

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологии машиностроения

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Машиностроительно-технологический институт**

Специальность 151001.65 – технология машиностроения

Направление подготовки бакалавра:

150900.62 – технология, оборудование и автоматизация  
машиностроительных производств

**Институт управления производственными и инновационными  
программами**

Специальность 080502.65 – экономика и управление на предприятии  
машиностроения

Санкт-Петербург  
Издательство СЗТУ  
2010

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621.01 (07)

**Основы технологии машиностроения:** учебно-методический комплекс / сост. А. Е. Вороненко, В. В. Максаров, Л. В. Одинцова, К. П. Помпеев. – СПб: СЗТУ, 2010 г. – 265 с.

Учебно-методический комплекс разработан в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования.

В дисциплине рассматриваются основные положения и понятия технологии машиностроения, теория базирования и теория размерных цепей, закономерности и связи, проявляющиеся при проектировании и создании машин, метод разработки технологических процессов изготовления машины и ее деталей, принципы построения производственного процесса изготовления машины, технология сборки.

Рассмотрено на заседании кафедры технологии машиностроения «05» мая 2010 г.; одобрено методической комиссией машиностроительно-технологического института «06» мая 2010 г.

Рецензенты: кафедра технологии машиностроения (зав. кафедрой В. В. Максаров, д-р техн. наук, проф.); кафедра автоматизации производственных процессов (зав. кафедрой А. А. Сарвин, д-р техн. наук, проф.).

Составители: А. Е. Вороненко, канд. техн. наук, доц.,  
В. В. Максаров, д-р техн. наук, проф.,  
Л. В. Одинцова, канд. техн. наук, доц.,  
К. П. Помпеев, канд. техн. наук, доц.

# 1. Информация о дисциплине

## 1.1. Предисловие

Дисциплина «Основы технология машиностроения» относится к циклу общепрофессиональных дисциплин и изучается в одном семестре студентами специальности 151001.65 – технология машиностроения, всех специализаций и форм обучения, студентами специальности 080502.65 – экономика и управление на предприятии машиностроения очно-заочной и заочной форм обучения, а также студентами направления подготовки бакалавров 150900.62 – технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств всех форм обучения. Дисциплина «Основы технология машиностроения» является основополагающей всего цикла дисциплин, формирующих предметную часть базы знаний студентов указанных специальностей.

**Целью изучения дисциплины** является овладение обоснованной системой знаний и практическими навыками проектирования технологических процессов изготовления деталей и сборки машин заданного качества в плановом количестве при высоких технико-экономических показателях производства.

**Задачи изучения дисциплины** – усвоение теоретических основ технологии машиностроения и обоснование принимаемых решений при проектировании и управлении процессами создания и изготовления машин на должном научно-техническом уровне.

В результате изучения дисциплины студент должен овладеть основами знаний по дисциплине, формируемыми на нескольких уровнях:

**Иметь представление:**

- о предмете изучения, этапах и задачах развития технологии машиностроения;
- о роли отечественных и зарубежных ученых и инженеров в становлении технологии машиностроения как науки;
- об основных направлениях и перспективах развития технологии машиностроения.

**Знать:**

- основные положения и понятия технологии машиностроения;
- теорию базирования и теорию размерных цепей;
- основы формирования требований к свойствам материалов в процессе проектирования изделий;
- основы построения системы размерных связей при проектировании изделий;
- основы и закономерности реализации размерных связей в процессе сборки машины;
- закономерности обеспечения требуемых свойств материала и формирования размерных связей детали в процессе ее изготовления;
- временные связи и экономические показатели производственного процесса;
- методику разработки технологического процесса изготовления машины;
- принципы построения производственного процесса изготовления машины.

**Уметь:**

- анализировать существующие и проектировать новые технологические процессы изготовления деталей и сборки машин;
- моделировать размерные связи технологического процесса изготовления детали и сборки машин;
- выполнять расчеты размерных связей, необходимые при проектировании изделия и технологии его изготовления;
- проводить исследования по совершенствованию технологических процессов с целью повышения качества изделий, производительности труда, снижения себестоимости;
- разрабатывать технические задания на проектирование и модернизацию технологического оборудования, приспособлений, инструментов, средств автоматизации обработки и сборки, транспортировки на базе применения систем ЧПУ и ЭВМ.

**Владеть:**

- современными методами обеспечения должного научного уровня принимаемых решений при проектировании и управлении процессами изготовления деталей и сборки машин.

**Место дисциплины в учебном процессе:**

Теоретической и практической базой основ технологии машиностроения являются дисциплины «Материаловедение», «Технологические процессы в машиностроении», «Технология конструкционных материалов», «Технологические процессы машиностроительного производства», «Метрология, стандартизация и сертификация». Настоящая дисциплина составляет основу современной базы знаний технологии машиностроения. Приобретенные студентами знания будут непосредственно использованы при изучении специальных дисциплин машиностроительного направления, в курсовом и дипломном проектировании, а также в практической деятельности.

## 1.2. Содержание дисциплины и виды учебной работы

### 1.2.1. Содержание дисциплины по ГОС

Основные положения и понятия технологии машиностроения. Теория базирования и теория размерных цепей, как средство достижения качества изделия. Закономерности и связи, проявляющиеся в процессе проектирования и создания машины.

Метод разработки технологического процесса изготовления машины, обеспечивающий достижение её качества, требуемую производительность и экономическую эффективность. Принципы построения производственного процесса изготовления машины. Технология сборки. Разработка технологического процесса изготовления деталей.

### 1.2.2. Объем дисциплины и виды учебной работы

Объем дисциплины и виды учебной работы для студентов специальности 151001.65 и направления подготовки бакалавров 150900.62

Вид учебной работы	Всего часов		
	Форма обучения		
	Очная	Очно-заочная	Заочная
Общая трудоемкость дисциплины (ОТД)	<b>136</b>		
Работа под руководством преподавателя (включая ДОТ)	<b>82</b>	<b>82</b>	<b>82</b>
В т.ч. аудиторные занятия:			
лекции	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>8</b>
практические занятия (ПЗ)	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>4</b>
лабораторные работы (ЛР)	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>4</b>
Самостоятельная работа студента (СР)	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
Промежуточный контроль, количество	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
в т. ч.:			
курсовая работа	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
контрольная работа	–	–	–
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	<b>Экзамен</b>		

**Объем дисциплины и виды учебной работы для студентов  
специальности 080502.65**

Вид учебной работы	Всего часов		
	Форма обучения		
	Очная	Очно- заочная	Заочная
Общая трудоемкость дисциплины (ОТД)	<b>130</b>		
Работа под руководством преподавателя (включая ДОТ)	–	<b>78</b>	<b>78</b>
В т.ч. аудиторные занятия:			
лекции	–	<b>16</b>	<b>8</b>
практические занятия (ПЗ)	–	<b>8</b>	<b>4</b>
лабораторные работы (ЛР)	–	–	–
Самостоятельная работа студента (СР)	–	<b>52</b>	<b>52</b>
Промежуточный контроль, количество	–	<b>4</b>	<b>4</b>
в т. ч.:			
курсовая работа	–	–	–
контрольная работа	–	<b>1</b>	<b>1</b>
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	<b>Экзамен</b>		

### **1.2.3. Перечень видов практических занятий и контроля**

Перечень видов практических занятий и контроля для студентов  
специальности 151001.65 и направления подготовки бакалавров 150900.62

- курсовая работа (для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения);
- практические занятия – 20 часов (для очной формы обучения), 8 часов (для очно-заочной формы обучения), 4 часа (для заочной формы обучения);
- лабораторные работы – 12 часов (для очной формы обучения), 8 часов (для очно-заочной формы обучения), 4 часа (для заочной формы обучения);
- тесты по разделам;
- экзамен.

Перечень видов практических занятий и контроля для студентов  
специальности 080502.65

- одна контрольная работа (для студентов очно-заочной и заочной форм обучения);
- практические занятия – 8 часов (для очно-заочной формы обучения), 4 часа (для заочной формы обучения);
- тесты по разделам;
- экзамен.

## 2. Рабочие учебные материалы

### 2.1. Рабочая программа

(объем 136<sup>1</sup> часов, 130<sup>2</sup> часов)

#### *Введение* (2 часа)

[1], с. 3...6

Технология машиностроения – прикладная наука, вызванная к жизни потребностями развивающейся промышленности.

### Раздел 1. Методологические основы технологии машиностроения

(24 часа)

#### 1.1. Предмет изучения и задачи технологии машиностроения

[1], с.3...10; [2], с. 3...12; [4], с. 5...8

Предмет изучения – процессы изготовления деталей и сборки машин, проектирование этих процессов и управление ими.

Этапы развития технологии машиностроения; роль отечественных и зарубежных ученых и инженеров в становлении технологии машиностроения как науки.

Основная задача современного этапа развития – обеспечение должного научного уровня принимаемых решений при проектировании и управлении процессами изготовления деталей и сборки машин.

#### 1.2. Основные понятия и определения

[1], с.11...26; [2], с. 13...20; [4], с. 9...23

Машина как объект производства. Этапы существования машины: конструирование, производство (подготовка производства, непосредственное изготовление), эксплуатация. Качество машины и показатели качества.

Производственный процесс, его содержание и структура.

Техническая подготовка производства, ее структура и содержание частей: конструкторской подготовки, календарного планирования.

Технологический процесс (ТП) и его организационно-плановая структура. Рабочее место.

<sup>1</sup> для студентов специальности 151001.65 – технология машиностроения и направления подготовки бакалавров 150900.62 – технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

<sup>2</sup> для студентов специальности 080502.65 – экономика и управление на предприятии машиностроения

Типовые показатели ТП: программа (объем) выпуска, производственная партия.

Временные показатели ТП: трудоемкость и станкочасовое количество, норма времени, цикл технологической операции, производственный цикл, такт выпуска изделия:

Типы производств: единичное, серийное, массовое.

Организация производства: индивидуальная и групповая. Формы организации: поточная и непоточная.

Структура механосборочного производства: технические системы механической обработки и сборки и виды их реализации (технологическое оборудование и оснастка, производственные модули, автоматические линии), участки, цехи, заводы.

Показатели производительности труда: норма выработки, ритм выпуска. Себестоимость изготовления и цена изделия.

### **1.3. Системный подход – методологическая основа**

#### **технологии машиностроения**

[4], с. 24...38

Сущность и методика системных исследований. Моделирование как средство описания систем.

Общая задача исследования системы «Технологический процесс»: выявление, изучение и описание объектов, характеризующих различные стороны ТП как объекта проектирования. Модели системы ТП.

Техническая система «Предмет производства» (ТСПП) – системное образование, моделирующее объект производства конструкторской документации и описывающее конечную цель (функцию) проектируемого ТП.

Техническая система «Изделие» (ТСИ) – системное образование, моделирующее существование объекта производства во время технологического процесса его изготовления и описывающее частные цели ТП.

Технические системы «Преобразование» - системные образования, моделирующие взаимодействие объекта и средств производства в ходе целенаправленного преобразования первого (объекта производства).

Разновидности технических систем «Преобразование»: технические системы «Сборка» (ТСС) и технические системы «Обработка» (ТСО).

Технические системы «Измерение и контроль» - системные образования, моделирующие взаимодействие объекта и соответствующих средств для измерения и контроля объекта производства.

Организационно-плановая структура ТП и ее влияние на структурные образования технических систем.

## Раздел 2. Технологический процесс как объект проектирования

(62<sup>1</sup> часа, 60<sup>2</sup> часов)

### 2.1. Общие характеристики технических систем

(основы базирования и теория размерных цепей)

[1], с. 26...31, 126...142, 143...192; [2], с.25...48, 65...68; [4], с.39...82

Закономерности и связи, проявляющиеся в процессе проектирования и создания машин.

Общие характеристики строения (морфологии) рассматриваемых технических систем: элементы и характеристики их состояний, связи отношения между элементами, структура.

Категории показателей точности: требуемая, действительная, ожидаемая. Методы достижения требуемой точности при изготовлении деталей и сборке машин. Методы расчета допуска и погрешностей.

Технологические связи и их разновидности: кинематические и геометрические. Геометрические связи и их разновидности: связи положения, сопряжения, пересечения.

Теория базирования. Базирование и позиционные связи. Определенность и неопределенность базирования. Показатель связности. Объект базирования в задачах проектирования технологических процессов изготовления детали и сборки машин. Классификация баз. Количество баз, необходимых для базирования, и их обозначения в технологической документации. Назначение баз при проектировании технологических процессов изготовления машины. Основные правила базирования.

Теория размерных цепей. Технологические размерные расчеты. Виды размерных цепей и методика их выявления. Уравнение размерной цепи как частный случай аналитического отображения связи. Решение уравнений в проектных прямых и обратных задачах.

### 2.2. Анализ технической системы «Предмет производства»

[1], с.11...18, 193...200, 222...226, 448...449

Две стороны функционального исследования системы: как объект эксплуатации – для выявления служебного назначения всей машины и ее отдельных элементов; как объект производства – для определения конечной цели технологического процесса изготовления предмета производства.

Структурное строение системы: машина в целом, сборочные единицы, детали. Системность каждого уровня структуры. Конструктивный и

<sup>1</sup> для студентов специальности 151001.65 – технология машиностроения и направления подготовки бакалавров 150900.62 – технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

<sup>2</sup> для студентов специальности 080502.65 – экономика и управление на предприятии машиностроения

технологический принципы структурирования машины: по функциональному назначению сборочных единиц и по возможностям обособленной сборки выделенного структурного образования. Прогрессивность агрегатного (модульного) принципа конструирования машины. Связи и отношения между сборочными единицами и деталями. Формирование системы связей свойств материалов и размерных связей в процессе проектирования машины.

Анализ технической системы «Деталь» (ТСД). Деталь как объект эксплуатации и как объект производства. Понятие «элемент системы» и его относительность. Классификация элементов по конструктивно-технологическим признакам.

Понятие «состояние элемента» и описывающие его характеристики: Микрогеометрия (форма, волнистость, шероховатость), физико-механические свойства поверхностного слоя (твердость, микроструктура, напряжение). Влияние состояния элемента на эксплуатационные характеристики детали.

Геометрические связи между элементами. Связность элементов, моделирование связей в виде графа. Объект базирования в рассматриваемой системе, особенности распределения функций базирования между элементами, вариантность распределения.

Структурное строение системы. Принципы структурирования.

### **2.3. Исследование технической системы «Изделие»**

[1], с.437...456, 253...264, 292...319, 356...365; [4], с.83...178

Структурное строение верхних уровней системы: техническая система изделие (ТСИ) и входящие в нее технические системы «сборочные единицы» (ТССЕi), где Т – технологические признаки структурирования систем. Функция систем. Классификация видов сборки – модель динамического развития ТСИ во время протекания технологического процесса сборки. Объекты базирования и особенности изменения распределения функций базирования между собираемыми элементами во времени. Связи и отношения между элементами ТСИ. Реализация размерных связей в машине в процессе сборки. Методы достижения заданной точности взаимного положения элементов ТСИ при сборке. Расчеты сборочных размеров цепей.

Исследование технической системы «Заготовка» (ТСЗ) – нижнего уровня технической системы «Изделие». Состав системы. Состояние элементов и их разновидности: исходные промежуточные, конечные. Количество и содержание состояний, и факторы, их определяющие. Временные разновидности изменений состояний: межоперационные, внутриоперационные. Припуск. Классификация припусков. Составляющие элементы минимального припуска и его расчет.

Геометрические связи и отношения между элементами. Объект базирования и особенности распределения функций базирования между элементами.

Формирование требуемых свойств материала и размерных связей в процессе проектирования ТСЗ. Моделирование размерных связей проектируемой ТСЗ. Разновидности размерных цепей ТСЗ относительно конструкторских

размеров и припусков. Понятия операционного комплекса, инструментального комплекса. Концентрация и дифференциация операций при проектировании ТСЗ. Структура операционных комплексов.

Основы синтеза и анализа структур геометрических связей проектируемой ТСЗ (проектируемого технологического процесса изготовления детали). Направления оптимизации решения задач синтеза ТСЗ: максимизация точностных требований к параметрам геометрических связей, минимизация числа операций. Основные правила принятия решений при синтезе структуры связей проектируемой ТСЗ и использование правил Базирования. Расчет припусков и технологических размеров.

Особенности проектирования ТСЗ в условиях массового производства. Особенности выбора технологических баз и простановки конструкторских и технологических размеров. Расчленение обработки ТСЗ на черновые и чистовые операции.

#### **2.4. Исследование технических систем «Преобразование»**

[1], с.456...476, 480...491, 26...126, 336...337, 366...398, 411...437;

[4], с.179...204

Две разновидности технических систем «Преобразование»: техническая система «Сборки» (ТСС) и техническая система «Обработка» (ТСО).

Технология сборки. Виды ТСС. Организационные формы сборки. Структура ТСС. Концентрация и дифференциация ТСС.

Установление последовательности и содержания ТСС. Составление схем сборки. Механизация сборочных работ. Контроль точности машин и их узлов. Испытания машин.

Исследование технической системы «Обработка» (ТСО); операционной технической системы «Обработка» (ОТСО). Функция системы, отдельных ее частей и элементов. Членение системы на преобразуемые (ТСЗ) и преобразующую (приспособление, станок, приспособление инструмента, инструмент). Связи и отношения между элементами. Объекты базирования и распределение функций базирования между элементами системы. Моделирование взаимосвязи между элементами ТСО и ОТСО в ходе их проектирования. Построение структур ОТСО и проектирование схем наладок, расчет режимов обработки. Проектирование ТСО и ОТСО в автоматизированном производстве. Функциональные, кинематические, размерные цепи – модели взаимодействия элементов систем и их использование при проектировании систем.

Показатели качества системы: жесткость (податливость) и динамическая устойчивость. Статическая и динамическая жесткости. Методы определения жесткости. Понятие о ТСО (ОТСО) как о замкнутой динамической системе. Вибрации и автоколебания, их характеристики. Методы управления функционированием ТСО (ОТСО).

Методы обеспечения точности обработки при функционировании ТСО: индивидуальный (путем пробных ходов и промеров или с активным контролем) и групповой настройкой.

Анализ погрешностей обработки. Причины возникновения погрешностей и их классификация.

Систематические погрешности отдельных звеньев ТСО: станка, приспособления, инструмента; технической системы обработки; от деформаций при зажиме заготовки; при изменении температуры в звеньях ТСО.

Случайная погрешность обработки: от нестабильности характеристик обрабатываемой заготовки (твердость материала, величины неравномерности припуска, погрешности исходной заготовки); от нестабильности положения исходной заготовки в ТСО, вызванной погрешностью базирования, закрепления, приспособления, настройки.

Влияние динамической устойчивости системы на точность обработки. Погрешности многоинструментальной и многошпиндельной обработки.

Оценка погрешности, характеризующей ТСО без учета времени эксплуатации (мгновенное рассеяние). Определение общей погрешности обработки.

Наладка и настройка ТСО. Методы настройки. Статическая настройка. Настройка системы по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра. Настройка системы по пробным заготовкам с помощью универсального измерительного инструмента. Расчет настроечных размеров.

Управление точностью функционирования ТСО и ОТСО. Методы управления точностью: по входным данным, по выходным данным, по режимам обработки.

## **Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин**

(48<sup>1</sup> часов, 44<sup>2</sup> часа)

### **3.1. Исследование процесса формирования и технологических возможностей управления состояниями обрабатываемых элементов**

[1], с.193...253

Факторы, влияющие на состояние элемента при обработке: способы и режимы механической обработки резанием, состав и структура обрабатываемого материала, смазочно-охлаждающая жидкость, геометрия режущего инструмента, состояние станка и инструмента, вибрация системы «Обработка».

Физическая сущность деформационного упрочения материала в процессе пластической деформации при резании. Физико-механические характеристики состояния материала поверхностного слоя и их измерение под влиянием условий и режимов механической обработки. Механизм образования остаточных напряжений в поверхностном слое и влияние способов и режимов механической обработки на величину и глубину распространения остаточных напряжений.

Влияние шероховатости, остаточных напряжений и отдельных характеристик состояния материала поверхностного слоя на основные эксплуатационные свойства деталей машин.

Задача повышения надежности машины путем технологического воздействия на рабочие поверхности деталей. Задача формирования параметров шероховатости и состояния поверхностного слоя деталей машин, соответствующие различным эксплуатационным условиям.

Технологическая наследственность. Назначение способов и режимов механической обработки резанием, обеспечивающих требуемые эксплуатационные качества деталей машин. Термическая и химико-термическая обработка. Металлические и неметаллические покрытия.

### **3.2. Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования**

[1], с.292...319, 338...355; [2], с.79...80, 131...169

Проектирование как информационный процесс принятия решений. База данных, необходимая для проектирования технологического процесса: конструкция предмета производства, объем выпуска, производственная обстановка, организация производства.

---

<sup>1</sup> для студентов специальности 151001.65 – технология машиностроения и направления подготовки бакалавров 150900.62 – технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

<sup>2</sup> для студентов специальности 080502.65 – экономика и управление на предприятии машиностроения

База знаний, включающая методику проектирования, руководящую и справочную информацию, регламентирующую принимаемые решения и определяющую качество проектирования.

Классификация технологических процессов.

Метод разработки технологического процесса изготовления машины.

Принципы построения производственного процесса.

Преемственность – основополагающий принцип, реализуемый при проектировании технологических процессов и обеспечивающий унификацию решений. Методы и направления унификации.

Типизация, ее сущность. Объекты типизации, затрагивающие технологию изготовления: отдельного элемента (поверхности) заготовки, сочетания элементов (поверхностей) заготовки, всей заготовки в целом; проектирование типовых технологических процессов.

Групповой метод: сущность, направления реализации, сфера применения.

Общая методика проектирования технологического процесса изготовления детали.

Методика проектирования технологического процесса сборки машины.

### **3.3. Производительность и экономичность технологических процессов**

[1], с.265...291, [2], с.20...24, [5], с.160...184

Производительность и экономическая эффективность обработки. Техническое нормирование. Задачи и методы нормирования труда. Временные связи в производственном процессе. Классификация затрат рабочего времени. Структуры нормы времени. Методы расчета экономичности вариантов технологических процессов.

Технологичность конструкции изделий как условие обеспечения высокой экономической эффективности технологических процессов. Задачи и методика отработки конструкции на технологичность.

Экономические связи в производственном процессе. Технологические методы повышения производительности и снижения себестоимости изделий.

## 2.2. Тематический план дисциплины

### Тематический план дисциплины для студентов специальности 151001.65 и направления подготовки бакалавров 150900.62 очной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лекции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>136</b>	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	–	<b>12</b>	–	<b>54</b>		–			<b>1</b>
	<b>Введение</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	–	–	–	–	–	–					
1	<b>Раздел 1.</b> Методологические основы технологии машиностроения	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	–	–	–	–	<b>10</b>	<b>№1</b>				
1.1	Предмет изучения и задачи технологии машиностроения	<b>2</b>	<b>1</b>	–	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.2	Основные понятия и определения	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.3	Системный подход – методологическая основа технологии машиностроения	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
2	<b>Раздел 2.</b> Технологический процесс как объект проектирования	<b>62</b>	<b>16</b>	–	<b>12</b>	–	<b>8</b>	–	<b>26</b>	<b>№2</b>				
2.1	Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	<b>16</b>	<b>4</b>	–	<b>6</b>	–	–	–	<b>6</b>			<b>№1</b>		
2.2	Анализ технической системы «Предмет производства»	<b>12</b>	<b>4</b>	–	–	–	–	–	<b>8</b>					
2.3	Исследование технической системы «Изделие»	<b>16</b>	<b>4</b>	–	<b>6</b>	–	–	–	<b>6</b>			<b>№2</b>		

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лек- ции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2.4	Исследование технических систем «Преобразование»	<b>18</b>	<b>4</b>	–	–	–	<b>8</b>	–	<b>6</b>				<b>№1</b> , <b>№2</b>	
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	–	<b>4</b>	–	<b>18</b>	<b>№3</b>				
3.1	Исследование процесса формирования и технологических возможностей управления состояниями обрабатываемых элементов	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
3.2	Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	<b>18</b>	<b>2</b>	–	<b>8</b>	–	<b>4</b>	–	<b>4</b>			<b>№3</b>	<b>№3</b>	<b>КР</b>
3.3	Производительность и экономичность технологических процессов	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

**Тематический план дисциплины для студентов специальности 151001.65 и  
направления подготовки бакалавров 150900.62  
очно-заочной формы обучения**

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лек- ции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>136</b>	<b>16</b>	<b>36</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>54</b>		–			<b>1</b>
	<b>Введение</b>	<b>2</b>	–	<b>2</b>	–	–	–	–	–					
1	<b>Раздел 1.</b> Методологические основы технологии машиностроения	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	–	–	–	–	<b>10</b>	<b>№1</b>				
1.1	Предмет изучения и задачи технологии машиностроения	<b>2</b>	–	<b>1</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.2	Основные понятия и определения	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.3	Системный подход – методологическая основа технологии машиностроения	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
2	<b>Раздел 2.</b> Технологический процесс как объект проектирования	<b>62</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>26</b>	<b>№2</b>				
2.1	Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	<b>16</b>	<b>4</b>	–	<b>2</b>	<b>4</b>	–	–	<b>6</b>			<b>№1</b>		
2.2	Анализ технической системы «Предмет производства»	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
2.3	Исследование технической системы «Изделие»	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	–	–	<b>6</b>			<b>№2</b>		
2.4	Исследование технических систем «Преобразование»	<b>18</b>	–	<b>2</b>	–	–	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>6</b>				<b>№1</b> <b>№2</b>	

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лек- ции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	<b>Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>18</b>	<b>№3</b>				
3.1	Исследование процесса формирования и технологических возможностей управления состояниями обрабатываемых элементов	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
3.2	Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>4</b>			<b>№3</b>		<b>КР</b>
3.3	Производительность и экономичность технологических процессов	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

**Тематический план дисциплины для студентов специальности 151001.65 и  
направления подготовки бакалавров 150900.62  
заочной формы обучения**

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лек-ции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>136</b>	<b>8</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>54</b>		-			<b>1</b>
	<b>Введение</b>	<b>2</b>	-	<b>2</b>	-	-	-	-	-					
1	<b>Раздел 1.</b> Методологические основы технологии машиностроения	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	-	-	-	-	<b>10</b>	<b>№1</b>				
1.1	Предмет изучения и задачи технологии машиностроения	<b>2</b>	-	<b>1</b>	-	-	-	-	<b>1</b>					
1.2	Основные понятия и определения	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	-	-	-	-	<b>1</b>					
1.3	Системный подход – методологическая основа технологии машиностроения	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	-	-	-	-	<b>8</b>					
2	<b>Раздел 2.</b> Технологический процесс как объект проектирования	<b>62</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>26</b>	<b>№2</b>				
2.1	Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	-	<b>6</b>	-	-	<b>6</b>					
2.2	Анализ технической системы «Предмет производства»	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	-	-	-	-	<b>8</b>					
2.3	Исследование технической системы «Изделие»	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	-	-	<b>6</b>			<b>№2</b>		
2.4	Исследование технических систем «Преобразование»	<b>18</b>	-	<b>6</b>	-	-	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>				<b>№1 или №2</b>	

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лек- ции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	<b>Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин</b>	<b>48</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>18</b>	<b>№3</b>				
3.1	Исследование процесса формирования и технологических возможностей управления состояниями обрабатываемых элементов	<b>16</b>	–	<b>8</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
3.2	Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>4</b>			<b>№3</b>		<b>КР</b>
3.3	Производительность и экономичность технологических процессов	<b>14</b>	–	<b>8</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

**Тематический план дисциплины для студентов специальности 080502.65  
очно-заочной формы обучения**

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лекции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>130</b>	<b>16</b>	<b>42</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	–	–	<b>52</b>		<b>1</b>		–	–
	<b>Введение</b>	<b>2</b>	–	<b>2</b>	–	–	–	–	–					
1	<b>Раздел 1.</b> Методологические основы технологии машиностроения	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	–	–	–	–	<b>10</b>	<b>№1</b>				
1.1	Предмет изучения и задачи технологии машиностроения	<b>2</b>	–	<b>1</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.2	Основные понятия и определения	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.3	Системный подход – методологическая основа технологии машиностроения	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
2	<b>Раздел 2.</b> Технологический процесс как объект проектирования	<b>60</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	–	–	<b>24</b>	<b>№2</b>				
2.1	Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	<b>16</b>	<b>4</b>	–	<b>2</b>	<b>4</b>	–	–	<b>6</b>			<b>№1</b>		
2.2	Анализ технической системы «Предмет производства»	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					
2.3	Исследование технической системы «Изделие»	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	–	–	<b>6</b>			<b>№2</b>		
2.4	Исследование технических систем «Преобразование»	<b>16</b>	–	<b>10</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лекции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	<b>Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>18</b>	<b>№3</b>				
3.1	Исследование процесса формирования и технологических возможностей управления состояниями обрабатываемых элементов	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
3.2	Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>4</b>		<b>№1*</b>	<b>№3</b>		
3.3	Производительность и экономичность технологических процессов	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

\* – задание на контрольную работу соответствует заданию № 2 к курсовой работе для студентов специальности 151001.65

**Тематический план дисциплины для студентов специальности 080502.65  
заочной формы обучения**

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лекции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>130</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	–	–	<b>52</b>		<b>1</b>		–	–
	<b>Введение</b>	<b>2</b>	–	<b>2</b>	–	–	–	–	–					
1	<b>Раздел 1.</b> Методологические основы технологии машиностроения	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	–	–	–	–	<b>10</b>	<b>№1</b>				
1.1	Предмет изучения и задачи технологии машиностроения	<b>2</b>	–	<b>1</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.2	Основные понятия и определения	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	–	–	–	–	<b>1</b>					
1.3	Системный подход – методологическая основа технологии машиностроения	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
2	<b>Раздел 2.</b> Технологический процесс как объект проектирования	<b>60</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	–	–	<b>24</b>	<b>№2</b>				
2.1	Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	–	<b>6</b>	–	–	<b>6</b>					
2.2	Анализ технической системы «Предмет производства»	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					
2.3	Исследование технической системы «Изделие»	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	–	–	<b>6</b>			<b>№2</b>		
2.4	Исследование технических систем «Преобразование»	<b>16</b>	–	<b>10</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

№ п/п	Наименование раздела, (отдельной темы)	Кол-во часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля											
			Лек- ции		ПЗ (С)		ЛР		Самостоятельная работа	Тесты	Контрольные работы	ПЗ (С)	ЛР	Курсовые работы
			аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ	аудит.	ДОТ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	<b>Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>18</b>	<b>№3</b>				
3.1	Исследование процесса формирования и технологических возможностей управления состояниями обрабатываемых элементов	<b>14</b>	–	<b>6</b>	–	–	–	–	<b>8</b>					
3.2	Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	–	–	<b>4</b>		<b>№1*</b>	<b>№3</b>		
3.3	Производительность и экономичность технологических процессов	<b>12</b>	–	<b>6</b>	–	–	–	–	<b>6</b>					

\* – задание на контрольную работу соответствует заданию № 2 к курсовой работе для студентов специальности 151001.65

### 2.3. Структурно-логическая схема дисциплины



## 2.4. Временной график изучения дисциплины

(при использовании информационно-коммуникационных технологий)

для студентов специальности 151001.65  
и направления подготовки бакалавров 150900.62

№ п/п	Название раздела (темы)	Продолжительность изучения раздела/темы (из расчета – 4 часа в день)
1	Раздел 1. Методологические основы технологии машиностроения	6 дн.
2	Раздел 2. Технологический процесс как объект проектирования	14 дн.
3	Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин	10 дн.
4	Курсовая работа	4 дн.
	ИТОГО	34 дн.

для студентов специальности 080502.65

№ п/п	Название раздела (темы)	Продолжительность изучения раздела/темы (из расчета – 4 часа в день)
1	Раздел 1. Методологические основы технологии машиностроения	6 дн.
2	Раздел 2. Технологический процесс как объект проектирования	14 дн.
3	Раздел 3. Основы разработки технологических процессов изготовления машин	10 дн.
4	Контрольная работа	2,5 дн.
	ИТОГО	32,5 дн.

## 2.5. Практический блок

### 2.5.1. Практические занятия

Для студентов специальности 151001.65

и направления подготовки бакалавров 150900.62

#### 2.5.1.1. Практические занятия (очная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		аудит.	ДОТ
Тема 2.1. Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	1. Задачи базирования и основы их решения при проектировании технологического процесса изготовления детали	6	–
Тема 2.3. Исследование технической системы «Изделие»	2. Расчеты сборочных размерных цепей, и определение метода достижения заданной точности при сборке	6	–
Тема 3.2. Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	3. Размерно-точностной анализ ТП изготовления детали	8	–

Для студентов специальностей 151001.65 и 080502.65

и направления подготовки бакалавров 150900.62

#### 2.5.1.2. Практические занятия (очно-заочная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		аудит.	ДОТ
Тема 2.1. Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	1. Задачи базирования и основы их решения при проектировании технологического процесса изготовления детали	2	4
Тема 2.3. Исследование технической системы «Изделие»	2. Расчеты сборочных размерных цепей, и определение метода достижения заданной точности при сборке	3	3
Тема 3.2. Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	3. Размерно-точностной анализ ТП изготовления детали	3	5

#### 2.5.1.3. Практические занятия (заочная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		аудит.	ДОТ
Тема 2.1. Общие характеристики технических систем (основы базирования и теория размерных цепей)	1. Задачи базирования и основы их решения при проектировании технологического процесса изготовления детали	–	6
Тема 2.3. Исследование технической системы «Изделие»	2. Расчеты сборочных размерных цепей, и определение метода достижения заданной точности при сборке	1	5
Тема 3.2. Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	3. Размерно-точностной анализ ТП изготовления детали	3	5

### 2.5.2. Лабораторные работы

Для студентов специальности 151001.65  
и направления подготовки бакалавров 150900.62

#### 2.5.2.1. Лабораторные работы (очная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		аудит.	ДОТ
Тема 2.4. Исследование технических систем «Преобразование»	1. Определение жесткости токарного станка производственным методом	4	–
	2. Исследование точности изготовления деталей в автоматизированном производстве	4	–
Тема 3.2. Сущность процесса проектирования и направления его совершенствования	3. Разработка трехмерных операционных моделей обрабатываемой заготовки и операционных эскизов в среде CAD/CAM-системы	4	–

#### 2.5.2.2. Лабораторные работы (очно-заочная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		аудит.	ДОТ
Тема 2.4. Исследование технических систем «Преобразование»	1. Определение жесткости токарного станка производственным методом	4	1
	2. Исследование точности изготовления деталей в автоматизированном производстве	4	1

#### 2.5.2.3. Лабораторные работы (заочная форма обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование практических занятий	Кол-во часов	
		аудит.	ДОТ
Тема 2.4. Исследование технических систем «Преобразование»	2. Исследование точности изготовления деталей в автоматизированном производстве	4	2

Студенты, занимающиеся с использованием информационно-коммуникационных технологий, выполняют лабораторные работы во время очередной сессии в соответствии с расписанием занятий.

## 2.6. Балльно-рейтинговая система

Изучение дисциплины предусматривает обязательное выполнение студентами лабораторных работ, практических занятий и курсовой работы.

Для студентов специальности 151001.65 и направления подготовки бакалавров 150900.62 максимальное количество баллов за лабораторные работы, практические занятия и курсовую работу составляет **40** баллов (**12+8+20** баллов, соответственно).

Для студентов специальности 080502.65 максимальное количество баллов за практические занятия и контрольную работу составляет **40** баллов (**20+20** баллов, соответственно).

Весь материал дисциплины разбит на **3** раздела. По завершении изучения каждого раздела студенты проходят тест из десяти тестовых заданий. Оценка за одно правильно выполненное тестовое задание составляет **2** балла

Максимальное количество баллов за лекционные занятия (теоретический материал): **3** раздела × **10** тестовых заданий × **2** балла = **60** баллов.

В итоге каждый студент может получить не более **100** баллов.

### Оценка результатов изучения дисциплины

Оценка	Кол-во набранных баллов
Удовлетворительно	<b>70...79</b>
Хорошо	<b>80...89</b>
Отлично	<b>90...100</b>

### 3. Информационные ресурсы дисциплины

#### 3.1. Библиографический список

##### Основной

1. *Маталин, А. А.* Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2008.
2. *Ковшов, А. Н.* Технология машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. Н. Ковшов.– СПб.: Лань, 2008.
3. *Базров, Б. М.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Б. М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005.
4. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие / А. Е. Вороненко [и др.]. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010.

##### Дополнительный

5. Основы технологии машиностроения: учебник / под ред. В. С. Корсакова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977.
6. Проектирование операций для станков с автоматическим циклом работы: учеб. пособие / Н. Н. Богородицкий [и др.]. – Л.: СЗПИ, 1986.
7. *Иващенко, И. А.* Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И. А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975.
8. *Махаринский, Е. И.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов. – Минск: Вышейш. шк., 1997.
9. *Митрофанов, С. П.* Групповая технология машиностроительного производства: в 2-х т. / С. П. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1983.
10. Размерный анализ технологических процессов / В. В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982.
11. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
12. *Дитрих, Я.* Проектирование и конструирование: системный подход: пер. с польск. / Я Дитрих.– М.: Мир, 1981.

## **3.2. Опорный конспект**

### 3.3. Учебное пособие

Учебное пособие представлено в [4].

### 3.4. Глоссарий

Термин	Расшифровка термина
<i>Агрегат</i>	Сборочная единица, способная выполнять в машине определенную функцию
<i>Азотирование</i>	Насыщение поверхностных слоев металлического изделия азотом для повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости (на воздухе и в воде), сопротивления усталости, для деталей, работающих при температурах 500...600 °С
<i>Алитирование</i>	Насыщение поверхностных слоев металлического изделия алюминием для защиты изделий от окисления при высоких температурах (до 1100 °С), для уменьшения схватываемости поверхностей (например, резьбовых соединений при эксплуатации в вакууме), повышения износостойкости, защиты от коррозии в средах, содержащих серу, азот и углерод
<i>База двойная направляющая</i>	Поверхность (сочетание поверхностей) базирующего объекта, обеспечивающая четыре опорные точки на цилиндрической поверхности базируемого объекта и лишаящая базируемый объект четырех степеней свободы (двух перемещений и двух вращений)
<i>База двойная опорная</i>	Поверхность (сочетание поверхностей) базирующего объекта, обеспечивающая две опорные точки на цилиндрической поверхности базируемого объекта и лишаящая базируемый объект двух степеней свободы (двух перемещений вдоль осей)
<i>База направляющая</i>	Поверхность (сочетание поверхностей) базирующего объекта, находящаяся в контакте с двумя опорными точками и лишаящая базируемый объект двух степеней свободы (одного перемещения и одного вращения)
<i>База опорная</i>	Поверхность базирующего объекта, находящаяся в контакте с одной опорной точкой и лишаящая базируемый объект одной степени свободы (одного перемещения)
<i>База установочная</i>	Поверхность (сочетание поверхностей) базирующего объекта, находящаяся в контакте с тремя опорными точками и лишаящая базируемый объект трех степеней свободы (одного перемещения и двух вращений)

<i>Базирование</i>	Придание объекту требуемого положения относительно другого объекта, принятого за ориентир (базу), в выбранной системе координат и в рассматриваемый момент времени
<i>Базовая деталь</i>	Деталь с базовыми поверхностям, выполняющая в сборочной единице роль соединительного звена, обеспечивающего при сборке соответствующее относительное положение других деталей (с ее установки начинается технологический процесс сборки)
<i>Безотказность</i>	Свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность (без регулировки и ремонта) в течение некоторого периода времени (календарной продолжительности) или некоторой наработки (продолжительности работы)
<i>Вспомогательный переход</i>	Законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека (или оборудования), которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода
<i>Вспомогательный ход</i>	Законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода
<i>Глубина резания</i>	Толщина слоя обрабатываемого материала, срезаемого за один проход инструмента
<i>Групповой технологический процесс</i>	Технологический процесс изготовления группы деталей с разными конструктивными, но общими технологическими признаками
<i>Деталь</i>	Изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций
<i>Долговечность</i>	Свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т. е. в течение всего периода эксплуатации при установленной системе технического обслуживания и ремонтов
<i>Жесткость технологической системы</i>	Способность технологической системы оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил
<i>Закалка</i>	Вид термической обработки для повышения твердости и износоустойчивости поверхностного слоя стальной детали
<i>Изделие</i>	Предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии

<i>Износостойкость материала</i>	Способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения
<i>Качество машины</i>	Совокупность свойств, обуславливающих пригодность машины удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением
<i>Конструктивная преемственность</i>	Свойство предмета производства, определяющее возможность использования в нем деталей и сборочных единиц, применяемых или применявшихся в других предметах производства
<i>Коэффициент закрепления операций</i>	Отношение всех различных технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест
<i>Машина</i>	Сочетание механизмов, осуществляющих преобразование энергии, материалов или информации
<i>Металлорежущий станок</i>	Машина для размерной обработки заготовок в основном путем снятия стружки
<i>Надежность</i>	Свойство изделия сохранять во времени свою работоспособность.
<i>Нормализация</i>	Вид термической обработки для повышения механических свойств стали, а также для улучшения ее обрабатываемости резанием (нормализация часто предшествует закалке)
<i>Общий припуск</i>	Слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности
<i>Опорная точка при базировании объекта</i>	Точка контакта базирующей и базируемой поверхностей, лишаящая объект базирования одной степени свободы, делая невозможным либо его перемещение в направлении, перпендикулярном базирующей поверхности, либо его вращение вокруг одной из координатных осей, принятой системы координат
<i>Отжиг</i>	Вид термической обработки металлов и сплавов для улучшения их обрабатываемости, повышения пластичности материала, уменьшения остаточных напряжений, возникающих в результате предыдущих обработок, получения структур материала, близких к равновесному состоянию
<i>Отпуск</i>	Вид термической обработки уже термообработанной стали для уменьшения хрупкости и повышения пластичности закаленной стали с целью облегчения окончательной механической обработки детали

<i>Переход сборочного процесса</i>	Законченная часть операции сборки, выполняемая под определенным участком сборочного соединения (узла) неизменным методом выполнения работы при использовании одних и тех же инструментов и приспособлений
<i>Пластичность материала</i>	Свойство твердых материалов изменять без разрушения форму и размеры под влиянием нагрузки или напряжений, устойчиво сохраняя образовавшуюся форму и размер после прекращения этого влияния
<i>Погрешность установки</i>	Отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого
<i>Податливость технологической системы</i>	Способность технологической системы упруго деформироваться под действием внешних сил
<i>Подача</i>	Величина перемещения инструмента или обрабатываемого изделия в единицу времени
<i>Позиция</i>	Фиксированное положение, занимаемое и неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования, для выполнения определенной части операции
<i>Правило постоянства баз</i>	При проектировании технологического процесса изготовления детали необходимо стремиться к использованию одной и той же поверхности в качестве технологической базы на всех операциях процесса, не допуская без особой необходимости смены технологических баз (не считая смены черновой базы)
<i>Правило совмещения баз</i>	При проектировании технологических процессов изготовления деталей в качестве технологических баз следует применять поверхности, которые одновременно являются конструкторскими базами и базами системы «Обработка»
<i>Правило «шести точек»</i>	Для полного базирования объекта необходимо и достаточно создать шесть опорных точек, расположенных определенным образом на базирующих поверхностях в выбранной системе координат
<i>Преимственность</i>	Применение для разных изделий при проектировании технологических процессов одних и тех же решений о методах и последовательности изготовления изделий
<i>Прием сборочного процесса</i>	Законченное отдельное действие рабочего или подготовка к сборке изделия или узла
<i>Производственный процесс</i>	Единый взаимосвязанный комплекс технологических процессов, оборудования и средств измерений, охватывающий разнообразные стороны производства – от получения исходной заготовки до выхода готовой продукции

<i>Проектирование</i>	Процесс создания изделия с заранее заданными свойствами
<i>Производственная партия</i>	Группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени
<i>Производственный цикл</i>	Интервал календарного времени от начала до окончания процесса изготовления или ремонта изделия
<i>Прочность материала</i>	Способность материала сопротивляться разрушению или деформированию под действием статических или динамических нагрузок
<i>Работоспособность машины</i>	Состояние машины, при котором она способна выполнять свои функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией
<i>Режущие инструменты</i>	Инструменты, осуществляющие процесс резания со снятием материала в виде стружки
<i>Рабочий ход</i>	Законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки
<i>Расчлененность структуры системы (объекта или процесса)</i>	Одна из общих сторон структуры, характеризующаяся качественной спецификой частей системы, количеством частей, на которые расчленяется система, взаимным расположением частей в пространстве и во времени
<i>Ремонтпригодность</i>	Свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, отысканию и устранению причин и последствий повреждений (отказов) путем проведения технического обслуживания и ремонтов
<i>Сборка</i>	Образование соединений составных частей изделия
<i>Сборочная единица</i>	Часть изделия, которая собирается отдельно и на сборку поставляется как единое целое
<i>Связь пересечения</i>	Геометрическая связь, характеризующаяся пересечением тел объектов
<i>Связь положения</i>	Геометрическая связь, характеризующаяся нахождением объектов на некотором расстоянии друг от друга
<i>Связь сопряжения</i>	Геометрическая связь, характеризующаяся нахождением объектов в непосредственном контакте (сопряжении) друг с другом
<i>Силицирование</i>	Насыщение поверхностных слоев металлического изделия кремнием для повышения антикоррозионных свойств материалов, их износостойкости и жаропрочности

<i>Систематические погрешности</i>	Погрешности, закономерно изменяющиеся в течение технологического процесса
<i>Скоростью резания</i>	Скорость перемещения поверхности резания относительно режущей кромки инструмента
<i>Случайные погрешности</i>	Погрешности, которые, появившись при обработке одной заготовки, необязательно появляются при обработке других заготовок
<i>Сохраняемость</i>	Свойство машины сохранять исправное и работоспособное состояние в течение определенного промежутка времени
<i>Станкоемкость</i>	Продолжительность времени, в течение которого должны быть заняты станки или другое оборудование для изготовления всех деталей предмета производства
<i>Старение</i>	Вид термической обработки металлов и сплавов для повышения их прочности и жаропрочности (при этом уменьшаются пластичность и ударная вязкость материала), а также для снятия остаточных напряжений
<i>Твердость материала</i>	Способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела
<i>Техническая система</i>	Представление любого технического объекта или технологического процесса как единого целого, состоящего из взаимосвязанного множества элементов, имеющего связь с окружающей средой
<i>Технологическая наследственность</i>	Перенесение на готовое изделие в процессе его обработки погрешностей, механических и физико-химических свойств исходной заготовки или свойств и погрешностей, сформировавшихся у заготовки на отдельных операциях изготовления изделия
<i>Технологическая преемственность</i>	Свойство предмета производства, определяющее возможность использования применяемых на предприятии технологических процессов, отдельных технологических операций и средств технологического оснащения для его изготовления или ремонта
<i>Технологическая операция</i>	Законченная часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним или несколькими одновременно изготавливаемыми изделиями, одним или несколькими рабочими
<i>Технологическая операция сборки</i>	Законченная часть ТП сборки, выполняемая над одной сборочной единицей или несколькими сборочными единицами одновременно, одним или бригадой рабочих на одном рабочем месте

<i>Технологический переход</i>	Законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой
<i>Технологический процесс</i>	Часть производственного процесса, включающая в себя последовательное изменение размеров, формы, внешнего вида или свойств изделия и их контроль
<i>Технологический процесс сборки</i>	Часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным соединением, взаимной ориентировкой и фиксацией деталей и узлов, для получения готового изделия, удовлетворяющего требованиям чертежа, в заданные сроки
<i>Технологичность конструкции изделия</i>	Совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных качества, объема выпуска и условий выполнения работы
<i>Тип производства</i>	Классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий
<i>Типизация технологических процессов</i>	Устранение многообразия технологических процессов обоснованным сведением их к ограниченному числу типов
<i>Типовой технологический процесс</i>	Процесс изготовления группы деталей с общими конструктивными и технологическими признаками
<i>Трудоемкость</i>	Продолжительность изготовления изделия при нормальной интенсивности труда в часах
<i>Унификация</i>	Рациональное сокращение числа типов, размеров изделий одинакового назначения
<i>Унифицированный технологический процесс</i>	Технологический процесс относящийся к группе изделий, характеризующейся общностью конструктивных или технологических признаков
<i>Установ</i>	Часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении заготовки (или сборочной единицы)
<i>Фрикционные механизмы</i>	Механизмы, в которых передача или остановка движения осуществляется за счет сил трения

<i>Хромирование</i>	<p>1. Насыщение поверхностных слоев металлического изделия хромом для повышения жаростойкости, жаропрочности, сопротивления усталости, износостойкости, коррозионной стойкости в кислотах и морской воде, для придания нужных магнитных и электрических характеристик</p> <p>2. Нанесение на поверхность металлического изделия хромового покрытия гальваническим способом для предотвращения коррозии, повышения сопротивления механическому износу и придания декоративного вида</p>
<i>Целостность структуры системы (объекта или процесса)</i>	Одна из общих сторон структуры, характеризующаяся связями частей, благодаря чему объекты и процессы выступают как единое целое
<i>Цементация</i>	Насыщение поверхностных слоев металлического изделия углеродом с целью повышения твердости, износоустойчивости и усталостной прочности деталей или для последующего проведения закалки деталей из малоуглеродистых сталей
<i>Цианирование</i>	Насыщение поверхностных слоев металлического изделия углеродом и азотом для повышения поверхностной твердости, износоустойчивости и усталостной прочности
<i>Шероховатость поверхности</i>	Совокупность неровностей обработанной поверхности с относительно малыми шагами

### 3.5. Методические указания к выполнению практических занятий

#### Практическое занятие 1 ЗАДАЧИ БАЗИРОВАНИЯ И ОСНОВЫ ИХ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

У цилиндрической втулки наружным диаметром  $\varnothing 80_{-0,19}$  мм и внутренним  $\varnothing 40^{+0,039}$  мм требуется фрезеровать паз шириной  $18^{+0,1}$  мм, выдерживая размер  $H = 75_{-0,19}$  мм и  $h = 90_{-0,22}$  мм. Максимальный эксцентриситет между наружным и внутренним диаметрами втулки равен 0,03 мм. Смещение оси симметрии шпоночного паза  $e$  не должно превышать 0,1 мм.

