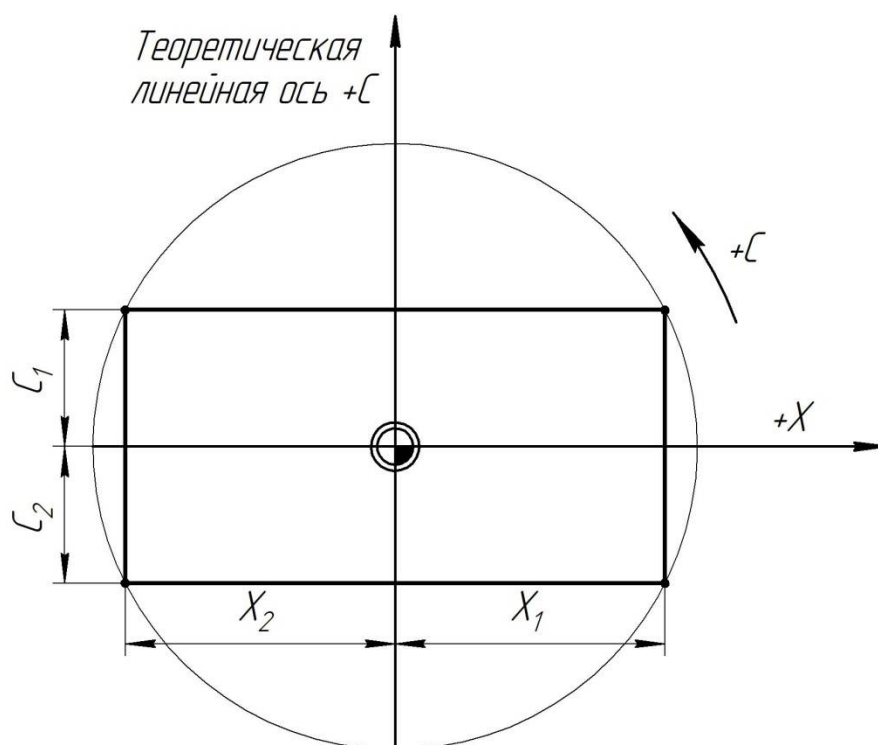


Рис. 4.10. Интерполяция в полярных координатах в плоскости XC

G12.1 X_ C_ (X и C – координаты смещения начала отсчета)

Пример использования интерполяции в полярных координатах

...	
G00 X60.0 C0.0;	
G12.1	(Включение интерполяции в полярных координатах)
G01 X20.0 F100;	
C10.0;	
X-20.0;	
C-10.0;	(Перемещение вдоль траектории с применением
X20.0;	линейной интерполяции вдоль осей X и C)
C0.0;	
X60.0;	
G13.1;	(Отключение интерполяции в полярных координатах)
...	

Обычно такая потребность возникает на токарных станках, оснащенных приводным инструментом, хотя ее использование возможно и на других станках. Классический токарный станок обеспечивает перемещение по двум линейным осям – X и Z и управляемый поворот шпинделя – ось C. Таким образом, используя интерполяцию в полярных координатах можно получить декартову систему координат XCZ (аналогичную XYZ) с линейной осью C, за счет согласования линейной оси X и поворотной оси C.

Смещение начала отсчета может быть задано в режиме интерполяции в полярных координатах заданием положения центра оси вращения C (A или B) в плоскости интерполяции XC (YA или ZB) относительно начала системы координат заготовки.

Нарезание резьбы с постоянным (переменным) шагом – G32|G34

При нарезании резьбы с использованием функции G32 подача вдоль оси синхронизируется с сигналом вращения энкодера шпинделя (рис. 4.11). Эта синхронизация остается в силе для каждого с активной функцией G32 (является модальной), что позволяет нарезать резьбу за несколько проходов. Функция G34 – используется для нарезания резьбы с переменным шагом. Адрес K определит изменение шага.

G32 X_ Z_ F_	(Нарезание резьбы с постоянным шагом)
G34 X_ Z_ F_ K_	(Нарезание резьбы с переменным шагом)

Использование функций G32|G34 позволяет нарезать резьбу не только на цилиндрической поверхности, однако в отличие от циклов отсутствует автоматический подвод, отвод инструмента, автоматический возврат к исходной позиции.

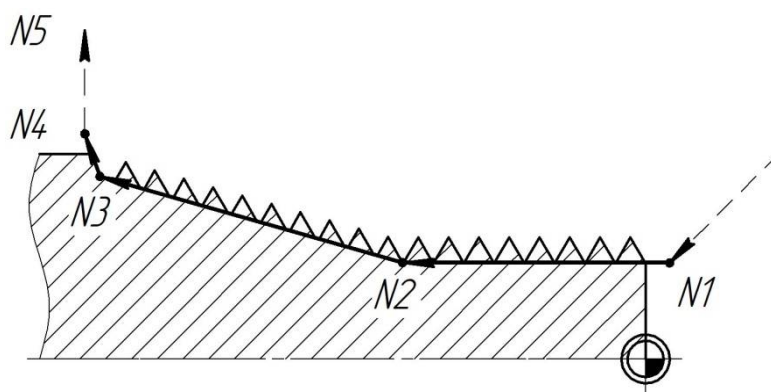


Рис. 4.11. Нарезание резьбы с постоянным шагом

Пример нарезания резьбы с постоянным шагом	
%	
O0001	(Номер программы)
T0101	(Выбор инструмента)
G00 G18 G20 G40	(Строка безопасности)
G50 S1000	(Ограничение максимальной частоты вращения)
G97 S500 M03	(Частота вращения шпинделя по часовой стрелке)
G54	(Смещение нулевой точки)
N1 G00 X15. Z2. M08	(Перемещение на холостых ходах, включение СОЖ)
N2 G32 Z-20. F2.5	Нарезание резьбы вдоль контура на рабочей подаче, равной шагу резьбы)
N3 X30. Z-45.	
N4 X36.98 Z-46.25	(Отвод инструмента под углом)
N5 G00 X54.	(Отвод инструмента на холостых ходах)
M09	(Выключение СОЖ)
G91 G28 X0	(Возврат в исходную точку по оси X)
G91 G28 Z0	(Возврат в исходную точку по оси Z)
M05	(Остановка шпинделя)
M30	(Конец программы)
%	

4.4. Принцип компенсации инструмента

В процессе выполнения пусконаладочных работ основные параметры инструмента (рис. 4.13) заносят в СЧПУ. Параметры коррекции обычно вводятся в память с пульта станка ручным вводом, с внешнего устройства или по промышленной сети, например, от автоматической инструментально-измерительной машины. Также возможно изменение параметров инструмента через УП, например, при помощи цикла измерения непосредственно на станке.

При вводе параметров коррекции через УП кадры вводимой информации не нумеруются, а вся она задается подготовительной функцией G92, за которой следуют код и номер инструмента, номер группы его коррекций и параметры инструмента.

Введенные в память УЧПУ данные об инструменте хранятся в виде таблицы и позволяют автоматически учитывать при обработке детали вылет инструмента, его износ и выполнять коррекцию радиуса. При задании токарного инструмента в СЧПУ дополнительно указывается положение вершины (рис 4.12) инструмента в плоскости, в общем случае, определяется кодовыми цифрами от 1 до 9 в зависимости от геометрии инструмента.

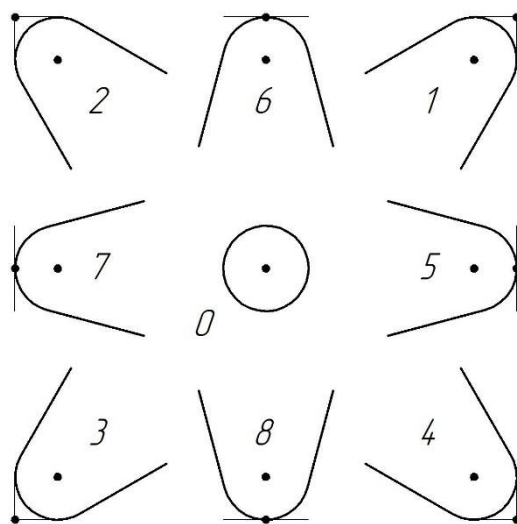


Рис. 4.12. Положение настроечной точки резца

Коррекция на длину инструмента – G43|G44|G49

В процессе обработки детали точка Р перемещается по заданной в УП траектории. При этом базовая точка станка N перемещается по той же траектории со смещением относительно точки Р на величину вылета инструмента. При вызове очередного инструмента по команде УП система ЧПУ осуществляет считывание величины корректора из таблицы параметров инструментов.

При фрезеровании положительная коррекция длины инструмента осуществляется путем использования подготовительной функции G43 (отрицательная – G44) и указания номера корректора после адреса H. Обычно коррекция длины активируется совместно с ускоренным перемещением по оси Z.

| G43 H_ Z_

Коррекция длины инструмента отменяется путем использования функции G49, корректора H00 или при перемещении в исходную точку по оси Z, например, используя G91 G28 Z0.

Помимо корректоров на геометрию также присутствуют корректоры на износ инструмента. В процессе обработки детали могут возникнуть различные погрешности обработки. Корректоры позволяют достичь требуемой точности обработки.

На токарных станках с ЧПУ, использующих револьверную головку, номера корректоров инструмента на геометрию и на износ указываются в адресе T, например:

T0102	(01 – номер корректора на геометрию, 02 – номер корректора на износ)
-------	--

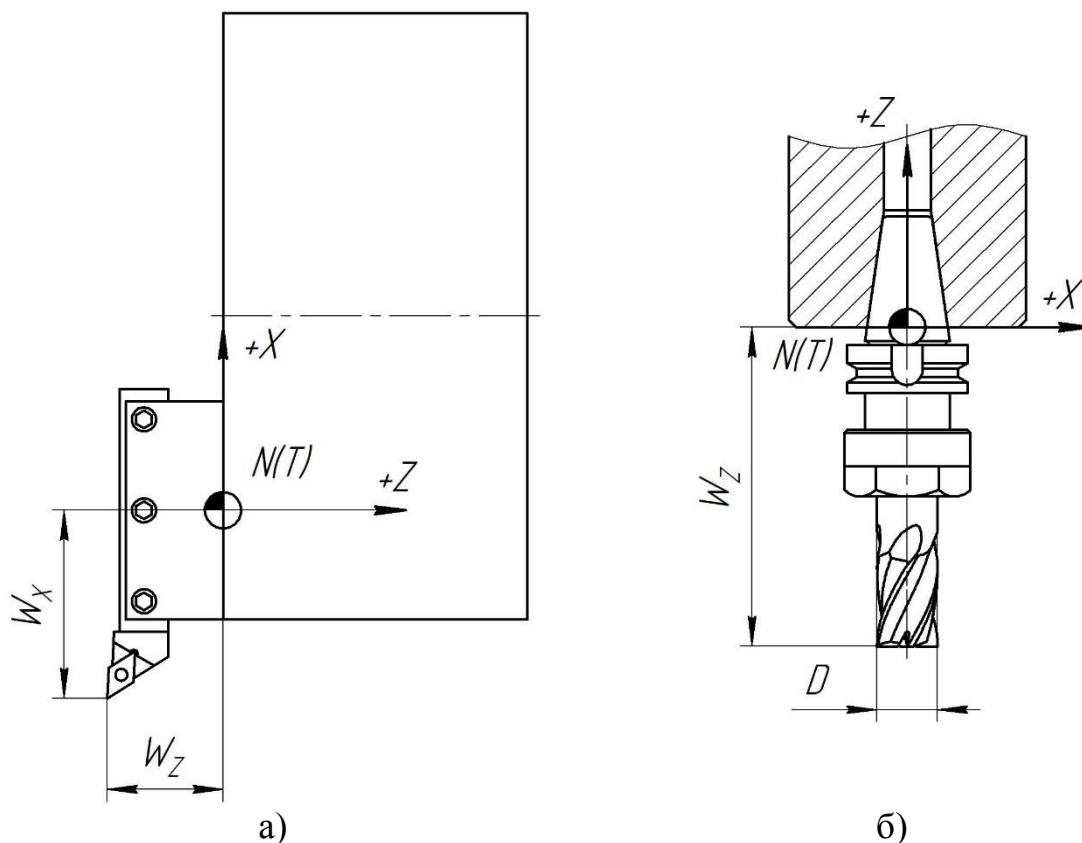


Рис. 4.13. Определение величины вылета инструмента:
а – для токарной обработки; б – для фрезерной обработки

Коррекцию в программы вводят, как правило, двумя способами. Первый способ - ввод коррекции на инструмент. В этом случае коррекция вводится до начала резания, а отменяется после окончания обработки данным инструментом всех назначенных для него поверхностей.

Второй способ - ввод коррекции на поверхность. В этом случае коррекция вводится перед выходом режущего инструмента на конкретную поверхность, а отменяется сразу же после ее обработки.

Коррекция на радиус инструмента - G41|G42|G40

Системы ЧПУ современных станков позволяют вводить коррекцию радиуса инструмента, т.е. осуществлять эквидистантное смещение траектории перемещения настроечной точки Р инструмента относительно запрограммированной на величину радиуса инструмента.

Перед включением коррекции радиуса инструмента необходимо определить плоскость интерполяции при помощи G17|G18|G19.

Коррекция на радиус режущей кромки в УП вызывается функциями G41 или G42 в соответствии с направлениями движения инструмента относительно контура (рис. 4.14). Функция G41 указывается, когда инструмент находится слева от обрабатываемого контура, если смотреть в направлении его движения.

Функция G42 задается в кадре, когда инструмент располагается справа от обрабатываемого контура. Функция G40 отменяет введенную коррекцию.

