



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)»

Факультет (институт, филиал) Институт №12 Кафедра ТПЭДЛА
Направление подготовки 24.03.05 «Двигатели летательных аппаратов» Группа 2ДЛА-4ДБ-322
Квалификация (степень) бакалавр

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

На тему: Разработка элементов технологического процесса изготовления корпуса регулятора турбонасосного агрегата

Автор квалификационной работы Петров Никита Михайлович (ПМ)
(Фамилия, имя, отчество)

Руководитель Мартынюк Артем Владимирович (АМ)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Бойцов Алексей Георгиевич (БГ)
(Фамилия, имя, отчество)

Рецензент Юрин Владимир Николаевич (ЮВ)
(Фамилия, имя, отчество)

27.05.19

К защите допустить

Зав. кафедрой Бойцов Алексей Георгиевич (БГ)
(Фамилия, инициалы)

“28” мая 2019 г.

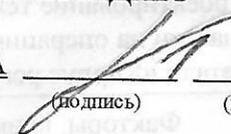
Москва 2019 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)»

Факультет (институт, филиал) Институт № 12 Кафедра ТПЭДЛА
Направление подготовки 24.03.05 Группа 2ДЛА-4ДБ-322
Квалификация (степень) бакалавр

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ТПЭДЛА  Бойцов А. Г.
(№ каф.) (подпись) (инициалы, фамилия)

« 28 » мая 2019 г.

ЗАДАНИЕ на выпускную квалификационную работу бакалавра

Студенту Петрову Никите Михайловичу
(Фамилия Имя Отчество)

Руководитель Мартынюк Артем Владимирович
(Фамилия Имя Отчество)

Ст. преподаватель, кафедра ТПЭДЛА
ученая степень, ученое звание, должность и место работы)

1. Наименование темы: Разработка элементов технологического процесса изготовления корпуса регулятора турбонасосного агрегата

2. Срок сдачи студентом законченной работы 29.05.2019

3. Техническое задание и исходные данные к работе

3.1 Разработать элементы технологического процесса изготовления объекта производства

3.2 Чертеж и технические условия на изготовление детали

3.3 Нормативная документация, справочники и каталоги

4. Перечень подлежащих разработке разделов и этапы выполнения работы

№ п/п	Наименование раздела или этапа	Трудоёмкость в % от полной трудоёмкости дипломной работы	Срок выполнения	Примечание
1	2	3	4	5
1	Разработка элементов технологического процесса изготовления детали "Корпус регулятора турбонасосного агрегата"	20 %	декабрь 2018	
1.1	Конструктивно – технологическая характеристика объекта производства			
1.2	Проектирование маршрута обработки детали			

1.3	Расчет режимов обработки на технологические операции			
2	Проектирование шлицевой протяжки	10 %	декабрь 2018	
3	Структурно-параметрическое моделирование детали "Корпус регулятора ТНА"	15 %	апрель 2019	
4	Разработка управляющей программы для токарно-фрезерной обработки детали "Корпус регулятора ТНА"	20 %	май 2019	
5	Проектирование технологической оснастки на операцию фрезерования детали «Корпус регулятора ТНА»	20 %	апрель 2019	
6	Факторы, влияющие на интенсивность износа режущего инструмента, методы прогнозирования степени износа и повышения стойкости инструмента	15 %	май 2019	

5. Перечень иллюстративно-графических материалов:

№ п/п	Наименование	Количество листов
5.1	Технологические эскизы механической обработки	1
5.2	Укрупненный технологический процесс обработки детали	1
5.3	Конструкция шлицевой протяжки	1
5.4	Структурно-параметрическое моделирование маршрута изготовления детали "Корпус регулятора ТНА"	1
5.5	Разработка управляющей программы для токарно-фрезерной обработки детали "Корпус регулятора ТНА"	1
5.6	Конструкция станочного приспособления	1
5.7	Виды износа режущего инструмента, методы прогнозирования степени износа и повышения стойкости инструмента	1

6. Исходные материалы и пособия

6.1 Чертеж объекта производства.

6.2 Базовая технология изготовления объекта производства.

7. Дата выдачи задания 04.03.2019

Руководитель _____



Мартынюк А. В.

(подпись)

Задание принял к исполнению _____



Петров Н. М.

(подпись)



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)»

О Т З Ы В РУКОВОДИТЕЛЯ

Студент Петров Никита Михайлович

(фамилия, имя, отчество полностью)

Факультет (институт, филиал) Институт №12 Кафедра ТПЭДЛА

Направление подготовки 24.03.05, Двигатели летательных аппаратов Группа 29МА-ЧДБ-322

Квалификация (степень) бакалавр

Наименование темы: «Разработка элементов технологического процесса изготовления корпуса турбонасосного агрегата»

Руководитель Мартынюк Артем Владимирович, старший преподаватель, каф. ТПЭДЛА

(фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, должность и место работы)

Выпускная работа выполнена в соответствии с заданием, в полном объеме. Выполнены расчеты технологических режимов обработки, спроектирован специальный режущий инструмент, разработана программа для токарно-фрезерной обработки на станке с ЧПУ, спроектировано приспособление для фрезерной операции. В реферативной части рассмотрены факторы, влияющие на стойкость режущего инструмента, пути ее повышения и методы прогнозирования размерного износа инструмента.

Студент имеет навыки разработки и оформления проектно-конструкторской документации деталей двигателей летательных аппаратов и энергоустановок. Работа выполнена с применением современных информационных технологий.

Работа проверена на объем заимствования. % заимствования - 12%

В целом работа отвечает квалификационным требованиям степени бакалавра и может быть представлена для защиты в ГАК. Учитывая изложенное, считаю, что Петров Никита Михайлович заслуживает присвоения квалификации бакалавр.

24 мая 2019 г.

Руководитель


(подпись)

*С отзывом согласен
Консультант*

 *А.Г. Бойцов*

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА"	10
1.1 Конструктивно – технологическая характеристика объекта производства.....	10
1.1.1 Назначение детали, характеристики материала и конструкции	10
1.1.2 Оценка технологичности конструкции детали.....	12
1.2 Проектирование маршрута обработки детали	15
1.2.1 Выбор метода получения заготовки	15
1.2.2 Разработка маршрутной технологии изготовления детали	16
1.2.3 Выбор оборудования	19
1.2.4 Назначение технологических баз.....	31
1.3 Расчет режимов обработки на технологические операции	35
1.3.1 Подрезка торца.....	35
1.3.2 Растачивание отверстия Ø32 мм.	37
1.3.3 Сверление 4 отверстий Ø6,5 мм.	39
1.3.4 Развертывание отверстия Ø4 мм.	41
1.3.5 Нарезание резьбы M10x1,5	42
1.3.6 Фрезерование плоскости	44
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛИЦЕВОЙ ПРОТЯЖКИ	46
2.1 Исходные данные для проектирования	47
2.2 Определение радиального припуска на протягивание.....	47
2.3 Выбор схемы резания	48
2.4 Хвостовая часть и шейка.....	48
2.5 Передняя и задняя направляющие	49
2.6 Подъем на зуб	50
2.7 Геометрия зубьев	50
2.8 Диаметральные размеры зубьев шлицевой протяжки	52
2.9 Число режущих зубьев	55

2.10	Число калибрующих зубьев.....	55
2.11	Диаметр калибрующих зубьев.....	55
2.12	Длина рабочей части протяжки	56
2.13	Расчет протяжки на прочность	57
2.14	Основные технические требования.....	58
3 СТРУКТУРНО – ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ		
ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТНА"		61
3.1	Построение структурной 3D-модели детали.....	61
3.1.1	Построение заготовки.....	61
3.1.2	Построение детали.....	64
3.2	Параметрическое моделирование конфигурации детали с применением табличных данных	67
4 РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТОКАРНО – ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТНА"		
.....		69
4.1	Анализ чертежа детали.....	69
4.2	Назначение технологических переходов и выбор инструмента	70
4.2.1	Токарная обработка	70
4.2.2	Фрезерная обработка.....	75
4.3	Тестирование управляющей программы	82
4.3.1	Эскизы траекторий обработки по переходам на токарной операции	82
4.3.2	Тестирование управляющей программы в модуле «Верификация» на токарной операции.....	84
4.3.3	Эскизы траекторий обработки по переходам на фрезерной операции	87
4.3.4	Тестирование управляющей программы в модуле «Верификация» на фрезерной операции	91
4.4	Фрагменты управляющих программ.....	95
4.4.1	Фрагмент управляющей программы для токарного станка с ЧПУ ..	95
4.4.2	Фрагмент управляющей программы для фрезерного станка с ЧПУ	96
4.5	Список переходов при обработке на станках с ЧПУ	97

4.5.1	Список переходов на токарной операции	97
4.5.2	Список переходов на фрезерной операции	97
5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ НА ОПЕРАЦИЮ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТНА"		98
5.1	Разработка компоновки станочного приспособления	98
5.2	Расчет требуемой силы закрепления	99
5.3	Выбор зажимного устройства и расчет его параметров	101
5.4	Расчет приспособления на точность	103
5.5	Расчет деталей приспособления на прочность	106
6 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОСА И ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ		108
6.1	Основные виды износа режущего инструмента	108
6.2	Методы прогнозирования степени износа	116
6.3	Пути повышения стойкости инструмента	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		127
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ		128
ПРИЛОЖЕНИЕ.....		130

ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы бакалавра является выполнение основных этапов технологической подготовки производства.

Разработка элементов технологического процесса изготовления изделия на основе проведенного анализа заводского технологического процесса. Проектирование режущего инструмента. Построение модели детали с использованием системы автоматизированного проектирования. Разработка управляющей программы для станка с ЧПУ, позволяющей выполнять несколько операций на одном станке. Разработка и расчет станочного приспособления на одну из операций технологического процесса. Изучение факторов, оказывающих влияние на износ режущего инструмента, методов его прогнозирования и способов повышения стойкости инструмента.

1 РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА"

1.1 Конструктивно – технологическая характеристика объекта производства

1.1.1 Назначение детали, характеристики материала и конструкции

Деталь является корпусом регулятора ТНА-150Р, входящим в агрегат ТНА-150, устанавливаемый на самолет-заправщик Ил-78М. Агрегат турбонасосный ТНА-150 представляет собой топливный насос центробежного типа с турбоприводом и системой автоматического регулирования. Привод агрегата от набегающего воздушного потока. Температура рабочей жидкости на входе в агрегат $-60 \dots +80^{\circ}\text{C}$. Абсолютное давление рабочей жидкости на входе в агрегат при прокачках:

- до 1600 л/мин не менее $0,5 \text{ кгс/см}^2$
- свыше 1600 л/мин не менее $0,7 \text{ кгс/см}^2$

Система автоматического регулирования агрегата обеспечивает постоянство заданной величины давления топлива за насосом на двух режимах работы:

- перепад давления рабочей жидкости, создаваемый агрегатом $5-11 \text{ кгс/см}^2$ и $11-28 \text{ кгс/см}^2$
- перепад давления рабочей жидкости, создаваемый агрегатом $11-28 \text{ кгс/см}^2$

Настройка величины давления каждого режима производится на предприятии-изготовителе. Агрегат обеспечивает отбор топлива от насоса высокого давления в систему управления изделия при работе.

Конструкция ТНА-150 включает в себя: осевую турбину, 2-х ступенчатый центробежный насос, гидронасос системы регулирования, регулятор постоянного давления и регулятор ТНА-150Р.

Регулятор ТНА-150Р обеспечивает постоянство заданной величины давления рабочей жидкости на выходе из агрегата ТНА-150.

Материал заготовки – литейный алюминиевый сплав АЛ9-Т6. За номером марки сплава ставится обозначение состояния сплава: Т6 – закалка и полное искусственное старение при 200 °С в течение 3 – 5 ч. Для получения максимальной прочности, но некотором снижении пластичности.

Характеристика алюминия АЛ9: основное достоинство алюминиевого литейного сплава марки АЛ9 – высокая герметичность. Это достаточно весомое качество для материала, который идёт на производство корпусных деталей турбонасосных агрегатов. Линейная усадка, которую даёт АЛ-9 – всего 1%. Mg введен в состав этого сплава для упрочнения, поскольку он образует упрочняющую фазу с кремнием – Mg₂Si.

Химический состав в % материала АЛ9:

Fe	Si	Mn	Pb	Be	Sn	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
не более 1,5	6 - 8	не более 0,5	не более 0,05	не более 0,1	до 0,01	89,6 – 93,8	до 0,2	0,2 – 0,4	не более 0,3	всего 2

Как и все сплавы на основе алюминия используемая марка отличается относительно небольшой твёрдостью: НВ = 70МПа.

Сплав АЛ9 применяется в производстве литых деталей, имеющих сложную конфигурацию и впоследствии испытывающих на себе статическую нагрузку. Применение АЛ9 обусловлено требованиями к повышенной герметичности изделия, его отличной свариваемости и повышенной коррозионной стойкости. Как показывает практика, сплав АЛ-9 пригоден для литья под давлением и в кокиль. Единственным ограничением можно считать температурные условия эксплуатации деталей из данной марки алюминия: они могут работать при температуре до 200°С.

1.1.2 Оценка технологичности конструкции детали

Анализ технологичности детали и сборочной единицы проводится по качественным и количественным показателям технологичности согласно ГОСТ 14205-83. Наибольший объем работы по совершенствованию технологичности выполняется на стадиях эскизного и технического проектирования, значительная работа в этом направлении проводится также и на стадии опытного и серийного изготовления изделия.

Качественные показатели технологичности:

В общем случае конструкция изделия или его отдельных агрегатов, узлов и деталей считается технологичной, если она обеспечивает простоту и экономичность изготовления. Основными направлениями повышения технологичности изделия являются:

1. Унификация элементов конструкции деталей (резьбу шлицев, шпонок, модулей зубьев). По показателям унификации элементов деталь не является технологичной, т.к. почти все размеры выбраны не из стандартного ряда.

2. Ограничение и сокращение номенклатуры материалов для изготовления деталей изделия. По номенклатуре материалов деталь технологична, т.к. для ее изготовления используется только один материал – алюминиевый сплав АЛ9-Т6.

3. Совершенствование конструктивных форм деталей, обеспечивающих применение наиболее рациональных заготовок, сокращающих объем механической обработки. С точки зрения рациональности заготовку детали можно считать технологичной, т.к. она получается литьем в кокиль. Такой метод получения заготовки является малооперационным. Проводимые операции простые и не занимают продолжительное время. Большинство операций может быть автоматизировано, а кокиль используется многократно.

4. Простановка размеров в чертежах деталей, обеспечивающая возможность выполнения обработки по принципу автоматического

получения размеров на настроенных станках, автоматах и полуавтоматах с совмещением конструкторских, сборочных и установочных баз. При неправильной простановке потребуются введение дополнительных операций или переходов, потребуются также пересчет размеров с неизбежным ужесточением допусков на технологические размеры сравнительно с допусками на размеры в чертеже. При анализе системы простановки чертежных размеров следует обязательно учитывать требуемую точность каждого из размеров. По этим показателям деталь имеет хорошую технологичность.

5. На данной детали нет необрабатываемых поверхностей. Поэтому отсутствует необходимость в разных системах размеров. По данному пункту деталь технологична.

6. Конфигурация и форма детали не всегда позволяет применять наиболее совершенные и производительные методы механической обработки, в связи с тем, что деталь не симметрична. Это ведет к увеличению количества операций. Деталь – не технологична по этому показателю.

7. Обработанные поверхности детали четко разграничены от необработанных, обеспечены условия для врезания и выхода режущего инструмента. Обеспечивается доступ ко всем элементам детали для обработки и измерения, соответствие формы и размеров поверхностей стандартному инструменту. По этому параметру деталь технологична.

Качественный анализ технологичности "Корпуса регулятора ТНА" показал хорошую технологичность. По 5 параметрам из 7 рассмотренных деталь технологична.

Количественные показатели технологичности [2]:

Уровень технологичности по трудоемкости:

$$K_T = \frac{T_{и}}{T_{би}} = \frac{320}{390} = 0,82$$

где $T_{и}$ = 320 мин — ожидаемая трудоемкость изготовления нового изделия;

$T_{би}$ = 390 мин — трудоемкость изготовления базового изделия.

Коэффициент использования материала:

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{Д}}}{m_{\text{З}}} = \frac{0,307}{0,490} = 0,63$$

где $m_{\text{Д}} = 0,307$ кг – масса детали; $m_{\text{З}} = 0,490$ кг — масса заготовки.

Деталь считается технологичной, если $\text{КИМ} > 0,6$.

Данная деталь технологична по использованию материала.

Коэффициент точности обработки:

$$K_{\text{ТО}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{СР}}} = 1 - \frac{1}{11,7} = 0,915$$

где $A_{\text{СР}}$ — средний квалитет точности.

$$A_{\text{СР}} = \frac{\sum A \times n_i}{\sum n_i} = \frac{8 \times 2 + 9 \times 2 + 10 \times 1 + 11 \times 1 + 12 \times 2 + 13 \times 8 + 14 \times 2}{18} \\ = 11,7$$

где n_i – количество размеров i -го квалитета; A – квалитет.

Деталь технологична, если $K_{\text{ТО}} > 0,8$.

Деталь является технологичной по данному параметру.

Коэффициент шероховатости поверхностей:

$$K_{\text{ШО}} = 1 - \frac{1}{B_{\text{СР}}} = 1 - \frac{1}{5,07} = 0,803$$

где $B_{\text{СР}}$ — среднее значение шероховатости поверхностей после обработки по параметру R_a , мкм.

$$B_{\text{СР}} = \frac{\sum B \times n_i}{\sum n_i} = \frac{3 \times 4 + 4 \times 8 + 5 \times 11 + 8 \times 6}{29} = 5,07$$

где n_i – число поверхностей соответствующего класса шероховатости; B – класс шероховатости.

Деталь технологична, если $K_{\text{ШО}} > 0,32$.

По данному показателю деталь технологична.

По рассчитанным количественным показателям деталь "Корпус регулятора ТНА" является технологичной.

1.2 Проектирование маршрута обработки детали

1.2.1 Выбор метода получения заготовки

Выбор способа изготовления заготовки в ряде случаев определяется геометрией или материалом деталей исходя из их назначения и условий работы в изделии. Например, сложные по форме конструктивно жесткие детали, неподдающихся обработке давлением и резанием, могут изготавливаться только литьем. Способ литья в этом случае уточняется в зависимости от габаритных размеров, веса и требований к отливкам по точности размеров, чистоте поверхности и другим характеристикам, указанным в чертежах деталей или в специальных технических условиях.

Заготовка для данной детали изготавливается литьём в кокиль, так как процесс литья в кокиль является малооперационным. Манипуляторные операции достаточно простые и кратковременные, а лимитирующей по продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданной температуры. Практически все операции могут быть выполнены механизмами машины или автоматической установки, что относится к существенным преимуществам. Самым важным является то, что исключается трудоемкий и материалоемкий процесс изготовления разовой формы – кокиль используется многократно.

Детали, получаемые литьем в кокиль имеют чистую поверхность с металлическим блеском и не нуждаются в дополнительной очистке. Точность таких деталей значительно выше, чем при отливке в земляные формы. Припуски на механическую обработку в пределах 0,5-1 мм.

Отливки проверяются на трещины при помощи магнитного дефектоскопа, после этого заготовки поступают в корпусной цех.

1.2.2 Разработка маршрутной технологии изготовления детали

Разработка маршрутной технологии изготовления детали выполняется на основе анализа исходной конструкторской документации. Исходным материалом при разработке нового маршрутного технологического процесса служит базовый (заводской) техпроцесс.

Таблица 1.1 – Заводской техпроцесс на изготовление детали

№ Операции	Наименование операции
8	Вертикально-фрезерная
10	Токарная (АТПР 2М12СН)
15	Вертикально-сверлильная
35	Вертикально-сверлильная
40	Вертикально-сверлильная
45	Вертикально-сверлильная
50	Вертикально-сверлильная
55	Вертикально-сверлильная
60	Вертикально-фрезерная
65	Фрезерная
70	Вертикально-фрезерная
75	Вертикально-фрезерная
80	Вертикально-фрезерная
85	Вертикально-фрезерная
90	Вертикально-фрезерная
95	Вертикально-фрезерная
120	Комплексная с ПУ (Обработ. центр)
125	Комплексная с ПУ (Обработ. центр)
140	Токарная (токарный MDW 10/20)
145	Токарная (токарный MDW 10/20)
160	Вертикально-сверлильная
165	Вертикально-сверлильная
180	Токарно-винторезная
200	Токарная (токарный MDW 10/20)
215	Вертикально-фрезерная
220	Вертикально-сверлильная
290	Обработка на машинном центре

Маршрут обработки детали определяется маршрутом обработки ответственных поверхностей, имеющих высокий квалитет точности и класс шероховатости. Для них назначаются этапы обработки. В общем случае, это черновой, получистовой, чистовой, тонкие и отделочный этапы. На выбор этапа влияет также вид заготовки и ее точность.

Одновременно с этим назначаются методы обработки поверхностей. Выбор методов обработки зависит от следующих характеристик поверхности:

- геометрической формы и размеров поверхности;
- квалитета точности;
- параметров шероховатости;
- упрочнения поверхности.

На выбор методов обработки влияет материал детали и его физико-механические свойства, наличие термической и химико-термической обработки детали.

Порядок составления маршрута обработки поверхности:

- 1) выбирается метод окончательной обработки поверхности;
- 2) назначается метод и этап обработки поверхности на одной операции;
- 3) определяются промежуточные методы и этапы обработки поверхности

по следующим правилам:

- каждому методу окончательной обработки поверхности может предшествовать один или несколько предварительных методов обработки;
- каждый последующий метод обработки должен быть точнее предыдущего;
- операционный допуск и качество поверхности на предшествующем этапе обработки должны обеспечить выполнение последующего этапа обработки.

На основе критического анализа существующей технологии разработан оптимальный (перспективный) вариант технологического процесса, характеризующийся применением рациональных заготовок, прогрессивных

методов обработки, высокопроизводительного технологического оборудования.

Таблица 1.2 – Усовершенствованный техпроцесс обработки детали

№ Операции	Наименование операции	Оборудование
10	Токарная обработка с ЧПУ	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
15	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT
20	Вертикально-сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135
25	Фрезерная обработка с ЧПУ	Вертикальный 5-координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunnion
30	Вертикально-фрезерная	Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3
35	Вертикально-фрезерная	Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3
40	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT
45	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT
50	Вертикально-сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135
55	Токарная обработка с ЧПУ	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
60	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Вертикальный 5 – координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunnion

1.2.3 Выбор оборудования

Выбор технологического оборудования производится по рекомендациям справочника технолога-машиностроителя [4] и современного оборудования, используемого в авиадвигателестроении. Для некоторых операций механической обработки (обработка чистовых баз, отдельных конструктивных элементов) возможно применение универсальных станков, однако большинство операций следует выполнять на станках с ЧПУ, включая обрабатывающие центры. Применение последних позволяет строить техпроцесс по принципу концентрации обработки, сокращая значительное количество операций.

Основными критериями при выборе оборудования служат:

1. Соответствием рабочей зоны станка размерам заготовки;
2. Мощностью, достаточная для обработки материала заготовки;
3. Технологические данные станка (скорости главного движения, подачи, ускоренных перемещений)
4. Количество и тип используемого инструмента;
5. Обеспечением схемы установки и закрепления заготовки;
6. Безопасность и эргономичность.
7. Ресурс работы станка.

Таблица 1.3 – Выбор оборудования для операций технологического процесса

№ опер.	Название операции	Оборудование по исходному техпроцессу	Оборудование по усовершенствованному техпроцессу
10	Токарная	Токарный полуавтомат с ЧПУ АТПР-2М12СН	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
15	Вертикально–сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2А135	Обрабатывающий центр HAAS VF-3УТ
55	Развертывание	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2А135	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2А135
120	Резьбонарезание	Вертикальный обрабатывающий центр с ЧПУ Auctor 3/CN5D	Обрабатывающий центр HAAS VF-3УТ
215	Вертикально–фрезерная	Универсальный фрезерный станок X5746А	Вертикальный 5 – координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunnion

Станок вертикально-сверлильный универсальный 2А135

Станок 2А135, относится к категории универсального вертикально-сверлильного оборудования и применяется не только для сверления отверстий, но так же для выполнения ряда других технологических операций:

- рассверливания;
- развертывания;
- зенкерования;
- нарезания внутренней резьбы;
- подрезки краев деталей (с использованием специальных инструментов).

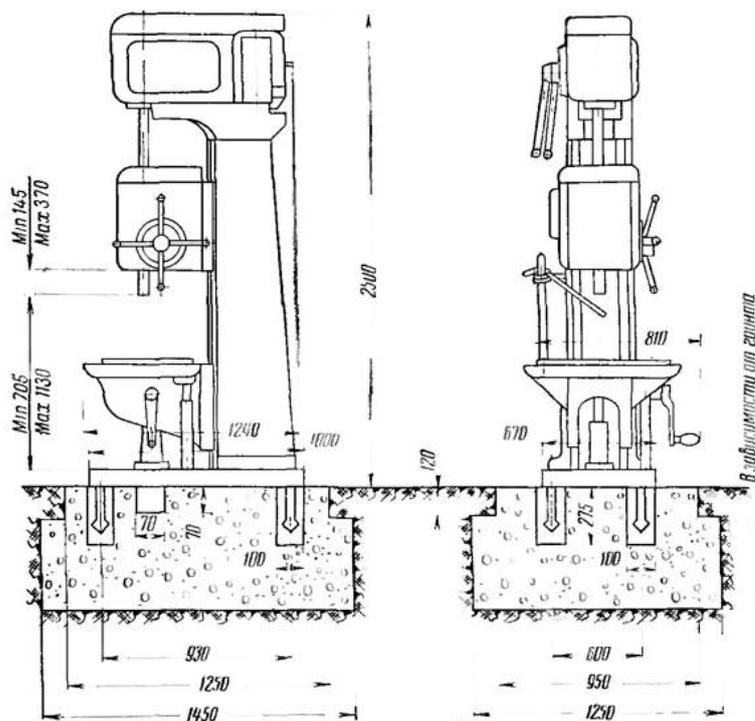


Рис. 1.1 – Схема станка 2А135 с габаритными размерами

Класс точности по ГОСТ 8-71 – Н (нормальный);

Техническими особенностями, которыми отличается станок 2А135, являются:

- Коробка скоростей, позволяющая выполнять их регулировку по 9 ступеням. Скорость вращения шпинделя, обеспечиваемая такой коробкой, может варьироваться в диапазоне 68–1100 об/мин.
- Максимальный диаметр просверливаемого отверстия 35 мм.
- Управление станком происходит полностью в ручном режиме, для данного оборудования не предусмотрена возможность установки автоматизированных управляющих систем.
- В конструкции станка есть реверсивное устройство, позволяющее шпинделю вращаться в разных направлениях. Такая техническая особенность делает возможным использование на станке машинных метчиков для нарезания резьбы.

Универсальный фрезерный станок X5746A



Рис. 1.2 – Фрезерный станок X5746A

Универсальный фрезерный консольный станок X5746A производства компании WEIDA предназначен как для фрезерования различными видами фрез, так и для сверления и растачивания, в том числе и под различными углами относительно поверхности стола.

Технические характеристики:

1	Размер стола (длина×ширина)	1635×460(мм ²)	
2	Перемещение (Продольное/Перемещение)	1300/470 мм	
3	«Т» образные пазы (Количество/ширина)	5/18 мм	
4	Расстояние между «Т» образными пазами	80 мм	
5	Конус шпинделя	ISO50	
6	Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	40~510 мм	
7	Расстояние от оси шпинделя до вертикальных направляющих	70~670 мм	
8	Перемещение по вертикали	600 мм	
9	Частота вращения шпинделя	53-1800 мин-1	
10	Регулировка скорости перемещения	Бесступенчатая	
11	Диапазон скоростей перемещения	Продольное	10-1200 мм/мин
		Вертикальное	5-600 мм/мин
12	Скорость перемещения по вертикали	10-1200 мм/мин	
13	Ускоренные перемещения	Продольное	2500 мм/мин
		Поперечное	1200 мм/мин
14	Ускоренное перемещение по вертикали	2500 мм/мин	
15	Мощность главного двигателя	7.5KW	
16	Мощность двигателей подачи X, Y, Z	18Нм, 18Нм, 22Нм.	
17	Габариты	2000×2100×2200	
18	Вес	3500кг	

Токарный полуавтомат с ЧПУ АТПР-2М12СН.

Станок предназначен для токарной обработки средних корпусных деталей, дисков, колец, шестерен, муфт, крышек, поршней и т.д. с диаметром до 250 мм и длиной до 200 мм в гидравлическом патроне в автоматическом цикле, в условиях механического цеха при отсутствии вблизи сварочных аппаратов, установок ТВЧ, других источников помех и тепловой радиации, а также оборудования ударного действия, вызывающего вибрации.

Программа для станка записывается на перфоленте, по ней возможно производить обточку цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, проточку наружных канавок, подрезку торцев при автоматической смене инструментов.

Станок АТПР-2М12СН (рис. 1.3) представляет собой одношпиндельный полуавтомат с гидрофицированным зажимным патроном 4; станина 11 станка — коробчатого типа, на ней укреплен наклонный корпус 10 с прямоугольными направляющими и крестовым суппортом 6, а также узлом смены инструментов 8 с магазином на 12 режущих инструментов. Полуавтомат оснащен устройством ЧПУ 1 типа Н22-1М.

Полуавтомат имеет надежное ограждение 3 каркасного типа, отдельное для передней бабки и инструментального магазина 5, электродвигатель привода шпинделя 9, расположенный под передней бабкой, ручной пульт 7 управления и шкаф 2 с электроаппаратурой. Крестовый суппорт может перемещаться в продольном и поперечном направлениях со скоростями движения рабочей подачи или ускоренного (холостого) перемещения, которые осуществляются посредством шариковых винтовых пар 21, 7 (рис. 1) с гидроусилителями МГ-18-14М 23 и 6, управляемыми шаговыми двигателями ШД-5Д-1. Шпиндель 4 полуавтомата получает вращение от электродвигателя 3.3 мощностью 8,3 – 10,2 кВт с двумя частотами вращения ротора.

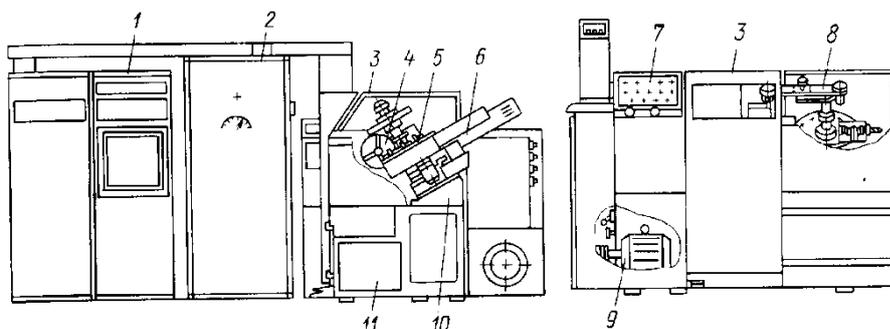


Рис. 1.3 – Полуавтомат АТПр-2М12СН1

Программа записывается на перфоленту, которая несет информацию о последовательности технологических переходов, о направлениях и величинах перемещений, частоте вращения шпинделя и рабочей подачи, а также подачах ускоренного хода в соответствии с разработанным процессом обработки.

Станина 11 является основанием, на котором размещены все остальные узлы станка. Для повышения жесткости в станине предусмотрены ребра. У торца станины расположена подмоторная плита, на которой установлен электродвигатель привода шпинделя 9. Средняя часть станины используется как емкость для охлаждающей жидкости и установки насоса подачи охлаждающей жидкости. Станина установлена на шести резино-металлических виброизолирующих регулируемых опорах.

Техническая характеристика станка:

Геометрические параметры:

Наибольший диаметр обработки над суппортом, мм 250

Наибольший диаметр обработки над верхним суппортом, мм 165

Расстояние от основания станка до оси шпинделя, мм 1000

Наибольшее перемещение суппортов, мм

- продольное 230

- поперечное 170

Габариты станка, мм 2240 x 1750 x 1740

Скоростные параметры:

Пределы подач, мм/мин

- продольные: 1 ... 1200

- поперечные: 0,5 ... 600

Количество скоростей шпинделя: 16

Пределы чисел оборотов шпинделя, мин^{-1} 70 ... 1780

Количество скоростей в автоматическом цикле: 4

Реверс шпинделя: есть

Силовые параметры:

Наибольший крутящий момент на шпинделе, Нм 600

Допускаемое осевое усилие шариковой винтовой пары, Н:

- по оси X: 3000

- по оси Z: 3000

Зажим заготовки гидравлический в патроне

Максимальное усилие зажима, Н:

- на зажим: 37000

- на разжим: 37000

Максимальное приводное усилие на штоке на зажим и разжим, Н 15000

Параметры системы ЧПУ:

Цена импульса, мм:

- продольного перемещения: 0,01

- поперечного перемещения: 0,005

Порядок работы суппортов по координатам X и Z отдельный

Количество инструментов:

- в магазине: 12

- на станке: 13

Масса станка, кг 4000

Класс точности "П"

Завод-изготовитель: Савеловский машиностроительный завод

Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT



Рис. 1.4 – Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT

Вертикальный обрабатывающий центр; (1016 × 660 × 635 мм), шпиндель с конусом и зубчатым приводом, векторный привод 30 л.с. (22,4 кВт), 7500 об/мин, зонтичное устройство смены инструмента на 20 гнезд или устройство смены инструмента бокового исполнения на 24+1, 30+1 гнездо, ускоренное перемещение 18,0 м/мин, цветной пульт дистанционного ручного управления с маховичком, программируемое сопло для подачи СОЖ, автоматический шнек для удаления стружки, модуль обнаружения сбоя питания, 1 гигабайт программной памяти, цветной 15-дюймовый ЖК-дисплей, порт USB, переключатель для блокировки памяти и система подачи СОЖ объемом 208 литров с обильной подачей СОЖ в зону резания.

Длина стола 1321 мм;

Ширина стола 584 мм;

Макс. нагрузка на стол (равном. распределенная) 1814 кг;

Макс. масса инструмента 13,6 кг;

Время смены инструмента (среднее) 4,2 сек;

Точность позиционирования $\pm 0,0050$ мм;

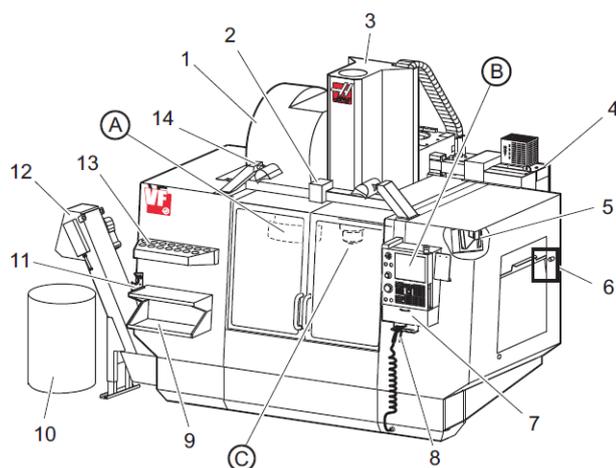


Рис. 1.5 – Технические особенности станка (вид спереди)

1. Боковое устройство смены инструмента (опция)
2. Автоматическая дверь с сервоприводом (опция)
3. Узел шпинделя
4. Электрический блок управления
5. Светильник (2X)
6. Органы управления окна
7. Бункерный лоток
8. Продувочный пистолет
9. Передний рабочий стол
10. Контейнер для стружки
11. Зажимное приспособление для инструмента
12. Транспортёр удаления стружки (опция)
13. Лоток для инструмента
14. Светильник высокой яркости (2X) (опция)
- A. Зонтичное устройство смены инструмента (не показано)
- B. Подвесной пульт управления
- C. Узел головки шпинделя

Kitamura MyTrunnion – вертикальный 5 - координатный фрезерный центр

- Идеально подходит для 5-и осевой, непрерывной обработки сверхвысокой точности.
- Точность позиционирования: ± 0.0020066 мм полных проход.
- Повторяемость: ± 0.02516124 мм
- Скользящая подъёмно-поворотная дверь для легкой загрузки/разгрузки заготовки.
- Мощный двигатель прямого привода 15 000 об/мин, 15HP. Конус 40. Двух контактный шпиндель. Как опция доступна конфигурация HSK-A63.
- Линейки с обратной связью на всех осях.
- Расширяемая рабочая зона Диаметр \times Высота (550 \times 400 мм).
- Конструкция из высококачественного модифицированного чугуна, превосходно гасит вибрации, что позволит получить хороший результат для обработки чистовых поверхностей.



Рис. 1.6 – Фрезерный центр Kitamura MyTrunnion

Основные характеристики:

Размеры рабочего стола, мм: диаметр 400

Перемещения по осям X/Y/Z, мм: 610/610/500

Перемещения по осям A/C, град.: -120 ~ +30 / 0-360

Тип и размер конуса шпинделя: NST 40

Частота вращения шпинделя, об/мин: 40~15 000

Емкость инструментального магазина, шт: 60

Время смены инструмента (Инстр-Инстр/ Цикл-Цикл), сек: 2.2 / 5.8

Скорость быстрой подачи X, Y/Z, м/мин: 50 / 25

Скорость быстрой подачи A / C, град/мин, об/мин: 18 / 50

Потребляемая мощность, кВА: 45

Габариты станка (Д × Ш × В), мм: 2421 × 3707 × 2850

Масса станка, кг: 9100

Система ЧПУ: Arumatik-Mi

HAAS ST-10 токарно-револьверный станок с ЧПУ



Рис. 1.7 – Токарно-револьверный станок HAAS ST-10

Универсальный токарный станок HAAS ST-10 повышенной точности предназначен для выполнения самых разнообразных токарных, резьбонарезных и сверлильных работ повышенной точности.

ST-10 - это очень компактный токарный станок с ЧПУ с максимальной вместимостью 336 × 356 мм и наибольшим диаметром устанавливаемого изделия 413 мм. Он оснащен векторным приводом с мощностью 11,2 кВт и с максимальной частотой вращения 6000 об./мин.

Особенности конструкции:

- Полностью литая чугунная станина;
- Полностью закрытое герметичное защитное ограждение;
- Серводвигатели перемещений по осям с прямой передачей момента;
- Стальные закаленные подшипниковые блоки направляющих;
- ШВП с двойным креплением и предварительно натянутой гайкой;
- Система автоматической смазки направляющих и ШВП;
- Система компенсации тепловых расширений ШВП.
- Технические характеристики токарно-револьверного центра с ЧПУ

модели ST-10

Рабочая зона

Максимальный диаметр устанавливаемой заготовки, мм:

над станиной — 641

над кареткой — 413

Максимальный наружный диаметр обрабатываемой заготовки, мм:

с револьвером VDI — 178

с револьвером BOT (опция) — 356

Максимальная длина точения стандартным патроном, мм — 336

Шпиндель

Посадка шпинделя — A2-5

Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин — 6000

Максимальный крутящий момент шпинделя (при $n=1300$ об/мин), Нм — 102

Максимальная мощность на шпинделе, кВт — 11,2

Диаметр отверстия в шпинделе, мм — 59

Максимальный диаметр обрабатываемого прутка, мм — 44

Диаметр трехлапчатого гидравлического патрона, мм — 165

Подача:

Величина рабочих перемещений по осям, мм:

по оси OX — 200

по оси OZ — 356

Максимальная скорость холостых перемещений, м/мин — 30,5

Максимальные допустимые усилия по осям, кН:

по оси OX — 14,68

по оси OZ — 14,68

ЧПУ и точность:

Точность позиционирования суппорта, мм — $\pm 0,0050$

Тип — Haas-Fanuc

Количество управляемых осей — 2

Тип монитора для отображения информации — LCD 15”

Скорость обработки программ, блоков/сек — до 1000

Тип интерфейса для подключения съемных носителей памяти — USB

Объем памяти для хранения программ, кБ — 1024

1.2.4 Назначение технологических баз

При назначении баз руководствуются следующими положениями [2]:

1. Установочной базой обычно служит наибольшая поверхность заготовки, позволяющая разместить три опорные точки не лежащие на одной прямой и на большом расстоянии друг от друга.

2. Для направляющей базы используют наиболее протяженную поверхность с двумя максимально далеко расположенными опорными точками.

3. Для опорной базы используют любую поверхность при условии отсутствия на ней литников, заусенцев, литейных и штамповочных швов.

4. Выбор комплекта баз зависит от числа выдерживаемых на данной операции размеров.

При выборе баз руководствуются принципами совмещения и постоянства баз.

Принцип совмещения баз заключается в стремлении к совмещению технологических баз с конструкторскими и измерительными. Если этот

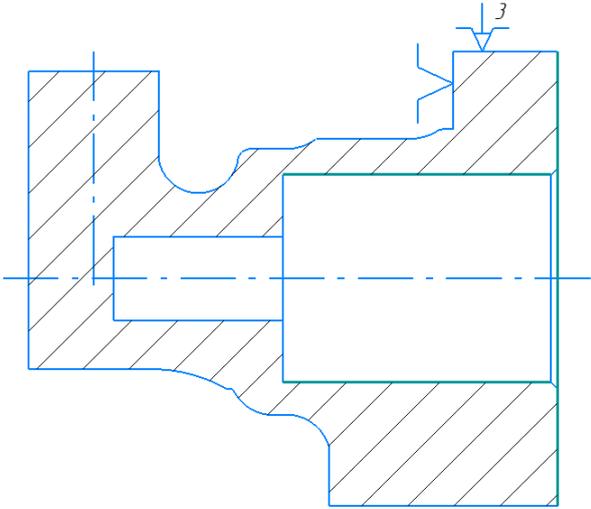
принцип не соблюдается, то технологу приходится изменять простановку размеров на детали, проставляя их от технологических баз. Это связано с необходимостью пересчета размеров и ужесточением допусков на размеры, что удорожает обработку.

Принцип постоянства технологических баз заключается в стремлении использовать на разных операциях обработки одни и те же базы. Это связано с тем, что изменение баз приводит к дополнительным погрешностям взаимного расположения поверхностей.