При установке втулки по схеме, указанной на рисунке, соответствующем варианту задания, определить погрешность ее установки для обеспечиваемого размера  $H$  или  $h$  (по варианту задания см. табл. 3.5.1.).

Таблица 3.5.1.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер рисунка	3.5.1	3.5.1	3.5.2	3.5.2	3.5.3	3.5.3	3.5.4	3.5.4	3.5.5	3.5.5
Обеспечиваемый размер	$H$									

Студенты очной формы обучения выполняют три задания, номера вариантов заданий они определяют по двум последним цифрам своего шифра из табл. 3.5.2.

Таблица 3.5.2.

Две последние цифры шифра студента	Номера вариантов
00, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	1, 6, 10
01, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91	2, 7, 5
02, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92	3, 10, 8
03, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93	4, 1, 3
04, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94	5, 8, 2
05, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	6, 3, 9
06, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76, 86, 96	7, 4, 6
07, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97	8, 9, 1
08, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98	9, 2, 4
09, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99	10, 5, 7

Студенты очно-заочной формы обучения выполняют одно задание, номер варианта задания они определяют по двум последним цифрам своего шифра из табл. 3.5.3.

Таблица 3.5.3.

Две последние цифры шифра студента	Номер варианта
00, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	1
01, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91	2
02, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92	3
03, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93	4
04, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94	5
05, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	6
06, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76, 86, 96	7
07, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97	8
08, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98	9
09, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99	10

Студенты заочной формы обучения выполняют самостоятельно одно задание, номер варианта задания они определяют по двум последним цифрам своего шифра из табл. 3.5.3.

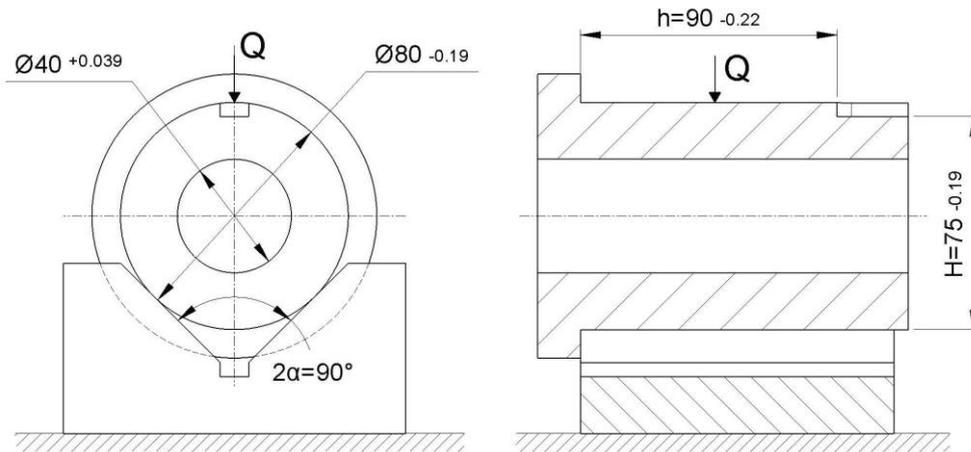


Рисунок 3.5.1

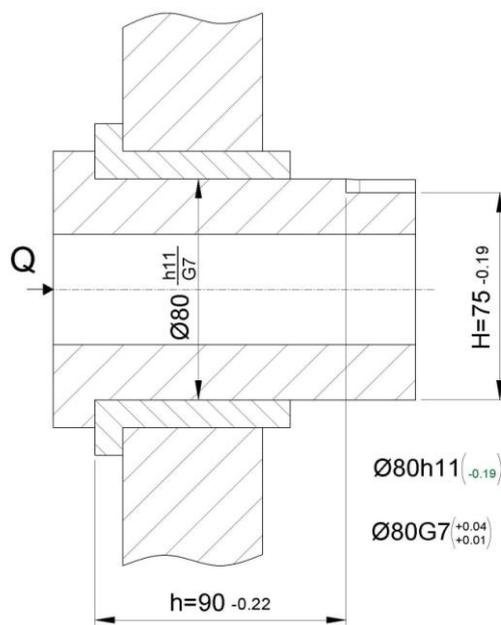


Рисунок 3.5.2

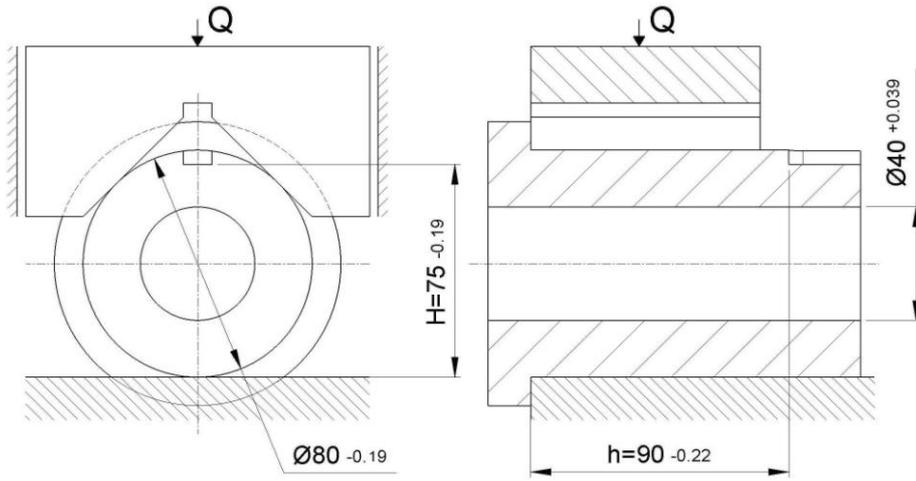


Рисунок 3.5.3

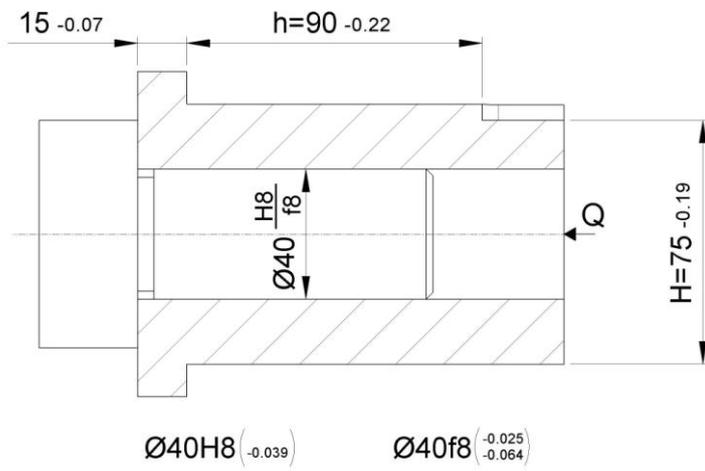


Рисунок 3.5.4

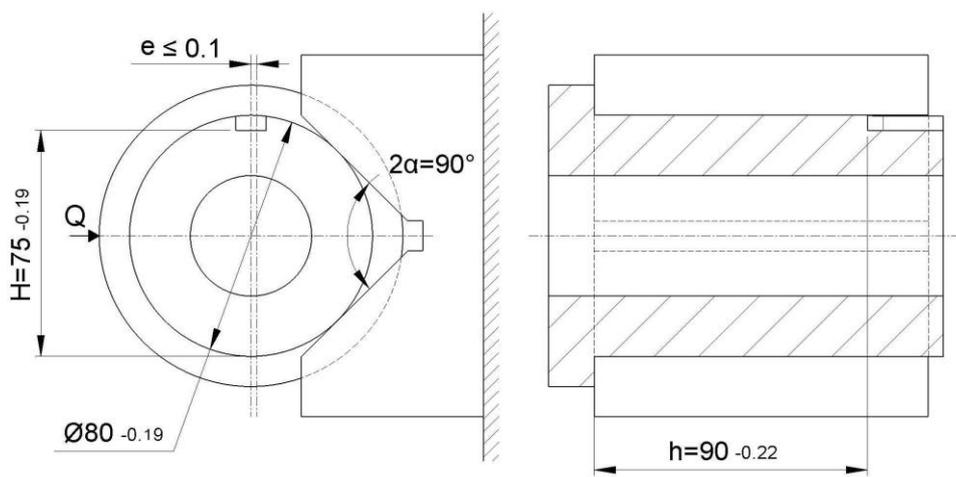


Рисунок 3.5.5

## Справочные данные

$\omega_3$ , мм				$\omega_M$ , мм			
Для размера параллельного направлению действия силы			Для размера перпендикулярно-го направлению действия силы	Револьверные станки	Токарные станки	Фрезерные и сверлильные станки	Шлифовальные станки
Тиски	Прихваты	Патрон, зажимная гильза					
0,055	0,015	0,04	0	0,028	0,026	0,038	0,01
$\omega_{рег}$ , мм				$\omega_{пр}$ , мм	$\omega_{изм}$ , мм		
Установка по эталонной детали	Установка по индикаторному устройству	Установка по жесткому упору	Установка по лимбу или индикатору		Штангенциркуль с ценой деления, мм		Микрометр
					0,02	0,05	
0,115	0,01	0,07	0,035	0,02	0,045	0,09	0,01

Порядок выполнения практической работы:

1. По справочнику технолога машиностроителя под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова следует выбрать соответствующую схему (т.1, с.45, табл.18) и необходимые расчетные формулы.

2. По исходным и справочным данным определить величины составляющих погрешности установки.

3. Провести расчет погрешности установки.

## Практическое занятие 2

### РАСЧЕТЫ СБОРОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДА ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ПРИ СБОРКЕ

Для сборочной цепи, указанной на рисунке, решить задачу обеспечения точности замыкающего звена  $A_{\Delta}$  одним из указанных методов (полной или неполной взаимозаменяемости, регулирования или пригонки).

Студенты очной формы обучения выполняют четыре задания, номера вариантов заданий они определяют по двум последним цифрам своего шифра из табл. 3.5.4.

Таблица 3.5.4.

Две последние цифры шифра студента	Номера вариантов к рисункам	
	Рис. 3.5.6	Рис. 3.5.7
00, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	1	2, 4, 5
01, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91	6	1, 4, 5
02, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92	2	3, 4, 5
03, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93	7	1, 4, 5
04, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94	3	2, 4, 5
05, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	8	1, 4, 5
06, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76, 86, 96	4	3, 4, 5
07, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97	9	1, 4, 5
08, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98	5	2, 4, 5
09, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99	10	1, 4, 5

Студенты очно-заочной формы обучения выполняют три задания, номера вариантов заданий они определяют по двум последним цифрам своего шифра из табл. 3.5.5.

Таблица 3.5.5.

Две последние цифры шифра студента	Номера вариантов к рисункам	
	Рис. 3.5.6	Рис. 3.5.7
00, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	1	2, 4
01, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91	6	1, 5
02, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92	2	3, 5
03, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93	7	1, 4
04, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94	3	2, 5
05, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	8	1, 5
06, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76, 86, 96	4	3, 4
07, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97	9	1, 4
08, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98	5	2, 4
09, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99	10	1, 5

Студенты заочной формы обучения выполняют одно задание, номер варианта задания они определяют по двум последним цифрам своего шифра из табл. 3.5.6.

Таблица 3.5.6.

Две последние цифры шифра студента	Номер варианта к рис. 3.5.6
00, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	1
01, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91	5
02, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82, 92	2
03, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93	4
04, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84, 94	3
05, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	1
06, 16, 26, 36, 46, 56, 66, 76, 86, 96	4
07, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97	2
08, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98	5
09, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99	3

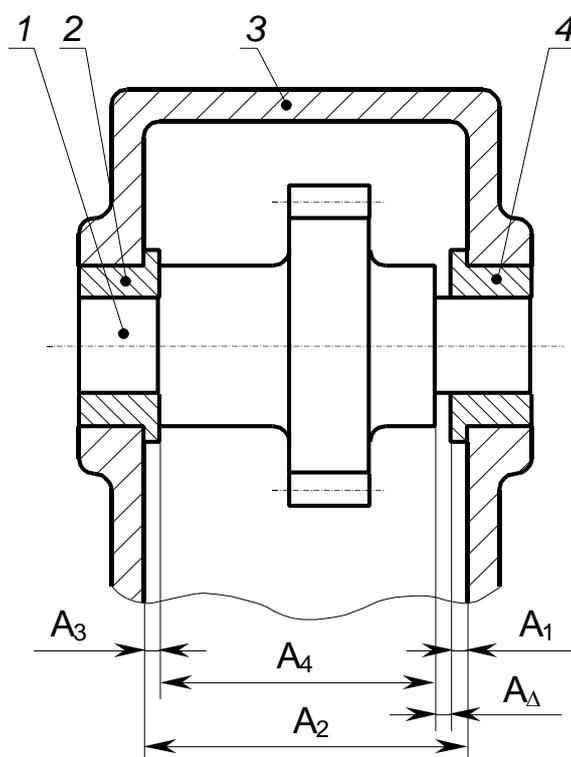


Рис. 3.5.6. Эскиз сборочной единицы:  
1 – вал-шестерня; 2, 4 – втулка; 3 – корпус

Варианты заданий к задаче №1 для рис. 3.5.6

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
$A_1$	$8_{-0,058}$	$8_{-0,058}$	$12_{-0,11}$	$12_{-0,11}$	$12_{-0,11}$
$A_2$	$167^{+0,25}$	$167^{+0,25}$	$205^{+0,46}$	$205^{+0,46}$	$205^{+0,29}$
$A_3$	$8_{-0,058}$	$8_{-0,058}$	$12_{-0,11}$	$12_{-0,11}$	$12_{-0,11}$
$A_4$	$150_{-0,25}$	$150_{-0,25}$	$180_{-0,25}$	$180_{-0,25}$	$180_{-0,25}$
$A_\Delta$	$1 \pm 0,3$	$1^{+0,5}$	$1 \pm 0,4$	$1^{+0,8}$	$1^{+0,4}_{-0,2}$
Метод обеспечения точности замыкающего звена	Полная взаимозаменяемость				

## Варианты заданий к задаче №1 для рис. 3.5.6 (окончание)

Параметр	Вариант				
	6	7	8	9	10
$A_1$	$8_{-0,15}$	$8_{-0,15}$	$12_{-0,18}$	$12_{-0,18}$	$12_{-0,18}$
$A_2$	$167^{+0,4}$	$167^{+0,4}$	$205^{+0,72}$	$205^{+0,72}$	$205^{+0,46}$
$A_3$	$8_{-0,15}$	$8_{-0,15}$	$12_{-0,18}$	$12_{-0,18}$	$12_{-0,18}$
$A_4$	$150_{-0,4}$	$150_{-0,4}$	$180_{-0,4}$	$180_{-0,4}$	$180_{-0,4}$
$A_\Delta$	$1 \pm 0,3$	$1^{+0,5}$	$1 \pm 0,4$	$1^{+0,8}$	$1^{+0,4}_{-0,2}$
Метод обеспечения точности замыкающего звена	Неполная взаимозаменяемость				

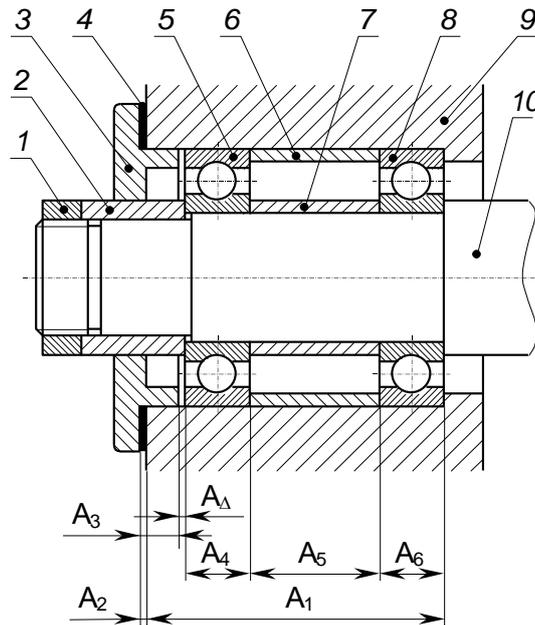


Рис. 3.5.7. Эскиз сборочной единицы:

1 – гайка; 2 – втулка; 3 – крышка; 4 – прокладка; 5, 8 – подшипник;  
6, 7 – распорная втулка; 9 – корпус; 10 – вал

## Варианты заданий к задаче №2 для рис. 3.5.7

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
$A_1$	$100^{+0,22}$	$100^{+0,54}$	$105^{+0,35}$	$105^{+0,22}$	$105^{+0,22}$
$A_2$	$2_{-0,04}$	$2_{-0,1}$	$2_{-0,14}$	$2_{-0,1}$	$2_{-0,1}$
$A_3$	$10^{+0,09}$	$10^{+0,36}$	$10^{+0,22}$	$10^{+0,15}$	$10^{+0,15}$
$A_4$	$20_{-0,3}$	$20_{-0,35}$	$20^{+0,1}_{-0,25}$	$20^{+0,1}_{-0,25}$	$20^{+0,1}_{-0,25}$
$A_5$	$50_{-0,16}$	$50_{-0,39}$	$50_{-0,39}$	$50_{-0,19}$	$50_{-0,19}$
$A_6$	$20_{-0,3}$	$20_{-0,35}$	$20^{+0,1}_{-0,25}$	$20^{+0,1}_{-0,25}$	$20^{+0,1}_{-0,25}$
$A_\Delta$	$2 \pm 0,5$	$2 \pm 0,4$	$2 \pm 0,35$	$2 \pm 0,3$	$2 \pm 0,3$
Метод обеспечения точности замыкающего звена	Полная взаимозаменяемость	Неполная взаимозаменяемость	Неполная взаимозаменяемость	Регулирование	Пригонка

## Порядок выполнения работы

1. При методе полной или неполной взаимозаменяемости порядок выполнения работы следующий.

1.1. Рассчитать допуск замыкающего звена по указанному в таблице методу (полной или неполной) взаимозаменяемости и сравнить с заданным. Проверить условие 1: расчетный допуск замыкающего звена должен быть не более заданного

$$TA_{\Delta}^{\text{расч}} \leq TA_{\Delta}^{\text{зад}}.$$

1.2. При не выполнении условия 1 провести ужесточение одного-двух (в некоторых случаях трех) составляющих звеньев, исходя из условий технологической целесообразности, и заново рассчитать допуск замыкающего звена по указанному методу взаимозаменяемости. При этом необходимо, чтобы условие 1 было выполнено.

1.3. Определить заданную координату середины поля допуска замыкающего звена  $E_C A_{\Delta}^{\text{зад}}$ .

1.4. Для каждого составляющего звена определить координату середины поля допуска  $E_C A_i$ .

1.5. Используя результаты предыдущего пункта рассчитать координату середины поля допуска замыкающего звена  $E_C A_{\Delta}^{\text{расч}}$ .

1.6. Рассчитать верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена и сравнить их с заданными. При этом должны выполняться условие 2: расчетное верхнее отклонение должно быть не более заданного

$$ESA_{\Delta}^{\text{расч}} \leq ESA_{\Delta}^{\text{зад}};$$

условие 3: расчетное нижнее отклонение должно быть не менее заданного

$$EIA_{\Delta}^{\text{расч}} \geq EIA_{\Delta}^{\text{зад}}.$$

1.7. При невыполнении одного из условий (2 или 3) провести анализ уравнения расчета координаты середины поля допуска замыкающего звена и выявить для каких составляющих звеньев цепи необходимо изменить верхнее и нижнее отклонения (посадку), чтобы приблизить расчетную координату середины поля допуска замыкающего звена к заданной.

1.8. Изменить верхнее и нижнее отклонения (посадку) для выявленных размеров и пересчитать координату середины поля допуска замыкающего звена и его отклонения так, чтобы условия 2 и 3 выполнялись.

1.9. В заключении указать, за счет чего при сборке узла обеспечена точность замыкающего звена указанным методом взаимозаменяемости.

2. При методе регулирования порядок выполнения работы следующий.

2.1. Выбрать деталь сборочной единицы в качестве компенсатора.

2.2. Определить наибольшую возможную компенсацию  $\delta_k$ .

2.3. Рассчитать число ступеней  $N$  компенсатора.

2.4. Рассчитать величину поправки к значению координаты середины поля допуска компенсирующего звена  $\Delta_k$  при условии совмещения нижних границ допусков замыкающих звеньев.

2.5. Рассчитать новую координату середины поля допуска составляющего звена, выбранного в качестве регулируемого компенсатора.

2.6. Рассчитать величину ступени компенсации  $S$ .

2.7. Для каждой ступени компенсации определить координату середины поля допуска компенсирующего звена  $E_c A_k^n$ .

2.8. Для каждой ступени компенсации рассчитать верхнее и нижнее отклонения компенсирующего звена.

3. При методе пригонки порядок выполнения работы следующий.

3.1. Выбрать деталь сборочной единицы в качестве компенсатора.

3.2. Определить наибольшую возможную компенсацию  $\delta_k$ .

3.3. Рассчитать величину поправки к значению координаты середины поля допуска компенсирующего звена  $\Delta_k$ .

3.4. Рассчитать новую координату середины поля допуска составляющего звена, выбранного в качестве пригоняемого компенсатора.

3.5. Рассчитать новые верхнее и нижнее отклонения компенсатора.

### Практическое занятие 3 РАЗМЕРНО-ТОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Изучив методику размерно-точностного анализа, представленную в [4], выполнить практическую работу, используя исходные данные, представленные в табл. 3.5.7.

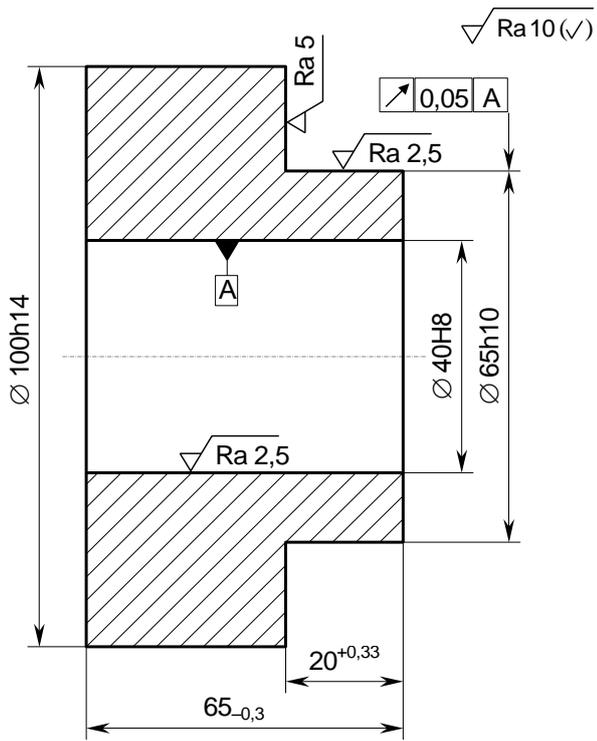
Таблица 3.5.7.

Последняя цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер варианта рис. 3.5.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Для указанного варианта задания, включающего чертеж детали и операционные комплексы ТП ее изготовления, необходимо провести размерно-точностной анализ ТП отдельно для линейных и диаметральных размеров. В данной практической работе размерно-точностной анализ ТП для линейных размеров выполняется студентами всех форм обучения, а для диаметральных размеров – только студентами очной формы обучения. Студенты очно-заочной и заочной форм обучения проводят размерно-точностной анализ ТП для диаметральных размеров в рамках выполнения своего варианта курсовой (студенты специальности 151001.65 или направления подготовки бакалавра 150900.62) или контрольной (студенты специальности 080502.65) работы.

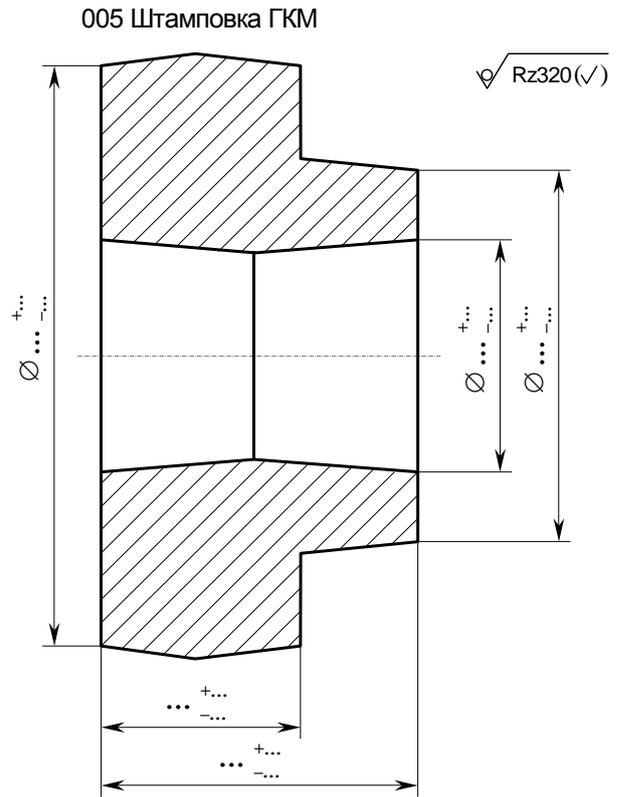
Порядок выполнения практической работы при проведении размерно-точностного анализа ТП для линейных размеров:

1. Рассмотреть представленный в виде операционных эскизов технологический процесс изготовления детали. Особое внимание обратить на схемы базирования заготовки на каждой технологической операции и простановку технологических размеров.
2. Начертить эскиз детали.
3. Нанести прямые линии, изображающие окончательные состояния плоских поверхностей (плоскостных элементов).
4. Нанести на схему конструкторские линейные размерные связи и пронумеровать их.
5. Нанести прямые линии, изображающие предварительные состояния плоских поверхностей (плоскостных элементов), а также нанести на схему размерные связи в виде припусков и пронумеровать их.
6. Нанести на схему условное обозначение баз и технологические размерные связи (пример схемы линейных размеров см. на рис. 3.5.9).



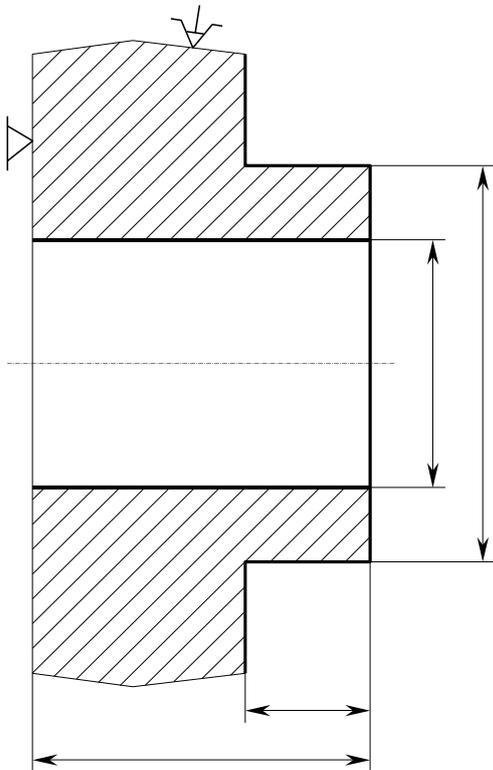
Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

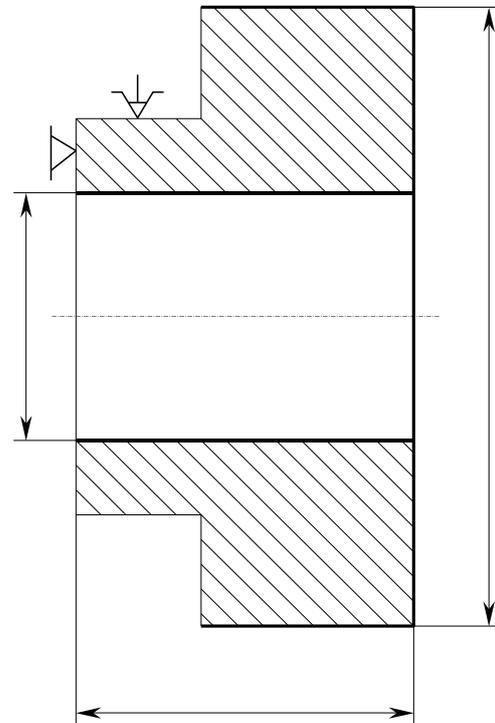
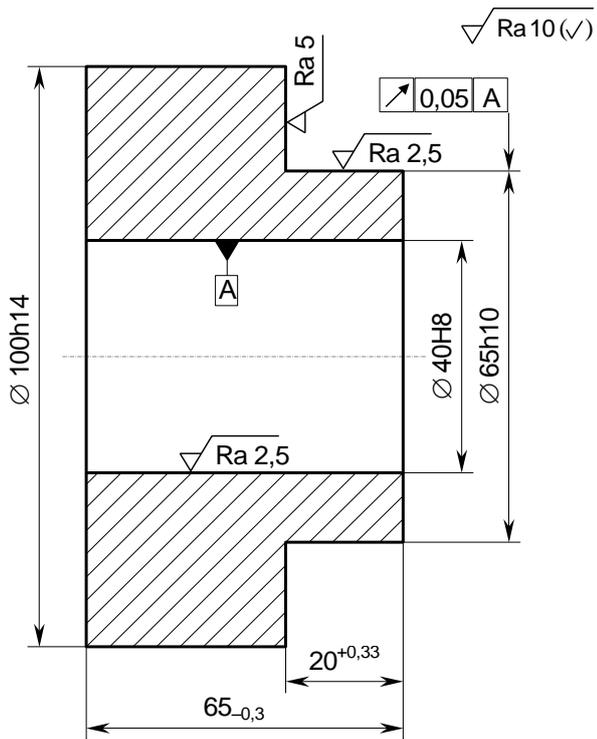
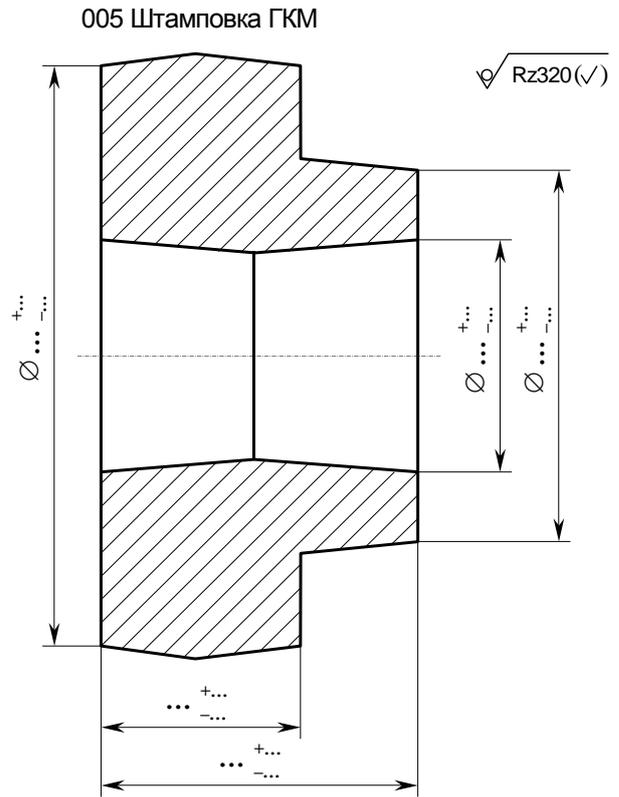


Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 1)



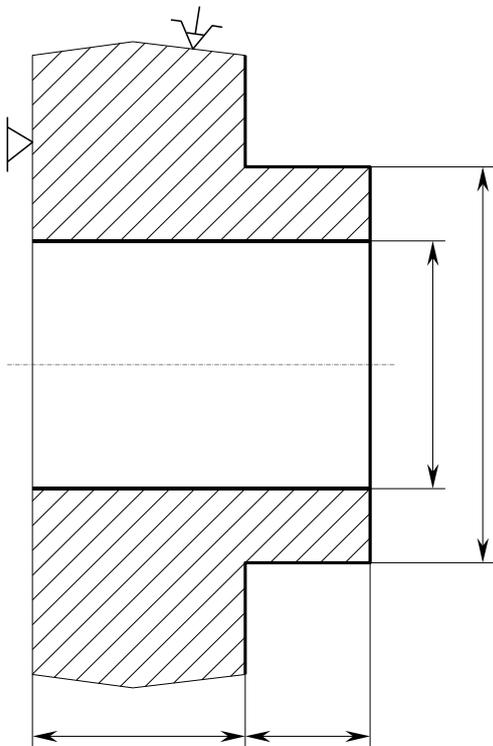
Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

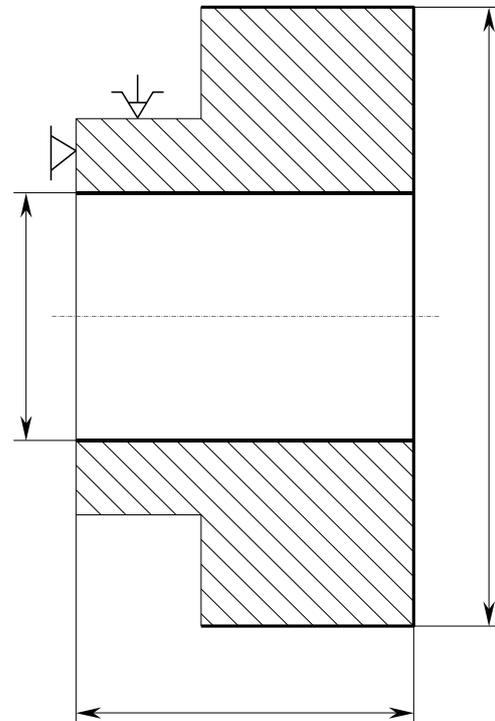
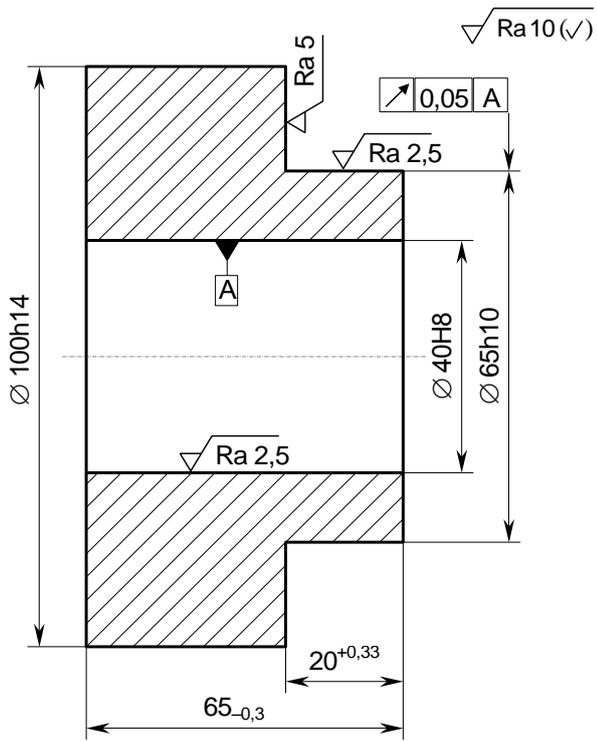
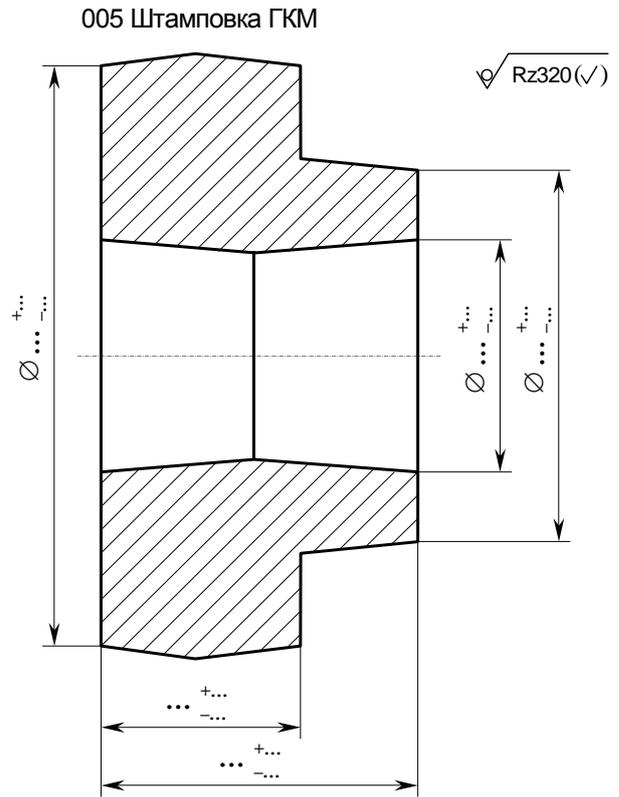


Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 2)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

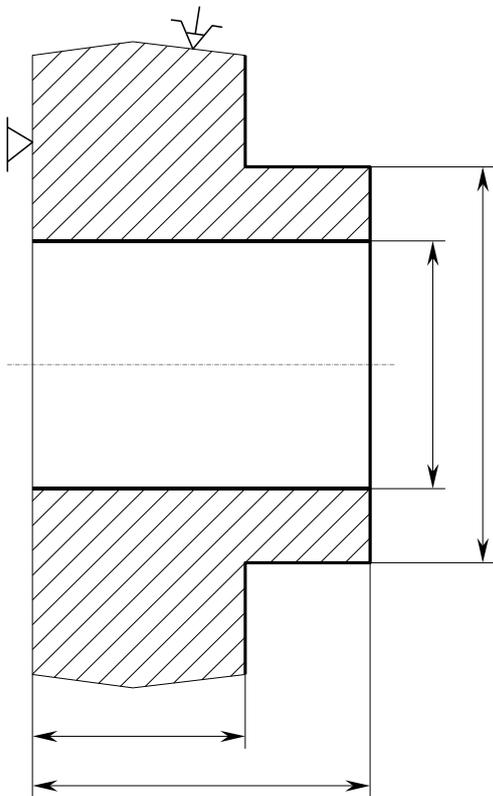
Чертеж детали «Втулка»



005 Штамповка ГКМ

Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

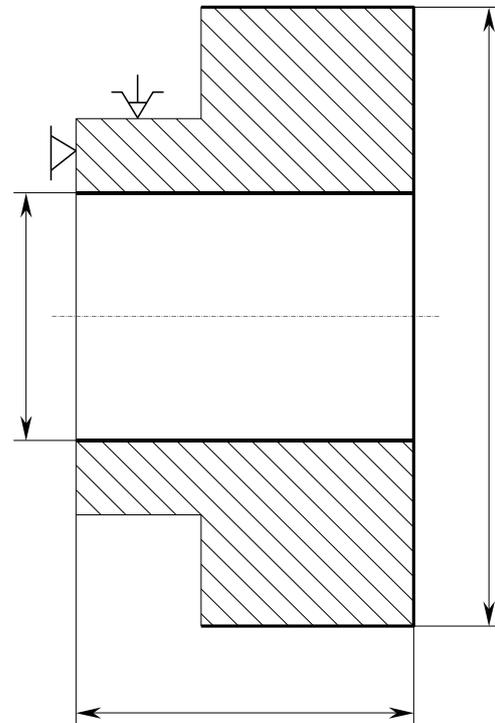
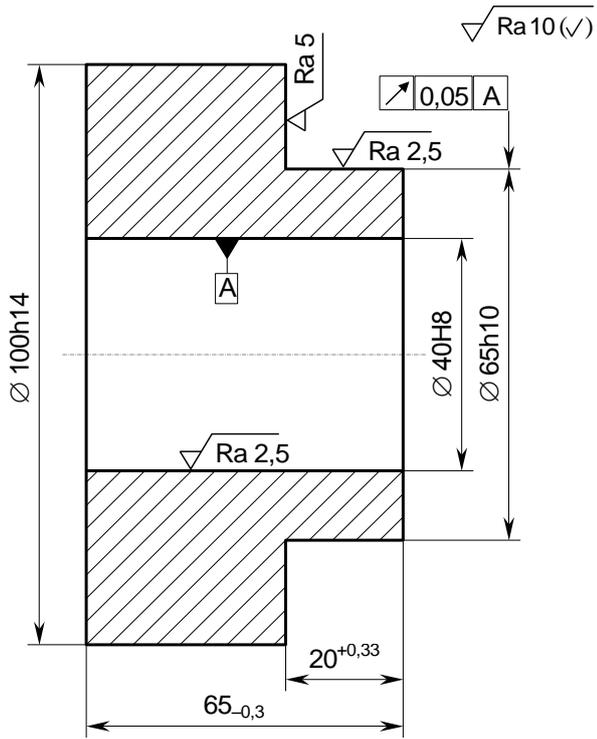
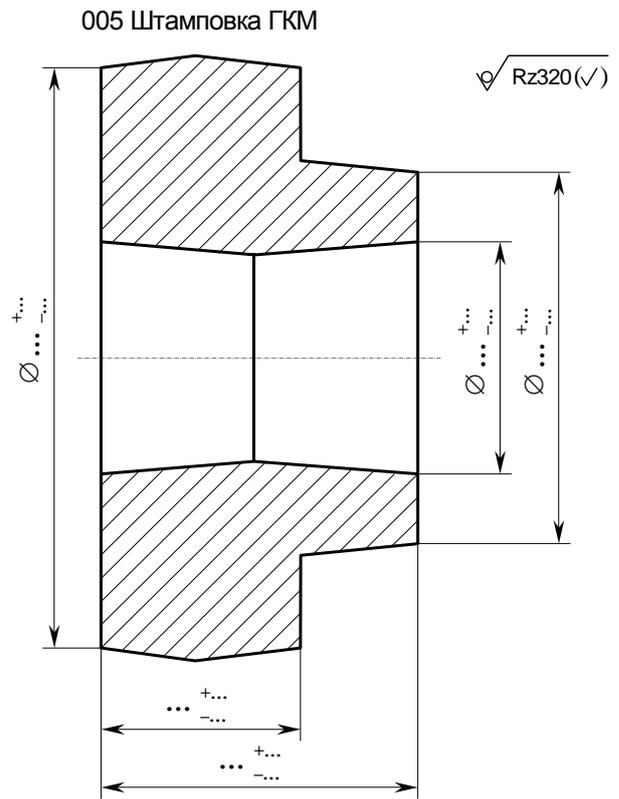


Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 3)



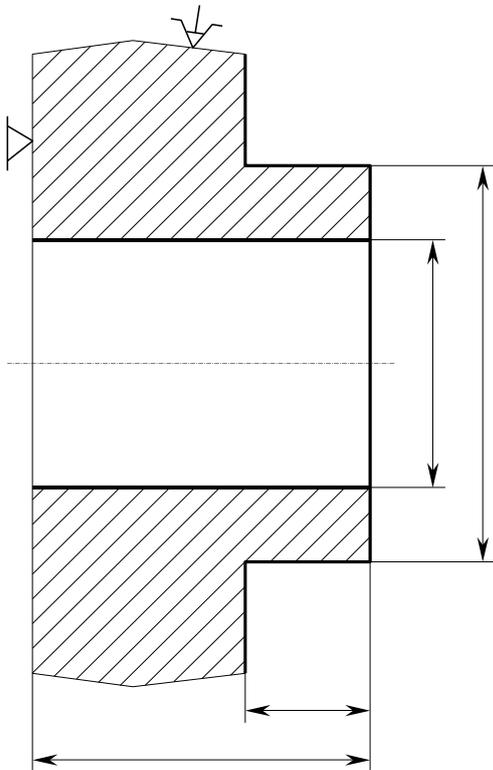
Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

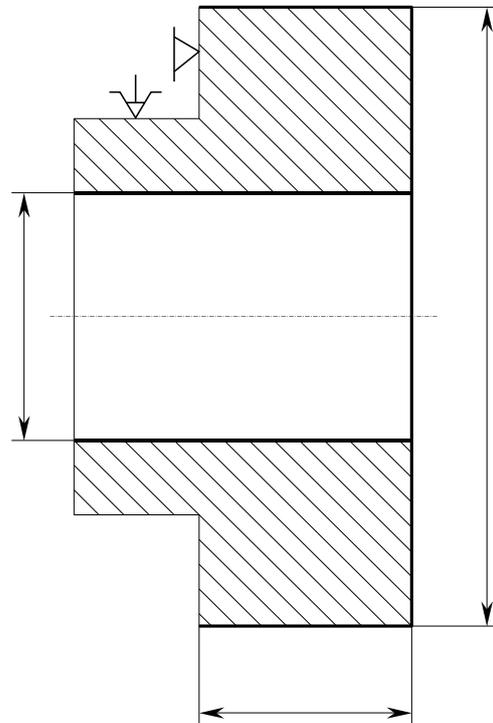
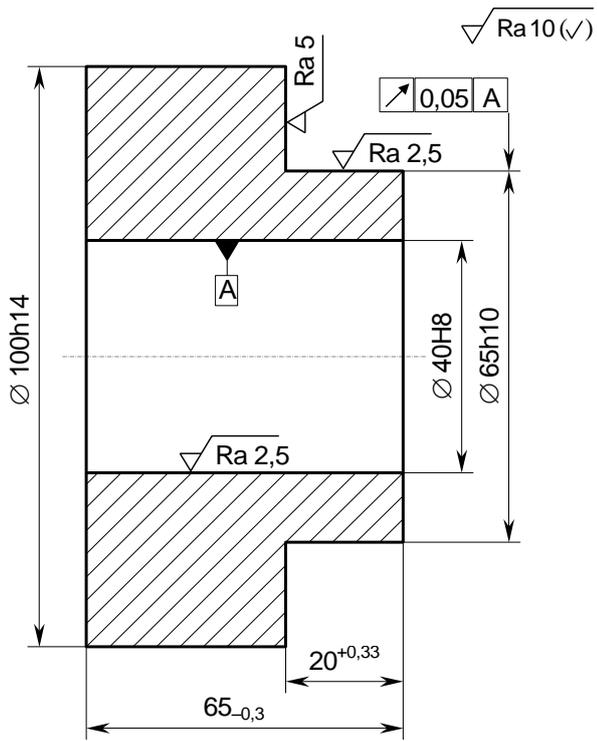
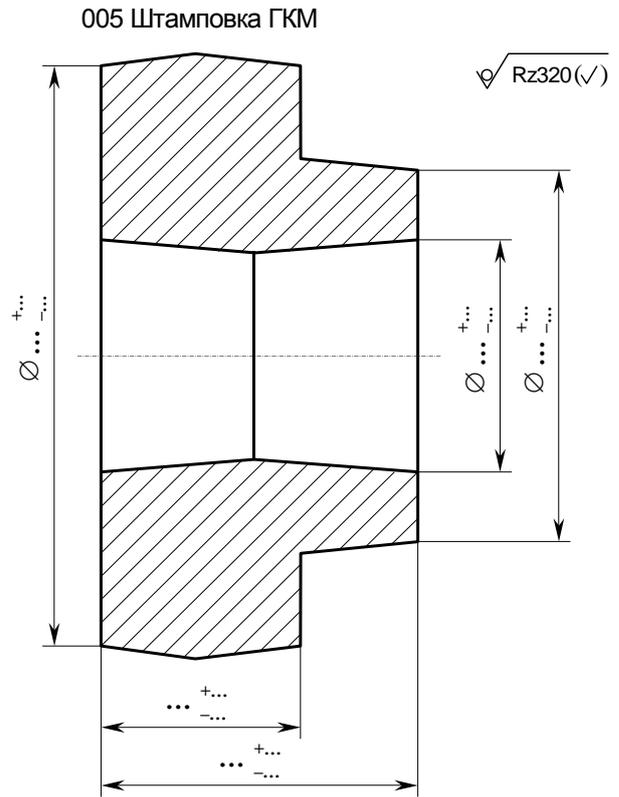


Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 4)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

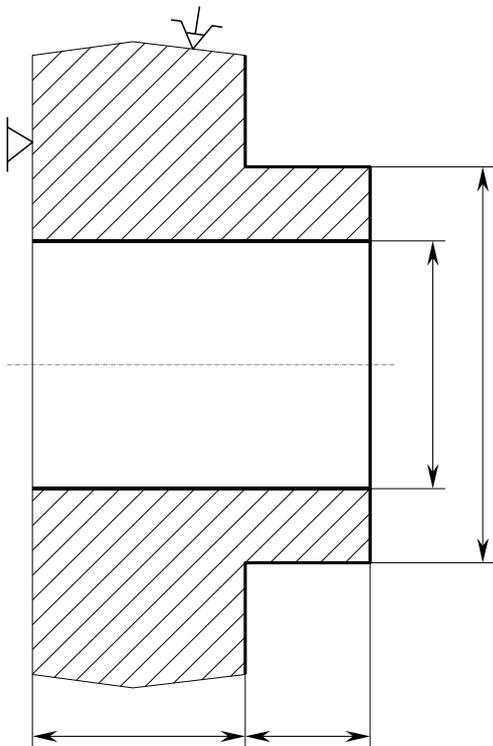
Чертеж детали «Втулка»