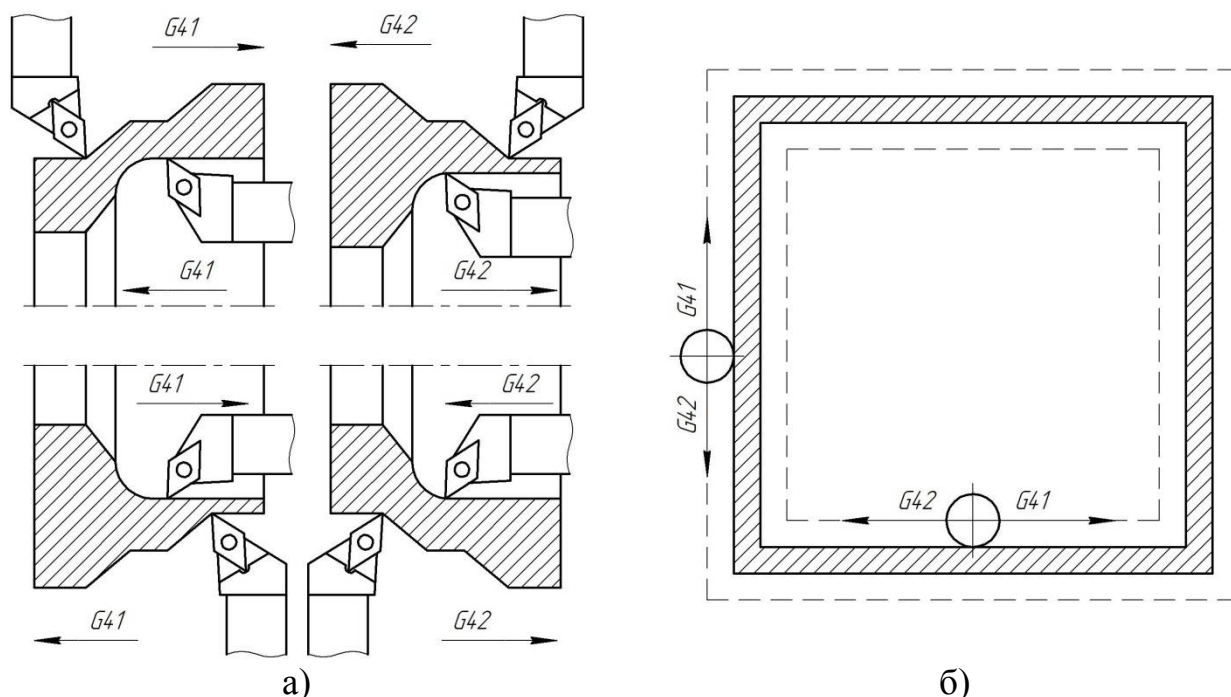


Рис. 4.14. Определение функции коррекции на радиус:
а – для токарной обработки, б – для фрезерной обработки

Коррекция радиуса инструмента обычно вводится во время его прямолинейного перемещения в направлении контура обработки и отменяется при отходе от него. Большинству систем для активации коррекции требуется пройти расстояние, не меньшее величины радиуса инструмента. По команде G41 или G42 система ЧПУ станка вызывает значение из соответствующей ячейки таблицы параметров инструментов, которая обозначена в кадре вызова корректора радиуса адресом D.

| G41 G01 X_ Y_ F_ D_

Коррекция радиуса инструмента часто необходима из-за того, что при точении конических и фасонных поверхностей, а также при фрезеровании криволинейных контуров, траектория движения центра радиусной поверхности инструмента должна представлять собой эквидистанту относительно поверхности детали. В противном случае возникают погрешности формы поверхности (рис. 4.15).

Применение коррекции на радиус также позволяет упрощать расчет траектории инструмента при обработке поверхностей детали с технологическим припуском (черновую обработку). Программировать траекторию возможно непосредственно по технологическим размерам детали, без перерасчета коор-

динат опорных точек. Изменяя значения корректоров, можно получать размеры детали в пределах допусков, указанных на чертеже.

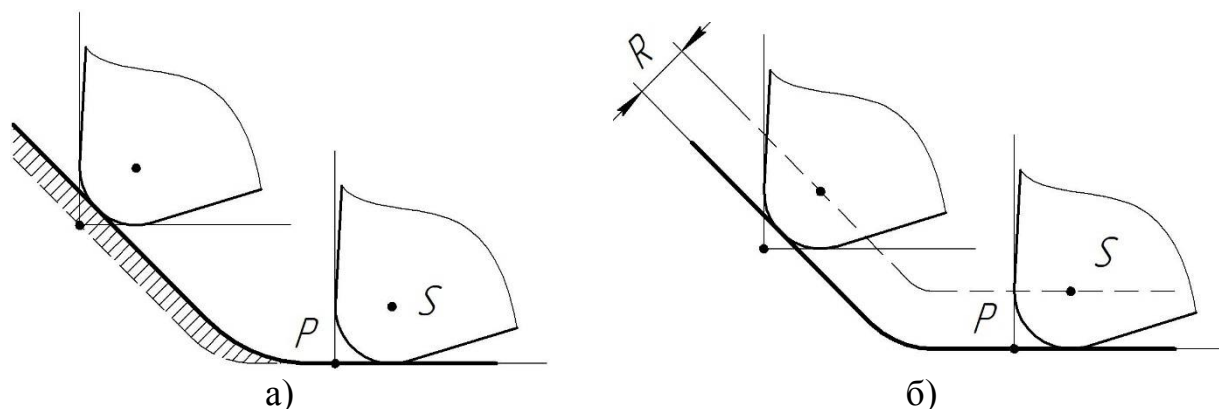


Рис. 4.15. Погрешности формы, возникающие при точении:
а – без коррекции на радиус; б – с коррекцией на радиус

4.5 Трансформация координат

Современные системы ЧПУ позволяют задействовать в программировании обработки сразу несколько систем координат. Каждая из них вызывается в определенном кадре УП. Над системами координат можно выполнять различные операции: смещение, масштабирование, поворот (рис. 4.16).

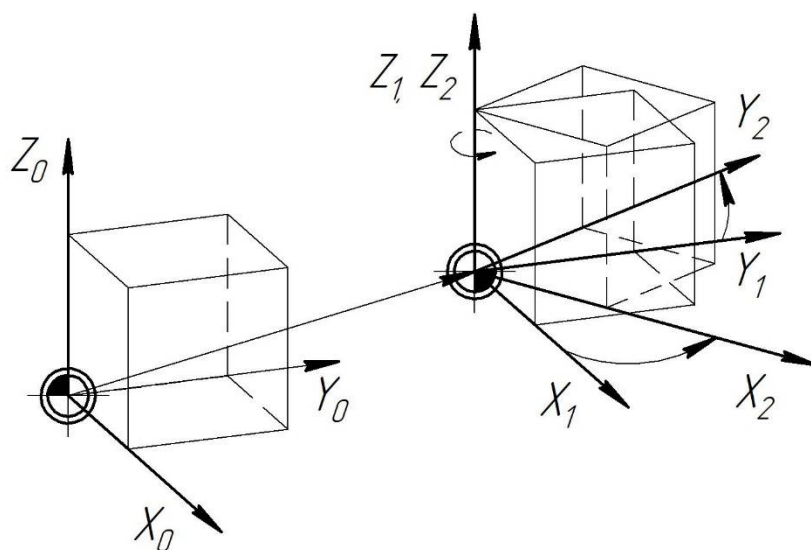


Рис. 4.16. Трансформация координат: смещение и поворот

Смещения нулевой точки – G54-G59

Вызов смещения нулевой точки (англ. Zero Shift) детали осуществляется функциями G54 - G59.

Абсолютные значения координат обычно определены в системе координат станка MCS по отношению к нулевой точке М. Из практических соображе-

ний, все размеры и перемещения, указанные в управляющей программе, заданы по отношению к нулевой точке W в системе координат детали WCS . Благодаря смещению нулевой точки, можно выполнять обработку в любой зоне системы координат станка без изменения размеров, указанных в УП.

На рис. 4.17 представлен способ определения положения нуля детали в системе координат станка. Эти координаты вносятся в таблицу смещения нулевых точек системы ЧПУ станка.

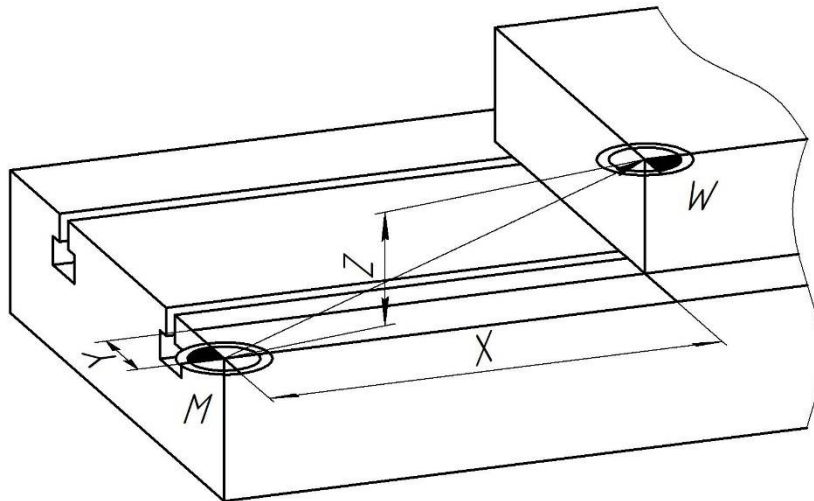


Рис. 4.17. Смещение начала системы координат из нулевой точки станка M в нулевую точку детали W

В некоторых случаях, например, при использовании подпрограмм, целесообразно использовать аддитивное смещение нулевой точки или локальную систему координат. В СЧПУ Sinumeric для аддитивного смещения (рис. 4.18) используется команда **ATRANS**.

Пример использования аддитивного смещения нуля

...	
N10 G54	(Абсолютное смещение нулевой точки)
N20 M98 P1001	(Вызов подпрограммы)
N30 ATRANS Z-10	(Аддитивное смещение нулевой точки)
N40 M98 P1001	(Вызов подпрограммы)
N50 ATRANS Z-10	(Аддитивное смещение нулевой точки)
...	

Локальная система координат G52

СЧПУ позволяет устанавливать, кроме стандартных рабочих систем координат, еще и локальные системы координат. Функция **G52** используется для

определения подчиненной системы координат в пределах действующей рабочей системы (G54-G59).

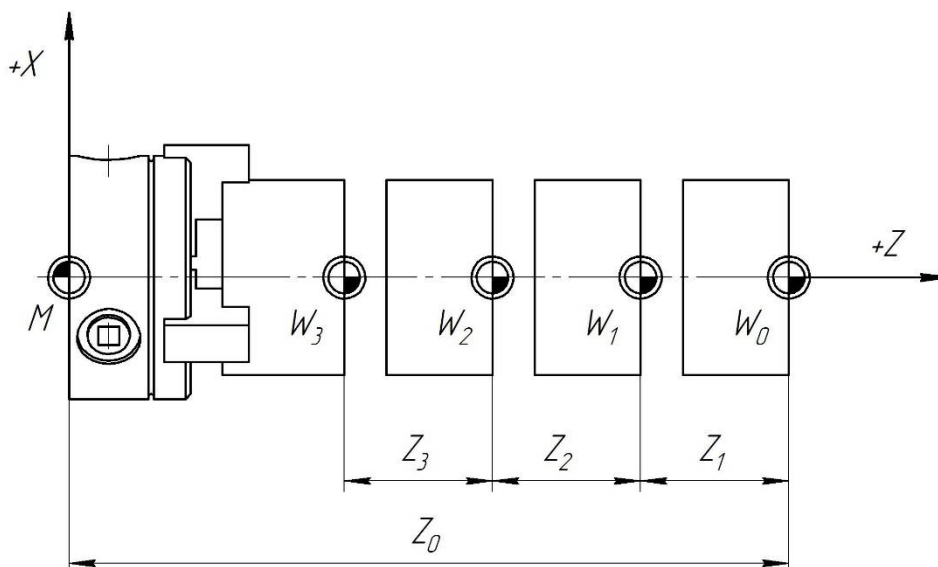


Рис. 4.18. Пример использования аддитивного смещения нулевой точки

Когда СЧПУ станка выполняет функцию G52, то начало действующей рабочей системы координат смещается на значение, указанное при помощи слов данных X, Y и Z:

| G52 X_ Y_ Z_

Команда G52 автоматически отменяется, если программируется другая рабочая система координат G54-G59 или с помощью команды G52 X0. Y0. Z0.

Включение режима масштабирования - G51

В этом режиме программист изменяет коэффициент масштаба для координатных осей станка. Режим активируется при помощи модальной функции G51 и отменяется функцией G50.

Можно указать коэффициент масштаба для всех осей одновременно или отдельно для каждой оси. При независимом изменении масштаба возможно также зеркальное отображение с помощью отрицательных коэффициентов масштаба.

| G51 X_ Y_ Z_ I_ J_ K_

При помощи адресов X, Y и Z задаются координаты для средней точки масштаба, адреса I, J, K определяют коэффициент масштаба для осей X, Y и Z соответственно.

| G51 X_ Y_ Z_ R_

Адрес R определяет коэффициент масштаба для всех осей.

Вращение координат - G68

Модальная функция **G68** позволяет выполнить поворот системы координат на определенный угол. Для выполнения такого поворота требуется указать плоскость вращения, центр вращения и угол поворота.

Плоскость вращения устанавливается при помощи модальных функций **G17|G18|G19**. Угол поворота задается при помощи адреса **R**.

| G17 G68 X_ Y_ R_

4.6. Постоянные циклы

Постоянными циклами называются специальные макропрограммы, заложенные в УЧПУ для выполнения стандартных операций механической обработки. Практически все станки с ЧПУ имеют набор циклов для обработки отверстий - циклы сверления, растачивания и нарезания резьбы (приложение 3, табл. 3.4). Эти циклы упрощают процесс написания УП и экономят время, так как позволяют при помощи одного кадра выполнить множество перемещений. Токарные станки с ЧПУ имеют расширенный функционал стандартных циклов для токарной обработки.

Циклы обработки отверстий

При задании параметров циклов необходимо четко их определить. Это касается не только данных программируемой траектории, но и некоторых дополнительных элементов, в частности различных уровней. Уровни задаются, как и данные траектории, относительно осей системы координат, определенной для данного момента (для данной подпрограммы) в основной УП. Многие СЧПУ позволяют указывать дополнительные параметры для более гибкой работы с циклами.