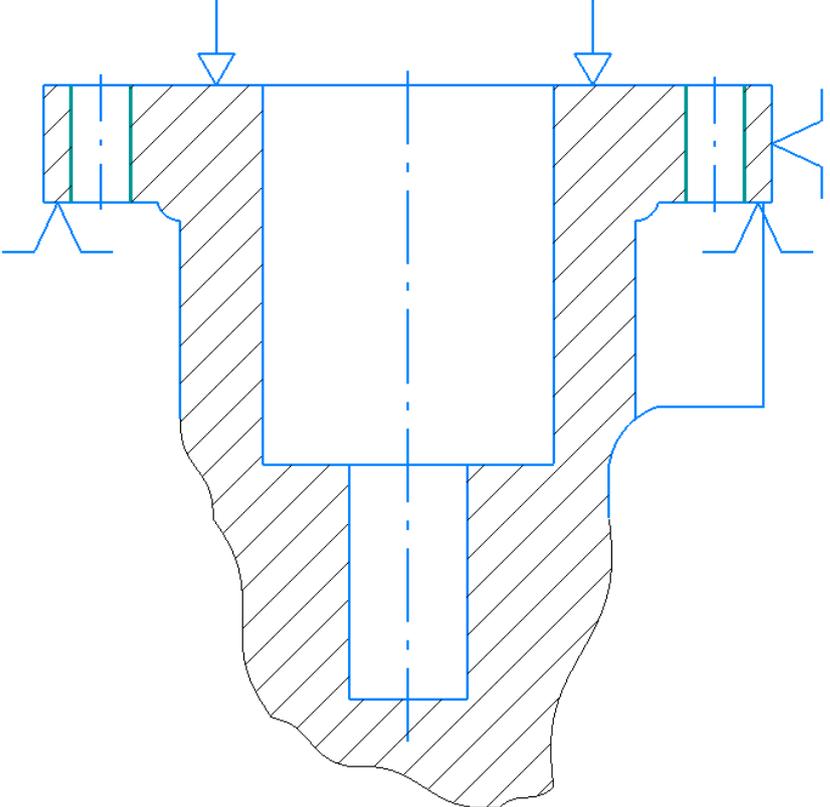
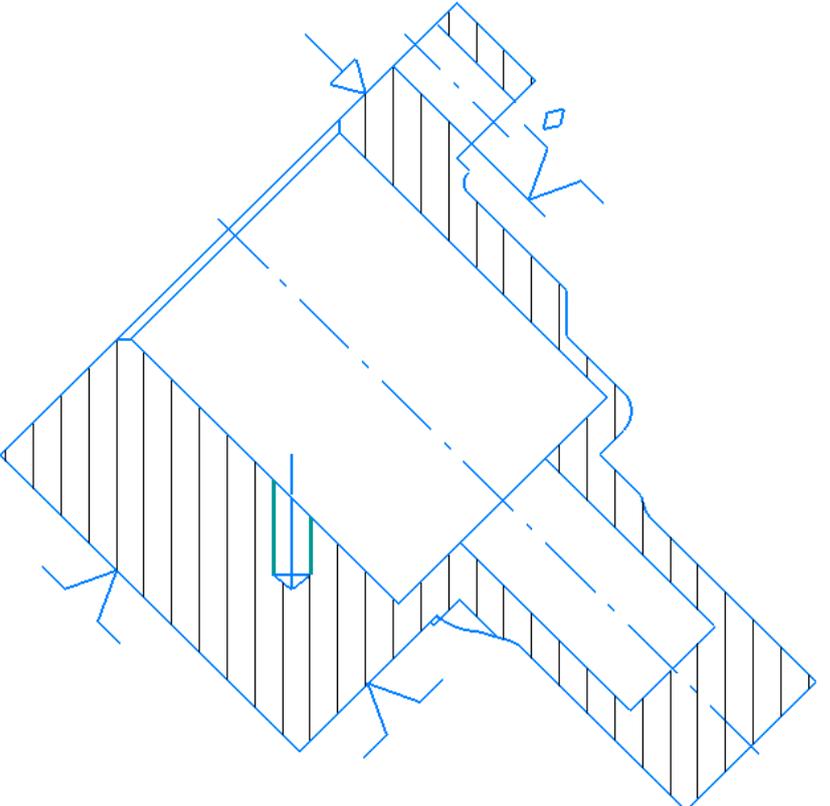
Точность обработки чистовых баз должна быть выше, чем точность поверхностей, обрабатываемых на этих базах.

Для большинства операций используется дополнительная оснастка, так как деталь имеет сложную ассиметричную форму. Для фиксации на оснастке в детали просверливаются 2 отверстия $\varnothing 6,6$ (операция 15). Данные отверстия используются как базовые во всех операциях, кроме доводочных, некоторых операций точения, где используется трехкулачковый патрон и операций выполняемых на универсальных станках. Выбор баз с эскизами базирования заготовки показаны в таблице (табл. 1.4).

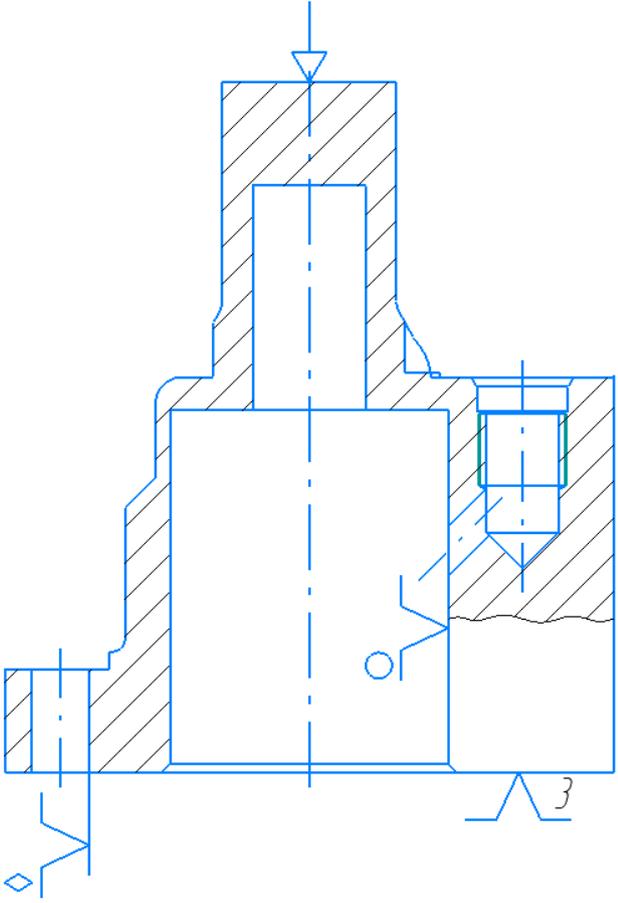
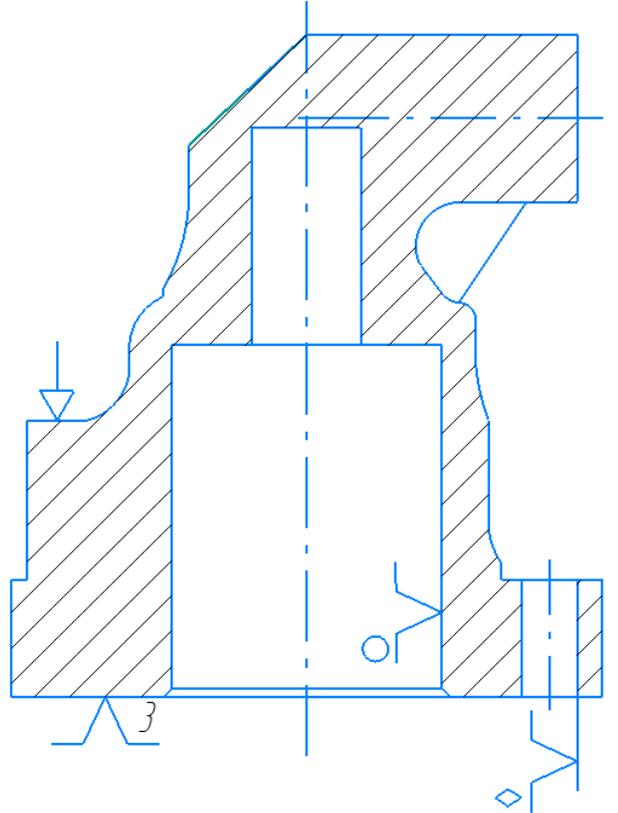
Таблица 1.4 – Назначение технологических баз

№ оп.	Наименование операции и описание схемы базирования	Схема установки заготовки
10	<p>Подрезка торца. Растачивание отверстия $\varnothing 32$. Деталь устанавливается в трехкулачковый патрон</p>	

Продолжение таблицы 1.4

<p>15</p>	<p>Сверление 4 отверстий $\varnothing 6,5$. Деталь фиксируется в оснастке с помощью зажимов</p>	
<p>55</p>	<p>Развертывание отверстия $\varnothing 4$. Деталь устанавливается на срезанный палец и фиксируется в оснастке с помощью зажима</p>	

Продолжение таблицы 1.4

<p>120</p>	<p>Нарезание резьбы M20x1,5. Деталь устанавливается на пальцы и фиксируется зажимом</p>	
<p>215</p>	<p>Фрезерование плоскости. Деталь устанавливается на пальцы и фиксируется зажимом</p>	

1.3 Расчет режимов обработки на технологические операции

1.3.1 Подрезка торца

Для обработки сплава АЛ9-Т6 в качестве материала режущего инструмента применяется твердый сплав ВК3 ([3] табл. 4.9).

На основании данных справочника технолога-машиностроителя ([4] том 2, стр. 265) стойкость токарного резца принимается равной 45 минутам.

$$T = 45 \text{ мин}$$

На основании данных справочника технолога машиностроителя ([4] том 2, стр. 265) глубина резания принимается равной 1 мм

$$t = 1,0 \text{ мм}$$

На основании данных справочника технолога-машиностроителя ([4] том 2, стр. 266) для установленной глубины резания, равной 1 мм и диаметром обрабатываемого изделия подача принимается равной 0,6 мм/об.

$$S = 0,6 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^{x_v} \times S^{y_v}} \times K_v = \frac{294}{45^{0,28} \times 1^{0,18} \times 0,6^{0,35}} \times 1,8 = 218,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Где C_v -коэффициент, учитывающий свойства инструментального и обрабатываемого материала; m, x_v, y_v -показатели степени, учитывающие влияние соответствующего параметра на скорость резания; K_v -коэффициент обрабатываемости материала твердым сплавом. Согласно справочнику инструментальщика ([3] табл. 8.20):

$$C_v = 294; m = 0,28; x_v = 0,18; y_v = 0,35; K_v = 1,8$$

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость резания по формуле:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 218,2}{3,14 \times 70} = 992 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Силы резания рассчитываются по формуле ([2] стр.20):

$$P_z = 10 \times C_{pz} \times t^{x_{pz}} \times S^{y_{pz}} \times K_{pz} =$$

$$= 10 \times 40 \times 1,0^{1,0} \times 0,6^{0,75} \times (1 \times 1,08 \times 1 \times 1) = 294,5 \text{ Н}$$

$$P_y = 10 \times C_{py} \times t^{x_{py}} \times S^{y_{py}} \times K_{py} =$$

$$= 10 \times 54 \times 1,0^{0,9} \times 0,6^{0,75} \times (1 \times 1,3 \times 1 \times 1,25) = 598,2 \text{ Н}$$

$$P_x = 10 \times C_{px} \times t^{x_{px}} \times S^{y_{px}} \times K_{px} =$$

$$= 10 \times 46 \times 1,0^1 \times 0,6^{0,4} \times (1 \times 0,78 \times 1 \times 0,85) = 248,6 \text{ Н}$$

Где C_{pz}, C_{py}, C_{px} -коэффициенты, учитывающие свойство инструментального и обрабатываемого материала; $x_{pz}, x_{py}, x_{px}, y_{pz}, y_{py}, y_{px}$ -показатели степени, учитывающие влияние соответствующих параметров на силы резания; K_{pz}, K_{py}, K_{px} -поправочные коэффициенты. Согласно справочнику технолога машиностроителя ([4] том 2, стр.273, табл. 22):

$$C_{pz} = 40; C_{py} = 54; C_{px} = 46;$$

$$x_{pz} = 1,0; x_{py} = 0,9; x_{px} = 1; y_{pz} = 0,75; y_{py} = 0,75; y_{px} = 0,4;$$

Согласно справочнику технолога машиностроителя ([4] том 2, стр.271) поправочный коэффициент:

$$K_p = K_{Mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}$$

Где $K_{Mp} = 1$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости ([4] том 2, стр.265, табл. 10); $K_{\varphi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания. Согласно справочнику технолога - машиностроителя ([4] том 2, стр.274, табл. 23):

$$K_{\varphi pz} = 1,08; K_{\gamma pz} = 1; K_{\lambda pz} = 1;$$

$$K_{\varphi py} = 1,3; K_{\gamma py} = 1; K_{\lambda py} = 1,25;$$

$$K_{\varphi px} = 0,78; K_{\gamma px} = 1; K_{\lambda px} = 0,85$$

K_{rp} для режущего инструмента из твердого сплава не учитывается.

Эффективная мощность резания определяется по формуле ([2]):

$$N_{\text{Э}} = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60} = \frac{294,5 \times 218,2}{1020 \times 60} = 1,05 \text{ кВт}$$

Расчет основного времени:

$$T_o = \frac{L}{n \times S} = \frac{38}{992 \times 0,6} = 0,064 \text{ мин}$$

Где L – величина перемещения инструмента на рабочей подаче, мм.

1.3.2 Растачивание отверстия Ø32 мм.

Для обработки сплава АЛ9-Т6 в качестве материала режущего инструмента применяется твердый сплав ВК3 ([3] табл. 4.9).

На основании данных справочника технолога-машиностроителя ([4] том 2, стр. 265) стойкость токарного резца принимается равной 60 минутам.

$$T = 60 \text{ мин}$$

На основании данных справочника технолога машиностроителя ([4] том 2, стр. 265) глубина резания принимается равной 3,5 мм

$$t = 3,5 \text{ мм}$$

На основании данных справочника технолога-машиностроителя ([4] том 2, стр. 266) для установленной глубины резания, равной 3,5 мм и диаметром обтачиваемого изделия подача принимается равной 0,5 мм/об.

$$S = 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^{x_v} \times S^{y_v}} \times K_v = \frac{294}{60^{0,28} \times 3,5^{0,18} \times 0,5^{0,35}} \times 1,8 = 170,7 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Где C_v -коэффициент, учитывающий свойства инструментального и обрабатываемого материала; m, x_v, y_v -показатели степени, учитывающие влияние соответствующего параметра на скорость резания; K_v -коэффициент обрабатываемости материала твердым сплавом. Согласно справочнику инструментальщика ([3] табл. 8.20):

$$C_v = 294; m = 0,28; x_v = 0,18; y_v = 0,35; K_v = 1,8$$

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость резания по формуле:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 170,7}{3,14 \times 32} = 1700 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Силы резания рассчитываются по формуле ([2] стр.20):

$$P_z = 10 \times C_{pz} \times t^{x_{pz}} \times S^{y_{pz}} \times K_{pz} = \\ = 10 \times 40 \times 3,5^{1,0} \times 0,5^{0,75} \times (1 \times 1,08 \times 1 \times 1) = 899 \text{ Н}$$

$$P_y = 10 \times C_{py} \times t^{x_{py}} \times S^{y_{py}} \times K_{py} = \\ = 10 \times 54 \times 3,5^{0,9} \times 0,5^{0,75} \times (1 \times 1,3 \times 1 \times 1,25) = 1611,2 \text{ Н}$$

$$P_x = 10 \times C_{px} \times t^{x_{px}} \times S^{y_{px}} \times K_{px} = \\ = 10 \times 46 \times 3,5^1 \times 0,5^{0,4} \times (1 \times 0,78 \times 1 \times 0,85) = 809 \text{ Н}$$

Где C_{pz}, C_{py}, C_{px} -коэффициенты, учитывающие свойство инструментального и обрабатываемого материала; $x_{pz}, x_{py}, x_{px}, y_{pz}, y_{py}, y_{px}$ -показатели степени, учитывающие влияние соответствующих параметров на силы резания; K_{pz}, K_{py}, K_{px} -поправочные коэффициенты. Согласно справочнику технолога машиностроителя ([4] том 2, стр.273, табл. 22):

$$C_{pz} = 40; C_{py} = 54; C_{px} = 46;$$

$$x_{pz} = 1,0; x_{py} = 0,9; x_{px} = 1; y_{pz} = 0,75; y_{py} = 0,75; y_{px} = 0,4;$$

Согласно справочнику технолога машиностроителя ([4] том 2, стр.271) поправочный коэффициент:

$$K_p = K_{Mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}$$

Где $K_{Mp} = 1$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости ([4] том 2, стр.265, табл. 10); $K_{\varphi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания. Согласно справочнику технолога - машиностроителя ([4] том 2, стр.274, табл. 23):

$$K_{\varphi pz} = 1,08; K_{\gamma pz} = 1; K_{\lambda pz} = 1;$$

$$K_{\varphi py} = 1,3; K_{\gamma py} = 1; K_{\lambda py} = 1,25;$$

$$K_{\varphi px} = 0,78; K_{\gamma px} = 1; K_{\lambda px} = 0,85$$

K_{rp} для режущего инструмента из твердого сплава не учитывается.

Мощность станка выбирается по эффективной мощности резания и определяется по формуле ([2]):

$$N_{\text{Э}} = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60} = \frac{899 \times 170,2}{1020 \times 60} = 2,5 \text{ кВт}$$

Расчет основного времени:

$$T_o = \frac{L}{n \times S} = \frac{44}{1700 \times 0,5} = 0,052 \text{ мин}$$

Где L – величина перемещения инструмента на рабочей подаче, мм.

1.3.3 Сверление 4 отверстий Ø6,5 мм.

Материал заготовки – АЛ9-Т6 (НВ = 70 МПа), материал инструмента – быстрорежущая сталь Р6М5.

Глубина резания при сверлении ([4] том 2, стр.276):

$$t = 0,5D_{\text{отв}} = 0,5 \times 6,5 = 3,25 \text{ мм};$$

где $D_{\text{отв.}} = 6,5 \text{ мм}$

Для сверления диаметром 6,5 мм без ограничивающих факторов выбираем подачу по справочнику технолога - машиностроителя ([4] табл. 25) $S=0,28 \text{ мм/об.}$

Назначение стойкости режущего инструмента ([4] табл. 30):

$$T = 35 \text{ мин}$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \times D^q}{T^m \times S^y} * K_v = \frac{36,3 \times 6,5^{0,25}}{35^{0,125} \times 0,28^{0,55}} \times 0,68 = 50,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Где $C_v = 36,3$ – коэффициент, учитывающий условия обработки; $m = 0,125$; $q = 0,25$; $y = 0,55$ – показатели степени; [4, табл. 28, стр. 278];

K_v – обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки по отношению к табличным:

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Iv} \times K_{lv} = 0,8 \times 1 \times 0,85 = 0,68$$

где $K_{Mv} = 0,8$ – коэффициент на обрабатываемый материал [4, табл. 4];

$K_{Iv} = 1$ – коэффициент на инструментальный материал [4, табл. 6];

$K_{lv} = 0,85$ – коэффициент, учитывающий глубину сверления [4, табл. 31];

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость резания по формуле:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 50,8}{3,14 \times 6,5} = 2489 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Принимаем: $n = 2400$ об/мин

Крутящий момент:

$$M_{кр} = 10 \times C_m \times D^q \times S^y \times K_p = 10 \times 0,005 \times 6,5^2 \times 0,28^{0,8} \times 1 = 0,76 \text{ Н/м}$$

где $C_m = 0,005$ – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$q = 2$, $y = 0,8$, – показатели степени;

K_p – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания. При сверлении $K_p = K_{мр} = 1$. [4, табл. 10, стр. 265];

Сила резания:

$$P_0 = 10 \times C_p \times D^q \times S^y \times K_p = 10 \times 9,8 \times 6,5^1 \times 0,28^{0,7} \times 1 = 261,3 \text{ Н}$$

C_p – коэффициент, учитывающий условия обработки;

q, y , – показатели степени [4, табл. 32, стр. 281];

K_p – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания. При сверлении алюминиевых сплавов $K_p = 1$;

Эффективная мощность:

$$N_{\text{э}} = \frac{M_{кр} \times n}{9750} = \frac{0,76 \times 2400}{9750} = 0,19 \text{ кВт}$$

Расчет основного времени:

$$T_o = \frac{L}{n \times S} = \frac{20}{2400 \times 0,28} = 0,03 \text{ мин}$$

Где L – величина перемещения инструмента на рабочей подаче, мм.

1.3.4 Развертывание отверстия Ø4 мм.

Материал заготовки – АЛ9-Т6 (НВ = 70 МПа), материал инструмента – быстрорежущая сталь Р6М5

Глубина резания при развертывании ([4] том 2, стр.276):

$$t = 0,5 \times (D - d) = 0,5 \times (4 - 3,8) = 0,1 \text{ мм};$$

где $D = 4$ мм – диаметр развертывания, $d = 3,8$ мм – диаметр сверления

Для развертывания отверстия диаметром 4 мм выбираем подачу по справочнику технолога - машиностроителя ([4] табл. 27) $S = 1,8$ мм/об.

Назначение стойкости режущего инструмента ([4] табл. 30):

$$T = 45 \text{ мин}$$

Скорость резания при развертывании:

$$V = \frac{C_v \times D^q}{T^m \times t^x \times S^y} \times K_v = \frac{23,2 \times 4^{0,2}}{45^{0,3} \times 0,1^{0,1} \times 1,8^{0,5}} \times 0,8 = 7,33 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Где $C_v = 23,2$ – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$m = 0,3$; $q = 0,2$; $y = 0,5$; $x = 0,1$ – показатели степени; [4, табл. 29, стр. 279];

K_v – обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки по отношению к табличным:

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Iv} \times K_{lv} = 0,8 \times 1 \times 1 = 0,8$$

где $K_{Mv} = 0,8$ – коэффициент на обрабатываемый материал [4, табл. 4];

$K_{Iv} = 1$ – коэффициент на инструментальный материал [4, табл. 6];

$K_{lv} = 1$ – коэффициент, учитывающий глубину развертывания [4, табл. 31];

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость резания по формуле:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 7,33}{3,14 \times 4} = 583,6 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Крутящий момент при развертывании:

$$M_{кр} = \frac{C_p \times t^x \times S_z^y \times D_z}{2 \times 100} = \frac{40 \times 0,1^1 \times 0,45^{0,75} \times 4}{2 \times 100} = 0,058 \text{ Н/м}$$

где $C_p = 40$ – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$x = 1$, $y = 0,4$ – показатели степени;

S_z – подача, мм на зуб, равная $s/z = 0,45$, где z – число зубьев инструмента.
[4, табл. 22, стр. 273];

Сила резания:

$$P_0 = 10 \times C_p \times D^q \times t^x \times S^y \times K_p = 10 \times 17,2 \times 4^1 \times 0,1^1 \times 1,8^{0,4} \times 1 = 87 \text{ Н}$$

C_p – коэффициент, учитывающий условия обработки;

q, y, x – показатели степени [4, табл. 32, стр. 281];

K_p – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания. При развертывании для алюминиевых сплавов $K_p = 1$;

Эффективная мощность:

$$N_э = \frac{M_{кр} \times n}{9750} = \frac{0,058 \times 697}{9750} = 0,004 \text{ кВт}$$

Расчет основного времени:

$$T_o = \frac{L}{n \times S} = \frac{16}{583,6 \times 1,8} = 0,015 \text{ мин}$$

Где L – величина перемещения инструмента на рабочей подаче, мм.

1.3.5 Нарезание резьбы М10х1,5

Материал заготовки – АЛ9-Т6 (НВ = 70 МПа), материал инструмента – метчик из быстрорежущей стали Р6М5.

На основании данных справочника технолога-машиностроителя ([4] том 2, стр. 266) подача принимается равной 0,4 мм/об.

$$S = 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Назначение стойкости режущего инструмента ([4] табл. 49, стр. 296):

$$T = 90 \text{ мин}$$

Скорость резания при нарезании резьбы метчиками:

$$V = \frac{C_v \times D^q}{T^m \times S^y} \times K_v = \frac{20 \times 10^{1,2}}{90^{0,9} \times 0,4^{0,5}} \times 1 = 8,7 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Где $C_v = 20$ – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$m = 0,9$; $q = 1,2$; $y = 0,5$; – показатели степени; [4, табл. 49, стр. 296];

K_v – обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки по отношению к табличным:

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Iv} \times K_{Tv} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

где $K_{Mv} = 1$ – коэффициент на обрабатываемый материал [4, табл. 50, стр. 298];

$K_{Iv} = 1$ – коэффициент на инструментальный материал [4, табл. 50, стр. 298];

$K_{Tv} = 1$ – коэффициент, учитывающий точность нарезаемой резьбы [4, табл. 50, стр. 298];

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость нарезания резьбы по формуле:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 8,7}{3,14 \times 10} = 277 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Крутящий момент при нарезании резьбы метчиками:

$$\begin{aligned} M_{кр} &= 10 \times C_m \times D^q \times P^y \times K_p = 10 \times 0,0022 \times 10^{1,8} \times 1,5^{1,5} \times 1 = \\ &= 2,55 \text{ Н/м} \end{aligned}$$

где $C_m = 0,0022$ – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$q = 1,8$, $y = 1,5$ – показатели степени [4, табл. 51, стр. 298];

$P = 1,5$ – шаг резьбы;

$D = 10$ мм – номинальный диаметр резьбы;

$K_p = 1$ – поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала [4, табл. 50, стр. 298].

Эффективная мощность:

$$N_3 = \frac{M_{кр} \times n}{975} = \frac{2,55 \times 277}{975} = 0,72 \text{ кВт}$$

Расчет основного времени:

$$T_o = \frac{L}{n \times S} = \frac{10}{277 \times 0,4} = 0,09 \text{ мин}$$

Где L - величина перемещения инструмента на рабочей подаче, мм.

1.3.6 Фрезерование плоскости

Для фрезерования плоскости выбираем концевую фрезу Р6М5 и по справочнику инструментальщика определяем геометрию режущего инструмента [3, стр. 325, 351]:

Подача на зуб: $S_z = 0,08$ мм/зуб

Диаметр фрезы и количество зубьев: $D = 12$ мм; $z = 3$

Ширина фрезерования: $B = 12$ мм

Глубина фрезерования: $t = 5$ мм

Подача: $S = S_z \times z = 0,08 \times 3 = 0,24 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$

Стойкость режущего инструмента [4, табл. 40]: $T=80$ мин

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \times D^q}{T^m \times t^x \times S^y \times B^u} \times K_v = \frac{185,5 \times 12^{0,45}}{80^{0,33} \times 5^{0,3} \times 0,24^{0,2} \times 12^{0,1}} \times 0,72 = 40,65 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Где $C_v = 185,5$ – коэффициент, учитывающий условия обработки; $m = 0,33$, $x = 0,3$, $y = 0,2$, $u = 0,1$, $q = 0,45$ – показатели степени; [4, табл. 39, стр. 289];

K_v – обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки по отношению к табличным:

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Пv} \times K_{Иv} = 0,8 \times 0,9 \times 1 = 0,72$$

где $K_{Mv} = 0,8$ – коэффициент на обрабатываемый материал [4, табл. 4];

$K_{Пv} = 0,9$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки [4, табл. 5]

$K_{Иv} = 1$ – коэффициент на инструментальный материал [4, табл. 6];

Частота вращения:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 40,65}{3,14 \times 12} = 1078,8 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Минутная подача:

$$S_m = S_z \times z \times n = 0,08 \times 3 \times 1078,8 = 258,9 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Сила резания:

$$P_z = \frac{10 \times C_p \times t^x \times S^y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} \times K_p =$$
$$= \frac{10 \times 22,6 \times 20^{0,86} \times 0,24^{0,72} \times 12^1 \times 3}{12^{0,86} \times 1078,8^0} \times 1 = 4520 \text{ Н}$$

$C_p = 22,6$ – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$q = 0,86$, $y = 0,72$, $x = 0,86$, $u = 1$, $w = 0$ – показатели степени [4, табл. 41, стр. 291];

$K_p = 1$ – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания.

Крутящий момент при фрезеровании:

$$M_{кр} = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{4520 \times 12}{2 \times 100} = 20,1 \text{ Н/м}$$

Эффективная мощность:

$$N_э = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60} = \frac{4520 \times 40,65}{1020 \times 60} = 3 \text{ кВт}$$

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛИЦЕВОЙ ПРОТЯЖКИ

В качестве специального режущего инструмента спроектирована шлицевая протяжка, так как данный инструмент дает наилучшее представление об особенностях конструкции и последовательности этапов проектирования всех режущих инструментов.

Протягиванием называют вид обработки, при котором многолезвийный инструмент – протяжка, протягивается сквозь обрабатываемое отверстие (внутреннее протягивание) либо по наружному контуру детали (наружное протягивание).

Протяжке придается только одно главное движение резания, которое практически всегда поступательное. Для удаления материала, каждый последующий зуб режущей части протяжки имеет превышение над предыдущим (подъем на зуб Δ). Который может быть одинаковым для всех зубьев или изменяться при переходе от одной группы зубьев к другой.

На калибрующей части протяжки все зубья одинаковы. Они придают окончательные размеры и форму обрабатываемому контуру и по мере износа протяжек первый калибрующий зуб становится последним режущим.

Переточка осуществляется только по передней поверхности зуба. Для обеспечения лучших условий схода стружки на рабочих зубьях протяжек предусмотрены стружкоделительные канавки.

Длина протяжки зависит от припуска и длины протягивания, подъема на зуб, мощности и габаритов протяжного станка. Обычно она не превышает 75 диаметров калибрующих зубьев.

2.1 Исходные данные для проектирования

Серия легкая b-10×92H12×98H12×14D9; $f=0,5^{+0,2}$; $r \leq 0,5$

Чугун $\sigma_s = 180$ МПа; $L = 125$ мм; $Ra = 3,2$ мкм

Протягивание шлицевых втулок является, наиболее производительным процессом их формообразования. Штучное время обработки составляет 20...60 секунд. Методом протягивания шлицевых втулок обеспечивается точность обработки в пределах 7 качества при шероховатости поверхности $R_a = 2,5 \dots 5$ мкм.

2.2 Определение радиального припуска на протягивание

1. Припуск на внутренний диаметр d определяется по формуле:

$$Z_d = (0,06 \dots 0,08) \times \sqrt{d} = 0,07 \times \sqrt{92} = 0,671 \text{ мм}$$

Диаметр сверла для предварительной обработки отверстия находится как:

$$d_{\text{сверл}} = d - 2 \times Z_d = 92 - 2 \times 0,671 = 90,657 \text{ мм}$$

Диаметр сверла $d_{\text{сверл}}$ принимается стандартным, по ГОСТ 885-64 (ближайший к расчетному стандартный диаметр сверла).

$$d_{\text{сверл}} = 91 \text{ мм}$$

2. Припуск по наружному диаметру D рассчитывается как:

$$Z_D = 0,5 \times (D - d) = 0,5 \times (98 - 92) = 3 \text{ мм}$$

3. Припуск по нормали к фаске определяется как:

$$Z_f = f \times \sin 45^\circ = 0,5 \times 0,707 = 0,354 \text{ мм}$$

2.3 Выбор схемы резания

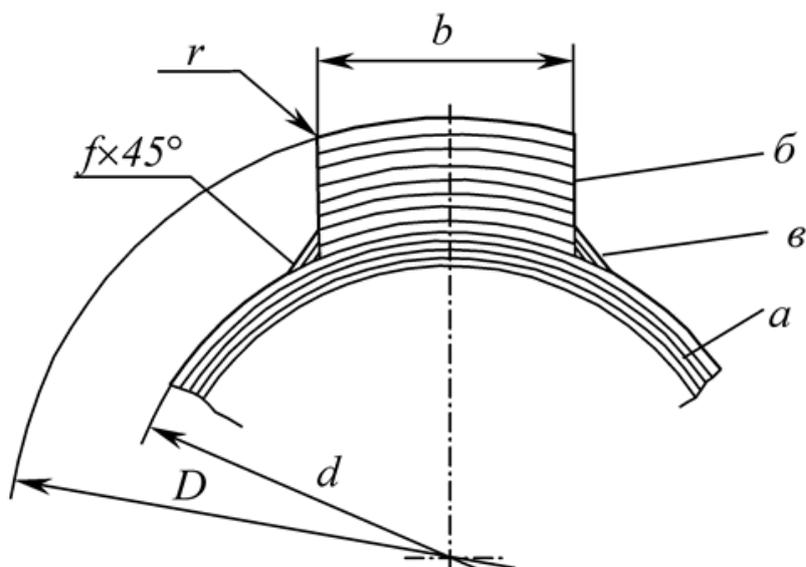


Рис. 2.1 – Рекомендуемая последовательная схема резания при протягивании шлицевых втулок по ГОСТ 1139-80:

- а — припуск на протягивание круглыми зубьями;
- б — припуск на протягивание шлицевыми зубьями;
- в — припуск на протягивание фасочными зубьями.

2.4 Хвостовая часть и шейка

Хвостовик протяжки должен обеспечивать закрепление в быстросействующем патроне. Форму и размеры хвостовика установить по исполнению ГОСТ 4044-70.

Внешний диаметр хвостовика следует принять меньшим диаметра просверленного во втулке отверстия, как минимум на 0,5...1,0 мм.

$$d_{\text{хв}} = 88 \text{ мм}$$

Длина шейки $l_{\text{ш}}$ находится как:

$$l_{\text{ш}} \geq A + B + C, \text{ мм}$$

где: A — минимальное расстояние между патроном и столом протяжного станка;

B — толщина стола;

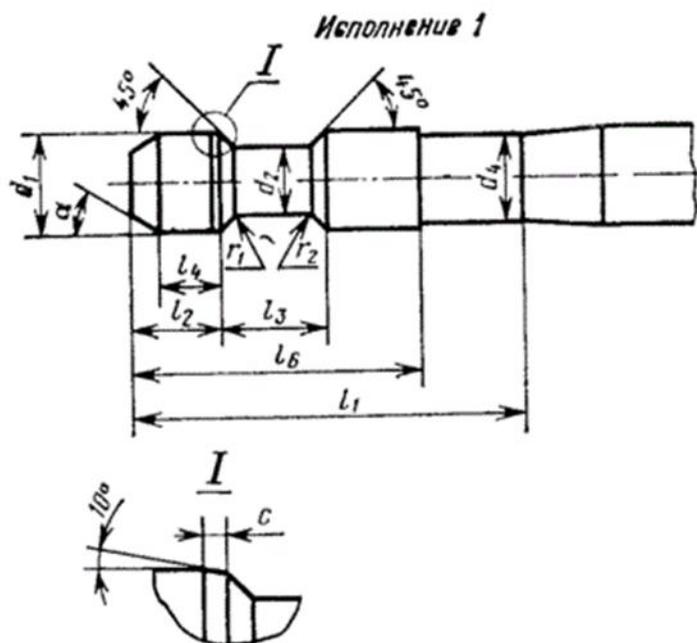
C — высота приспособления.

При реальном проектировании значения величин A , B и C известны. При выполнении учебного задания следует принять $l_{ш} = 100 \dots 150$ мм.

Диаметр шейки принимается на $0,5 \dots 1$ мм меньшим внешнего диаметра хвостовика.

$$l_{ш} = 100 \text{ мм}$$

$$d_{ш} = 83 \text{ мм}$$



2.5 Передняя и задняя направляющие

Передняя направляющая:

- передний конус с углом 20° ;
- длина цилиндрического участка $L_{ц.у.} = 60$ мм;
- диаметр передней направляющей $d_{п.н.} = 91e8$ мм.

Задняя направляющая:

- диаметр задней цилиндрической направляющей $d_{з.н.} = 92f7$ мм;
- длина задней направляющей $L_{з.н.} = (0,5 \dots 1,0) \times L = 0,5 \times 125 = 62,5$ мм;
- где L — длина шлицевой втулки ($L = 125$ мм).

2.6 Подъем на зуб

Устанавливается по табл. 1 [7]

Величина подъема на зуб:

- для круглых зубьев $\Delta_k = 0,06$ мм;
- для шлицевых зубьев $\Delta_{ш} = 0,08$ мм;
- для фасочных $\Delta_{ф} = 0,1$ мм.

2.7 Геометрия зубьев

1. Передний угол γ для всех зубьев протяжки назначается по табл. 2 [7].

$$\gamma = 10^\circ$$

2. Задний угол α назначается по табл. 3 [7].

Для режущих зубьев $\alpha = 3^\circ$

Для калибрующих $\alpha = 1^\circ$

3. Форма и размеры зубьев:

а) глубина впадины:

$$h \geq 1,13 \times \sqrt{\Delta \times L \times K}, \text{ мм}$$

Для круглых зубьев: $h \geq 1,13 \times \sqrt{0,08 \times 125 \times 2,5} = 5,65$ мм

Для шлицевых зубьев: $h \geq 1,13 \times \sqrt{0,1 \times 125 \times 2,5} = 6,317$ мм

Для фасочных зубьев: $h \geq 1,13 \times \sqrt{0,15 \times 125 \times 2,5} = 7,737$ мм

где: Δ — подъем на зуб;

L — длина шлицевой втулки;

K — коэффициент заполнения впадины табл.4 [7].

б) шаг зубьев:

$$t = (2,75 \dots 5,0) \times h, \text{ мм}$$

Для круглых зубьев: $t = 4 \times 5,65 = 22,6$ мм

Для шлицевых зубьев: $t = 3,5 \times 6,317 = 22,109$ мм

Для фасочных зубьев: $t = 3,5 \times 7,737 = 27,078$ мм

При выборе шага зубьев необходимо обеспечить следующие условия:

- 1) $6 > \frac{L}{t} > 2$
- 2) $p = (0,3 \dots 0,4) \times t$, мм
- 3) $r = (0,5 \dots 0,6) \times h$, мм
- 4) $R = (0,5 \dots 0,7) \times t$, мм

№ п/п	Круглые зубья	Шлицевые зубья	Фасочные зубья
1	$6 > 5,53 > 2$	$6 > 5,65 > 2$	$6 > 4,62 > 2$
2	$p = 0,3 \times 22,6 = 6,78$	$p = 0,3 \times 22,109 = 6,633$	$p = 0,3 \times 27,078 = 8,123$
3	$r = 0,5 \times 5,65 = 2,825$	$r = 0,5 \times 6,317 = 3,158$	$r = 0,5 \times 7,737 = 3,868$
4	$R = 0,6 \times 22,6 = 13,56$	$R = 0,6 \times 22,109 = 13,265$	$R = 0,6 \times 27,078 = 16,247$

4. Стружкоразделительные канавки делаются на режущих зубьях.

Число канавок на одном режущем зубе находится из расчета:

$$n_k = \frac{b_p}{7,5 \dots 7,8} = \frac{3,14 \times 91}{7,8} \approx 36$$

где: n_k — число канавок на одном режущем зубе (округляют до ближайшего целого числа);

b_p — максимальный режущий периметр (без учета канавок) одного зуба протяжки, мм.

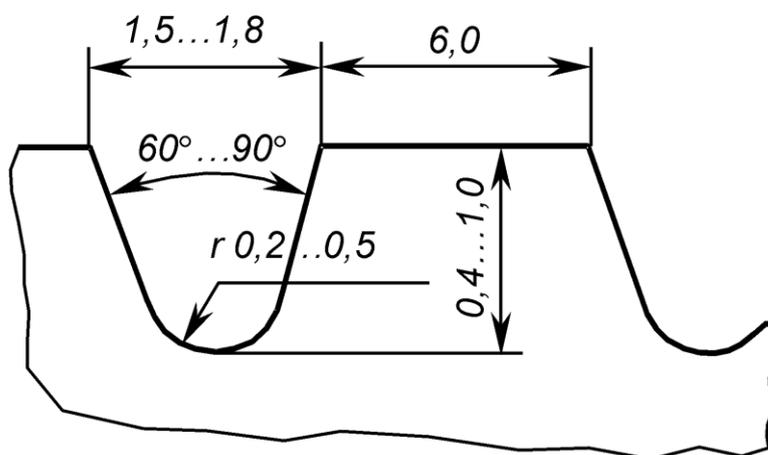


Рис. 2.2 – Рекомендуемая форма стружкоразделительных канавок

Стружкоразделительные канавки расположить на соседних зубьях протяжки в шахматном порядке.

5. Вспомогательный угол в плане.

Шлицевые зубья протяжки имеют вспомогательный угол в плане φ_1 , который назначается в пределах $30' \dots 1^\circ$.

$$\varphi_1 = 1^\circ$$

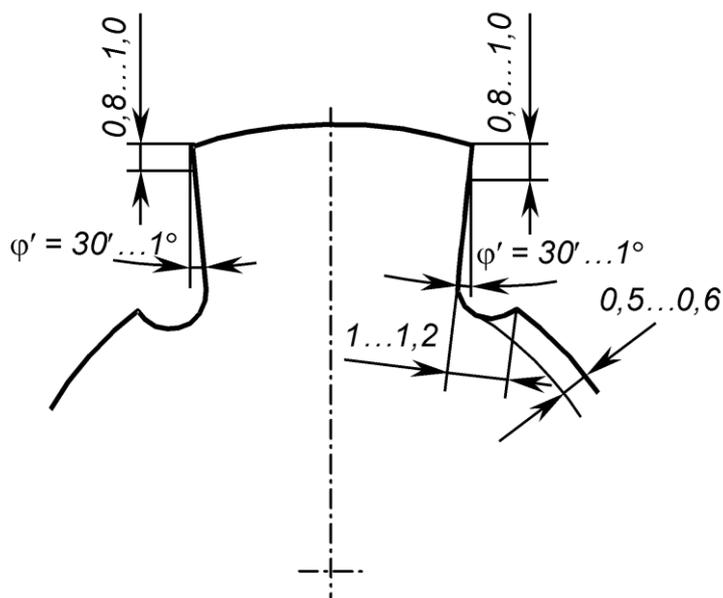


Рис. 2.3 – Вспомогательный угол в плане на шлицевых зубьях протяжки

2.8 Диаметральные размеры зубьев шлицевой протяжки

а) Зубья круглые режущие:

$$d_{1кр} = d_{нп} = 91 \text{ мм}$$

$$d_{пкр} = d_{max} - a = 92,3 - 0,04 = 92,26 \text{ мм}$$

Здесь $d_{1кр}$ — диаметр первого круглого режущего зуба;

$d_{нп}$ — номинальный диаметр передней направляющей части

$d_{пкр}$ — диаметр последнего режущего круглого зуба

d_{max} — максимальный диаметр внутреннего отверстия шлицевой втулки;

a — разбивка отверстия, определяется по табл.5 [7].

Диаметры остальных последующих круглых зубьев определяется как диаметр предыдущего зуба $+ 2\Delta_k$, где Δ_k — величина подъема на зуб для круглых зубьев, т.е.:

$$d_{i+1 k} = d_{i k} + 2 \times \Delta = 91 + 2 \times 0,08 = 91,12 \text{ мм}$$

Диаметры двух или трех последних круглых режущих зубьев выполняются с подъемом, уменьшенным на 50%.

б) Зубья шлицевые режущие:

$$d_{1 \text{ шп}} = d = 92 \text{ мм}$$

$$d_{n \text{ шп}} = D_{max} - a = 98,3 - 0,04 = 98,26 \text{ мм}$$

Здесь $d_{1 \text{ шп}}$ — диаметр первого шлицевого режущего зуба;

d — номинальный диаметр внутреннего отверстия шлицевой втулки;

$d_{n \text{ шп}}$ — диаметр последнего режущего шлицевого зуба;

D_{max} — максимальный диаметр шлицевых пазов втулки;

a — разбивание по верхнему диаметру шлицев (табл.9 [7]).