005 Штамповка ГКМ

Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

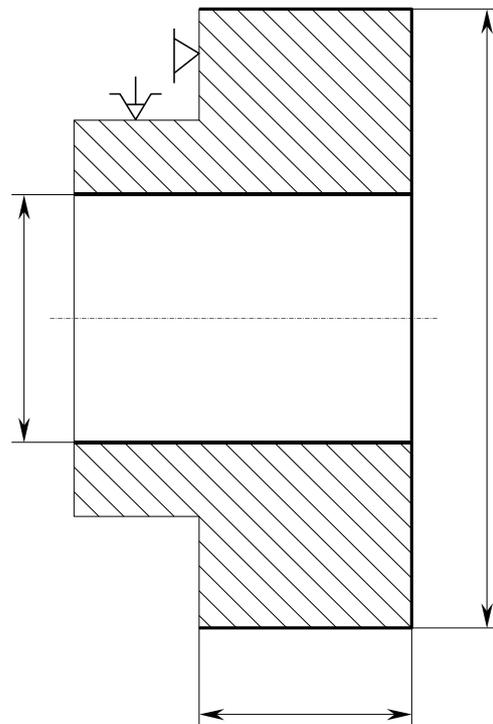
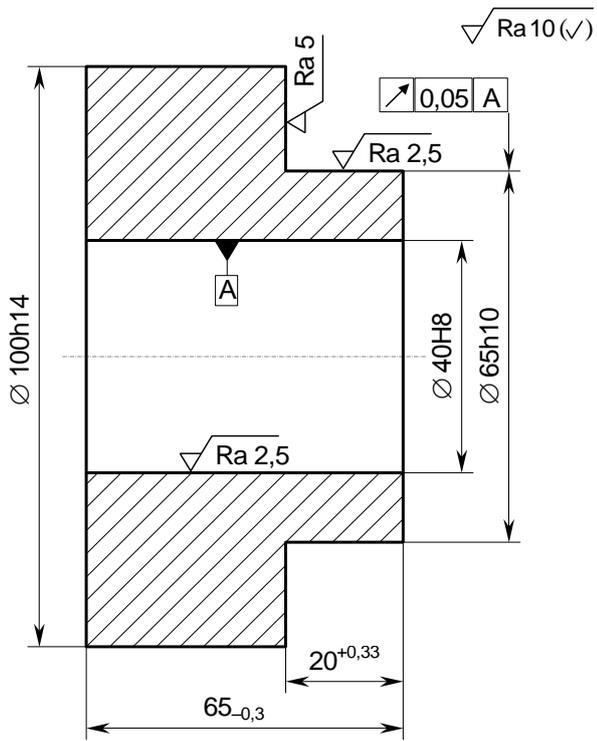
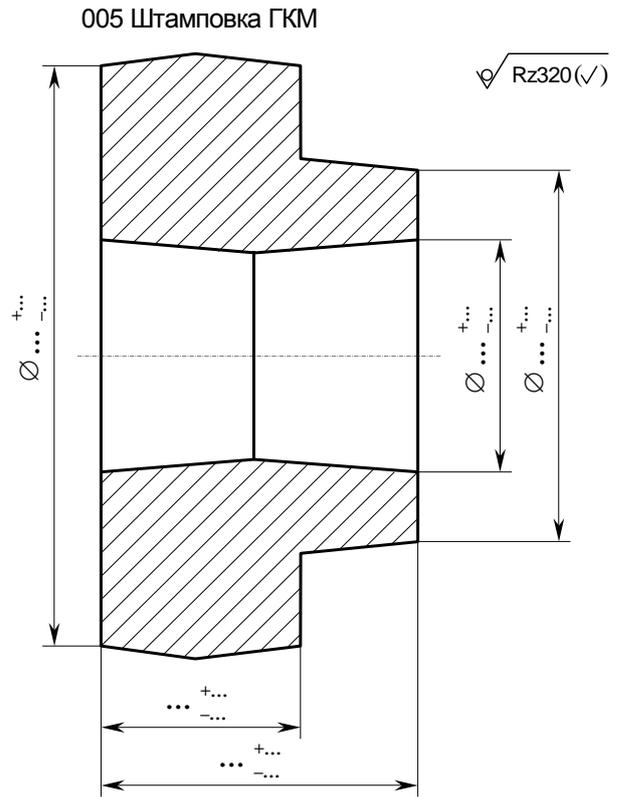


Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 5)



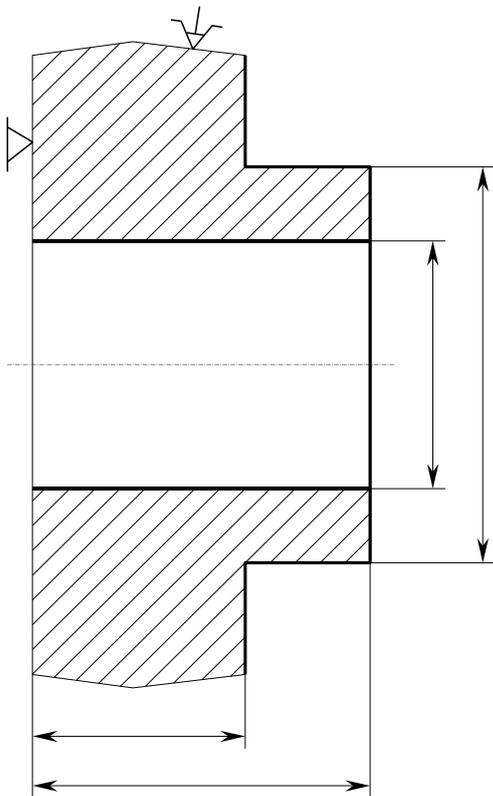
Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

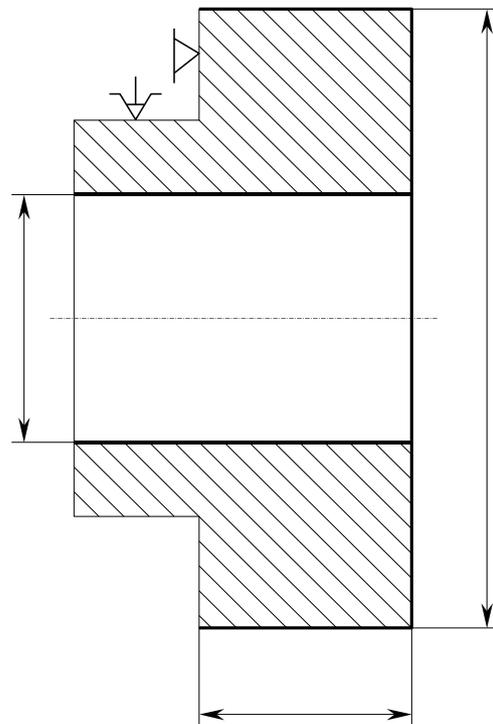
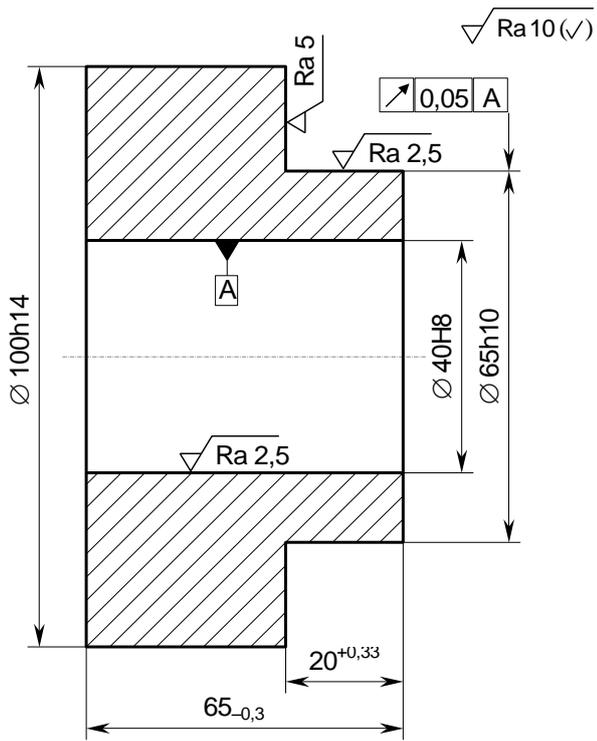


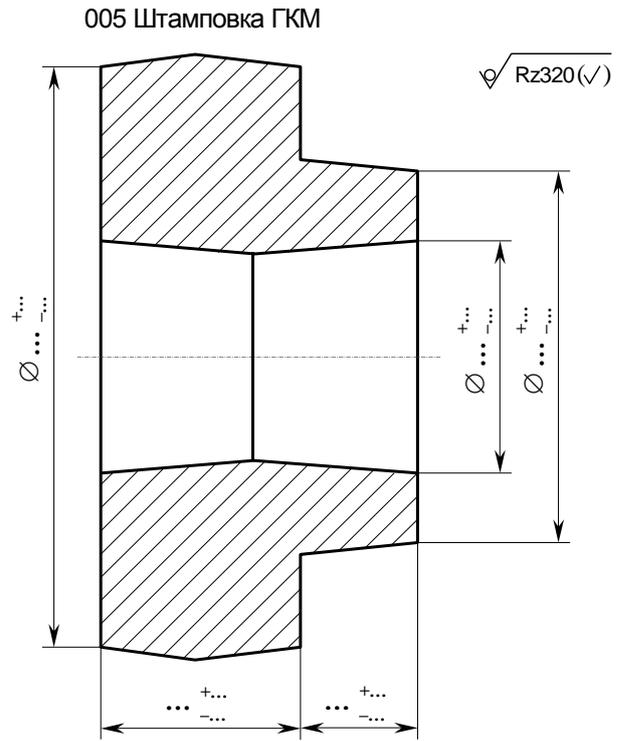
Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант б)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

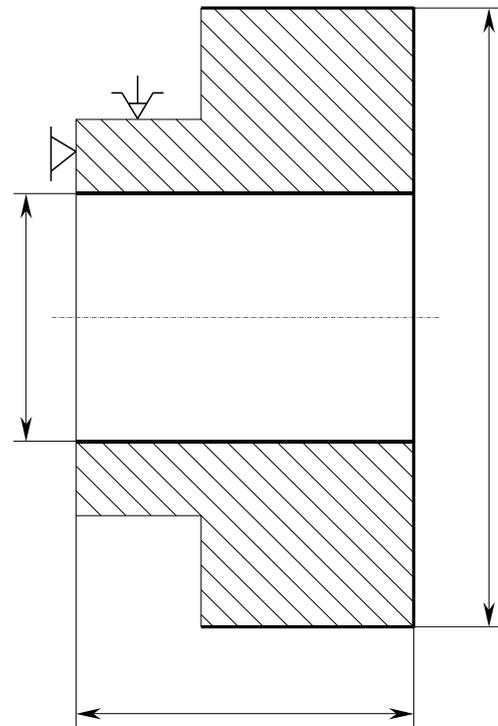
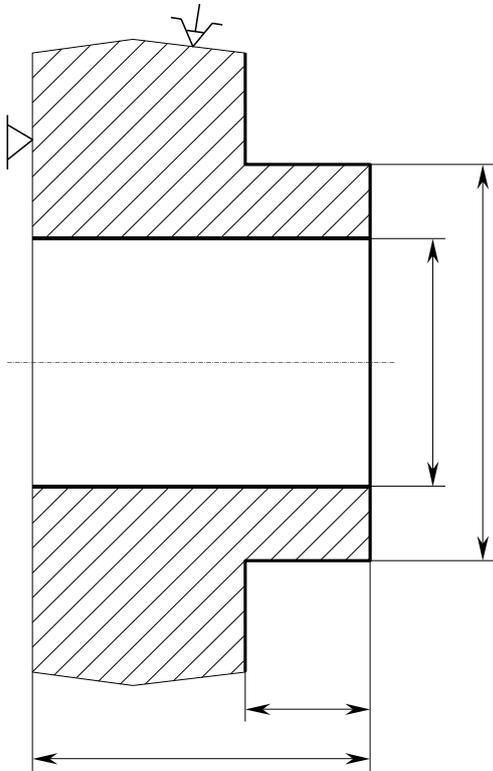
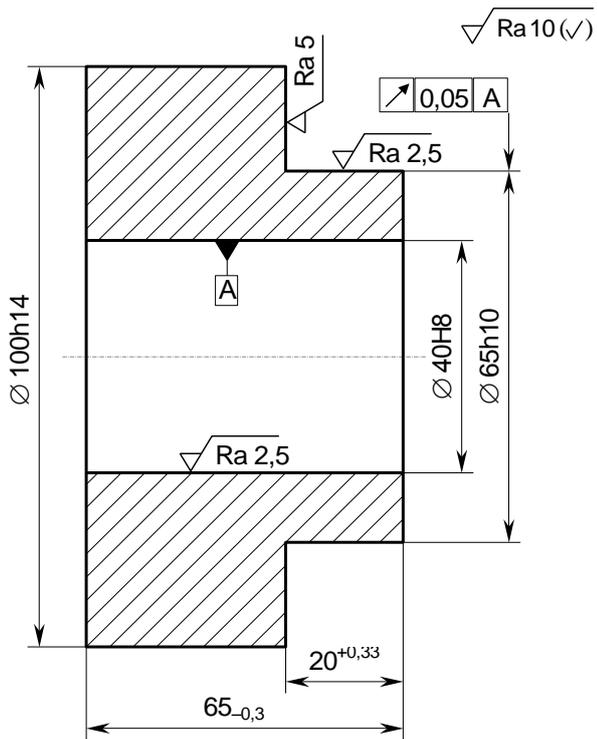


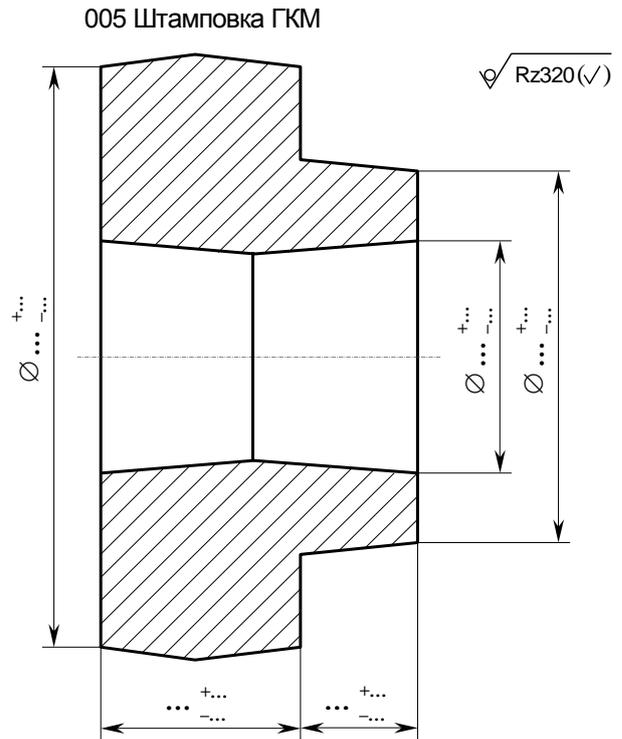
Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 7)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

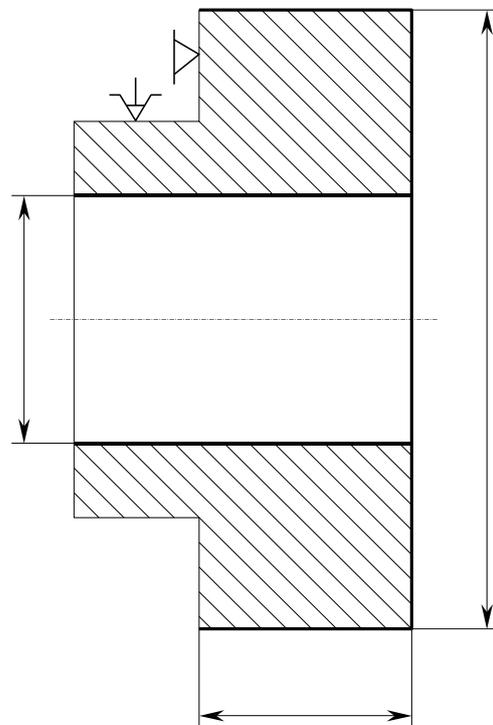
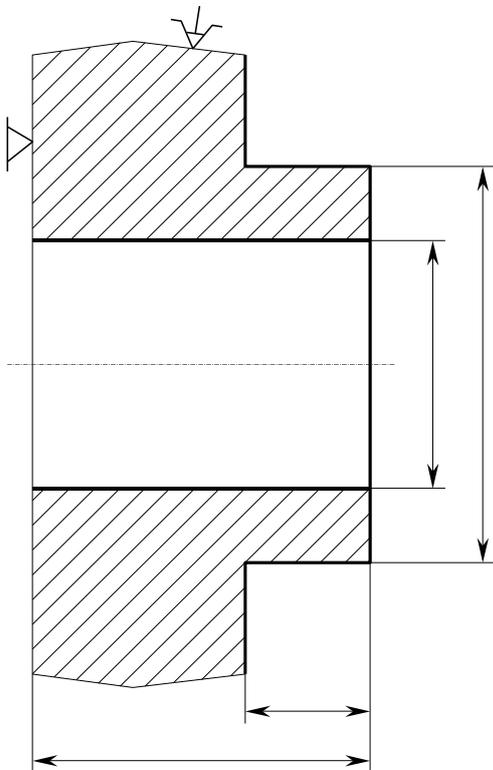
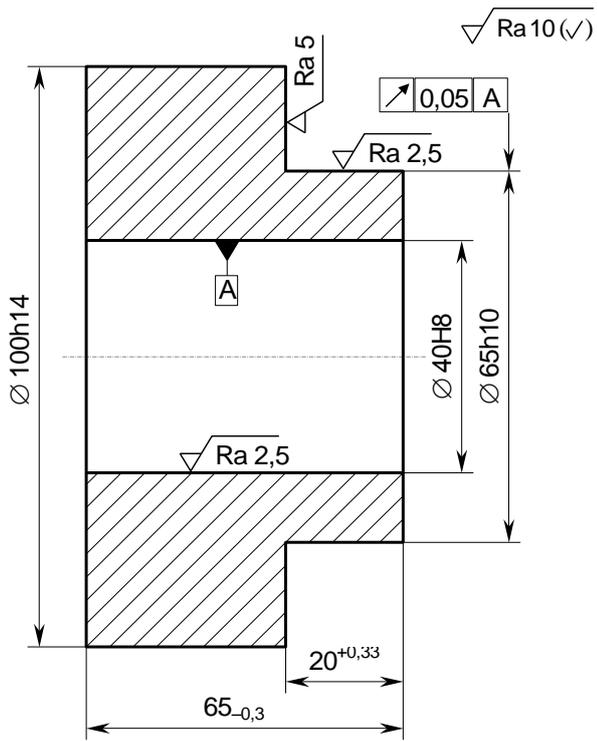


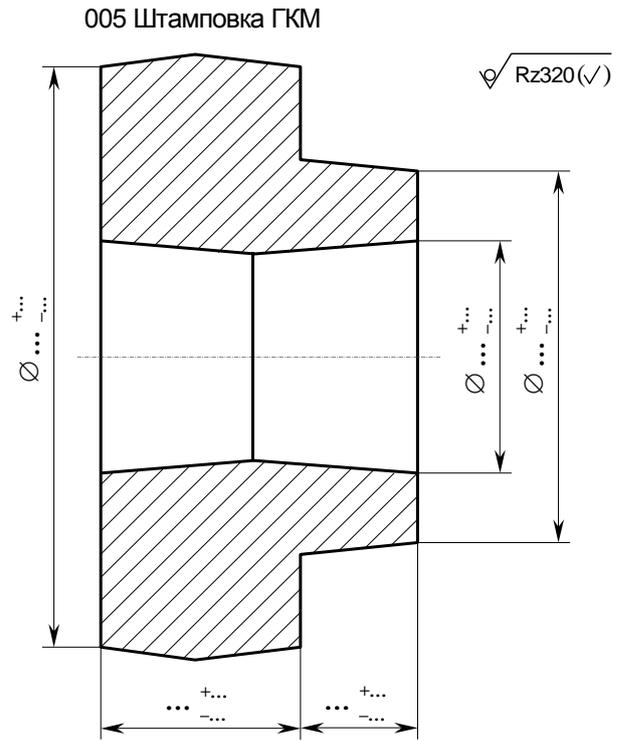
Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 8)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

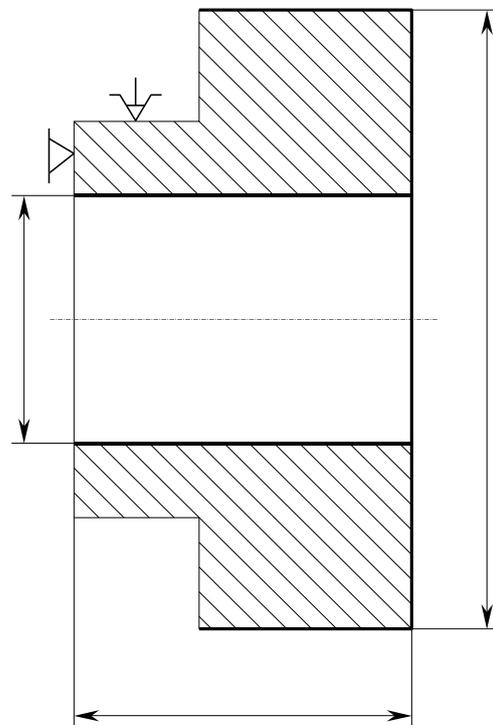
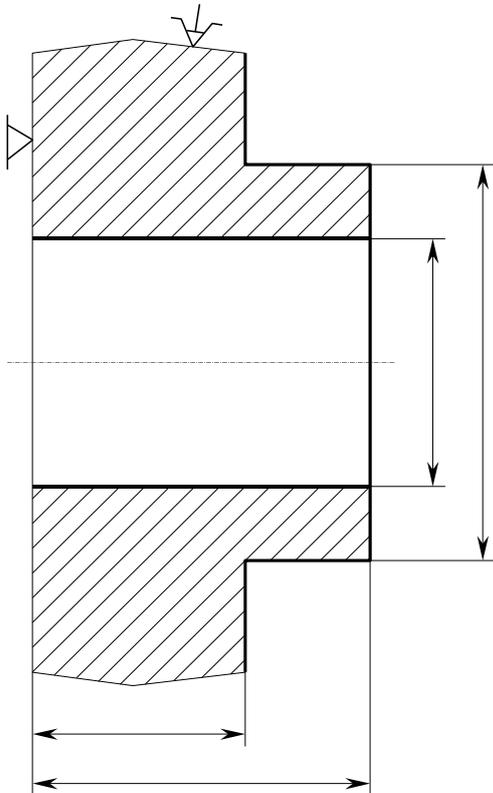
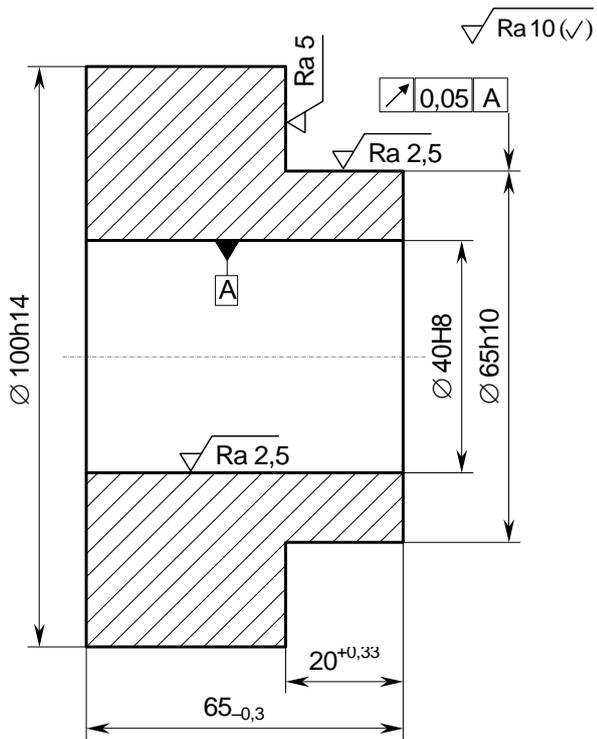


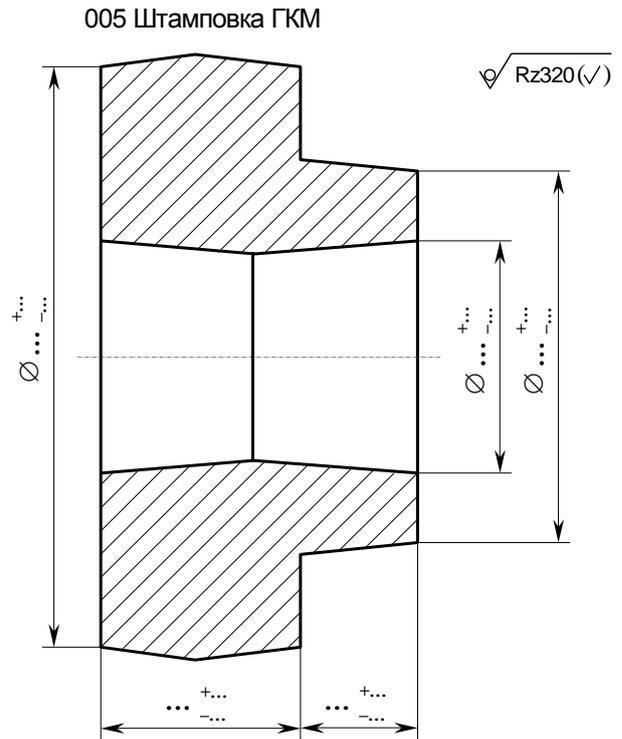
Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 9)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-80.  
 Масса – 2,64 кг.

Чертеж детали «Втулка»

010 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3



Штамповка повышенной точности.  
 Группа материала – М1.  
 Группа сложности – С1.  
 Масса заготовки – 3,93 кг.

015 Токарная с ЧПУ 16К20Ф3

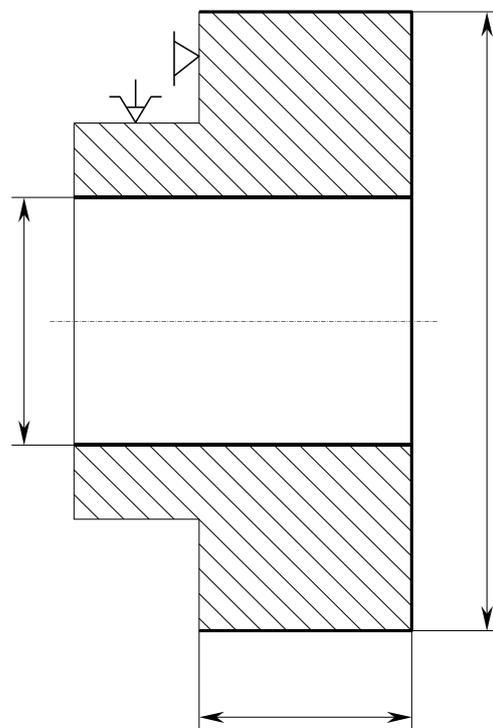
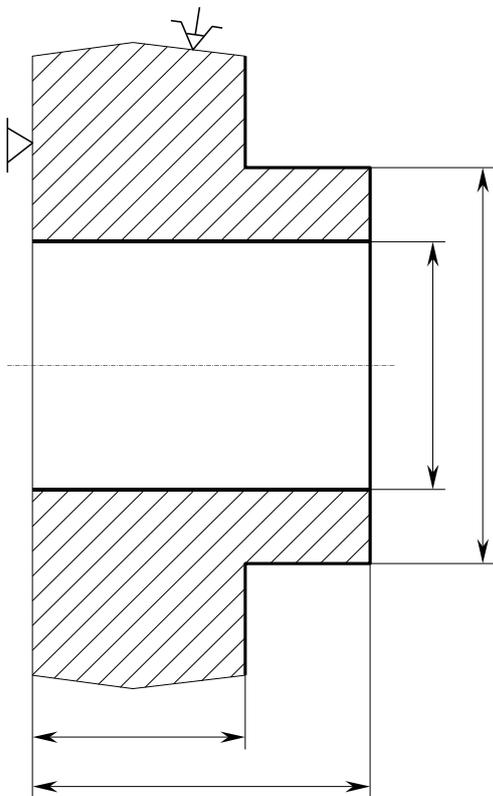


Рис. 3.5.8. Чертеж детали, операционные комплексы (вариант 10)

7. Составить уравнения размерных цепей относительно конструкторских размеров и припусков.
8. Рассчитать уравнения размерных цепей методом полной взаимозаменяемости, определив величины технологических линейных размеров и припусков на обработку.
9. На операционных эскизах проставить технологические линейные размеры.

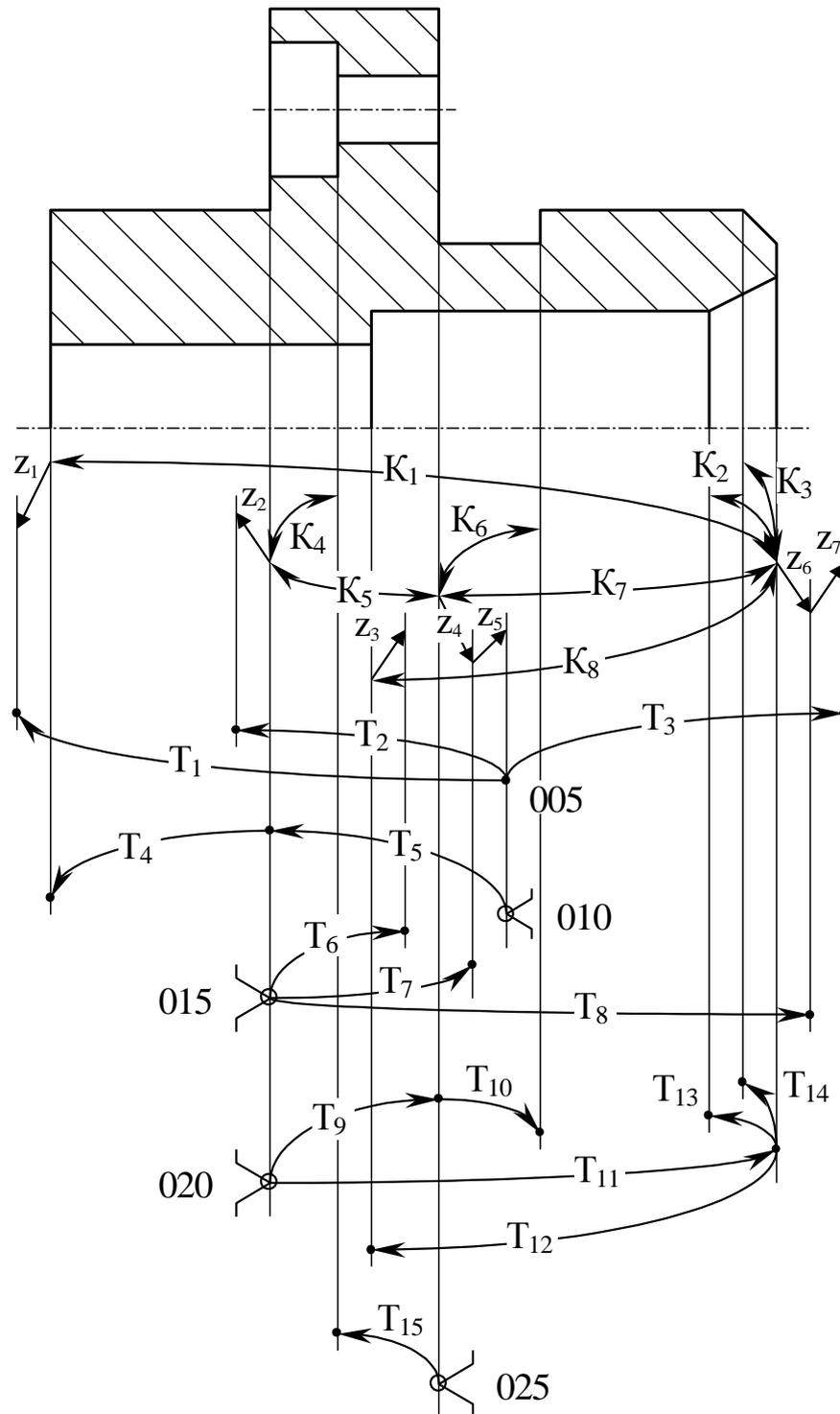


Рис. 3.5.9. Пример схемы линейных размеров

Порядок выполнения практической работы при проведении размерно-точностного анализа ТП для диаметральных размеров:

1. Рассмотреть представленный в виде операционных эскизов технологический процесс изготовления детали. Особое внимание обратить на базирование заготовки на каждой технологической операции по элементам вращения.
2. Начертить эскиз детали.
3. Изобразить припуски на обработку и пронумеровать все состояния каждой поверхности вращения.
4. Изобразить горизонтальными линиями предварительные и окончательные состояния поверхностей вращения (линии не должны совпадать между собой).
5. Изобразить для всех операций условными векторами биения элементов вращения в исходной заготовке (для операций изготовления заготовки методом литья или штамповки) относительно ее идеальной оси, биения базовых, обрабатываемых и обработанных элементов вращения относительно базы системы «Обработка», биения обрабатываемых и обработанных элементов вращения между собой (удвоенные неравномерности припусков), а также требования на взаимное расположение поверхностей (биения), заданные конструктором.
6. Обозначить векторы биений (пример схемы биений см. на рис. 3.5.10).
7. Составить формулы и провести расчет величин биений элементов исходной заготовки относительно ее идеальной оси, биений базовых, обрабатываемых и обработанных элементов относительно базы обработки.
8. Составить формулы и провести расчет величин биений, определяющих технические требования взаимного расположения элементов вращения, заданные конструктором, и проверить возможность их выполнения при выбранных системах базирования и на выбранных приспособлениях.
9. В случае невыполнения заданных конструктором технических требований взаимного расположения элементов вращения провести увеличение точности размеров базовых поверхностей вращения, типа и класса точности используемых приспособлений и вновь произвести необходимые расчеты.
10. Составить формулы и провести расчет величин биений обрабатываемых и обработанных элементов между собой (удвоенные неравномерности припусков).

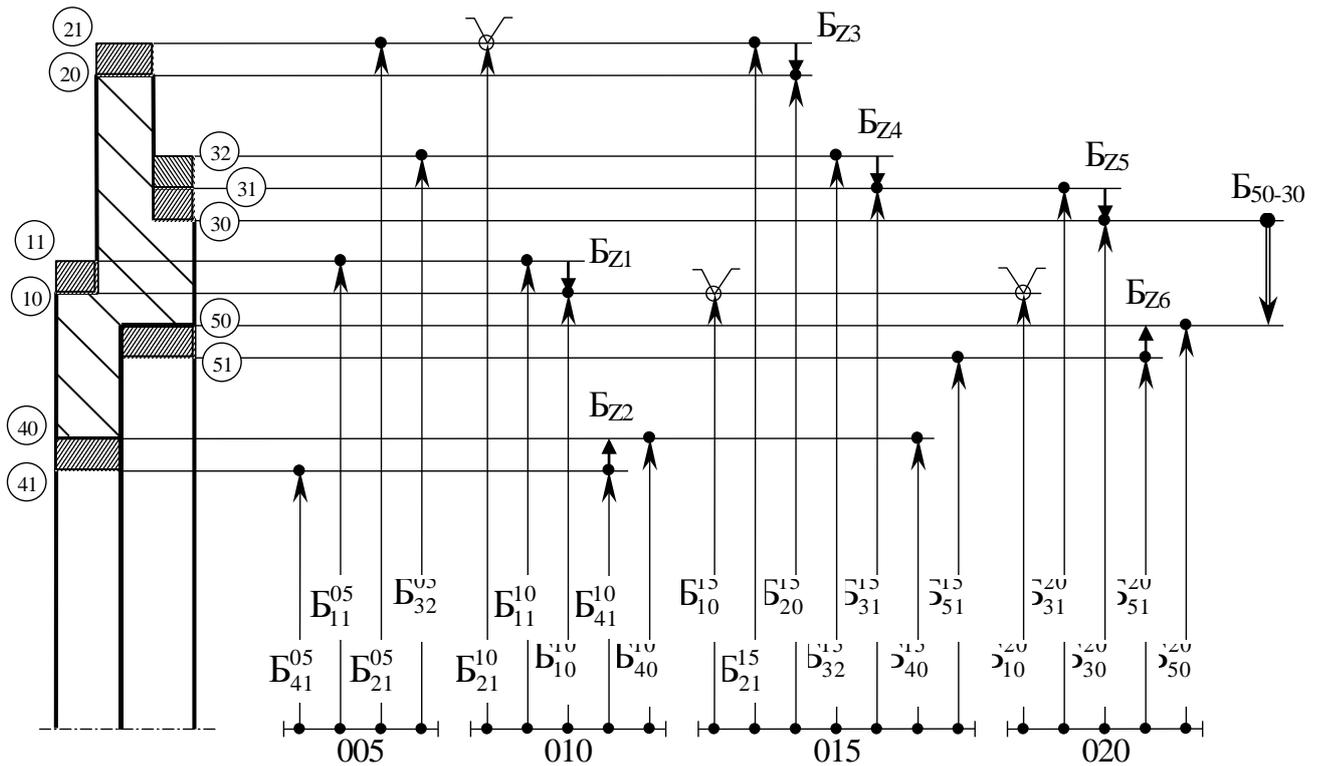


Рис. 3.5.9. Пример схемы биений

11. Используя результаты расчета неравномерностей припусков и формулы расчета промежуточных диаметральных размеров, представленные в [4], провести расчет диаметральных размеров обрабатываемых наружных и внутренних поверхностей вращения и припусков на их обработку. Результаты расчета свести в таблицу.
12. На операционных эскизах проставить технологические диаметральные размеры, которые заготовка получает на выходе с операций ее обработки.

### **3.6. Методические указания к выполнению лабораторных работ**

Работы, представленные в настоящих методических указаниях, выполняются по дисциплине «Основы технологии машиностроения» студентами специальности 151001.65 – технология машиностроения всех специализаций, а также студентами направления подготовки бакалавров 150900.62 – технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств.

Все работы содержат элементы научных исследований и направлены на развитие творческих способностейготавливаемых специалистов. Выполнение лабораторных работ способствует более глубокому освоению студентами дисциплины «Основы технологии машиностроения», а также развитию у них навыков самостоятельного творческого мышления, способности принимать обоснованные решения в разнообразных задачах инженерной деятельности, т.е. качеств, столь необходимых современному специалисту. При этом следует уяснить, что очные занятия с преподавателем призваны для обсуждения результатов исследований, уточнения и углубления осваиваемого материала дисциплины.

К выполнению каждой работы допускаются студенты, которые проработали соответствующие теоретические разделы дисциплины и тот материал учебника, на который сделаны ссылки в лабораторных работах, ознакомились с данными методическими указаниями и прошли инструктаж по технике безопасности, о чем делается запись в соответствующем журнале.

Отчёты о работах оформляются в тетради школьного образца с полями или на листах формата А4 и иллюстрируются необходимыми схемами, рисунками, таблицами. Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и снабжены необходимыми пояснениями.

#### **Мероприятия по охране труда и технике безопасности при выполнении лабораторных работ с использованием металлорежущего оборудования.**

Организация безопасной работы при выполнении лабораторных работ на кафедре производится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования»; ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»; ГОСТ 122009-80 «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.3.025-80 «Обработка металлов резанием. Требования безопасности»; ПТЭ и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии.

Студентам запрещается выполнять лабораторные работы в отсутствие преподавателя или учебно-вспомогательного персонала. Перед проведением лабораторной работы необходимо уяснить расположение отключающих устройств станка, убедиться в креплении металлорежущего инструмента, заготовки, в отсутствии посторонних предметов в рабочей зоне, в наличие ограждений, кожухов, в надежности заземления станков, а также предупредить товарищей о моменте включения. При обнаружении любых неисправностей

станков следует немедленно прекратить работу на них, обесточить и сообщить об этом сотрудникам кафедры.

Категорически запрещается оставлять без присмотра включенные станки. Перед включением станков следует обязательно закрыть кожухи гитар и ограждения. После окончания лабораторной работы оборудование необходимо отключить от сети питания.

**При выполнении лабораторных работ запрещается:**

- производить перестановку инструментов и заготовок;
- задавать режимы работы выше предписанных или расчетных;
- открывать и снимать ограждения, опираться на оборудование;
- производить работы не указанные в методических указаниях.

Более подробные инструкции находятся в лаборатории непосредственно у станков.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Маталин, А. А.* Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2008.
2. *Скраган, В. А.* Лабораторные работы по технологии машиностроения: учеб. пособие / В. А. Скраган, И. С. Амосов, А. А. Смирнов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1974.
3. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
4. Технология машиностроения: сб. задач и упражнений: учеб. пособие / В. И. Аверченков [и др.]; под ред. В. И. Аверченкова, Е. А. Польского. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2005.
5. *Cimatron E 8.5:* Руководство пользователя. Общие сведения.
6. *Cimatron E 8.5:* Руководство пользователя. Функции твердотельного моделирования.
7. *Cimatron E 8.5:* Руководство пользователя. Эскизник.
8. *Cimatron E 8.5:* Руководство пользователя. Черчение.

## Лабораторная работа 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МЕТОДОМ

### 1. Цель работы

Получение практических навыков определения жесткости технологической системы производственным методом. Исследование зависимости точности и производительности обработки от жесткости системы.

### 2. Основные теоретические положения

Производственный метод испытания жесткости металлорежущих станков основан на принципе обработки заготовок с неравномерным припуском (переменной глубиной резания). Неравномерный припуск при обработке может быть получен за счет эксцентриситета заготовки, ее конусности или ступенчатости.

Для испытания жесткости токарных станков удобно использовать эксцентричную заготовку.

При обработке эксцентричной заготовки глубина резания за пол-оборота заготовки закономерно изменяется от  $t_{min}$  до  $t_{max}$ , что вызывает соответственное изменение силы резания, а значит и упругих перемещений технологической системы.

Величина упругих перемещений системы  $y_c$  при обработке детали на токарном станке зависит от перемещений узлов  $y_{cm}$  станка, режущего инструмента  $y_{ин}$  и обрабатываемой детали  $y_d$ , т. е.

$$y_c = y_{cm} + y_{ин} + y_d,$$

откуда жесткость системы

$$\frac{1}{j_c} = \frac{1}{j_{cm}} + \frac{1}{j_{ин}} + \frac{1}{j_d}.$$

Так как жесткость инструмента в радиальном направлении несоизмеримо велика по сравнению с жесткостью станка и обрабатываемой детали, то ее деформацию можно не учитывать при расчетах. Если для проведения испытания использовать заготовку, жесткость которой также значительно превышает жесткость станка, то деформацию заготовки тоже можно исключить из расчета.

Тогда

$$\frac{1}{j_c} \approx \frac{1}{j_{cm}} \text{ или } \omega_c \approx \omega_{cm}.$$

Формула для определения жесткости станка при использовании

производственного метода выводится на основании известных зависимостей теории резания:

$$j_{cm} = \frac{P_y}{y}.$$

Нормальная составляющая силы резания  $P_y$  может быть выражена через тангенциальную составляющую силы резания  $P_z$ , тогда

$$P_y = K_y P_z,$$

где  $K_y$  – коэффициент, характеризующий отношение  $\frac{P_y}{P_z}$  и зависящий от геометрии резца, состояния режущей кромки и механических свойств обрабатываемого материала.

Принимая во внимание то, что скорость резания  $v$  не оказывает существенного влияния на величину тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$ , и определяя  $P_z$  по формуле Челюсткина [2], получаем

$$P_z = C_p t s^{0,75},$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от угла резания и механических свойств обрабатываемого материала.

Тогда

$$P_y = K_y C_p t s^{0,75},$$

подставив значение  $j_{cm} = \frac{P_y}{y}$ , получаем  $y = \frac{K_y C_p t s^{0,75}}{j_{cm}}$ .

При обработке эксцентричной заготовки глубина резания изменяется от  $t_{min}$  до  $t_{max}$  (см. рис. 3.6.1) и соответственно изменению глубины резания изменяются и отжатия узлов станка от  $y_{min}$  до  $y_{max}$ .

Тогда

$$y_{max} - y_{min} = \frac{1}{j_{cm}} K_y C_p s^{0,75} (t_{max} - t_{min}).$$

Обозначая  $y_{max} - y_{min} = \Delta_\partial$  – биение детали после обработки (погрешность формы детали) в мм;  $(t_{max} - t_{min}) = \Delta_3$  – биение заготовки до обработки (погрешность заготовки) в мм, получаем

$$\Delta_\partial = \frac{1}{j_{cm}} K_y C_p s^{0,75} \Delta_3 \text{ или } j_{cm} = K_y C_p s^{0,75} \frac{\Delta_3}{\Delta_\partial}.$$

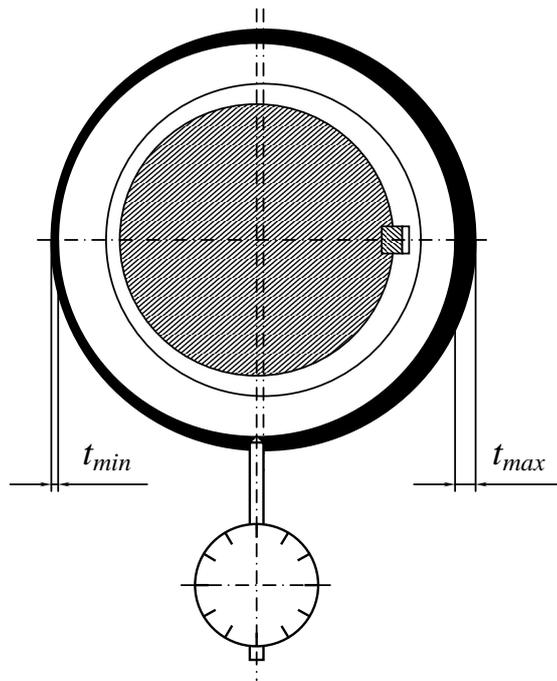


Рис. 3.6.1. Схема измерения биения

Отношение  $\frac{\Delta_z}{\Delta_\partial}$  – принято называть уточнением  $\varepsilon$ , тогда

$$j_{cm} = K_y C_p s^{0,75} \varepsilon.$$

Таким образом, определение жесткости токарного станка производственным методом путем обработки эксцентричной заготовки практически сводится к измерению биения заготовки до и после обработки.

Коэффициенты  $C_p$  и  $K_y$ , входящие в формулу, определяются по нормативным материалам или на основании экспериментальных данных.

Подачу  $s$  и скорость резания  $v$  при опытах следует принимать такими, чтобы после проточки заготовки получить сравнительно чистую поверхность, обеспечивающую более точное измерение биения. В целях уменьшения влияния центробежных сил рекомендуется работать при скорости резания до 100 м/мин.

Биение заготовки до обработки  $\Delta_z$  для токарных станков с наибольшим диаметром обрабатываемого изделия 160...320 мм рекомендуется принимать не менее 4...6 мм. В этом случае биение детали после обработки  $\Delta_\partial$  достаточно велико и может быть измерено индикатором с ценой деления 0,01 мм.

Для испытания жесткости токарных станков производственным методом используется метод проф. В. А. Скрагана [2] (рис. 3.6.2), который позволяет заменить обработку эксцентричной заготовки обработкой отдельных колец.

Жесткость оправки около 400 МН/м. Концентричные кольца 1, 2 и 4 (их три по длине оправки) шириной 10...15 мм насаживаются на эксцентричные кольца 10 и крепятся стяжными болтами 5. Первое кольцо служит для определения

суммарной жесткости передней бабки и суппорта, второе кольцо – суммарной жесткости станка в середине обрабатываемой детали, а третье кольцо – суммарной жесткости суппорта и задней бабки.

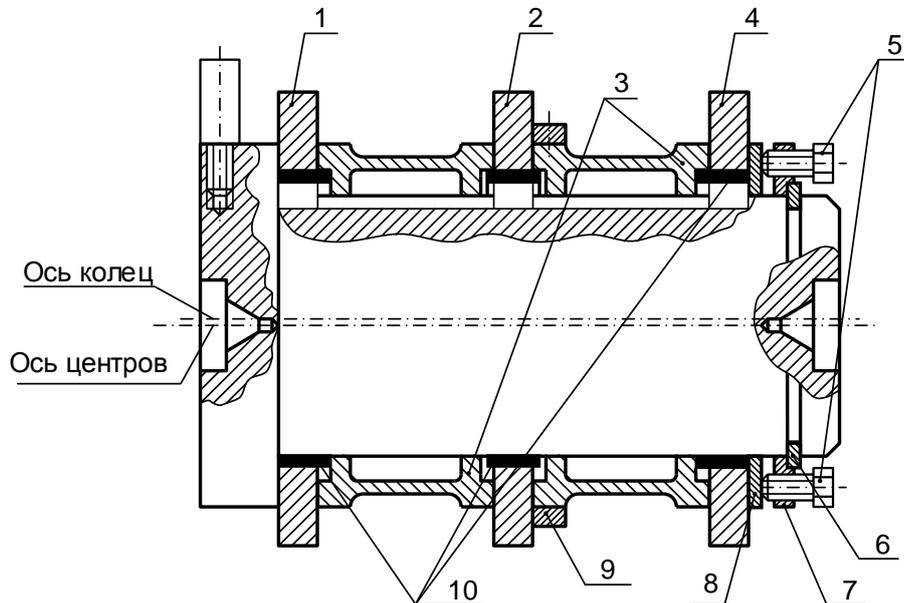


Рис. 3.6.2. Оправка с кольцами-заготовками: 1, 2 и 4 – обрабатываемые сменные кольца; 3 – распорные втулки; 5 – стяжные болты; 6 – размерное кольцо; 7 – упругое кольцо; 8 – упорное кольцо; 9 – градуированное кольцо для фиксации углового положения оправки; 10 – эксцентрические кольца

Используя метод обработки эксцентричного кольца, можно не только определить жесткость при максимальном биении заготовки, но и построить графики «нагрузка-перемещение» (см. рис. 3.6.3). Такие графики представляют большой интерес, так как характеризуют упругие деформации узлов станка не в статическом состоянии, а в процессе обработки заготовки.