Если цикл обработки отверстий работает совместно с кодом **G98** (возврат к исходной плоскости в цикле), то инструмент возвращается к исходной плоскости в конце каждого цикла и между всеми обрабатываемыми отверстиями. Исходная плоскость - это координата по оси **Z** (уровень), в которой находится инструмент перед вызовом постоянного цикла.

Если цикл обработки отверстий работает совместно с кодом **G99** (возврат к плоскости отвода в цикле), то инструмент возвращается к плоскости отвода между всеми обрабатываемыми отверстиями. Плоскость отвода - это координата по оси **Z** (уровень), с которой начинается сверление на рабочей подаче и в

которую возвращается инструмент после того, как он достиг дна обрабатываемого отверстия. Плоскость отвода обычно устанавливается в кадре цикла с помощью адреса R (рис. 4.19 б).

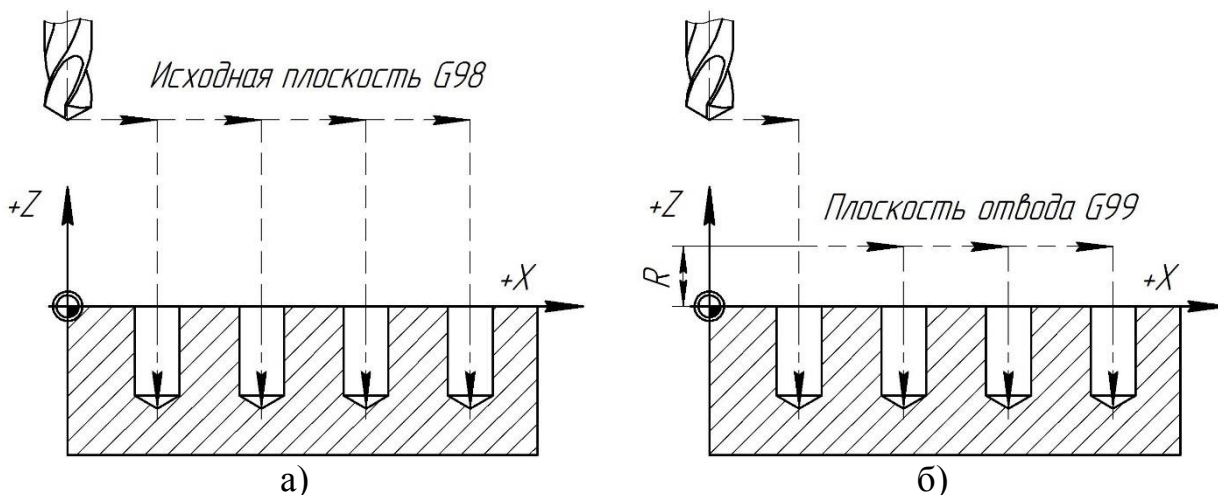


Рис. 4.19. Определение уровня возврата в постоянных циклах:
а – исходная плоскость; б – плоскость отвода

Обычно системы ЧПУ позволяют переключаться между G98 и G99 прямо внутри постоянного цикла между обрабатываемыми отверстиями.

Пример использования стандартного цикла сверления

...	
G99 G81 X.0 Y.0 Z-3.0 R0.5 F50.	(Использование плоскости отвода)
X20 Y20	(Указание последующих точек)
G98 X30 Y30	(Переключение на исходную плоскость)
X40 Y40	(Использование исходной плоскости)
G80	(Отмена цикла)
...	

Стандартный цикл сверления – G81

Адреса X и Y определяют координаты обрабатываемых отверстий. Адрес Z указывает конечную глубину сверления, а R применяется для определения плоскости отвода. Постоянные циклы и их параметры являются модальными. После кадра, содержащего координаты последнего отверстия, необходимо использовать функцию G80 - отмена постоянного цикла.

G81 X_ Y_ Z_ R_ F_

При необходимости использования относительных координат (G91) при работе с постоянным циклом следует учитывать следующее:

- плоскость отвода устанавливается относительно исходной плоскости;
- глубина сверления по Z устанавливается относительно плоскости отвода.

Цикл сверления с выдержкой – G82

При использовании функции **G82** на дне отверстия указывается время ожидания (выдержка). Применяется для сверления глухих отверстий, так как запрограммированное время ожидания обеспечивает лучшее удаление стружки со дна отверстия. Адрес **P** устанавливает время ожидания (без десятичной точки) на дне отверстия.

| G82 X_ Y_ Z_ P_ R_ F_

Цикл прерывистого сверления – G83

В цикле прерывистого сверления **G83** инструмент поднимается вверх через определенные интервалы для удаления стружки (рис. 4.20). При сверлении глубокого отверстия, есть вероятность, что стружка не будет удалена из отверстия, что может привести к поломке инструмента.

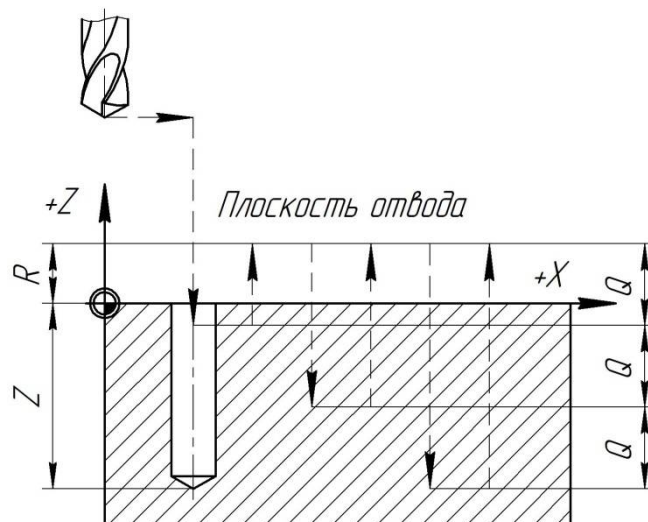


Рис. 4.20. Схема цикла прерывистого сверления

| G83 X_ Y_ Z_ Q_ R_ F_

Адрес **Q** определяет относительную глубину каждого рабочего хода сверла.

Высокоскоростной цикл прерывистого сверления – G73

Отличие цикла G73 от G83 заключается в том, что при высокоскоростном цикле сверло для удаления стружки выводится из отверстия не полностью (рис. 4.21). Это позволяет уменьшить машинное время обработки.

| G73 X_ Y_ Z_ Q_ R_ F_

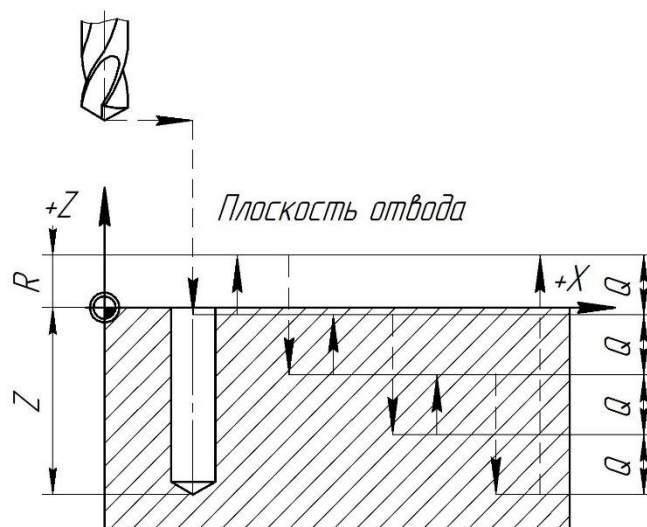


Рис. 4.21. Схема высокоскоростного цикла прерывистого сверления

Циклы нарезания резьбы метчиком – G84|G74

При использовании функций G84|G74 УЧПУ синхронизирует частоту вращения шпинделя с перемещением по оси Z таким образом, что при заданном перемещении по оси Z на значение шага метчика шпиндель поворачивается на один оборот. Для упрощения программирования рекомендуется задавать величину подачи в мм/об при помощи функции G95. Когда метчик достигает дна отверстия, шпиндель, вращаясь в обратную сторону, выводит метчик из отверстия. Для нарезания правой резьбы используется функция G84, левой – G74.

| G84 X_ Y_ Z_ R_ F_

| G74 X_ Y_ Z_ R_ F_

Циклы растачивания G85–G89

Формат расточных циклов похож на формат циклов сверления. Цикл G85 выполняет перемещение расточного резца до дна отверстия на рабочей подаче с вращением шпинделя. Когда резец достигает дна, инструмент выводится из отверстия также на рабочей подаче.

| G85 X_ Y_ Z_ R_ F_

Существует множество разновидностей цикла растачивания, которые отличаются друг от друга поведением при выводе инструмента из обработанного отверстия. Цикл G89 аналогичен G85, но на дне отверстия можно задать время выдержки при помощи адреса R.

| G89 X_ Y_ Z_ R_ P_ F_

В цикле G76 при достижении дна отверстия расточной резец ориентируется определенным образом, и смещается от стенки отверстия и выводится на ускоренной подаче. Для правильной работы с этим циклом необходимо правильно сориентировать инструмент при настройке и установке, иначе можно сломать инструмент или испортить деталь. При достижении дна отверстия в цикле G86 шпиндель прекращает вращаться и выводится из отверстия на ускоренной подаче. На боковой поверхности (стенке) отверстия, как правило, остается вертикальная риска.

Поведение цикла G87 может быть различным. У одних станков этот цикл выполняет растачивание за несколько рабочих операций, аналогично циклу прерывистого сверления. У других станков шпиндель останавливается на дне отверстия и выводится из него вручную. На большинстве современных обрабатывающих центров является циклом обратного растачивания. Цикл G88 аналогичен G87, но на дне отверстия можно задать время выдержки.

Циклы токарной обработки

Циклы токарной обработки предназначены для обработки наружных и внутренних контуров различными резцами, для отрезки, нарезания резьбы, обработки канавок и т.п. Траектории вспомогательных перемещений определяются относительно исходной точки вызова цикла, т.е. точки, в которой находился инструмент перед вызовом цикла. Некоторые постоянные циклы точения приведены в приложении 3, табл. ПЗ.5.

Циклы контурной токарной обработки – G70|G71|G72|G73

В циклах G70-G73 для выполнения обработки необходимо указать обрабатываемой контур (рис. 4.22). Адрес R указывает на номер кадра начала контура, адрес Q – конца контура, при использовании G72 порядок задания контура может отличаться.

Для циклов G71-G73, использующих запись в формате двух кадров, в первом кадре цикла указывается глубина резания при помощи адресов U, V, W для соответствующих осей X, Y, Z. Во втором кадре данные адреса указывают смещение - величину припуска для последующей обработки. Адрес R для цик-

лов G71 и G72 определяет расстояние отвода инструмента после каждого прохода, а для цикла G73 – количество проходов.

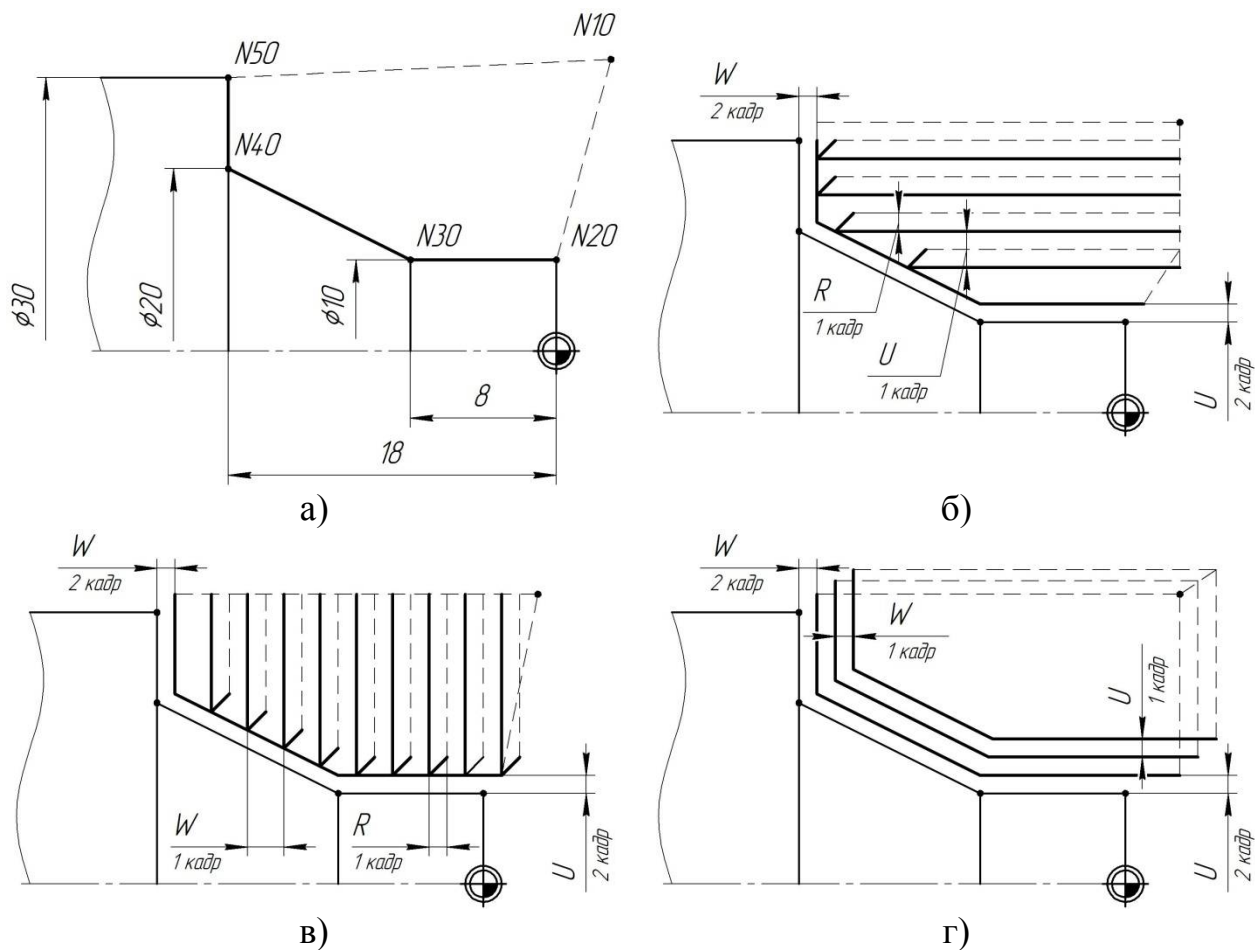


Рис. 4.22. Использование токарных контурных циклов:

- а – чистовой контурной обработки; б – черновой продольной контурной обработки;
в – черновой поперечной контурной обработки; г – эквидистантной контурной обработки

Пример использования цикла черновой продольной контурной обработки

...	
N10 G00 X32. Z3.	(Подвод в исходную точку цикла)
G71 U2. R.2	(Цикл G71 – первый кадр)
G71 P20 Q50 U.3 W.3 F.1 S2000	(Цикл G71 – второй кадр)
N20 G01 X10. Z0.	
N30 Z-8.	
N40 X20. Z-18.	(Задание контура обработки)
N50 X30.	
...	