Диаметры остальных последующих шлицевых режущих зубьев определяются как диаметр предыдущего зуба $+ 2\Delta_{ш}$, где $\Delta_{ш}$ — величина подъема на зуб для шлицевых зубьев (табл. 5), т.е.:

$$d_{i+1 \text{ ш}} = d_{i \text{ ш}} + 2 \times \Delta_{ш} = 92 + 2 \times 0,1 = 92,2 \text{ мм}$$

Диаметры двух или трех последних шлицевых режущих зубьев выполняются с подъемом, уменьшенным на 50%.

Толщина шлицев протяжки должна быть равна максимальной ширине впадин шлицевой втулки.

в) Зубья фасочные режущие:

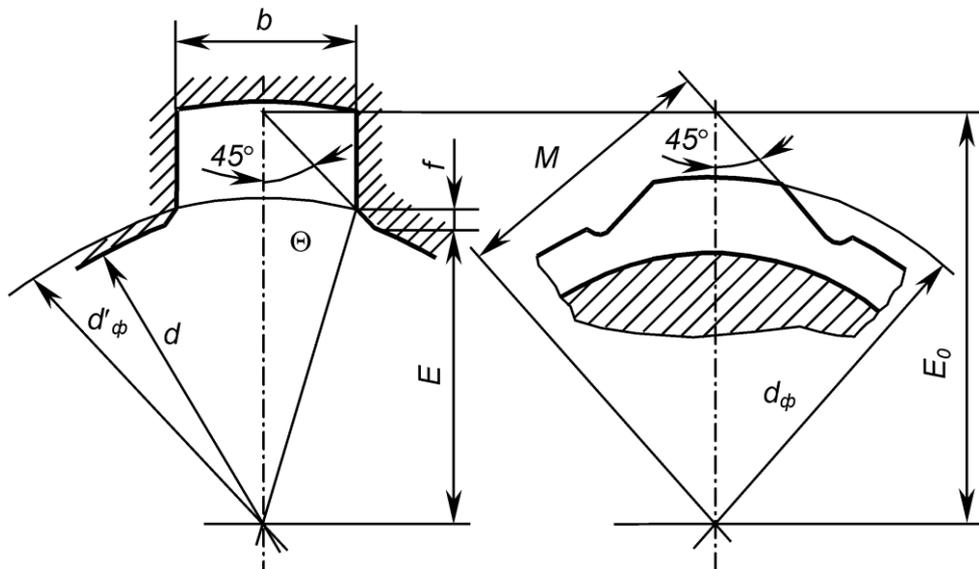


Рис. 2.4 – К расчету фасочных зубьев шлицевой протяжки

Расчет производится по формулам:

$$E = 0,5 \times \sqrt{d^2 - (b + 2 \times f)^2} = 0,5 \times \sqrt{92^2 - (14 + 2 \times 0,5)^2} = 45,384 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{b}{2 \times (E + f)} = \frac{14}{2 \times (45,384 + 0,5)} = 0,153$$

$$E_0 = E + f + 0,5 \times b = 45,384 + 0,5 + 0,5 \times 14 = 52,884 \text{ мм}$$

Наружный диаметр всех фасочных зубьев находится как:

$$d_{\phi} = \frac{b}{\sin \theta} + (0,4 \dots 0,6) = \frac{14}{\sin 8,81^{\circ}} + 0,5 = 91,916 \text{ мм}$$

Контрольные размеры фасочных зубьев составляют:

$$\text{Первого} — M_{1\phi} = (E_0 - f_{\max}) \times \sin 45^{\circ} = (52,884 - 0,7) \times 0,707 = 36,9 \text{ мм}$$

$$\text{Последнего} — M_{\text{н}\phi} = E_0 \times \sin 45^{\circ} = 52,884 \times 0,707 = 37,395 \text{ мм}$$

ПРИМЕЧАНИЕ: Для создания задних углов на боковых фасочных кромках необходимо при шлифовании задних поверхностей поднять задний центр протяжки на 0,15...0,20 мм на 100 мм длины протяжки.

2.9 Число режущих зубьев

1. Круглых:

$$n_{кр} = \frac{Z_d}{\Delta_k} + (1 \dots 2) = \frac{0,671}{0,08} + 1 \approx 10$$

2. Шлицевых:

$$n_{шп} = \frac{Z_D}{\Delta_{ш}} + (1 \dots 2) = \frac{3}{0,1} + 11 \approx 31$$

3. Фасочных:

$$n_{фр} = \frac{f_{max} \times \sin 45^\circ}{\Delta_{ф}} = \frac{0,7 \times 0,707}{0,15} \approx 4$$

2.10 Число калибрующих зубьев

Калибрующие зубья делаются только для круглых и шлицевых участков протяжки. Их количество устанавливается по табл. 6 [7].

$$n_{кк} = 2$$

$$n_{шк} = 3$$

2.11 Диаметр калибрующих зубьев

Калибрующие зубья выполняются одинакового размера.

Диаметр круглых калибрующих зубьев:

$$d_{кк} = d_{max} - a = 92,3 - 0,04 = 92,26 \text{ мм}$$

Диаметр шлицевых калибрующих зубьев:

$$d_{шк} = D_{max} - a = 98,3 - 0,04 = 98,26 \text{ мм}$$

2.12 Длина рабочей части протяжки

1. Длина участка круглых зубьев:

$$l_k = (n_{кр} + n_{кк}) \times t = (10 + 2) \times 22,6 = 271,2 \text{ мм}$$

2. Длина участка шлицевых зубьев:

$$l_{ш} = (n_{шр} + n_{шк}) \times t = (31 + 3) \times 22,109 = 752 \text{ мм}$$

3. Длина участка фасочных зубьев:

$$l_{ф} = n_{фр} \times t = 4 \times 27,078 = 108,3 \text{ мм}$$

4. Общая длина рабочей части:

$$l_p = l_k + l_{ш} + l_{ф} = 271,2 + 752 + 108,3 = 1131,5 \text{ мм}$$

Габаритная длина протяжки равна общей длине рабочей части плюс длины всех остальных конструктивных частей. Рекомендуется габаритную длину протяжки принимать меньшей или равной 1600 мм иначе следует проектировать комплексную протяжку

При центрировании по внутреннему диаметру рекомендуется после фасочных зубьев делать 2...3 круглых калибрующих зуба для окончательного калибрования отверстия. Это должно учитываться при определении габаритной длины протяжки.

$$l_{г} = l_x + l_{ш} + l_{пн} + l_p + l_{зн} = 220 + 100 + 60 + 62,5 + 1131,5 = 1574 \text{ мм}$$

где: $l_г$ — габаритная длина протяжки;

l_x — длина хвостовика (по ГОСТ 4044-70);

$l_{ш}$ — длина шейки;

$l_{пн}$ — длина передней направляющей, которая состоит из длины конусной части и длины цилиндрической части;

l_p — длина рабочей части;

$l_{зн}$ — длина задней направляющей.

2.13 Расчет протяжки на прочность

Действующее напряжение растяжения σ в опасном сечении протяжки определяется выражением:

$$\sigma = \frac{P_z}{F_0 \times \chi} = \frac{59901}{\frac{3,14 \times (91 - 2 \times 4,376)^2}{2} \times 0,5} = 103 \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = 255 \text{ МПа}$$

$$\sigma < [\sigma]$$

где: P_z — главная составляющая силы резания при протягивании, Н;

F_0 — площадь опасного сечения тела протяжки в мм². Опасным сечением является поперечное сечение протяжки на хвостовой части или во впадине первого круглого режущего зуба;

χ — коэффициент учитывающий форму закругления дна впадины в опасном сечении протяжки (табл. 7 [7]).

Рассчитанные значения действующих напряжений растяжения меньше величинами допускаемых напряжений $[\sigma]$.

Определение главной составляющей силы резания при протягивании P_z выполняется по зависимостям:

Для круглых зубьев:

$$P_{ZK} = C_p \times \Delta_K^x \times d_{кр} \times m \times K_\gamma \times K_C \times K_U = 3000 \times 0,08^{0,73} \times 92,26 \times 6,95 \times 1 \times 0,9 \times 1 \\ = 257401 \text{ Н}$$

Для шлицевых зубьев:

$$P_{Zш} = C_p \times \Delta_{ш}^x \times b \times z \times m \times K_\gamma \times K_C \times K_U = 1250 \times 0,1^{0,73} \times 14 \times 10 \times 6,822 \times 1 \times 0,9 \times 1 \\ = 195141 \text{ Н}$$

Здесь Δ_K и $\Delta_{ш}$ — подъем на зуб соответственно для круглых и шлицевых зубьев, мм;

$d_{кр}$ — максимальный диаметр режущего зуба протяжки, мм;

b — максимальная толщина шлица протяжки, мм;

z — число шлицев шлицевой втулки, мм;

m — наибольшее количество одновременно работающих зубьев при протягивании:

Для круглых зубьев:

$$m = \frac{L}{t} + 1 = \frac{125}{22,6} + 1 = 6,531$$

где: L — длина протягиваемого отверстия, мм;

t — шаг зубьев.

Для шлицевых зубьев:

$$m = \frac{L}{t} + 1 = \frac{125}{22,109} + 1 = 6,654$$

Значения коэффициентов C_p и x приведены в табл. 9 [7], а поправочных коэффициентов K_γ , K_C , K_U — в табл. 10 [7].

Значения для круглых зубьев:

C_p	x	K_γ	K_C	K_U
3000	0,73	1	0,9	1

Значения для шлицевых зубьев:

C_p	x	K_γ	K_C	K_U
1250	0,73	1	0,9	1

2.14 Основные технические требования

Технические требования по изготовлению шлицевых протяжек регламентирует ГОСТ 6767-79.

1. Материал протяжек:

Рабочая часть — сталь P6M5, HRC62...65;

Хвостовая часть — сталь 40X, HRC40...47.

2. Размеры центровых отверстий установлены по ГОСТ 14034-74.

3. Шероховатость поверхностей протяжек по ГОСТ 2789-73:
- а) передней и задней, а так же поверхностей ленточек не ниже $R_a=0,32$ мкм;
 - б) поверхность спинки зуба — $R_a = 1,25$ мкм;
 - в) дно стружечных канавок — $R_a = 1,25$ мкм;
 - г) цилиндрическая часть хвостовика — $R_a = 1,25$ мкм;
 - д) рабочий конус центровых отверстий — $R_a = 0,63$ мкм;
 - е) нешлифованные поверхности — $R_a = 5$ мкм.
4. Наибольшие отклонения от расчетного диаметра режущих зубьев (за исключением двух последних) назначены по табл. 11 [7]. Они составляют 20 мкм.
5. Допуск на расчетные наружные диаметры двух последних режущих зубьев и всех калибрующих зубьев протяжек предназначенных для соединений с центрированием по наружному диаметру назначается по табл. 12 [7] (для протяжек предназначенных для обработки отверстий с полем допуска на наружные диаметр по Н12). Допуск равен 10 мкм.
6. Допуск на расчетные наружные диаметры двух последних режущих зубьев и всех калибрующих зубьев протяжек для калибровки внутреннего диаметра отверстия, предназначенных для соединений с центрированием по внутреннему диаметру назначается по табл. 13 [7] (для протяжек предназначенных для обработки отверстий с полем допуска на внутренний диаметр по Н12). Допуск равен 8 мкм.
7. Предельные отклонения от расчетных наружных диаметров двух последних режущих зубьев и всех калибрующих зубьев шлицевой части протяжек (для соединений с центрированием по внутреннему диаметру) и круглой части (для калибровки внутреннего диаметра отверстия) протяжек предназначенных для соединений с центрированием по внутреннему диаметру - по h6 (ГОСТ 25346-82).

8. Накопленная погрешность окружного шага назначается по табл.14 [7]. накопленная погрешность окружного шага протяжек с полем допуска по H12, D9 равна 18 мкм.
9. Допуск на толщину зубьев может быть назначен по табл. 15 [7]. Допуск при способе центрирования по боковым сторонам равен 10 мкм.
10. Отклонение от параллельности боковых сторон зубьев относительно оси протяжки 0,01 на 500 мм длины.
11. Отклонение от симметричности зуба относительно оси протяжки в пределах допуска на толщину зуба.
12. Радиальное биение двух последних режущих и всех калибрующих зубьев в пределах допуска на диаметр калибрующих зубьев. Биение остальных зубьев не более 0,005...0,006 мм.
13. Отклонение от соосности поверхностей наружного и внутреннего диаметров зубьев:
 - при центрировании по боковым сторонам – в пределах половины допуска на внутренний диаметр протяжки.
14. Отклонение углов: $\gamma \pm 2^\circ$; α для режущих зубьев $\pm 30'$; α для чистовых и калибрующих зубьев — $30'$; угла поднутрения боковых кромок $+30'$.
15. Маркировать на шейке хвостовика:
 - обозначение протяжки;
 - номер протяжки в комплекте (в случае их комплексности);
 - величину переднего угла;
 - марку стали рабочей части протяжки.

3 СТРУКТУРНО – ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТНА"

3.1 Построение структурной 3D-модели детали

3.1.1 Построение заготовки

Заготовка для данной детали получается литьем в кокиль. В конструктивной плоскости «Сверху» создаем форму заготовки с привязкой центра к началу координат (рис. 3.1). Вытягиваем этот элемент на 16 мм (рис. 3.2).

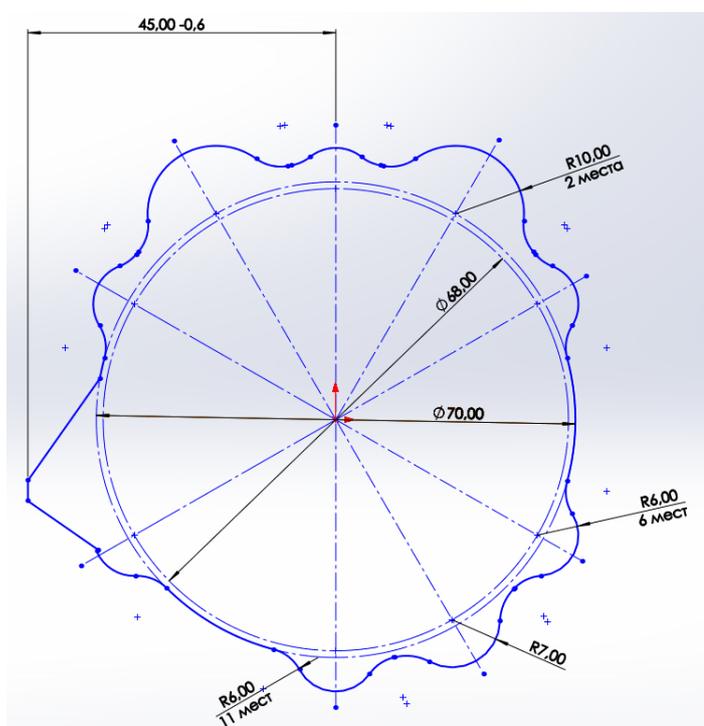


Рис. 3.1 – Эскиз заготовки

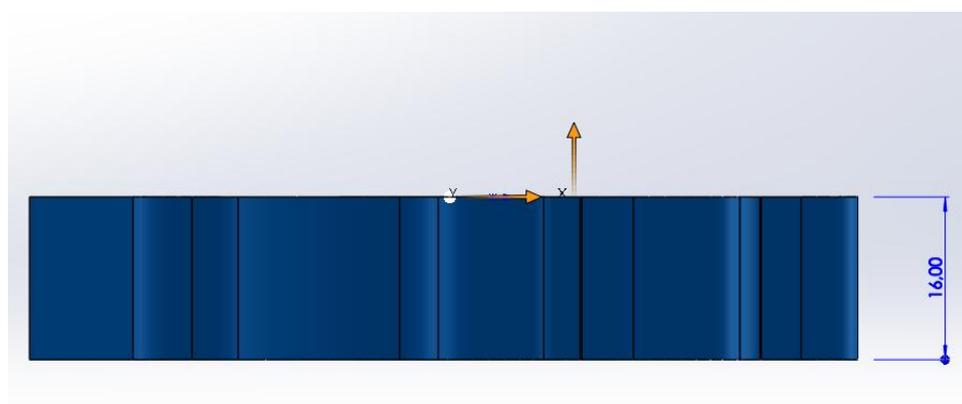


Рис. 3.2 – Вытянутая заготовка

На обратной стороне вытянутой бабышки создаем эскиз (рис. 3.3) из которого достраиваем литейную форму заготовки (рис. 3.4).

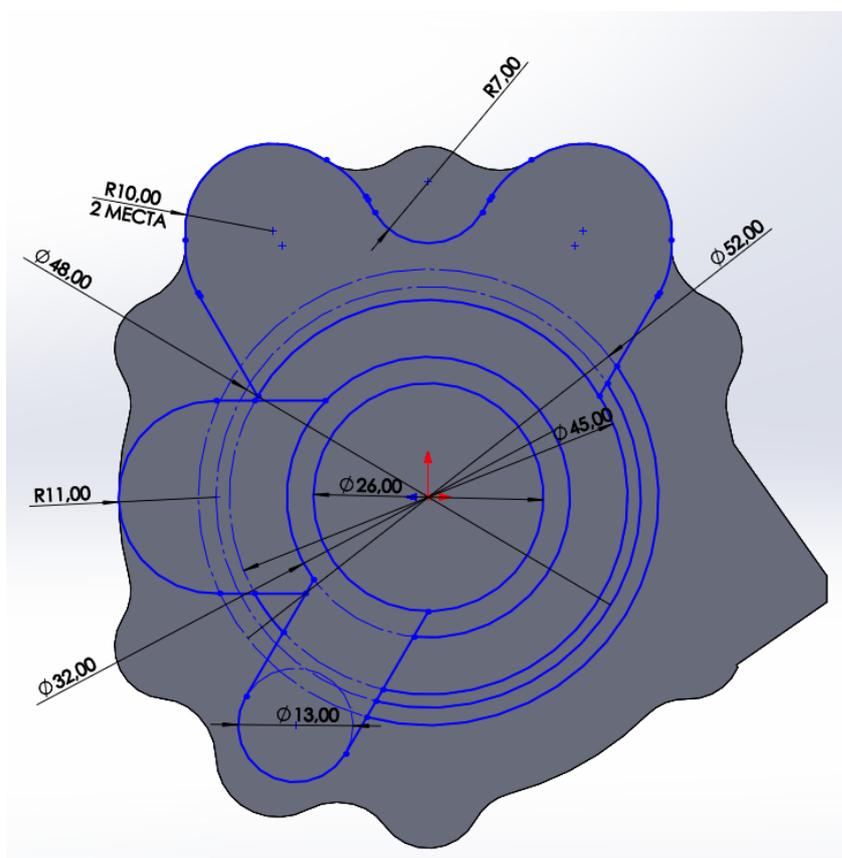


Рис. 3.3 – Эскиз обратной стороны заготовки

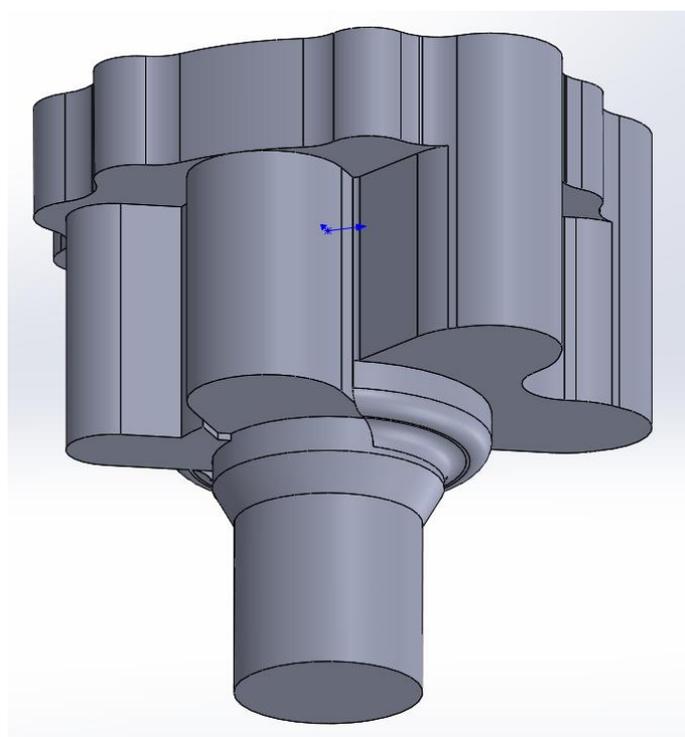


Рис. 3.4 – Вытягивание элементов эскиза

Достраиваем заготовку с помощью построения окружности в плоскости «Спереди» (рис. 3.5).

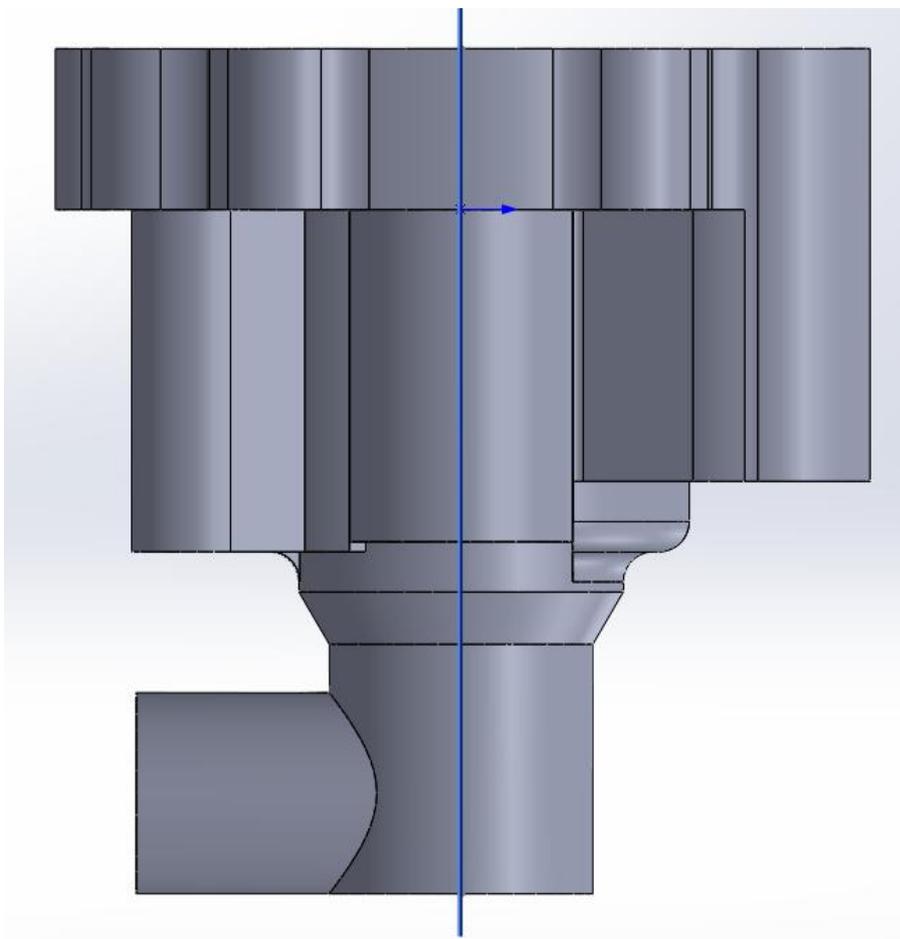


Рис. 3.5 – Завершение построения заготовки

3.1.2 Построение детали

При построении математической модели детали в рабочей среде SolidWorks велось согласование формообразующих операций с операциями технологического маршрута изготовления изделия. За основу был взят усовершенствованный технологический процесс изготовления детали, приведенный в таблице 1.2.

Этапы построения модели в соответствии с маршрутом изготовления приведены на рисунках 3.6 – 3.13.

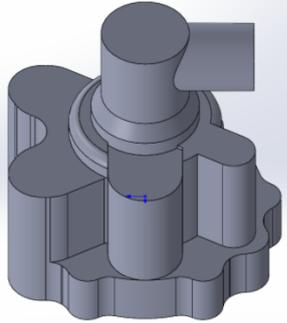
<i>№ опер.</i>	<i>05</i>	
<i>Наименование операции</i>	<i>Вертикально-фрезерная</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3</i>	

Рис. 3.6 – Вертикально-фрезерная операция

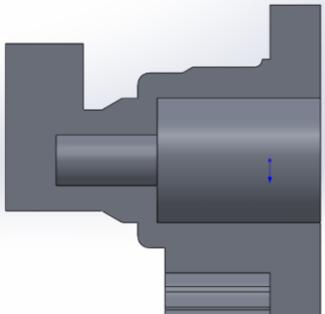
<i>№ опер.</i>	<i>10</i>	
<i>Наименование операции</i>	<i>Токарная обработка с ЧПУ</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10</i>	

Рис. 3.7 – Токарная обработка с ЧПУ

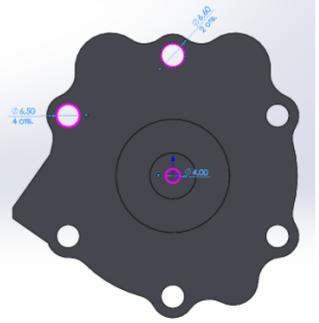
<i>№ опер.</i>	<i>15</i>	
<i>Наименование операции</i>	<i>Комплексная с ЧПУ (Обрабат. центр)</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT</i>	

Рис. 3.8 – Комплексная обработка с ЧПУ

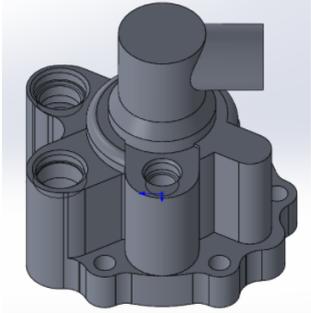
<i>№ опер.</i>	40	
<i>Наименование операции</i>	<i>Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Обработка центр HAAS VF-3YT</i>	

Рис. 3.9 – Комплексная обработка с ЧПУ

<i>№ опер.</i>	45	
<i>Наименование операции</i>	<i>Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Обработка центр HAAS VF-3YT</i>	

Рис. 3.10 – Комплексная обработка с ЧПУ

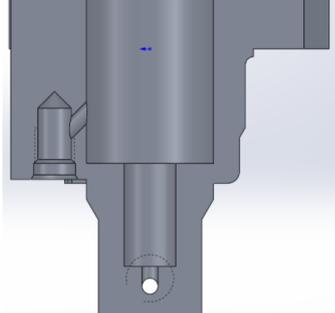
<i>№ опер.</i>	50	
<i>Наименование операции</i>	<i>Вертикально-сверлильная</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Станок вертикально-сверлильный универсальный 2А 135</i>	

Рис. 3.11 – Вертикально-сверлильная

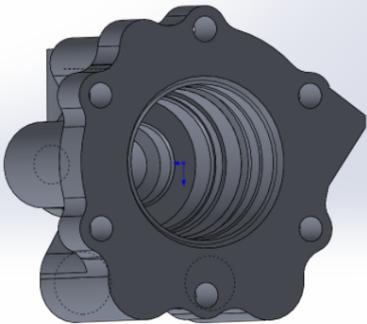
<i>№ опер.</i>	55	
<i>Наименование операции</i>	<i>Токарная обработка с ЧПУ</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10</i>	

Рис. 3.12 – Токарная обработка с ЧПУ

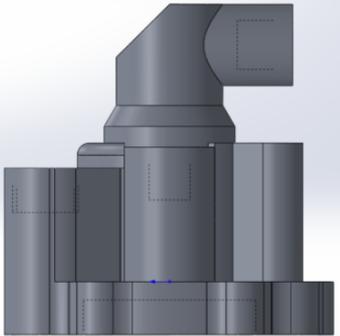
<i>№ опер.</i>	60	
<i>Наименование операции</i>	<i>Комплексная с ЧПУ (Обрабат. центр)</i>	
<i>Оборудование</i>	<i>Вертикальный 5 координатный фрезерный центр Kitamura Mytrinion</i>	

Рис. 3.13 – Комплексная обработка с ЧПУ

Окончательная 3D модель детали и дерево построения представлены на рисунках 3.14, 3.15.

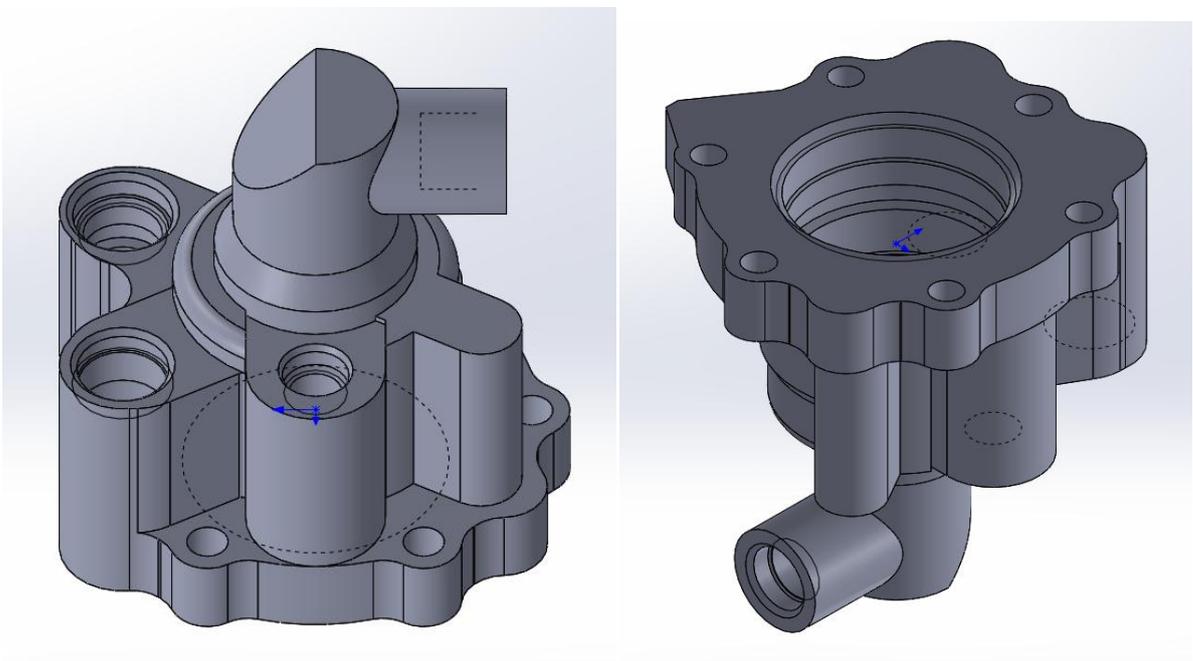


Рис. 3.14 – Окончательная 3D модель

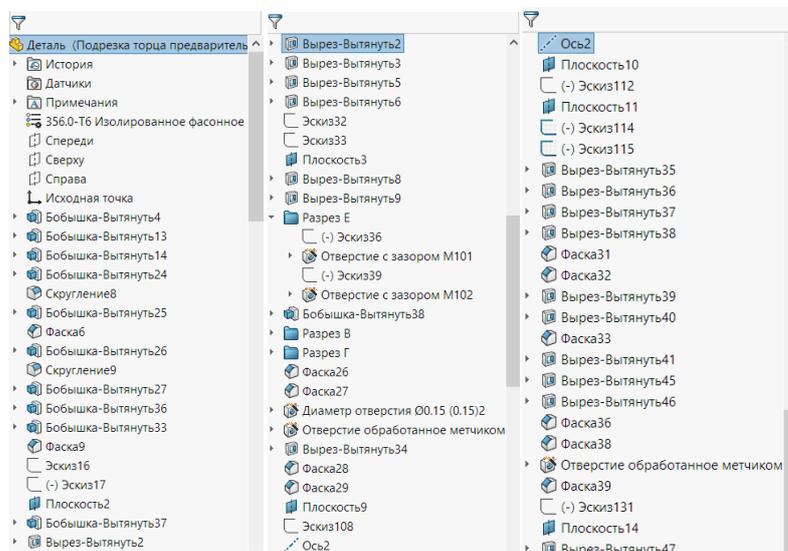


Рис. 3.15 – Дерево построения детали в среде SolidWorks

Процесс построения модели хорошо согласуется с заводским маршрутом обработки так как все элементы детали получаются путем удаления материала из литой заготовки.

3.2 Параметрическое моделирование конфигурации детали с применением табличных данных

Параметризация необходима для создания конфигураций детали. Конфигурации позволяют создать несколько конструктивных вариантов модели детали или сборки в одном документе. Конфигурации можно создавать вручную, а для создания одновременно нескольких конфигураций можно использовать таблицу параметров.

Для параметризации детали:

1) Проставляем размеры для параметров построения твердого тела. Существует два типа размеров:

1. Определяющие, то есть, которые влияют на геометрию изделия, если такие размеры изменить, то соответственно изменится и деталь; такие размеры среда показывает, как правило, черным или синим цветом;

2. Вторичные, то есть справочные, они только отражают числовое значение реального размера детали и не могут быть изменены непосредственно; такие размеры среда показывает серым цветом черным цветом. Параметризовать можно только определяющие размеры.

2) Накладываем ассоциативные связи. Ассоциативность - способность системы запоминать логические связи между операциями построения и геометрическими объектами, которые использовались в качестве опорных в данной операции. (т.е. на которые производились ссылки при построении).

3) Создаём табличные конфигурации детали Для параметризации созданного объекта создается таблица параметров. В SolidWorks используется таблица в формате Excel. Между таблицей и объектом существует взаимосвязь, т.е. при выборе определенного номера объекта

программа обращается к таблице и выдает измененный вид в зависимости от тех данных, которые записаны в конкретной ячейке.

Конфигурации детали «Корпус регулятора ТНА» представлены на рисунке 3.16. Таблица параметров различных конфигураций представлена на рисунке 3.17.

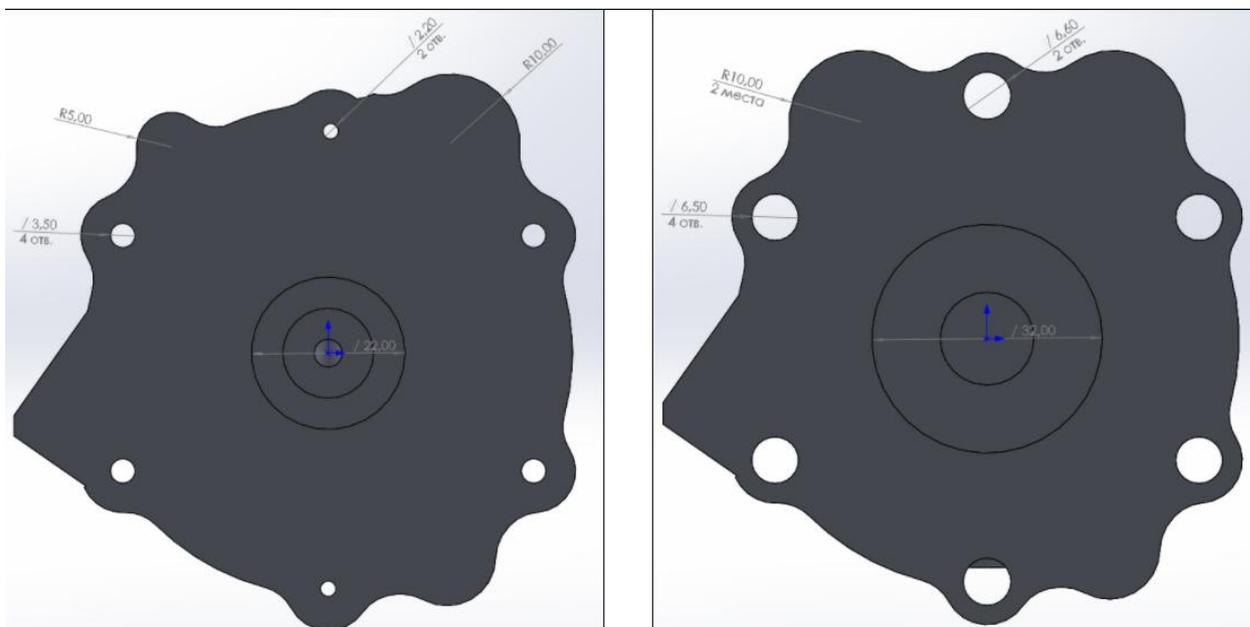


Рис 3.16. – Конфигурации детали

	A	B	C
1	Деталь	Корпус регулятора ТНА	
2			
3	Имя конфигурации	Предварительно	Окончательно
4	D1, мм	22	32
5	d1, мм	3,5	6,5
6	d2, мм	2,2	6,6
7	R1, мм	5	10
8	R2, мм	10	10
9			

Рис. 3.17 - Таблица параметров различных конфигураций

4 РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТОКАРНО – ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТНА"

4.1 Анализ чертежа детали

В качестве исходных данных представлены эскиз заготовки (рис. 4.1) и чертеж детали (рис. 4.2) с указанием размеров, необходимых для выполнения операций, представленных в данном разделе.

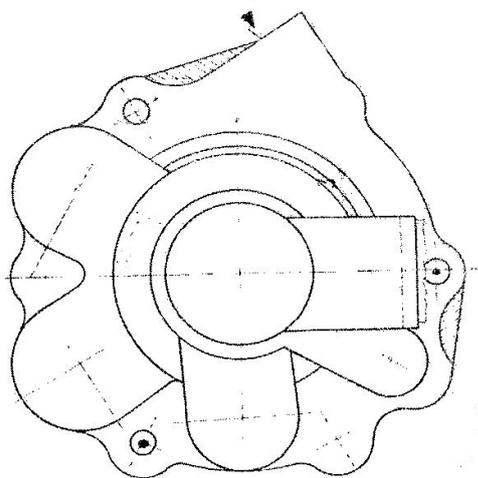


Рис. 4.1 – Эскиз заготовки

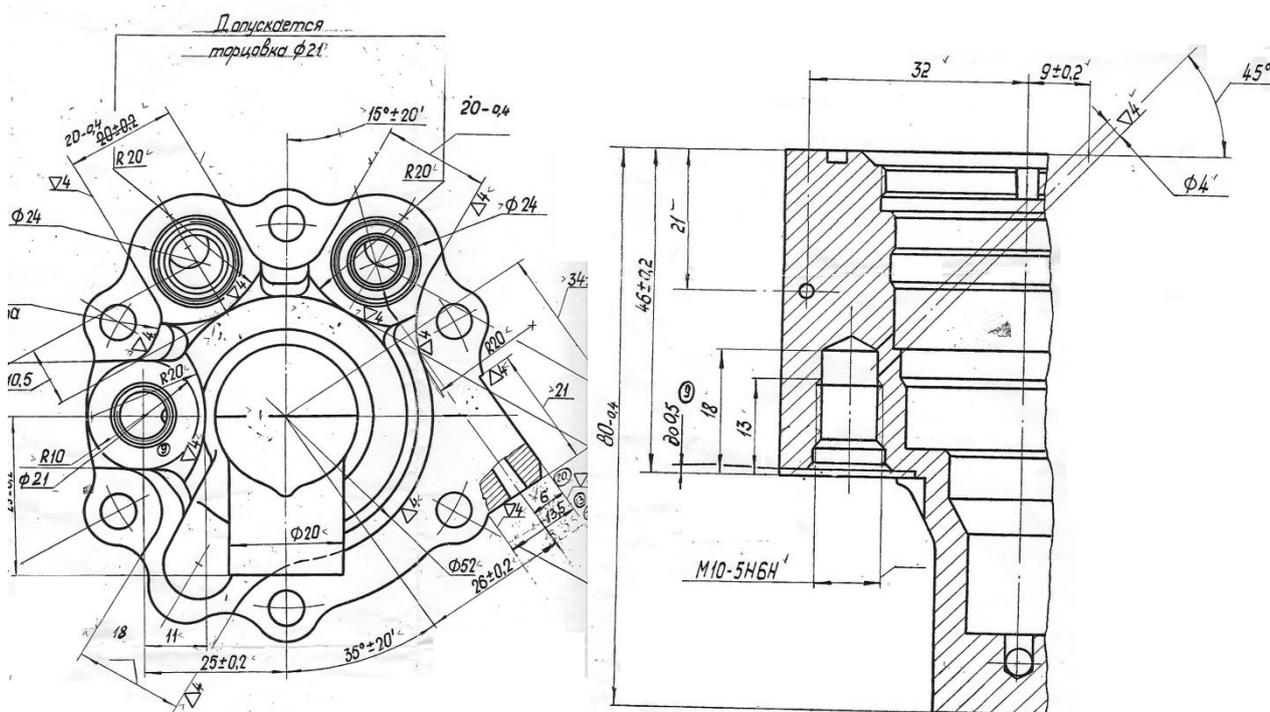


Рис. 4.2 – Чертеж детали «Корпус регулятора ТНА»

Материал заготовки – литейный алюминиевый сплав АЛ9. Заготовка получена литьем в кокиль. Согласно ГОСТ 1583–73 литейный алюминиевый сплав АЛ9 относится к сплавам I группы – силуминам, для которых характерны хорошая жидкотекучесть, малая линейная усадка (0,9 – 1 %), стойкость к образованию трещин и высокая герметичность.

Для проведения операций токарной обработки, деталь закрепляется в специальном приспособлении, установленном в трехлапчатый патрон. Заготовка имеет сложную форму, из-за чего САМ система не может корректно её отобразить для выполнения токарной операции. Поэтому, принимается условная заготовка – тело вращения. Для выполнения фрезерной операции применяется оснастка с зажимным устройством и установкой на палец.

4.2 Назначение технологических переходов и выбор инструмента

В данной работе составлены две операционные карты обработки детали «Корпус регулятора ТНА», проводящиеся на двух наладках.

Токарная обработка состоит из 8 переходов.

Фрезерная обработка состоит из 7 переходов.

4.2.1 Токарная обработка

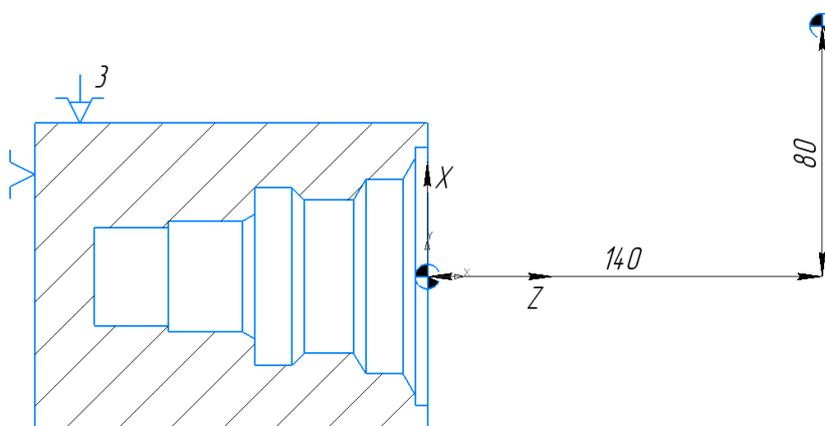


Рис. 4.3 – Вариант назначения нулевой точки детали и положения точки смены инструмента

- 1) Подрезать торец в размер 25, резец подрезной правый (пластина – CNMG 12 04 08)
- 2) Центровать отверстие, сверло центровочное Ø12 (материал – быстрорежущая сталь P6M5)
- 3) Сверлить отверстие Ø7 на глубину 27 мм (материал – P6M5)
- 4) Точить внутренний контур предварительно, согласно чертежу, резец черновой правый (пластина – CNMG 12 04 08)
- 5) Точить внутренний контур окончательно, согласно чертежу, резец чистовой правый (пластина – DCMT 11 T3 04)
- 6) Расточить карман Ø14,5, резец канавочный (пластина – DCMT 11 T3 04)
- 7) Развернуть отверстие Ø8 на глубину 27 мм, развертка Ø8 (материал – P6M5)
- 8) Нарезать резьбу M14x1,5 5H6H, резец резьбовой (пластина – R166.0L-16MM01-100)

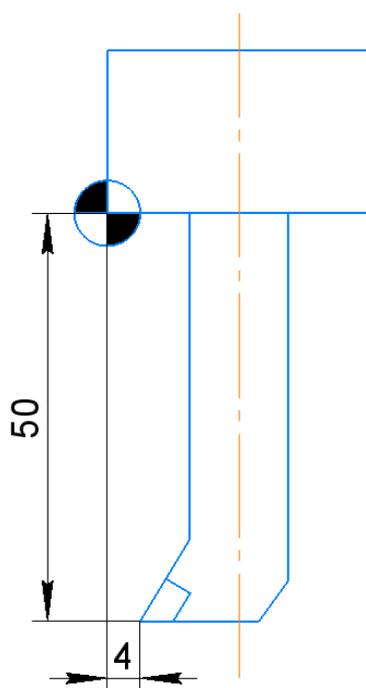
Расчёт режимов резания производился интегрированным модулем расчёта MasterCAM на основании рекомендованных режимов обработки каталога инструмента компании SANDVIK [17] и справочников технолога-машиностроителя [4] и инструментальщика [3].