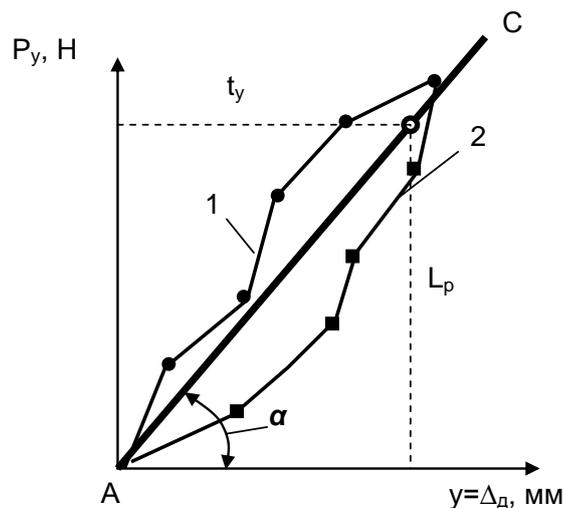


Рис. 3.6.3. График «нагрузка-перемещение»: 1 – нагрузочная кривая; 2 – разгрузочная кривая; AC – усредненная прямая

График «нагрузка-перемещение» работающего станка можно построить, основываясь на том, что при обработке эксцентричной заготовки за один оборот оправки глубина резания изменяется постепенно, а пропорционально изменению глубины резания изменяются и составляющие силы резания.

Таким образом, величина биения заготовки по окружности характеризует величину силы резания, а величина соответствующих упругих деформаций узлов станка есть не что иное, как биение детали после обработки  $\Delta_0$ .

Значение нормальной составляющей силы резания, соответствующее каждому положению заготовки, можно найти по уже известной формуле

$$P_y = K_y C_p s^{0,75} \Delta_3,$$

где  $\Delta_3$  – биение заготовки в данном угловом положении.

Значит, если измерить биение заготовки в нескольких точках по окружности и в этих же точках измерить биение после обработки, то можно построить обе ветви графика «нагрузка-перемещение» (нагрузочную и разгрузочную).

Для возможности проведения этого эксперимента на одной из распорных втулок оправки имеется поворотная шкала, на которой нанесены деления.

### 3. Порядок проведения работы

Работу следует выполнять в такой последовательности.

1. Установить оправку с тремя кольцами в центрах токарного станка (рис. 3.6.4).

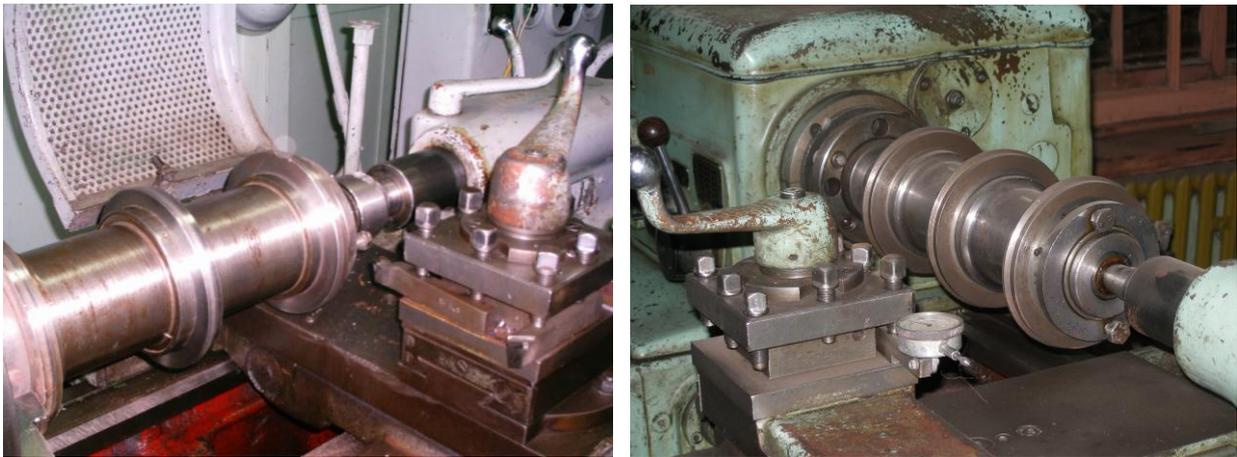


Рис. 3.6.4. Оправка с тремя кольцами в центрах токарного станка

2. Закрепить в резцедержателе державку с индикатором; измерительный наконечник индикатора должен быть положен в горизонтальной плоскости, строго по оси центров станка (рис. 3.6.5).



Рис. 3.6.5. Схема измерения

3. Ослабить на оправке торцовые винты и повернуть последовательно все три обрабатываемых кольца так, чтобы биение заготовки  $\Delta_3 \approx 5$  мм. Закрепить винты и произвести окончательное измерение биения индикатором (рис. 3.6.6). Показания индикатора записать в табл. 3.6.1.



Рис. 3.6.6. Схема определения биения заготовки

Таблица 3.6.1

Место измерения	Биение заготовки $\Delta_3$ , мм	Биение после обработки $\Delta_0$ , мм	Уточнение $k_{УТ}$	Жёсткость $j$ , Н/м
Кольцо у передней бабки станка				
Кольцо в середине оправки				
Кольцо у задней бабки станка				

4. Поворачивая оправку, установить среднее кольцо в такое положение, чтобы минимальный радиус эксцентричной заготовки был против наконечника индикатора.

5. Установить и закрепить на станине станка указатель поворота оправки (рис. 3.6.7). Наконечник указателя при этом должен находиться против поворотного градуированного кольца, закрепленного на распорной втулке оправки.

6. Не изменяя положения оправки, открепить стопор и повернуть кольцо на оправке так, чтобы наконечник указателя находился против нулевого деления на шкале кольца. Закрепить кольцо в таком положении стопорным винтом.

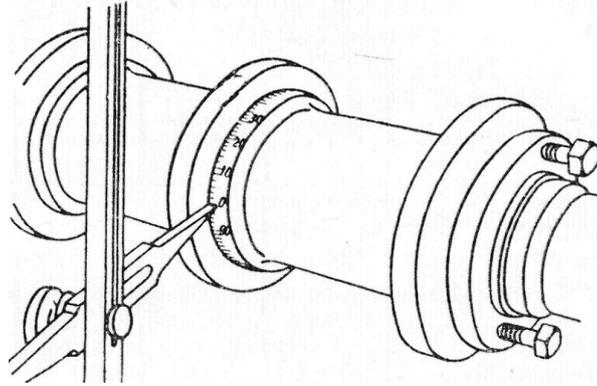


Рис. 3.6.7. Схема определения углового положения оправки

7. Поворачивая оправку рукой по направлению вращения шпинделя, измерить биение среднего кольца (заготовки) в двенадцати точках (через  $30^\circ$ ) по окружности, пользуясь градуированной шкалой кольца. Результат измерения занести в табл. 3.6.2.

8. Снять индикатор и закрепить резец в резцедержателе. Вылет резца должен быть 30...40 мм.

9. Проточить со следующими режимами резания последовательно все три кольца, сняв эксцентричный припуск на заготовках (кольцах) за один проход (рис. 3.6.8): минимальная глубина резания (глубина резания на минимальном радиусе эксцентричных колец)  $t_{min} \approx 0,1 \dots 0,2$  мм подача  $s \approx 0,2$  мм/об; скорость резания  $v = 60$  м/мин.

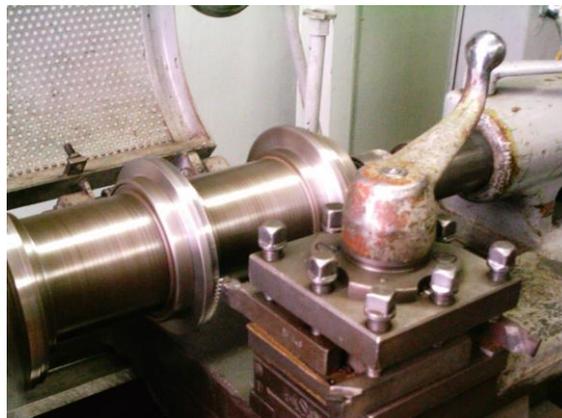


Рис. 3.6.8. Снятие эксцентричного припуска заготовки

10. Снять резец и установить в резцедержателе индикатор с державкой строго по линии центров станка.

11. Измерить индикатором максимальное биение всех трех колец после обработки –  $\Delta_{\partial}$  (рис. 3.6.9). Результаты измерения занести в табл. 3.6.1.



Рис. 3.6.9. Схема измерения среднего кольца (заготовки)

12. Поворотом оправки установить нулевое положение шкалы градуированного кольца против наконечника указателя. Наконечник индикатора подвести к кольцу и создать натяг.

13. Измерить биение кольца после обработки в тех же десяти точках (аналогично п.7). Результаты измерения занести в табл. 3.6.2.

Таблица 3.6.2

Деления на кольце, град.	Биение заготовки $\Delta_3$ , мм	Значение нормальной составляющей силы резания $P_y$ , Н	Биение после обработки $\Delta_{\partial}$ , мм
1	2	3	4
0			
30			
60			
90			
120			
150			
180			
210			
240			
270			
300			
330			
360			

14. Определить жесткость станка в трех положениях по трем кольцам и построить график «нагрузка-перемещение» для одного кольца.

15. Составить отчет.

#### 4. Содержание отчета

В отчете должны быть приведены следующие данные:

- 1) наименование работы;
- 2) наименование, модель и характеристика станка;
- 3) схема расположения эксцентричных колец и измерения биения;
- 4) данные об измерительных приборах;
- 5) обрабатываемый материал и марка пластинки твердого сплава;
- 6) режим резания ( $t_{min}$ ,  $s$ ,  $v$ ), геометрия инструмента, значения коэффициентов  $K_y$  и  $C_p$ ;
- 7) результаты опытов;
- 8) расчет суммарной жесткости станка в трех положениях, согласно данным табл. 3.6.1;
- 9) расчет значения нормальной составляющей силы резания для всех точек (табл. 3.6.2);
- 10) график «нагрузка-перемещение» для одного кольца;
- 11) выводы.

Литература: [1]; [2].

## Лабораторная работа 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

#### 1. Цель работы

Овладение методикой статических исследований для оценки точности обработки. Получение практических навыков использования результатов статистических исследований для анализа точности обработки.

#### 2. Основные теоретические положения

Проблему исследования точности изготовления деталей следует рассматривать в двух аспектах: при проектировании технологического процесса (ТП) и его реализации. В первом случае решается задача оценки способности проектируемой технической системы обработки (ТСО) обеспечить заданную точность геометрических параметров ТСЗ (формы, размеров поверхностей, взаимного положения её элементов), второй этап обусловлен необходимостью практической проверки правильности проектных решений, уровня настроенности, надёжности, стабильности ТП. Результаты проверки позволяют выработать мероприятия по управлению перечисленными показателями.

Различают три категории точности: заданную, ожидаемую и действительную.

Заданная или требуемая точность параметра регламентируется назначенным конструктором с учётом служебного соответствия ограниченным множеством  $K = [K_{\min}, K_{\max}]$  допустимых значений параметра или скорректированным технологом множеством  $T = [T_{\min}, T_{\max}]$  значений этого параметра с соотношением  $T \leq K$ . При этом  $K_{\min}$ ;  $T_{\min}$  и  $K_{\max}$ ;  $T_{\max}$  – соответственно наибольшие и наименьшие значения конструкторских или технологических размеров, а  $IT_K = K_{\max} - K_{\min}$  и  $IT_T = T_{\max} - T_{\min}$  – соответственно допуски этих размеров.

Ожидаемая точность характеризуется множеством  $T_O = [T_{O\min}, T_{O\max}]$  значений параметра и ожидаемой погрешностью обработки  $\omega_O = T_{O\max} - T_{O\min}$ , которые предположительно, на основании опыта, аналогии или расчётов можно ожидать после обработки.

Действительная точность характеризуется множеством  $T_D = [T_{D\min}, T_{D\max}]$  действительных значений параметра и погрешностью обработки  $\omega_D = T_{D\max} - T_{D\min}$ , полученных в результате обработки.

С использованием приведённых понятий задача оценки способности ТСО обеспечить заданную точность описывается выражениями  $T_0 \leq T \leq K$  и  $\omega_{T_0} \leq IN_T \leq IT_K$ , а выражения  $T_d \leq T_0$  и  $\omega_d \leq \omega_0$  описывают справедливость принятых проектных решений в отношении ожидаемой точности обработки.

Основным способом получения информации о действительных размерах  $T_d$  служат статистические исследования существующих ТСО с последующим установлением закона распределения размеров и определением его параметров. С разновидностями имеющих практическое значение в технологических исследованиях законов распределения следует ознакомиться, проработав [1, с. 46...54].

Закон распределения хорошо иллюстрируется кривой рассеяния размеров, которая строится следующим образом. Измеренные значения размеров партии заготовок разбиваются на ряд интервалов. Ширина интервала выбирается в зависимости от точности размеров детали таким образом, чтобы число интервалов было не меньше шести (при числе измеряемых заготовок в партии не менее 50 шт.). Для каждого интервала подсчитывается частота повторения размеров  $m_i$ , то есть количество заготовок, действительные размеры которых попали в данный интервал.

По оси абсцисс откладываются интервалы размеров, и на каждом из интервалов, как на их основании, строится прямоугольник. Высота прямоугольника определяется делением частоты  $m_i$  на ширину интервала  $\Delta T_d$ . Полученная ступенчатая линия 1 называется гистограммой распределения (рис. 3.6.10). При последовательном соединении между собой точек, соответствующих середине каждого интервала, образуется ломаная линия 2, которая называется эмпирической кривой распределения, или полигоном.

По полученным статистическим данным определяют следующие характеристики:

1. Среднее арифметическое значение действительных размеров заготовок:

$$T_{д.ср.} = \sum_{i=1}^n T_d \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_d m_i .$$

2. Среднее квадратическое отклонение размеров, определяемое на основании данных размеров партии заготовок:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{д.i} - T_{д.ср.})^2 m_i} .$$

В большинстве случаев при механической обработке заготовок с точностью по 8...10 квалитетам и грубее при обеспечении её методом групповой настройки (настройки на партию) кривая рассеяния размеров получает очертание, удовлетворяющее закону нормального распределения (закону Гаусса).

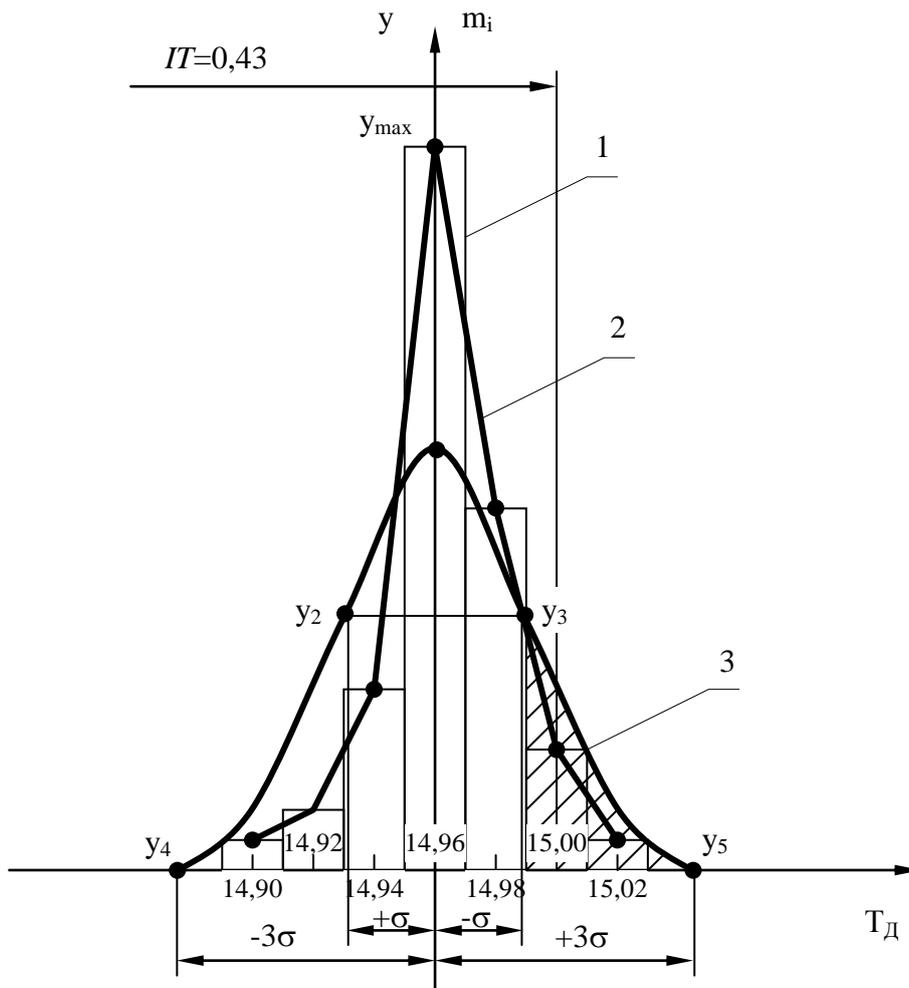


Рис. 3.6.10. Кривые распределения размеров: 1 – гистограмма; 2 – эмпирическая; 3 – теоретическая

Параметры этого распределения определяют на основании найденных выше. Так, математическое ожидание рассеяния размеров принимают равным  $T_{д.ср.}$ , а теоретическое среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  с учётом поправки  $p$  на размер исследуемой партии [1, с. 50] определяют:  $\sigma = pS$ . Для партии 50 штук,  $p = 1,3$ , следовательно  $\sigma = 1,3 \cdot S$ . Тогда величину теоретического поля рассеяния размеров  $\omega = 6\sigma$  принимают за величину ожидаемой погрешности функционирования  $T_{CO} \cdot \omega_0$ , а множество  $T = [T_{min}, T_{max}]$ , где  $T_{min} = T_{д.ср.} - 3\sigma$ ;  $T_{max} = T_{д.ср.} + 3\sigma$  с вероятностью  $P = 0,9973$  – за ожидаемую теоретическую точность  $T_0$  обеспечения данной TCO параметра выдерживаемого размера  $T$ .

Используемый закон распределения характеризуется двумя параметрами: математическим ожиданием, равным среднеарифметическому значению действительных размеров, и средним квадратическим отклонением размеров. Поэтому при сопоставлении действительного распределения размеров следует учитывать оба параметра.

Полученная в ходе статистических исследований информация используется для оценки общей характеристики системы с точки зрения декларируемой и действительной ее способности обеспечить точность размера, для выявления влияния отдельных факторов на процесс функционирования системы с точки зрения уровня настроенности (не требуется или требуется подналадка оборудования), надежности и стабильности ТП (обработка без брака или возможно получение исправимого либо неисправимого брака), либо эта информация помещается в соответствующую базу данных (справочник) как  $T_0$  и  $\omega_0$ . Для выбора из справочника необходимых сведений или проверки их достоверности следует учитывать тип, состав ТСО, условия её функционирования, определяющие содержание типовой ситуации.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Определить точностные требования к исследуемому параметру детали.

Для рассматриваемого примера из конструкторского чертежа детали устанавливаем требования к параметру цилиндрической поверхности  $\varnothing 15h13$  ( $K = 15h13 = 15_{-0,43}$ ):

номинальный размер –  $K_{\text{ном}} = 15,0\text{мм}$ ;

минимальный размер –  $K_{\text{min}} = 14,57\text{мм}$ ;

максимальный размер –  $K_{\text{max}} = 15,0\text{мм}$ ;

допуск размера –  $IT_k = 0,43\text{мм}$ .

Проектируя технологический процесс изготовления детали, сохраним требования к рассматриваемому параметру детали:

$$T = K; T = (14,57; 15,0)\text{мм}; IT_T = IT_k = 0,43\text{мм}.$$

2. Установить ожидаемую точность выдерживаемого параметра. Для поиска в базе данных (справочнике) аналога типовой ТСО и заимствования её точностных характеристик, опишем проектируемую ТСО:

исходная заготовка  $T$  – сталь горячекатаная круглая обычной точности 1 (ГОСТ 2590-71), диаметр  $17_{+0,5}^{+0,3}$ ;

станок  $C$  – токарно-револьверный станок 1П325;

приспособление  $П$  – трехкулачковый патрон с пневмоприводом;

приспособление инструмента  $Пи$  – револьверная головка с вертикальной осью вращения;

инструмент  $И$  – резец проходной;

среда технологическая  $Ср$  – смазочно-охлаждающая жидкость.

Согласно [3, т.1, с.264], типовая ТСО обеспечивает получение размеров наружных поверхностей вращения 12-го качества точности. Это значит что для рассматриваемого размера ожидаемая погрешность  $\omega_0 = 0,18\text{мм}$ . Сопоставляя  $\omega_0$  и  $IT_T$ , получаем  $\omega_0 < IT_T \Rightarrow 0,18 < 0,43$ , то есть эта часть условия обеспечения

заданной точности ТСО выполняется, что свидетельствует о потенциальной способности ТСО обеспечить выполнение заданной точности.

На выполнение второй части условия  $T_0 \leq T$  сказывается влияние временного фактора и выбранного настроечного размера. При настройке станка с учетом минимального, либо среднего, либо максимального размера действительное условие выполняет любой из трёх представленных интервалов:

$$T_0^1 = (14,57; 14,75); T_0^2 = (14,695; 14,875); T_0^3 = (14,82; 15,0).$$

3. Проверить достоверность выбора аналога и справедливость выдвинутых при проектировании предложений относительно способности проектируемой ТСО обеспечить заданные требования.

3.1. Сделать выборку (объем – 50 штук) из партии обработанных при одной наладке ТСО заготовок.

3.2. Измерить исследуемый параметр поверхности у всех представителей выборки. Измерительный инструмент – микрометр (рис. 3.6.11). Результаты измерений занесите в таблицу. Для рассматриваемого примера получим результаты измерений, приведенные в табл. 3.6.3.

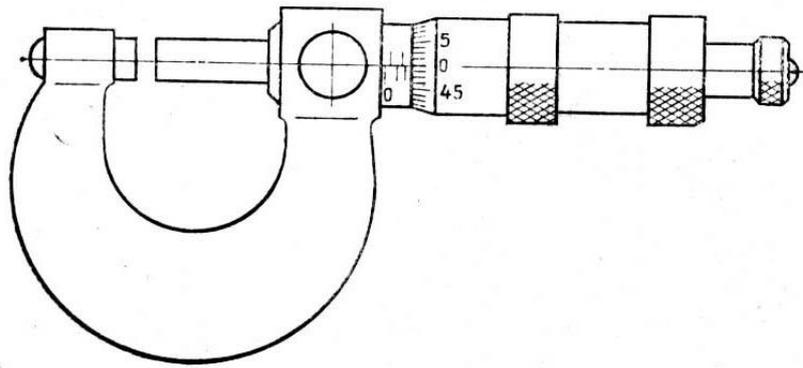


Рис. 3.6.11. Микрометр для измерения действительных диаметров контролируемой поверхности в партии деталей

Таблица 3.6.3

**Величины действительных размеров в партии деталей**

№ пп	Действи- тельный размер, мм								
1	14,98	11	14,93	21	14,96	31	14,95	41	14,96
2	14,96	12	14,95	22	14,98	32	14,96	42	14,89
3	14,97	13	14,97	23	14,93	33	14,91	43	14,95
4	14,99	14	14,98	24	14,96	34	14,93	44	14,96
5	14,96	15	14,96	25	14,97	35	14,96	45	14,98
6	14,95	16	14,96	26	15,00	36	14,96	46	14,99
7	15,01	17	14,92	27	14,96	37	14,94	47	14,96
8	14,96	18	14,97	28	14,97	38	14,95	48	14,95
9	14,96	19	14,95	29	14,95	39	14,97	49	15,00
10	14,98	20	14,95	30	14,94	40	14,97	50	14,94

3.3. Определить характеристики закона распределения размеров. Для проведения необходимых расчётов рационально использовать стандартные программы, имеющиеся на кафедре.

Пример. Определение параметров закона распределения размеров.

Сгруппируем результаты измерений в интервалы с величиной, равной 0,02 мм, и занесём их в графы 1 и 2 табл. 3.6.4. Соответствующая каждому интервалу частота попадания размера  $m_i$  (без учета верхней границы интервала) приведена в графе 4.

Таблица 3.6.4

**Результаты промежуточных расчетов**

Интервал размеров, мм		Середина интервала $T_{д.ср.i}$ , мм	Частота $m_i$	Произведение $T_{д.ср.i} m_i$ , мм	Разность $T_{д.ср.i} - T_{д.ср.}$ , мм	Произведение $(T_{д.ср.i} - T_{д.ср.})^2 m_i$
нижняя граница	верхняя граница					
14,89	14,91	14,90	1	14,90	- 0,06	0,0036
14,91	14,93	14,92	2	29,84	- 0,04	0,0032
14,93	14,95	14,94	6	89,64	- 0,02	0,0024
14,95	14,97	14,96	24	359,04	0,00	0,0000
14,97	14,99	14,98	12	179,76	0,02	0,0048
14,99	15,01	15,00	4	60,00	0,04	0,0064
15,01	15,03	15,02	1	15,02	0,06	0,0036

По приведённым выше формулам рассчитаем:

а) статистическое среднее арифметическое значение размеров

$$T_{д.ср.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{д.ср.i} m_i \Rightarrow \frac{748,2}{50} = 14,96 \text{ мм};$$

б) оценку статистического среднего квадратического отклонения

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{д.ср.i} - T_{д.ср.})^2 m_i} \Rightarrow \sqrt{\frac{0,024}{50}} = 0,022 \text{ мм};$$

в) теоретическое среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = pS = 1,3 \cdot 0,022 = 0,0286;$$

г) теоретическое поле рассеяния размеров

$$\omega = 6\sigma = 6 \cdot 0,0286 \approx 0,172 \text{ мм};$$

д) теоретические значения максимального и минимального размеров

$$T_{д.мин} = T_{д.ср.} - 3\sigma = 14,96 - 3 \cdot 0,0286 \approx 14,874 \text{ мм};$$

$$T_{д.макс} = T_{д.ср.} + 3\sigma = 14,96 + 3 \cdot 0,0286 \approx 15,046 \text{ мм}.$$

3.4. Построить эмпирическую кривую и теоретическую кривую распределения (см. рис. 3.6.10).

Теоретическая кривая распределения имеет максимум, равный

$$Y_{\max} = (0,4/\sigma)n \Delta T_{д.}$$

На расстоянии  $\pm \sigma$  от вершины кривая имеет две точки перегиба, ординаты которых

$$y_2 = y_3 = Y_{\max} / \sqrt{e} \approx 0,6 Y_{\max}.$$

При практических расчётах обычно принимается, что на расстоянии  $\pm 3\sigma$  от положения вершины ветви кривой нормального распределения пересекаются с осью абсцисс

$$y_4 = y_5 = 0.$$

Подставив конкретные значения рассматриваемого примера, получим:

$$y_{\max} = (0,4 / \sigma) n \Delta T_{\text{д}} \Rightarrow \frac{0,4}{0,0286} \cdot 50 \cdot 0,02 \approx 13,99;$$

$$y_2 = y_3 = 0,6 y_{\max} = 0,6 \cdot 13,99 \approx 8,4.$$

Полученные значения ординат откладываем на графике и соединяем плавной кривой 3.

### 3.5. Установить возможность обработки без брака.

Сопоставляя  $\omega_0$  и  $\omega_{\text{д}}$ , констатируем  $\omega_{\text{д}} < \omega_0 \Rightarrow 0,172 < 0,18$ , то есть станок обеспечивает среднеэкономическую точность обработки. Это значит, что, во-первых, выбор аналога ТСО осуществлен правильно. Во-вторых, ТСО действительно способна обеспечить получение размера поверхности с точностными требованиями, заданными конструктором. При этом действительный запас точности

$$\psi = IT_{\text{д}} / \omega_{\text{д}} = 0,43 / 0,172 = 2,5.$$

Однако, проверяя следующие условия  $T_0 \leq T$  и  $T_{\text{д}} \leq T_0$  путем сравнения теоретических (14,874; 15,046) и допустимых (14,57; 15,0) значений максимального и минимального размеров получаем, что имеет место выход действительных размеров за максимально допустимый размер.

### 3.6. Определить вероятность получения брака.

Вероятный процент брака в партии обработанных заготовок согласно [1, с. 64...72] определяется следующим способом.

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс, равна единице и представляет 100% заготовок партии. Площадь заштрихованных участков (см. рис. 10) характеризует собой количество (в долях единицы или в %) заготовок, выходящих по своим размерам за пределы поля допуска. Практически для определения количества годных заготовок необходимо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс на длине, равной допуску

$$IT_{\text{Т}} = T_{\max} - T_{\min}.$$

Это можно сделать, используя значения функции Лапласа  $\Phi(t)$ , которые приведены в [1, прил. 1] в зависимости от величины нормированного параметра  $t$ . Для определения исправимого и неисправимого брака величина определяется выражениями

$$t_1 = \frac{T_{\max} - T_{\text{д.ср.}}}{\sigma}; \quad t_2 = \frac{T_{\text{д.ср.}} - T_{\min}}{\sigma}.$$

Тогда вероятностный процент брака определяется по формуле

$$P = (1 - \Phi(t_1) - \Phi(t_2)) \cdot 100\%,$$

в том числе:

исправимого брака  $P_1 = (0,5 - \Phi(t_1)) \cdot 100\%,$

неисправимого брака  $P_2 = (0,5 - \Phi(t_2)) \cdot 100\%.$

Для рассматриваемого примера найдем значения

$$t_1 = \frac{T_{\max} - T_{\text{д.ср.}}}{\sigma} \Rightarrow \frac{15,00 - 14,96}{0,0286} = 1,4;$$

$$t_2 = \frac{T_{\text{д.ср.}} - T_{\min}}{\sigma} \Rightarrow \frac{14,96 - 14,57}{0,0286} = 13,6.$$

Тогда  $\Phi(t_1) = 0,4192$ ;  $\Phi(t_2) = 0,5$ . Вероятностный процент брака составит  $P = (1 - 0,4192 - 0,5) 100\% = 9,1\%,$

в том числе:

исправимого брака  $P_1 = (0,5 - 0,4192) \cdot 100\% = 9,1\%;$

неисправимого брака  $P_2 = (0,5 - 0,5) \cdot 100\% = 0\%.$

3.7. Выявляя возможные причины брака при отсутствии достоверных сведений о времени получения анализируемой выборки, перечислим их: неправильность настройки, износ инструмента.

Учитывая запас по точности и возможный износ инструмента, который приводит к смещению поля рассеивания во времени в сторону максимального размера для наружных поверхностей (см. рис. 3.6.10), примем

$$T_{\text{н}} = T_{\min} + 3\sigma = 14,57 + 0,0858 \approx 14,66 \text{ мм.}$$

Это значит, что  $T_0 = T'_0$ . Сопоставим  $T_{\text{н}} = 14,66$  мм и  $T_{\text{д.ср.}} = 14,96$  мм. Имеет место явное смещение поля действительного рассеивания от  $T'_0$ . Коэффициент настроенности процесса

$$E = \frac{T_{\text{д.ср.}} - T_{\text{н}}}{IT_{\text{т}}} = \frac{14,96 - 14,66}{0,43} = 0,8.$$

При большом запасе точности упущен момент необходимой настройки системы. Для контроля можно прогнозировать время между подналадками

$$t_{\text{н}} = \frac{1000000 \cdot \Delta_{\text{доп}}}{v \cdot I_0},$$

где  $t_{\text{н}}$  – время между подналадками, мин;

$v$  – скорость резания, м/мин;

$I_0$  – относительный износ инструмента, мкм/мм (значения для различных марок материалов приведены в [3, т. 1, с. 74];

$\Delta_{\text{доп}} = IT_{\text{д}} - \omega$  – допустимая величина смещения поля рассеяния, мкм.

При заданных условиях обработки ( $v = 150$  м/мин;  $I_0 = 5$  мкм/мм) продолжительность работы ТСО между подналадками, производимыми для компенсации влияния износа инструмента, составит

$$t_{\text{н}} = \frac{1000000 \cdot \Delta_{\text{доп}}}{v I_0} = \frac{1000000 \cdot (0,43 - 0,172)}{150 \cdot 5} = 344 \text{ мин } (\approx 5,7 \text{ час.}).$$

Таким образом, необходимо произвести подналадку станка в сторону уменьшения размера.

Управление воздействиями случайных факторов связано либо со стабилизацией этого фактора, либо с определением его погрешности (методы адаптивного управления). Приведите примеры таких факторов и приемов управления функционирования ТСО с учетом их воздействия.

#### 4. Содержание отчета

В отчете должны быть приведены следующие данные:

- 1) наименование работы;
- 2) чертеж детали;
- 3) таблица результатов измерения одного из размеров детали (табл. 3.6.3);
- 4) таблица обработки результатов измерений по образцу (табл. 3.6.4);
- 5) кривая распределения действительных размеров детали;
- 6) расчет параметров закона распределения размеров;
- 7) расчет процента вероятного брака в партии деталей, в том числе исправного и неисправного брака;
- 8) расчет коэффициента настроенности процесса и времени между подналадками станка;
- 9) выводы о возможности обеспечения заданной точности, о наличии или возможности получения брака, а также о точности настройки.

Литература: [1]; [3].

### Лабораторная работа 3

## РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ И ОПЕРАЦИОННЫХ ЭСКИЗОВ В СРЕДЕ CAD/CAM-СИСТЕМЫ

### 1. Цель работы

Получение самостоятельных практических навыков работы с современными интегрированными CAD/CAM-системами для создания трехмерных операционных моделей обрабатываемых заготовок и оформления операционных эскизов при проектировании маршрутных технологических процессов изготовления деталей.

### 2. Основные теоретические положения

В общем случае трехмерные модели деталей (заготовок) должны разрабатываться с учетом:

- их декомпозиции на элементы;
- возможности корректировки параметров отдельных элементов, удаления элементов, а также добавления припусков на обрабатываемые поверхности;
- обеспечения процесса трансформации 3D-моделей в соответствии с разработанной последовательностью маршрутной технологии в направлении «от детали к исходной заготовке» (от последней операции ТП к первой);
- сокращения трудоемкости процессов создания, трансформации и корректировки 3D-моделей.

Исходя из этого трехмерные модели деталей (заготовок) следует создавать из определенных объемных элементов. Так, например, детали типа тел вращения целесообразно разбить на следующие элементы.

- Наружные и внутренние цилиндрические и конические поверхности, открытые с одной или двух сторон и имеющие общую ось вращения – ось вращения детали (элементы первого уровня).
- Поверхности, которые топологически пересекаются или объединяются с элементами первого уровня и имеют с ними общую ось вращения (элементы второго уровня – фаски, канавки, резьбы, накатки, зубчатые венцы, шлицы и шлицевые пазы, скругления).
- Остальные поверхности, топологически пересекающиеся с элементами первого уровня, расположенные параллельно, перпендикулярно или под углом к основной оси вращения детали (элементы третьего уровня – отверстия под крепеж, фаски, резьбы и скругления в них, канавки, пазы, уступы, лыски и т.п.).

Для формирования трехмерных моделей в CAD-системе и сокращения трудоемкости процессов их создания, трансформации и корректировки целесообразно использовать следующие функции твердотельного моделирования:

- *получить (добавить) выдавливанием* элементы первого уровня наружной конфигурации (цилиндрические и конические ступени);
- *удалить выдавливанием* элементы первого уровня внутренней конфигурации (цилиндрические и конические отверстия), элементы второго (зубчатые венцы, шлицы и шлицевые пазы) и третьего уровня (отверстия, пазы, уступы, лыски);
- *удалить вращением* элементы второго и третьего уровней (различные канавки кроме винтовых);
- *удалить движением* элементы второго и третьего уровней (резьбы, винтовые канавки, радиусные пазы);
- *создать фаску* (элемент второго или третьего уровней);
- *создать скругление* (элемент второго или третьего уровней).

При построении элементов первого уровня выдавливанием образующими являются окружности необходимого диаметра, а направляющими – прямые линии, длины которых соответствуют длинам создаваемых ступеней или отверстий.

Разработка трехмерных моделей должна вестись с использованием следующих принципов.

1. Целесообразное использование функций твердотельного моделирования для создания конструктивных элементов 3D-модели детали.
2. Приоритет создания элементов 3D-модели детали соответствует их уровню, то есть первыми создаются элементы первого уровня, вторыми – второго, третьими – третьего. При этом среди элементов первого уровня сначала строятся ступени наружной конфигурации, затем внутренней. Элементы второго уровня строятся сначала на наружных элементах первого уровня, а затем на внутренних элементах первого уровня. То же для элементов третьего уровня.
3. Строго определенное направление создания элементов детали – слева на право.
4. Левый торец детали принадлежит (лежит в) плоскости XOY, а основная ось вращения детали совпадает с осью OZ.
5. Плоскостью эскиза для создания последующего элемента первого уровня является смежная грань предыдущего уже созданного элемента первого уровня. При отсутствии в детали сквозного отверстия эта плоскость отстоит на определенное расстояние от плоского дна предыдущего уже созданного отверстия до плоского дна последующего создаваемого отверстия.
6. Построение оси вращения детали и плоскости XOZ (предназначенной для построения эскизов канавок) проводится после создания элементов вращения первого уровня.
7. Привязка эскиза каждой канавки, расположенной у буртика, размером относительно точки, образованной пересечением буртика с цилиндрической поверхностью, на которой располагается канавка, и плоскостью XOZ, в которой строится эскиз канавки. (Такая привязка предусматривается в том случае, если предполагается подшлифовка

буртика после получения канавки точением для выдерживания требований чертежа к буртику относительно шлифуемой цилиндрической поверхности, на которой располагается канавка).

8. Угловое или линейное копирование эскизов (образующих) и соответствующих направляющих для последующего построения одинаковых элементов второго или третьего уровней.

В качестве примера на рис. 3.6.12...3.6.24 для детали типа тело вращения, изображенной на рис. 3.6.11, представлен пошаговый процесс создания ее 3D-модели в САД/САМ-системе Cimatron E.

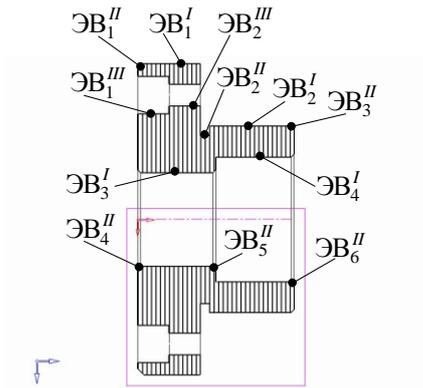


Рис. 3.6.11. Деталь состоящая из элементов первого, второго и третьего уровней

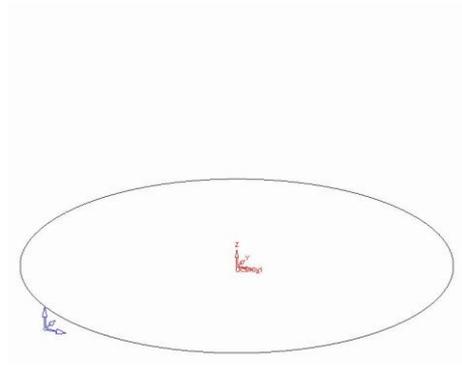


Рис. 3.6.12. Создание эскиза (окружности) первой ступени в плоскости XOY

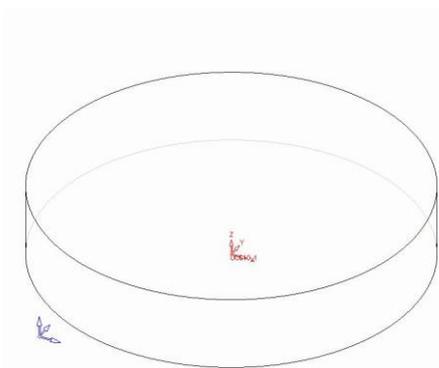


Рис. 3.6.13. Создание первой ступени ( $\mathcal{E}_1^I$ ) выдавливанием ее эскиза на заданную длину

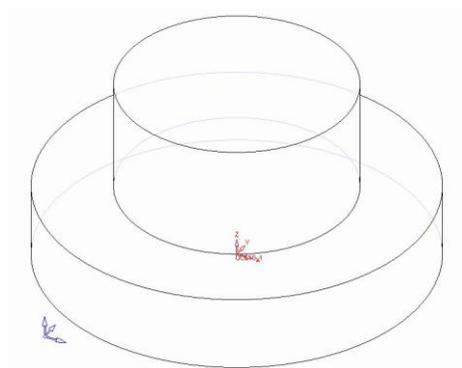


Рис. 3.6.14. Добавление второй ступени ( $\mathcal{E}_2^I$ ) выдавливанием ее эскиза на заданную длину

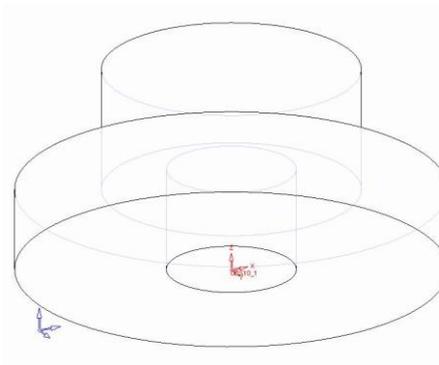


Рис. 3.6.15. Создание первого отверстия ( $\mathcal{E}_3^I$ ) удалением материала выдавливанием

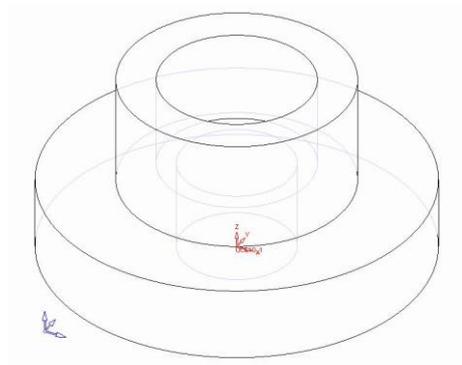


Рис. 3.6.16. Создание второго отверстия ( $\mathcal{E}_4^I$ ) удалением материала выдавливанием

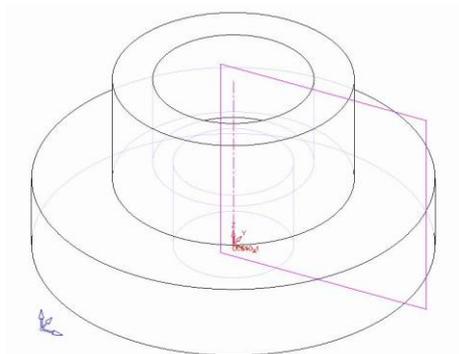


Рис. 3.6.17. Создание основной оси вращения детали и плоскости  $XOZ$  для построения в ней эскиза прямоугольной канавки

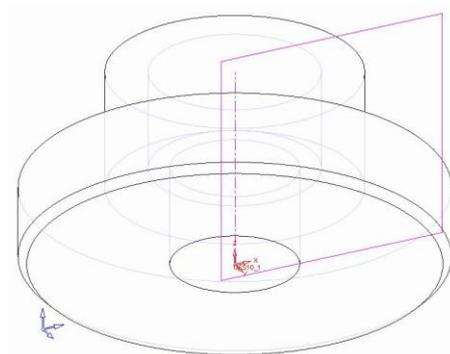


Рис. 3.6.18. Создание фаски ( $\mathcal{E}_1^{II}$ ) на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_1^I$ )

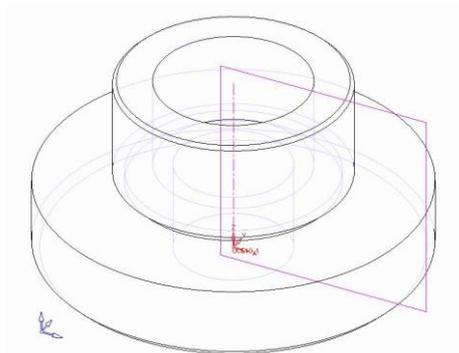


Рис. 3.6.19. Создание прямоугольной канавки ( $\mathcal{E}_2^{II}$ ) удалением материала вращением ее эскиза и фаски ( $\mathcal{E}_3^{II}$ ) на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_2^I$ )

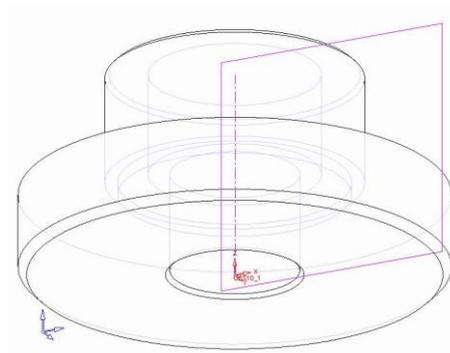


Рис. 3.6.20. Создание фаски ( $\mathcal{E}_4^{II}$ ) на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_3^I$ )

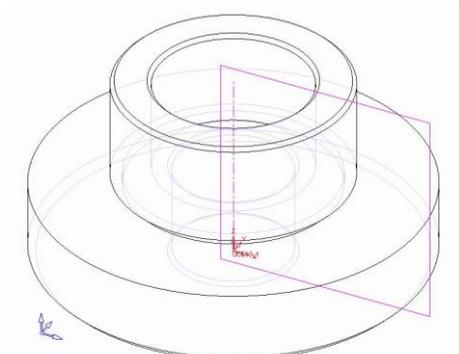


Рис. 3.6.21. Создание фаски ( $\mathcal{E}_5^{II}$ ) на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_3^I$ ) и фаски ( $\mathcal{E}_6^{II}$ ) на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_4^I$ )

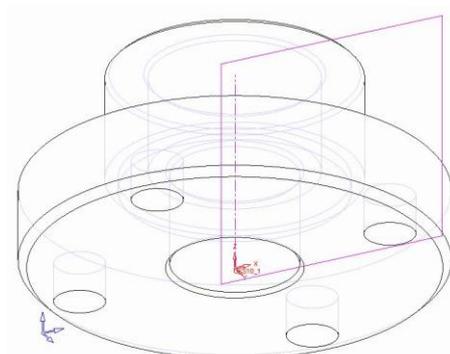


Рис. 3.6.22. Создание группы отверстий ( $\mathcal{E}_1^{III}$ ) угловым копированием эскиза (окружности) с последующим удалением материала выдавливанием на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_1^I$ )

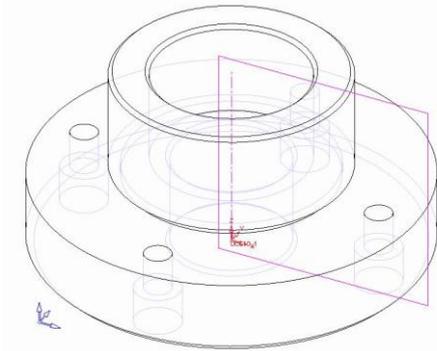


Рис. 3.6.23. Создание группы отверстий ( $\mathcal{E}_2^{III}$ ) угловым копированием эскиза (окружности построенной соосно с уже созданным отверстием) с последующим удалением материала выдавливанием на элементе первого уровня ( $\mathcal{E}_1^I$ )

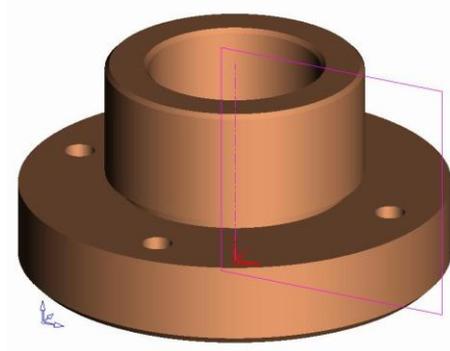


Рис. 3.6.24. Окончательный результат построения твердотельной 3D-модели детали вращения в режиме полупрозрачного изображения

Разработку трехмерных моделей заготовки, получаемой на каждой операции ТП, проводят в направлении от последней операции ТП к первой с учетом номинальных величин припусков на обработку и диаметральных размеров, которые были определены в ходе размерного анализа ТП. Это следует провести следующим образом.

Сначала с учетом номинальных значений длин ступеней детали и ряда других ее конструктивных элементов, рассчитанных в результате размерного анализа ТП, получают трехмерную модель заготовки, изготавливаемой на последней операции ТП. При этом цветом выделяют обрабатываемые (например, красным) и базовые (например, синим) поверхности, цвет необрабатываемых поверхностей соответствует установленному в трехмерной модели детали цвету.

Далее копированием трехмерной модели заготовки, изготавливаемой на последующей (сначала последней) операции ТП, получают трехмерную модель заготовки, изготавливаемой на предыдущей операции ТП. При этом из нее удаляются элементы второго и третьего уровня, получаемые на последующей операции ТП, и (или) добавляются выдавливанием односторонние номинальные припуски на плоскостные элементы, обрабатываемые на последующей операции ТП, а также увеличиваются или уменьшаются на величину двустороннего номинального припуска диаметральные размеры элементов первого уровня, получаемых на последующей операции ТП. После этого в ней цветом выделяются обрабатываемые и базовые поверхности.

Процесс создания (трансформации) трехмерных операционных моделей заготовки продолжается указанным образом до тех пор, пока не будет получена модель заготовки на первой формообразующей операции ТП.

На рис. 3.6.25 и 3.6.26 показаны примеры построения трехмерных моделей обрабатываемой заготовки, получаемой на последней операции ТП, и на операции предшествующей к ней с учетом добавления припусков на поверхности, обрабатываемые на последней операции.