Циклы прерывистой обработки – G74|G75

Циклы G74 и G75 используются для обработки торцевых и цилиндрических канавок, в некоторых УЧПУ возможно использование для прерывистого сверления вдоль осей Z и X соответственно. Адрес R определяет расстояние отвода на рабочей подаче для дробления стружки. Адреса P и Q определяют смещение между проходами по осям X и Z соответственно (рис. 4.23).

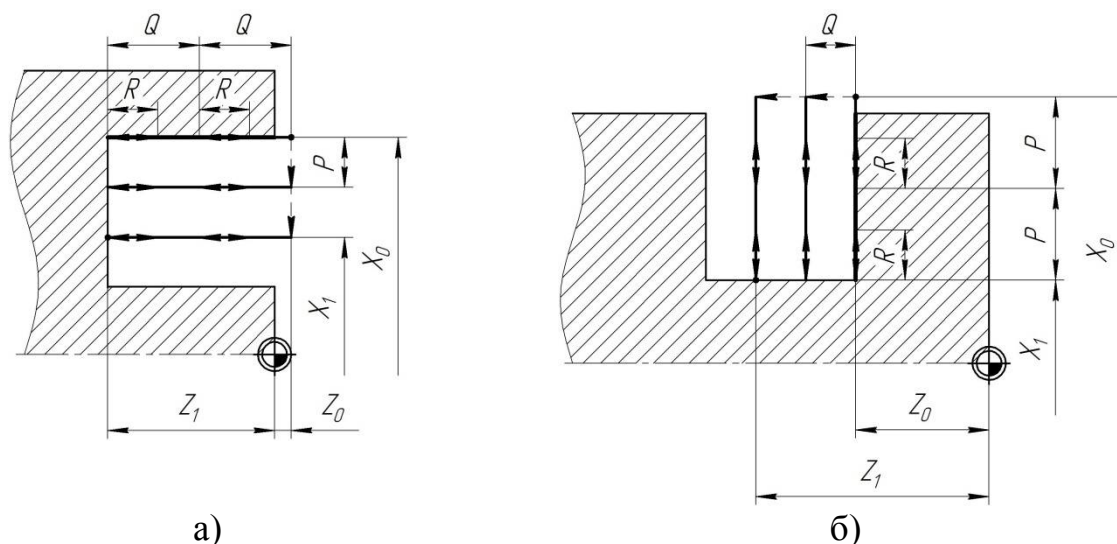


Рис. 4.23. Использование циклов обработки канавок:
а – торцевых; б – цилиндрических

Пример использования цикла точения цилиндрической канавки

...	
G00 Z-8. X15.	(Подвод в исходную точку цикла)
G75 R.1	(Цикл G75 – первый кадр)
G75 X10. Z-20. Q1. P.5	(Цикл G75 – второй кадр)
...	

Цикл нарезания резьбы – G76

Цикл G76 используется на токарных станках с ЧПУ для нарезания резьбы, левая или правая – зависит от направления вращения шпинделя, задаваемого при помощи M03|M04, при помощи резьбонарезного резца. Данный цикл позволяет запрограммировать нарезание внешней и внутренней резьбы, в зависимости от положения исходной точки, за несколько проходов. Часто используется формат записи цикла при помощи двух кадров. В первом кадре указывается минимальная глубина резания за один проход при помощи адреса Q (без десятичной точки), общий припуск для всех чистовых проходов при помощи адреса R (допускается десятичная точка), а количество чистовых проходов, вели-

чина сбег резьбы и направление врезания резьбонарезного резца указываются соответственно при помощи трех пар цифр в адресе Р (рис. 4.24).

Во втором кадре указывается номинальный диаметр резьбы (соответственно внутренний для наружной резьбы) при помощи адреса Х, длина резьбы или координата конечной точки резьбы при помощи адреса Z, высота профиля резьбы при помощи адреса Р (без десятичной точки), максимальная глубина резания за один проход при помощи адреса Q (без десятичной точки), шаг резьбы при помощи адреса F (рис. 4.25). Необязательный адрес R задает величину смещения для нарезания конической резьбы.

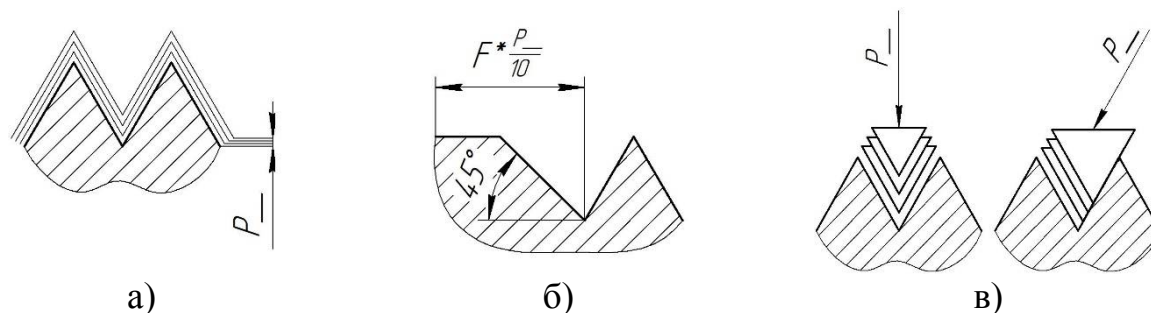


Рис. 4.24. Параметры адреса Р в цикле G76:

а – количество чистовых проходов 00-99; б – величина сбег резьбы 00-99;
в – направление врезания резца 00-60

P040000

(Выполняется 4 чистовых прохода, отсутствует сбег резьбы, используется радиальное врезание)

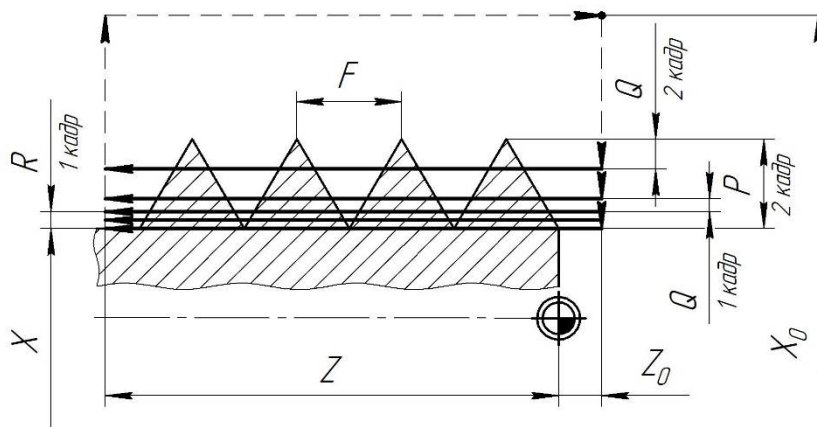


Рис. 4.25. Использование цикла нарезания резьбы

Пример использования цикла для нарезания внутренней резьбы M76x1,5

```
...
N18 G0 Z3 X70
N20 G76 P011060 Q050 R0.05
N22 G76 X76.0 Z-30.0 P812 Q250 F1.5
...
```

Упрощенные токарные циклы – G90|G92|G94

В СЧПУ Fanuc присутствуют упрощенные версии циклов для продольного G90 и поперечного G94 точения, а также нарезания резьбы G92 (рис 4.26). Циклы G90|G94 целесообразно применять соответственно при обработке длинных цилиндрических участков или коротких цилиндрических участков детали с большой разницей начального и конечного диаметров. Цикл G92 позволяет сделать несколько проходов резьбовым резцом по глубине, при этом на станке включается согласование угла поворота шпинделя и продольной подачи. При этом указывается фиксированная длина нарезания резьбы, которая распространяется на весь цикл.

Пример использования упрощённых токарных циклов

...	...	...
G0 X42. Z2.	G0 X42. Z2.	G0 X32. Z1.
G90 X37. Z-25. F0.1	G92 X30. Z-25. F1.	G94 X10. Z-2. F0.1
X34.	X29.	Z-4.
X31.	X28.	Z-6.
...	...	...

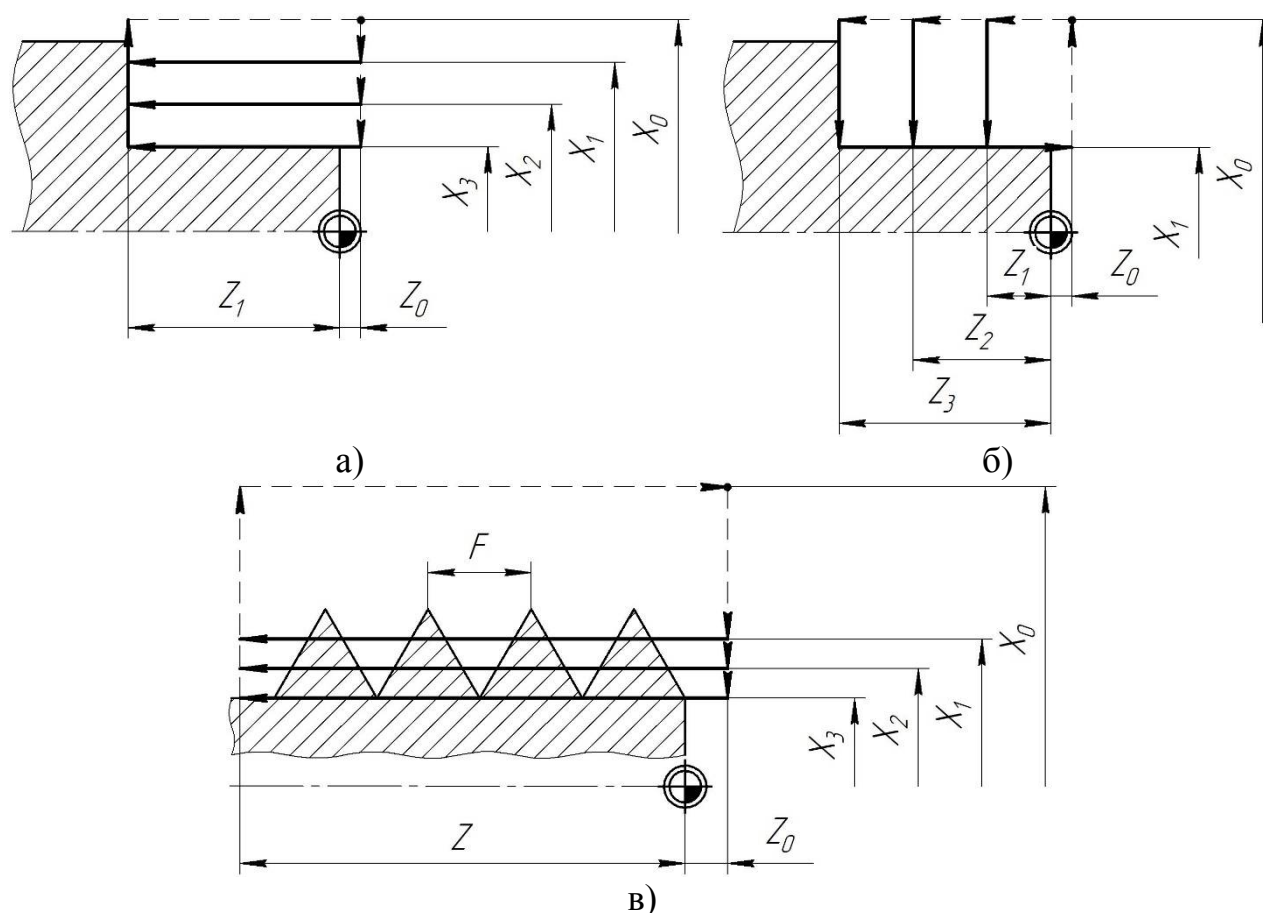


Рис. 4.26. Использование упрощенных токарных циклов:
а – продольного точения; б – поперечного точения; в – нарезания резьбы

4.7. Основные вспомогательные функции

Слова с адресом **M** называются вспомогательными функциями (аббревиатура англ. Miscellaneous) и предназначены для управления различными устройствами станка, например, смены инструмента, включения и выключения шпинделя, управления охлаждением, работы с подпрограммами и т.д. Основные вспомогательные функции представлены в приложении 3, табл. ПЗ.6.

Останов выполнения управляющей программы – M00|M01

Часто возникают ситуации, когда необходимо временно прервать выполнение программы. Функции **M00** и **M01** временно приостанавливают выполнение УП.

Когда СЧПУ считывает **M00**, то происходит запрограммированный останов. Все осевые перемещения останавливаются и возобновляются лишь после того, как оператор станка нажмет клавишу «Старт цикла» на панели УЧПУ. При этом шпиндель продолжает вращаться, и другие функции остаются активными.

Если режим «Останов по выбору» активен, то при чтении кадра с **M01** происходит останов. Если данный режим не активен, то функция **M01** пропускается и выполнение УП не прерывается.