Операционная карта для токарной обработки детали

Разработал	Петров Н.М.	2ДЛА-4ДБ-322	Кафедра ТПЭДЛА			
			Корпус регулятора ТНА			
			Операция	№	Материал	
			Токарная с ЧПУ	140	АЛ9-Т6	
			Вид, габариты заготовки		Твердость	
			Литье в кокиль		70 МПа	
			Оборудование, устройство с ЧПУ		№ программы	
			Токарный MDW 10/20		00001	

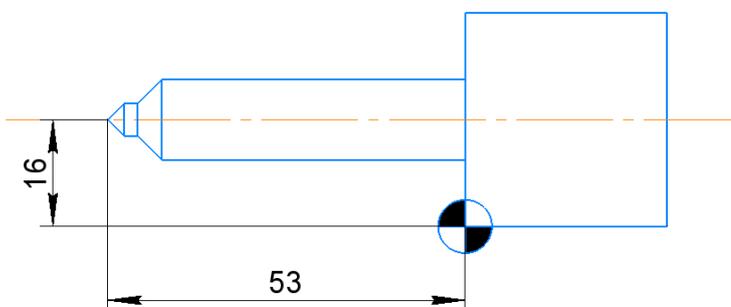
1. Подрезать торец в размер 25, резец подрезной правый

Режущая пластина	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
CNMG 12 04 08	10.4	0,2	550



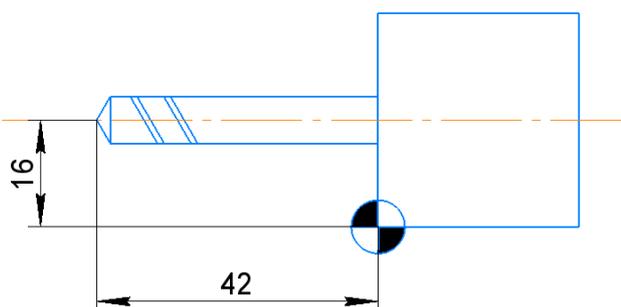
2. Центровать отверстие, сверло центровочное Ø12 (материал – быстрорежущая сталь)

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	21,1	0,2	560



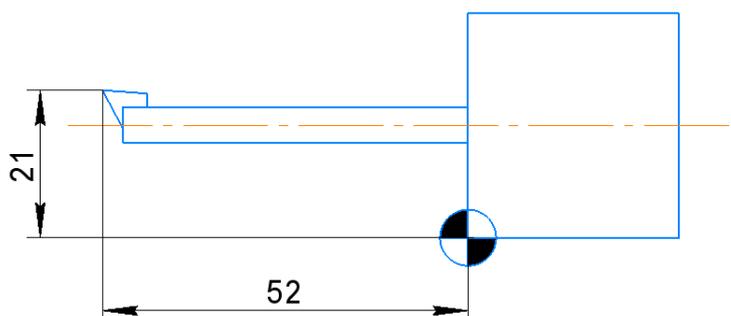
3. Сверлить отверстие Ø7 на глубину 27 мм

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	20,7	0,2	940



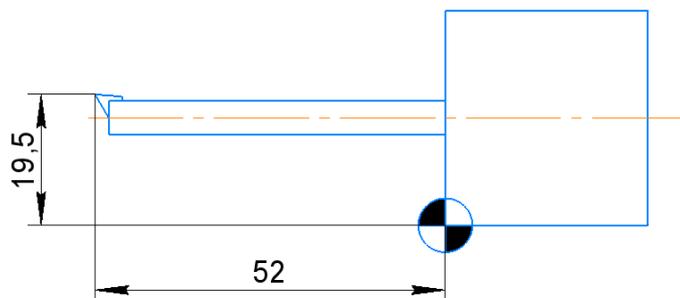
4. Точить внутренний контур предварительно, согласно чертежу, резец черновой правый

Режущая пластина	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
CNMG 12 04 08	7,8	0,3	620



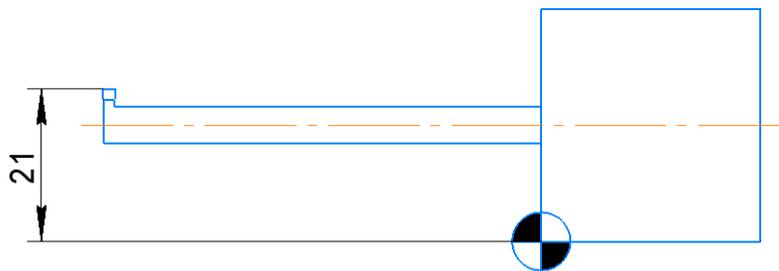
5. Точить внутренний контур окончательно, согласно чертежу, резец чистовой правый

Режущая пластина	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
DCMT 11 T3 04	9,5	0,2	760



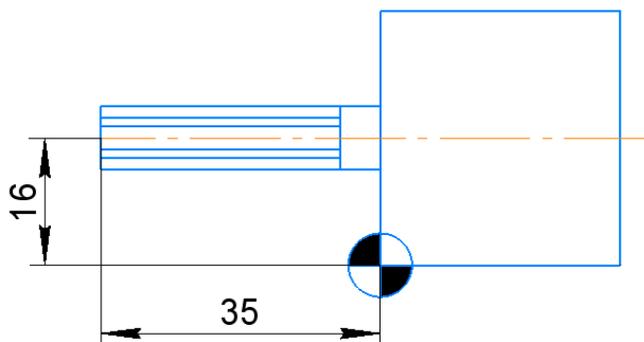
6. Расточить карман $\varnothing 14,5$, резец канавочный

Режущая пластина	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
DCMT 11 T3 04	8,8	0,1	560



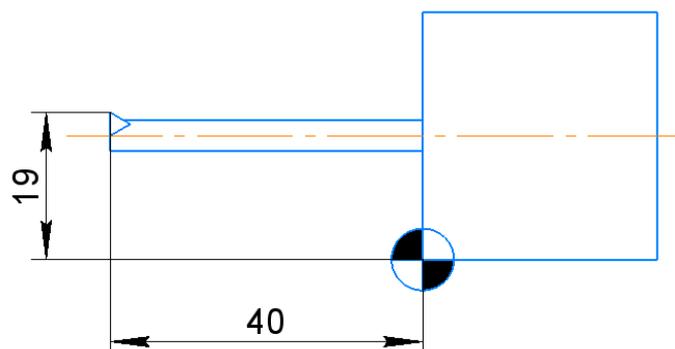
7. Развернуть отверстие $\varnothing 8$ на глубину 27 мм, развертка $\varnothing 8$

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	18,1	0,2	720



8. Нарезать резьбу M14x1,5 5H6H, резец резьбовой (пластина – CNMG 12 04 08)

Режущая пластина	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
CNMG 12 04 08	8,4	1,5	560



4.2.2 Фрезерная обработка

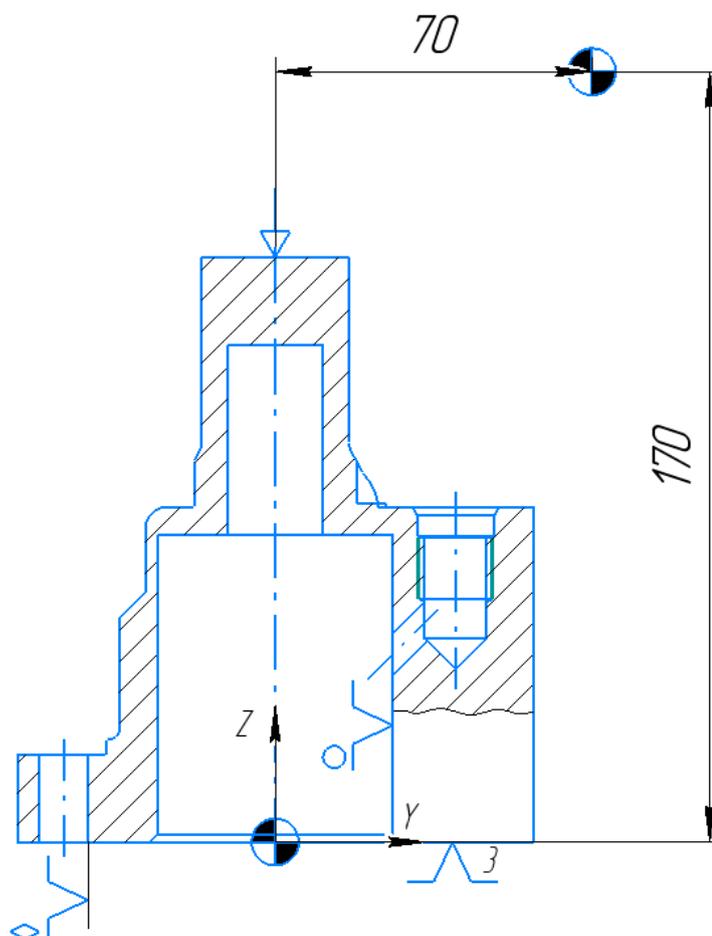
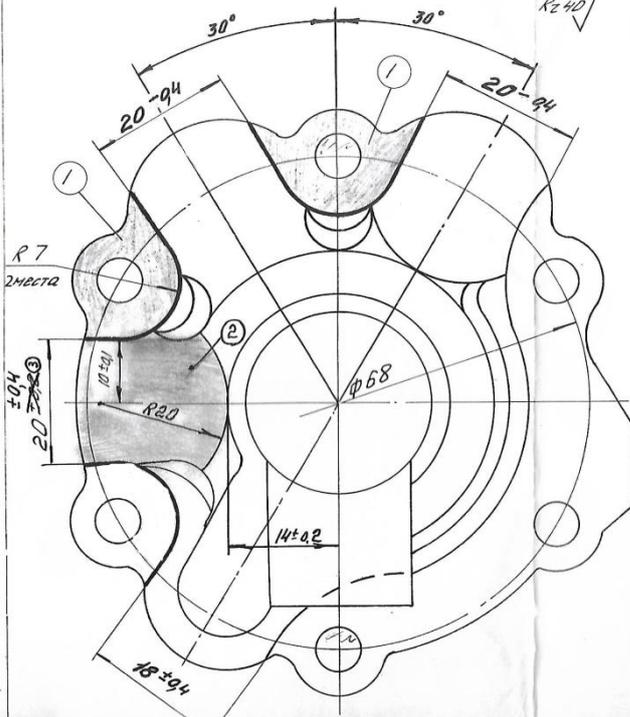
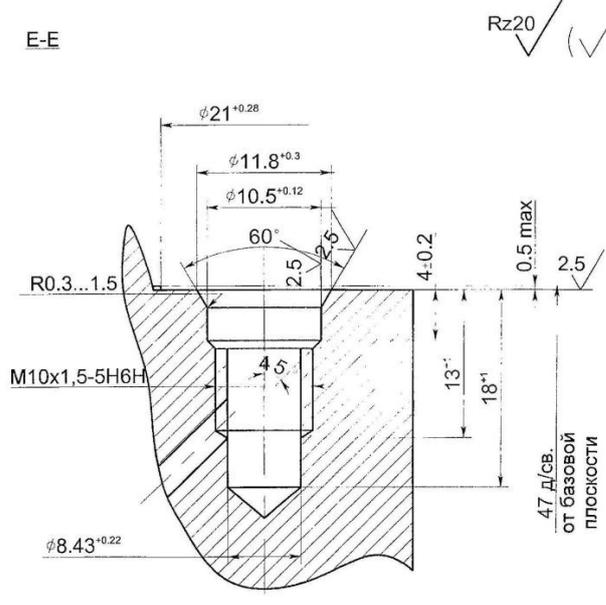


Рис. 4.4 – Вариант назначения нулевой точки детали и положения точки смены инструмента

- 1) Фрезеровать карман, концевая фреза Ø6 (материал - P6M5)
- 2) Фрезеровать карман, концевая фреза Ø5 (материал - P6M5)
- 3) Фрезеровать карман, концевая фреза Ø5 (материал - P6M5)
- 4) Сверлить отверстие Ø8,5, сверло Ø8 (материал – P6M5)
- 5) Зенкеровать отверстие Ø8,5, зенкер Ø8,5 (материал – P18)
- 6) Зенкеровать отверстие Ø10,5, зенкер Ø10,5 (материал – P18)
- 7) Нарезать резьбу M10x1,5 5H6H, метчик M10x1,5 (материал – P6M5)

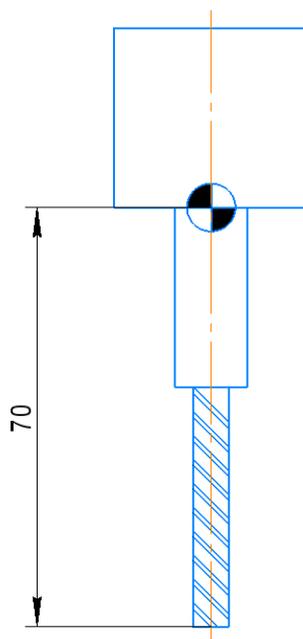
Расчёт режимов резания производился интегрированным модулем расчёта MasterCAM на основании рекомендованных режимов обработки каталога инструмента компании SANDVIK [17] и справочников технолога-машиностроителя [4] и инструментальщика [3].

Операционная карта для фрезерной обработки детали

Разработал	Петров Н.М.	2ДЛА-4ДБ-322	Кафедра ТПЭДЛА			
 <p>E-E</p>			Корпус регулятора ТНА			
			Операция	№	Материал	
			Фрезерная с ЧПУ	120	АЛ9-Т6	
			Вид, габариты заготовки		Твердость	
			Литье в кокиль		70 МПа	
Оборудование, устройство с ЧПУ		№ программы				
			Обработывающий центр HAAS VF-3YT	00002		

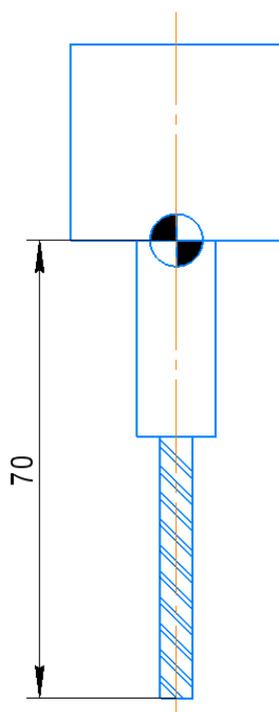
1. Фрезеровать карман, концевая фреза Ø6

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	47,1	0,05	2500



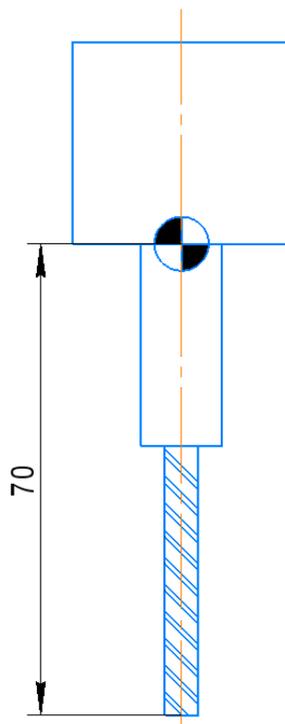
2. Фрезеровать карман, концевая фреза Ø5

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	39,3	0,05	2500



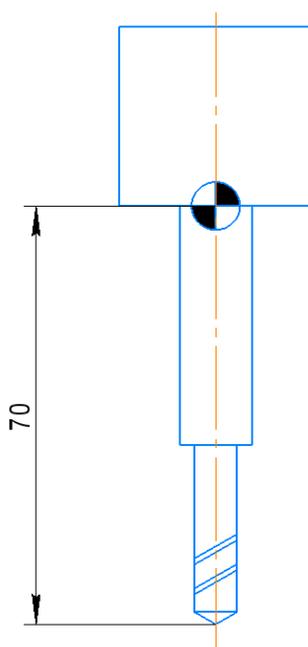
3. Фрезеровать карман, концевая фреза Ø5

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	39,3	0,05	2500



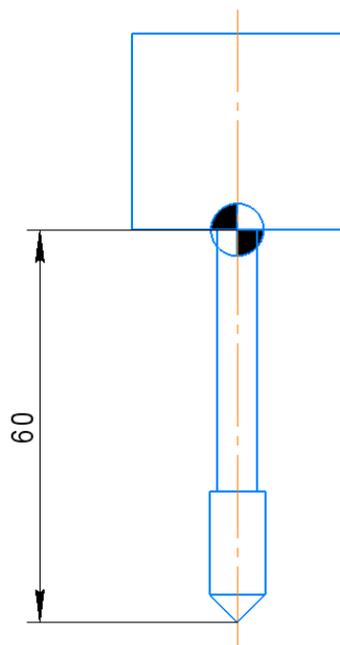
4. Сверлить отверстие Ø8,5, сверло Ø8

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P6M5	22,6	0,1	900



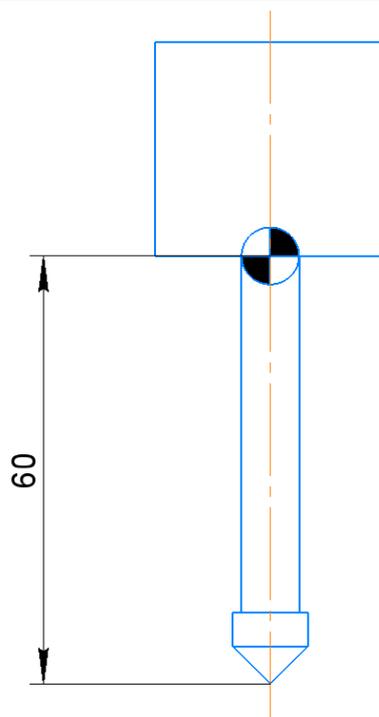
5. Зенкеровать отверстие $\text{Ø}8,5$, зенкер $\text{Ø}8,5$

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P18	24	0,1	900



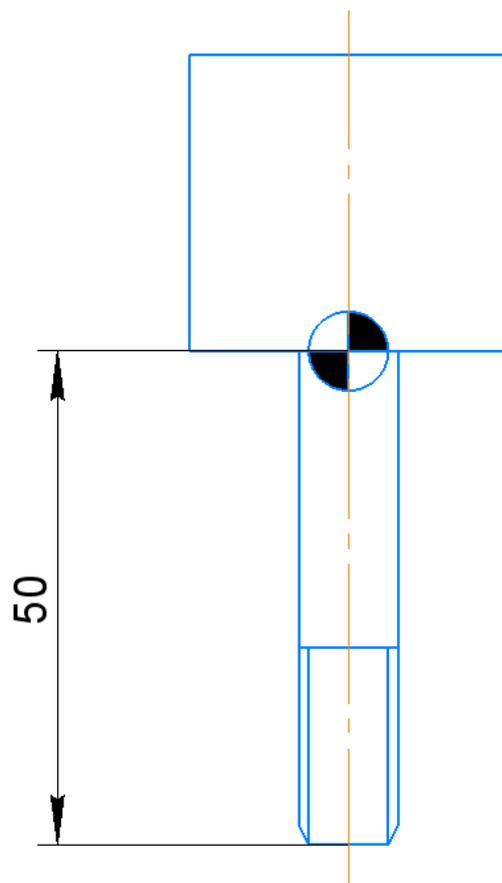
6. Зенкеровать отверстие $\text{Ø}10,5$, зенкер $\text{Ø}10,5$

Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
P18	30	0,08	910



7. Нарезать резьбу М10х1,5 5Н6Н, метчик М10х1,5

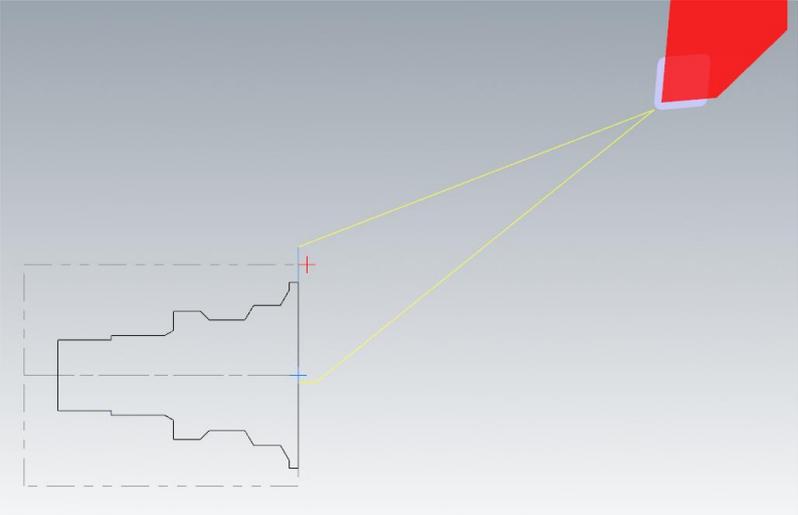
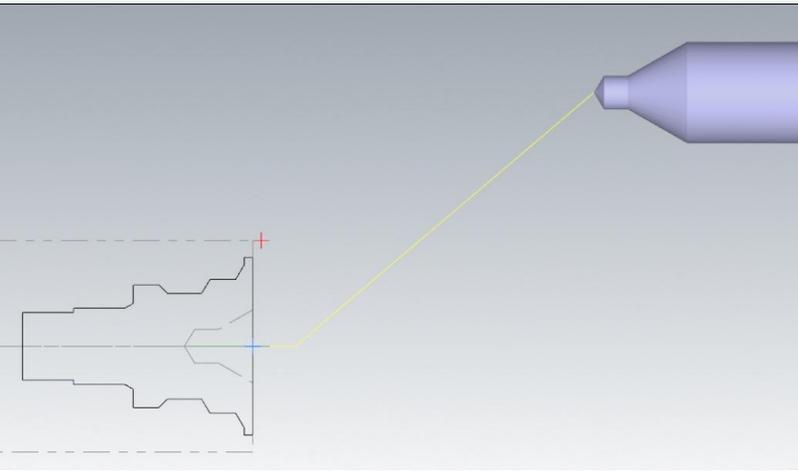
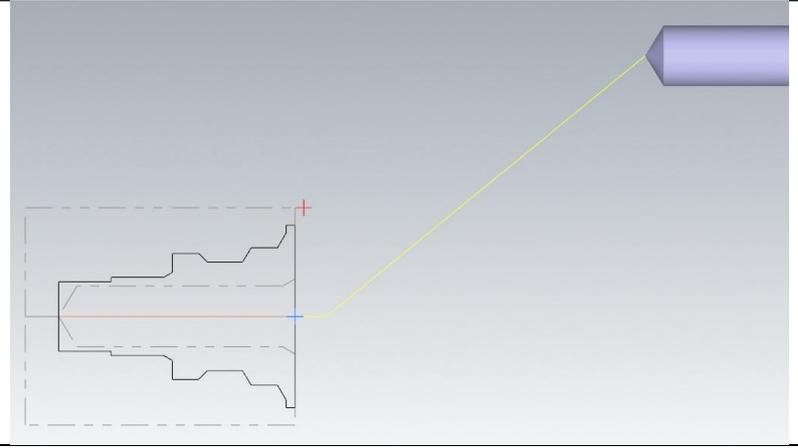
Материал	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
Р6М5	2,8	1	90



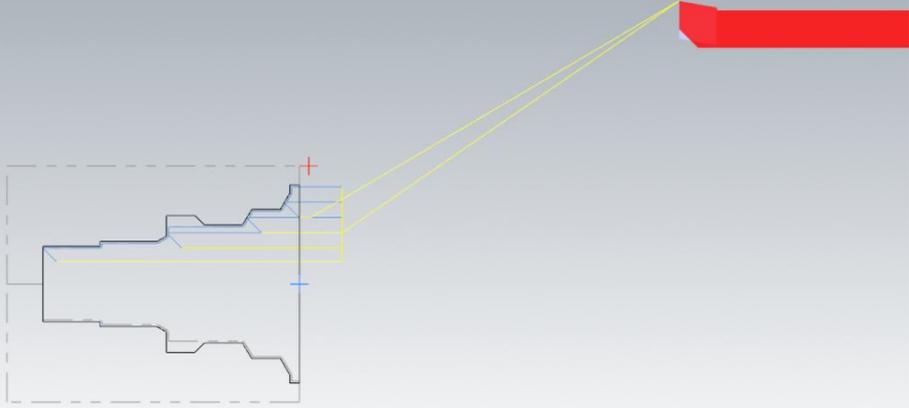
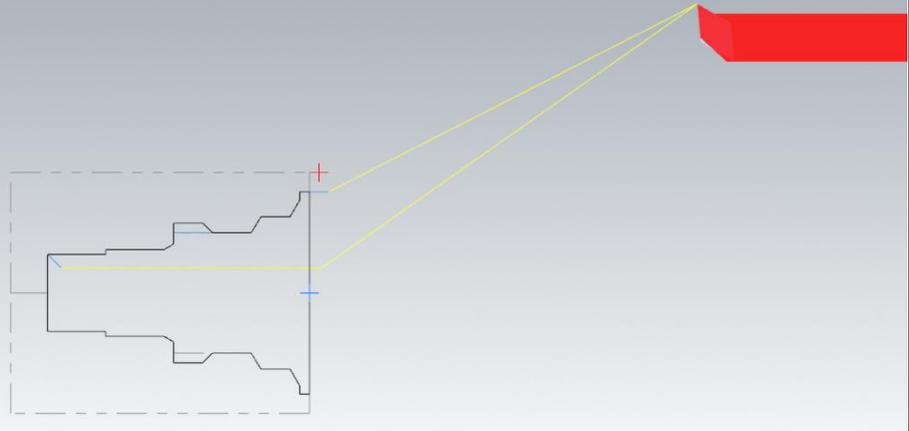
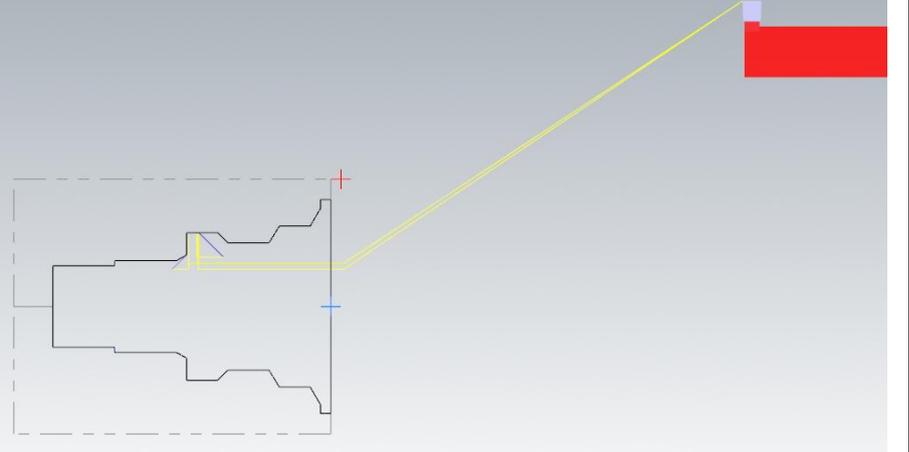
4.3 Тестирование управляющей программы

4.3.1 Эскизы траекторий обработки по переходам на токарной операции

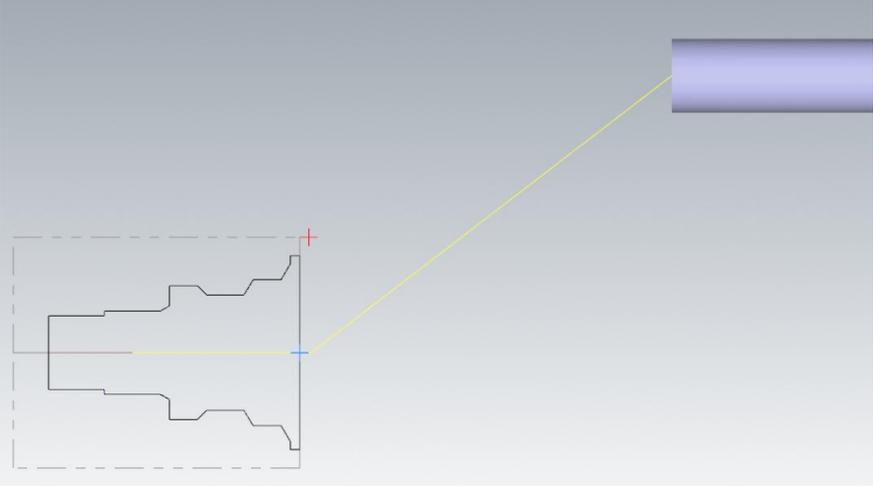
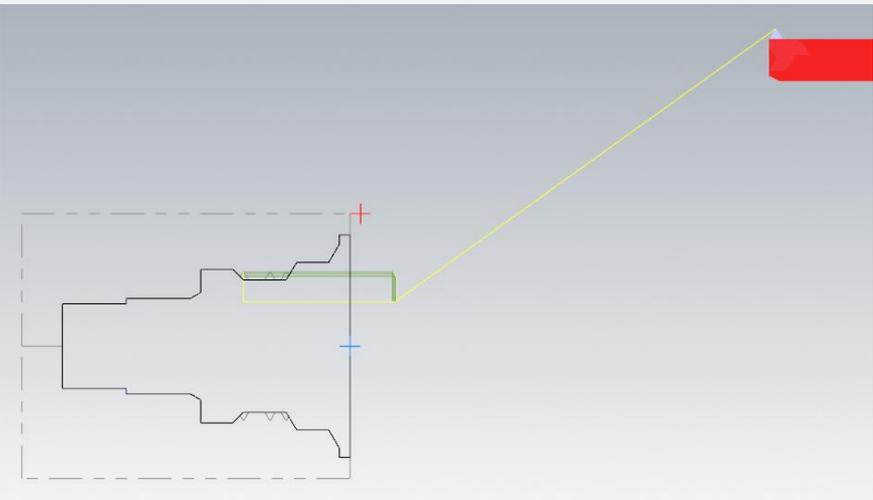
Таблица 4.1 – Эскизы траекторий токарной операции

<p>Подрезать торец в размер 25</p>	
<p>Центровать отверстие</p>	
<p>Сверлить отверстие Ø7 на глубину 27 мм</p>	

Продолжение таблицы 4.1

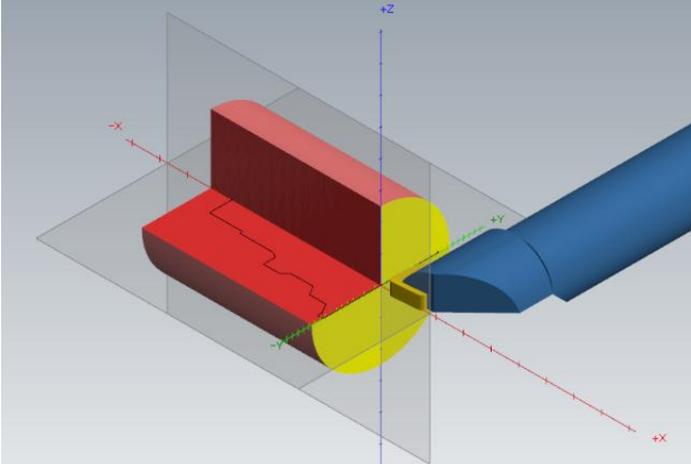
<p>Точить внутренний контур предварительно</p>	
<p>Точить внутренний контур окончательно</p>	
<p>Расточить карман Ø 14,5</p>	

Продолжение таблицы 4.1

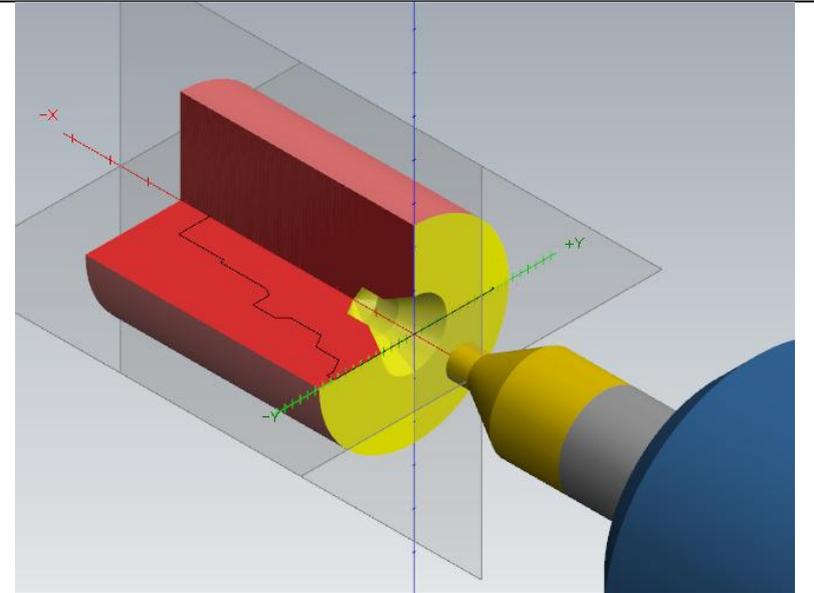
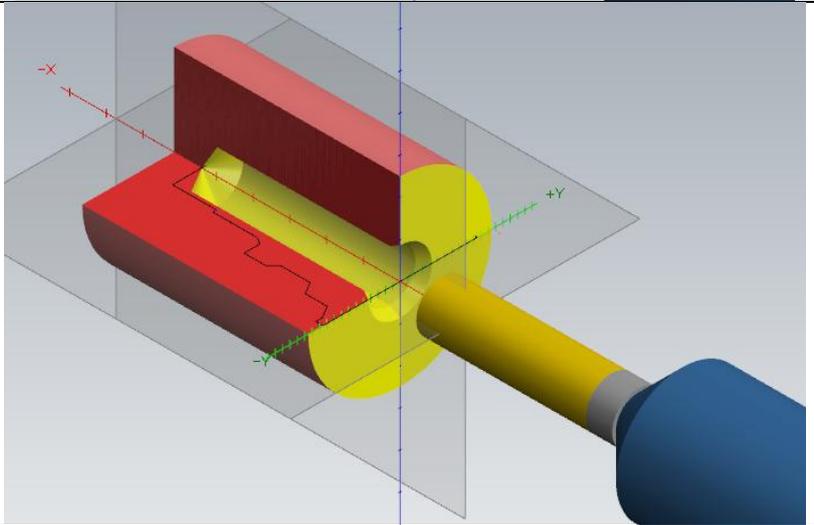
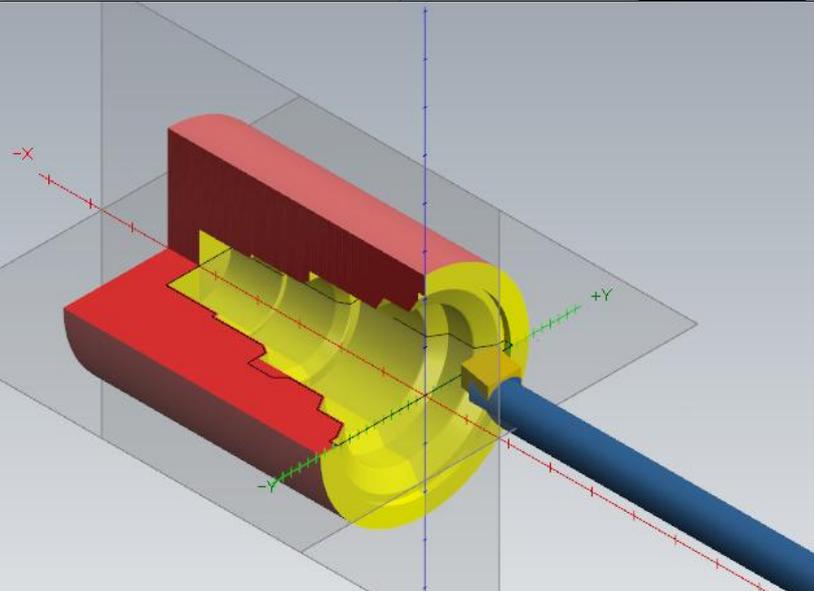
<p>Развернуть отверстие Ø8 на глубину 27 мм</p>	
<p>Нарезать резьбу M14x1,5 5H6H</p>	

4.3.2 Тестирование управляющей программы в модуле «Верификация» на токарной операции

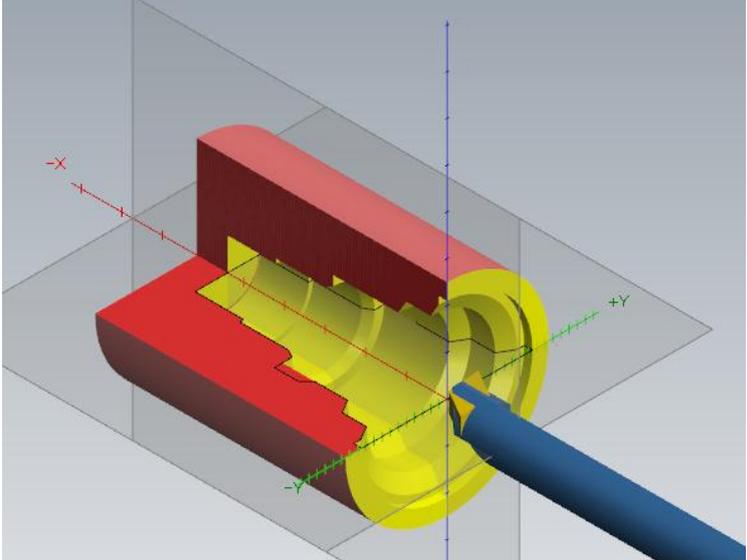
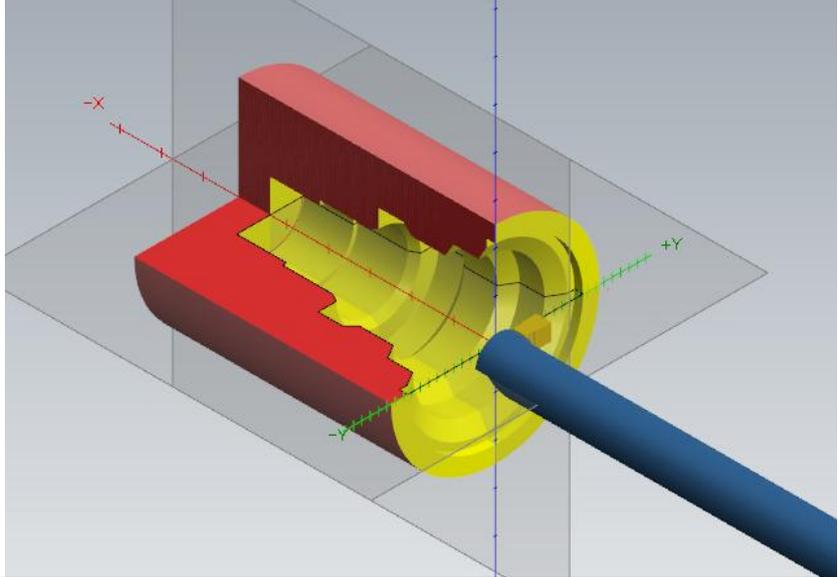
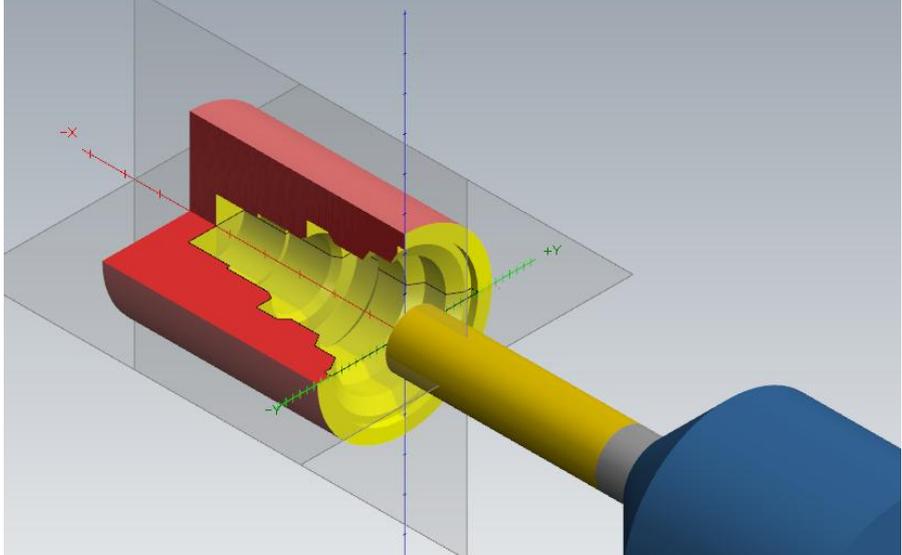
Таблица 4.2 – Верификация детали