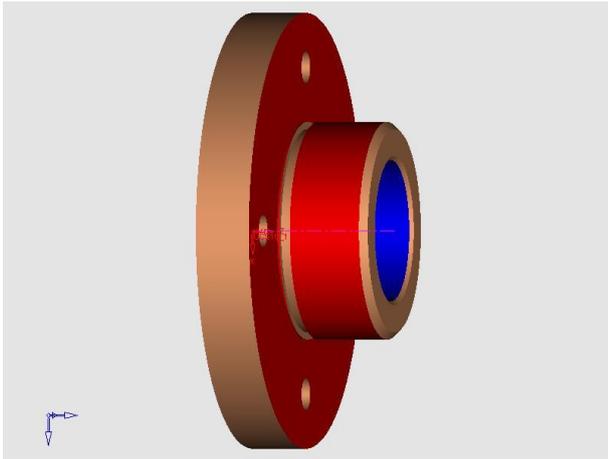


Рис. 3.6.25. Модель заготовки, обрабатываемой на шлифовальной операции

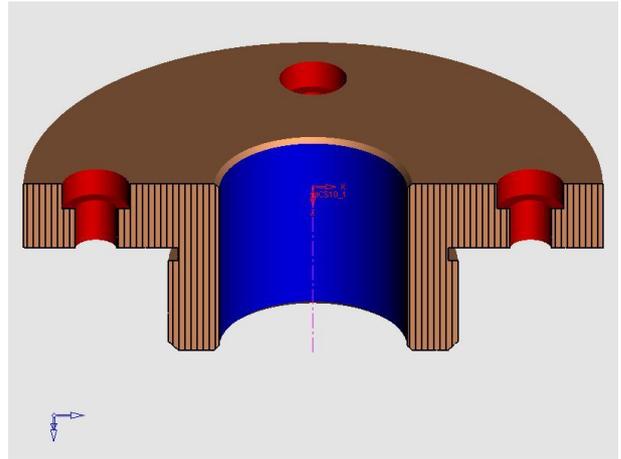


Рис. 3.6.26. Модель заготовки, обрабатываемой на сверлильной операции

Используя полученные трехмерные модели заготовки и принципы оформления чертежей в среде CAD-системы, проводят разработку операционных эскизов каждой операции ТП. Пример оформления операционного эскиза представлен на рис. 3.6.27.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя чертеж детали и эскизы заготовки, получаемой на каждой операции ТП, а также задание на разработку операционного эскиза для конкретной операции ТП.

2. Вычертить эскиз детали с разбиением ее на конструктивные элементы первого, второго и третьего уровней.

3. Построить в CAD/CAM-системе трехмерную модель детали, полученной после выполнения ТП, с учетом ее окончательных размеров, выдерживаемых на соответствующих операциях ТП. При построении трехмерной модели использовать принципы ее разработки, описанные выше.

4. В CAD/CAM-системе на основе разработанной трехмерную модель детали, полученной после выполнения ТП, построить трехмерные операционные модели заготовки. Построение трехмерных операционных моделей заготовки вести в последовательности описанного выше процесса их создания (трансформации).

5. В подсистеме «Черчение» CAD/CAM-системы на основе соответствующей заданию преподавателя трехмерной операционной модели заготовки оформить в соответствии с требованиями ЕСТПП операционный эскиз конкретной операции ТП.

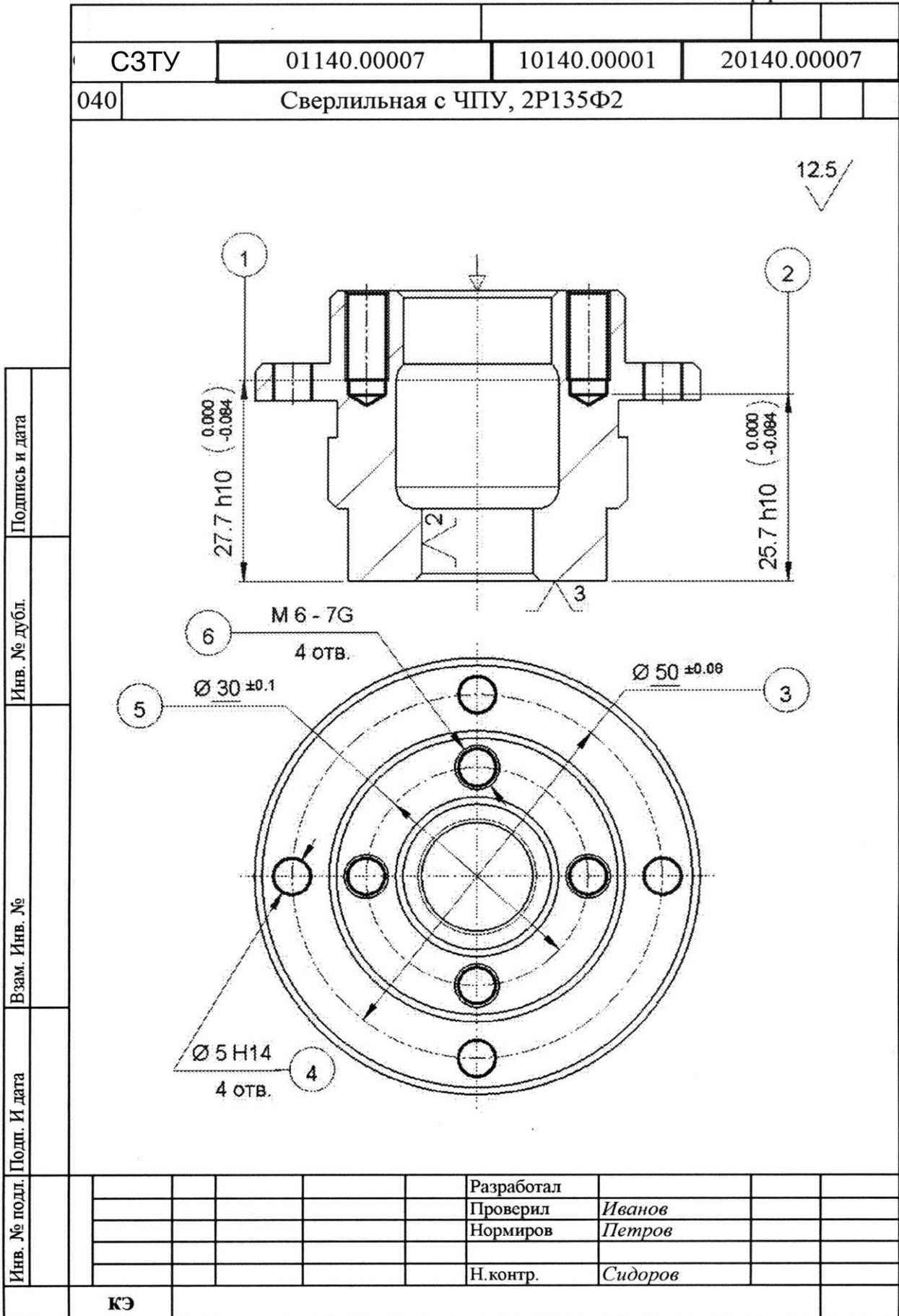


Рис. 3.6.27. Пример оформления операционного эскиза

#### 4. Содержание отчета

В отчете должны быть приведены следующие данные:

- 1) наименование работы;
- 2) чертеж детали;
- 3) эскизы заготовки, получаемой на каждой операции ТП;
- 4) эскиз детали с разбиением ее на конструктивные элементы первого, второго и третьего уровней;
- 5) скриншоты экрана компьютера с видами трехмерных моделей заготовки, получаемой на каждой операции ТП;
- 6) операционный эскиз конкретной операции ТП, выполненный по заданию преподавателя на основе соответствующей трехмерной операционной модели заготовки и оформленный в соответствии с требованиями ЕСТПП;
- 7) файл на дискете 3,5” с материалами, указанными в п.п. 4 и 5.

Литература: [5]; [6]; [7]; [8].

## **4. Блок контроля освоения дисциплины**

### **4.1. Задание на курсовую работу и методические указания к ее выполнению**

(для студентов специальности 151001.65 – технология машиностроения и направления подготовки бакалавров 150900.62 – технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств)

#### **4.1.1. Цели и задачи курсовой работы**

Курсовая работа является самостоятельной работой студента, завершающей изучение курса «Основы технологии машиностроения». Цель курсовой работы – научить студента применять теоретические знания для решения практических задач при проектировании технологических процессов изготовления деталей и сборки машин в условиях современного производства. Он включает элементы комплекса расчетно-графических работ при проектировании технологических процессов и призван решить следующие задачи:

- закрепить теоретические знания, полученные при изучении курса, и расширить технический кругозор за счёт изучения дополнительной специальной литературы;
- научить самостоятельно проводить необходимые размерные расчёты, связанные с обеспечением заданной точности при проектировании технологических процессов сборки;
- научить самостоятельно проектировать планы обработки каждой поверхности;
- научить самостоятельно проводить синтез структуры операционных размеров и технических требований взаимного расположения поверхностей для каждой операции технологического процесса;
- научить самостоятельно проводить построение технологических размерных цепей, их расчёт и анализ;
- научить заполнять технологическую документацию.

#### **4.2.2. Задания на курсовую работу**

Курсовая работа включает два задания, связанные с проведением технологических размерных расчётов при проектировании процессов сборки машины и обработки детали.

Объём пояснительной записки курсовой работы 30...40 страниц, включая технологическую документацию.

Пояснительная записка оформляется с учётом требований ГОСТ 2.105-79 и ГОСТ 7-32-81.

Рукописный текст записки представляется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4. Размеры полей: левого – 35 мм; правого – 10 мм; верхнего и нижнего – 20 мм.

Пояснительная записка должна иметь сквозную нумерацию страниц. Буквенные обозначения должны быть расшифрованы, указаны единицы измерения используемых в процессе вычисления величин.

Чертёж детали должен быть оформлен в соответствии с требованиями ЕСКД на формате А4, обычно в масштабе 1 : 1.

Карты эскизов выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1103-82 и ГОСТ 3.1104-81 на бланках формата А4 по ГОСТ 3.1105-84, форма 5 или на листе бумаги формата А4. Методы оформления операционных эскизов подробно изложены в [4] и [5].

Маршрутная карта (МК) заполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1103-82 и общими требованиями к оформлению технологических карт по ГОСТ 3.1104-81.

Студенты, занимающиеся с использованием информационно-коммуникационных технологий, все материалы выполненной курсовой работы высылают тьютору в электронном виде.

#### Задание №1

На основе размерного анализа установить метод сборки механизма в указанных условиях производства. При использовании метода пригонки или регулирования рассчитать компенсирующее звено.

#### Задание №2

Назначить: планы обработки поверхностей, структуру операционных технологических размеров и требований взаимного расположения поверхностей. Провести размерный анализ технологического процесса, реализуемого в указанных условиях производства, определив все технологические размеры и возможность их выполнения автоматически на принятом оборудовании. Заполнить маршрутную карту, вычертить операционные эскизы.

Варианты заданий № 1 и 2 на курсовую работу студент выбирает по двум последним цифрам шифра в табл. 4.1.1

Таблица 4.1.1

Варианты заданий курсовой работы

Две последние Цифры шифра	Номер рисунка и вариант К заданию №1	Номера рисунков К заданию №2
00, 20, 40, 60, 80	Рис. 4.1.1, вариант 1	Рис. 4.1.6 и рис. 4.1.7
01, 21, 41, 61, 81	Рис. 4.1.1, вариант 2	Рис. 4.1.6 и рис. 4.1.8
02, 22, 42, 62, 82	Рис. 4.1.1, вариант 3	Рис. 4.1.9 и рис. 4.1.10
03, 23, 43, 63, 83	Рис. 4.1.1, вариант 4	Рис. 4.1.9 и рис. 4.1.11
02, 24, 44, 64, 84	Рис. 4.1.2, вариант 1	Рис. 4.1.12 и рис. 4.1.13
05, 25, 45, 65, 85	Рис. 4.1.2, вариант 2	Рис. 4.1.12 и рис. 4.1.14

Две последние Цифры шифра	Номер рисунка и вариант К заданию №1	Номера рисунков К заданию №2
06, 26, 46, 66, 86	Рис. 4.1.2, вариант 3	Рис. 4.1.15 и рис. 4.1.16
07, 27, 47, 67, 87	Рис. 4.1.2, вариант 4	Рис. 4.1.15 и рис. 4.1.17
08, 28, 48, 68, 88	Рис. 4.1.3, вариант 1	Рис. 4.1.18 и рис. 4.1.19
09, 29, 49, 69, 89	Рис. 4.1.3, вариант 2	Рис. 4.1.18 и рис. 4.1.20
10, 30, 50, 70, 90	Рис. 4.1.3, вариант 3	Рис. 4.1.21 и рис. 4.1.22
11, 31, 51, 71, 91	Рис. 4.1.3, вариант 4	Рис. 4.1.21 и рис. 4.1.23
12, 32, 52, 72, 92,	Рис. 4.1.4, вариант 1	Рис. 4.1.24 и рис. 4.1.25
13, 33, 53, 73, 93	Рис. 4.1.4, вариант 2	Рис. 4.1.24 и рис. 4.1.26
14, 34, 54, 74, 94,	Рис. 4.1.4, вариант 3	Рис. 4.1.27 и рис. 4.1.28
15, 35, 55, 75, 95	Рис. 4.1.4, вариант 4	Рис. 4.1.27 и рис. 4.1.29
16, 36, 56, 76, 96	Рис. 4.1.5, вариант 1	Рис. 4.1.30 и рис. 4.1.31
17, 37, 57, 77, 97	Рис. 4.1.5, вариант 2	Рис. 4.1.30 и рис. 4.1.32
18, 38, 58, 78, 98	Рис. 4.1.5, вариант 3	Рис. 4.1.33 и рис. 4.1.34
19, 39, 59, 79, 99	Рис. 4.1.5, вариант 4	Рис. 4.1.33 и рис. 4.1.35

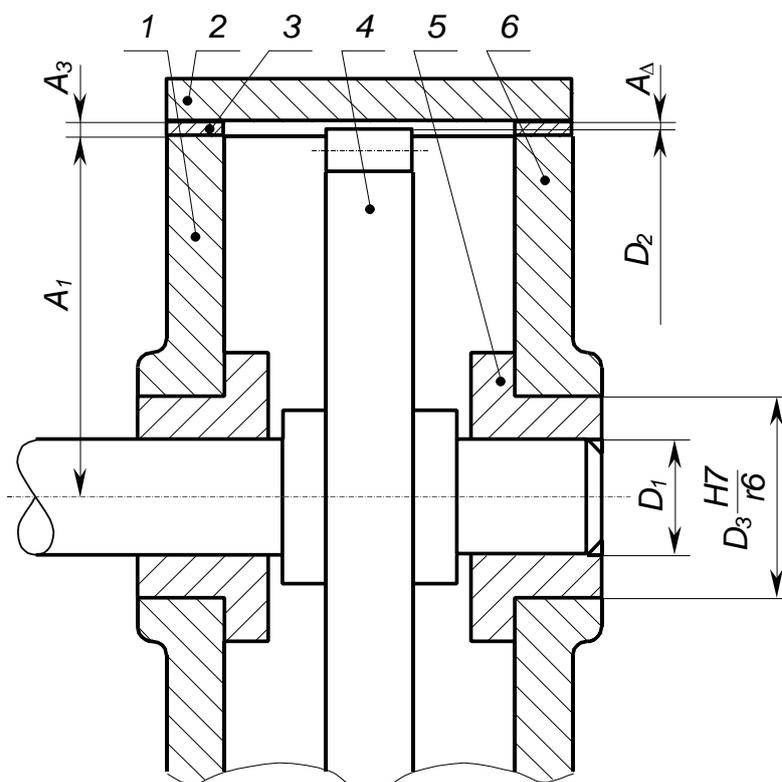


Рис. 4.1.1. Часть сборочного чертежа механизма:

1 – стойка левая; 2 – крышка; 3 – прокладка;  
4 – колесо зубчатое (трибка); 5 – втулка (2 шт.); 6 – стойка правая

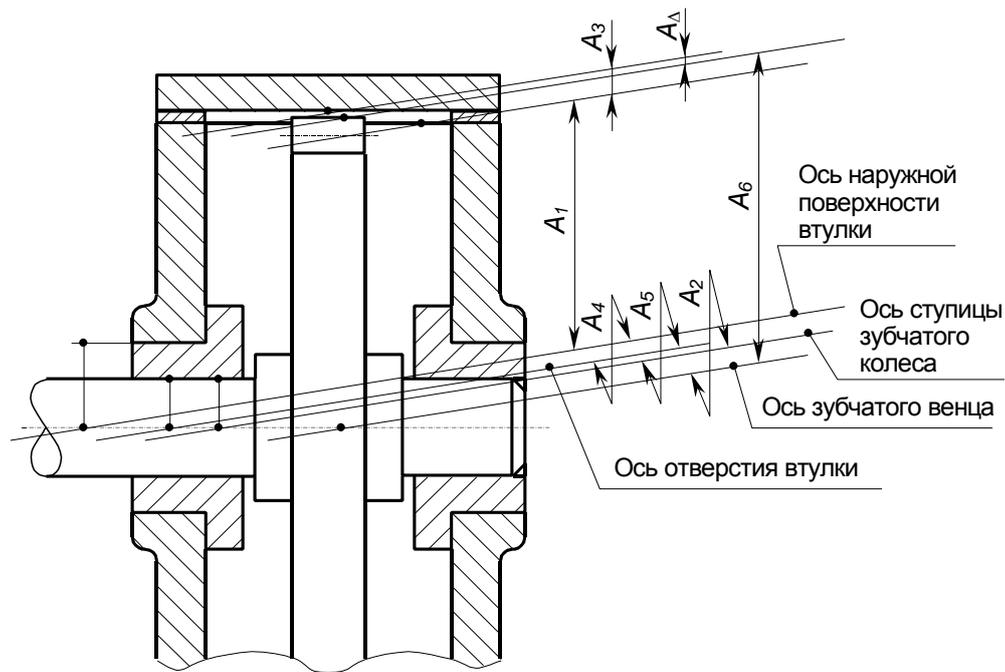


Рис. 4.1.1. (продолжение)

№ детали	Наименование размера	Обозначение
N1, N6 Стойки	Размер от торца стоек до оси отверстий для втулок	$A_1$
N4 Колесо зубчатое (трибка)	Радиальное зубчатого венца	$IT_{A_2}$
	Диаметр венца трибки	$D_1$
	Диаметр ступиц трибки	$D_2^T$
N3 Прокладка	Толщина прокладки	$A_3$
N5 Втулка	Биение отверстия относительно наружной поверхности $D_2^B$	$IT_{A_4}$
	Диаметр отверстия трубки	$D_2^B$
	Радиальный зазор между зубчатым колесом и крышкой	$A_\Delta$

Параметр	Вариант			
	№1	№2	№3	№4
$A_1$	$45 \pm 0,05$	$30 \pm 0,065$	$52 \pm 0,06$	$30^{+0,09}_{+0,065}$
$IT_{A_2}$	0,025	0,024	0,04	0,02
$D_1$	$96_{-0,036}$	$66_{-0,046}$	$108_{-0,052}$	$60_{-0,046}$
$D_2^T$	$20^{+0,02}_{-0,053}$	$20^{+0,02}_{-0,053}$	$40^{+0,025}_{-0,050}$	$20^{+0,020}_{-0,053}$
$A_3$	$3^{+0,14}_{+0,08}$	$3^{+0,12}_{+0,06}$	$2^{+0,12}_{+0,06}$	0 (нет прокл.)
$IT_{A_4}$	0,04	0,04	0,05	0,04
$D_2^B$	$20^{+0,033}$	$20^{+0,033}$	$40^{+0,025}$	$20^{+0,033}$
$A_\Delta$	$0^{+0,20}_{+0,05}$	$0^{+0,20}_{+0,05}$	$0^{+0,20}_{+0,05}$	$0^{+0,15}_{+0,05}$
Тип произв-ва	Массовое	Мелкосерийное	Среднесерийное	Крупносерийное

Рис. 4.1.1. (окончание)

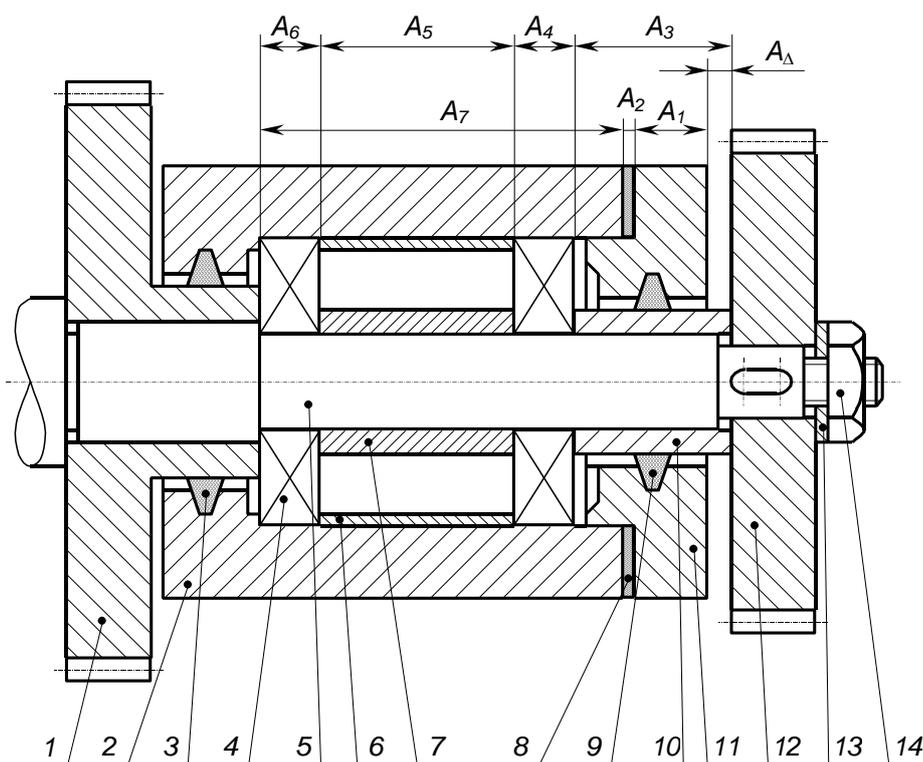


Рис. 4.1.2. Часть сборочного чертежа механизма:  
 1 – колесо зубчатое; 2 – корпус; 3 – уплотнение; 4 – подшипник (2 шт.);  
 5 – вал; 6 – втулка; 7 – втулка; 8 – прокладка; 9 – уплотнение;  
 10 – втулка; 11 – крышка; 12 – колесо зубчатое; 13 – шайба; 14 – гайка

Параметр, мм	Вариант			
	1	2	3	4
$A_1$	$10_{-0,15}$	$10_{-0,09}$	$10_{-0,15}$	$10_{-0,09}$
$A_2$	$2_{-0,1}$	$3_{-0,06}$	$4_{-0,048}$	$3_{-0,04}$
$A_3$	$18^{+0,18}$	$20^{+0,13}$	$20_{+0,16}^{+0,37}$	$18_{+0,05}^{+0,12}$
$A_4$	$12_{-0,07}$	$12_{-0,07}$	$15_{-0,07}$	$15_{-0,07}$
$A_5$	$60^{+0,3}$	$65^{+0,19}$	$60_{+0,10}^{+0,29}$	$60_{+0,10}^{+0,22}$
$A_6$	$12_{-0,07}$	$12_{-0,07}$	$15_{-0,07}$	$15_{-0,07}$
$A_7$	$90_{-0,26}^{-0,12}$	$96_{-0,26}^{-0,12}$	$96^{+0,14}$	$95^{+0,14}$
Торцовое биение зубчатого венца (поз. 12)	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A8}=0,03$	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A8}=0,03$	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A8}=0,03$	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A8}=0,03$
$A_\Delta$	$0_{+0,15}^{+0,50}$	$0_{+0,1}^{+0,3}$	$0_{+0,05}^{+0,30}$	$0_{+0,05}^{+0,25}$
Тип производства	Массовое	Мелкосерийное	Среднесерийное	Среднесерийное

Рис. 4.1.2. (окончание)

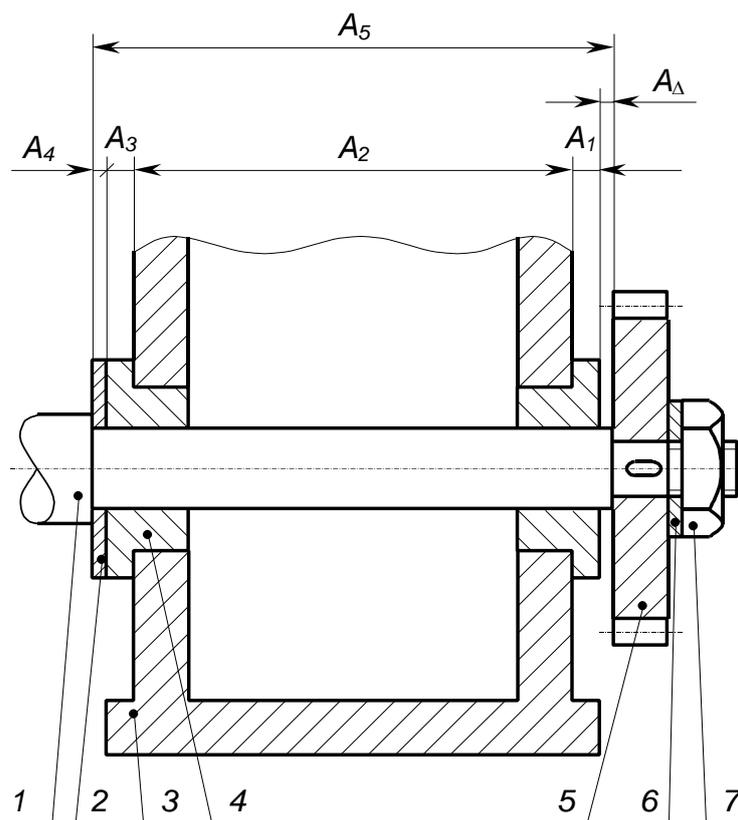


Рис. 4.1.3. Часть сборочного чертежа механизма:  
 1 – вал; 2 – шайба; 3 – корпус; 4 – втулка (2 шт.);  
 5 – колесо зубчатое; 6 – шайба; 7 – гайка

Параметр, мм	Вариант			
	1	2	3	4
$A_1$	$8_{-0,15}$	$8_{-0,15}$	$8_{-0,09}$	$6_{-0,075}$
$A_2$	$90_{-0,22}$	$90_{-0,22}$	$90_{-0,14}$	$75_{-0,19}$
$A_3$	$8_{-0,15}$	$8_{-0,15}$	$8_{-0,09}$	$6_{-0,075}$
$A_4$	$3_{-0,06}$	$3_{-0,08}^{-0,02}$	$3_{-0,08}^{-0,02}$	$2_{-0,08}^{-0,02}$
$A_5$	$110^{+0,35}$	$110^{+0,35}$	$110^{+0,22}$	$90^{+0,22}$
Торцовое биение зубчатого венца (поз. 5)	$0 \pm 0,02$ $IT_{A_6} = 0,04$	$0 \pm 0,02$ $IT_{A_6} = 0,04$	$0 \pm 0,02$ $IT_{A_6} = 0,04$	$0 \pm 0,015$ $IT_{A_6} = 0,03$
$A_\Delta$	$1_{+0,2}^{+0,6}$	$1^{+0,7}$	$1^{+0,2}$	$1_{+0,14}^{+0,34}$
Тип производства	Массовое	Крупносерийное	Мелкосерийное	Среднесерийное

Рис. 4.1.3. (окончание)

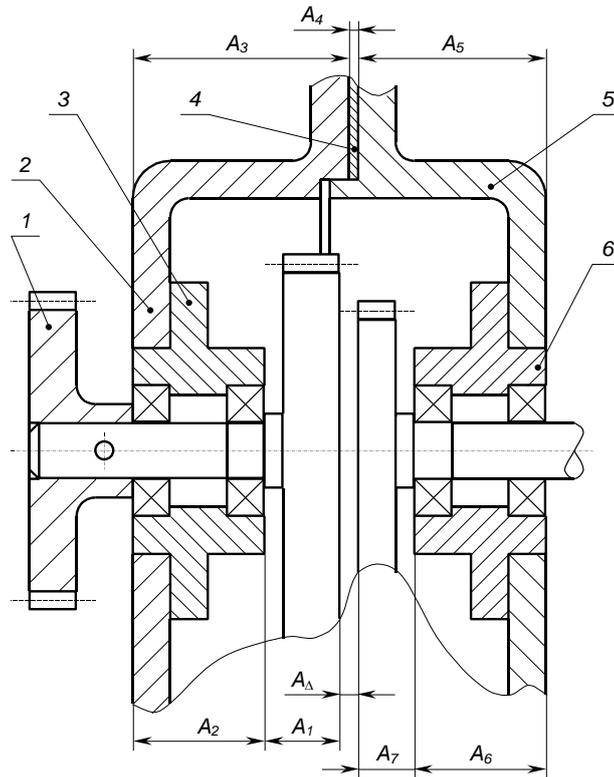


Рис. 4.1.4. Часть сборочного чертежа механизма:  
 1 – колесо зубчатое; 2 – корпус; 3 – втулка (сб.);  
 4 – прокладка; 5 – крышка; 6 – втулка (сб.)

Параметр, мм	Вариант			
	1	2	3	4
$A_1$	15 <sub>-0,18</sub>	15 <sub>-0,11</sub>	15 <sub>-0,11</sub>	12 <sub>-0,18</sub>
$A_2$	56 <sub>-0,19</sub>	60 <sub>-0,12</sub>	58 <sub>-0,12</sub>	60 <sub>-0,3</sub>
$A_3$	102 <sub>-0,22</sub>	100 <sub>-0,14</sub>	90 <sub>-0,14</sub>	80 <sub>-0,19</sub>
$A_4$	$3^{+0,20}_{+0,14}$	$2^{+0,12}_{+0,06}$	$3^{+0,06}_{+0,02}$	$2^{+0,33}_{+0,27}$
$A_5$	35 <sub>-0,16</sub>	45 <sub>-0,16</sub>	60 <sub>-0,12</sub>	54 <sub>-0,19</sub>
$A_6$	56 <sub>-0,19</sub>	50 <sub>-0,1</sub>	58 <sub>-0,12</sub>	50 <sub>-0,25</sub>
$A_7$	12 <sub>-0,18</sub>	20 <sub>-0,13</sub>	20 <sub>-0,13</sub>	12 <sub>-0,18</sub>
Торцовое биение поз. 3 ( $IT_{A_9}$ )	$A_9=0\pm 0,02$ $IT_{A_9}=0,04$	$A_9=0\pm 0,02$ $IT_{A_9}=0,04$	$A_9=0\pm 0,02$ $IT_{A_9}=0,04$	$A_9=0\pm 0,02$ $IT_{A_9}=0,04$
Торцовое биение поз. 6 ( $IT_{A_8}$ )	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A_8}=0,03$	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A_8}=0,03$	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A_8}=0,03$	$A_8=0\pm 0,015$ $IT_{A_8}=0,03$
Тип производства	Массовое	Среднесерийное	Мелкосерийное	Крупносерийное
$A_\Delta$	1 <sup>+0,4</sup>	2 <sup>+0,25</sup>	2 <sup>+0,25</sup>	$2^{+0,5}_{+0,1}$

Рис. 4.1.4. (окончание)

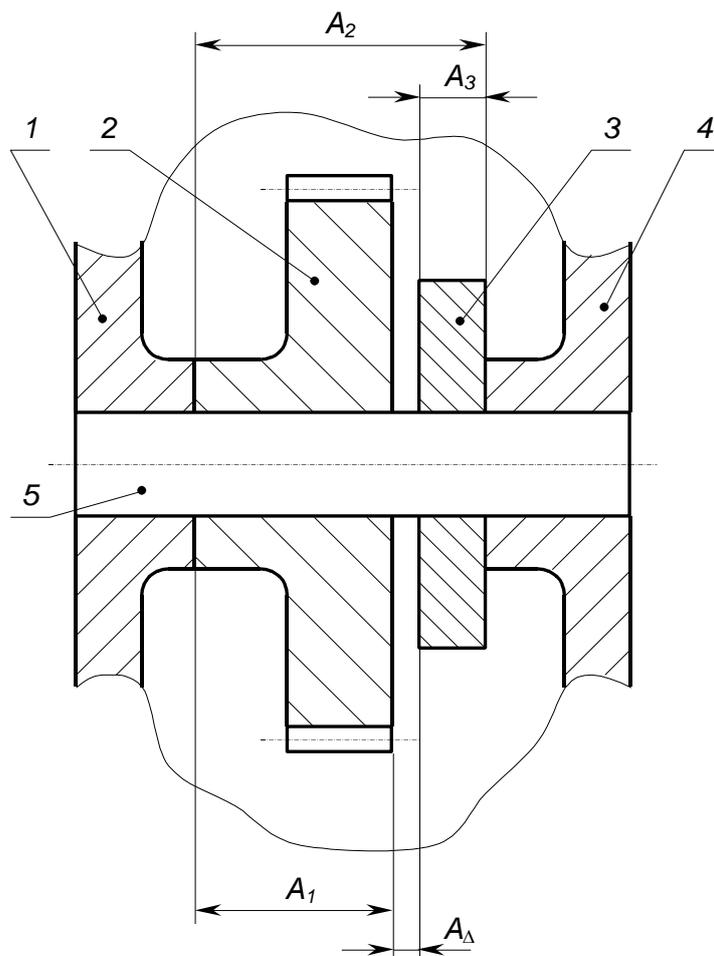


Рис. 4.1.5. Часть сборочного чертежа (упрощенно):

1 – стойка левая; 2 – колесо зубчатое;  
3 – втулка; 4 – стойка правая; 5 – вал

Параметр, мм	Вариант			
	1	2	3	4
$A_1$	$80_{-0,19}$	$60_{-0,19}$	$60_{-0,3}$	$60_{-0,3}$
$A_2$	$120^{+0,35}$	$85^{+0,22}$	$85^{+0,35}$	$85^{+0,35}$
$A_3$	$40_{-0,146}^{-0,1}$	$24_{-0,084}$	$24_{-0,21}$	$24_{-0,052}$
$A_\Delta$	$0_{+0,08}^{+0,38}$	$1_{+0,15}^{+0,45}$	$1^{+0,2}$	$1^{+0,2}$
Торцовое биение зубчатого венца	$IT_{A4}=0,04$ $A_4=0\pm 0,02$	$IT_{A4}=0,02$ $A_4=0\pm 0,01$	$IT_{A4}=0,02$ $A_4=0\pm 0,01$	$IT_{A4}=0,02$ $A_4=0\pm 0,01$
Тип производства	Массовое	Крупносерийное	Мелкосерийное	Среднесерийное

Рис. 4.1.5. (окончание)

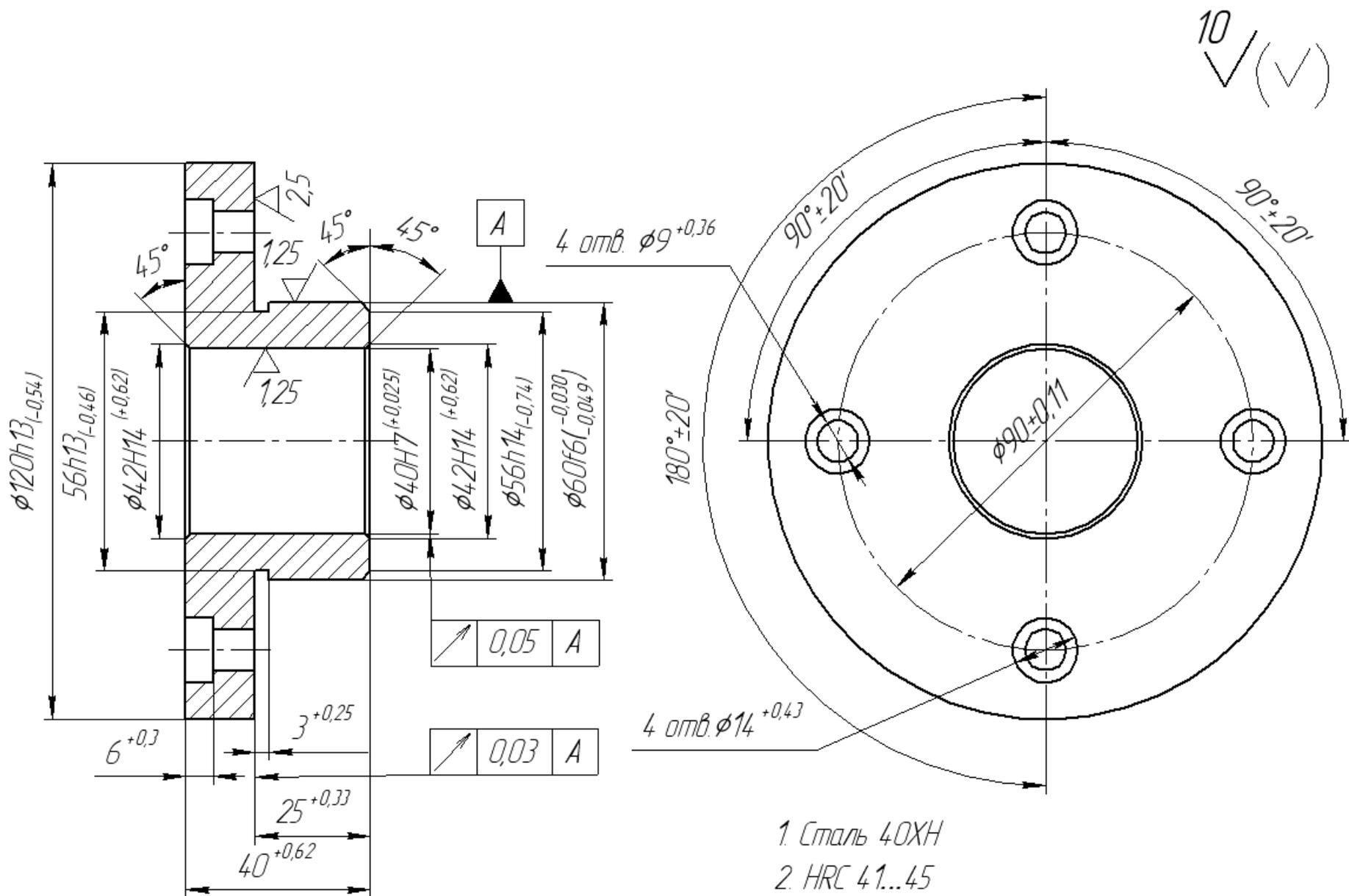
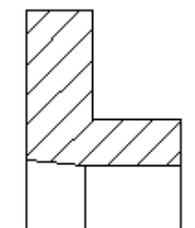


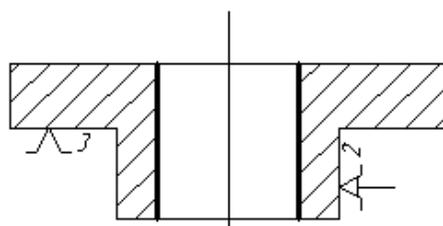
Рис. 4.1.6. Втулка

005. Штамповочная ГKM



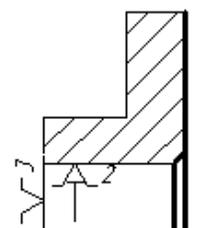
- 1. Штамповка повышенной точности
- 2. Неуказанные уклоны 15°
- 3. Неуказанные литейные радиусы R=3мм

010. Сверлильная



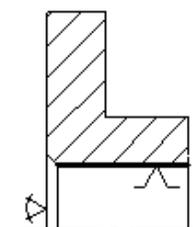
Станок 2Н135

015. Токарная



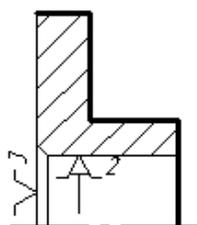
Станок 1Е340П

020. Протяжная



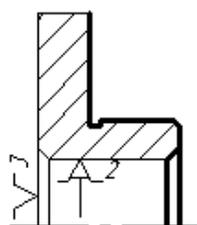
Станок 7Б55

025. Токарная



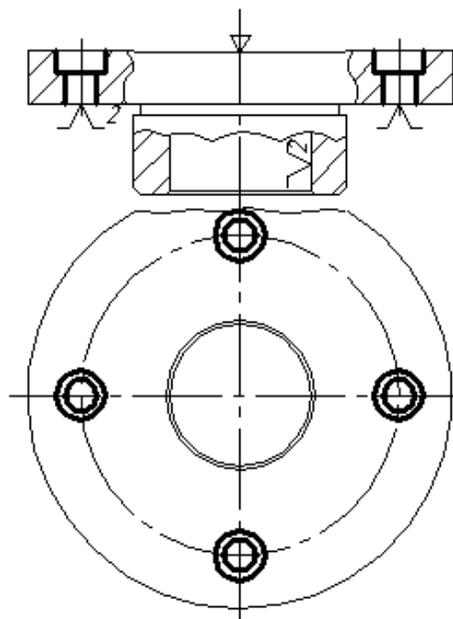
Станок 1А720

030. Токарная



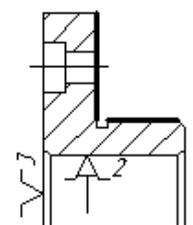
Станок 1А720

035. Агрегатная



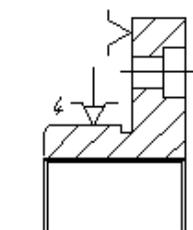
Станок: 4-х позиционный агрегатный

045. Круглошлифовальная



Станок 3Т160

050. Внутреншлифовальная



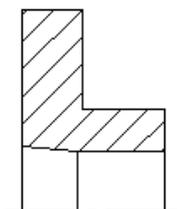
Станок 3К227В

Операция 040. Термическая

Калить HRC = 41 - 45

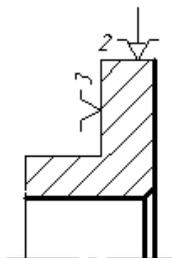
Рис. 4.1.7. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления втулки (массовое производство)

*005. Штамповочная ГKM*



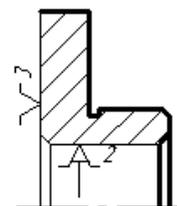
1. Штамповка повышенной точности
2. Неуказанные уклоны 15°
3. Неуказанные литейные радиусы R=3мм

*010. Токарная с ЧПУ*



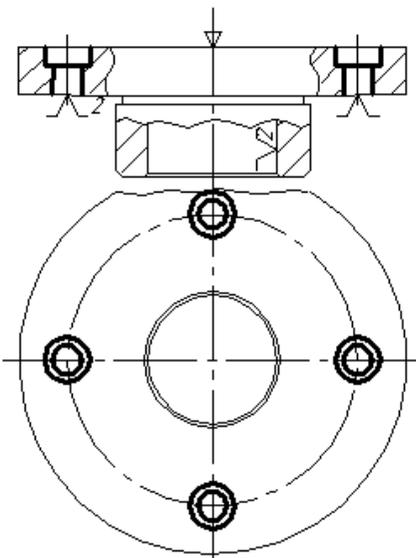
Станок 16К20Ф3

*015. Токарная с ЧПУ*



Станок 16К20Ф3

*020. Сверлильная с ЧПУ*

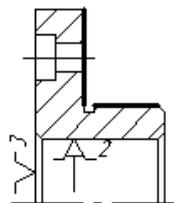


Станок: 2P135PФ2-1

*Операция 025 Термическая*

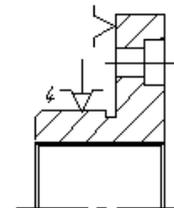
Калить HRC = 41 - 45

*030. Круглошлифовальная*



Станок 3Т160

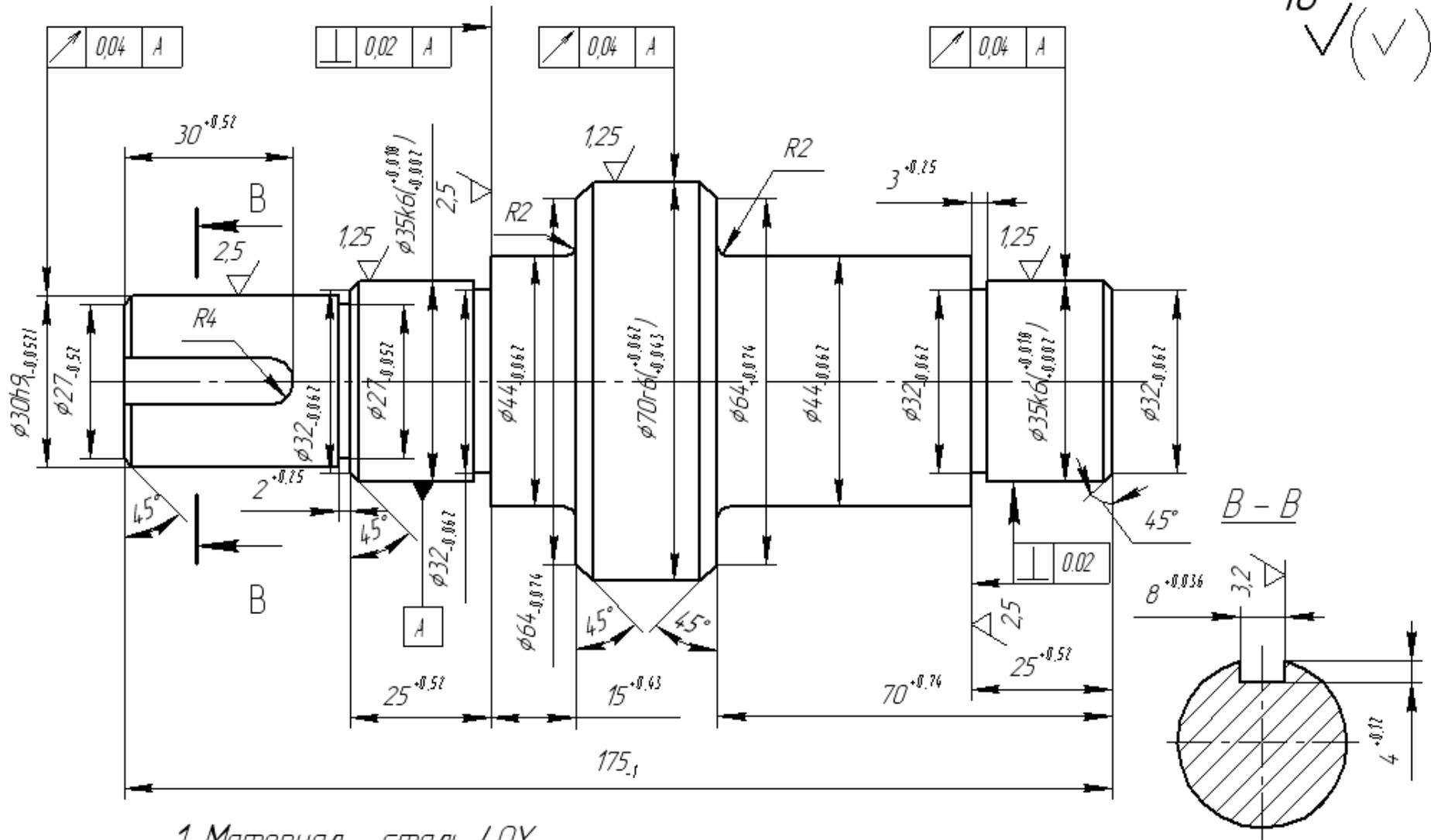
*035. Внутренншлифовальная*



Станок 3К227В

Рис. 4.1.8. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления втулки (среднесерийное производство)

10  
√(√)



1. Материал – сталь 40Х;
2. Допускаются центры формы А,  $\phi 5$  мм (отв.  $\phi 5$ , фаска  $\phi 10,6$ )