Управление вращением шпинделя – M03|M04|M05

Для задания частоты вращения шпинделя используется адрес **S**. При токарной обработке есть некоторые особенности для задания частоты вращения шпинделя. Если активна функция **G97**, то частота вращения шпинделя задается в об/мин, а если **G96** – то задается скорость резания в м/мин. При активной функции **G96** частота вращения шпинделя вычисляется из заданной скорости резания, что влечет необходимость ограничения максимальной частоты вращения при помощи функции **G50** (в некоторых СЧПУ **G92**)

Функция **M03** отвечает за прямое (по часовой стрелке), а **M04** - за обратное (против часовой стрелки) вращение шпинделя. Направление вращения определяется в отрицательном направлении оси **Z** (рис. 4.27).

Функция **M05** используется в ситуациях, когда шпиндель необходимо остановить, не затрагивая другие запрограммированные действия. Команда выполняется в конце кадра и применяется после окончания обработки инструментом. Для останова шпинделя в заданном угловом положении используется функция **M19**. Адрес **S** позволяет задать угловое положение в градусах.

Некоторые станки оснащены специальной коробкой скоростей. Обычно для включения низкой передачи используется код **M41**, а для включения более высоких передач - **M42**, **M43** и т. д.

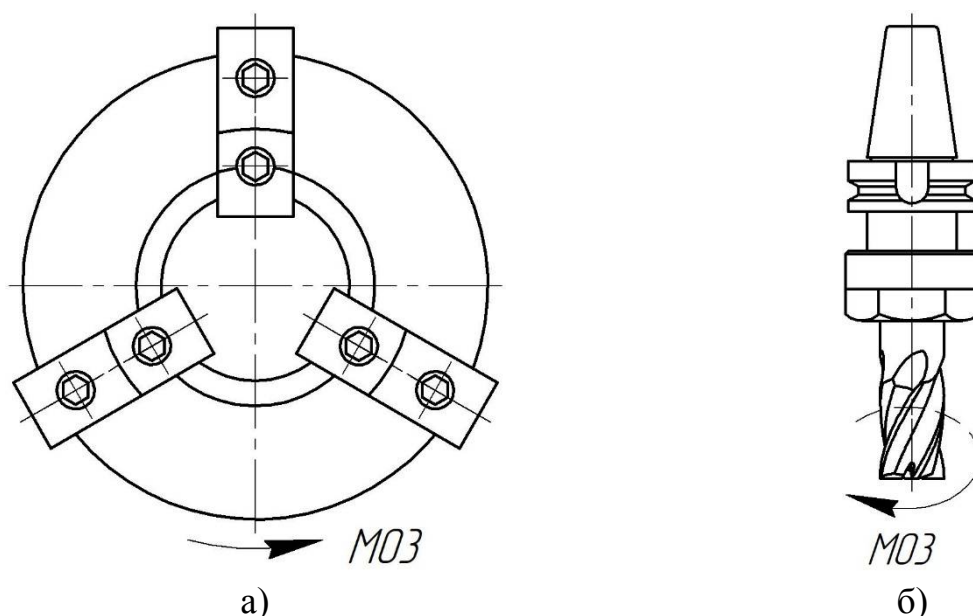


Рис. 4.27. Направление вращения шпинделя по часовой стрелке:
а – для токарной обработки; б – для фрезерной обработки

Управление подачей СОЖ - M07|M08|M09

Обычно функция **M08** используется для включения подачи смазочно-охлаждающей жидкости, а **M09** - для выключения. Некоторые станки позволяют подавать СОЖ в зону обработки в различном виде. Например, функция **M08** может выполнять подачу СОЖ в виде струи, а **M07** - в распыленном виде.

Подачу СОЖ принято отключать перед сменой инструмента и в конце программы обработки. Многие современные станки делают это автоматически при чтении функции **M06** (смена инструмента), функций **M30** и **M02** (конец программы).

Автоматическая смена инструмента - M06

Номер инструмента во всех УЧПУ для многоцелевых станков задают адресом **T** и двумя цифрами. Функция **M06** управляет сменой инструмента. При ее использовании происходит разжим инструмента, находящегося в шпинделе, изъятие его из шпинделя и замена другим инструментом. Последовательность действий для смены часто зависит от компоновки станка.

| T_ M06

В токарных станках с ЧПУ, имеющих револьверную головку, для смены инструмента используется функция **T**, после которой следует 4 цифры. Первые две задают номер инструмента (позицию револьверной головки) и корректора на геометрию, а следующие две - номер корректора на износ.

Пример смены корректора инструмента при токарной обработке

...

N32 T0400 (Инструмент – 04, корректор на износ - 00)

...

N34 G00 G42 X3. Z.1 T0404 (Инструмент – 04, корректор на износ - 04)

...

Завершение программы M30|M02

Разница между M30 и M02 заключается в том, что при использовании функции M30, помимо завершения программы, курсор текущего положения переводится в самое начало программы, а при M02 - остается в конце.

Обычно при завершении программы обработки производится перемещение рабочего стола или инструмента в позицию, которая облегчает оператору снятие готовой детали со станка. Такое перемещение совершается с помощью функции возврата в исходную позицию G28 (в некоторых случаях G30).

5. Оформление пояснительной записки

Курсовая работа должна быть выполнена в печатном виде на одной стороне листа белой бумаги формата А4 по ГОСТ 9327- 60 (210х297 мм).

Допускается представлять иллюстрации и таблицы на листах формата А3 в виде приложений.

Текст курсовой работы следует печатать, соблюдая следующие размеры полей:

- правое-20 мм;
- левое - 20 мм;
- верхнее - 20 мм;
- нижнее - 30 мм;

Набор текста в редакторе должен удовлетворять следующим требованиям: шрифт Times New Roman, кегль 14. цвет шрифта -черный, межстрочный интервал - 1.5. Текст должен быть отформатирован по ширине страницы с применением автоматического переноса слов, первая строка с абзацным отступом 1.25 см.

Страницы курсовой работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту, включая приложения. Номер страницы проставляют в центре нижней части страницы без точки.

Титульный лист включается в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Текст курсовой работы должен быть выполнен с соблюдением общих требований, установленных ГОСТ 2.105 - 95 к текстовым документам.

В тексте курсовой работы не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы),
- применять сокращения слов, кроме установленных ГОСТ 7.12-93, а также правилами русской орфографии:
- применять обозначения нормативных документов (ГОСТ. ОСТ. СТП), технических условий (ТУ) и других документов без регистрационного номера;
- представлять данные о свойствах веществ и материалов с отступлением от ГОСТ 7.54 - 88. единицы физических величин - с отступлением от ГОСТ 8.417 - 2002:

Иллюстрации следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией или нумерацией в пределах раздела.

Пример. Рис. 1 или Рис. 1.1.

Иллюстрации могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рис.» и наименование (без точки в конце) располагают по центру строки и помещают после пояснительных данных

Пример. Рис. 1. Детали прибора

При заимствовании иллюстративного материала и таблиц на них должна быть обязательно дана ссылка.

При оформлении таблицы пишется справа слово «Таблица» и проставляется ее порядковый номер арабскими цифрами. Слово «Таблица» с номером пишется в правом углу страницы, название приводится ниже отдельной строкой. Ссылка на таблицу в тексте оформляется следующим образом.

Пример. Табл. 2

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах ПЗ, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы могут иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Введение и заключение не нумеруются как разделы.

Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Каждый раздел ПЗ рекомендуется начинать с нового листа.

6. Оформление графической части

Графическая часть курсового проекта представляет собой комплекс чертежей и схем, визуализирующих основные технические и технологические решения. Объем составляет 3-4 листа формата А1, выполненных в соответствии с требованиями ЕСКД, в частности ГОСТ 2.109-73 «Основные требования к чертежам».

В графической части курсового проекта должны быть представлены чертеж детали, лист с графическим отображением управляющей программы, а также карты наладки.

На первом листе выполняется рабочий чертеж детали с необходимыми разрезами и сечениями. Представленный чертеж детали должен предварительно пройти технический контроль и отработку на технологичность.

На втором листе должна быть представлена управляющая программа. Данный лист должен дать представление о технологическом процессе обработки детали на станке с ЧПУ. Должна быть указана операция, наименование переходов, траектория перемещения инструмента, текст (фрагмент) управляющей программы.

На третьем листе должны быть представлены схемы наладки станка с ЧПУ с изображением траекторий движения инструмента. На эскизах четко показываются схема базирования заготовки с обозначением установочных, опорных и зажимных элементов. Стрелками указываются направления подвода инструментов.

Графические материалы должны полностью соответствовать содержанию пояснительной записки. Точный объем графической части согласовывается с руководителем курсового проекта перед началом их выполнения.

7. Порядок защиты курсового проекта

Выполненный курсовой проект сдается на проверку руководителю, который принимает решение о допуске её к защите. Работа со значительными ошибками и замечаниями возвращается обучающемуся на доработку.

При защите курсового проекта обучающийся, делает сообщение о проделанной работе продолжительностью 5-10 минут, где излагает основные требования и пути реализации задания, описываются решения, применённые обучающимся при разработке проблемных вопросов темы.

При изложении материала обучающийся должен продемонстрировать:

- умение кратко, чётко и технически грамотно излагать содержание выполненного и представленного на защиту курсового проекта;
- умение обосновать выбранный алгоритм проектирования управляющей программы, связанный с используемым оборудованием, технологией, инструментом, геометрией детали и т. д.;
- владение теоретическим материалом по тематике курсового проекта.

После сообщения обучающийся отвечает на вопросы, касающиеся темы курсового проекта.

По результатам защиты курсового проекта обучающемуся выставляется оценка в традиционной системе фиксации качества выполненной работы или количество баллов при использовании бально-рейтинговой системы.

При оценке курсового проекта учитывается полнота и правильность его выполнения, глубина проработки, соответствие требованиям ЕСКД, самостоятельность выполнения, знание основного теоретического материала, умение студента защищать свои технические решения.

Заключение

В методических указаниях изложены общие вопросы по выполнению курсового проекта, даны рекомендации к разработке его отдельных разделов, определен порядок выполнения, приведена рекомендуемая литература. При выполнении курсового проекта студенты получают опыт разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Библиографический список

1. Черных Д. М. Программирование механической обработки и процессов газотермического напыления на оборудовании с ЧПУ: учебное пособие: в 2 частях/ Д. М. Черных, Ю. Э. Симонова, В. Н. Сухоруков, М. В. Кондратьев. - Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2023. - Ч. 1. - 94 с. - ISBN 978-5-4446-1871-4. - Текст: непосредственный.
2. Конакова, И. П. Основы оформления конструкторской документации: учеб.-метод. пособие / И.П. Конакова, Э.Э. Истомина, В.А. Белоусова. - Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2014. - 74 с. - ISBN 978-5-7996-1152-1.
3. Справочник технолога-машиностроителя/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2001. - Т.1. - 912 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя /Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2001. - Т.2. - 944 с.
5. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. - Изд. 2-е. М.: - Машиностроение. – 1974. - 421 с.
6. Пачевский В.М. Методы обеспечения точности: курсовое проектирование: учеб. пособие / В.М. Пачевский. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет». - 2007. - 175 с.
7. Теверовский Л.В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система / Л.В. Теверовский, А.А. Ловыгин. - М.: ДМК-Пресс. - 2018. - 280 с.
8. Сосонкин В.Л. Программирование систем числового программного управления/ В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. - М.: Логос. - 2008. - 344 с.
9. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справочник/ Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий. - Л.: Машиностроение. - 1990. - 588 с.
10. Smid P. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. – Industrial Press Inc. - 2003.

Приложение 1

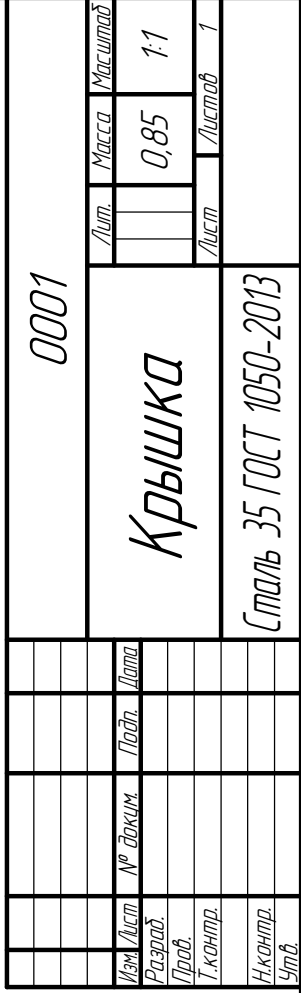
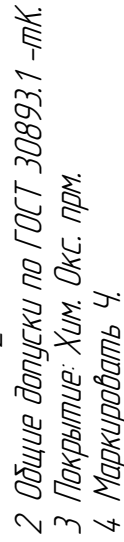
[illegible]

Число. №

Инд. № 2457.

No 0097.