<p>Подрезать торец в размер 25</p>	
------------------------------------	--

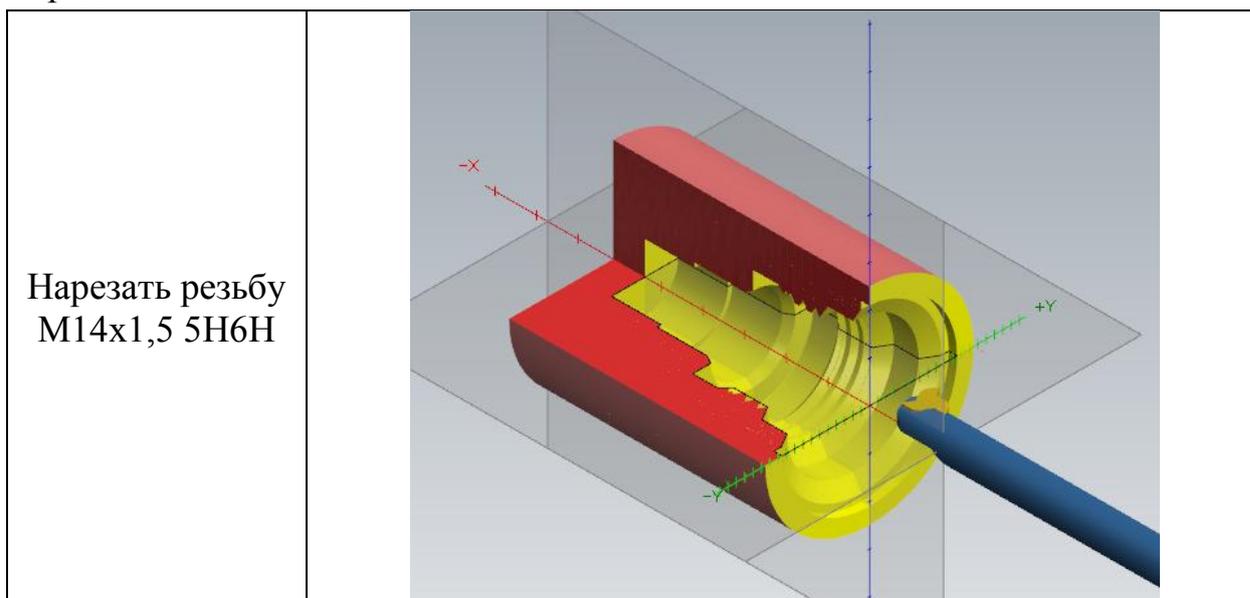
Продолжение таблицы 4.2

<p>Центровать отверстие</p>	
<p>Сверлить отверстие $\varnothing 7$ на глубину 27 мм</p>	
<p>Точить внутренний контур предварительно</p>	

Продолжение таблицы 4.2

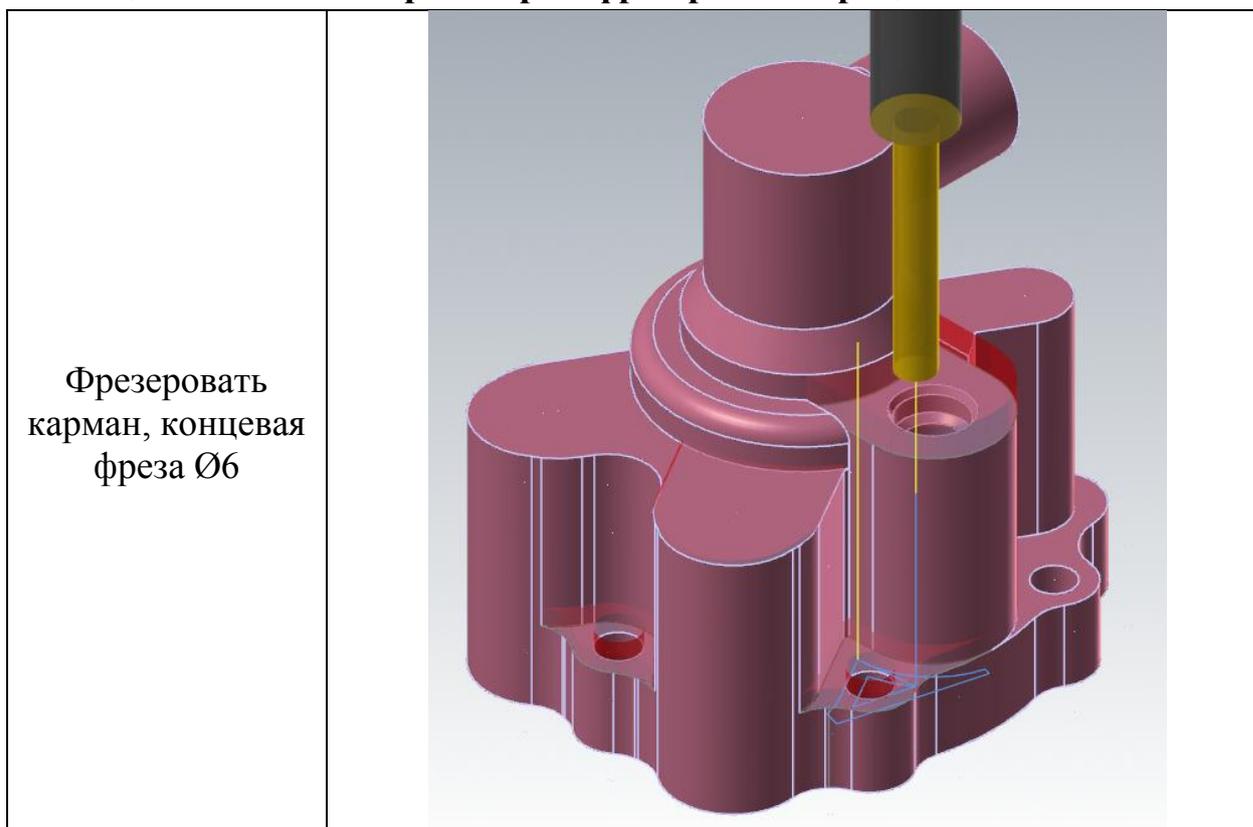
<p>Точить внутренний контур окончательно</p>	
<p>Расточить карман $\varnothing 14,5$</p>	
<p>Развернуть отверстие $\varnothing 8$ на глубину 27 мм</p>	

Продолжение таблицы 4.2



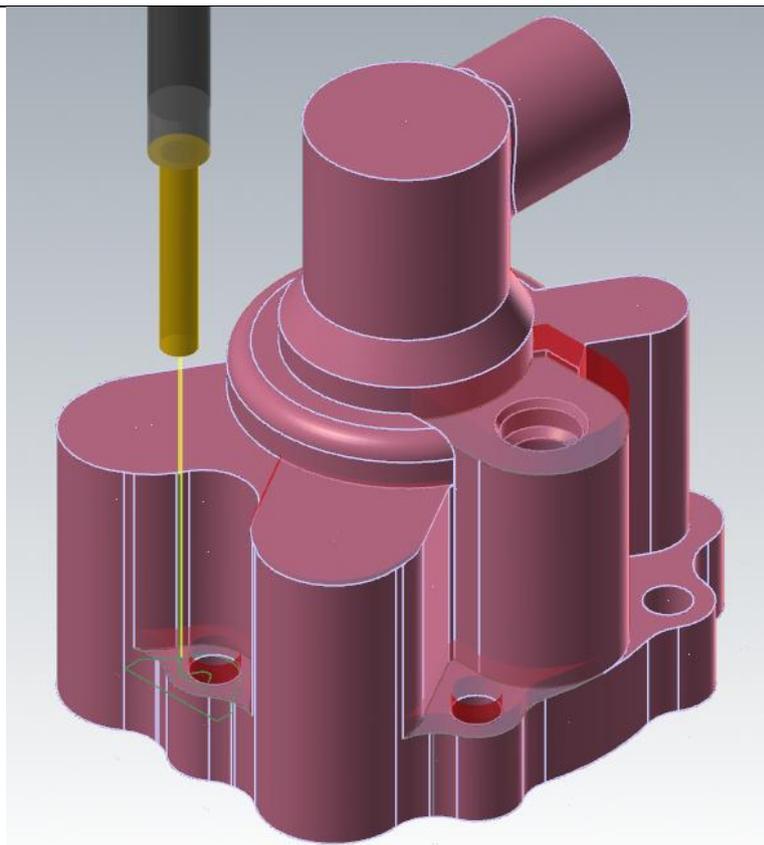
4.3.3 Эскизы траекторий обработки по переходам на фрезерной операции

Таблица 4.3 – Эскизы траекторий фрезерной операции

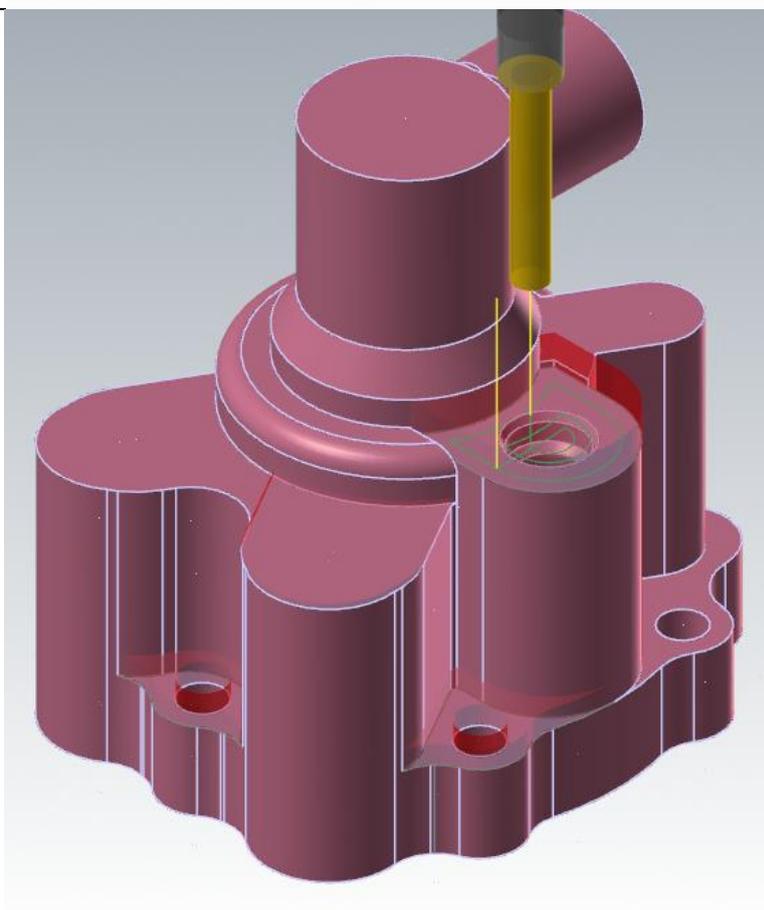


Продолжение таблицы 4.3

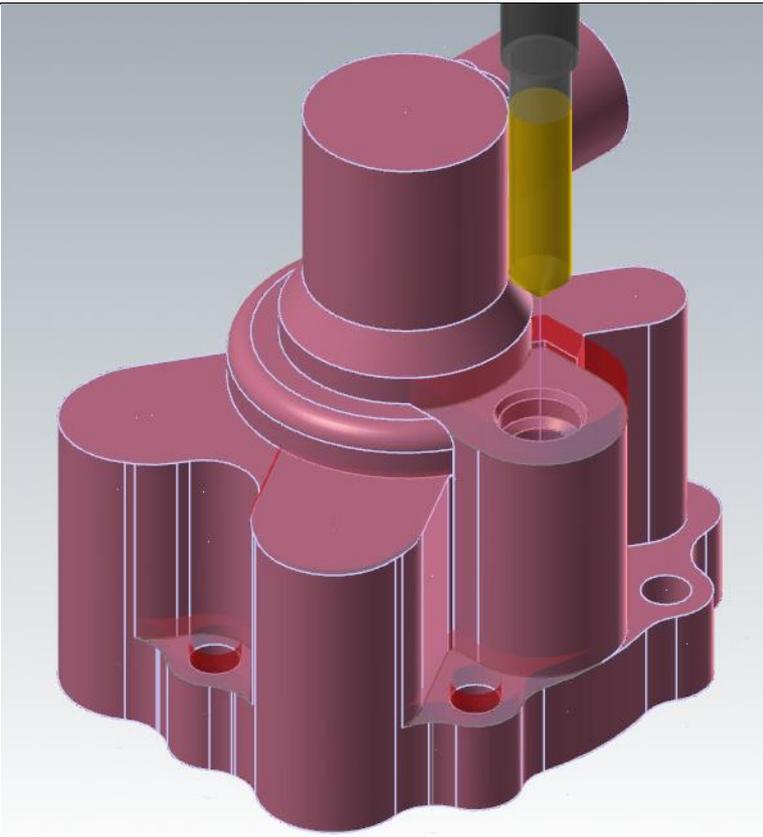
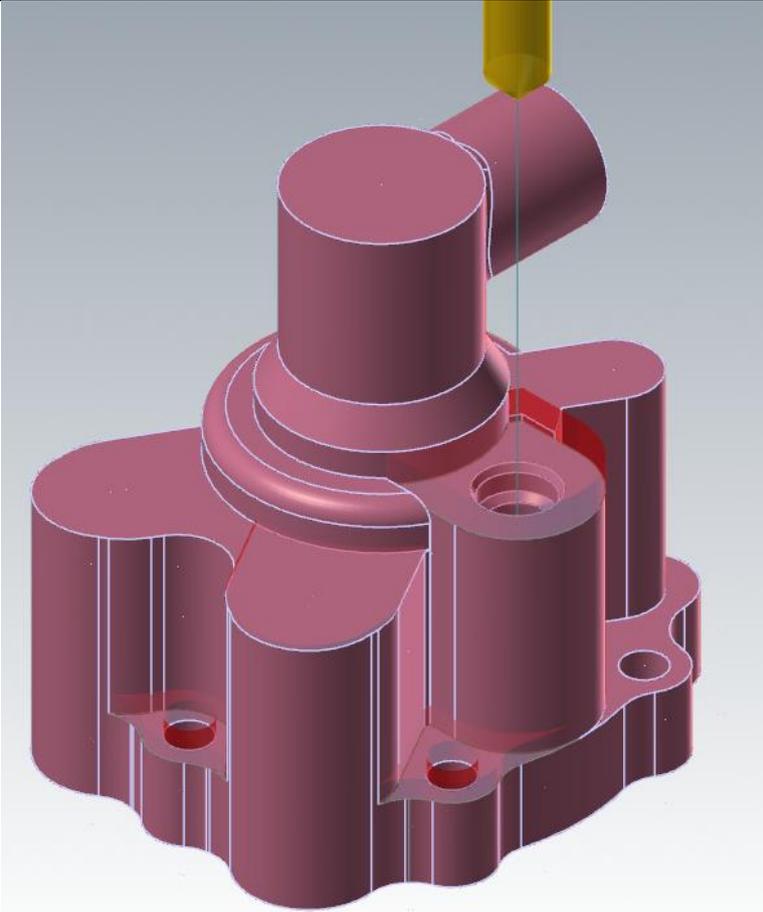
Фрезеровать
карман,
концевая фреза
Ø5



Фрезеровать
карман,
концевая фреза
Ø5

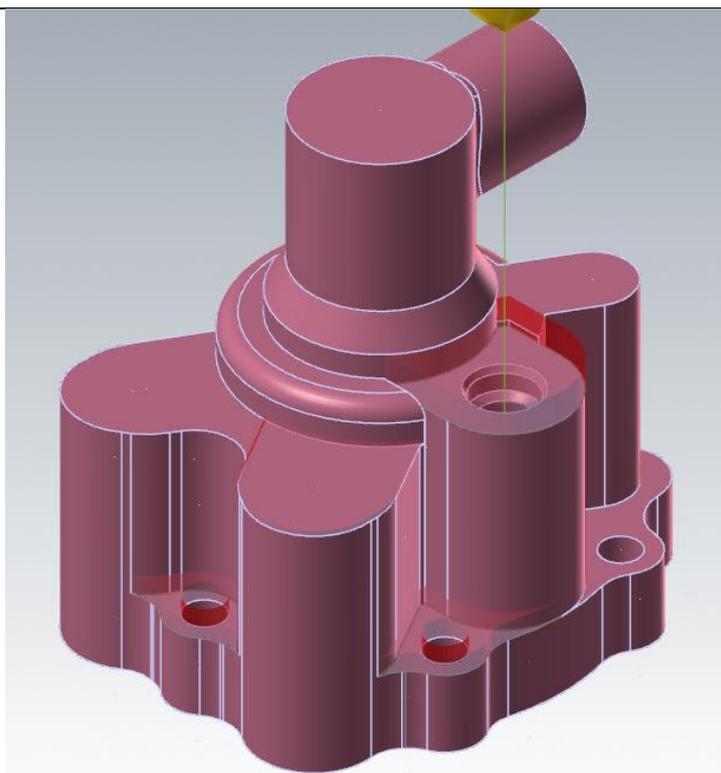


Продолжение таблицы 4.3

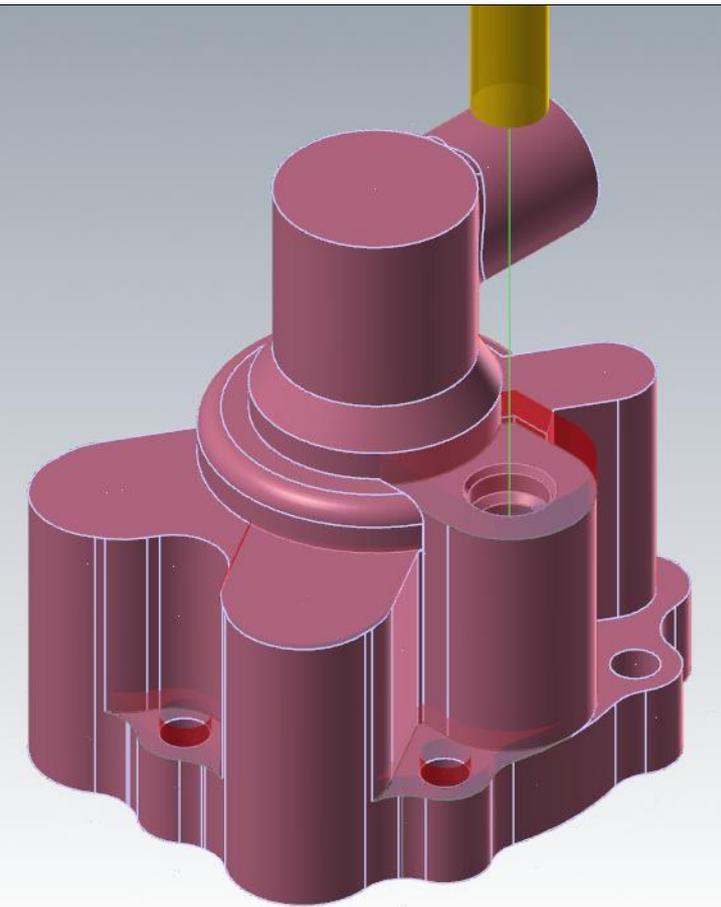
<p>Сверлить отверстие Ø8,5</p>	 A 3D CAD model of a complex mechanical part, colored in a reddish-pink hue. The part features a central vertical shaft with a wider diameter section at the top. A yellow drill bit is shown in the process of drilling a hole into the side of the part. The background is a light gray gradient.
<p>Зенкеровать отверстие Ø8,5</p>	 A 3D CAD model of the same mechanical part as in the first image. A yellow reamer is shown finishing a hole in the side of the part. The hole is now more precisely defined. The background is a light gray gradient.

Продолжение таблицы 4.3

Зенкеровать
отверстие
Ø10,5

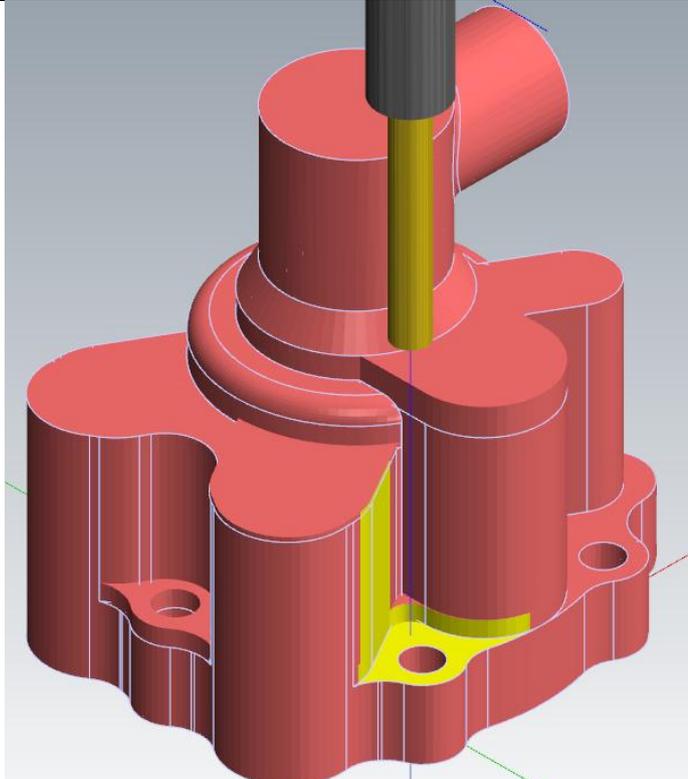
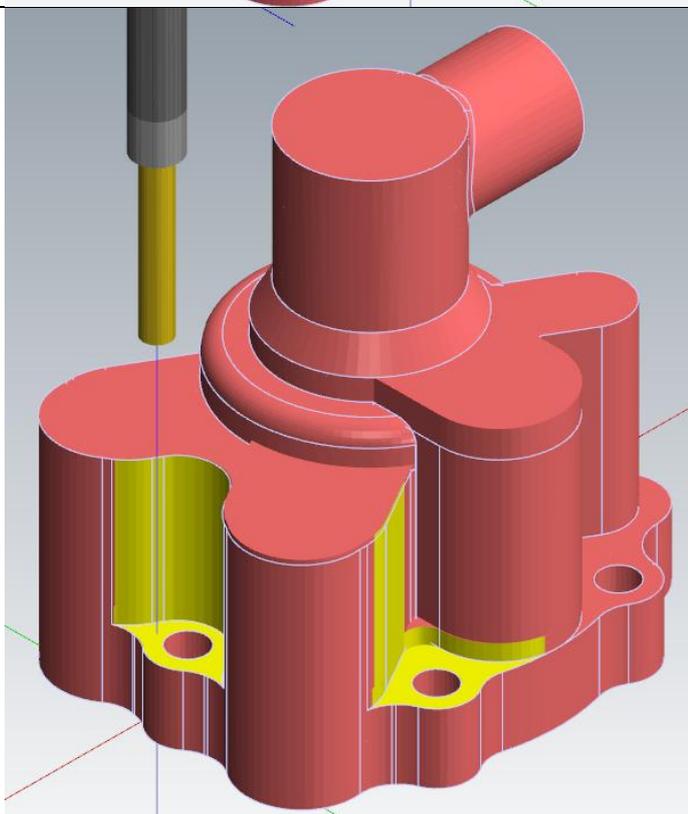


Нарезать
резьбу M10x1,5
5H6H

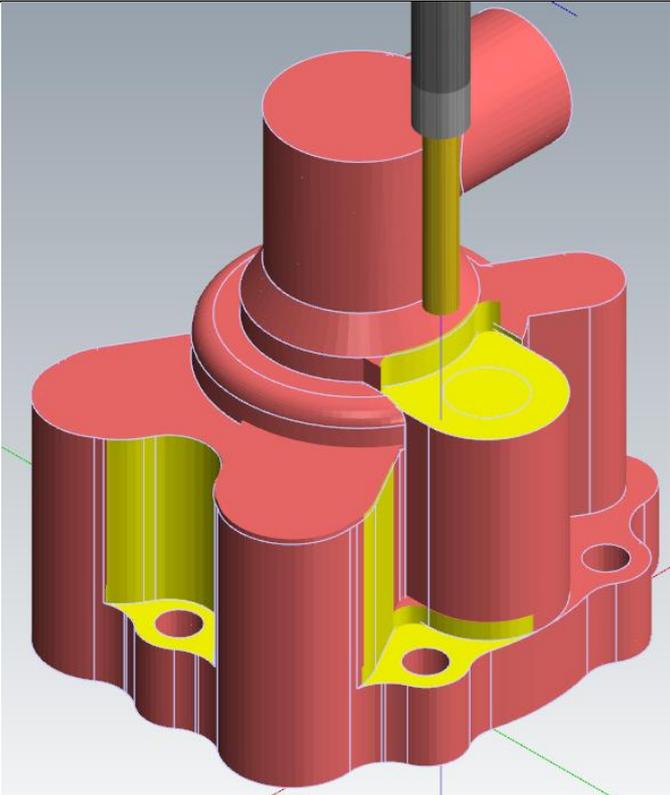
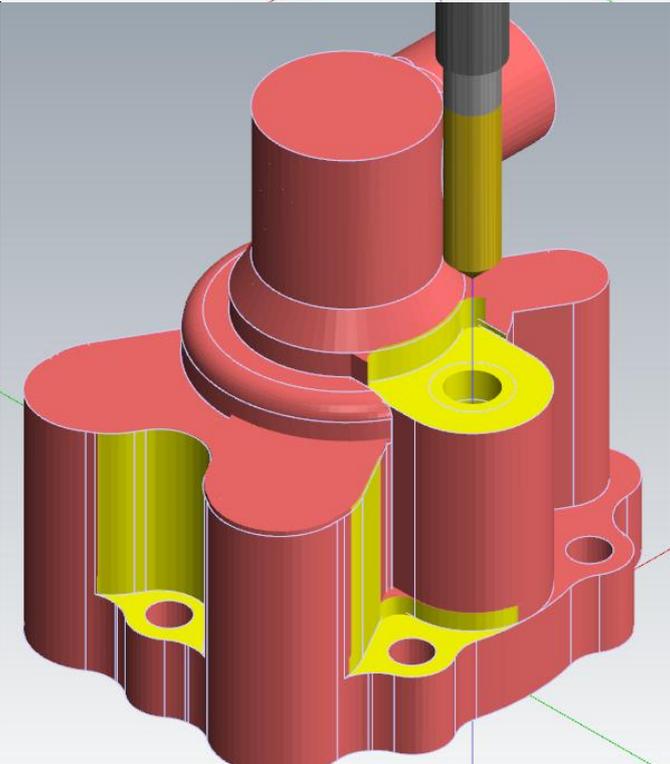


4.3.4 Тестирование управляющей программы в модуле «Верификация» на фрезерной операции

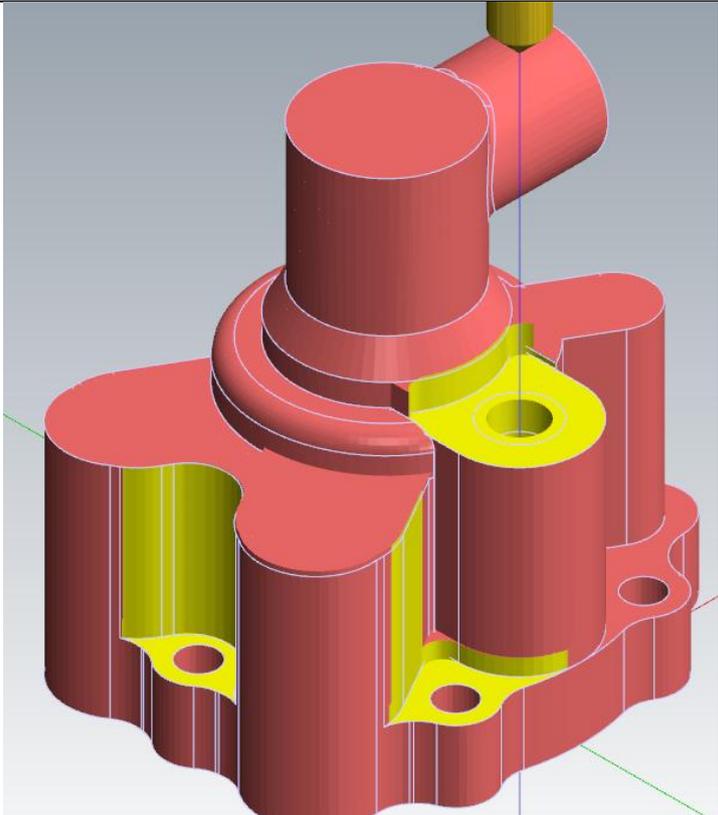
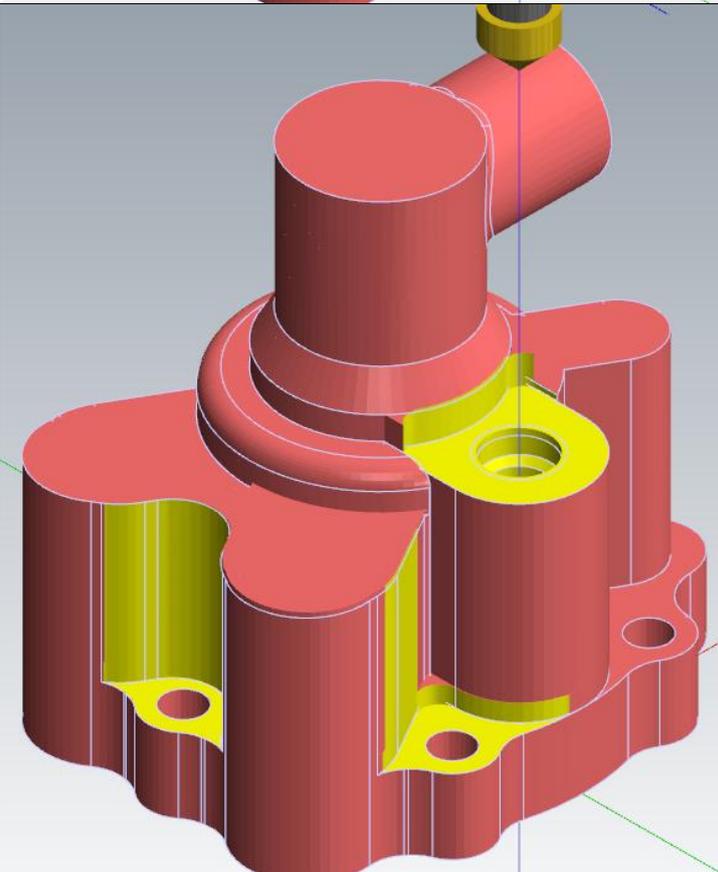
Таблица 4.4 – Верификация детали

<p>Фрезеровать карман, концевая фреза $\varnothing 6$</p>		
<p>Фрезеровать карман, концевая фреза $\varnothing 5$</p>		

Продолжение таблицы 4.4

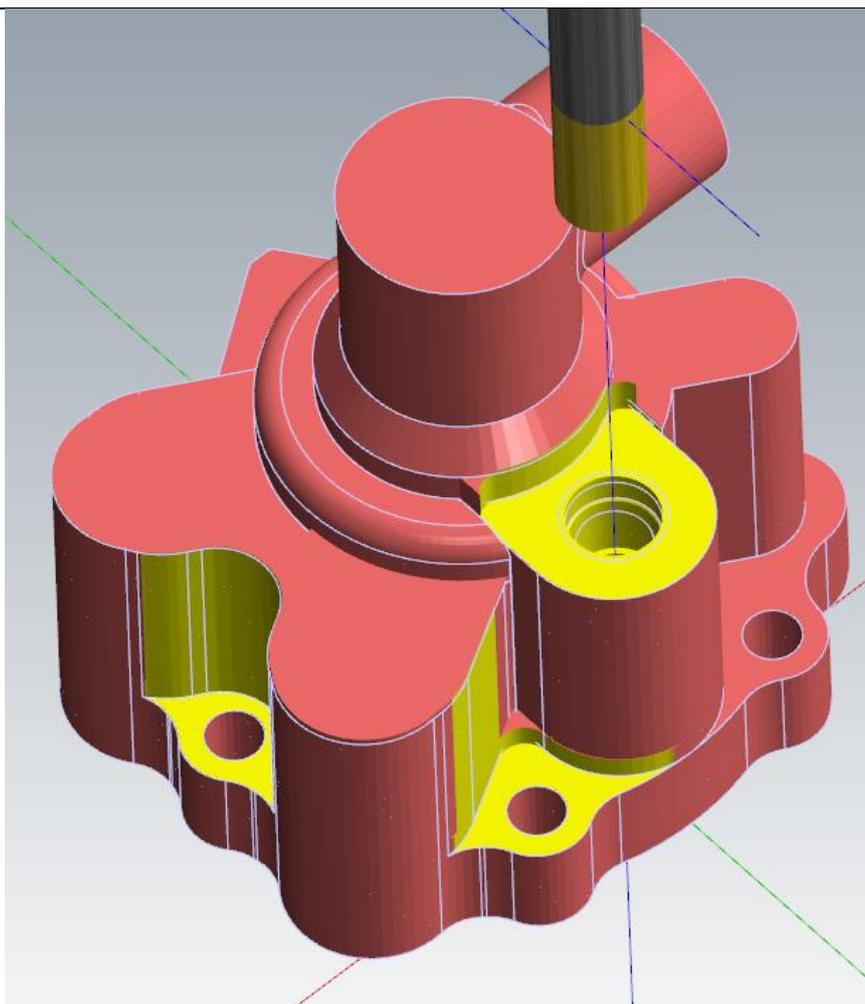
<p>Фрезеровать карман, концевая фреза $\varnothing 5$</p>	
<p>Сверлить отверстие $\varnothing 8,5$</p>	

Продолжение таблицы 4.4

<p>Зенкеровать отверстие Ø8,5</p>	
<p>Зенкеровать отверстие Ø10,5</p>	

Продолжение таблицы 4.4

Нарезать
резьбу М10х1,5
5Н6Н



4.4 Фрагменты управляющих программ

4.4.1 Фрагмент управляющей программы для токарного станка с ЧПУ

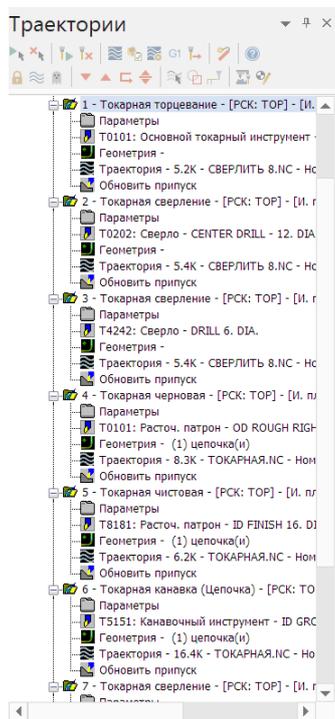
```
O0001
(PROGRAM NAME - ТОКАРНАЯ)
(DATE=DD-MM-YY - 19-04-19 TIME=HH:MM - 06:06)
(MCX      FILE      -      C:\USERS\111\DESKTOP\ДИПЛОМНАЯ
РАБОТА\ЧПУ\ТОКАРНАЯ\КР ТОКАРНАЯ.MCAM)
(NC FILE - C:\USERS\111\DESKTOP\ТОКАРНАЯ.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
G21
(TOOL - 1 OFFSET - 1)
(OD ROUGH RIGHT - 80 DEG. INSERT - CNMG 12 04 08)
G28 U0. V0. W0.
G50 X60. Y0. Z40.
...
(TOOL - 126 OFFSET - 126)
(DRILL 20. DIA.)
G18
G97 S720 M03
G0 X0. Z1.25 M8
Z-16.
Z-18.
G1 Z-27. F.2
G0 Z-16.
Z1.25
M9
G28 U0. V0. W0. M05
T12600
M01
(TOOL - 102 OFFSET - 102)
(ID THREAD MIN. 30. DIA. INSERT - R166.0L-16MM01-100)
G28 U0. V0. W0.
G50 X60. Y0. Z40.
G0 T10302
G18
G97 S560 M03
G0 X8.376 Z4.212 M8
G76 P010029 Q0 R0
G76 X14. Z-10. P8120 Q4031 R0. F1.5
```

4.4.2 Фрагмент управляющей программы для фрезерного станка с ЧПУ

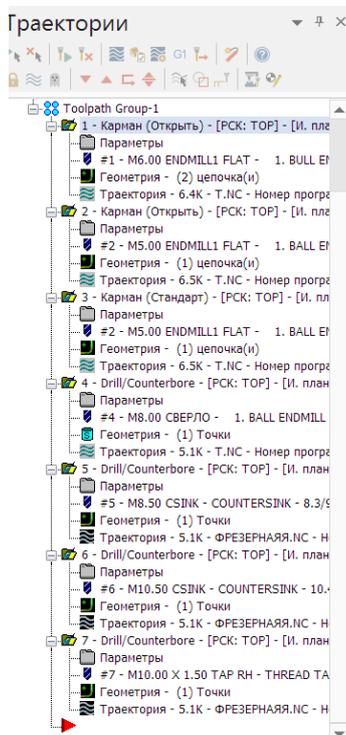
```
O0002(T)
( DATE=DD-MM-YY - 19-04-19 TIME=HH:MM - 06:10)
(MCX      FILE      -      C:\USERS\111\DESKTOP\ДИПЛОМНАЯ
РАБОТА\ЧПУ\ФРЕЗЕРНАЯ\КР ФРЕЗЕРНАЯ.MCAM)
(NC FILE - C:\USERS\111\DESKTOP\T.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T1 |  1. BULL ENDMILL 0.2 RAD | H1 )
( T2 |  1. BALL ENDMILL | H2 | XY STOCK TO LEAVE - -.2 | Z STOCK TO
LEAVE - 0. )
( T4 |  1. BALL ENDMILL | H4 )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
/N104 G91 G28 Z0.
/N106 G28 X0. Y0.
/N108 G92 X250. Y250. Z250.
N110 T1 M6
N112 G0 G90 X-12.778 Y-38.781 A0. S2500 M3
N114 G43 H1 Z105.
N116 Z85.
...
N216 G3 X5.105 R4.95
N218 X5.097 Y-28.649 R4.95
N220 G1 Y-26.432
N222 G2 X-4.795 Y-26.43 R22.05
N224 G1 Y-28.943
N226 X-8.545
N228 G3 X8.855 R8.7
N230 X8.847 Y-28.554 R8.7
N232 G1 Y-21.047
N234 G2 X-8.545 Y-21.043 R18.3
N236 G1 Y-23.69
N238 Y-28.943
N240 G0 Z111.942
N242 M5
N244 G91 G28 Z0.
N246 A0.
N248 M01
N250 T4 M6
```

4.5 Список переходов при обработке на станках с ЧПУ

4.5.1 Список переходов на токарной операции



4.5.2 Список переходов на фрезерной операции



5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ НА ОПЕРАЦИЮ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛИ "КОРПУС РЕГУЛЯТОРА ТНА"

5.1 Разработка компоновки станочного приспособления

В данном разделе разрабатывается приспособление, позволяющее размещать заготовку на двух установках. Схематичное изображение установок приведено на рисунке 5.1.

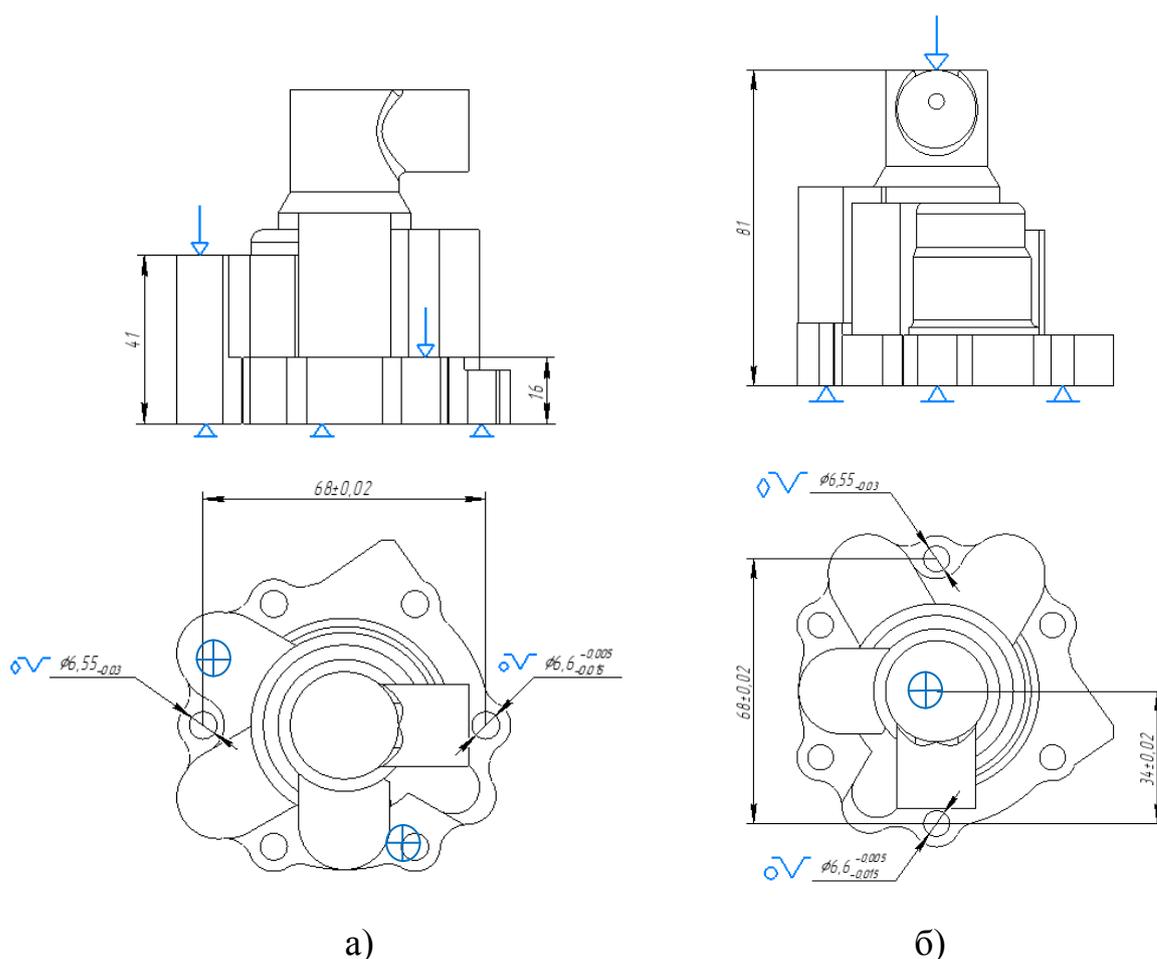


Рис. 5.1 – Схема закрепления заготовки на установке 1 (а) и установке 2 (б)

5.2 Расчет требуемой силы закрепления

Сила закрепления обеспечивается неизменностью положения заготовки относительно установочных элементов приспособления в течение всего времени обработки.

Точка приложения силы резания в процессе обработки непрерывно перемещается по обрабатываемой поверхности. При затуплении инструмента силы резания возрастают на 10 – 30%. Поэтому в расчете сила резания искусственно увеличена на коэффициент запаса закрепления k .

$$k = k_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 = 1,5 \times 1 \times 1,4 \times 1,3 \times 1,5 = 4,095$$

где $k_0 = 1,5$ – гарантированный коэффициент запаса;

$k_1 = 1$ – коэффициент, учитывающий неравномерность припуска по обрабатываемой поверхности заготовки (для чистовой обработки – 1);

$k_2 = 1,4$ – коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при затуплении режущего инструмента (табл.3.1 [14]);

$k_3 = 1,3$ – коэффициент, учитывающий непостоянство силы зажима (для ручных зажимов – 1,3);

$k_4 = 1,5$ – коэффициент, учитывающий только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку (установка на поверхность с большой площадью контакта).

Определяем величину действующих на заготовку сил резания и их моменты по формулам теории резания применительно к конкретному виду обработки. Для этого выбираем виды обработки при которых моменты будут наибольшими и наиболее неблагоприятные положения режущего инструмента, когда силы и моменты, стремящиеся повернуть заготовку, максимальны для каждого установа.