Рис. 4.1.9. Вал

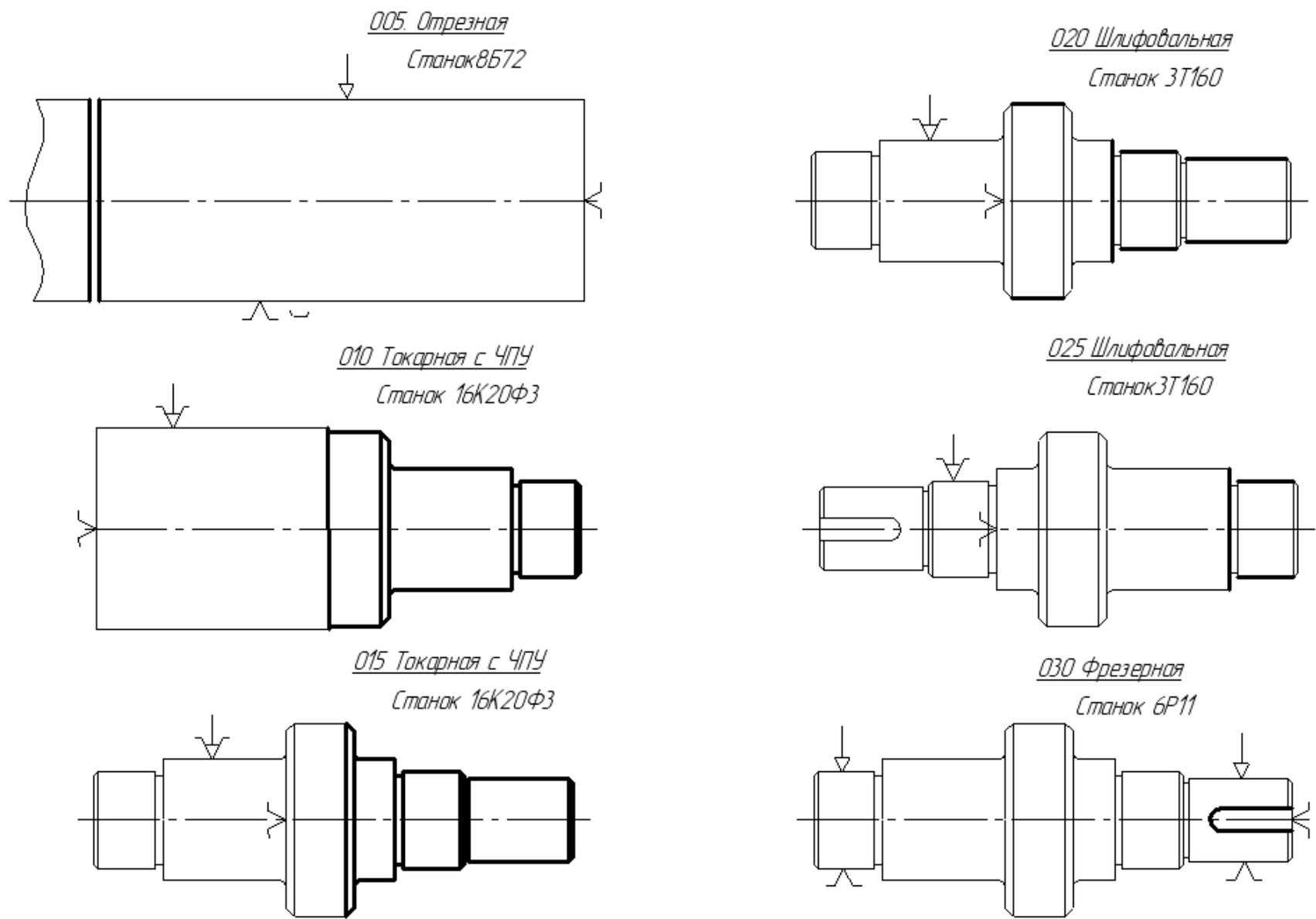


Рис. 4.1.10. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления вала (среднесерийное производство)

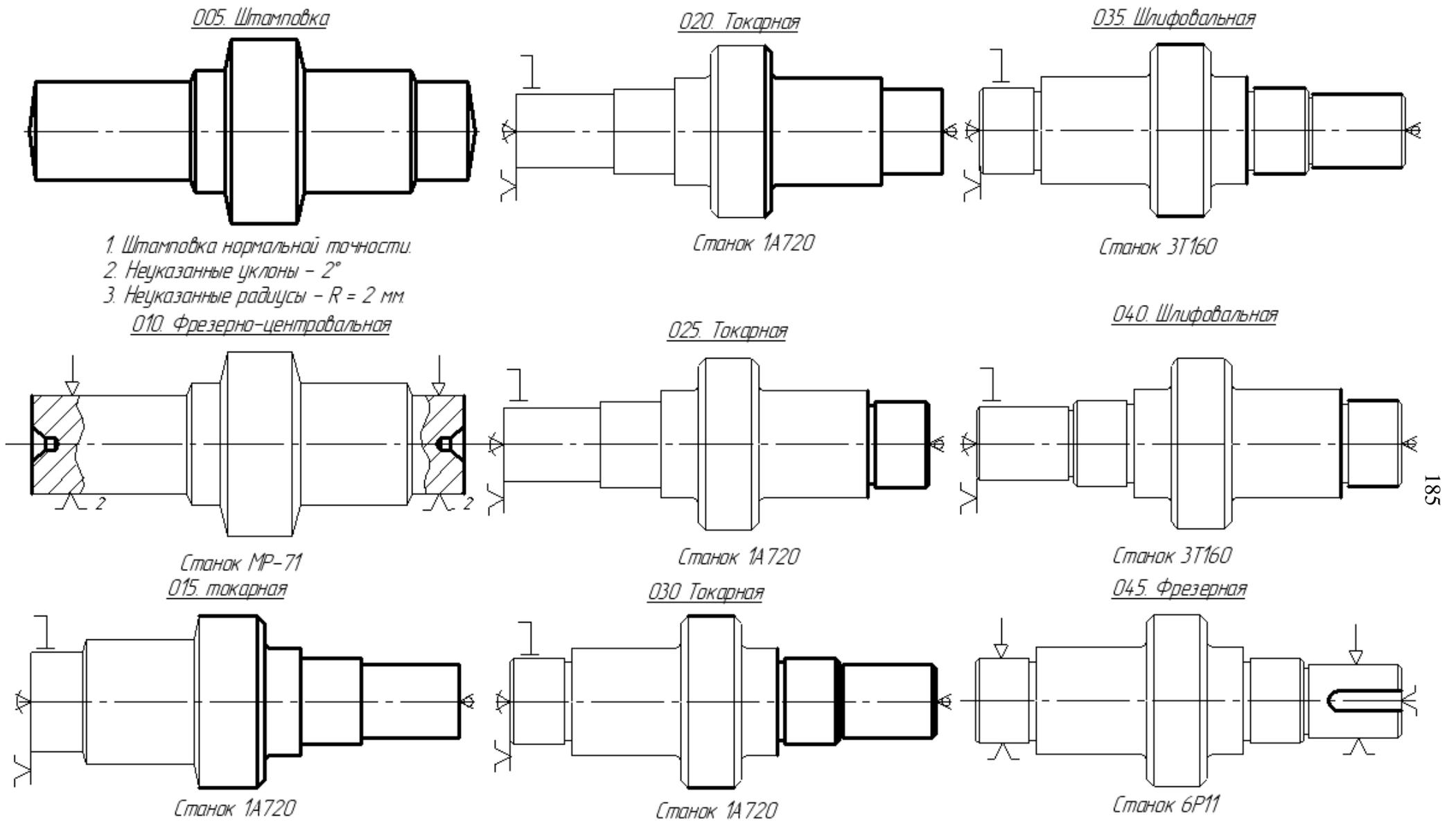
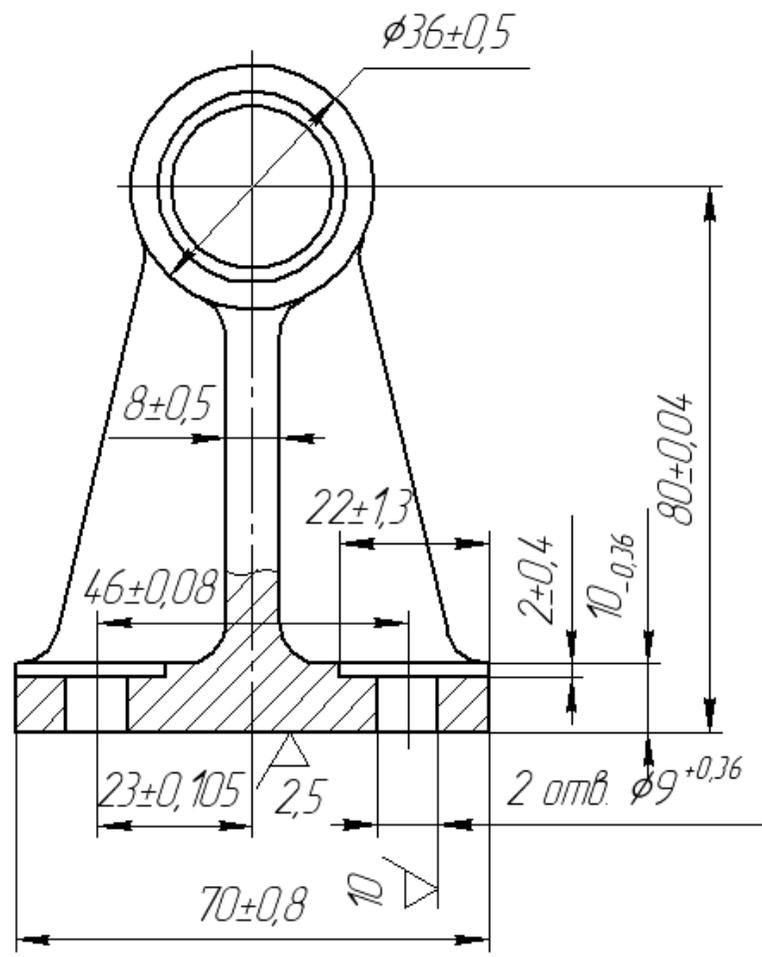
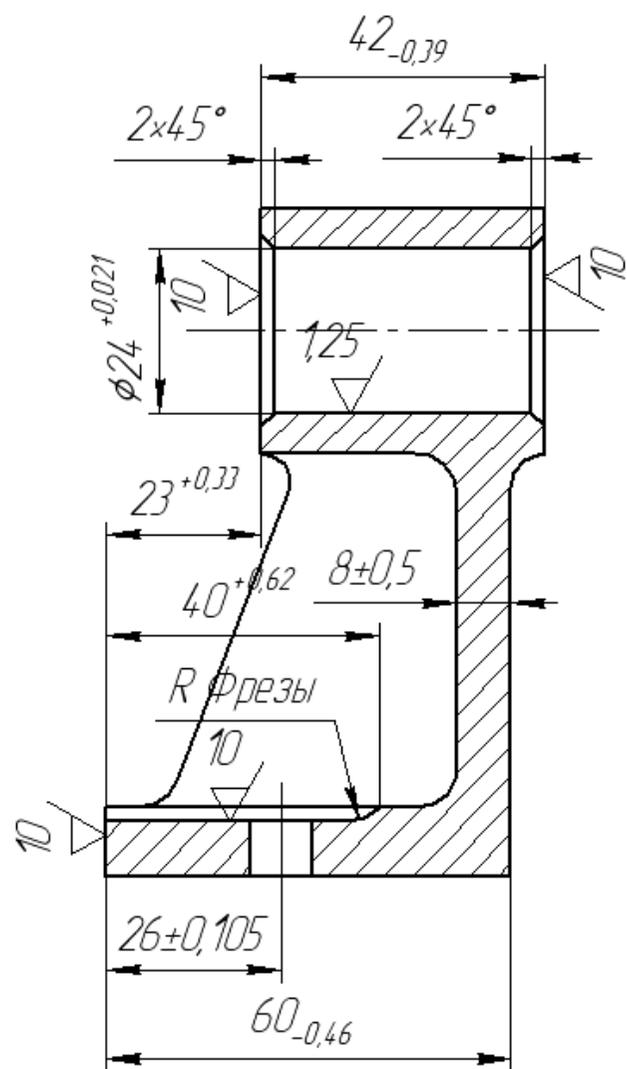


Рис. 4.1.11. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления вала (крупносерийное производство)



1 Чугун СЧ20  
 2 h 14, H14,  $\frac{IT14}{2}$

Рис. 4.1.12. Кронштейн

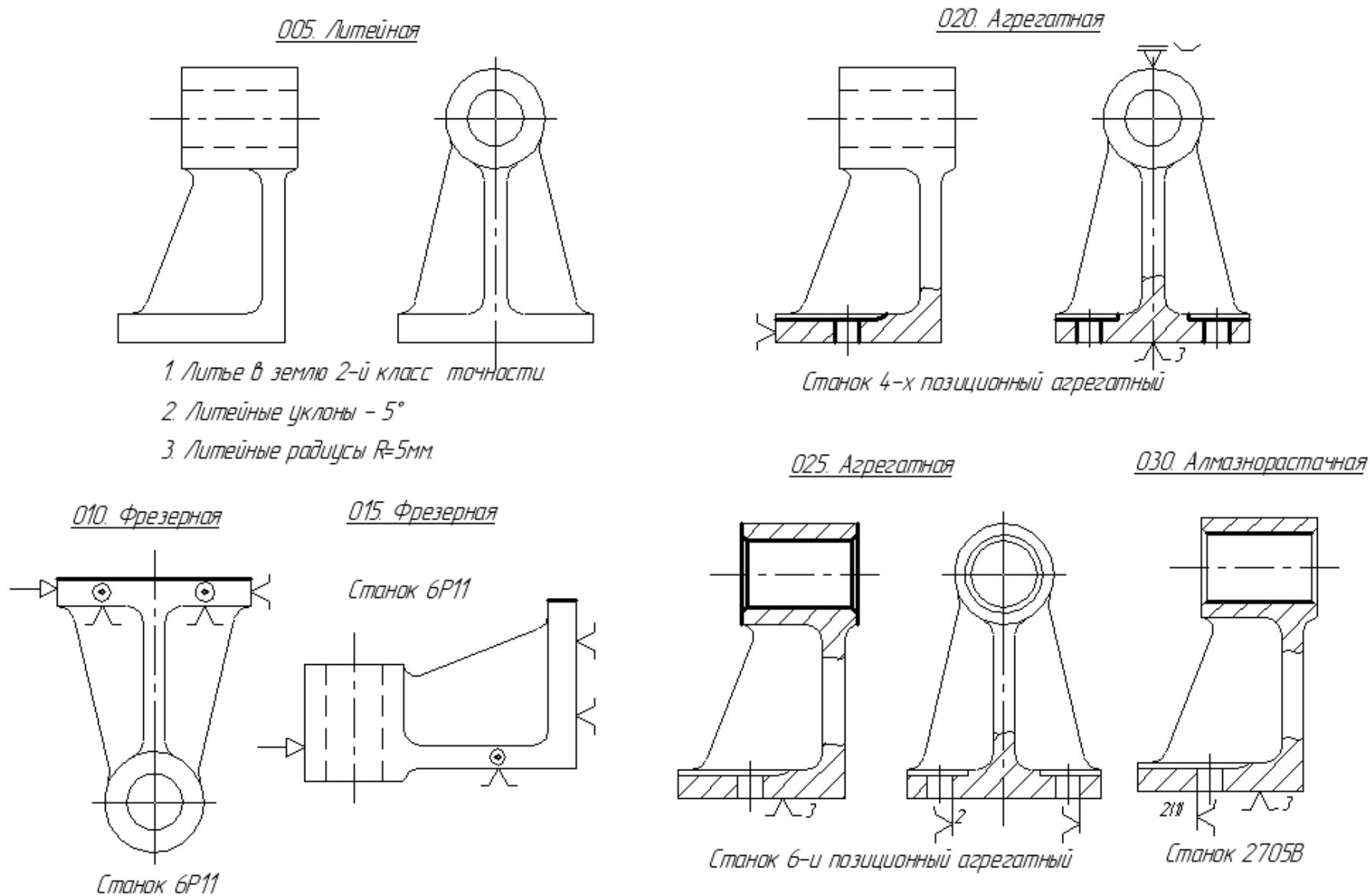
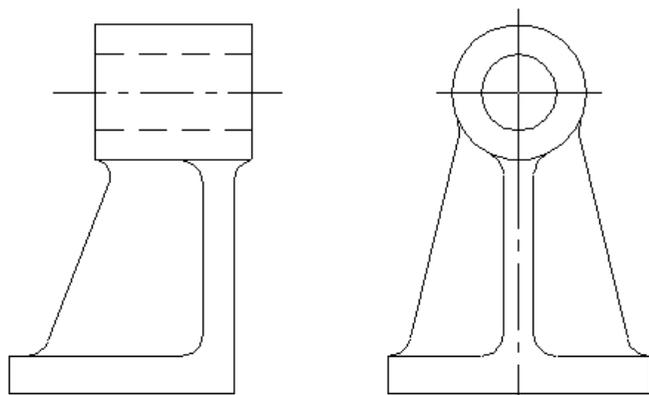


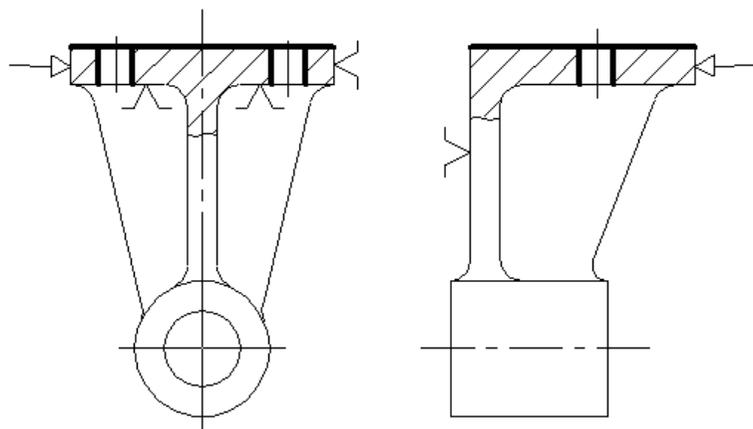
Рис. 4.1.13. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления кронштейна (крупносерийное производство)

005. Литейная



1. Литье в землю 2-й класс точности.
2. Литейные уклоны - 5°
3. Литейные радиусы R=5мм

010. Сверлильно-фрезерная  
Станок 2254ВМФ4



025. Сверлильно-фрезерно-расточная  
Станок 2204ВМФ4

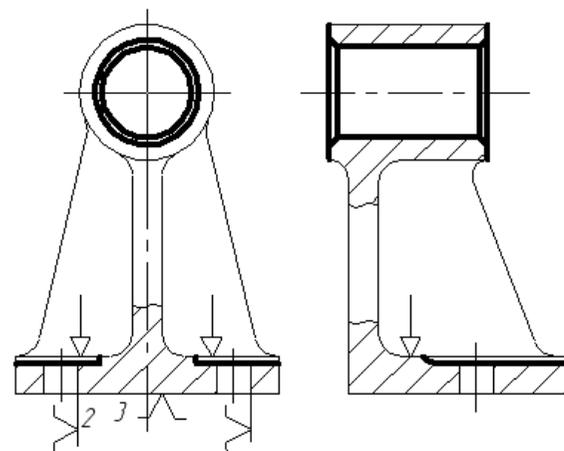


Рис. 4.1.14. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления кронштейна (среднесерийное производство)

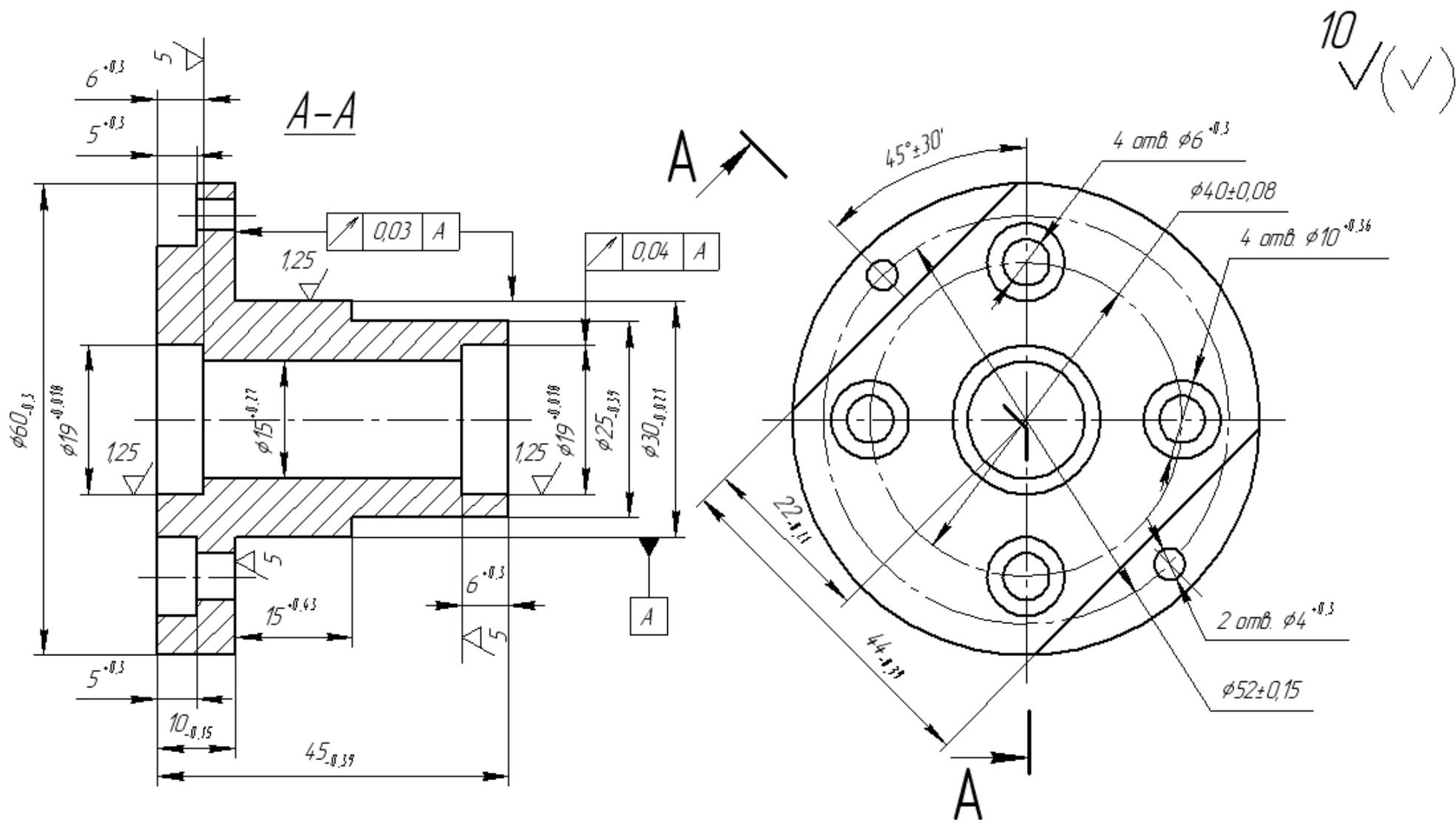


Рис. 4.1.15. Корпус

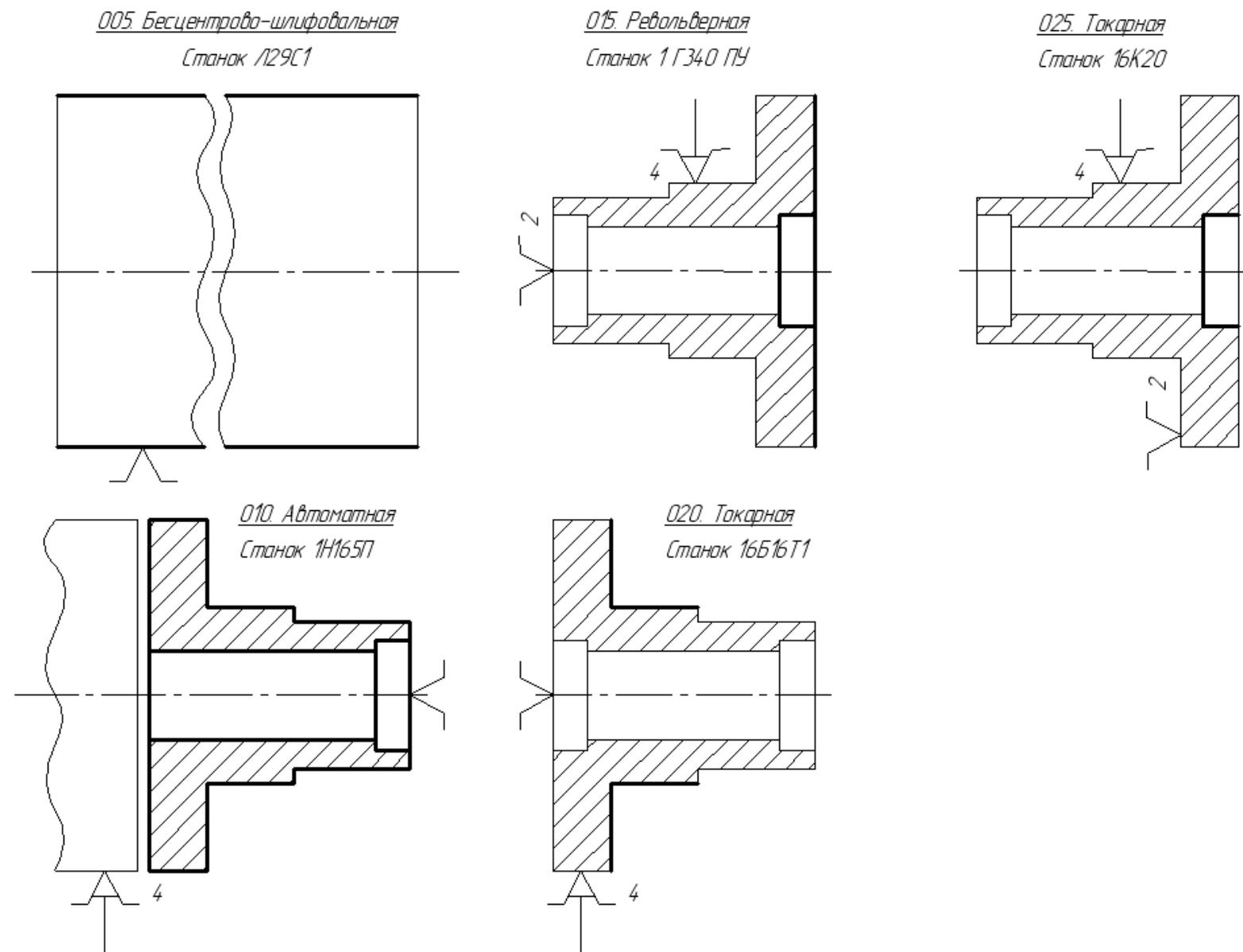
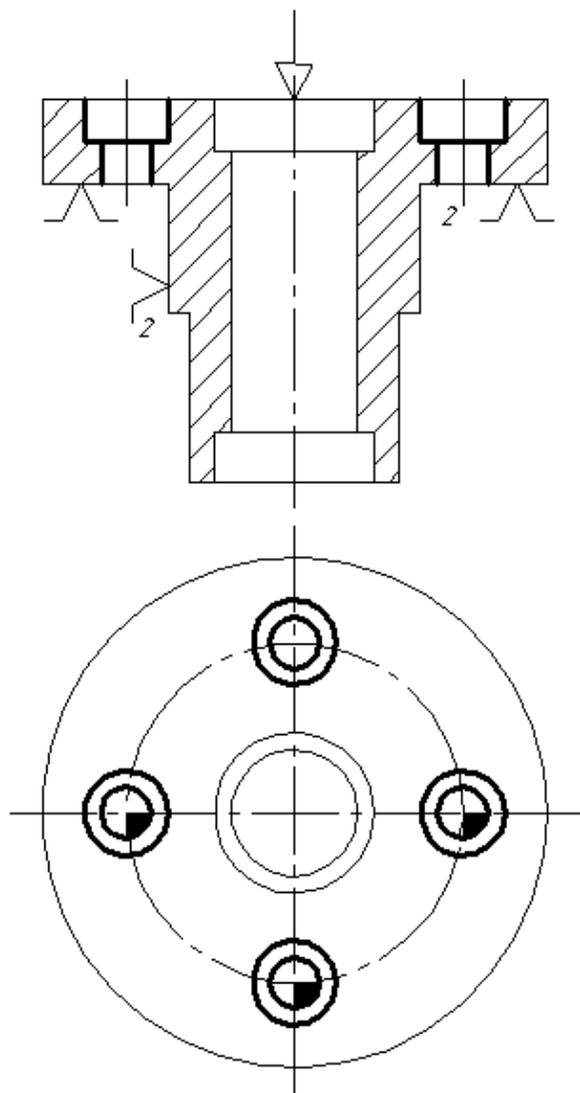
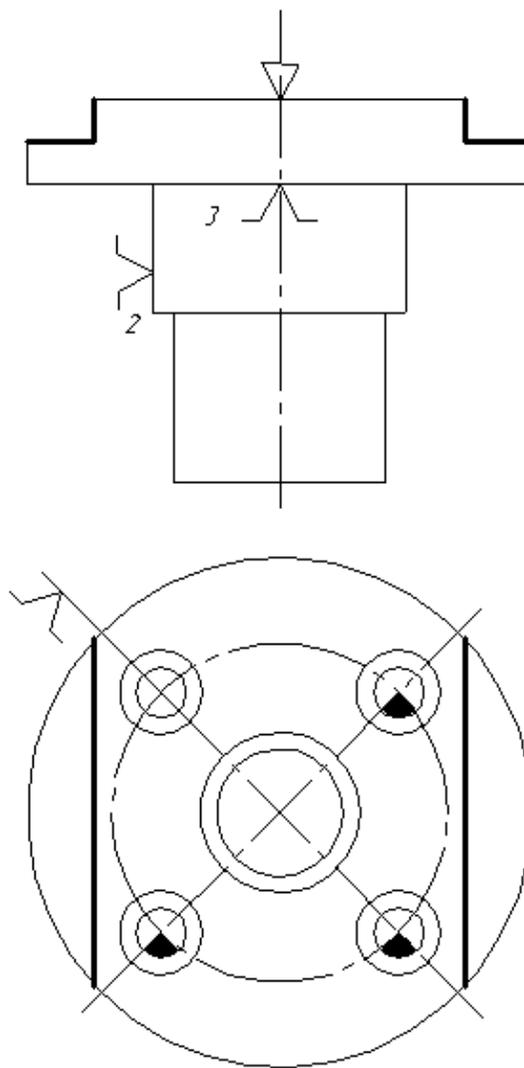


Рис. 4.1.16. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления корпуса (массовое производство)

*030. Агрегатная*  
*Станок агрегатный специальный*



*035. Фрезерная*  
*Станок 6Р80*



*040. Сверлильная*  
*Станок 2Н118*

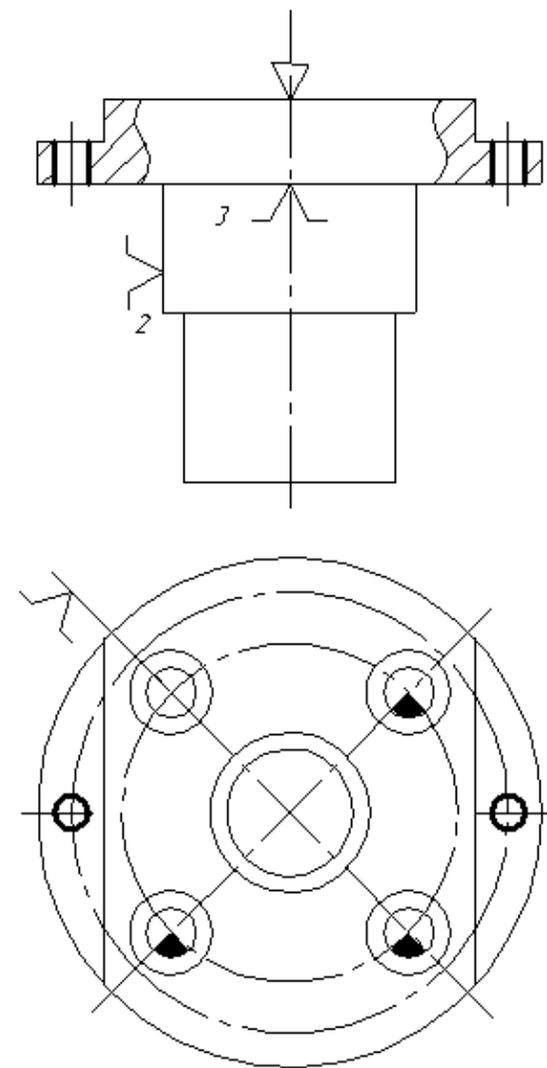


Рис. 4.1.16. (окончание)

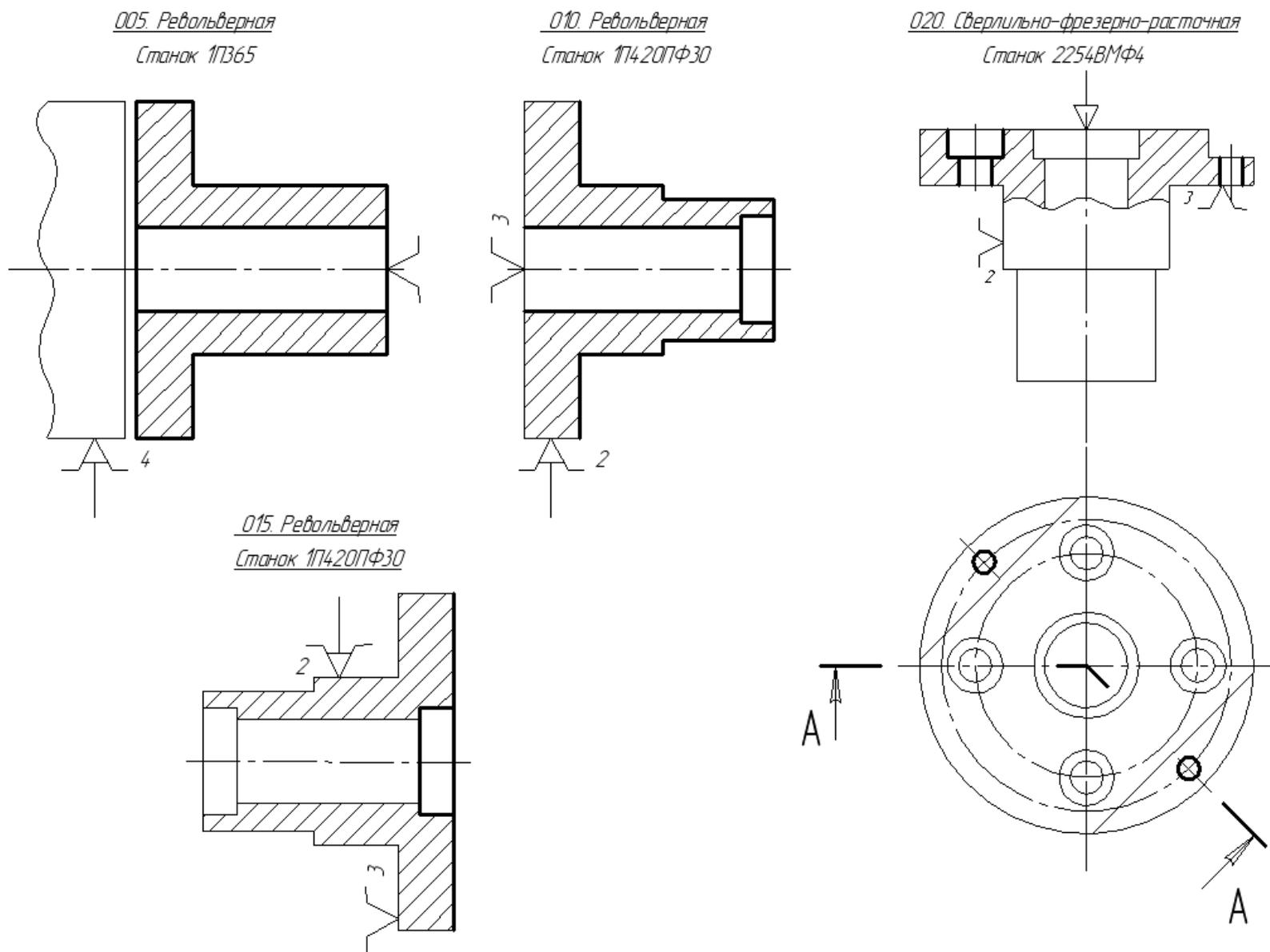


Рис. 4.1.17. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления корпуса (среднесерийное производство)

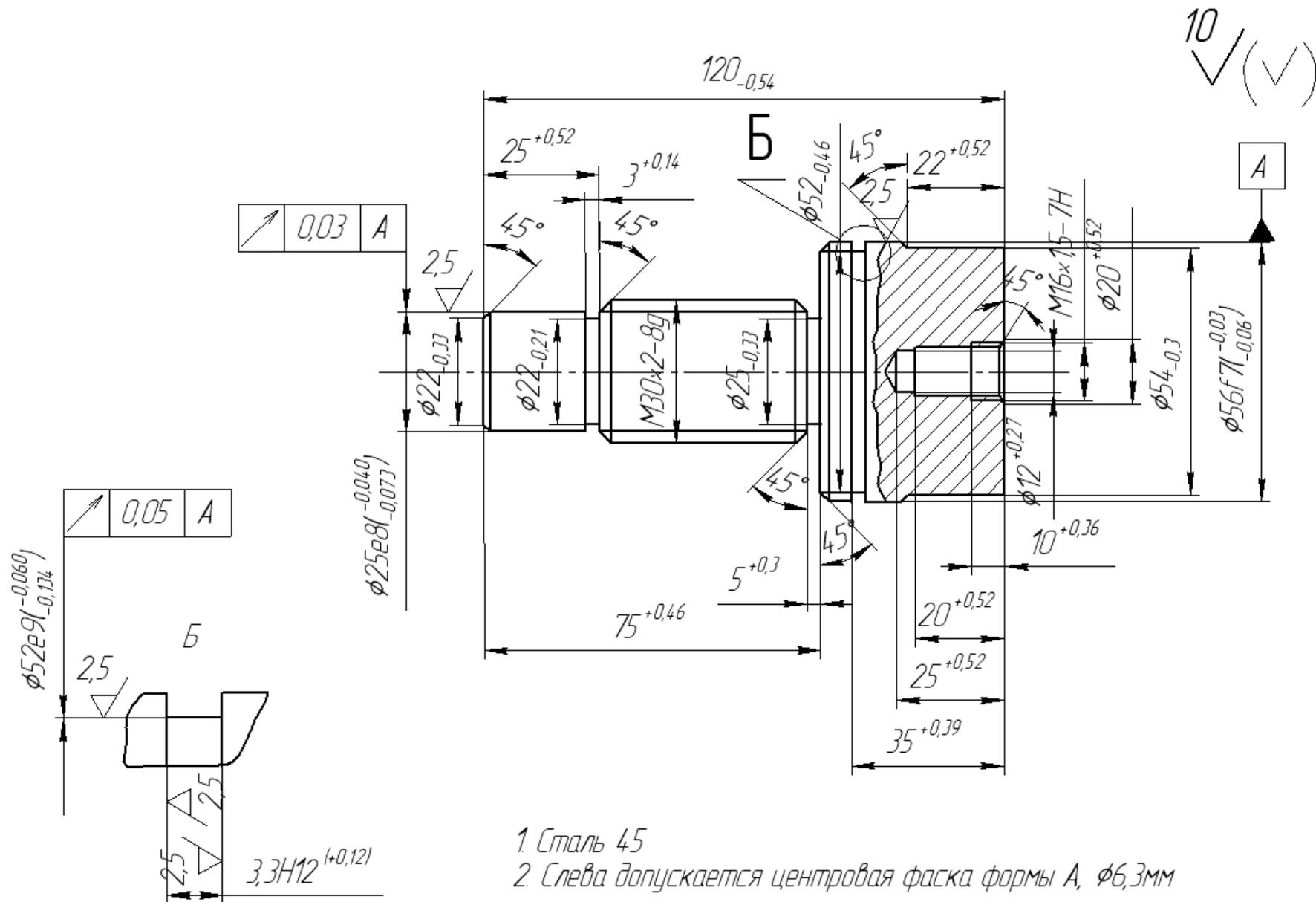


Рис. 4.1.18. Шток

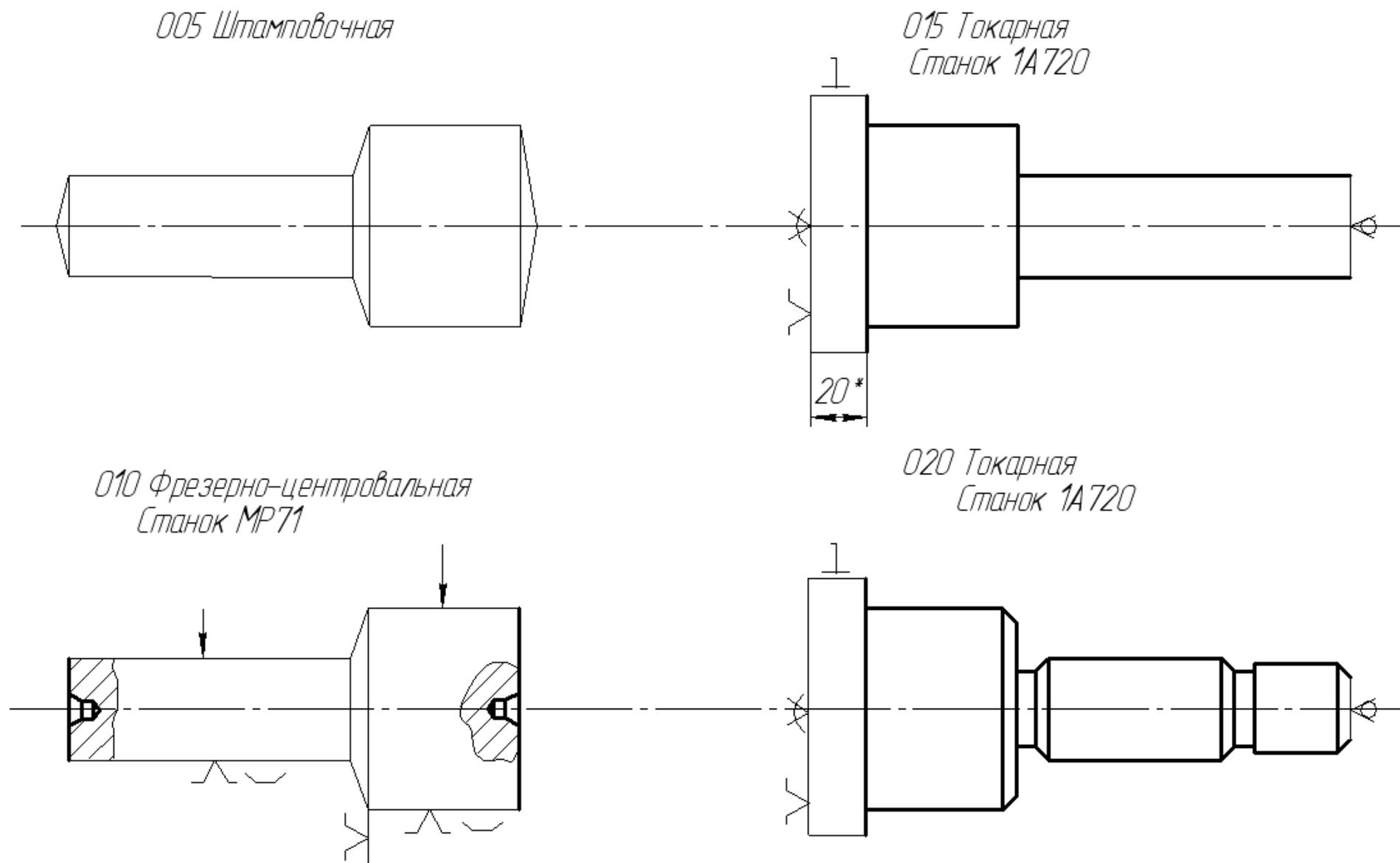
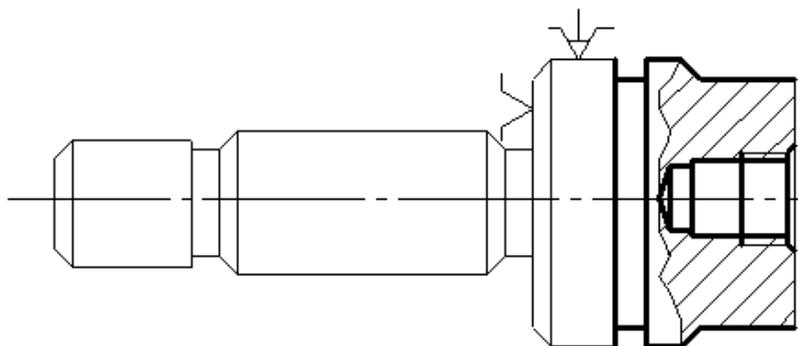
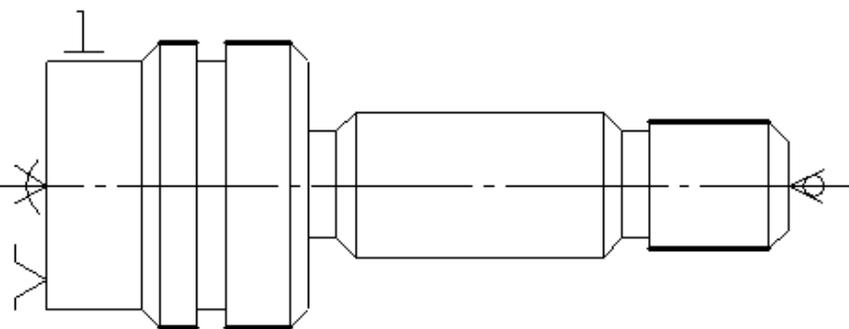


Рис. 4.1.19. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления штока (крупносерийное производство)

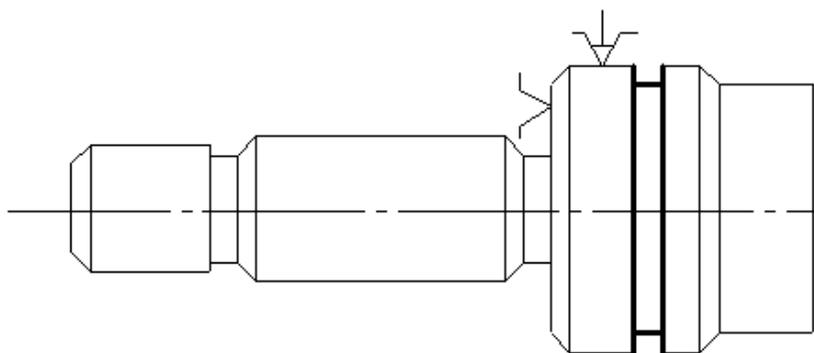
025 Токарная  
Станок 1Г340ПУ



030 Шлифовальная  
Станок 3Т160



035 Токарная  
Станок 1К62



040 Резьбонарезная  
Станок 5993П

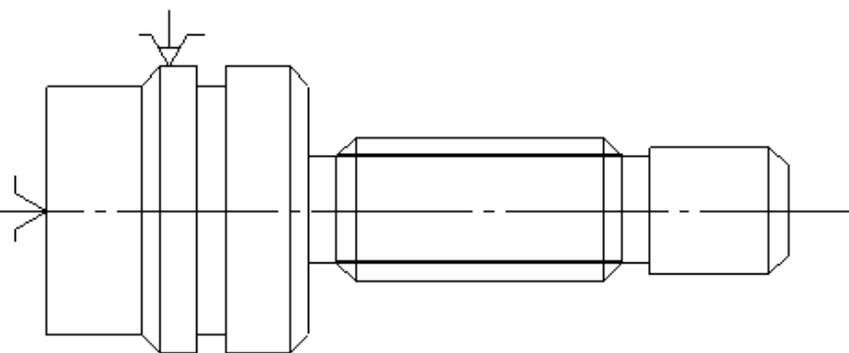


Рис. 4.1.19. (окончание)

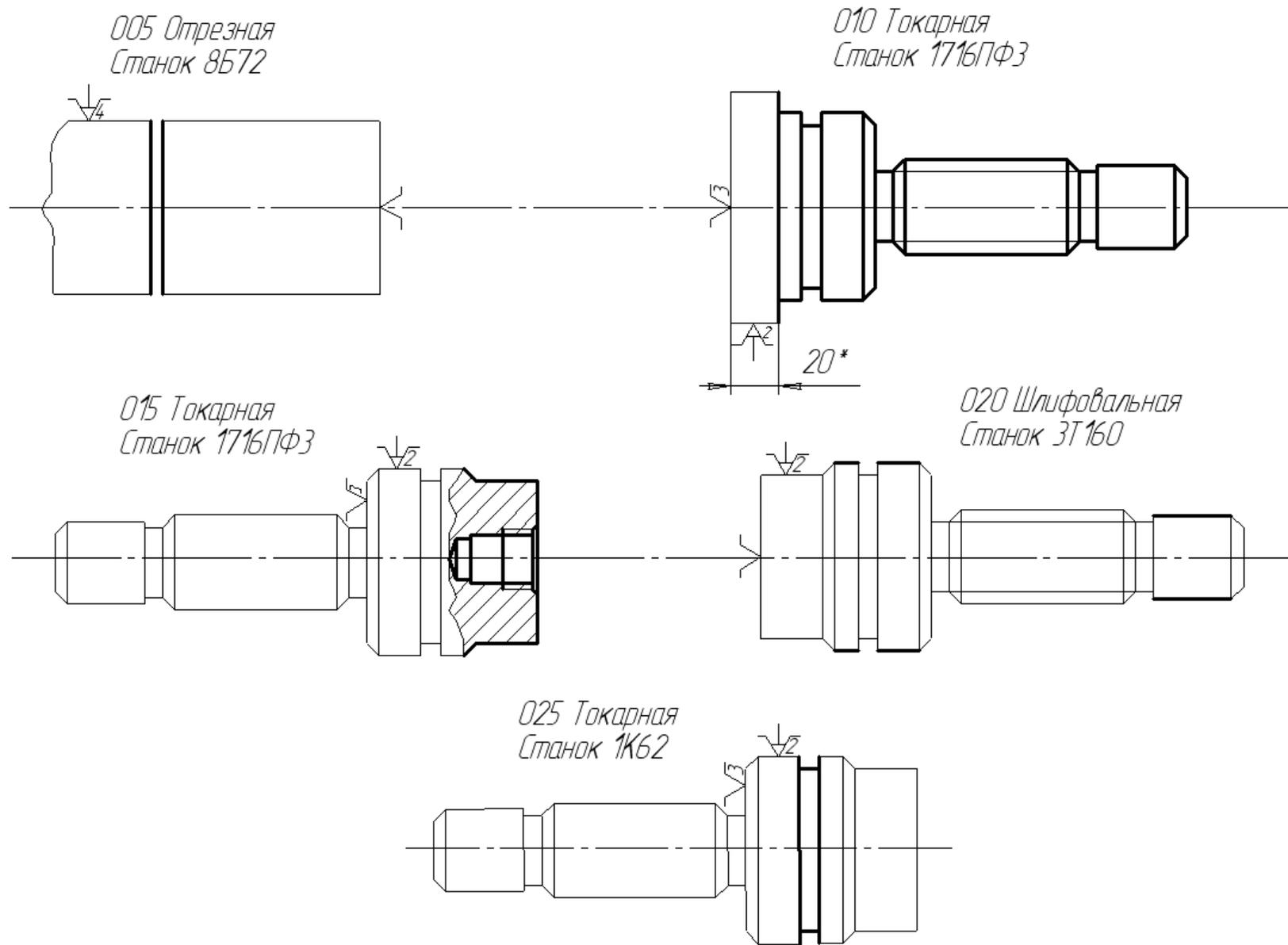


Рис. 4.1.20. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления штока (среднесерийное производство)