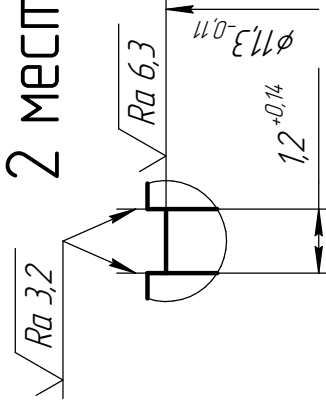
0001



формат АЗ

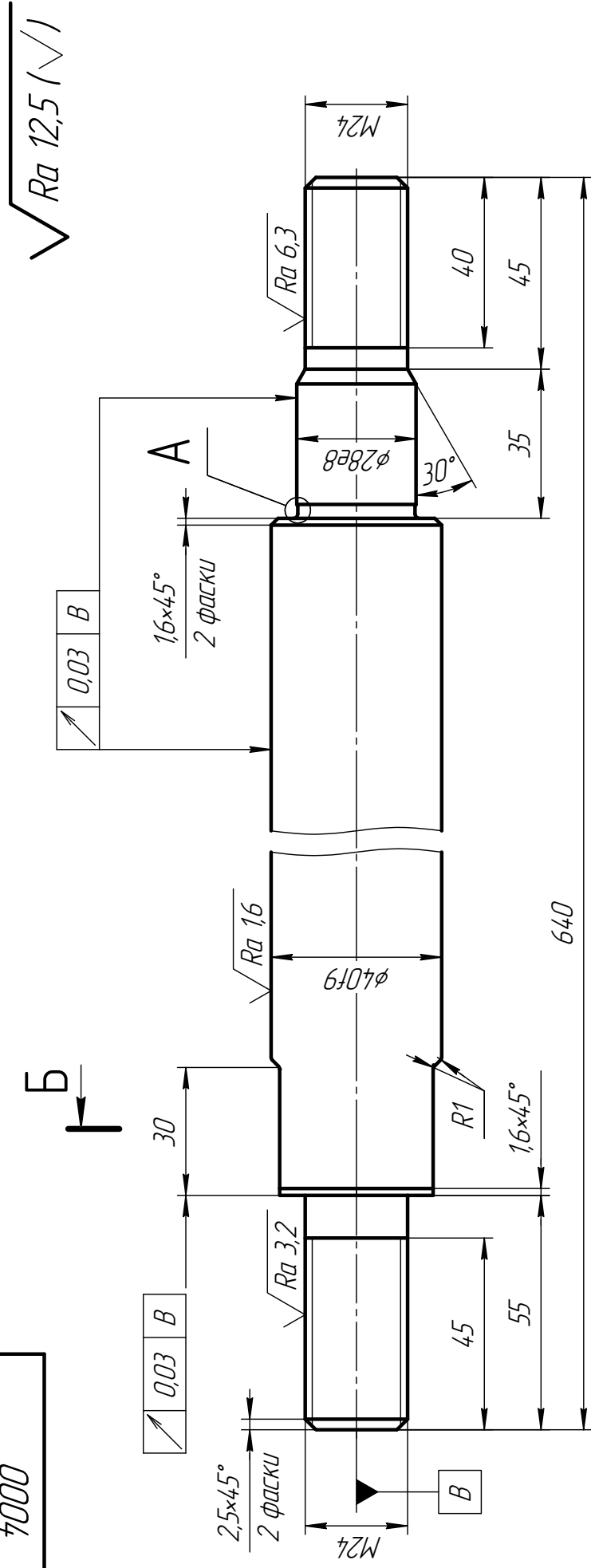

$$B(10:1)$$

2 Methods

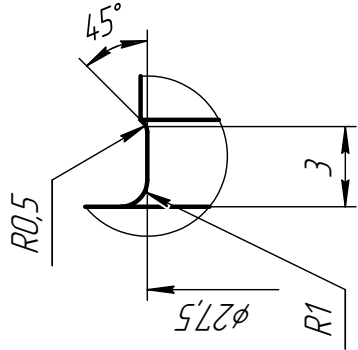
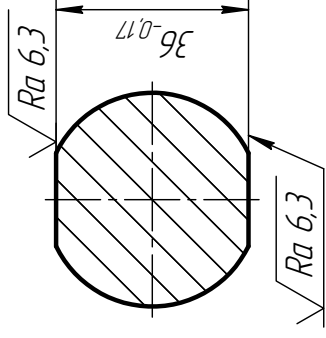


- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 -тк.
4 Покрытые: Хим. Окс. прм.
5 Маркировать Ч на бирке.

[illegible]



5-5

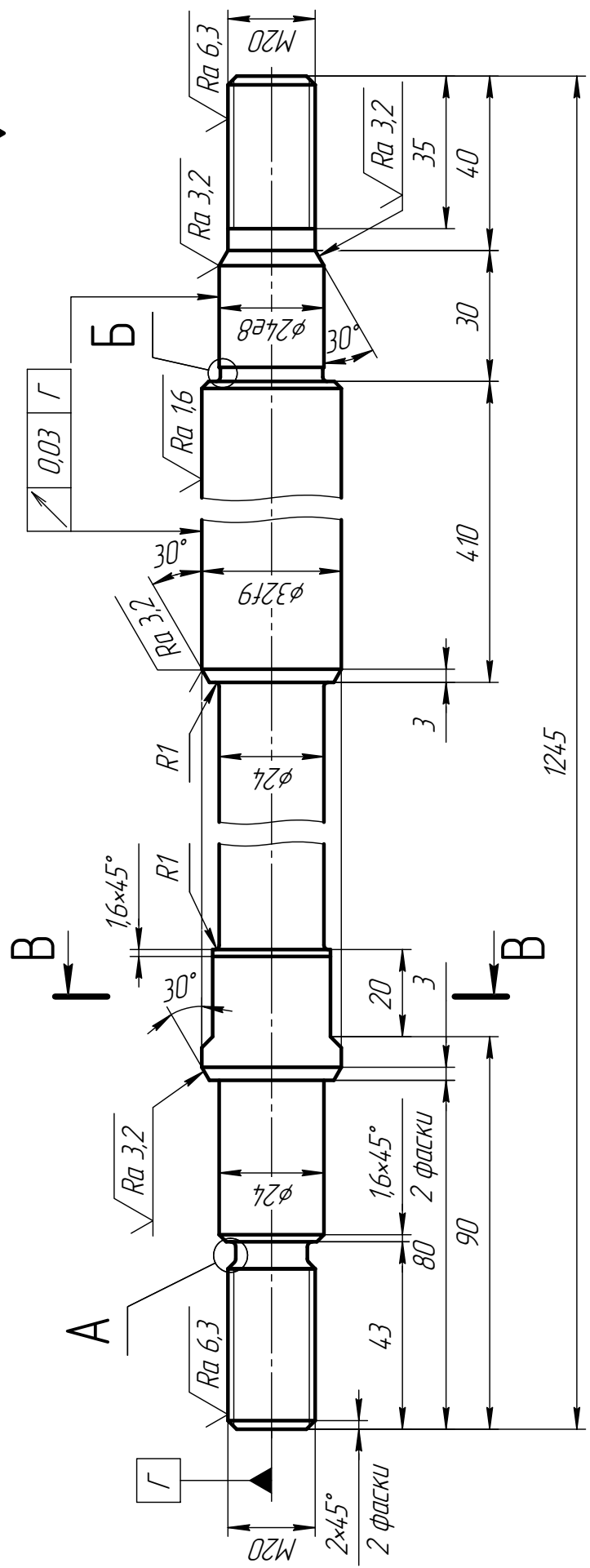
$$A(5:1)$$


- 1 $H_{14}, h_{14}, \pm \frac{IT_{14}}{2}$.
- 2 241...286 НВ.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – ТК.
- 4 Маркировать Ч на бирке.

[illegible]

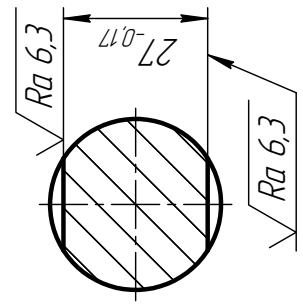
5000

$\sqrt{Ra\ 12,5\ (\sqrt{1})}$

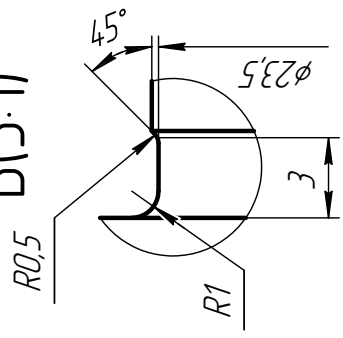


- 1 $H14, h14, \pm \frac{IT14}{2}$.
2 $220...286\ HB$.
3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 -мк.
4 Маркировать 4 на дырке.

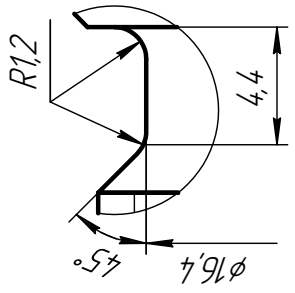
B-B



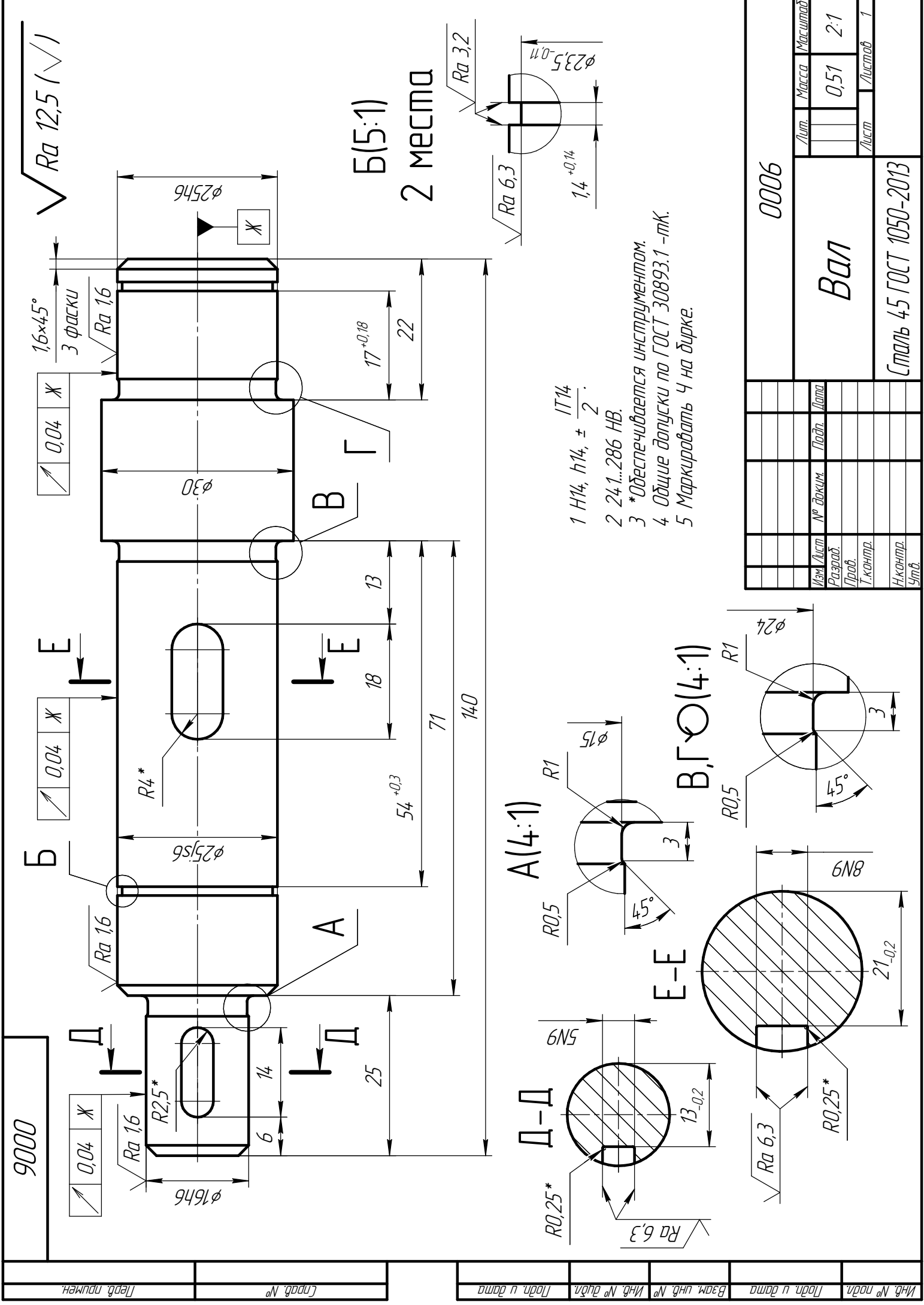
B(5:1)



A(5:1)



Изм. № подл.		Подп.	Дата	Изм. № подл.		Подп.	Дата
Взам. инж. №		Изм. № дудл.		Изм. № подл.		Изм. № дудл.	
Лист		Лист		Лист		Лист	
Масса		Масса		Масса		Масса	
5,49		5,49		5,49		5,49	
1:1		1:1		1:1		1:1	
Лист		Лист		Лист		Лист	
1		1		1		1	
Шток		Шток		Шток		Шток	
0005		0005		0005		0005	
Сталь 45 ГОСТ 1050-2013		Сталь 45 ГОСТ 1050-2013		Сталь 45 ГОСТ 1050-2013		Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	
Копировал		Копировал		Копировал		Копировал	
Формат А3		Формат А3		Формат А3		Формат А3	