Выбираем схему установки из наиболее распространенных вариантов нагружения и расчетные формулы для определения требуемой силы закрепления (табл. 3.3 [14]).

Используемая расчетная схема – №5.

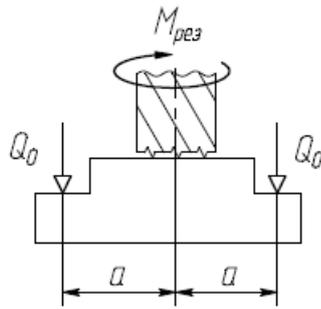


Рис. 5.2 – Схема установки заготовки

$$\text{Сила зажима: } Q_0 = \frac{Q}{N} = \frac{k \times M_{рез}}{a \times f \times N}$$

где N – количество прихватов;

a – расстояние от точки приложения зажима, до оси инструмента на обрабатываемой поверхности;

f – коэффициент трения;

$M_{рез}$ – момент, создаваемый инструментом при обработке на расчетном режиме.

Произведем расчет силы зажима для наиболее нагруженных видов обработки на каждом установе:

$a = 35$ мм, $f = 0,15$ (заготовка контактирует с приспособлением по обработанной поверхности табл. 3.2 [1]).

Установ 1 (рис. 5.1а):

Фрезерование поверхности $d_u = 40,4$ мм :

$M_{рез} = 13,2$ Нм ; $N = 2$

$$Q_0 = \frac{4,095 \times 13,2}{0,035 \times 0,15 \times 2} = 5148 \text{ Н}$$

Установ 2 (рис. 5.1б):

Фрезерование поверхности $d_u = 14$ мм :

$M_{рез} = 3,6$ Нм ; $N = 1$

$$Q_0 = \frac{4,095 \times 3,6}{0,035 \times 0,15 \times 1} = 2808 \text{ Н}$$

5.3 Выбор зажимного устройства и расчет его параметров

Зажимные устройства вырабатывают и передают требуемую силу закрепления Q к заготовке.

В данном приспособлении применяются рычажные зажимные устройства, изготовленные в виде прихватов. Расчет такого зажима заключается в определении передаточного отношения рычага, исходя из длины его плеч и мест приложения силы (табл. 3,5 [1]).

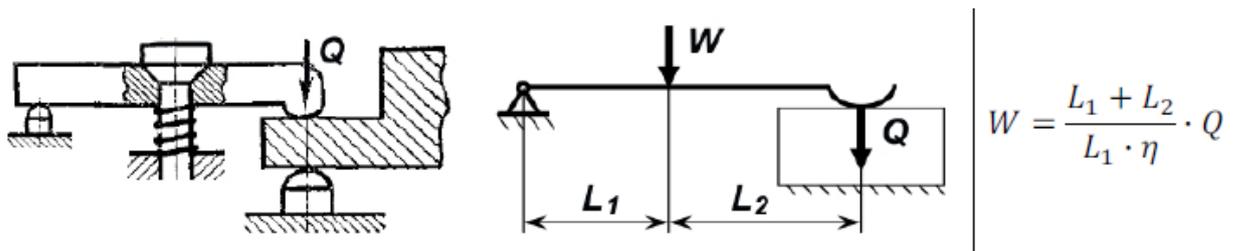


Рис. 5.3 – Схема рычажного механизма и расчетная формула

Рассчитываем моменты которые необходимо приложить к зажимному устройству:

Установ 1:

$$L_1 = 50 \text{ мм} ; L_2 = 45 \text{ мм} ; \eta = 0,97$$

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{50 + 45}{50 \times 0,97} \times 5148 = 5041,86 \text{ Н}$$

Назначаем характеристики болта для зажимного устройства:

2 болта М12 класса прочности 6,8 по ГОСТ 1759.4–87, с допускаемыми осевыми силами 5,9кН (стр. 28 [14]), со следующими параметрами:

$$d_{cp} = 10,863 \text{ мм} ; S = 1,75 \text{ мм} ; D = 17 \text{ мм} ; d = 12 \text{ мм}.$$

Момент, прикладываемый к винту равен:

$$M = M_{mp(T)} + M_{mp(P)},$$

где $M_{mp(T)}$ – момент трения на торце гайки при затяжке, равен:

$$M_{mp(T)} = \frac{1}{3} \times Q \times f \times \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2},$$

$M_{mp(P)}$ – момент трения в резьбе при затяжке гайки, равен:

$$M_{mp(P)} = \frac{1}{2} \times Q \times d_{cp} \times \text{tg}(p + \alpha) ;$$

$\rho = 10,5^\circ$ – угол трения в резьбе;

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{s}{\pi d_{cp}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,75}{\pi \times 10,863}\right) = 0,051234 \quad \text{–угол} \quad \text{подъема}$$

резьбы;

$$M_{mp(T)} = \frac{1}{3} \times 5041,86 \times 0,15 \times \frac{0,017^3 - 0,012^3}{0,017^2 - 0,012^2} = 5,54 \text{ Нм}$$

$$M_{mp(P)} = \frac{1}{2} \times 5041,86 \times 0,010863 \times 0,2389 = 6,54 \text{ Нм}$$

$$M = 5,54 + 6,54 = 12,08 \text{ Нм}$$

Установ 2:

$$L_1 = 65 \text{ мм}; L_2 = 60 \text{ мм}; \eta = 0,97$$

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{65 + 60}{65 \times 0,97} \times 2808 = 5567,01 \text{ Н}$$

Назначаем характеристики болта для зажимного устройства:

болт М12 класса прочности 6,8 по ГОСТ 1759.4–87, с допускаемыми осевыми силами 5,9кН (стр. 28 [14]), со следующими параметрами:

$$d_{cp} = 10,863 \text{ мм}; S = 1,75 \text{ мм}; D = 17 \text{ мм}; d = 12 \text{ мм}.$$

Момент, прикладываемый к винту равен:

$$M = M_{mp(T)} + M_{mp(P)},$$

где $M_{mp(T)}$ – момент трения на торце гайки при затяжке, равен:

$$M_{mp(T)} = \frac{1}{3} \times Q \times f \times \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2},$$

$M_{mp(P)}$ – момент трения в резьбе при затяжке гайки, равен:

$$M_{mp(P)} = \frac{1}{2} \times Q \times d_{cp} \times \operatorname{tg}(p + \alpha);$$

$\rho = 10,5^\circ$ – угол трения в резьбе;

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{s}{\pi d_{cp}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,75}{\pi \times 10,863}\right) = 0,051234 \text{ –угол подъема резьбы;}$$

$$M_{mp(T)} = \frac{1}{3} \times 5567,01 \times 0,15 \times \frac{0,017^3 - 0,012^3}{0,017^2 - 0,012^2} = 6,11 \text{ Нм}$$

$$M_{mp(P)} = \frac{1}{2} \times 5567,01 \times 0,010863 \times 0,2389 = 7,22 \text{ Нм}$$

$$M = 6,11 + 7,22 = 13,33 \text{ Нм}$$

5.4 Расчет приспособления на точность

Точность выполняемого на технологической операции размера будет обеспечена в том случае, когда сумма всех возможных погрешностей, возникающих в процессе обработки, не будет превышать величину допуска на этот размер, т.е. должно выполняться условие:

$$P_{\text{сумм}} = P_{\text{обр}} + P_n + P_{\text{пр}} \leq T_A$$

1. Погрешность обработки $P_{\text{обр}}$, возникающая в процессе обработки заготовки на станке по причине упругих деформаций элементов технологической системы под воздействием силы резания, с учетом выполнения операции сверления на новом оборудовании и инструменте равна:

$$P_{\text{обр}} = 45 \text{ мкм (фрезерование плоскостей по табл. 3.6 [14])}.$$

2. Погрешность настройки P_n возникает в процессе настройки станка на размер и зависит от погрешности положения приспособления в координатной системе станка $\Delta_{\text{пол}}$ и погрешности позиционирования рабочего органа станка $\Delta_{\text{ноз}}$:

$$P_n = \Delta_{\text{пол}} + \Delta_{\text{ноз}} = 20 + 10 = 30 \text{ мкм},$$

где $\Delta_{\text{пол}} = 20$ мкм из табл. 3.7 [14] с учетом современного оборудования;

$$\Delta_{\text{ноз}} = 10 \text{ мкм для станка с ЧПУ.}$$

3. Погрешность приспособления $P_{\text{пр}}$ связана с погрешностью положения заготовки в приспособлении и является суммарной величиной, в которую входят различные погрешности. Определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{пр}} = \sqrt{k_1 + P_0^2 + P_3^2} + P_{\text{изг}}$$

где $k = 0,8 \dots 0,85$ – коэффициент уменьшения погрешности;

P_6 – погрешность базирования (возникает из-за несовмещения измерительной и технологической базы при установке заготовки в приспособление) (табл. 3.8 [14]):

- зазор между цилиндрическим пальцем и заготовкой - 10 мкм;
- зазор между срезанным пальцем и заготовкой - 30 мкм.

Погрешность базирования принимаем равным наибольшему зазору:

$$P_6 = 30 \text{ мкм.}$$

P_3 – погрешность закрепления (смещение заготовки в процессе ее закрепления из базового положения) определяется по таблице 3.9 [14]:

$$P_3 = 70 \text{ мкм.}$$

Погрешность изготовления приспособления $P_{изг}$ возникает от погрешностей изготовления деталей приспособления, его сборки и регулировки. Точность изготовления приспособления задается на его рабочих чертежах и в технических требованиях. $P_{изг}$ можно рассчитать следующим образом:

Погрешность приспособления без учета погрешности изготовления равна:

$$P_{пр} = \sqrt{0,8 + 30^2 + 70^2} = 75 \text{ мкм.}$$

Суммарная погрешность без учета погрешности изготовления равна:

$$P_{сумм} = 45 + 30 + 75 = 150 \text{ мкм.}$$

$$P_{сумм} \leq T_A$$

Допуск на исполняемый размер (смещение $25 \pm 0,2$): $T_A = 400$ мкм

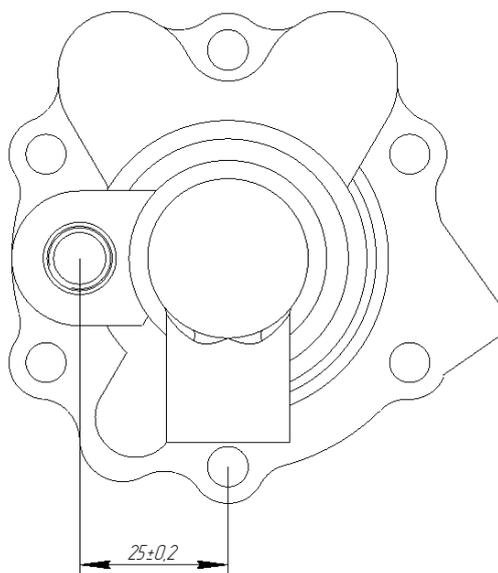


Рис. 5.4 – Смещение исполняемого размера от оси базирования

Погрешность изготовления приспособления $\Pi_{изг}$ равна:

$$\Pi_{изг} = T_A - \Pi_{сумм} = 400 - 150 = 250 \text{ мкм.}$$

5.5 Расчет деталей приспособления на прочность

Так как применяемые в оснастке прижимные планки не являются стандартизованными деталями, необходимо провести их расчет на прочность. Материал прижимов сталь 45 с пределом прочности $\sigma_v = 550$ МПа.

В критическом сечении проводится расчет на изгиб прямоугольного стержня с размерами сечения 17x15:

$$\sigma_{изг} = \frac{6M_{изг}}{BH^2} = \frac{6 \times 252,1}{0,017 \times 0,015^2} = 395,44 \text{ МПа}$$

где $M_{изг} = Q \times L_1 = 5041,86 \times 0,05 = 252,1 \text{ Нм}$

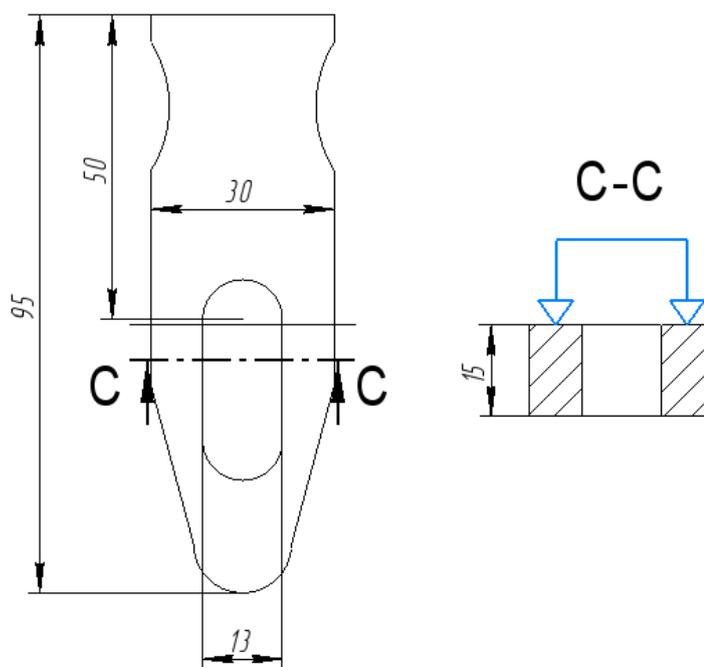


Рис. 5.5 – Схема нагрузки прижима 95 мм

Аналогично рассчитываем второй прижим на изгиб с размерами сечения 17x18:

$$\sigma_{изг} = \frac{6M_{изг}}{BH^2} = \frac{6 \times 361,86}{0,017 \times 0,018^2} = 394,18 \text{ МПа}$$

где $M_{изг} = Q \times L_1 = 5567,01 \times 0,065 = 361,86 \text{ Нм}$

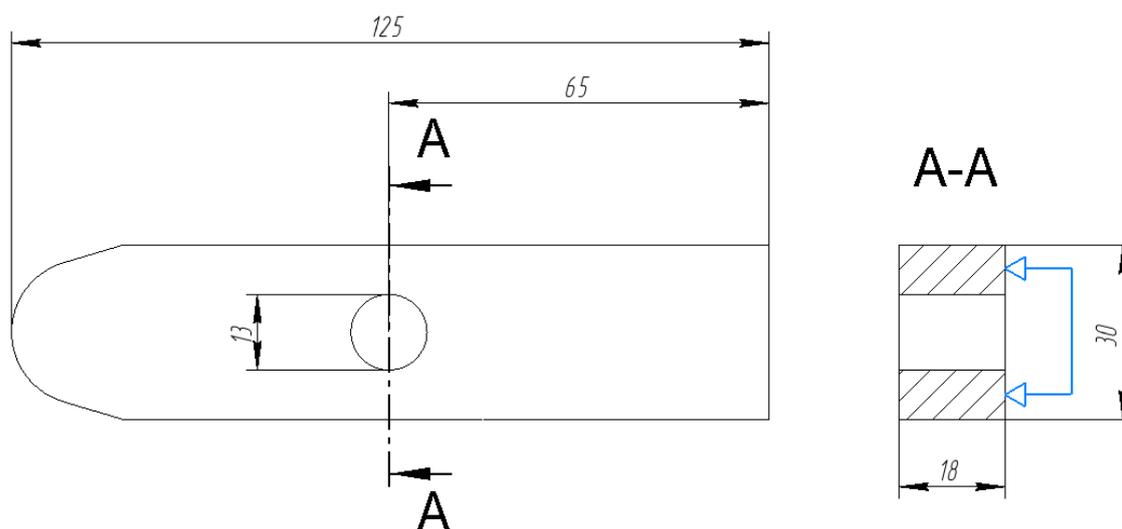


Рис. 5.6 – Схема нагрузки прижима 125 мм

В критическом сечении изгибающие напряжения не превышают предел прочности для обоих прижимов, следовательно приспособление удовлетворяет требованиям по прочности.

6 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОСА И ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ

6.1 Основные виды износа режущего инструмента

При обработке материалов резанием возникают высокие удельные давления и температуры. Величина удельного давления доходит до 200-400 кг/мм², а температура в зоне резания зачастую превышает 800-900°С. Следует также учитывать, что в процессе обработки величина поверхности контакта небольшая, при этом инструмент деформирует заготовку и испытывает различные нагрузки. Эти нагрузки, в конечном итоге, ведут к изнашиванию инструмента, а иногда и к поломке.

Факторы, воздействующие на режущий инструмент, можно разделить на четыре группы: механические, термические, химические и трибологические (нагрузки под действием трения и сопротивления).

Механическое давление ускоряет износ инструмента и снижает его стойкость. Прерывистое резание вызывает ударные нагрузки, что может стать причиной сколов или поломки инструмента. Тепловые нагрузки возникают вследствие того, что деформируемый материал заготовки вырабатывает тепло, ведущее к повышению температуры в диапазоне 800-900°С, и, как следствие, к деформациям и притуплению инструмента. Совокупность тепла и давления способствует химической реакции между материалами инструмента и заготовки – происходит диффузный износ – изменение химического состава, а вместе с этим, физико-химических свойств поверхности инструмента. В результате трения стружки об инструмент происходит абразивное изнашивание – разрушение контактных поверхностей инструмента, что ведет к изменению его геометрии, это трибологические нагрузки.

Все виды нагрузок, взаимодействуя, вносят определенный вклад в общую картину износа. Износ инструмента непосредственно влияет на

точность и производительность обработки. Рассмотрим основные виды износа режущей кромки:

Абразивный износ (износ по задней поверхности):

Это самый распространённый и предпочтительный вид износа, так как он обеспечивает стабильную и предсказуемую стойкость инструмента. Износ по задней поверхности возникает в процессе истирания, вызванного твёрдыми компонентами в обрабатываемом материале. Время работы инструмента можно разделить на три периода (рис. 6.1). Каждый из которых характеризуется продолжительностью времени работы (t_p , мин), величиной износа – h , мм по задней поверхности и интенсивностью его роста $\tan \beta$.

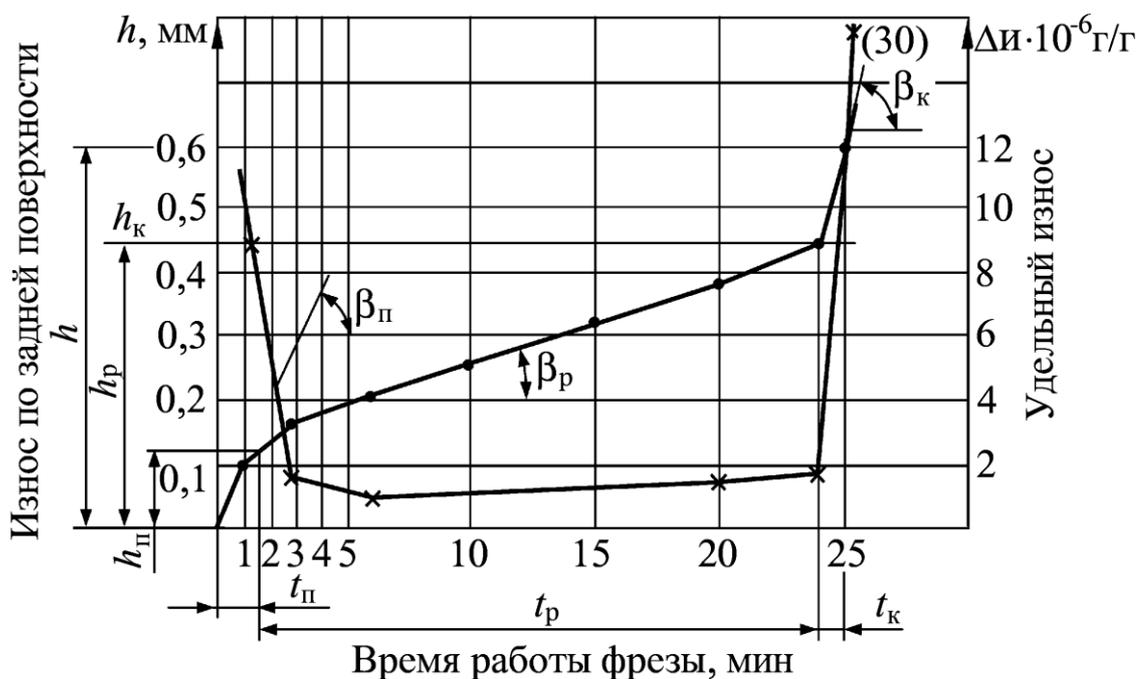


Рис. 6.1 – График, характеризующий износ зубьев фрезы

Первый период работы инструмента – приработочный (начальный). Для него характерны большие удельные нагрузки, и как следствие интенсивный износ, иногда приводящий к выкрашиванию зуба. За короткий отрезок времени, измеряемый минутами или секундами, режущий инструмент изнашивается на величину $h_{п}$. К примеру, при фрезеровании стали 45Г17ЮЗ концевыми быстрорежущими фрезами P18 со скоростью

резания 14,2 м/мин и подачи 0,15 мм/зуб, начальный износ составляет 0,1 мм. Продолжительность работы первого периода около 1 мин. Таким образом, за 1 мин работы (4% всего периода стойкости) фреза изнашивается на 20 %. Интенсивность износа $tg \beta = 2,54$. Удельный износ Δi режущего инструмента в начальный период достигает значительной величины. Под удельным износом понимается отношение массы изношенного инструментального материала к массе срезанного обрабатываемого материала. В данном примере он составляет 2×10^{-6} г/г [15].

Следующий период – рабочий, он занимает основную часть (80...95 %) времени работы инструмента между переточками. Интенсивность износа в этот период зависит от свойств обрабатываемого и инструментального материалов, выбранных режимов резания, качества поверхностного слоя режущего инструмента и др. Величина удельного износа за рабочий период минимальна и практически одинакова в продолжение всего периода.

Третий период – аварийный износ, характеризуется тем что за короткий промежуток времени, зубья изнашиваются значительно (h до 1,5...2,5 мм).

Химический износ (лункообразование):



Лунки, как правило, локализуются на передней поверхности режущей пластины и образуются в процессе химической реакции между обрабатываемым материалом и режущим инструментом, которая усиливается с увеличением скорости резания. Чрезмерное лункообразование ослабляет режущую кромку и ведет к появлению трещин.

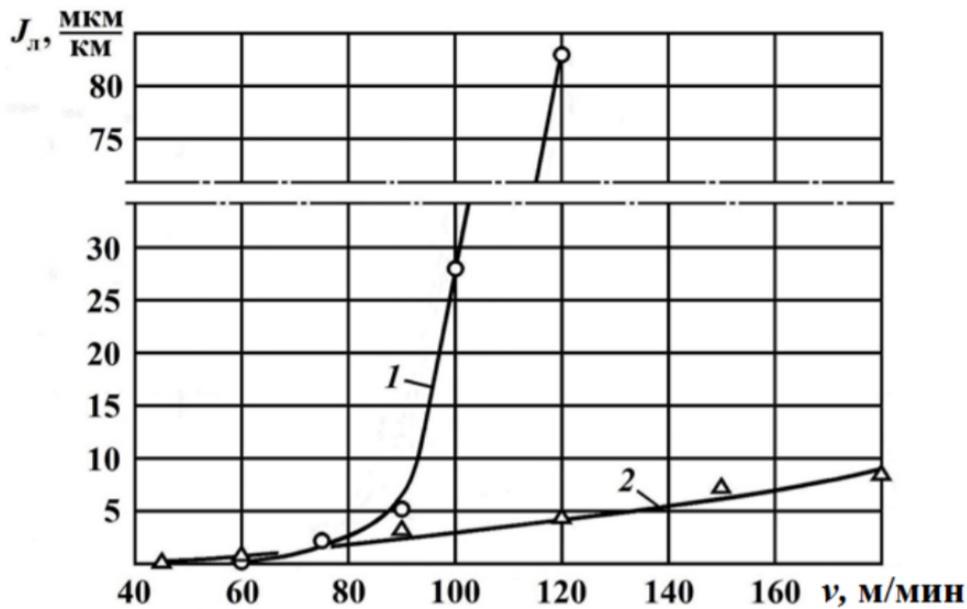


Рис. 6.2 – Зависимости интенсивности лункообразования J_n от скорости резания при точении нержавеющей стали резцами из ВК6 (1) и ТТ20К9 (2)

Как видно из графика переход к интенсивному лункообразованию совершается постепенно, в определенном диапазоне V (75-100 м/мин), и характеризуется резким возрастанием скорости износа на верхней границе диапазона для резца из ВК6. Для резца из ТТ20К9 этот диапазон скоростей составляет примерно 200-210 м/мин [16].

Термический износ:

Пластическая деформация:



Пластическая деформация возникает при размягчении материала инструмента. Это происходит, если температура резания оказывается слишком высокой для какого-либо сплава. Обычно при использовании более твердых сплавов и покрытий большей толщины, стойкость к пластической

деформации улучшается. У инструментов из быстрорежущих сталей пластическое разрушение проявляется в виде скругления режущей кромки либо ее оплавления при достижении максимальной величины износа. У инструментов из твердого сплава пластическая деформация режущего клина наступает под действием высоких температур резания и вибраций. Хотя твердые сплавы и считаются хрупким материалом, но в нормальных условиях работы они подвергаются ползучести, которая усиливается с ростом температуры резания.

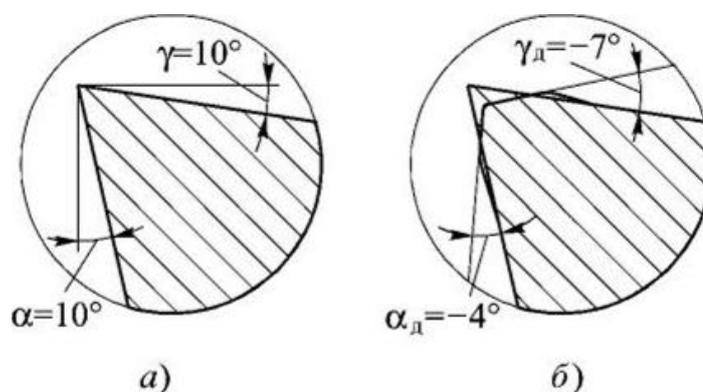


Рис. 6.3 – Пластическая деформация режущего клина из твердого сплава марки ВК6 при точении титанового сплава марки ВТ-6 ($v = 60$ м/мин, $s = 0,47$ мм/об, $t = 2$ мм)

Под действием больших давлений в районе режущей кромки происходит ее опускание, которое сопровождается некоторым вспучиванием на передней и задней поверхностях. На рис. 6.3, а показана исходная форма режущего клина резца и этот же клин через 80 с (рис. 6.3, б) после начала резания. При таком изменении формы клина его передний и задний углы принимают отрицательные значения, что вызывает увеличение сил резания, увеличивает интенсивность процесса износа на передней и задней поверхностях, и в результате резание таким клином становится невозможным. Аналогичная картина пластической деформации режущего клина наблюдается при точении высоколегированных сталей, а также при строгании твердосплавным инструментом. Пластическое разрушение

режущих кромок инструмента говорит, что либо значительно завышена скорость резания, либо превышен допустимый износ эксплуатируемого инструмента. Нагрев фрез из БРС, не должен превышать 850 К. Превышение данной температуры хотя бы на 30...50 К приводит к интенсивному снижению твердости материала: произойдет температурный отпуск и разрушение зуба фрезы.

Термические трещины:



При быстром изменении температуры режущей кромки с высокой на низкую, возможно появление трещин перпендикулярно режущей кромке, причем между трещинами будет наблюдаться выкрашивание отдельных частиц инструментального материала. Термотрещины нередко возникают в процессе прерывистого резания, достаточно распространены при фрезеровании и усугубляются с применением СОЖ.

Адгезионный износ:

Наростообразование (BUE):

Этот вид износа представляет собой наваривание стружки на пластину. Распространён при обработке вязких материалов, таких как низкоуглеродистые стали, нержавеющей стали и алюминий. Низкая скорость резания только увеличивает склонность к наростообразованию.

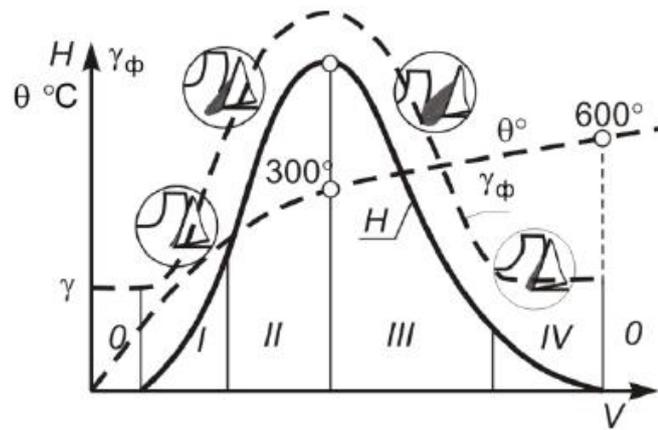


Рис. 6.4 – Зависимость высоты нароста от скорости резания: 0 – нарост отсутствует; I...IV – образуется нарост различных видов

Экспериментально установлено, что при наиболее распространенных условиях резания сталей, максимальная высота нароста наблюдается при таком значении скорости резания, при котором температура $\theta \approx 300^\circ\text{C}$, и нарост исчезает при значении скорости, соответствующей температуре $\theta \approx 600^\circ\text{C}$ (рис. 6.4).

В зоне, соответствующей максимальной высоте нароста, шероховатость обработанной поверхности резко увеличивается. Периодически вершина нароста разрушается, в результате на поверхности резания и обработанной поверхности образуются надрывы и борозды, происходит внедрение части нароста в обработанную поверхность.

Образование проточин:



Этот вид износа пластин характеризуется сильно локализованным повреждением передней или задней поверхности на уровне глубины резания. Он провоцируется налипанием стружки и упрочнением поверхности в результате деформации. Данный вид износа распространён при обработке нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов.

Механический износ (выкрашивание/поломка режущей кромки):



Выкрашивание это результат чрезмерной нагрузки на растяжение на режущей кромке. Такая чрезмерная нагрузка может возникнуть по целому ряду причин, например воздействие стружки, слишком большая глубина резания или слишком высокая подача, наличие твёрдых включений в обрабатываемом материале, наростов, вибраций или слишком сильный износ пластины.

На практике затупление режущего инструмента происходит при одновременном протекании различных видов износа и пластического деформирования режущей кромки.

6.2 Методы прогнозирования степени износа

Вибродиагностический метод [19].

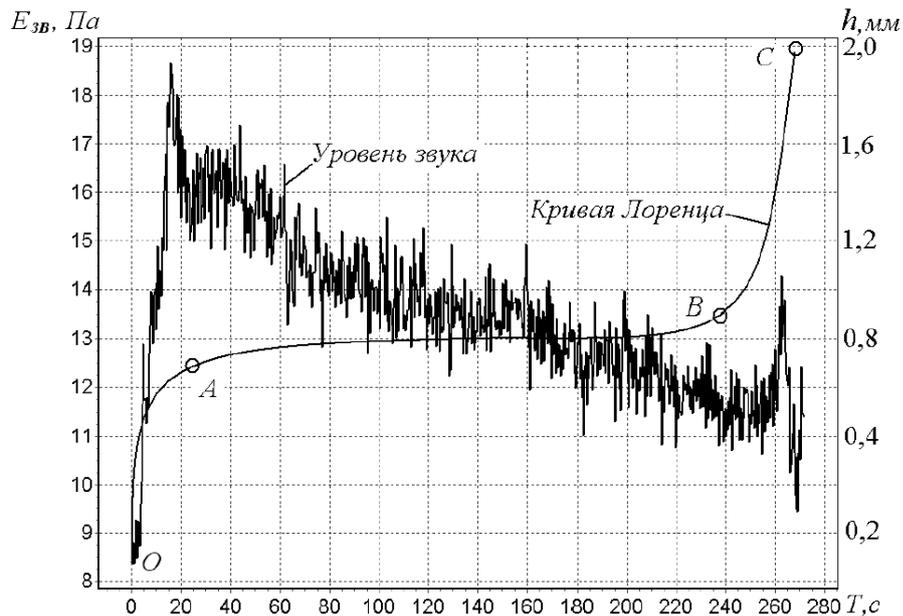


Рис. 6.5 – Изменение звука по мере износа инструмента и кривая износа

Определение оптимального времени работы инструмента производится на основании исследования зависимости износа инструмента от времени его работы (рис. 6.5). Для периода приработки характерно интенсивное увеличение ширины площадки износа инструмента и возрастание уровня звука за счет резкого увеличения силы и мощности трения. Период нормального изнашивания характеризуется тем, что износ инструмента стабильно, постепенно и относительно медленно возрастает с увеличением времени его работы. Вместе с тем, несмотря на увеличение площадки износа, уровень шума несколько снижается, что связано с усилением ее демпфирующего воздействия. При достижении некоторой величины площадки износа сила и мощность трения возрастают, в результате чего повышается температура резания, и наступает третий – аварийный период, сопровождающийся возрастанием шероховатости обработанной поверхности, снижением точности обработки, значительным усилением вибрационных процессов, а следовательно и возрастанием уровня звука. Из приведенного графика следует, что в период приработки уровень звука

растет (участок OA), а затем на участке AB падает и на участке BC снова начинает расти.

Таким образом по косвенному диагностическому признаку – уровню звука, создаваемого процессом резания, возможно спрогнозировать момент замены режущего инструмента. Данный метод может быть использован в станках с числовым программным управлением, что улучшит основные показатели механической обработки: производительность, экономичность и качество поверхности получаемой при этом детали.

Термоэлектрический метод

Термоэлектрический метод заключается в определении термоэлектрической неоднородности исследуемых участков режущих кромок в точках с шагом 0,2 мм (минимально допустимый размер выкрашивания). Экспериментальные исследования режущей кромки резцов с твердосплавной пластиной с различной степенью износа показали, что величина коэффициентов термоэлектрической чувствительности рабочего участка режущей кромки относительно среднего значения термоэлектрической чувствительности всей кромки возрастает со степенью износа, что говорит о различии физико-механических свойств рабочего и нерабочего участка режущей кромки (рис. 6.6).

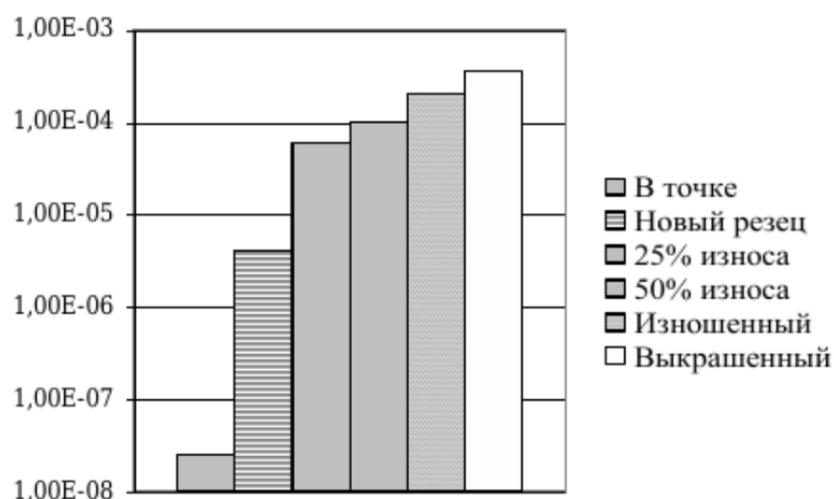


Рис. 6.6 – Значение коэффициента термоэлектрической чувствительности, измеренного в точке режущей кромки резцов с разной степенью износа

6.3 Пути повышения стойкости инструмента

Высокие режущие свойства инструмента обеспечиваются не только материалом, но и оптимальной геометрией, правильно проведенной технологией обработки инструмента (термическая обработка, шлифование, заточка и т. д.) и условиями эксплуатации инструмента. К методам, повышающим стойкость режущей части инструмента относятся:

1) Насыщение поверхностного слоя инструмента:

Цианирование — химико-термический процесс, заключающийся в насыщении поверхностного слоя стали углеродом и азотом путем диффузии при определенной температуре. Выделяют цианирование в жидких средах, газовое цианирование и сухое цианирование с твердым карбюризатором. В зависимости от температуры цианирование так же разделяется на высокотемпературное (800—850° С) и низкотемпературное (550—560° С).

Для инструментов из БРС применяется только жидкое низкотемпературное цианирование, так как при больших температурах будет понижена твердость, что обязательно приведет к сильному снижению стойкости. Рекомендуемая глубина слоя цианирования 0,01—0,03 мм, так как при больших слоях повышается хрупкость режущей кромки инструмента.

Сульфидирование — процесс насыщения поверхностного слоя металла серой. Сернистые соединения, образующиеся на поверхности инструмента снижают коэффициент трения и увеличивают износостойкость инструмента. Процесс производится при температуре 550—560° С в специальных ваннах. Металл выдерживается от 40 до 90 мин. Стойкость сульфидированного инструмента получается в 1,5—2 раза выше.

Хромированию подвергают готовые инструменты из различных сталей — быстрорежущей, легированной или углеродистой. Применяют хромирование долбяков, протяжек и других инструментов. При изготовлении инструмента главным образом применяют электролитическое хромирование в гальванических ваннах с толщиной слоя до 0,025 мм.

2) Поверхностное упрочнение:

Механическое упрочнение за счет поверхностно-пластического деформирования (ППД) рабочих поверхностей инструмента. Используют ППД инструмента из быстрорежущей стали, твердого сплава и керамики. Высокая экономическая эффективность этих методов упрочнения обуславливается их сравнительной технологической простотой и дешевизной оборудования для реализации пластического упрочнения.

К перспективными можно отнести методы импульсного воздействия на материал. Это относится к упрочнению инструментальных материалов энергией взрыва при импульсном приложении нагрузки, при этом эффекты упрочнения сильно зависят от скорости приложения силы, влияющей на температуру и фазовые превращения.

Химико-термической обработкой (ХТО) называют процессы, сочетающие в себе термическое и химическое воздействие на рабочие поверхности инструмента, с целью изменить состав, структуру и свойства поверхностного слоя материала.

Лазерное упрочнение. Суть лазерного упрочнения заключается в мощном импульсном (или непрерывном) воздействии пучка световой энергии чрезвычайно большой плотности, что вызывает мгновенный локальный нагрев поверхности до температур, превышающих температуру плавления и структурно-фазовых превращений. С учетом высокой скорости охлаждения, в 10 — 100 раз больше скорости охлаждения при закалке, в поверхности инструментального материала формируются особомелкозернистая структура, которая имеет повышенную (на 20-30%) твердость.

3) Электроискровое упрочнение режущего инструмента:

Возникновение кратковременного электрического импульса, вызывает расплавление легирующей основы электрода и перенос её на обрабатываемую поверхность.

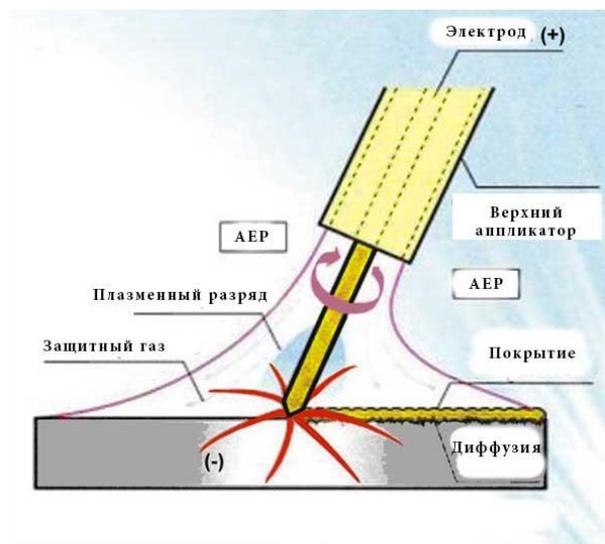


Рис. 6.7 – Процесс электроискрового легирования

Установка электроискрового легирования (рис. 6.7) подаёт импульсы с заданной частотой на электромагнитный возбудитель. Якорь электромагнита, связан с прикреплённым электродом. Последний, колеблясь, вступает в контакт с обрабатываемой деталью. Возникает электрический разряд, вызванный током большой. Под действием высоких температур, часть лигатуры расплавляется. Под воздействием электромагнитного поля, расплав осаждается на поверхности изделия. В точке обработки возникает микролунка, на края которой попадает расплавленный металл. Придавая аноду (легирующему электроду) поступательное движение, создаётся линия с нанесённым материалом. Чтобы создать сплошное цельное покрытие на катоде (легируемая поверхность), скорость перемещения анода должна быть меньше или равна длительности импульса.

4) Высокотемпературная механическая обработка БРС:

При охлаждении в закалочной среде инструмент подвергается деформации с высокой скоростью (15—60 м/с) взрывом, ударом дробью. При резании увеличиваются твердость (72—73 HRC) и прочность ($\sigma_{\text{н}} = 350$ МПа).

5) Нанесение износостойких покрытий:

Технологии по нанесению покрытий представлены двумя методами: метод химического осаждения (Chemical Vapour Deposition — CVD) и метод физического осаждения покрытий (Physical Vapour Deposition — PVD). В России широкое применение получили PVD-способы нанесения защитных покрытий на режущий инструмент. Это связано с тем, что технологии CVD предполагают использование дорогостоящих высокочистых химических реагентов и точный контроль продуктов химических реакций в рабочей камере. А нанесение PVD-покрытий при помощи дугового или тлеющего разряда (магнетрона) обладает большей производительностью и не столь чувствительно к незначительным отклонениям технологических параметров.

В последнее десятилетие разработаны и широко применяются различные комбинации покрытий с применением тонких внешних твердосмазочных покрытий (например, TiAlN/MoS₂), которые обеспечивают хороший отвод стружки. Низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью обладают высокотвердые алмазоподобные покрытия (diamondlikecarbon coatings — DLC). Однако у них имеется серьезный недостаток: очень высокий уровень внутренних напряжений, приводящий к охрупчиванию и отслаиванию при высоких контактных нагрузках, что ограничивает толщину покрытий до 1 мкм. Еще одна проблема такого покрытия — низкая теплопроводность, которая может приводить к их локальной графитизации с последующим вымыванием. Верхний рабочий температурный предел ограничен 250 °С, и требуется применение смазывающих охлаждающих жидкостей (СОЖ). Покрытия кубического нитрида бора (CBN) также обладают высоким уровнем внутренних напряжений и толщину покрытия не более 0,1 мкм.

б) Применение СОТС [20]:

Основные функции смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) это уменьшить нагрузку на рабочий инструмент, охладить его и снизить интенсивность изнашивания. Кроме того, с помощью СОТС можно удалить абразивные загрязнения и стружку из мест резания, а также предотвратить появление коррозии на рабочем инструменте и обрабатываемой заготовке.

Эффективность применения СОТС во многом зависит от технологии их приготовления. Получение и производство технологических жидкостей связано с необходимостью последовательного перемешивания компонентов. Обработка проводилась при следующих режимах резания:

- скорость резания $v = 270$ м/мин;
- подача $s = 0,1$ мм/об.;
- глубина резания $t = 0,5$ мм.

Исследовались следующие жидкости:

- СОТС, приготовленные обычным механическим перемешиванием;
- СОТС имеющие специальную технологию приготовления.

Сравнение величин износа режущего инструмента по задней поверхности h_3 показывает, что применение СОТС специального приготовления сокращает величину h_3 в 3 раза (рис. 6.8).