10 ✓(✓)

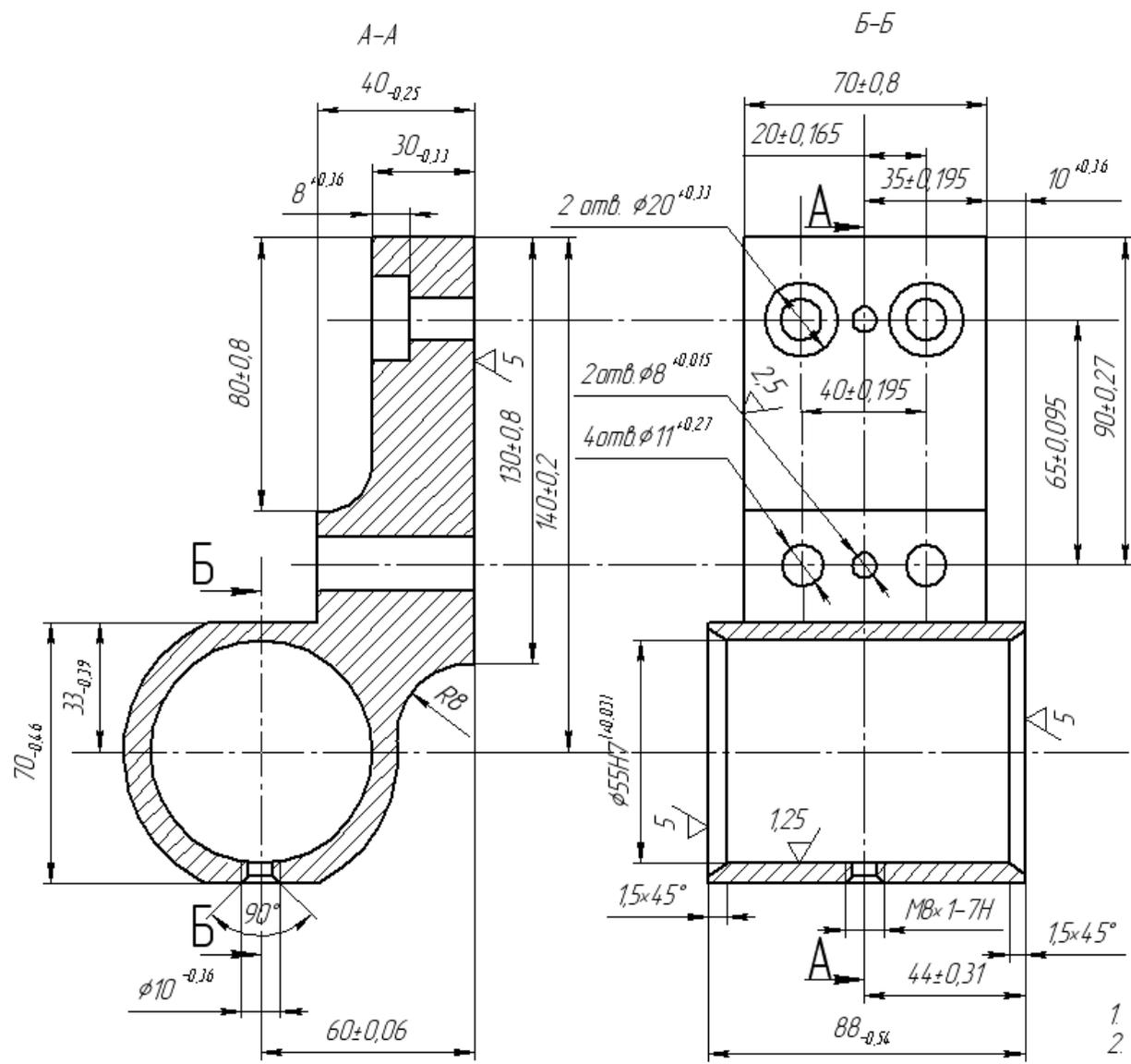


Рис. 4.1.21. Кронштейн

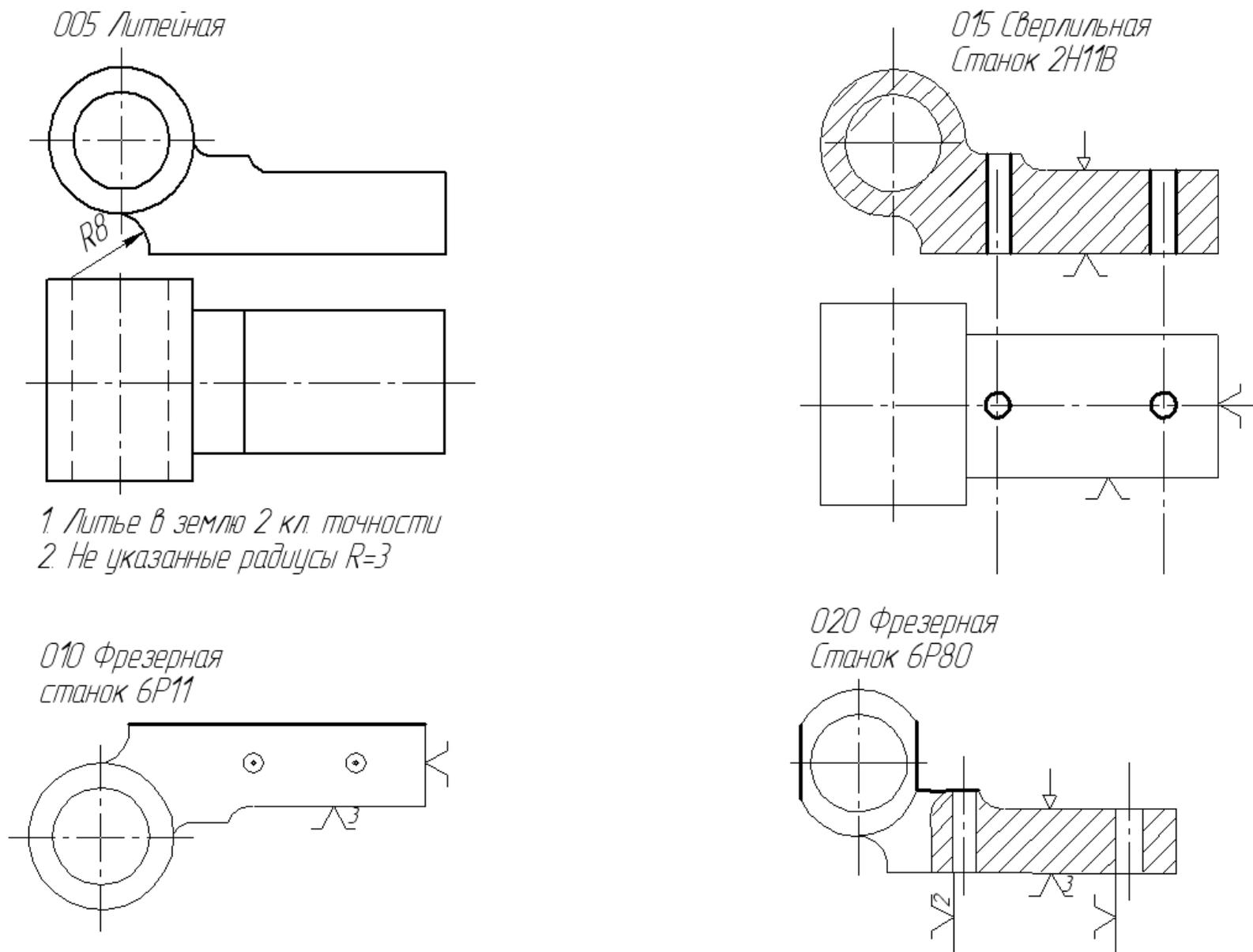
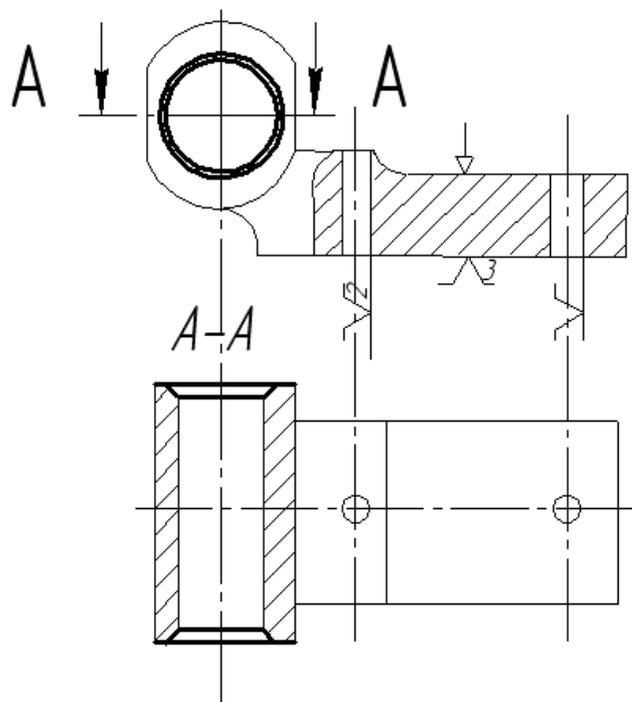
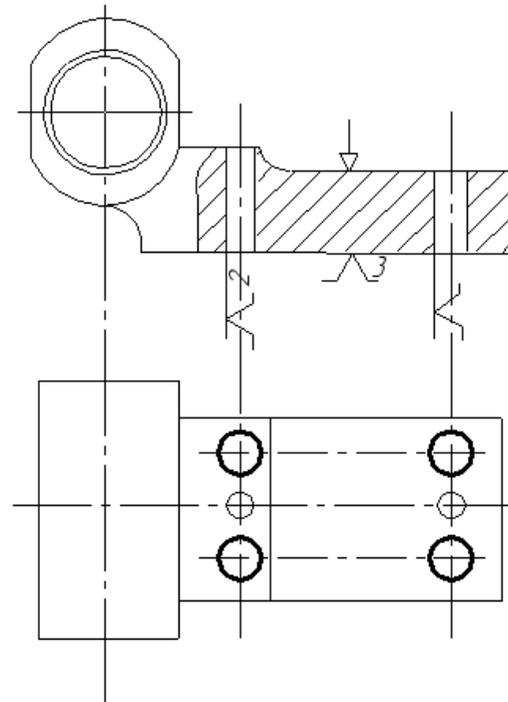


Рис. 4.1.22. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления кронштейна (крупносерийное производство)

025 Агрегатная  
Станок 6-ти поз. агрегатный



030 Сверлильная  
Станок 2Н118



035 Сверлильная  
Станок 2Н135

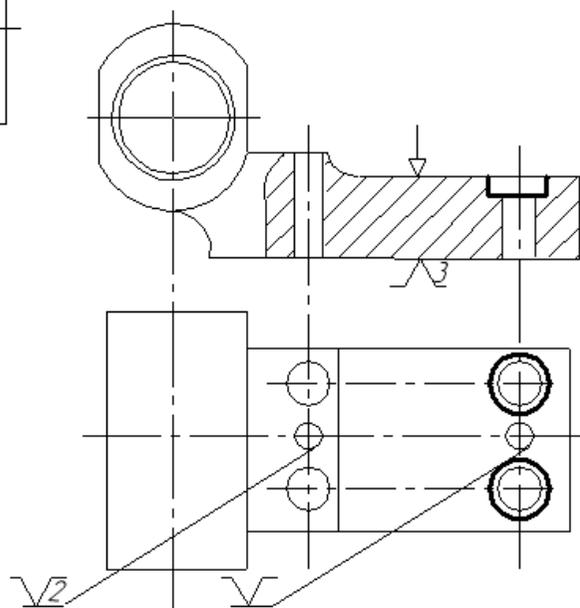
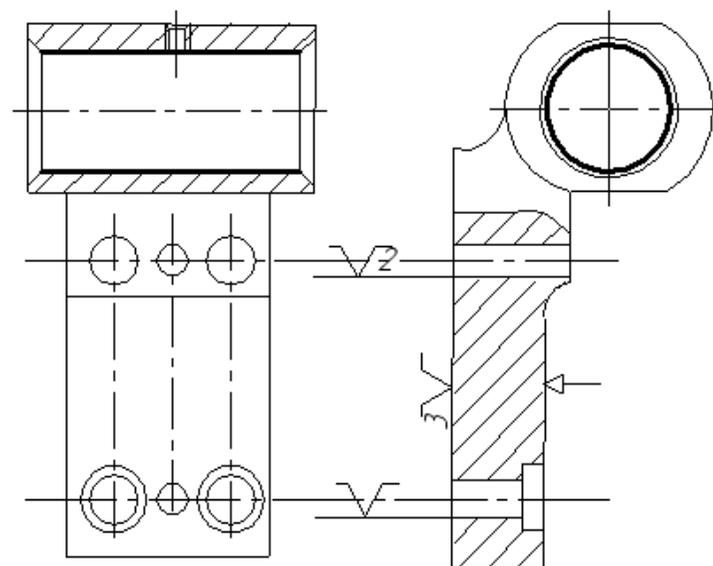
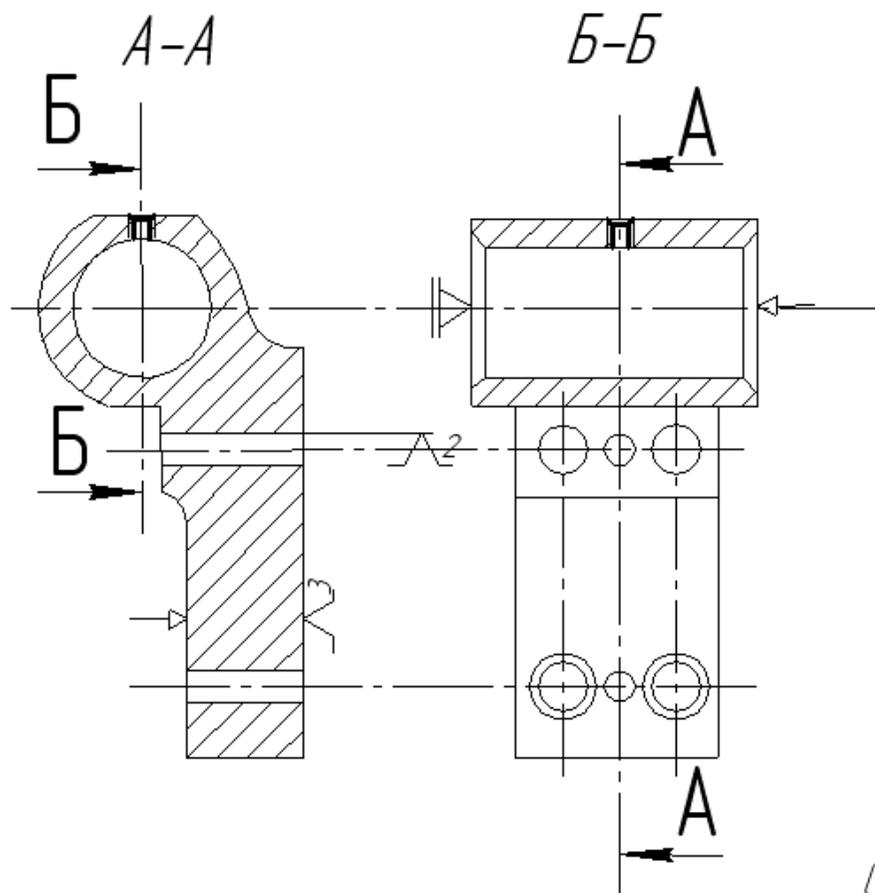


Рис. 4.1.22. (продолжение)

040 Сверлильная  
Станок 2Н118

045 Алмазно-расточная  
Станок 2705В



050 Резьбонарезная  
(без эскиза)

Рис. 4.1.22. (окончание)

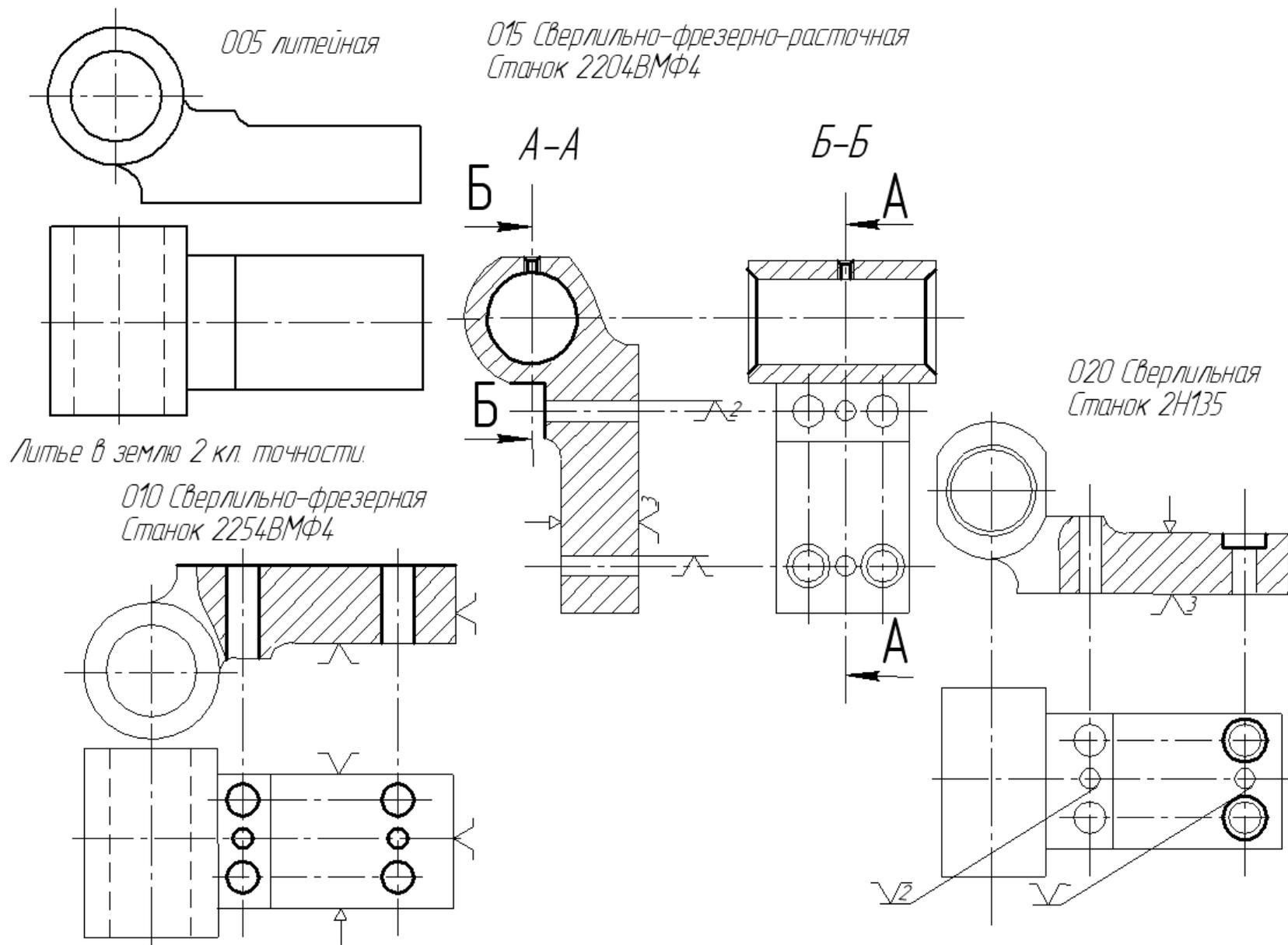


Рис. 4.1.23. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления кронштейна (мелкосерийное производство)

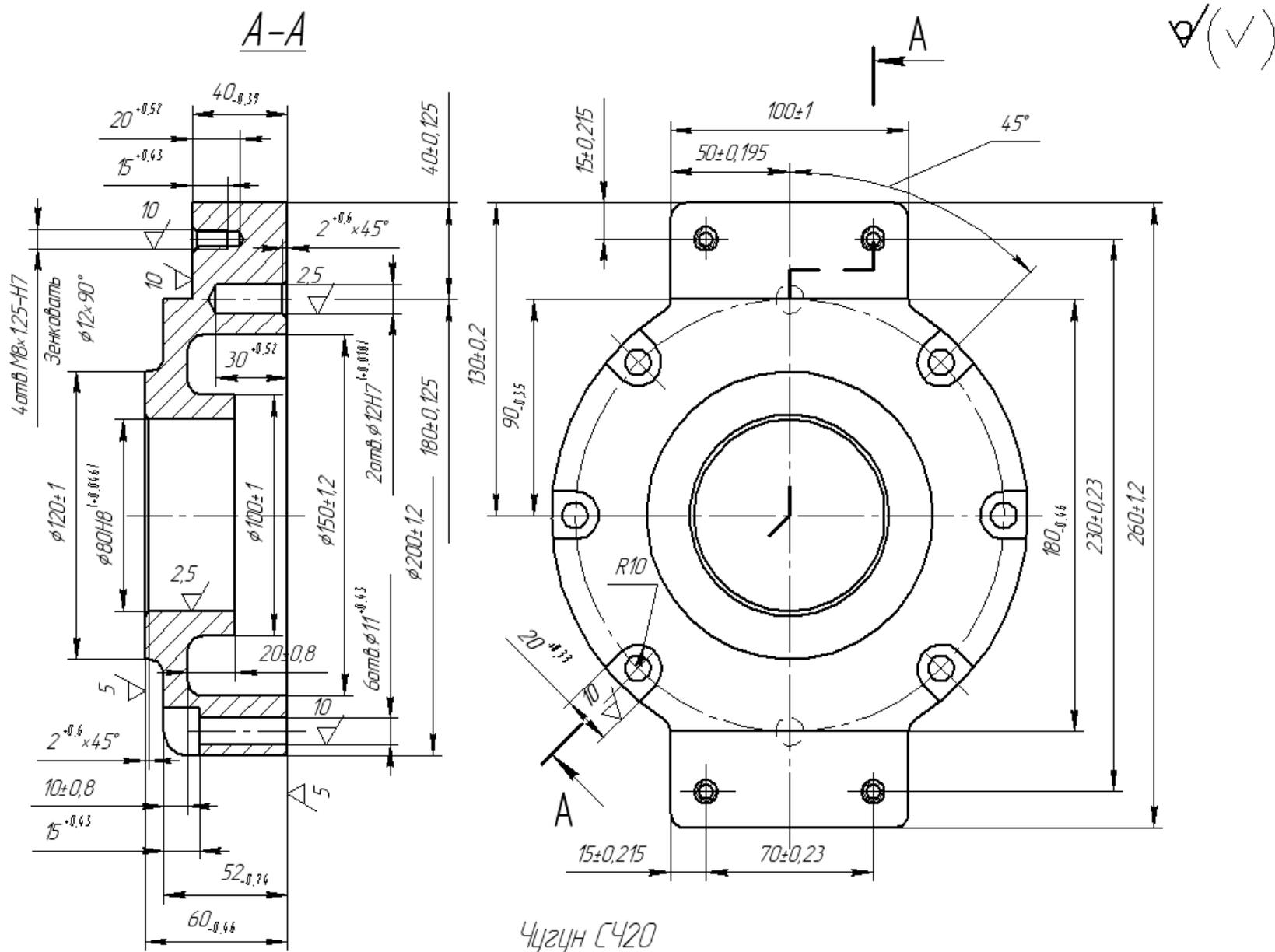


Рис. 4.1.24. Крышка

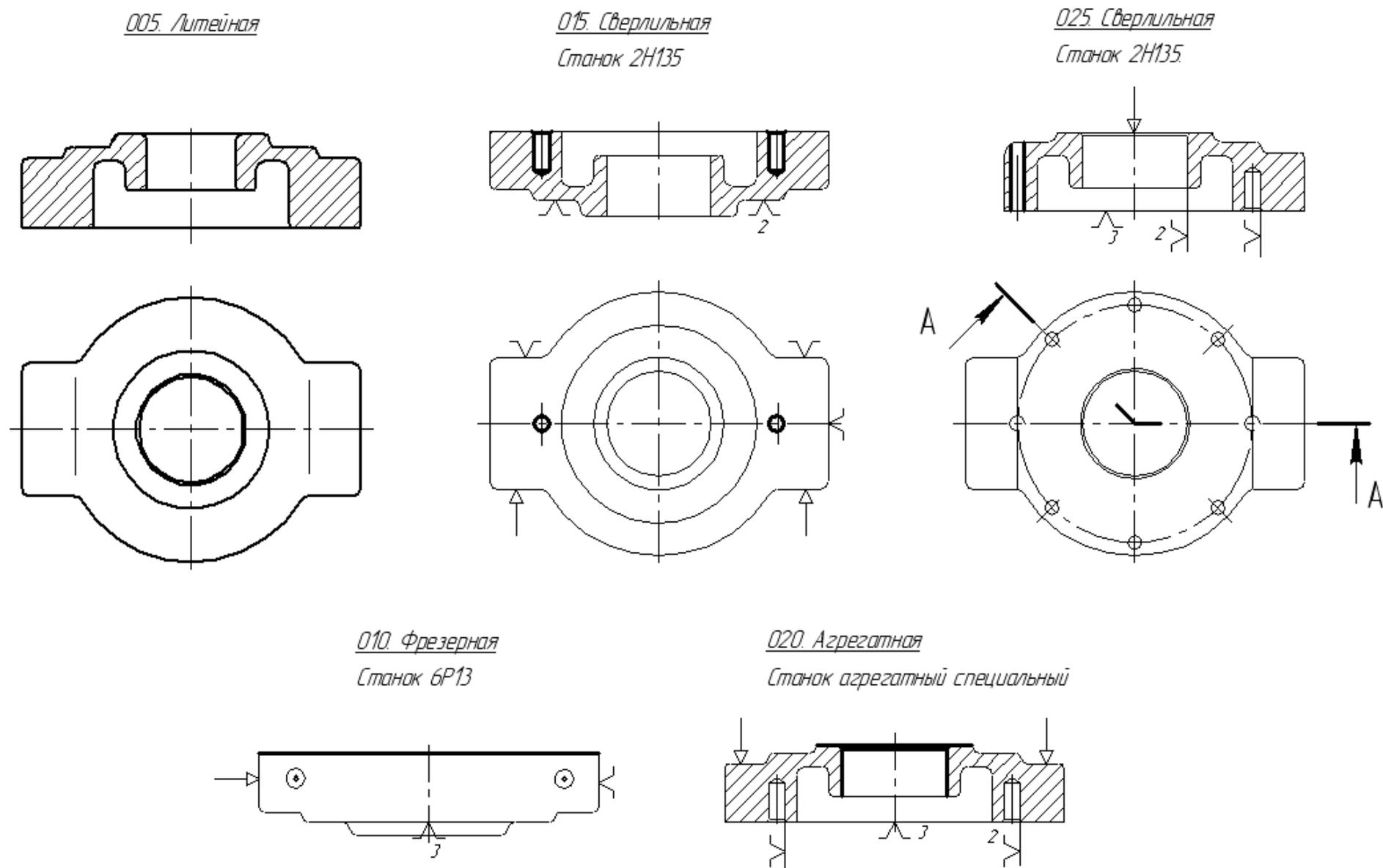
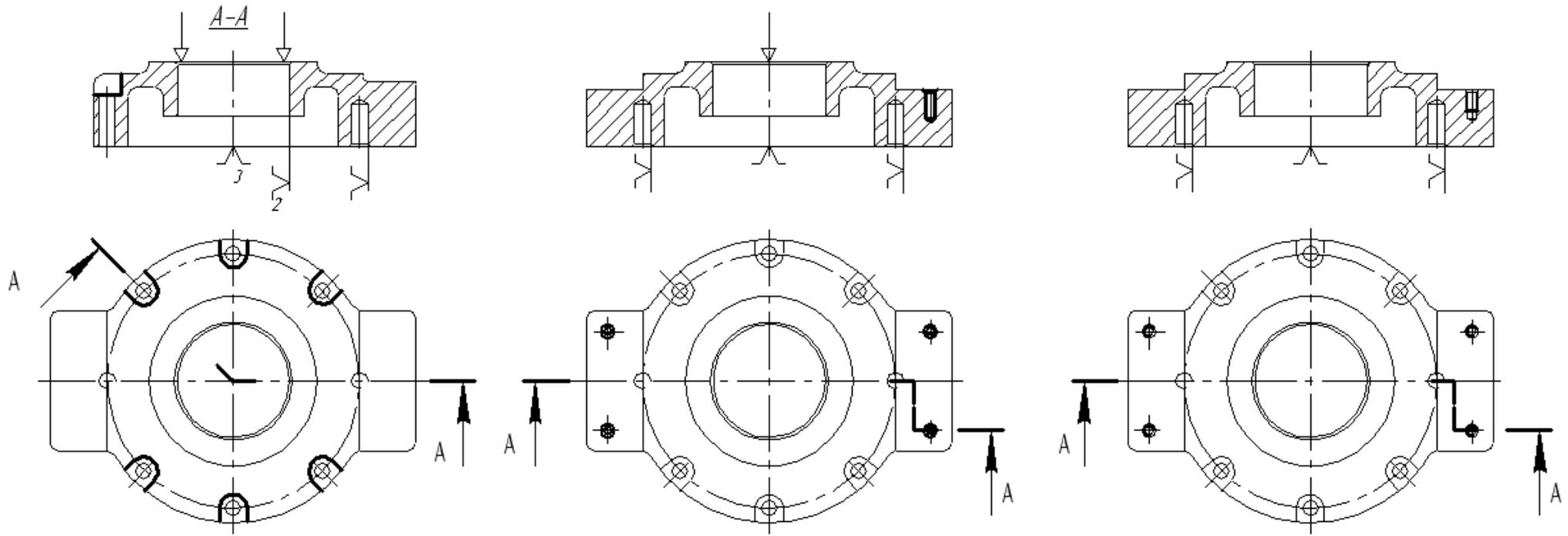


Рис. 4.1.25. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления крышки (дифференцированный ТП)

030. Фрезерная  
Станок 6Р13

040. Сверлильная  
Станок 2Н135

045. Резьбонарезная  
Станок 2Н135



035. Фрезерная  
Станок 6Р82Г

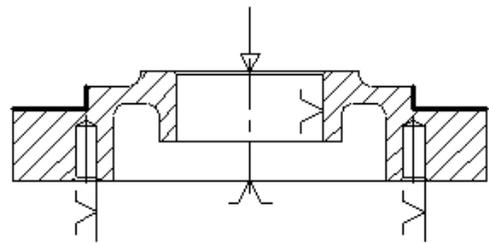


Рис. 4.1.25. (окончание)

005. Литейная

010. Фрезерно-сверлильная  
Станок 6550РФ3

015. Сверлильно-фрезерно-расточная  
Станок 2254ВМФ4

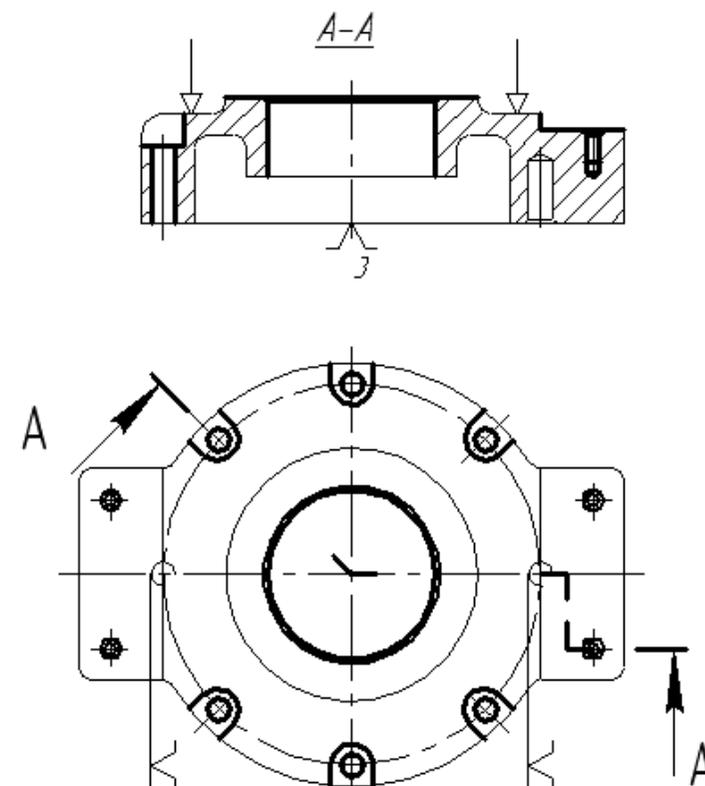
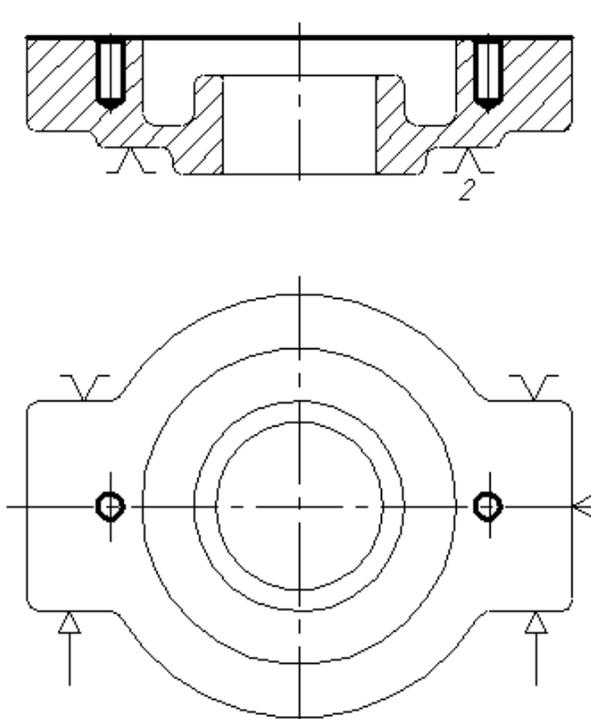
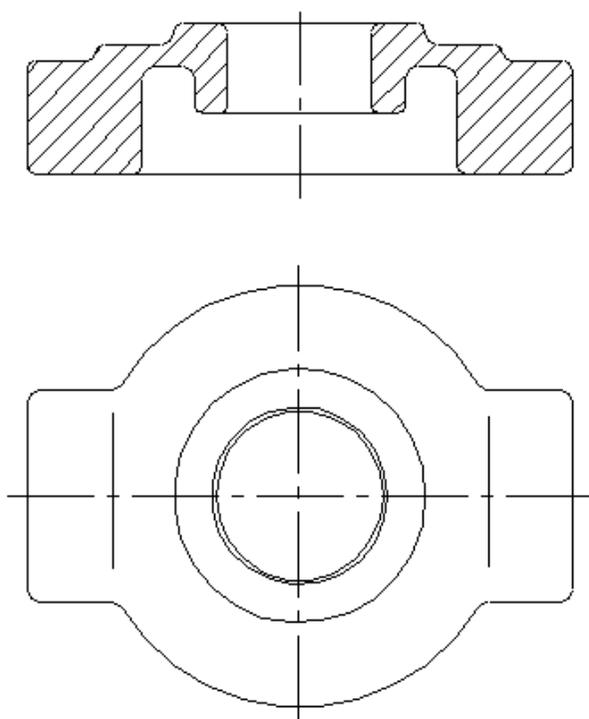
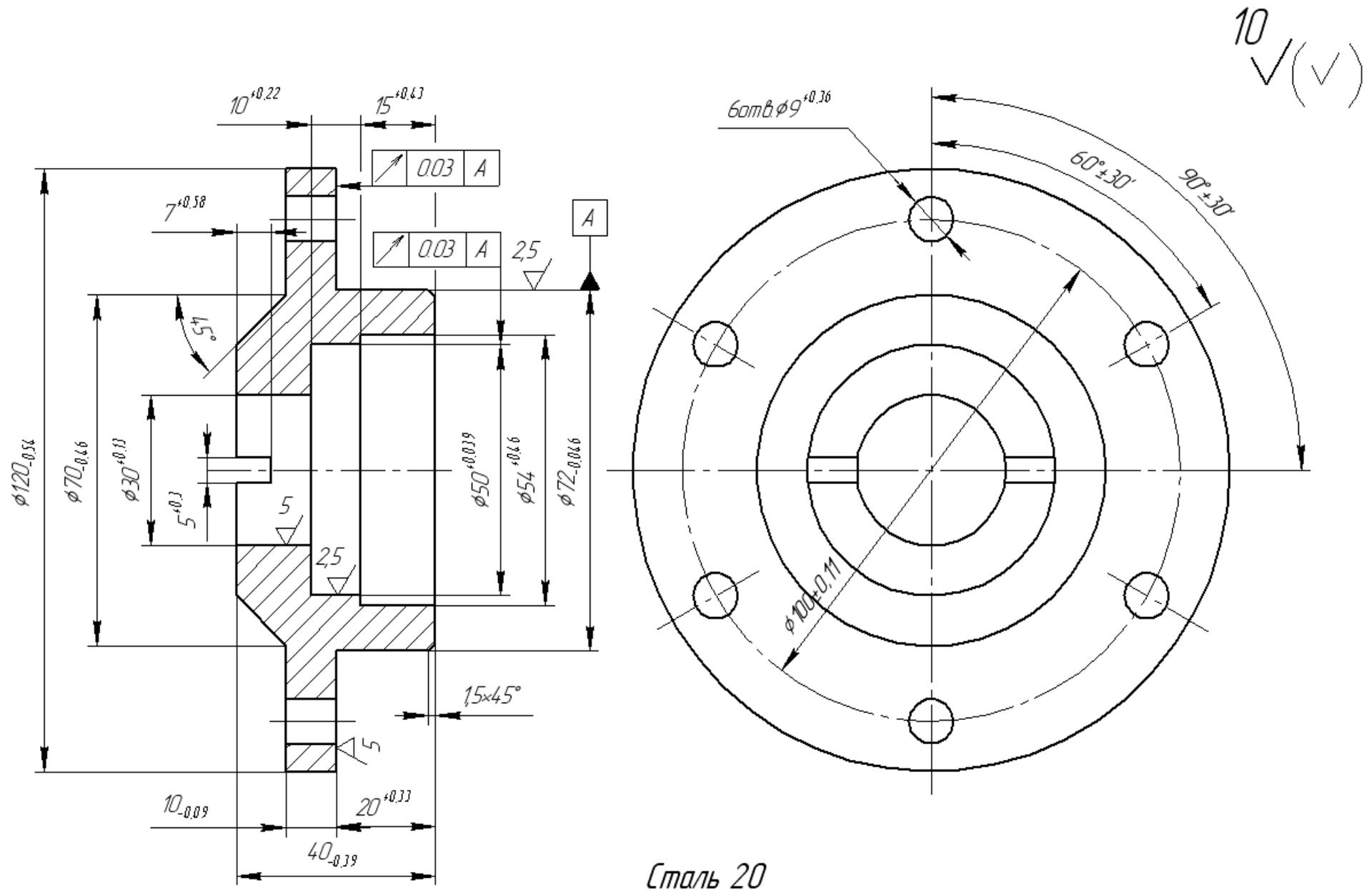


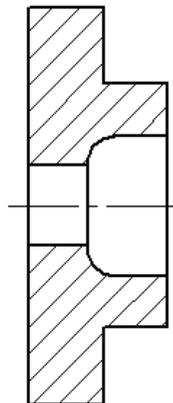
Рис. 4.1.26. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления крышки (среднесерийное производство)



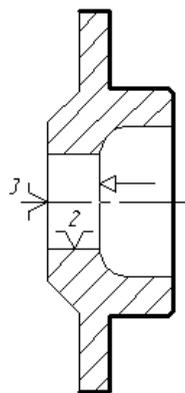
Сталь 20

Рис. 4.1.27. Крышка

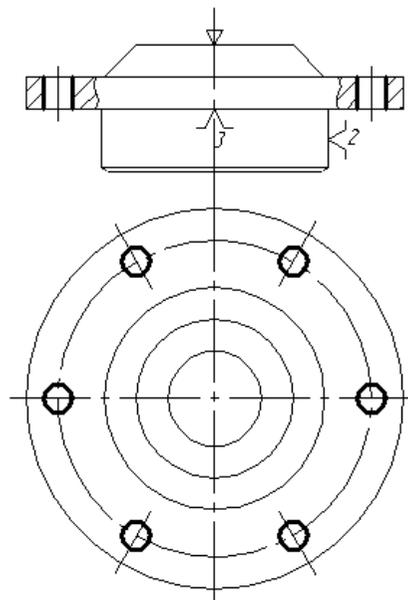
005 Штамповка  
ГКМ



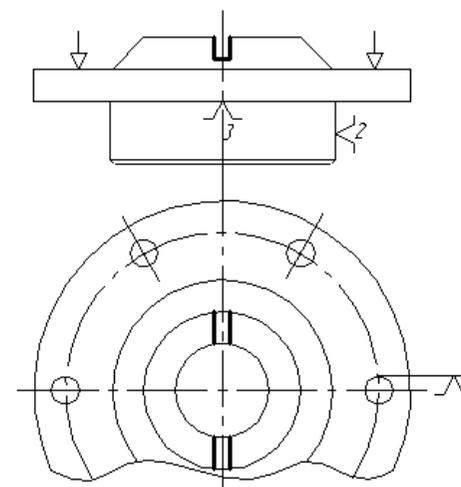
015 Токарная  
Станок 1А720



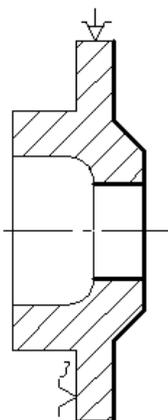
025 Сверлильная  
Станок 2Н135



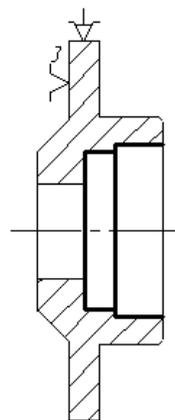
030 Фрезерная  
Станок 6Р80



010 Револьверная  
Станок 1Г34-0ПЦ



020 Револьверная  
Станок 1Г34-0ПЦ



035 Револьверная  
Станок 1П420ПФ30

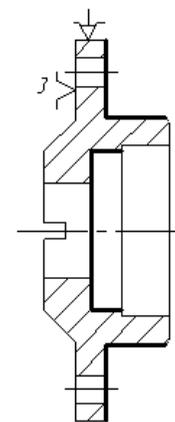
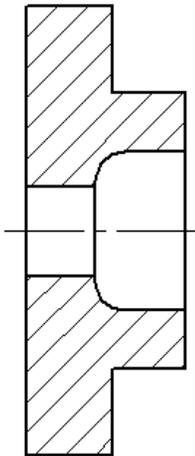
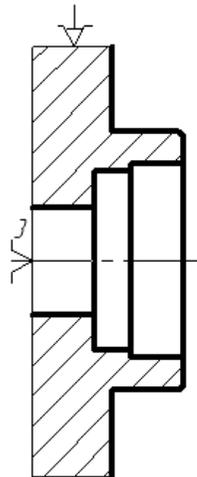


Рис. 4.1.28. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления крышки (массовое производство)

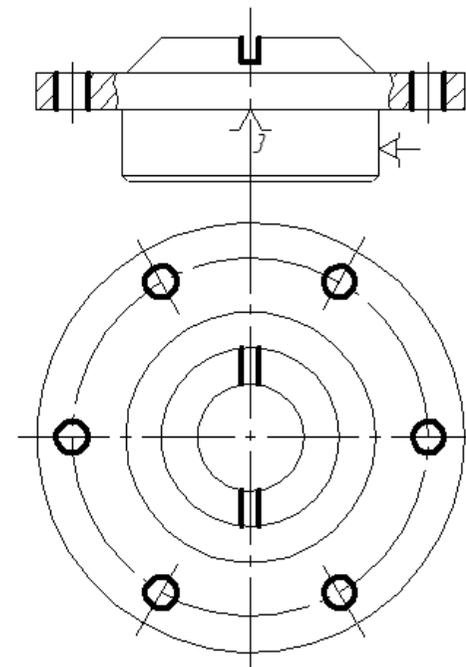
005. Штамповка  
ГКМ



010. Револьверная  
Станок 1Г420ПФ30



020. Сверлильно-фрезерная  
Станок 2254ВМФ4



015. Токарная  
Станок 16К20ФЗ

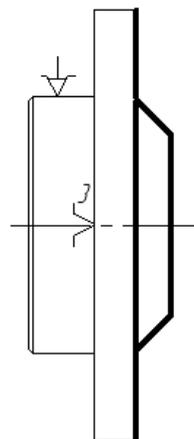
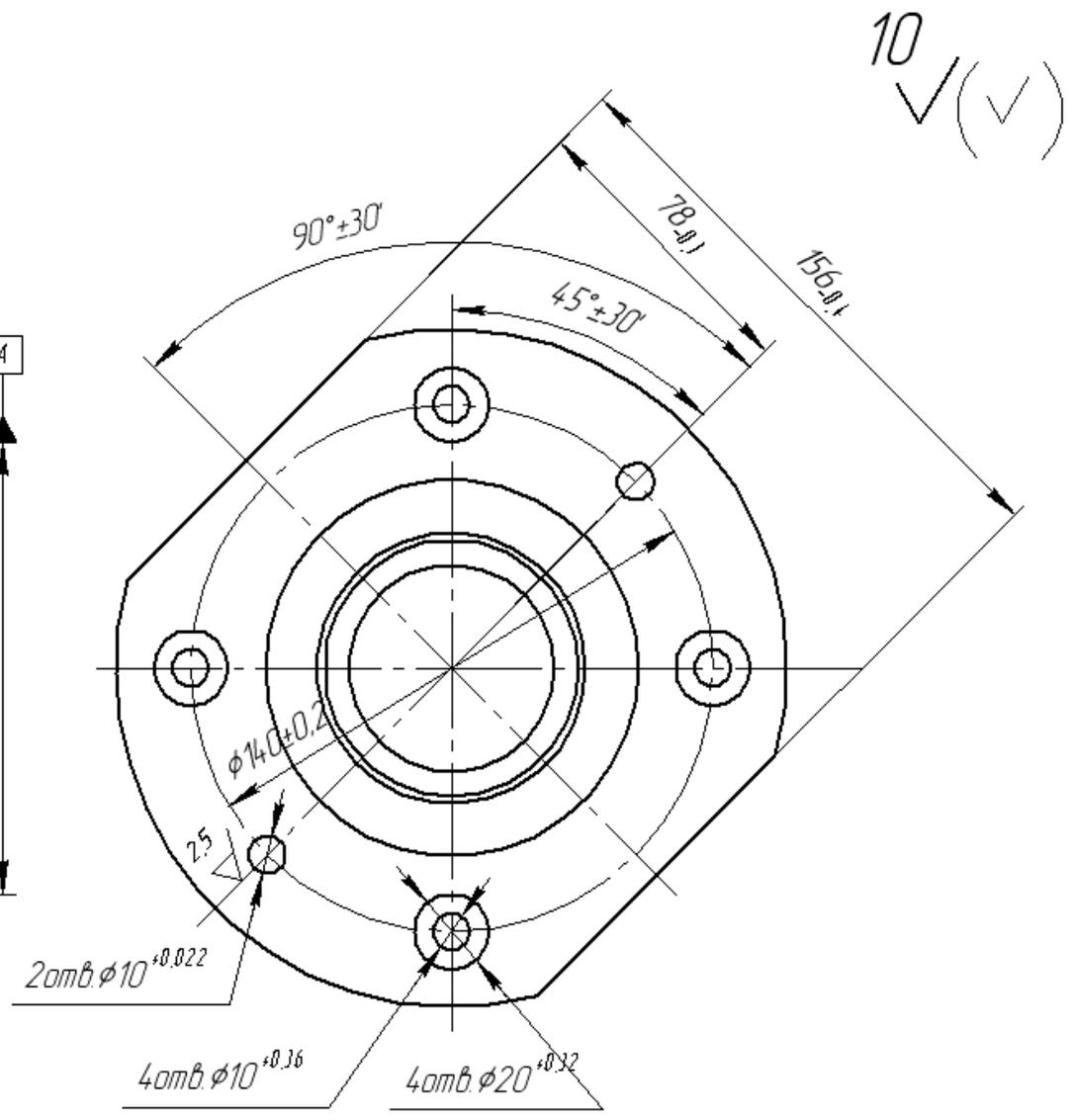
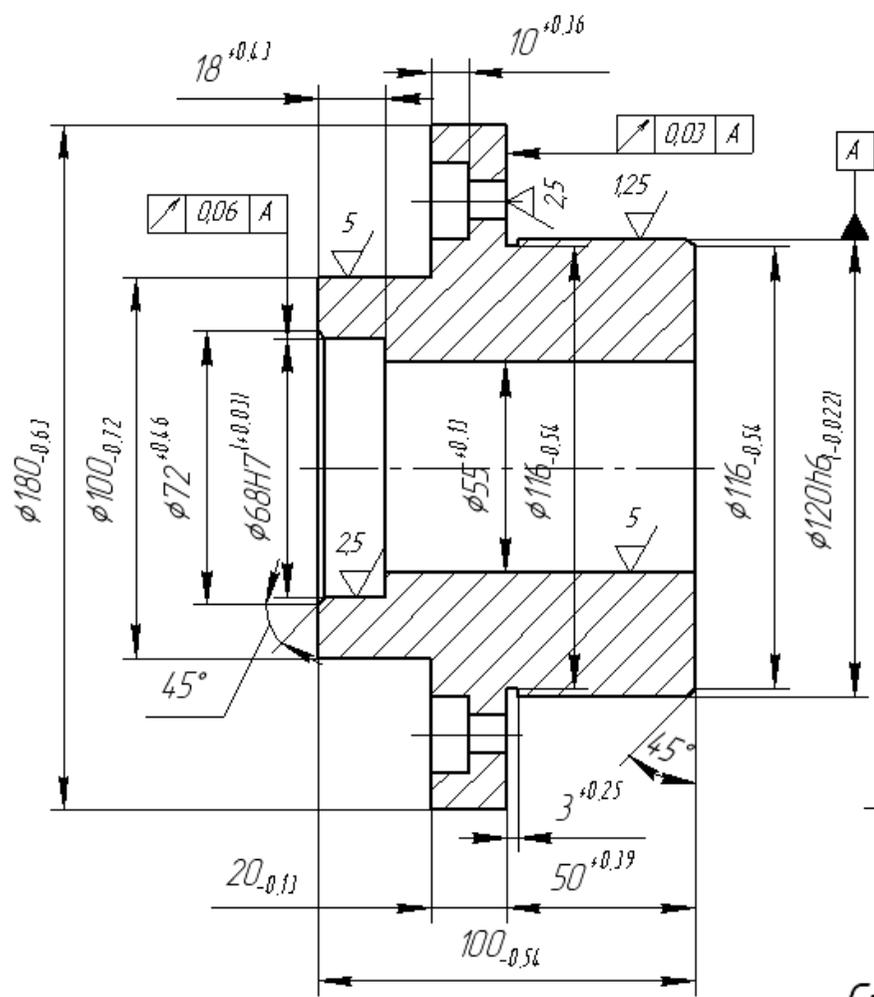