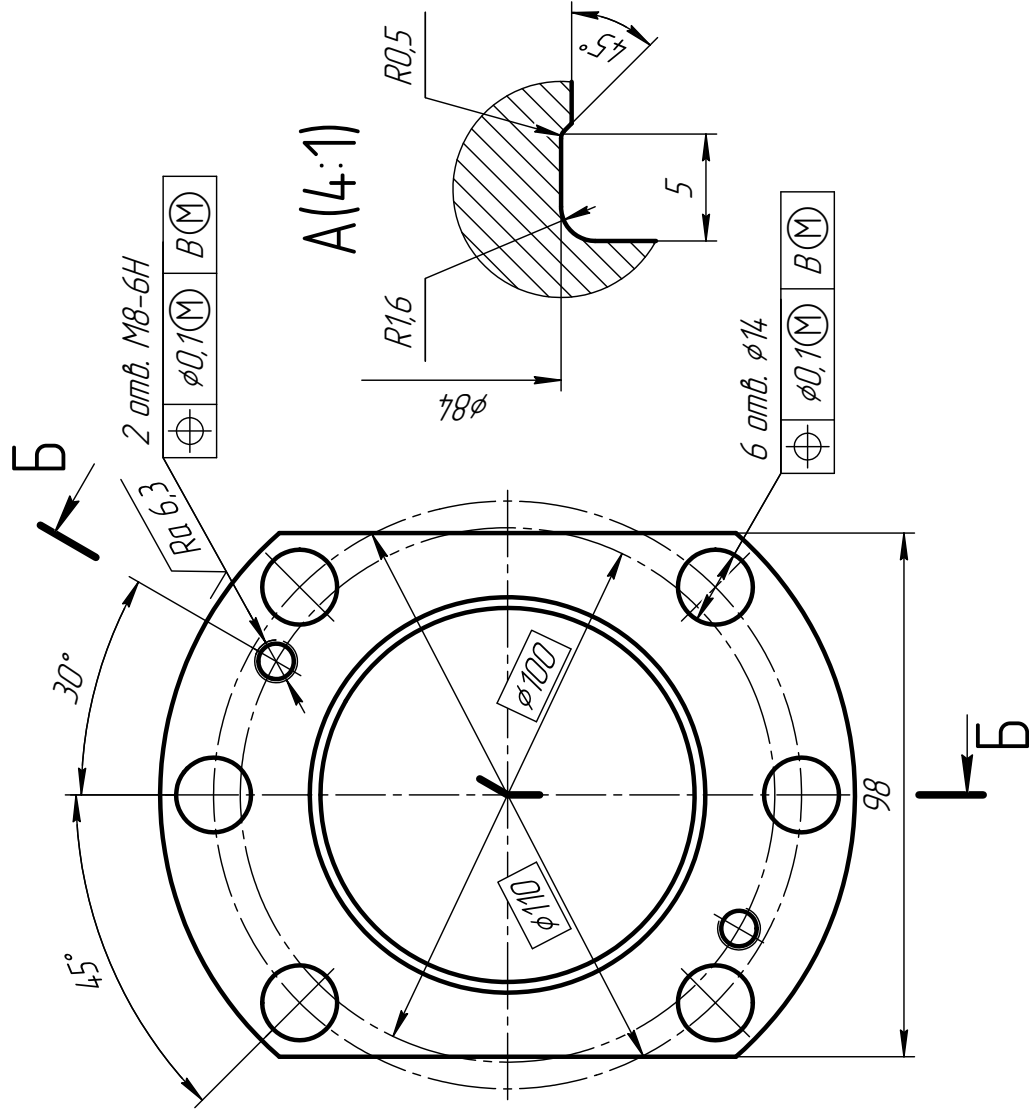
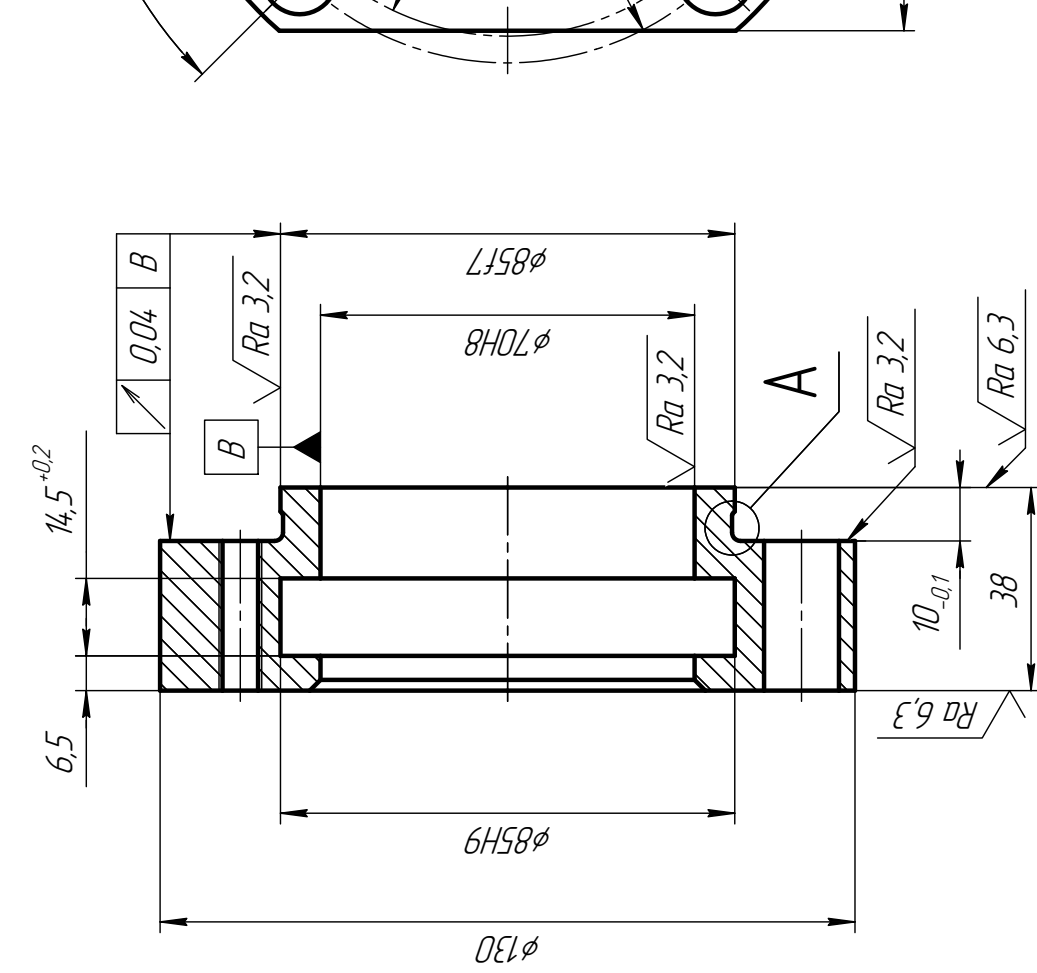
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инж. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Спроб. №	Лист. примеч.

- 1 H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$.
2 241...286 HB.
3 *Обеспечивается инструментом.
4 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 -мк.
5 Маркировать 4 на дырке.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5-5

✓ Ra 25 (✓)



2 241...286 HB.

3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 -мк.

4 Покрытие: Хим. Окс. прм.

5 Маркировать 4 на бирке.

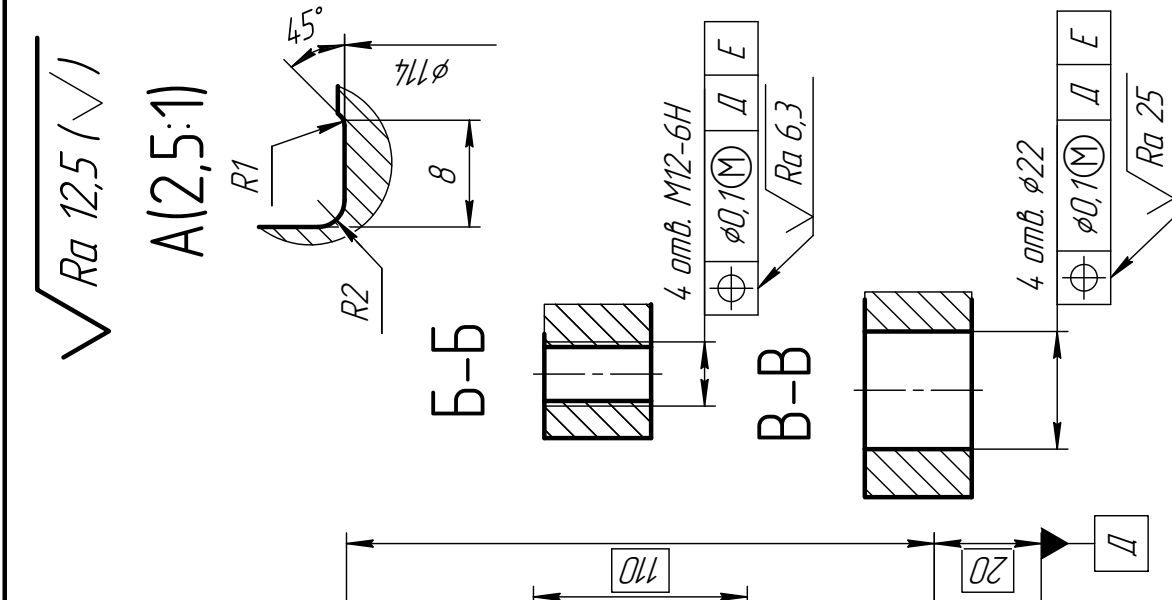
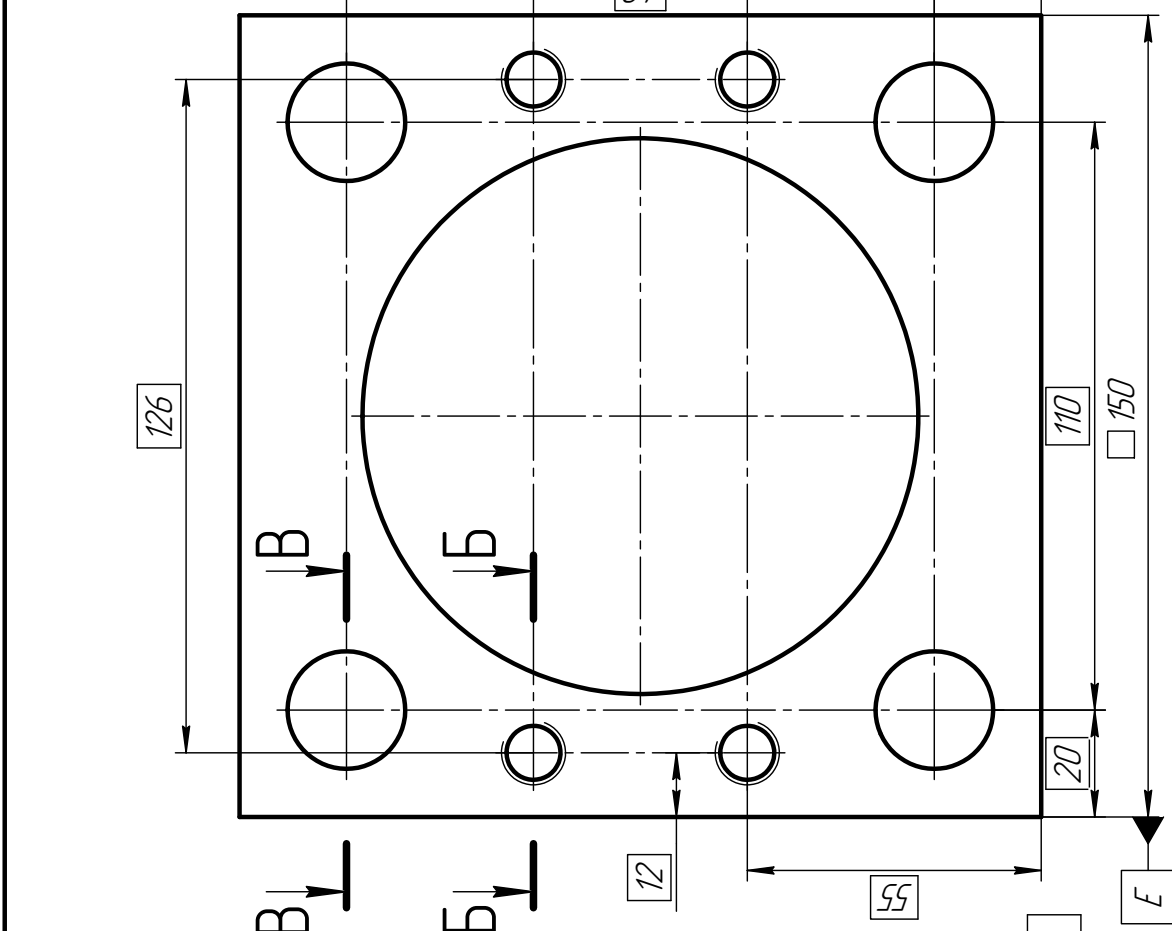
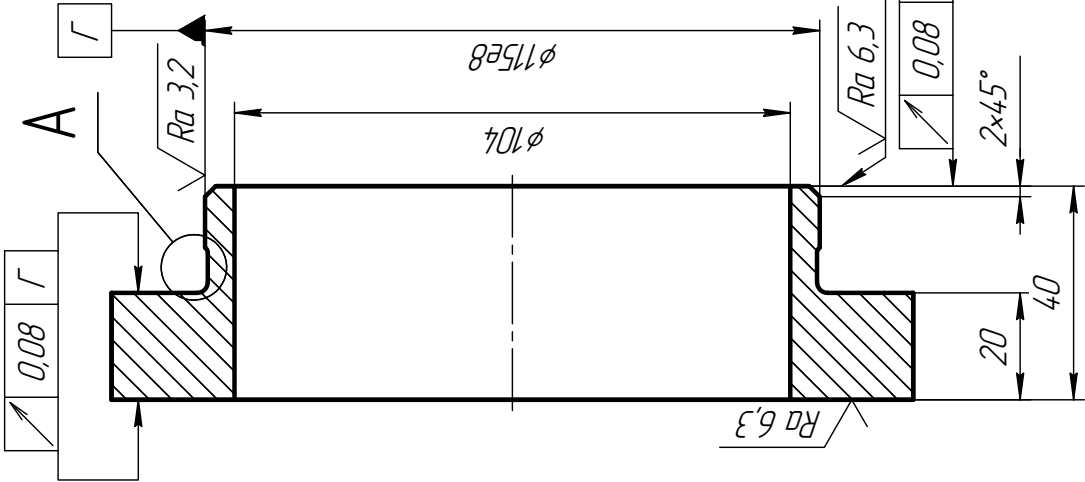
[illegible]

Копировал

Φορμαπ Α3

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инж. №	Инж. № докл.	Подп. и дата
Спроб. №	Лист	Лист	Лист	Лист
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист

8000



- 1 Н14, h14, ± $\frac{IT14}{2}$.
- 2 241...286 НВ.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 -мк.
- 4 Покрытие: Хим. Окс. прм.
- 5 Маркировать 4 на дишке.