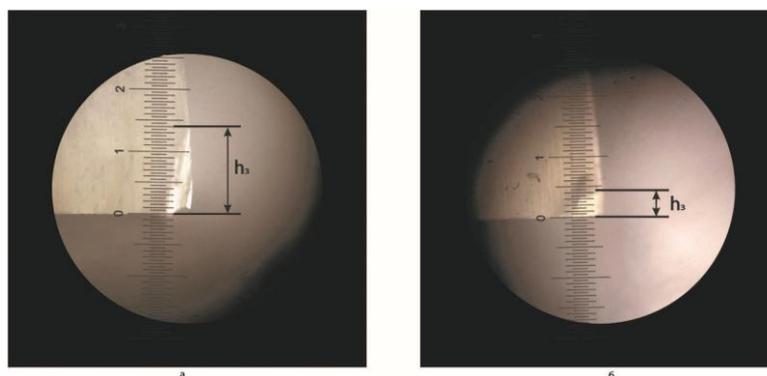


Рис. 6.8 – Влияние технологии приготовления СОТС на износ по задней поверхности резца h_z :

- а) СОТС, приготовленные обычным механическим перемешиванием;
- б) СОТС имеющие специальную технологию приготовления

Таким образом, технология приготовления СОТС оказывает заметное влияние на интенсивность износа режущего инструмента. Уменьшение износа режущего инструмента можно объяснить, прежде всего, увеличением смазочного действия СОТС после специальной обработки.

7) Улучшение качества затачивания и доводка поверхностей режущих инструментов:

Заточка и доводка режущих инструментов осуществляется абразивным, алмазным и электрохимикомеханическим способами. При изготовлении быстрорежущих инструментов принято считать основным способом заточки — абразивный, при изготовлении твердосплавных — абразивноалмазный. Как правило, сначала затачиваются передние, а затем задние поверхности.

При заточке твердосплавного инструмента основными операциями могут быть следующие: шлифование державки; предварительная заточка; окончательная заточка; доводка; тонкая доводка. Необходимость выполнения каждой из этих операций зависит от качества пайки (или сборки инструмента), величины припуска и требуемого класса чистоты рабочих поверхностей инструмента (рис. 6.9)

Наименование операции	Класс чистоты	Межоперационный припуск, мм
Шлифование державки	5—6	—
Предварительная заточка	6—7	0,3—0,4
Окончательная заточка	8—9	0,1—0,3
Доводка	9—10	0,05—0,1
Тонкая доводка	10—12	0,002

Рис. 6.9 – Достижимый класс чистоты при выполнении различных операций

Алмазное затачивание и доводка повышают стойкость инструмента в 2 – 3 раза, что особенно экономично для многолезвийного инструмента со сложным профилем (червячные фрезы, метчики, протяжки и т. д.). При алмазном затачивании сила резания уменьшается до 12 раз; поэтому обработанную поверхность получают без трещин и режущие кромки без сколов.

8) Выбор оптимальных геометрических параметров инструмента:

Под оптимальными величинами геометрических параметров обычно понимают такие, которые обеспечивают наибольшую стойкость инструмента при определенных режимах обработки. Однако при некоторых условиях эксплуатации инструмента целесообразно отходить от подобного выбора геометрических параметров и определять их в зависимости от других факторов. Таких как высокая размерная стойкость инструмента, что особенно важно для работы автоматизированного оборудования, необходимость обеспечения требуемой точности обработки и заданной шероховатости поверхности.

Передние углы, как показывают многочисленные исследования, зависят в основном от свойств обрабатываемого материала и материала инструмента. С увеличением прочности и твердости обрабатываемого материала оптимальный передний угол уменьшается, а с увеличением прочности инструментального материала — возрастает. Величины задних

углов α при обработке стали и чугуна обеспечивают высокую стойкость инструмента, если доминирующий износ происходит по задней поверхности, задние углы выбираются в пределах $6...8^\circ$. При выборе задних углов необходимо учитывать, что с их увеличением шероховатость обработанной поверхности возрастает, а при уменьшении до $1...3^\circ$ происходит ослабление вибраций.

Угол наклона режущей кромки λ сильно влияет на процесс стружкообразования. Обработка с большими углами наклона режущей кромки λ особенно эффективна при срезании тонких стружек. В этом случае значение угла достигает $60...80^\circ$. Чтобы обеспечить отвод стружки в требуемом направлении, угол λ выбирают в пределах от 5 до 15° . Изменение величины угла λ приводит к соответствующему изменению величин передних и задних углов.

9) Обработка предварительно нагретых заготовок:

Этот метод обработки эффективен для обработки сталей и сплавов высокой прочности, тугоплавких материалов, нержавеющей и жаропрочных материалов. Преимуществом резания с нагревом является ликвидация выкрашивания режущей кромки вследствие снижения величины действующих сил и повышения пластичности обрабатываемого материала.

Различают два способа нагрева заготовок: способ сплошного нагрева и способ локального нагрева. Сплошной нагрев материала заготовки осуществляют в печах и к его недостаткам относятся необходимость устанавливать печи непосредственно в механических цехах, применение средств защиты станков от теплового воздействия и сложности с перемещением и закреплением заготовок. Поэтому целесообразно использование тепла предыдущей заготовительной операции (отливки, штамповки, прокатки).

К способам локального нагрева заготовки относятся индуктивный, электродуговой, электроконтактный. Наиболее распространен индуктивный

нагрева токами повышенной и высокой частот. Электродуговой нагрев позволяет обеспечить высокую температуру и локализацию нагрева, однако он не получил широкого промышленного применения. Электроконтактный нагрев производится подачей электрического тока через инструмент. Температурный интервал при резании предварительно нагретых заготовок принимают на 35—40° С ниже температурного интервала для отжига и старения.

Подводя итог можно сказать что ни один фактор, оказывающий влияние на износ не действует сам по себе. Это всегда комплекс факторов, зависящих от множества параметров. Невозможно полностью избежать износа инструмента, однако путем подбора правильного инструментального материала, оптимальных режимов обработки для конкретного обрабатываемого материала, нанесением износостойких покрытий, применением специальных технологий упрочнения инструментальных материалов и СОТС возможно значительно снизить степень влияния того или иного фактора на износ и повысить период стойкости инструмента. Помимо этого внедрение различных датчиков в современное оборудование позволяет определять степень износа инструмента в производственных условиях, контролировать и прогнозировать его, не прерывая при этом процесс обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы были рассмотрены основные задачи, решаемые на предприятии в процессе технологической подготовки производства.

Проведен анализ технологичности корпуса регулятора турбонасосного агрегата, указан способ получения заготовки, разработан усовершенствованный технологический процесс изготовления детали, внедрено новое технологическое оборудование, произведен расчет режимов резания, разработаны технологические эскизы и укрупненный техпроцесс.

Спроектирован специальный режущий инструмент – шлицевая протяжка.

Построена структурно-параметрическая модель заготовки и маршрут изготовления детали в среде SolidWorks.

Разработана программа для токарно-фрезерной обработки детали на оборудовании с ЧПУ.

Спроектировано приспособление для обработки детали на фрезерной операции, позволяющее производить обработку последовательно на двух установках.

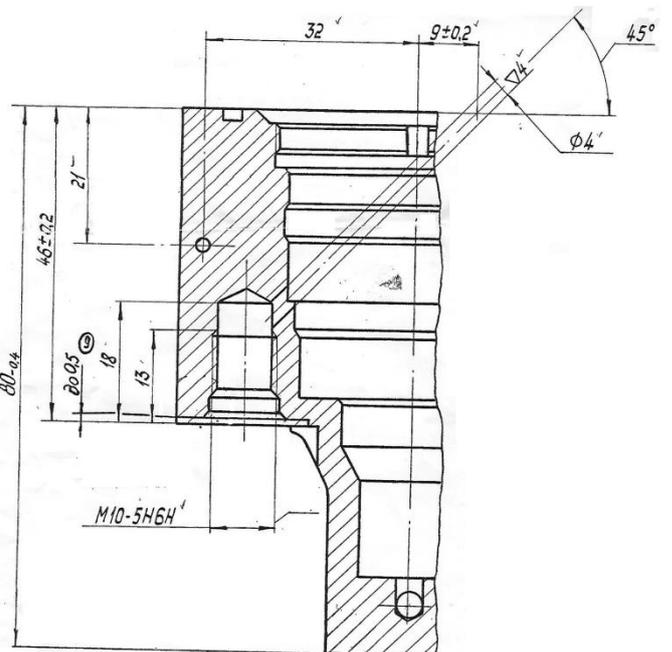
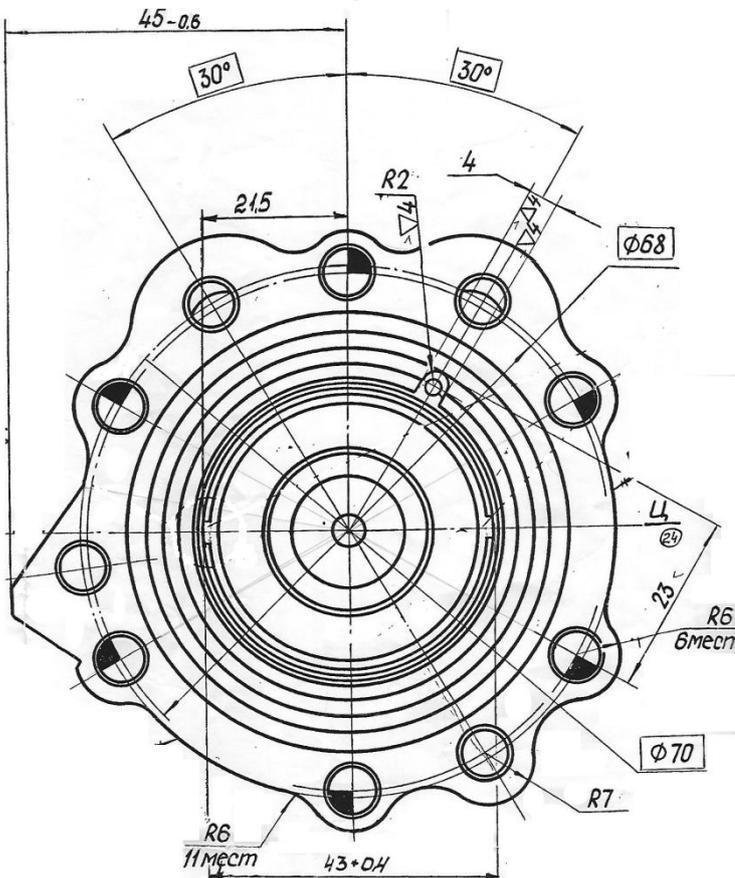
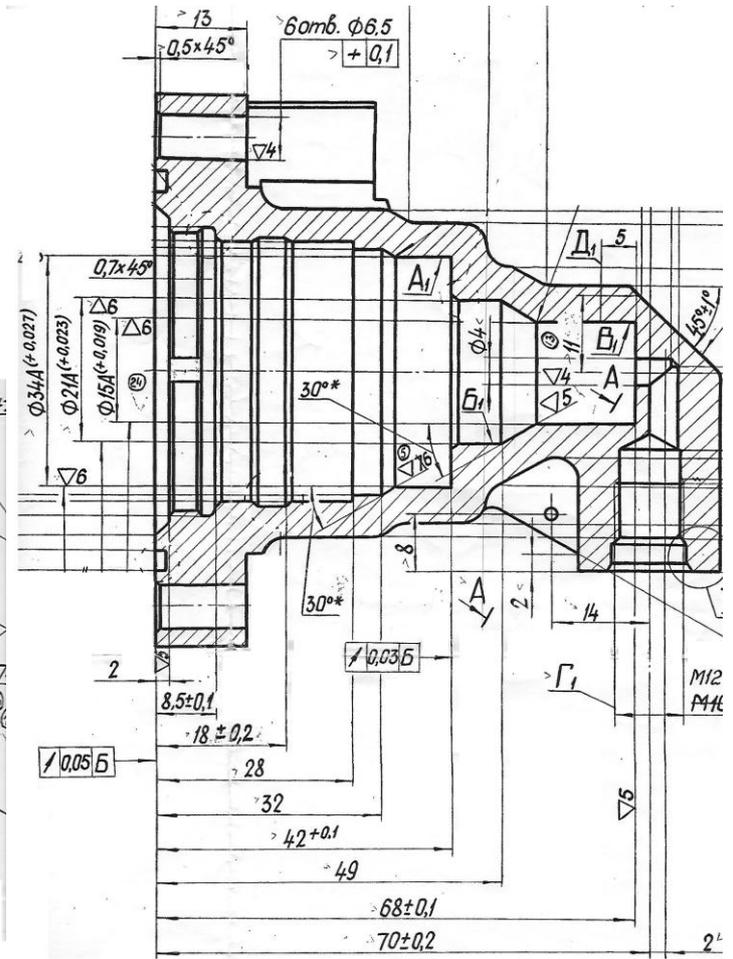
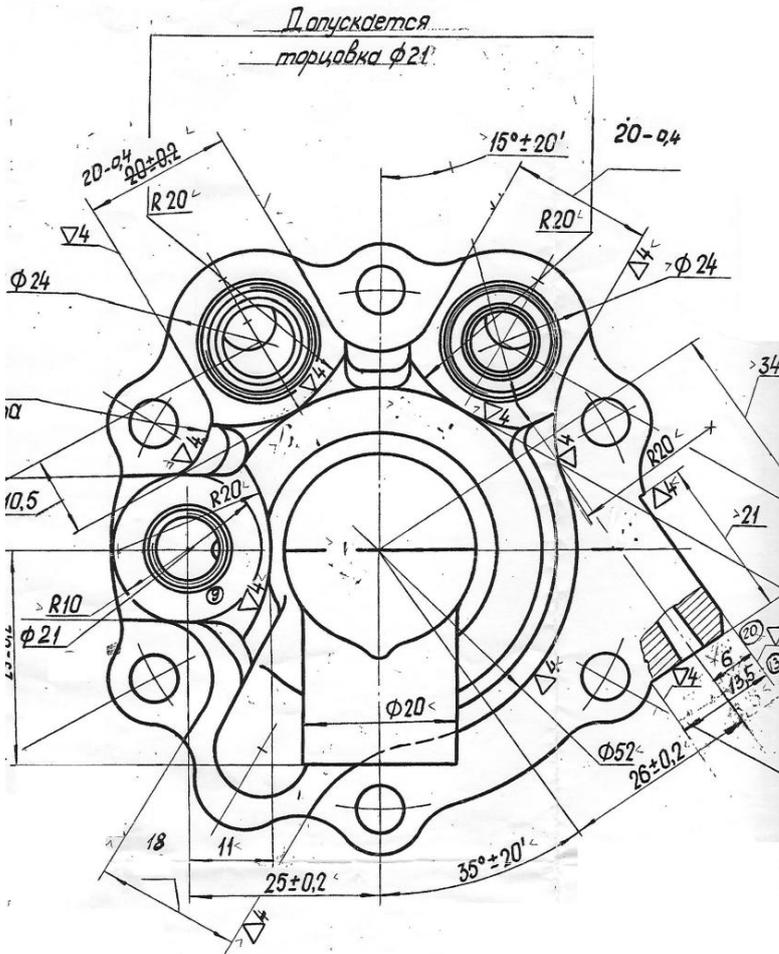
Рассмотрены основные факторы, влияющие на интенсивность износа режущего инструмента, виды износа, методы его прогнозирования и способы повышения стойкости инструмента.

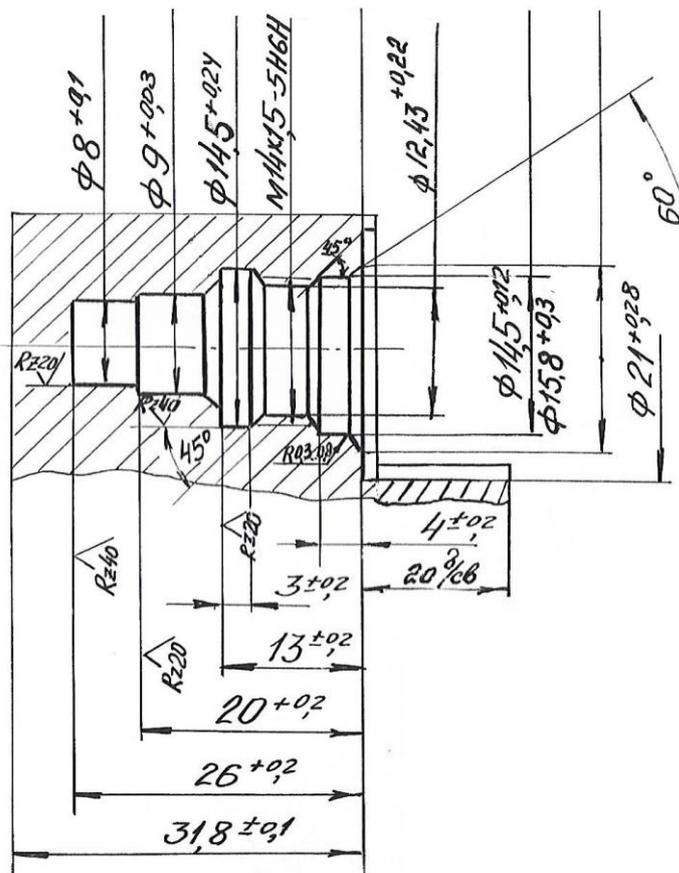
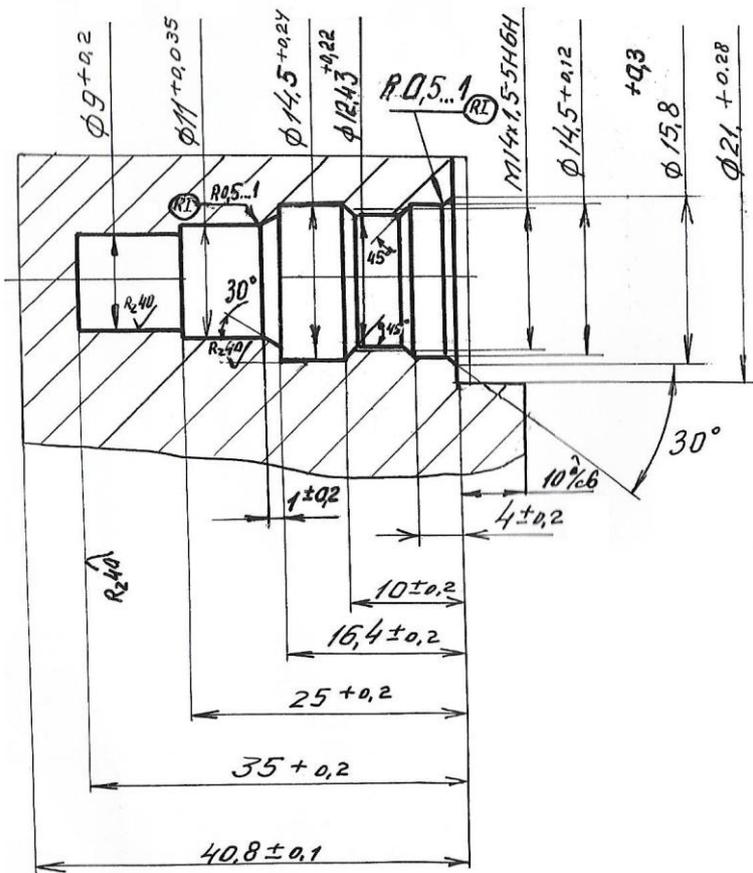
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марочник сталей и сплавов М.: Машиностроение 2002 г.
2. Игнатов М. П., Мартынюк А. В. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теоретические основы проектирования технологических процессов ДЛА» М.: 2018.
3. Справочник инструментальщика / Ординарцев И. А., Филлипов Г. В., Шевченко А. Н. под общей редакцией И. А. Ординарцева М.: Машиностроение Ленинградское отделение 1987 г.
4. Справочник технолога-машиностроителя под редакцией Дальского А. М., Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К., Сулова А. Г. 5-е издание доп. перераб. в 2-х томах М.: Машиностроение 2001 г.
5. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. Учебное пособие для ВУЗов./ Под ред. Г.Н. Кирасова — М.: Машиностроение. 1986. — 288 с.
6. Металлорежущие инструменты. Учебник для ВУЗов./ Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой. М.: Машиностроение, 1989. — 328с.
7. Бойцов А.Г., Пискарев А.С., Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Проектирование режущего инструмента»,М.- 2016.
8. Сологуб А., Сабирова З. SolidWorks 2007. Технология трехмерного моделирования (CD-ROM) / Серия: Мастер Издательство: БХВПетербург, 2007 г. 352 стр.
9. Курицына В.В. Основы твердотельного моделирования деталей. Интерфейс пользователя SolidWorks: Лабораторный практикум / Учебное пособие. – М.: МАТИ, кафедра ТПДЛА, 2010. – 24 с.
10. Курицына В.В. История конструирования. Моделирование деталей на основе сложных эскизов: Лабораторный практикум в среде SolidWorks / Учебное пособие. – М.: МАТИ, кафедра ТПДЛА, 2010. – 12 с.

11. Курицына В.В. Параметризация 3D моделей. Табличные конфигурации детали: Лабораторный практикум в среде SolidWorks / Учебное пособие. – М.: МАТИ, кафедра ТПДЛА, 2010. – 32 с.
12. Мартынюк А. В. Попков А. Ю. Лабораторные занятия в среде MasterCAM. Методические указания. – МАТИ Кафедра ТПДЛА, 2010. – 40 с.
13. Мартынюк А. В. Методические указания к выполнению курсовой работы «АСТПП». – МАТИ Кафедра ТПДЛА, 2012. – 13 с.
14. Методические указания по курсовому проектированию «Проектирование технологической оснастки»: Учеб. пособие/ Мартынюк А.В. — М.: МАИ(НИУ), 2015
15. Л.Н. Бердников, В.Ф. Безъязычный, В.Н. Крылов, Е.М. Большаков, П.Д. Мотренко, Справочник фрезеровщика; под. ред. В.Ф. Безъязычного. М.: Машиностроение, 2010. — 272 с.
16. Фам Хоанг Чунг "Исследование механизма изнашивания твердосплавного инструмента во взаимосвязи с особенностями стружкообразования и контактного взаимодействия при резании высоколегированных хромистых сталей". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Волгоград, 2019.
17. Каталог SANDVIK COROMANT 2010 CoroKey, Режущий инструмент для точения, фрезерования и сверления.
18. Справочник HOFFMANN GROUP 2012 Обработка резанием Garant ToolScout (Всего 1091 стр.).
19. Нагорный В.В. Прогнозирование работоспособности режущего инструмента на основе оценки напряженного состояния поверхностного слоя обрабатываемого материала/ К.А. Дядюра, В.В. Нагорный // Вісник СевНТУ Вип.111: Машинобудування та транспорт: зб. наук. пр. - Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010.
20. Киселева Е.В., Марков В.В. Влияние способа перемешивания технологических жидкостей на их структуру// Вестник ИГЭУ. -2009. -Вып. 3.

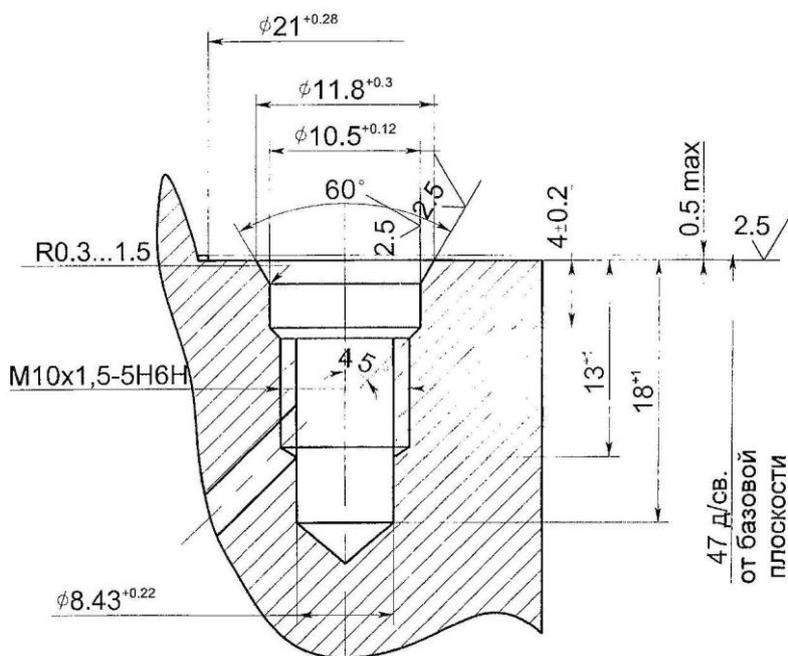
ПРИЛОЖЕНИЕ



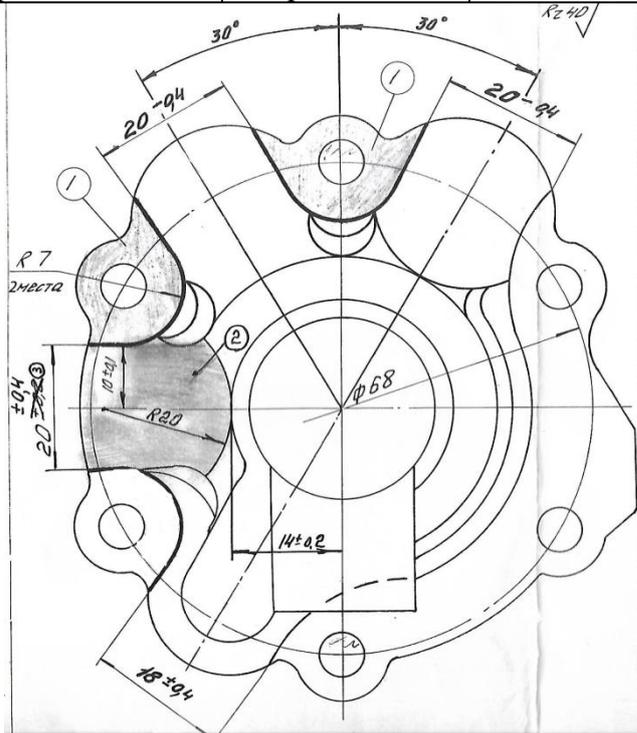


E-E

Rz20 (✓) (✓)

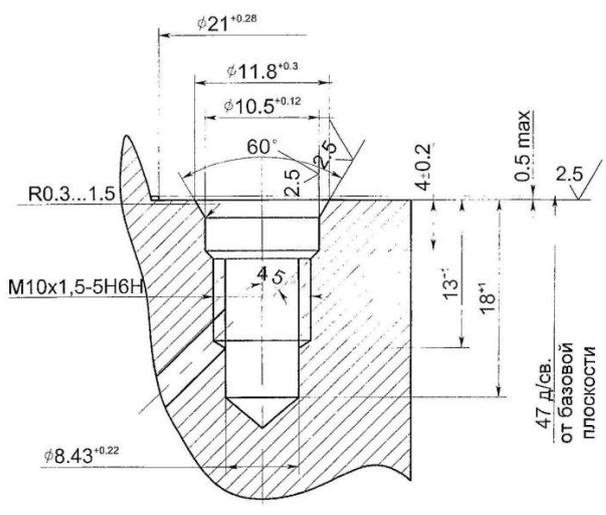


Разработал	Петров Н.М.	2ДЛА-4ДБ-322	Кафедра ТПЭДЛА
------------	-------------	--------------	----------------



E-E

Rz20 (✓)



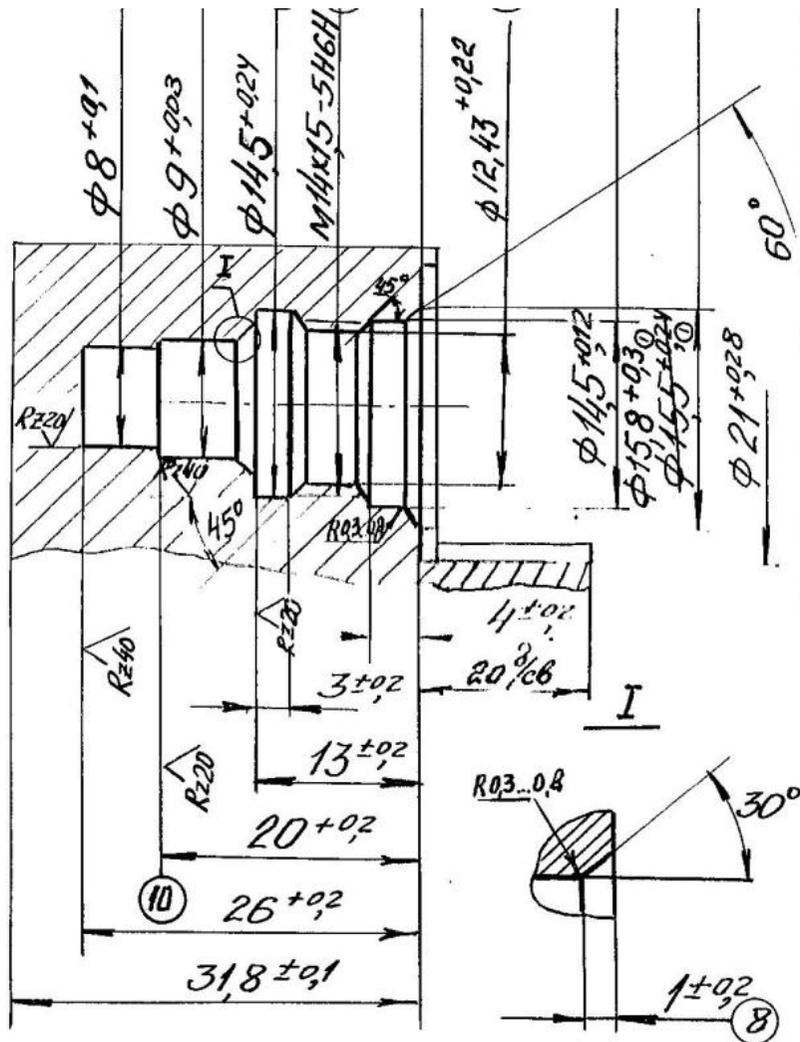
Корпус регулятора ТНА		
Операция	№	Материал
Фрезерная с ЧПУ	120	АЛ9-Т6
Вид, габариты заготовки		Твердость
Литье в кокиль		70 МПа
Оборудование, устройство с ЧПУ		№ программы
Обработывающий центр НААС VF-3УТ		00002

Разработал

Петров Н.М.

2ДЛА-4ДБ-322

Кафедра ТПЭДЛА



Корпус регулятора ТНА

Операция

№

Материал

Токарная с ЧПУ

140

АЛ9-Т6

Вид, габариты заготовки

Твердость

Литье в кокиль

70 МПа

Оборудование, устройство с ЧПУ

№ программы

Токарный MDW 10/20

00001

Приложение 4 – Заводской техпроцесс на изготовление детали

№ Операции	Наименование операции
8	Вертикально-фрезерная
10	Токарная (АТПР 2М12СН)
15	Вертикально-сверлильная
35	Вертикально-сверлильная
40	Вертикально-сверлильная
45	Вертикально-сверлильная
50	Вертикально-сверлильная
55	Вертикально-сверлильная
60	Вертикально-фрезерная
65	Фрезерная
70	Вертикально-фрезерная
75	Вертикально-фрезерная
80	Вертикально-фрезерная
85	Вертикально-фрезерная
90	Вертикально-фрезерная
95	Вертикально-фрезерная
120	Комплексная с ПУ (Обработ. центр)
125	Комплексная с ПУ (Обработ. центр)
140	Токарная (токарный MDW 10/20)
145	Токарная (токарный MDW 10/20)
160	Вертикально-сверлильная
165	Вертикально-сверлильная
180	Токарно-винторезная
200	Токарная (токарный MDW 10/20)
215	Вертикально-фрезерная
220	Вертикально-сверлильная
290	Обработка на машинном центре

Приложение 5 – Усовершенствованный техпроцесс обработки детали

№ Операции	Наименование операции	Оборудование
10	Токарная обработка с ЧПУ	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
15	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT
20	Вертикально-сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135
25	Фрезерная обработка с ЧПУ	Вертикальный 5-координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunion
30	Вертикально-фрезерная	Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3
35	Вертикально-фрезерная	Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3
40	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT
45	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT
50	Вертикально-сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135
55	Токарная обработка с ЧПУ	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
60	Комплексная с ЧПУ (Обработ. центр)	Вертикальный 5 – координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunion

Сравнение заводского и усовершенствованного техпроцессов

Заводской техпроцесс

№ Операции	Наименование операции
8	Вертикально-фрезерная
10	Токарная (МДВ 10/20)
15	Вертикально-сверлильная
35	Вертикально-сверлильная
40	Вертикально-сверлильная
45	Вертикально-сверлильная
50	Вертикально-сверлильная
55	Вертикально-сверлильная
60	Вертикально-фрезерная
65	Вертикально-фрезерная
70	Вертикально-фрезерная
75	Вертикально-фрезерная
80	Вертикально-фрезерная
85	Вертикально-фрезерная
90	Вертикально-фрезерная
95	Вертикально-фрезерная
120	Комплексная с ЧПУ (Обраб. центр)
125	Комплексная с ЧПУ (Обраб. центр)
140	Токарная (МДВ 10/20)
145	Токарная (МДВ 10/20)
160	Вертикально-сверлильная
165	Вертикально-сверлильная
180	Токарно-винторезная
200	Токарная (МДВ 10/20)
215	Вертикально-фрезерная
220	Вертикально-сверлильная
290	Обработка на машинном центре

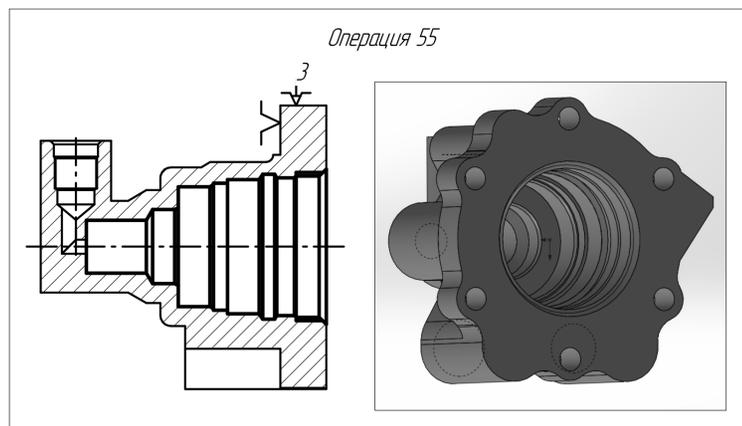
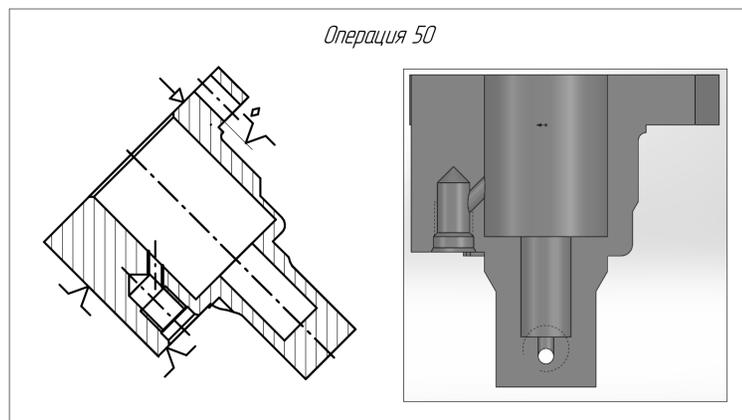
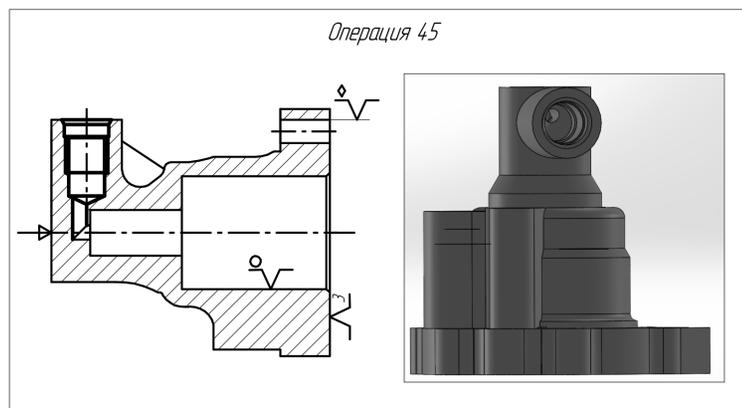
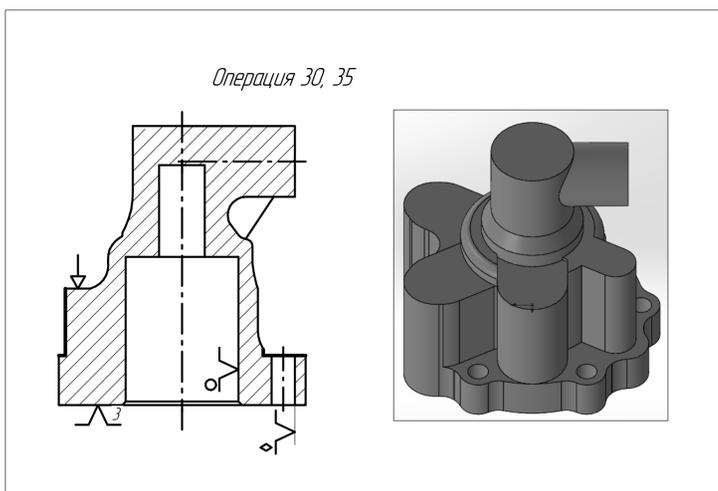
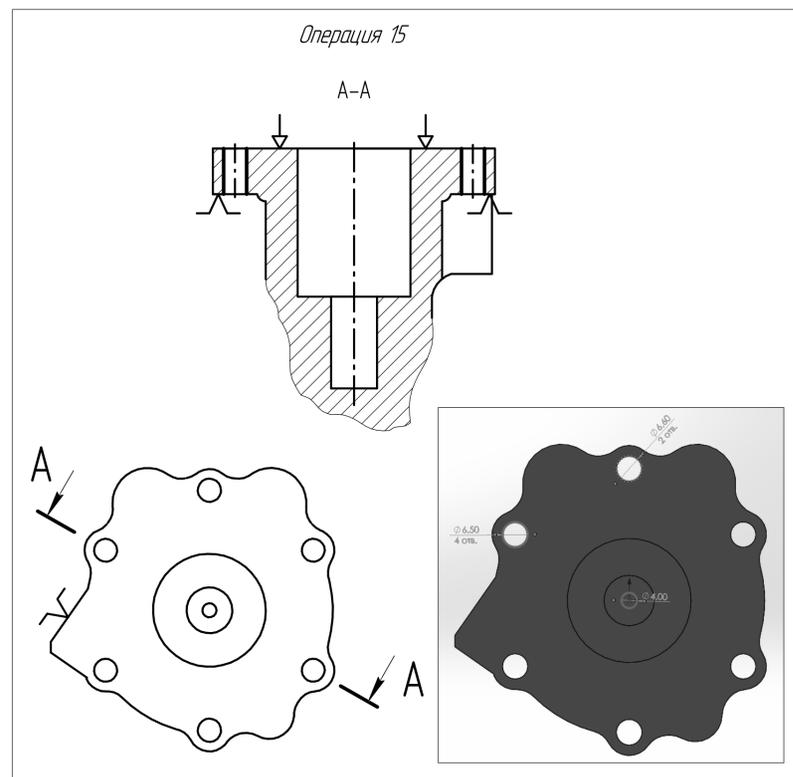
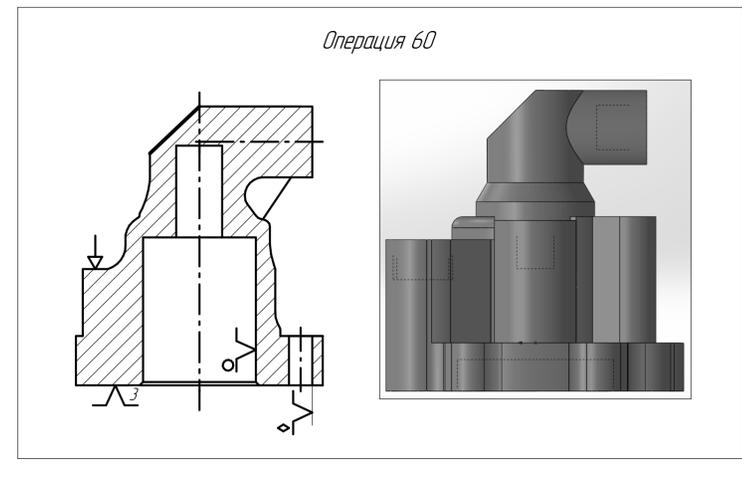
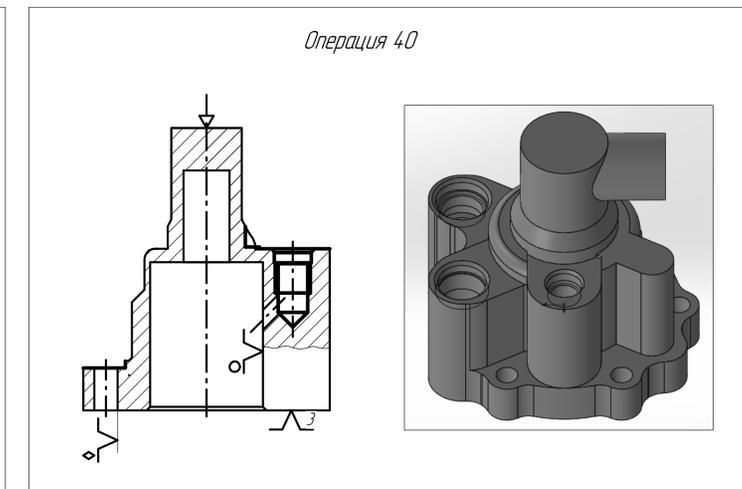
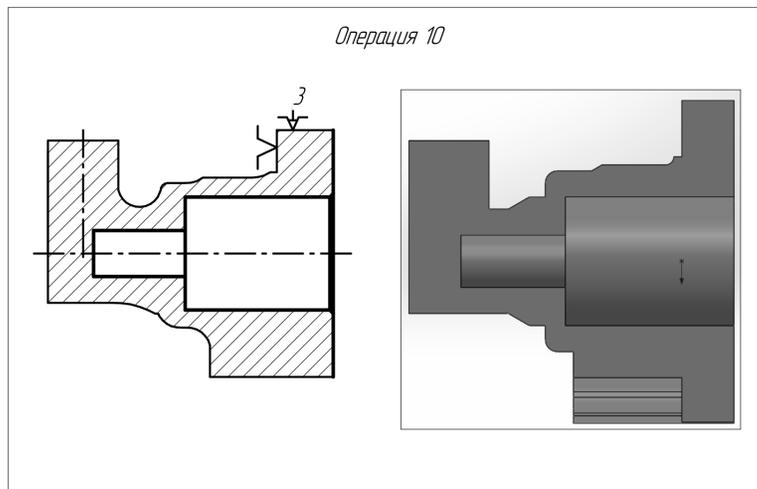
Количество формообразующих операций по техпроцессу - 27