0008

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инж. №	Инж. № докл.	Подп. и дата
Спроб. №	Лист	Лист	Лист	Лист
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист

Фланец

Сталь 35 ГОСТ 1050-2013

Копировал

Формат А3

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

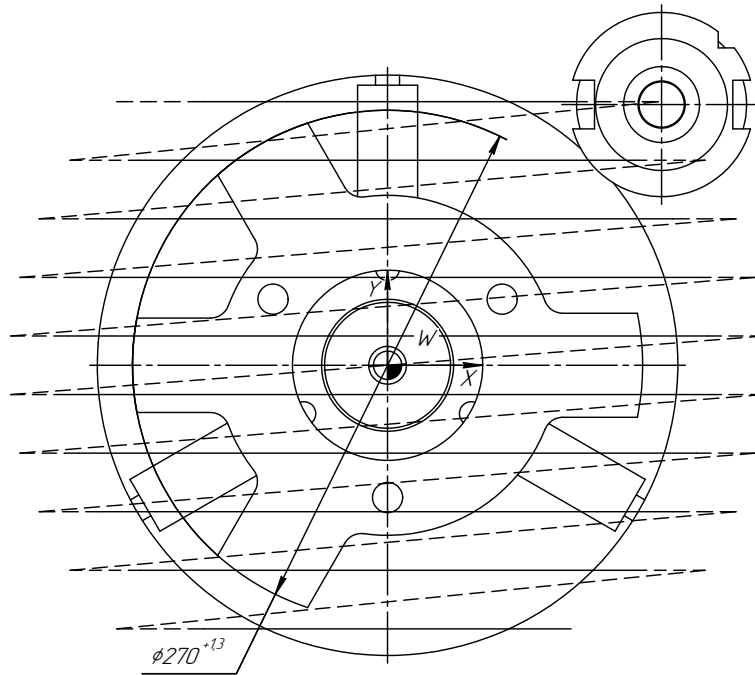
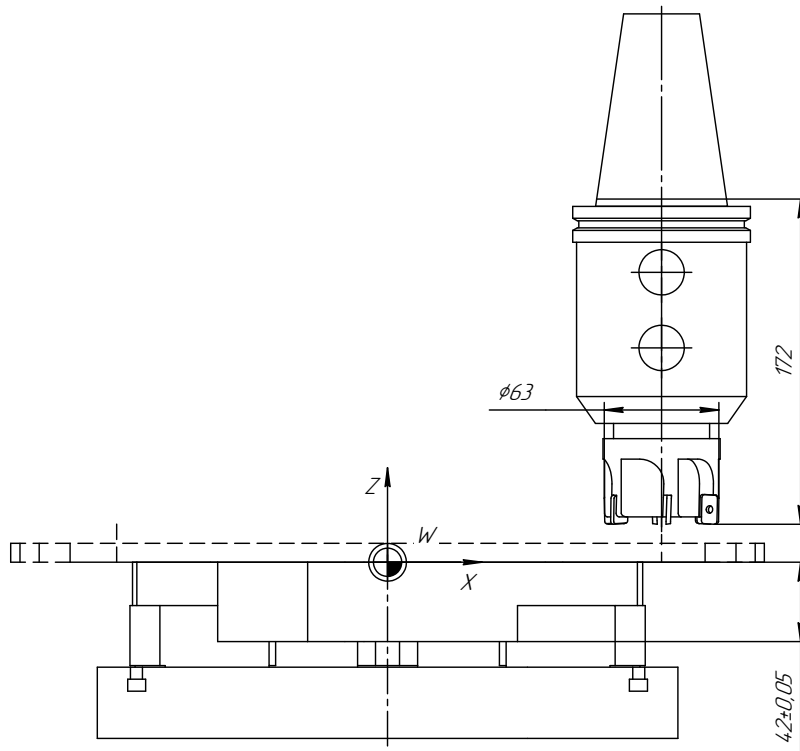
по дисциплине «Системы управления и программирования
оборудования с ЧПУ»

по теме «Разработка управляющей программы
для изготовления детали типа _____»

Руководитель курсового проекта:

Выполнил студент группы: _____

Воронеж 20__



Номер операции	Наименование операции	Модель станка	Номер инструмента	t, мм	S, мм/мин	n, об/мин	v, м/мин	T _о	T _в
010	Фрезерная с ЧПУ	Hermle C20U	04	2,1	559,44	1620	320,65	6,51	0,54
Номер инструмента	Наименование инструмента	Диаметр, мм	Длина, мм	Длина реж. части, мм					
04	4 90-063C6-14H	63	55	11					

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Приложение 3

Таблица ПЗ.1

Сводная таблица основных подготовительных функций

Функция	Описание	Пример
G00	Ускоренное перемещение	G00 X10. Y20. Z25.
G01	Линейная интерполяция	G01 X10. Y20. F100.
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке	G02 X1. Y2. R1. F10.
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки	G03 X1. Y2. R1. F10.
G04	Выдержка времени	G04 P2000
G09	Точный останов	G09 Y17.5
G10	Включение режима ввода данных	G10 L11 P1 R10
G11	Отключение режима ввода данных	G11
G15	Отключение режима полярных координат	G15
G16	Включение режима полярных координат	G90 G17 G16
G17	Выбор рабочей плоскости XY	G17
G18	Выбор рабочей плоскости XZ	G18
G19	Выбор рабочей плоскости YZ	G19
G20	Ввод дюймовых данных	G20 G00 X10. Y20.
G21	Ввод метрических данных	G21 G00 X10. Y20.
G22	Включение режима предельных перемещений	G22
G23	Отмена режима предельных перемещений	G23
G27	Проверка возврата в исходную точку	G91 G27 Z0. Y0.
G28	Возврат в исходную точку	G91 G28 Z0. Y0.
G30	Возврат в точку смены инструмента	G91 G30 Z0.
G31	Перемещение с реакцией на внешний сигнал	G31 P1 Z100. F10.
G32	Нарезание резьбы с постоянным шагом	G32 Z-20. F2.5
G34	Нарезание резьбы с переменным шагом	G34 Z-20. F2.5 K0.1
G40	Отмена коррекции радиуса инструмента	G40 G00 X5. Y5.
G41	Коррекция радиус инструмента слева	G41 G00 X5. Y5. D1
G42	Коррекция радиус инструмента справа	G42 G00 X5. Y5. D1
G43	Коррекция длины инструмента в положительную сторону.	G43 Z100. H1
G44	Коррекция длины инструмента в отрицательную сторону.	G44 Z100. H1
G49	Отмена коррекция длины инструмента	G49 Z10.
G50	Выключение режима масштабирования	G50
G51	Включение режима масштабирования	G51 X5. Y5. I-1. J-1. K1.
G52	Установка локальной системы координат	G52 X10. Y10. Z10.

Окончание табл. ПЗ.1

Функция	Описание	Пример
G53	Переход в систему координат станка.	G53 G00 X0. Y0. Z0.
G54-G59	Смещение нулевой точки	G54
G60	Перемещение в одном направлении	G60
G61	Модальный режим точного останова	G61
G62	Режим коррекции в углах	G62
G63	Режим нарезания резьбы метчиком	G63
G64	Стандартный режим резания	G64
G65	Немодальный вызов макропрограммы	G65 P1000
G66	Модальный вызов макропрограммы	G66 P1000 L2
G67	Отмена модального вызова макропрограммы	G67
G68	Вращение системы координат	G17 G68 X0. Y0. R45.
G69	Отмена вращения системы координат	G69
G70-G79	Активация постоянных циклов	G74 X5. Y5. Z-6. R10. F10.
G80	Отмена постоянных циклов	G80
G81-G89	Активация постоянных циклов	G81 X0. Y0. Z-5. R3. F100.
G90	Абсолютное позиционирование	G90 G00 X10. Y20.
G91	Относительное позиционирование	G91 G00 X10. Y20.
G92	Смещение абсолютной системы координат в регистрах рабочих смещений	G92 X10. Y10. Z10.
G94	Подача в мм/мин	G94 G01 Z-10. F75.
G95	Подача в мм/об	G95 G01 Z-46. F.7
G96	Постоянная скорость резания в м/мин	G96 S180 M3
G97	Постоянная частота вращения в об/мин	G97 S1800 M3
G98	Использование исходной плоскости в постоянных циклах	G98 G81 X1. Y1. Z-3. R.5 F50.
G99	Использование плоскости отвода в постоянных циклах	G99 G81 X1. Y1. Z-3. R.5 F50.

Таблица ПЗ.2

Отличие подготовительных функций СЧПУ Fanuc группы А

Функция	Описание	Пример
G50	Максимальная частота вращения шпинделя	G50 S2500
G90	Упрощенный цикл продольного точения	G90 X37. Z-25. F0.1
G92	Упрощенный цикл нарезания резьбы	G92 X30. Z-25. F1.
G94	Упрощенный цикл поперечного точения	G94 X10. Z-2. F0.1
G98	Подача в мм/мин	G98 G01 Z-10. F75.
G99	Подача в мм/об	G99 G01 Z-46. F.7

Таблица ПЗ.3

Группы основных подготовительных функций для фрезерных (Ф) и токарных (Т) станков с ЧПУ

Группа	Описание	Подготовительные функции	Тип
00	Немодальные функции	G04 G09 G10 G11 G27 G28 G30 G31 G52 G53 G65 G60 G92 G70-G76	Ф/Т Ф/Т Ф Т
01	Перемещения	G00 G01 G02 G03 G32 G34 G90 G92 G94	Ф/Т Т
02	Активная плоскость обработки	G17 G18 G19	Ф
04	Тип координатной системы	G90 G91	Ф
05	Функция подачи	G94 G95	Т
06	Единицы ввода данных	G20 G21	Ф/Т
07	Коррекция на радиус инструмента	G40 G41,G42	Ф/Т
08	Коррекция длины инструмента	G43 G44 G49	Ф
09	Постоянные циклы	G73 G74 G76 G80-G89	Ф
10	Возврат в постоянных циклах	G98 G99	Ф
11	Трансформация системы координат	G50 G51 G68 G69	Ф Ф/Т
12	Смещение нуля	G54-G59	Ф/Т
13	Управление резанием	G61 G62 G64 G63	Ф/Т Ф
14	Вызов макропрограммы	G66 G67	Ф/Т
16	Поворот системы координат	G68 G69	Ф
17	Функция главного движения	G96 G97	Т
18	Полярные координаты	G15 G16	Ф

Таблица ПЗ.4

Постоянные циклы для обработки отверстий

Функция	Описание	Пример
G80	Отмена постоянного цикла	G80
G81	Стандартный цикл сверления	G81 X10. Y20. Z-5. F30.
G82	Сверление с выдержкой	G82 X10. Y20. Z-5. R1. P2. F30.
G83	Цикл прерывистого сверления	G83 X10. Y20. Z-5. Q.25 R1. F30.
G73	Высокоскоростной цикл прерывистого сверления	G73 X0. Y0. Z-5. Q2.0 R.5 F45.
G84	Цикл нарезания правой резьбы	G84 X10. Y10. Z-6. R10. F10.
G74	Цикл нарезания левой резьбы	G74 X10. Y10. Z-6. R10. F10.
G85-G89	Циклы растачивания	G85 X10. Y20. Z-5. F30.

Таблица ПЗ.5

Постоянные циклы для токарной обработки

Функция	Описание	Пример
G70	Цикл чистовой контурной обработки	G70 P100 Q140 F.1 S2000
G71	Цикл черновой продольной контурной обработки	G71 U2. R.2 G71 P100 Q150 U.3 W.3 F.15
G72	Цикл черновой поперечной контурной обработки	G72 W2. R.2 G72 P100 Q130 U.3 F.15
G73	Цикл эквидистантной контурной обработки	G73 U2. W2. R3. G73 P100 Q150 U.3 F.15
G74	Цикл обработки торцевых канавок прерывистое сверление	G74 R.1 G74 X10. Z-20. Q1. P1.
G75	Цикл обработки цилиндрических канавок прерывистое сверление	G75 R.1 G75 X10. Z-20. Q1. P1.
G76	Цикл нарезания резьбы	G76 P011060 Q050 R.05 G76 X76. Z-30. P812 Q250 F1.5
G90	Упрощенный цикл продольного точения	G90 X37. Z-25. F.1
G92	Упрощенный цикл нарезания резьбы	G92 X30. Z-25. F1.
G94	Упрощенный цикл поперечного точения	G94 X10. Z-2. F.1

Таблица ПЗ.6

Сводная таблица основных вспомогательных функций

Функция	Описание	Пример
M00	Запрограммированный останов	M00
M01	Запрограммированный останов по выбору	M01
M02	Завершение программы	M02
M03	Прямое вращение шпинделя (по часовой стрелке)	S100 M03
M04	Обратное вращение шпинделя (против часовой стрелки)	S100 M04
M05	Останов шпинделя	M05
M06	Автоматическая смена инструмента	T01 M06
M07	Включение подачи СОЖ - тип 1	X5. Z5. F100 M07
M08	Включение подачи СОЖ - тип 2	X5. Z5. F100 M08
M09	Выключение подачи СОЖ	M09
M10	Разжим приспособления	M10
M11	Зажим приспособления	M11
M19	Останов шпинделя в заданном угловом положении	M19 R180
M30	Конец программы, перевод курсора к началу программы	M30
M40-M44	Выбор диапазона частот вращения	M42
M98	Запуск подпрограммы	M98 P1000 L4
M99	Конец подпрограммы и возврат	M99

Оглавление

Введение	3
1. Цель и задачи курсового проектирования.....	4
2. Тематика и содержание курсовой работы	5
3. Рекомендации к выполнению разделов пояснительной записки	6
4. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ	10
4.1 Структура управляющей программы	10
4.2 Основные подготовительные функции	13
4.3 Управление перемещением	17
4.4 Принцип компенсации инструмента	25
4.5 Трансформация координат	29
4.6 Постоянные циклы	32
4.7 Основные вспомогательные функции	41
5. Оформление пояснительной записки	44
6. Оформление графической части	46
7. Порядок защиты курсового проекта	47
Заключение	48
Библиографический список	49
Приложение 1	50
Приложение 2	59
Приложение 3	62

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения

Составители:

Черных Дмитрий Михайлович
Симонова Юлия Эдуардовна
Краснова Марина Николаевна

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор Д.М. Черных

Подписано к изданию 08.04.2026.

Уч.-изд. л. 7,7.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84