Усовершенствованный техпроцесс

№ Операции	Наименование операции	Оборудование
10	Токарная обработка с ЧПУ	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
15	Комплексная с ЧПУ (Обраб. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3 YT
20	Вертикально-сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135
25	Фрезерная обработка с ЧПУ	Вертикальный 5-координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunpion
30	Вертикально-фрезерная	Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3
35	Вертикально-фрезерная	Вертикально-фрезерный с ЧПУ 6520Ф-3
40	Комплексная с ЧПУ (Обраб. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3 YT
45	Комплексная с ЧПУ (Обраб. центр)	Обрабатывающий центр HAAS VF-3 YT
50	Вертикально-сверлильная	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135
55	Токарная обработка с ЧПУ	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10
60	Комплексная с ЧПУ (Обраб. центр)	Вертикальный 5-координатный фрезерный центр Kitamura Mytrunpion

Количество формообразующих операций по техпроцессу - 11

Укрупненный технологический процесс



Лист 1 из 1
Справ. №

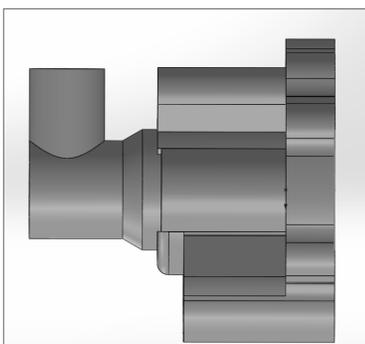
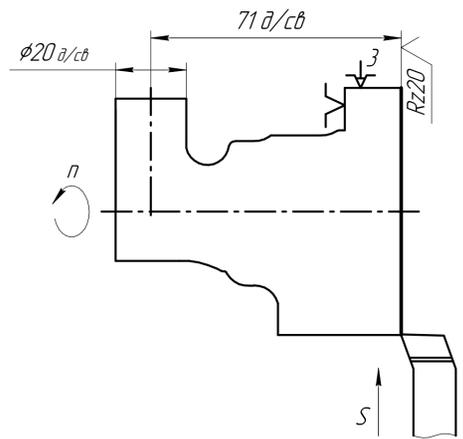
Лист 1 из 1
Лист 1 из 1

Лист 1 из 1
Лист 1 из 1

ВКРБ				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Укрупненный технологический процесс обработки детали	1:1
Разраб.	Петров Н. М.					
Проб.	Мартынов А. В.					
Т.контр.						
Н.контр.					Лист 1	Листов 7
Утв.					МАИ(НИИ)У	
А19-Т6						каф. ТПЭД/ЛА
Копирован						Формат А1

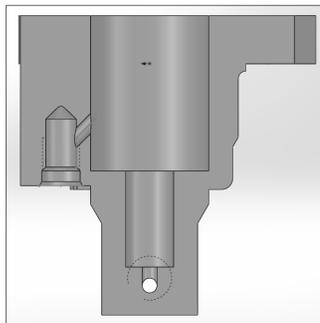
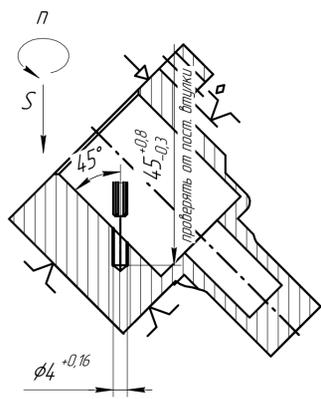
ПОДРЕЗАТЬ ТОРЕЦ

t, мм	s, мм/об	T, мин	V, м/мин	n, об/мин	Pz, Н	Py, Н
1	0,6	45	218,2	992	294,5	598,2
Px, Н	N, кВт	Ta, мин	l, мм			
248,6	1,05	0,064	38			



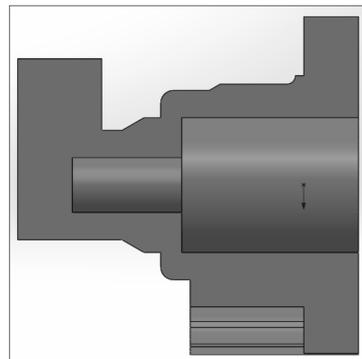
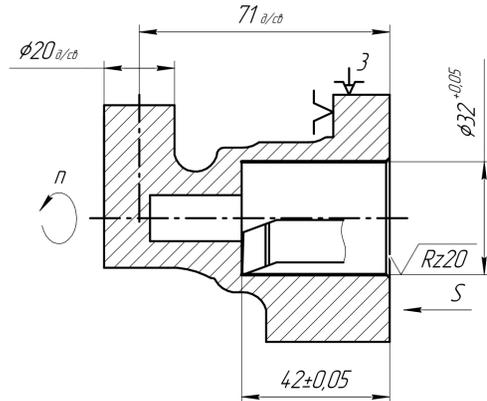
РАЗВЕРНУТЬ ОТВЕРСТИЕ $\phi 4$

t, мм	s, мм/об	T, мин	V, м/мин	n, об/мин	Mкр, Нм	Pa, Н
0,1	1,8	45	7,33	583,6	0,058	87
N, кВт	Ta, мин	l, мм				
0,004	0,015	16				



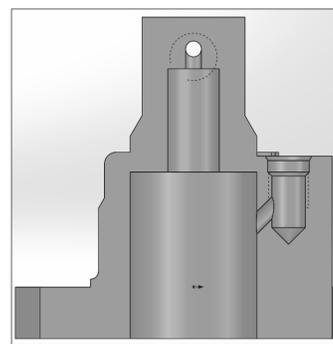
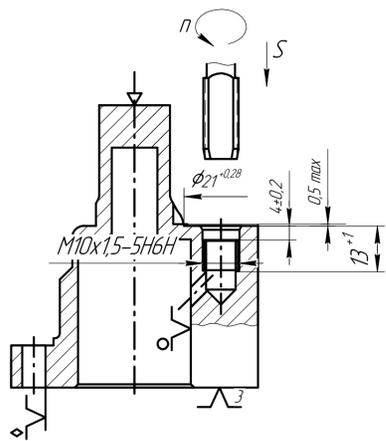
РАСТОЧИТЬ ОТВЕРСТИЕ $\phi 32$

t, мм	s, мм/об	T, мин	V, м/мин	n, об/мин	Pz, Н	Py, Н
3,5	0,5	60	170,7	1700	899	1611,2
Px, Н	N, кВт	Ta, мин	l, мм			
809	2,5	0,052	44			



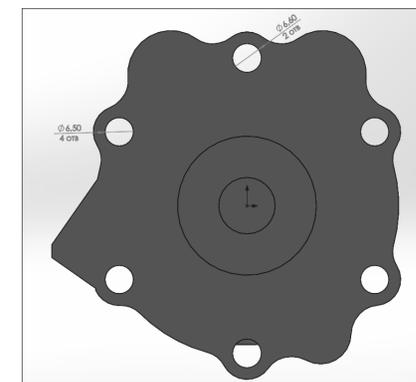
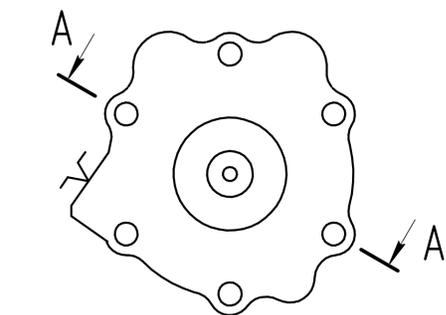
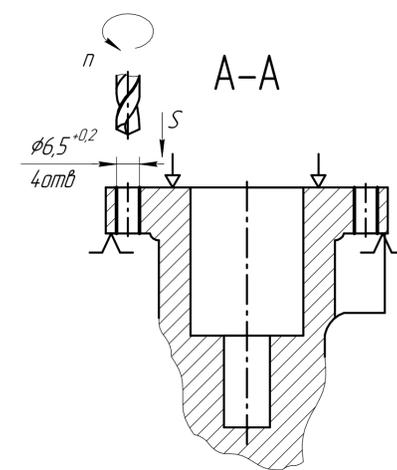
НАРЕЗАТЬ РЕЗЬБУ M10x15

s, мм/об	T, мин	V, м/мин	n, об/мин	Mкр, Нм	N, кВт	Ta, мин	l, мм
0,4	90	8,7	277	2,55	0,72	0,09	16



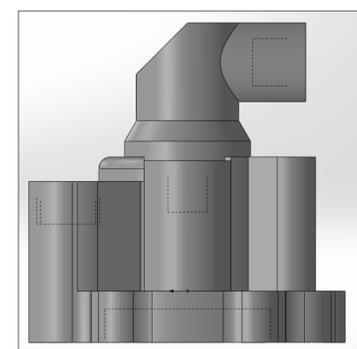
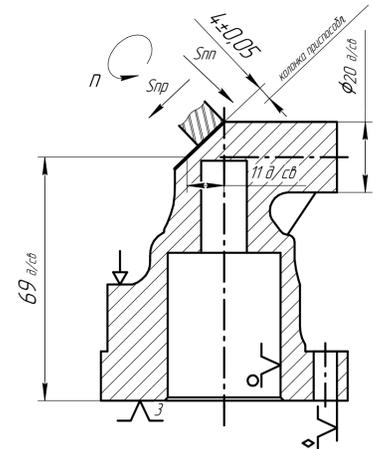
СВЕРЛИТЬ 4 ОТВЕРСТИЯ $\phi 6,5$

D, мм	s, мм/об	T, мин	V, м/мин	n, об/мин	Mкр, Нм	Pa, Н
3,5	0,28	35	50,8	2489	0,76	261,3
N, кВт	Ta, мин	l, мм				
0,19	0,03	20				



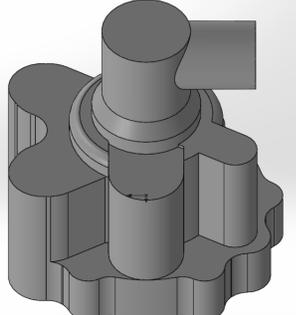
ФРЕЗЕРОВАТЬ ПЛОСКОСТЬ

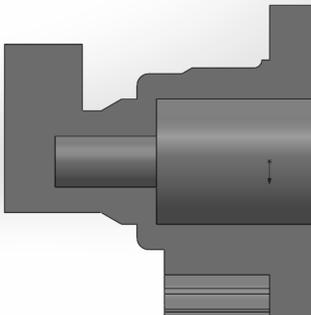
t, мм	Sz, мм/зуб	B, мм	S, мм/об	Sm, мм/мин	T, мин	V, м/мин
5	0,08	12	0,24	258,9	80	40,65
n, об/мин <td>Mкр, Нм <td>Pz, Н <td>N, кВт</td> <td></td> <td></td> <td></td> </td></td>	Mкр, Нм <td>Pz, Н <td>N, кВт</td> <td></td> <td></td> <td></td> </td>	Pz, Н <td>N, кВт</td> <td></td> <td></td> <td></td>	N, кВт			
1078,8	20,1	4520	3			

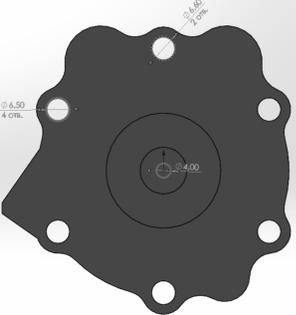


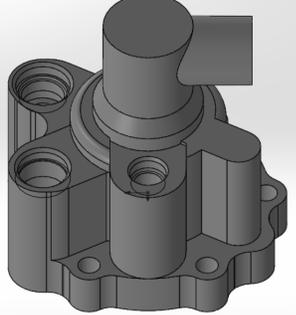
ВКРБ				Технологические эскизы механической обработки		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса
	у				2	1:1
Разраб.	Летров Н. М.				Листов	7
Проб.	Мартьяков А. В.				МАИ(НИУ) каф. ТПЭДЛА	
Т.контр.					Формат А1	
Н.контр.					Копирован	
Утв.					А19-Т6	

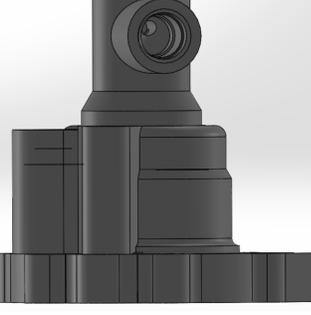
Копия: ЭД 1/17 № докум. ВКРБ © 2017 ООО «АИИ-Центры преобразования». Россия. Все права защищены. Идентификация: Век. шифр. № 1. Идентификация: Подп. и дата.

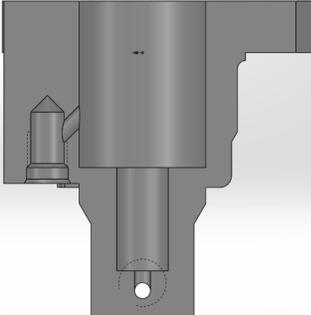
№ опер.	00	
Наименование операции	Заготовительная	
Оборудование	Копильная машина	

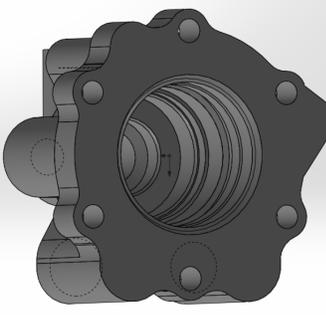
№ опер.	10	
Наименование операции	Токарная обработка с ЧПУ	
Оборудование	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10	

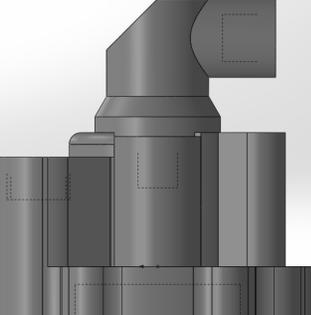
№ опер.	15	
Наименование операции	Комплексная с ЧПУ (Обрабат. центр)	
Оборудование	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT	

№ опер.	40	
Наименование операции	Комплексная с ЧПУ (Обрабат. центр)	
Оборудование	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT	

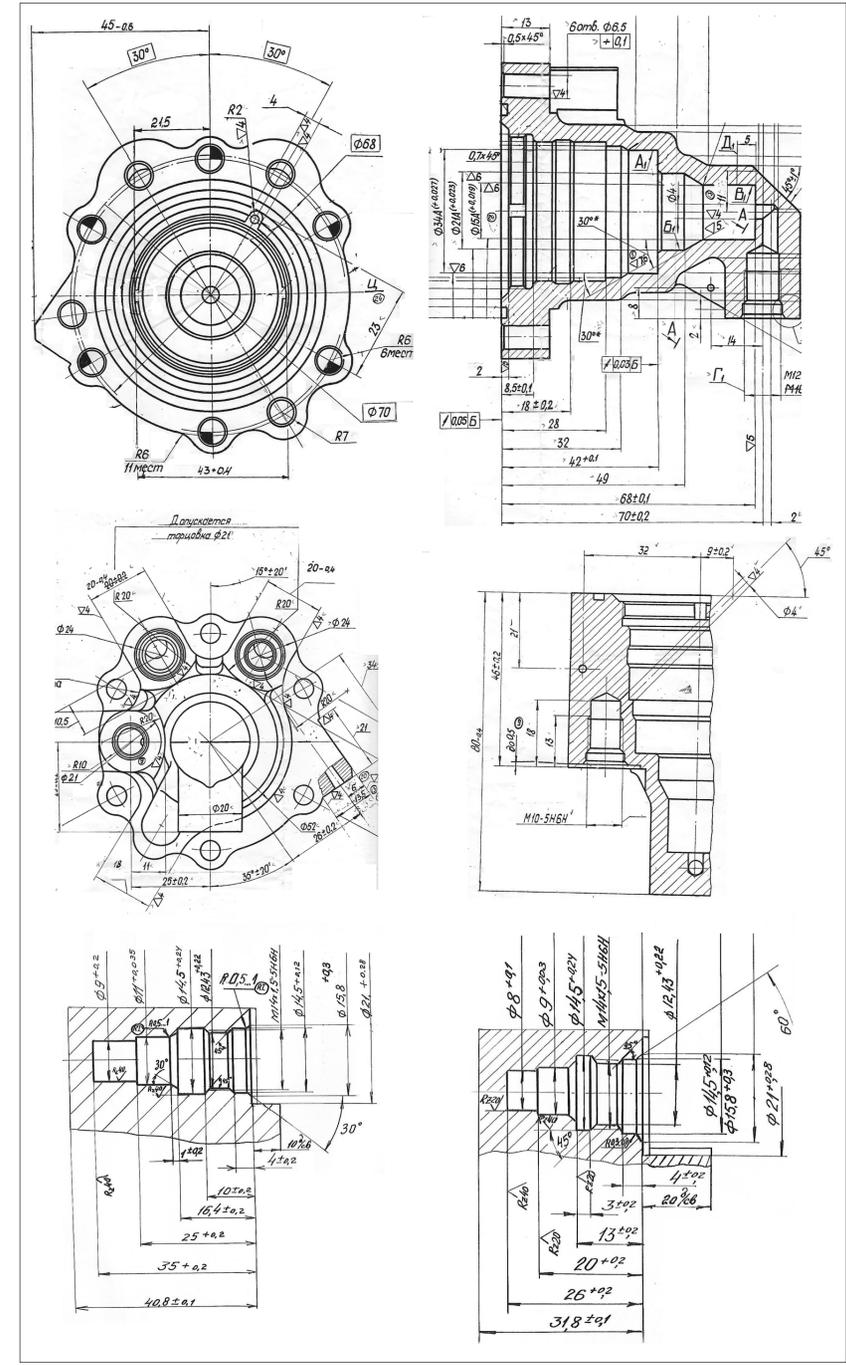
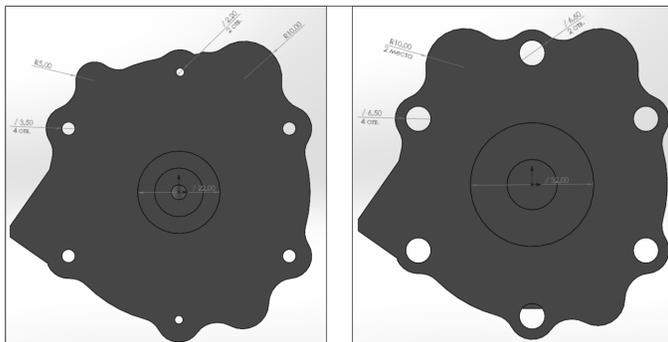
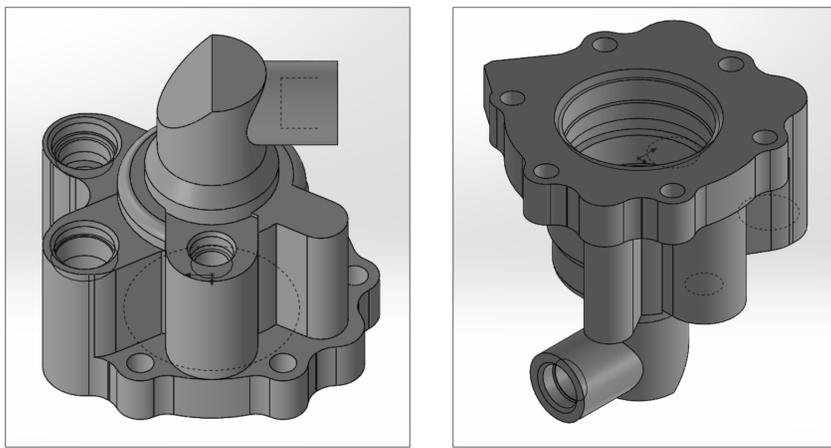
№ опер.	45	
Наименование операции	Комплексная с ЧПУ (Обрабат. центр)	
Оборудование	Обрабатывающий центр HAAS VF-3YT	

№ опер.	50	
Наименование операции	Вертикально-сверлильная	
Оборудование	Станок вертикально-сверлильный универсальный 2A135	

№ опер.	55	
Наименование операции	Токарная обработка с ЧПУ	
Оборудование	Токарно-револьверный обрабатывающий центр HAAS ST-10	

№ опер.	60	
Наименование операции	Комплексная с ЧПУ (Обрабат. центр)	
Оборудование	Вертикальный 5 координатный фрезерный центр Kitamura Mytrinion	

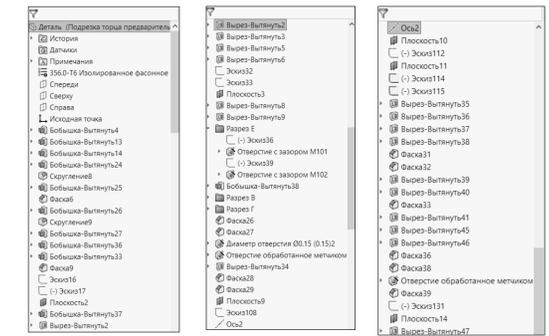
Окончательная 3D модель детали



Конфигурации детали

	A	B	C
1	Деталь Корпус регулятора ТНА		
2			
3	Имя конфигурации	Предварительно	Окончательно
4	D1, мм	22	32
5	d1, мм	3,5	6,5
6	d2, мм	2,2	6,6
7	R1, мм	5	10
8	R2, мм	10	10
9			

Дерево построения

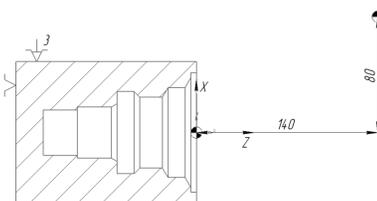


ВКРБ

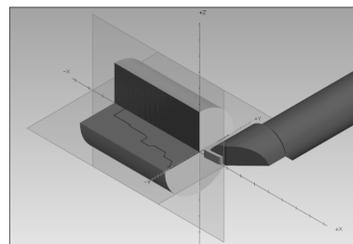
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Структурно-параметрическое моделирование маршрута изготовления детали "Корпус регулятора ТНА"	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		у		1:1
Проб.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Лист 4	Листов 7	
Т.контр.								МАИ(НИУ) каф. ТПЭД/А
Н.контр.								Формат А1
Утв.								Копирован

Копия 3D-модели и чертежа © 2017 ООО "МАИ(НИУ) - Центр компетенции в области машиностроения". Распространение и использование без письменного разрешения ООО "МАИ(НИУ) - Центр компетенции в области машиностроения" запрещено.

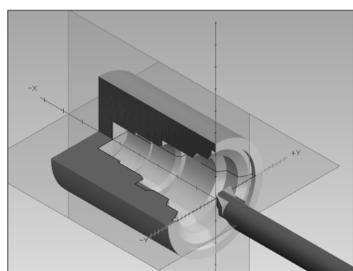
Токарная обработка



1. Подрезать торцы

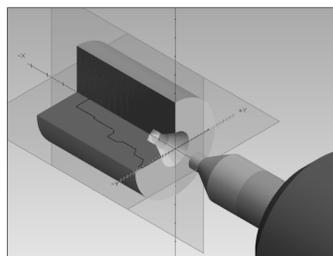


5. Точить внутренний контур окончательно

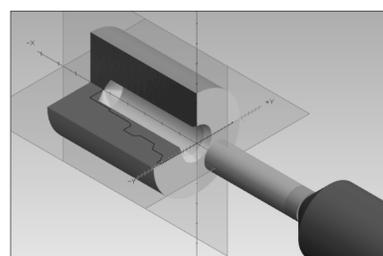


Содержание перехода		1. Подрезать торцы	2. Центровать отверстие	3. Сверлить отверстие $\phi 7$	4. Точить внутренний контур предварительно	5. Точить внутренний контур окончательно	6. Расточить карман	7. Развернуть отверстие $\phi 8$	8. Нарезать резьбу М14х1,5 5Н6Н
Схема наладки									
Режимы резания	V, м/мин	10,4	21,1	20,7	7,8	9,5	8,8	18,1	8,4
	S, мм/об	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	15
	n, об/мин	550	560	940	620	760	560	720	560

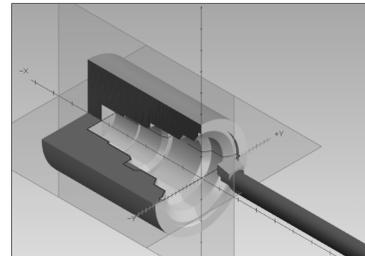
2. Центровать отверстие



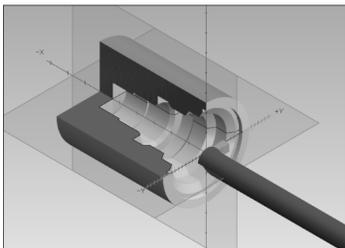
3. Сверлить отверстие $\phi 7$



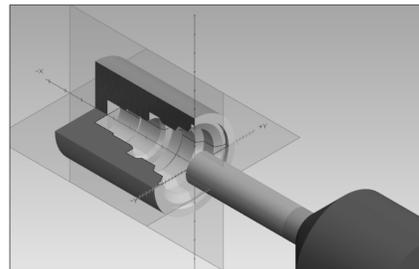
4. Точить внутренний контур предварительно



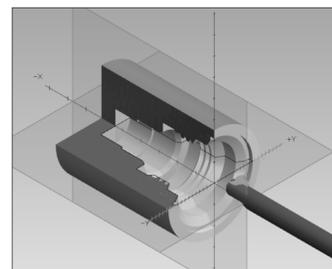
6. Расточить карман



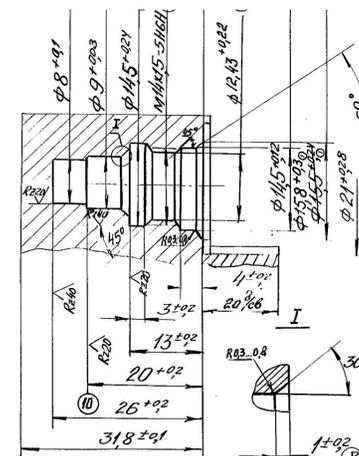
7. Развернуть отверстие $\phi 8$



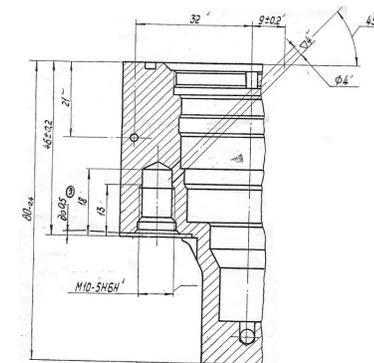
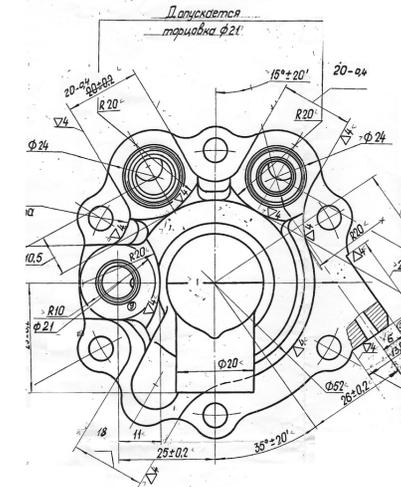
8. Нарезать резьбу М14х1,5 5Н6Н



Операционный эскиз на токарную операцию

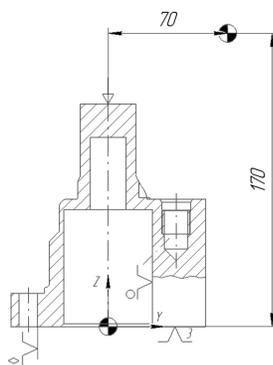


Чертеж детали

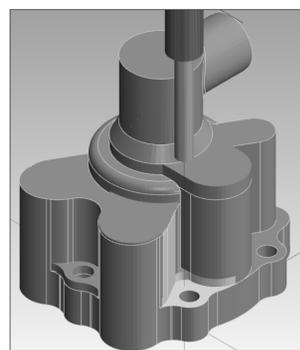


Операционный эскиз на фрезерную операцию

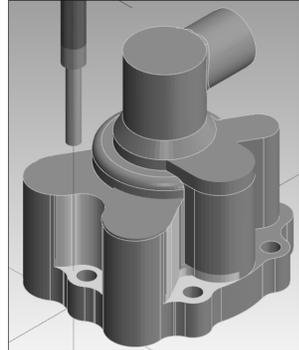
Фрезерная обработка



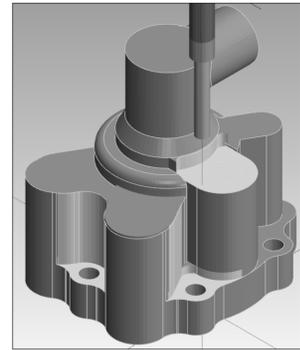
1. Фрезеровать карман 1



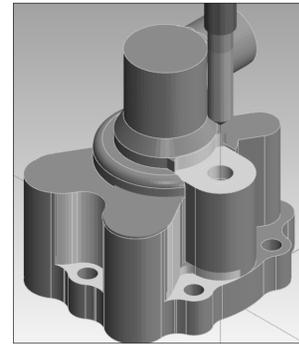
2. Фрезеровать карман 2



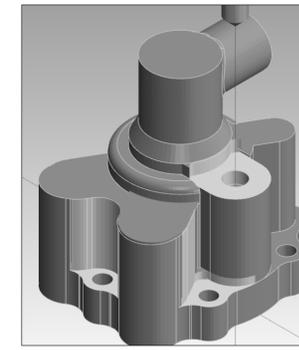
3. Фрезеровать карман 3



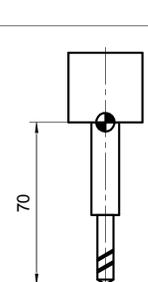
4. Сверлить отверстие $\phi 8,5$



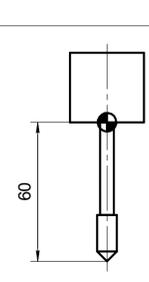
5. Зенкеровать отверстие $\phi 8,5$



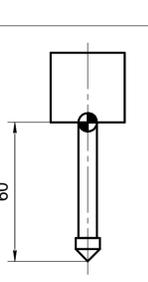
4. Сверлить отверстие $\phi 8,5$



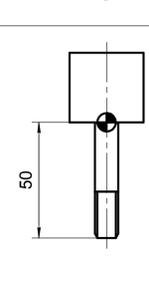
5. Зенкеровать отверстие $\phi 8,5$



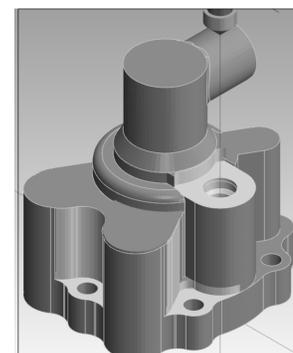
6. Зенкеровать отверстие $\phi 10,5$



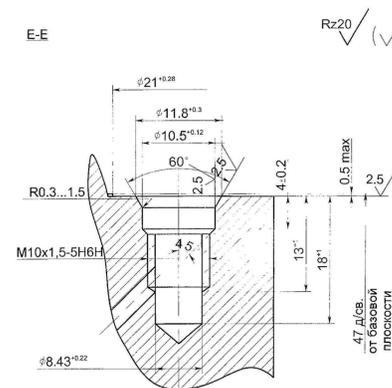
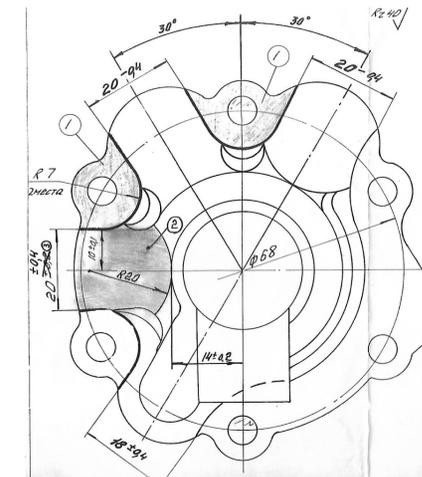
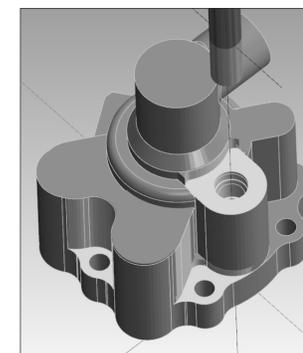
7. Нарезать резьбу М10х1,5 5Н6Н



6. Зенкеровать отверстие $\phi 10,5$



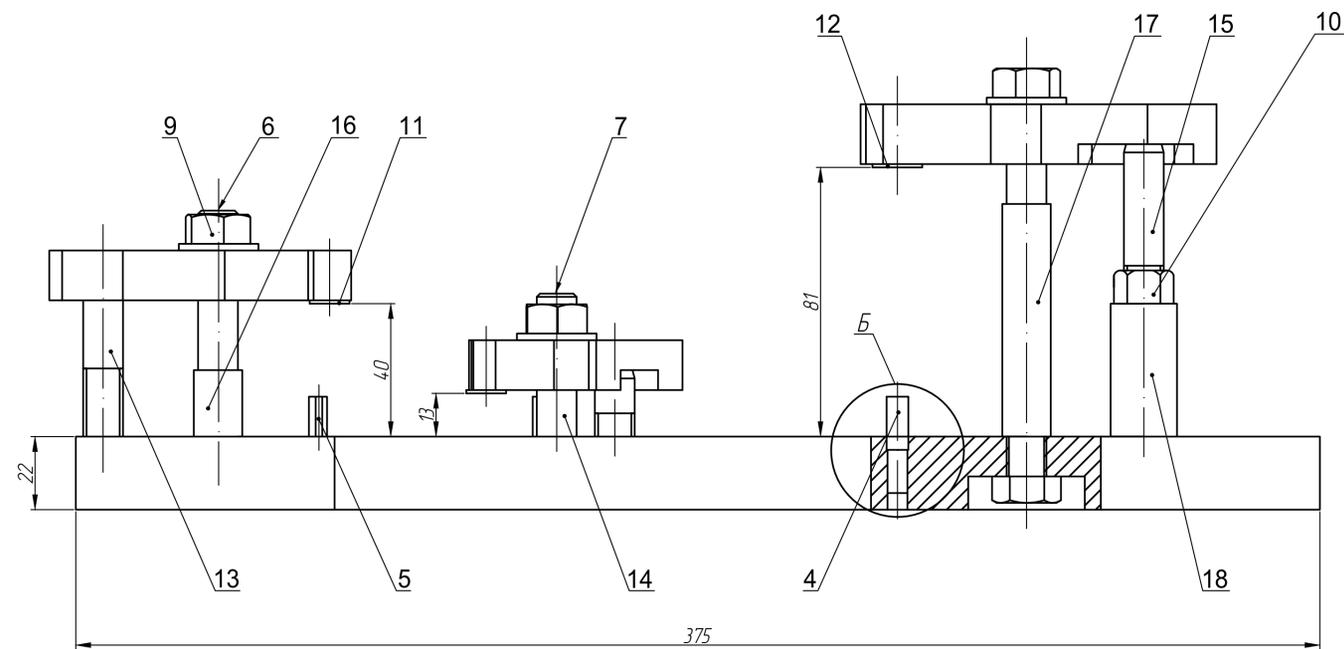
7. Нарезать резьбу М10х1,5 5Н6Н



Содержание перехода		1. Фрезеровать карман 1	2. Фрезеровать карман 2 3. Фрезеровать карман 3	4. Сверлить отверстие $\phi 8,5$	5. Зенкеровать отверстие $\phi 8,5$	6. Зенкеровать отверстие $\phi 10,5$	7. Нарезать резьбу М10х1,5 5Н6Н
Схема наладки							
Режимы резания	V, м/мин	4,71	39,3	22,6	24	30	2,8
	S, мм/об	0,05	0,05	0,1	0,1	0,08	1
	n, об/мин	2500	2500	900	900	910	90

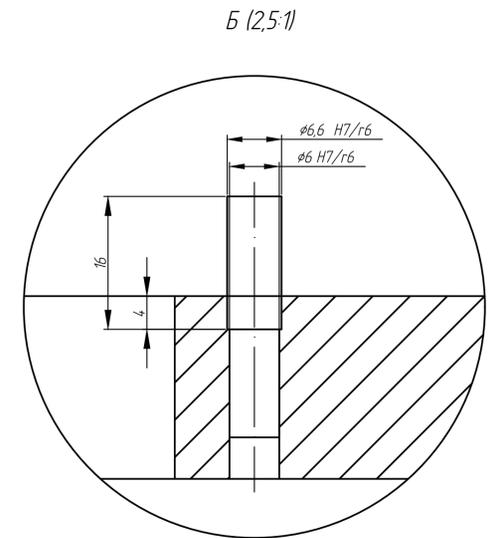
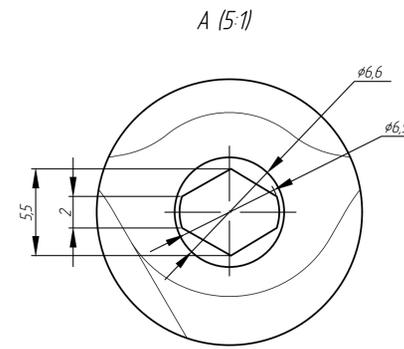
				ВКРБ				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработка управляющей программы для токарно-фрезерной обработки детали "Корпус регулятора ТНА"	Лист	Масса	Масштаб
						5		1:1
Проб.	Мартыняк А. В.					МАИ(НИИ)У		
Т.контр.						каф. ТПЭД/ЛА		
Н.контр.						Формат А1		
Утв.						Копировал		

КОМПАС-3D 11 / © 2017 / Все права защищены. Разработано в программе КОМПАС-3D 11 / © 2017 / Все права защищены. Разработано в программе КОМПАС-3D 11 / © 2017 / Все права защищены.

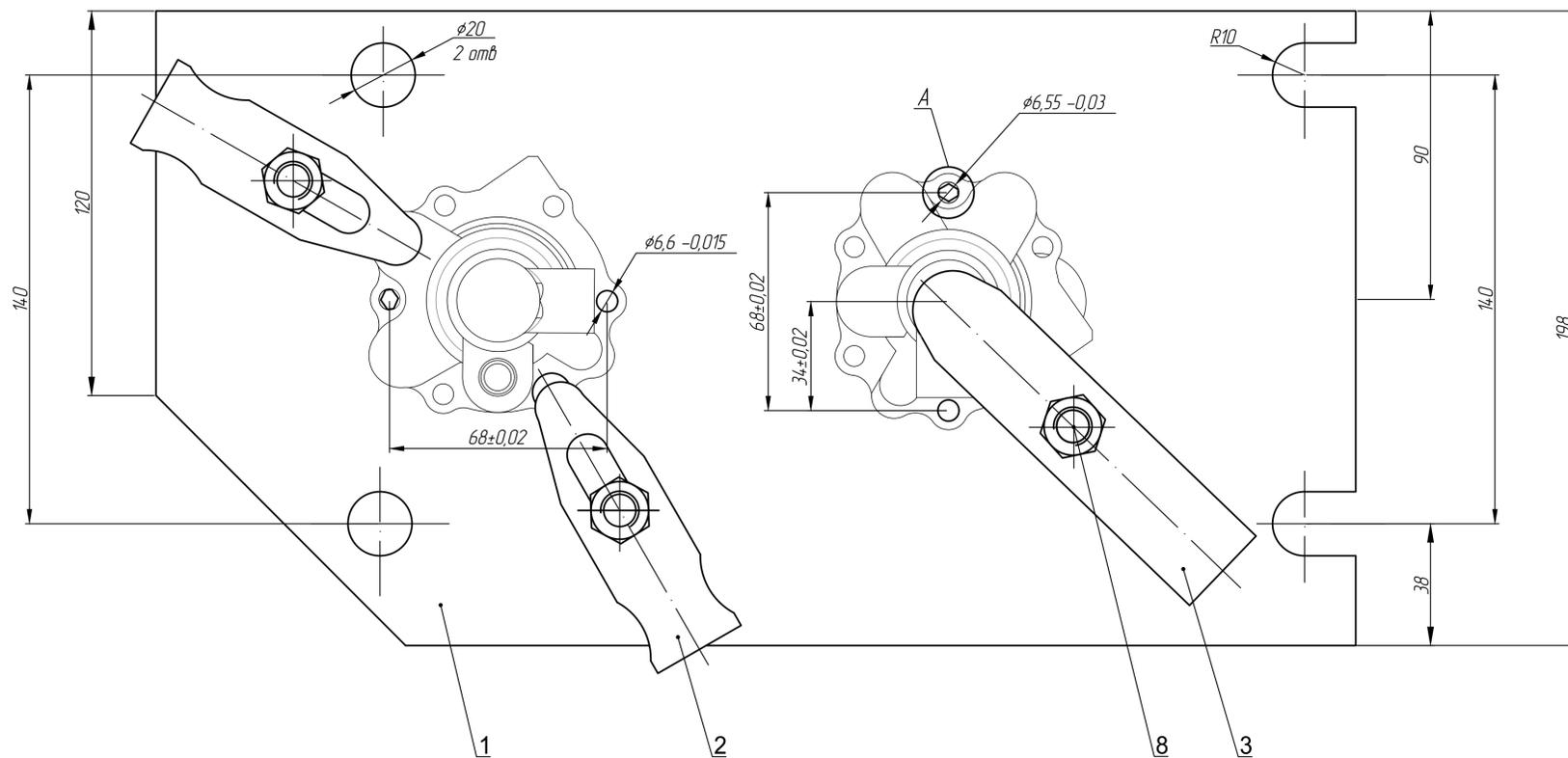


Установ 1

Установ 2



1. Момент затяжки прижимов установка 1 не менее 12,08 Нм
2. Момент затяжки прижима установка 2 не менее 13,33 Нм
3. Материал плиты и фиксаторов Сталь 20
4. Материал болтов, опор, втулок и прижимов Сталь 45



Позиция	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	СБ	Сборочный чертеж		
		<i>Детали</i>		
1		Плита	1	
2		Прижим 95x30x15	2	
3		Прижим 125x30x18	1	
4		Фиксатор 6,6x30	2	
5		Фиксатор 6,55x30	2	
		<i>Стандартные детали</i>		
		Болт ГОСТ 7798 -70		
6		M12x80	1	
7		M12x55	1	
8		M12x120	1	
9		Гайка 7003-0304 M12 ГОСТ 8918-69	3	
10		Гайка M12-6H ГОСТ 5915-70	1	
11		Шайба ГОСТ 11371 -78 12x3,6	2	
12		Шайба ГОСТ 11371 -78 15x4,55	1	
13		Опора 7035-0280 M12x65 ГОСТ 4084-68	1	
14		Опора 7035-0273 M12x40 ГОСТ 4084-68	1	
15		Опора 7035-0287 M12x100 ГОСТ 4084-68	1	
16		Втулка 14,6x20	1	
17		Втулка 14,6x70	1	
18		Втулка 20x40	1	

Изм. № подл. Подп. и дата
 Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата
 Справ. №
 Перепр. примен.

ВКРБ			
Станочное приспособление			
Лит	Масса	Масштаб	
4		1:1	
Лист 6		Листов 7	
МАИНИУ каф. ТПЭДЛА			
Формат А1			