Рис. 4.1.29. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления крышки (среднесерийное производство)



Сталь 45

Рис. 4.1.30. Втулка

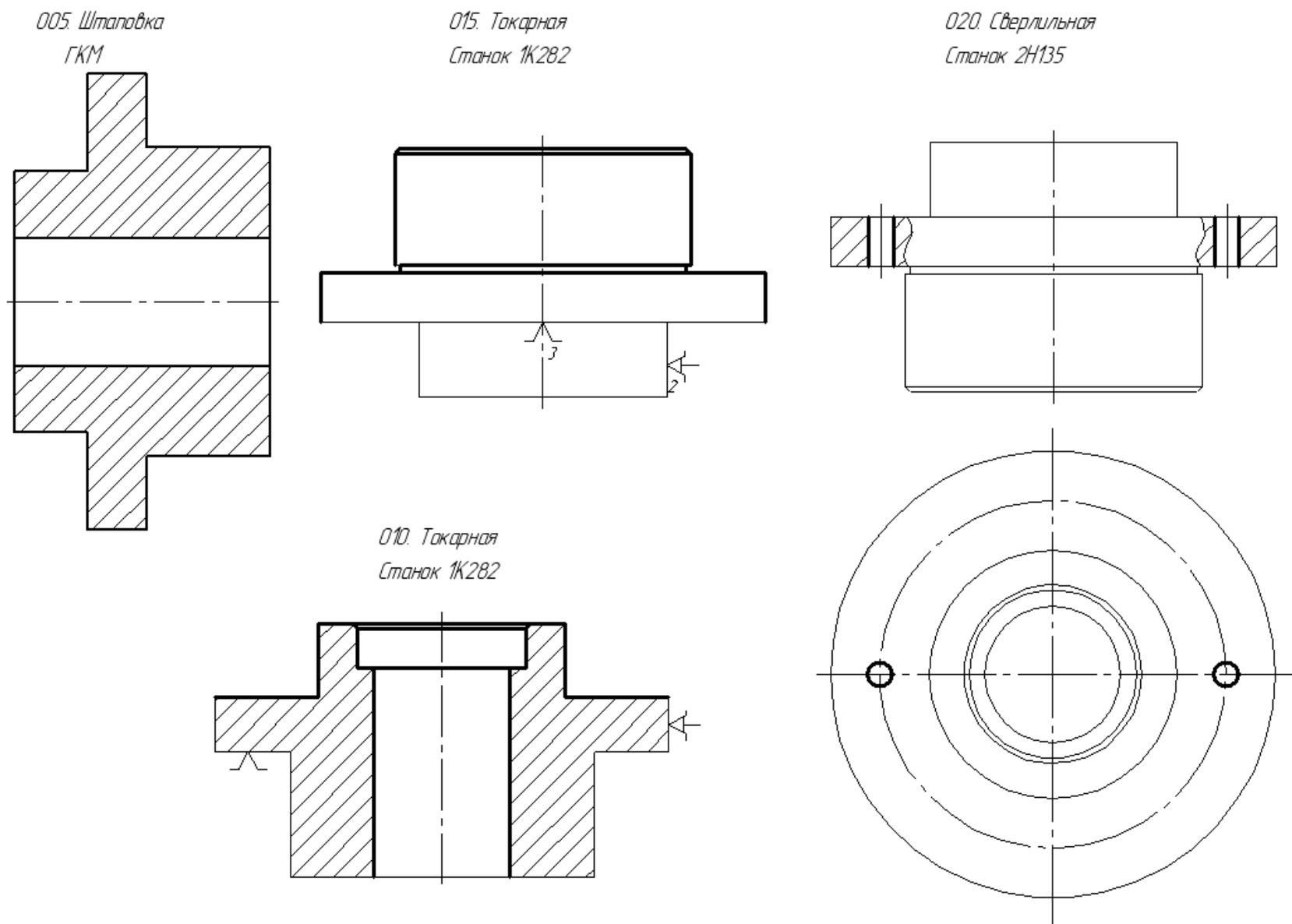


Рис. 4.1.31. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления втулки (крупносерийное производство)

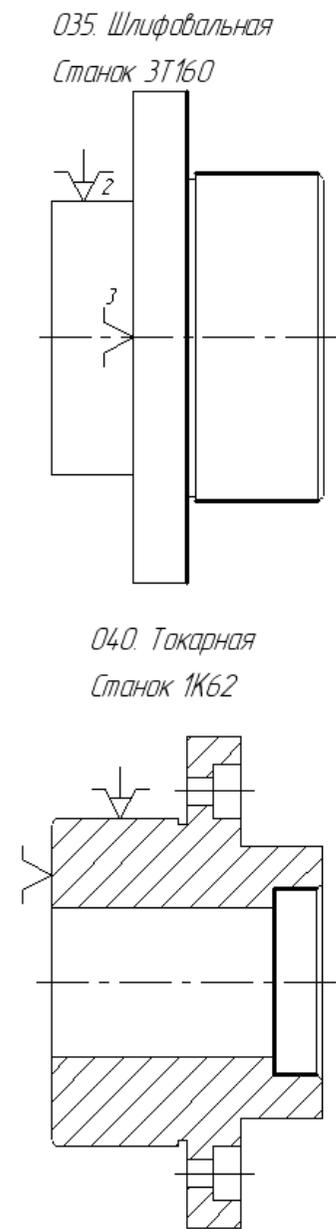
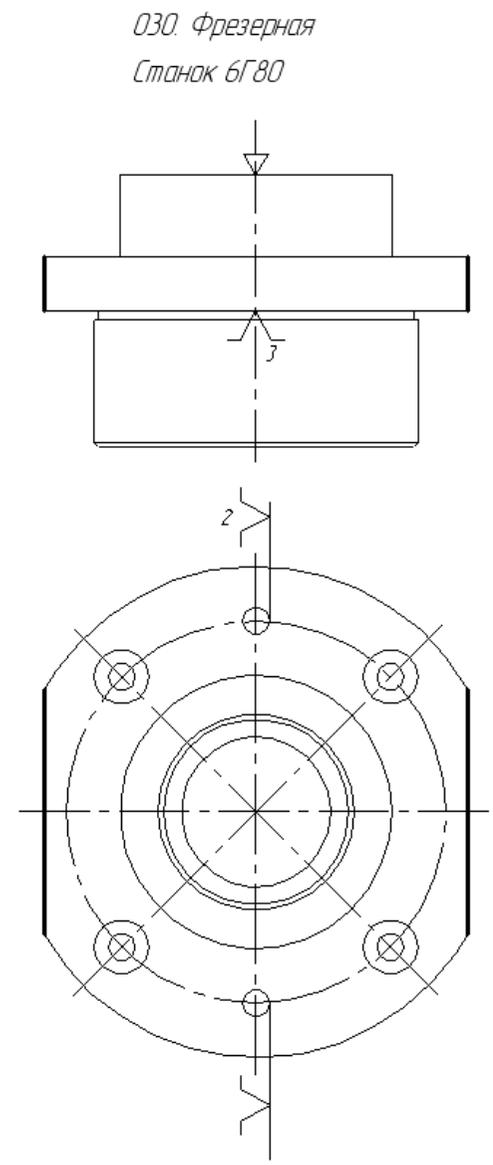
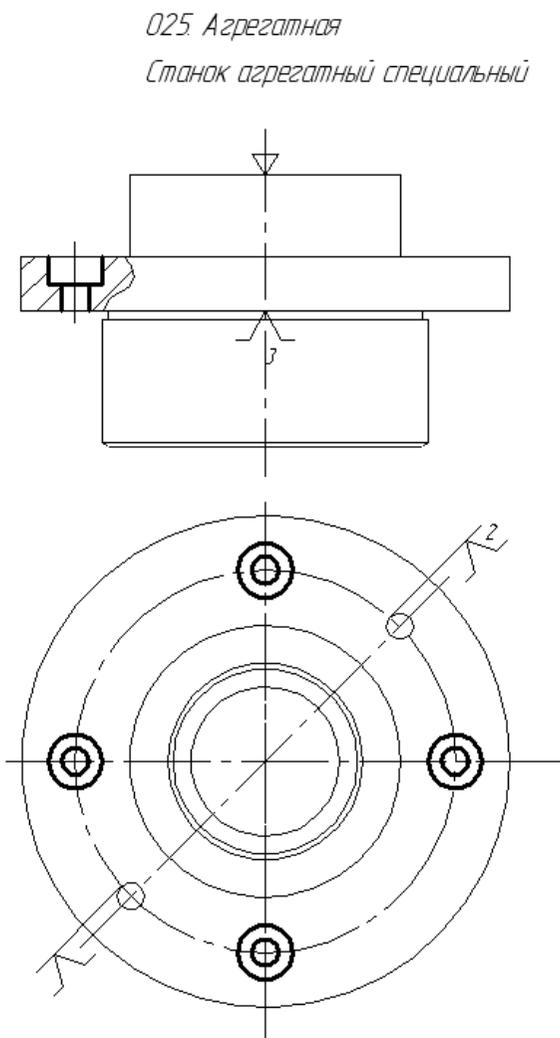
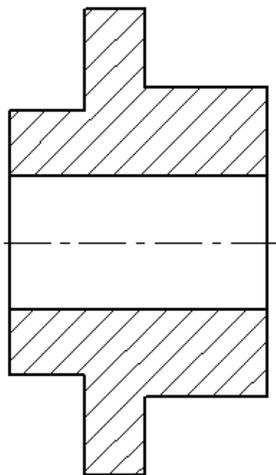
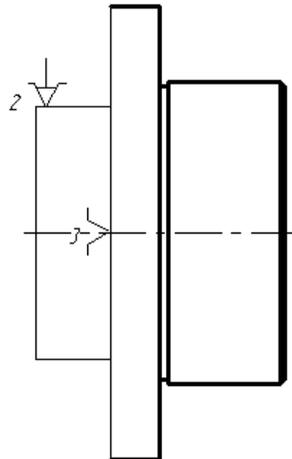


Рис. 4.1.31. (окончание)

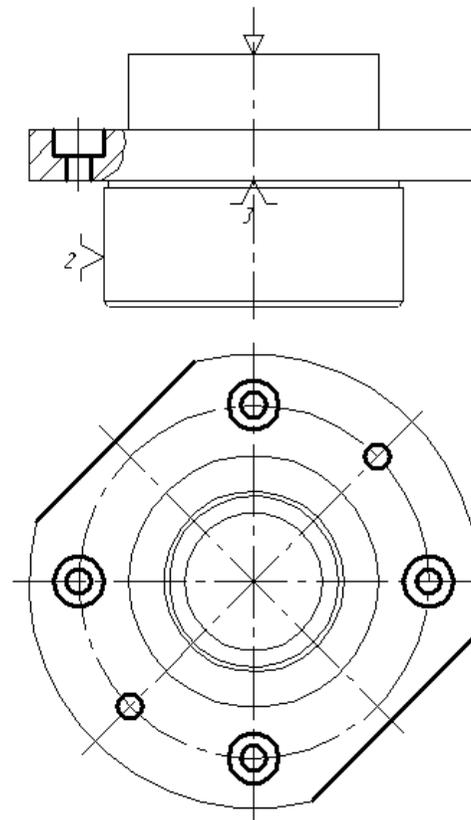
005 Штамповка  
ГКМ



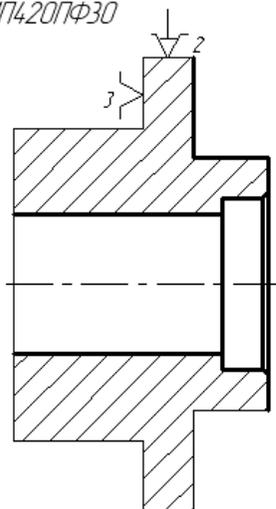
015 Токарная  
Станок 16К20Ф3



020 Сверлильно-фрезерная  
Станок 2254ВМФ4



010 Револьверная  
Станок 1П420ПФ30



025 Шлифовальная  
Станок 3Т160

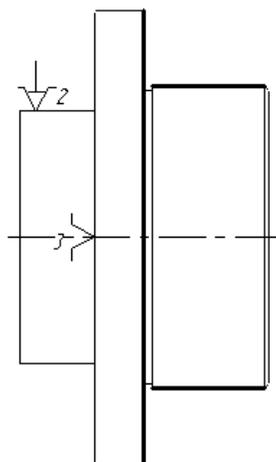


Рис. 4.1.32. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления втулки (среднесерийное производство)

5  
√(✓)

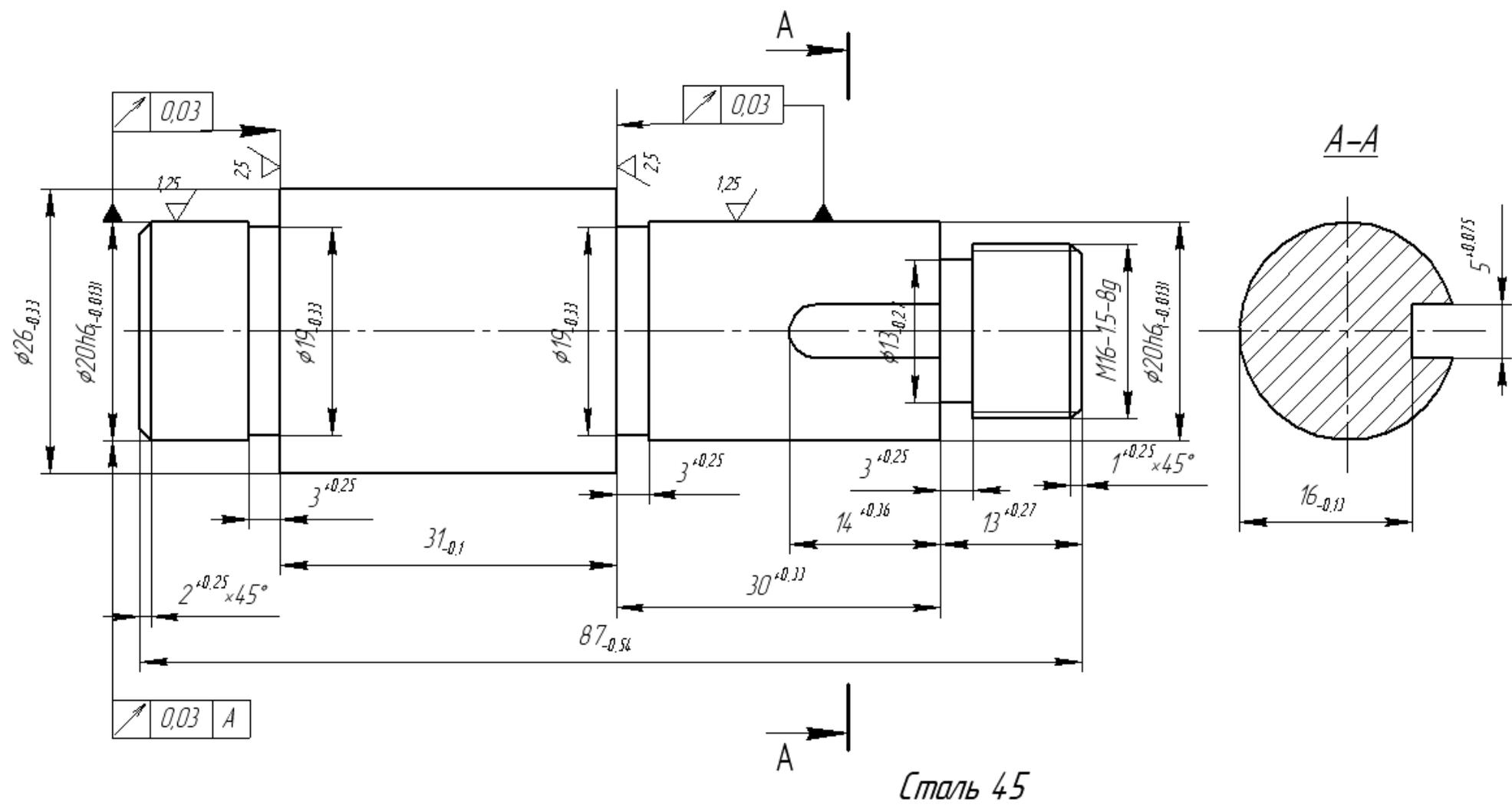


Рис. 4.1.33. Валик

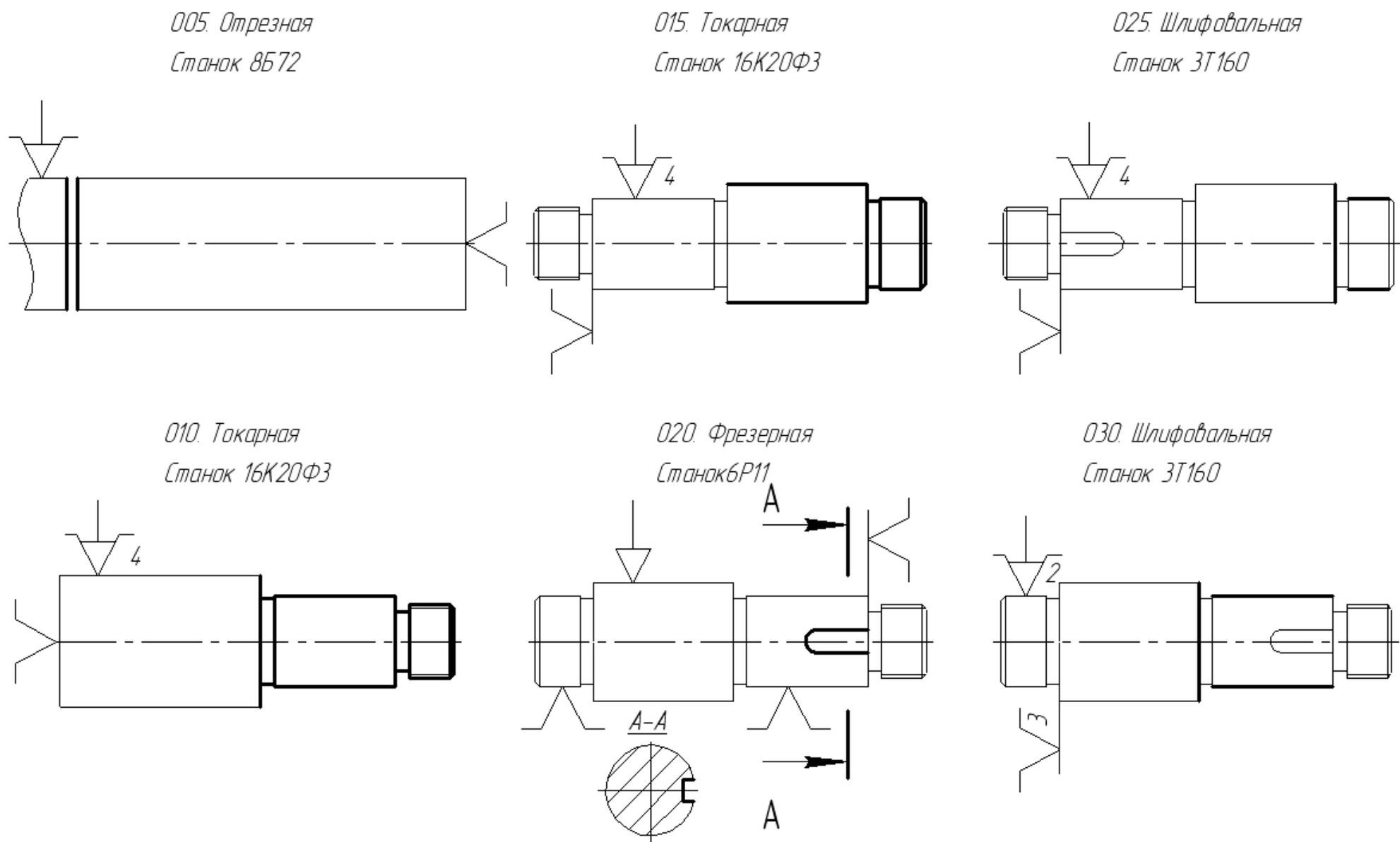
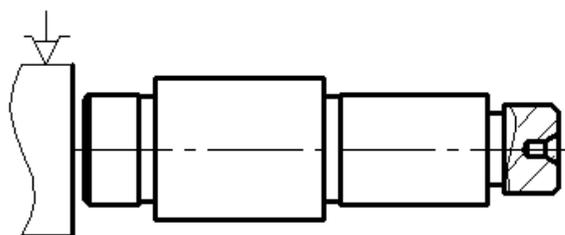
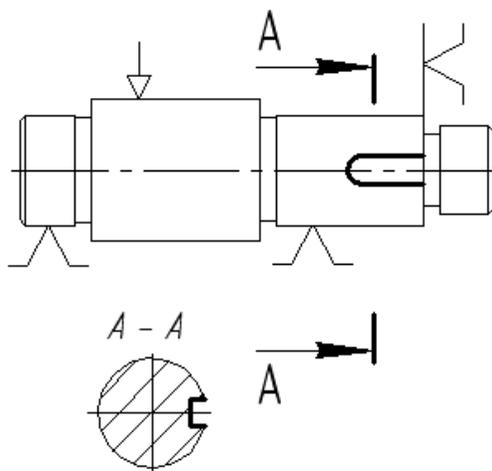


Рис. 4.1.34. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления валика (среднесерийное производство)

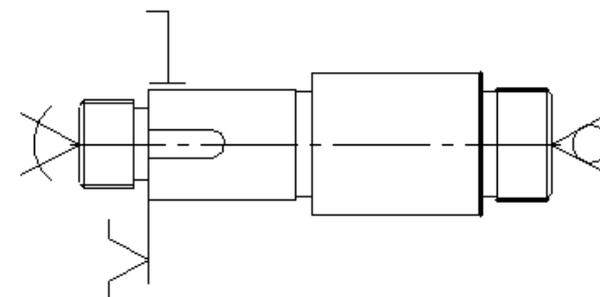
005. Автоматная  
Станок 1Б240-6К



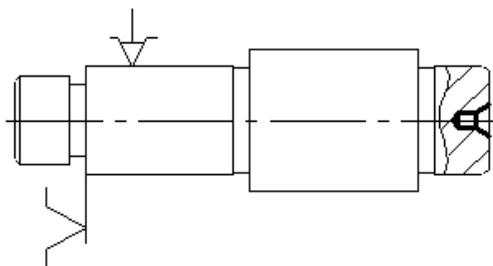
015. Фрезерная  
Станок 6Р11



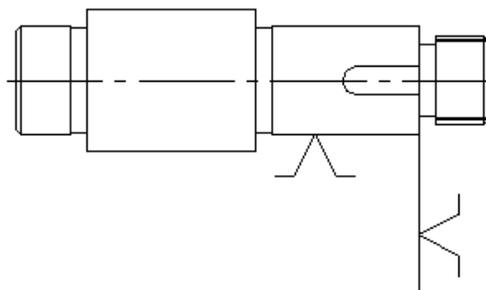
025. шлифовальная  
Станок 3Т160



010. Револьверная  
Станок 11Г340ПЦ



020. Резьбонарезная  
Станок А9518



030. Шлифовальная  
Станок 3Т160

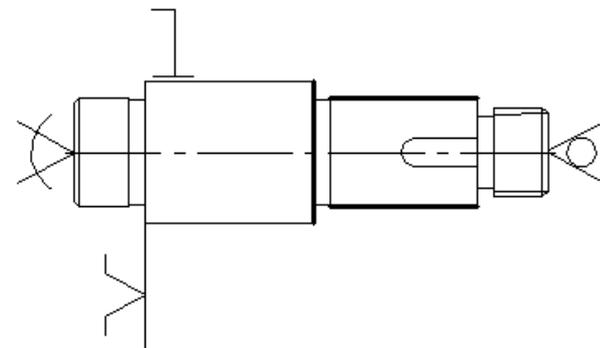


Рис. 4.1.35. Оборудование, схемы базирования и перечень обрабатываемых элементов каждой операции ТП изготовления валика (крупносерийное производство)

## Литература

1. *Маталин, А. А.* Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2008.
2. *Ковшов, А. Н.* Технология машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. Н. Ковшов.– СПб.: Лань, 2008.
3. *Иващенко, И. А.* Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И. А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975.
4. Единая система технологической документации, классификационная группа 1. – М.: Изд-во стандартов, 1974.
5. Методические указания по заполнению технологической документации при выполнении контрольных работ, курсовых и дипломных проектов / Сост. Н.Н. Богородский и др. – Л.: СЗПИ, 1985.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.

#### 4.2.3. Методические указания к выполнению задания №1

Для решения задачи назначения метода сборки следует изучить конструкторские размерные цепи. При выявлении размерных цепей необходимо иметь в виду, что от чёткости формулировки задачи зависит правильность выявленной размерной цепи и поставленную задачу можно решить только единственной правильно построенной размерной цепью. Обычно замыкающим в сборочной размерной цепи является расстояние или относительный поворот поверхностей (или их осей) деталей, относительное положение которых требуется обеспечить.

Составляющими звеньями размерной цепи могут быть либо расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующих замыкающее звено, и основными базами этих деталей, либо расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных конструкторских баз деталей.

Руководствуясь указанными положениями, для выявления размерной цепи следует двигаться от замыкающего звена к основным базам, от них – к основным базам деталей, базирующих первые детали, учитывая отдельными звеньями несовпадения основных и вспомогательных баз и т.д., вплоть до вспомогательных баз базируемой детали сборочной единицы и образования замкнутого контура.

Точность замыкающего звена при сборке может быть достигнута одним из следующих методов: полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью, пригонкой и регулированием.

Наиболее простым надёжным является метод полной взаимозаменяемости, так как сборка в этом случае сводится к простому соединению деталей или сборочных единиц. При этом сумма допусков составляющих звеньев, заданных по

рабочим чертежам, не должна превышать допуск замыкающего звена, т.е. должно удовлетворяться основное уравнение метода расчёта размерных цепей на максимум-минимум

$$T_{\Delta\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \cdot T_{A_i}, \quad (3.1)$$

где  $T_{\Delta\Delta}$  – допуск замыкающего звена;  
 $T_{A_i}$  – допуск составляющего звена;  
 $\xi$  – передаточное отношение, которое в общем случае есть частная производная:  $\xi = \partial\Delta\Delta / \partial A_i$ ; для линейных цепей с параллельными звеньями  $\xi = 1$  для увеличивающих и  $\xi = -1$  – для уменьшающих звеньев;  
 $m$  – общее количество звеньев размерной цепи.

Координата середины поля размера определяется по формуле

$$E_C A_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}, \quad (3.2)$$

где  $ESA_i$ ,  $EIA_i$  – соответственно верхнее и нижнее отклонения размера.

Координата середины поля допуска замыкающего звена связана с координатами середины полей допусков составляющих звеньев следующим уравнением

$$E_C \Delta\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \cdot E_C A_i, \quad (3.3)$$

Тогда

$$ESA_i = E_C A_i + \frac{T_{A_i}}{2}; \quad EIA_i = E_C A_i - \frac{T_{A_i}}{2}. \quad (3.4)$$

Если указанное условие (3.1) не выполняется, полная взаимозаменяемость при заданных допусках невозможна.

Тогда следует проанализировать каждое составляющее звено размерной цепи, рассмотреть при этом, какой детали и сборочной единице оно принадлежит и на каких технологических операциях при обработке обеспечивается заданная точность звена. Если применяемые методы обработки имеют резерв точности и возможно выдержать более высокую точность без существенного усложнения и удорожания технологического процесса, технолог устанавливает технологически более жёсткие допуски на составляющие звенья и заново рассчитывает размерную цепь с целью обеспечения полной взаимозаменяемости при сборке, внося соответствующие изменения в рабочие чертежи.

В многозвенных размерных цепях при высоких требованиях к точности замыкающего звена метод полной взаимозаменяемости может оказаться нерентабельным ввиду слишком жёстких допусков на составляющие звенья и трудности, а иногда и невозможности их обеспечения при обработке. В этом случае может быть применён метод неполной взаимозаменяемости. При проверке возможности осуществления сборки этим методом предусматривается некоторый экономически допустимый процент риска получения брака, а допуск замыкающего звена рассчитывается по формуле:

$$T\Delta = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot \lambda_i^2 \cdot T A_i^2} \quad (3.5)$$

где  $t$  – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска и равный: 1 – при проценте риска 32; 1,65 – при проценте риска 10; 2 – при проценте риска 4,5; 3 – при проценте риска 0,27 и т.д.;

$\lambda_i$  – коэффициент относительного рассеяния. Для закона нормального распределения  $\lambda_i^2 = 1/9$ , для закона равной вероятности  $\lambda_i^2 = 1/3$ , для закона Симпсона  $\lambda_i^2 = 1/6$ .

Сборка по методу групповой взаимозаменяемости применяется, как правило, при наличии в сборочной единице короткой размерной цепи типа «отверстие-вал-зазор», если полная взаимозаменяемость невозможна по техническим или экономическим причинам. Замыкающим звеном в таких случаях является зазор, регламентированный на основе эксплуатационных требований. При осуществлении метода сначала рассчитывается средняя величина допуска составляющих звеньев размерной цепи по формуле:

$$T A_i^{CP} = \frac{T A}{m-1} \quad (3.6)$$

Затем, исходя из возможности экономически целесообразного достижения точности, устанавливается средняя величина производственного допуска путём увеличения расчётного в  $n$  раз

$$T A_i^{IP} = n \cdot T A_i^{CP} \quad (3.7)$$

Ориентируясь на это значение, устанавливают производственные допуски составляющих звеньев, которые состоят из  $n$  обычно равных по величине групповых полей.

При использовании методов пригонки или регулирования в конструкцию изделия вводится специальная деталь – компенсатор, размеры которого могут изменяться при сборке путём удаления слоя металла пригонкой или регулироваться при сборке (с помощью винтовой пары, наборы прокладок и т.п.).

Наибольшая возможная компенсация  $\delta_K$  и величина поправки  $\Delta_K$  к значению координаты середины поля допуска компенсирующего звена при методе пригонки определяются по формулам

$$\delta_K = T A' \Delta - T \Delta, \quad (3.8)$$

$$\Delta_K = \delta_K / 2 + E_C A' \Delta - E_C \Delta, \quad (3.9)$$

где  $T A' \Delta$ ,  $E_C A' \Delta$  – допуск и координата середины поля допуска замыкающего звена, получаемые по методу полной взаимозаменяемости;

$T \Delta$ ,  $E_C \Delta$  – допуск и координата середины поля допуска замыкающего звена, определяемые служебным назначением или поставленной задачей.

При методе регулирования используются следующие формулы:

Число ступеней компенсатора

$$N = \delta_K / (T \Delta - T A_K) \quad (3.10)$$

где  $TA_K$  – допуск на изготовление компенсатора.

Величина поправки к значению координаты середины поля допуска компенсирующего звена при условии совмещения нижних границ допусков замыкающих звеньев

$$\Delta_K = \delta_K / 2 - E_C A' \Delta + E_C A \Delta. \quad (3.11)$$

При определении величины  $E_C A' \Delta$  следует применять координату середины поля допуска компенсирующего звена равной нулю. Величина  $E_C A_K$  определяется по формуле:

$$E_C A_K = 0 \pm \Delta_K. \quad (3.12)$$

Здесь знак плюс применяется, если компенсирующее звено увеличивающее, а минус – если оно уменьшающее.

Величина ступени компенсации

$$C = T A \Delta - \Delta T A_K. \quad (3.13)$$

Используя указанные выше зависимости, проводят необходимые расчёты при назначении метода сборки.

### Пример выполнения задания №1

Задание: установить метод сборки механизма, чертёж которого представлен на рис. 4.1.36, в условиях среднесерийного производства. При использовании метода регулирования или пригонки рассчитать компенсирующее звено.

На основе структуры размеров, представленных на рис. 4.1.36, построим размерную схему, в которой выделим составляющее и замыкающее звенья. В качестве замыкающего звена примем торцевой зазор между втулкой и зубчатым колесом. При построении размерной схемы следует учитывать, что одним из составляющих звеньев является торцевое биение зубчатого колеса, так как в механизме вращается колесо на валу, а сам вал с закреплённой втулкой не вращается. Размерная схема представлена на рис. 4.1.37.

Составим уравнение размерной цепи

$$A \Delta = -A_3 + A_2 - A_1 - A_4$$

В этом уравнении звенья имеют следующие значения:

$$A \Delta = 1^{+0,2} \text{ мм}; T A \Delta = 0,2 \text{ мм}; E_C A \Delta = 0,1 \text{ мм};$$

$$A_1 = 60_{-0,3} \text{ мм}; T A_1 = 0,3 \text{ мм}; E_C A_1 = -0,15 \text{ мм};$$

$$A_2 = 85^{+0,35} \text{ мм}; T A_2 = 0,35 \text{ мм}; E_C A_2 = 0,175 \text{ мм};$$

$$A_3 = 24_{-0,052} \text{ мм}; T A_3 = 0,052 \text{ мм}; E_C A_3 = -0,026 \text{ мм};$$

$$A_4 = 0 \pm 0,02 \text{ мм}; T A_4 = 0,04 \text{ мм}; E_C A_4 = 0 \text{ мм}.$$

Определим допуск замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости по формуле (3.1) и координату середины поля допуска по формуле (3.3)

$$T A' \Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \cdot T A_i = 0,3 + 0,35 + 0,052 + 0,04 = 0,742 \text{ мм};$$

$$E_C A' \Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \xi \cdot E_C A_i = -(-0,26) + 0,175 - (-0,15) - 0 = 0,351 \text{ мм.}$$

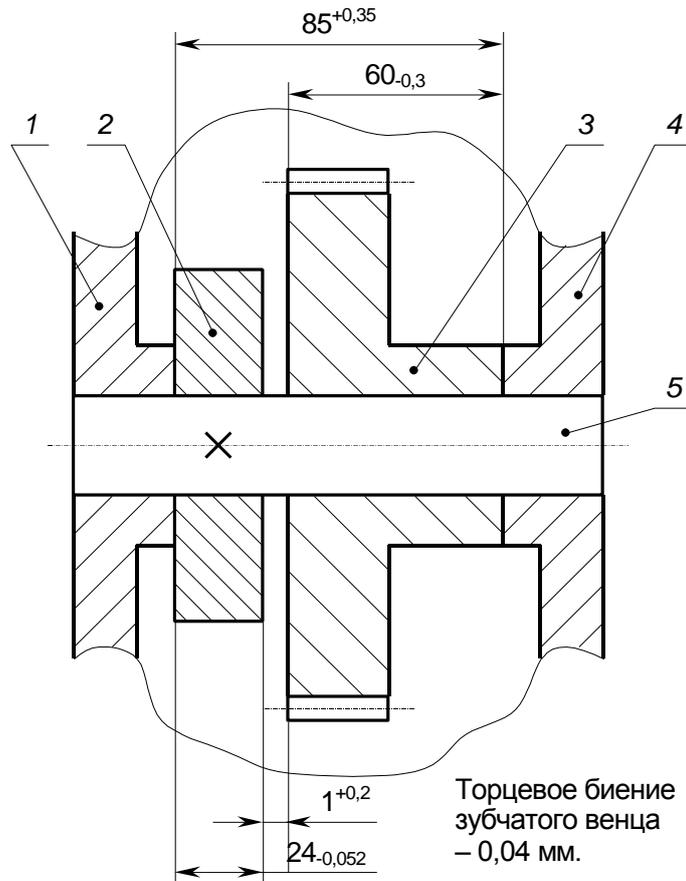


Рис. 4.1.36. Часть сборочного чертежа (упрощенно):  
 1 – стойка левая; 2 – втулка;  
 3 – колесо зубчатое; 4 – стойка правая; 5 – вал

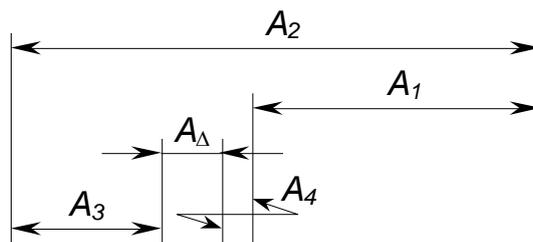


Рис. 4.1.37. Размерная схема

Так как  $TA' \Delta = 0,742 \text{ мм} > T \Delta \Delta = 0,2 \text{ мм}$  полная взаимозаменяемость при заданных допусках составляющих звеньев не обеспечивается. Чтобы осуществить метод полной взаимозаменяемости, нужно уменьшить сумму допусков составляющих звеньев. Для этого технологически уменьшим допуски составляющих звеньев, но не увеличивая стоимость обработки.

Допуск размера  $A_1$  задан по 12 качеству, что, согласно [6], соответствует черновому или получистовому точению. Ужесточим допуск до 11 качества, что

не увеличивает стоимость обработки, так как 11 квалитет является нижней границей полноточивого точения. Тогда допуск размера  $A_1$  станет равным  $TA_1 = 0,19\text{мм}$ .

Аналогично ужесточим допуски размеров  $A_2$  и  $A_3$  соответственно до 11 и 8 квалитетов:  $TA_2 = 0,29\text{мм}$  и  $TA_3 = 0,033\text{мм}$ .

Тогда допуск замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости будет равен

$$TA'\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \cdot TA = 0,19 + 0,29 + 0,033 + 0,04 = 0,533\text{мм}$$

Так как  $0,533 > 0,2$ , то и в этом случае полная взаимозаменяемость не обеспечивается.

Проверим возможность обеспечения точности замыкающего звена по методу неполной взаимозаменяемости. Принимаем риск получения брака  $P = 0,27\%$ , тогда коэффициент  $t = 3$  [1]. Так как детали обрабатываются на настроенных станках и распределение размеров подчиняется закону Гаусса, принимаем  $\lambda_i^2 = 1/9$ . Тогда допуск замыкающего звена определится по формуле 3.5

$$TA\Delta = 3\sqrt{1/9 \cdot (0,35^2 + 0,3^2 + 0,052^2 + 0,04^2)} = 0,465\text{мм}.$$

Так как  $0,465 > 0,2$ , то и неполная взаимозаменяемость при заданных допусках составляющих звеньев не обеспечивается.

Проверим возможность использования неполной взаимозаменяемости при условии принятого выше технологического ужесточения допусков составляющих звеньев. Тогда допуск замыкающего звена будет равен

$$TA\Delta = 3\sqrt{1/9 \cdot (0,19^2 + 0,29^2 + 0,33^2 + 0,04^2)} = 0,28\text{мм}.$$

Так как  $0,28 > 0,2$ , то и при условии ужесточения допусков метод неполной взаимозаменяемости не обеспечивается.

Согласно [1], в заданных условиях среднесерийного производства при невозможности метода полной или неполной взаимозаменяемости наиболее экономичным является метод регулирования, который и примем для данного случая.

В качестве компенсатора примем деталь №2 – втулка ( $A_{3K}$ ), имеющая размер 24 мм и допуск  $TA_{3K} = 0,052\text{мм}$ .

Требуется определить число ступеней компенсатора и предельные отклонения размера каждой ступени.

Наибольшая величина возможной компенсации

$$\delta_K = TA'\Delta - TA\Delta = 0,742 - 0,2 = 0,542\text{мм}.$$

Число ступеней компенсатора определим по формуле (3.10)

$$N = \delta_K / (TA\Delta - TA_{3K}) = \frac{0,542}{0,2 - 0,052} = 3,66 \approx 4.$$

Определим координату середины расширенного поля допуска замыкающего звена, условно принимая координату середины поля допуска компенсирующего звена  $E_C A_{3K} = 0$

$$E_C A'\Delta = -(-0,15) + 0,175 - 0 - 0 = 0,325\text{мм}.$$

Поправку к координате середины поля допуска компенсирующего звена определим по формуле (3.12)

$$\Delta_K = \frac{\delta_K}{2} - E_C A' \Delta + E_C A \Delta = \frac{0,542}{2} - 0,325 + 0,1 = 0,046 \text{ мм.}$$

Так как компенсирующее звено является уменьшающим, поправку учитываем с обратным знаком. Поэтому координата середины поля допуска первой ступени компенсирующего звена

$$E_C A_K^I = 0 - 0,046 = -0,046 \text{ мм.}$$

Координаты середины полей допусков каждой последующей ступени будут отличаться от координат середины полей допусков предшествующей ступени на величину ступени компенсации, определяемой по формуле (3.13)

$$C = T A \Delta - T A_K = 0,2 - 0,052 = 0,148 \text{ мм.}$$

Тогда:

$$E_C A_K^{II} = E_C A_K^I + C = -0,046 + 0,148 = 0,102 \text{ мм;}$$

$$E_C A_K^{III} = E_C A_K^I + 2C = -0,046 + 2 \cdot 0,148 = 0,25 \text{ мм;}$$

$$E_C A_K^{IV} = E_C A_K^I + 3C = -0,046 + 3 \cdot 0,148 = 0,398 \text{ мм.}$$

Используя формулы (3.4), рассчитаем отклонения компенсаторов. Так, например, для первой ступени компенсатора

$$E S A_{3K} = E_C A_{3K} + \frac{T A}{2} = (-0,046) + \frac{0,052}{2} = -0,02 \text{ мм;}$$

$$E I A_{3K} = E_C A_{3K} - \frac{T A}{2} = (-0,046) - \frac{0,052}{2} = -0,072 \text{ мм.}$$

Аналогично рассчитываются отклонения для других ступеней компенсаторов.

В результате проведенных расчётов для сборки механизма принят метод достижения точности – метод регулирования с помощью четырёх компенсаторов, имеющих следующие размеры:

$$I \text{ ступень} - 24_{-0,072}^{-0,02}; \quad II - 24_{+0,076}^{+0,128}; \quad III - 24_{+0,224}^{+0,276}; \quad IV - 24_{+0,372}^{+0,424}.$$

#### 4.1.4. Методические указания к выполнению задания №2

При выполнении задания необходимо последовательно решить следующие задачи:

- на основе анализа представленных эскизов операций технологического процесса и применяемого оборудования назначить планы обработки каждой поверхности;
- назначить структуру операционных технологических размеров и требований взаимного расположения поверхностей;
- заполнить маршрутную карту, вычертить операционные эскизы.

На этапе назначения планов обработки поверхностей детали необходимо, прежде всего выбрать методы и способы окончательной и предварительной обработки каждой поверхности с учётом принятого способа производства заготовки и экономической точности способов обработки. Данные по точности и

качеству поверхностей, обработанных при разных способах и видах обработки, приведены в [16, т. 1, с. 6...19].

После определения методов и способов окончательной и предварительной обработки поверхностей детали назначают планы (маршруты) обработки каждой поверхности при переводе её из состояния исходной заготовки в состояние готовой детали.

На основе большого статистического материала и технико-экономических обоснований установлены соотношения, определяющие точностные и качественные параметры поверхностей на предшествующем этапе обработки, которые необходимы для наиболее экономичного получения заданной точности и шероховатости на выполняемом этапе обработки. Эти данные представлены в табл. 4.1.2, которой необходимо руководствоваться при назначении планов обработки.

Таблица 4.1.2

**Точность и шероховатость при обработке поверхностей на выполняемом и предшествующем этапе обработки**

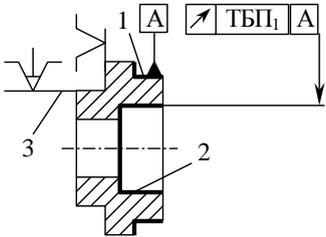
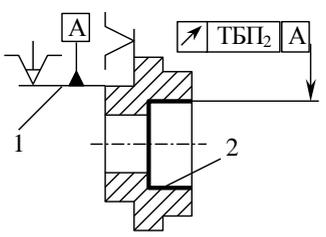
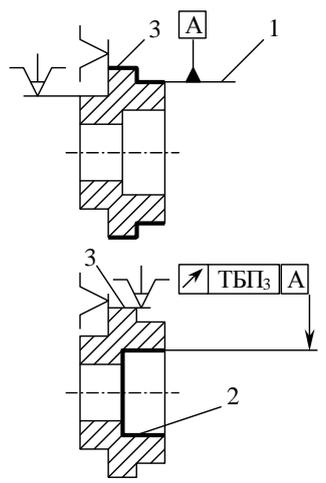
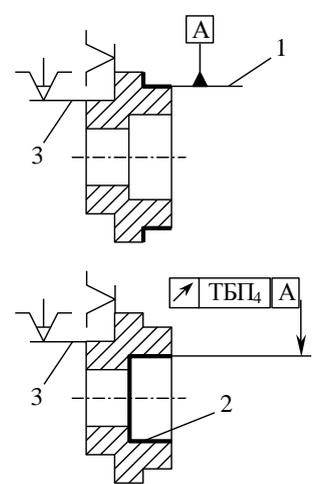
Квалитет точности обработки				Шероховатость	
Наружные поверхности		Внутренние поверхности		На выполняемом этапе, Ra, мкм	На предшествующем этапе, Ra, мкм
На выполняемом этапе	На предшествующем этапе	На выполняемом этапе	На предшествующем этапе		
5	<8	5	<8	0,16	<0,63
6	<10	6	<9	0,32	<1,25
7	<11	7	<10	0,63	<2,5
8...9	<12	8...9	<11	1,25	<5
10	<13	10	<13	2,5	<10
11	>14	11	>14	5	<20

Для деталей типа тел вращения на этапе разработки и описания маршрута ТП определяют типы и классы точности применяемых приспособлений, реализующих принятые схемы установки и закрепления заготовки. При необходимости проводят корректировку точности базовых элементов вращения, так как точность базовых поверхностей влияет на величину погрешности установки заготовки и на возможность обеспечения заданных требований взаимного расположения поверхностей вращения.

При этом для различных схем обеспечения ТВР между обработанными поверхностями при их окончательной обработке (табл. 4.1.3) можно рассчитать ориентировочный коэффициент  $a$  (табл. 4.1.4), который позволит определить тип приспособления и класс его точности для чистовых операций ТП из условия обеспечения заданных ТВР.

В табл. 4.1.5 представлены интервалы изменения коэффициента  $a$  и рекомендуемые типы приспособлений необходимого класса точности (Н – нормальной, П – повышенной, В – высокой).

**Схемы обеспечения требований взаимного расположения поверхностей при их окончательной обработке**

№ схе- мы	Описание схемы	Эскизы	Примечание
1	2	3	4
1	Окончательная обработка поверхностей (1 и 2), имеющих ТВР, при одной установке (за одну операцию). В качестве базы служит обработанная поверхность (3).		На обеспечение ТВР влияют остаточные биения обработанных поверхностей (1 и 2).
2	Окончательная обработка поверхности (2) при базировании по другой окончательно обработанной поверхности (1), имеющей ТВР с рассматриваемой.		На обеспечение ТВР влияют погрешность установки заготовки (по поверхности 1) и остаточное биение обработанной поверхности (2).
3	Окончательная обработка поверхностей (1 и 2), имеющих ТВР, в разных операциях. При обработке второй поверхности в качестве базы принимается поверхность (3), которая была обработана за одну установку с первой поверхностью на предшествующей операции.		На обеспечение ТВР влияют погрешность установки заготовки (по поверхности 3) на второй операции и остаточные биения обработанных поверхностей (1, 3 и 2).
4	Окончательная обработка поверхностей (1 и 2), имеющих ТВР, в разных операциях при базировании по одной и той же поверхности (3).		На обеспечение ТВР влияют погрешности установки заготовки (по поверхности 3) на первой и второй операциях и остаточные биения обработанных поверхностей (1 и 2).

**Формулы для расчета коэффициента  $a$** 

№ схемы	$\psi = 1,2$		$\psi = 1,0$	
	$ТБПО = 0,1КБП$	$ТБПО = 0,15КБП$	$ТБПО = 0,1КБП$	$ТБПО = 0,15КБП$
2	$a = \frac{0,9КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,9КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,99КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,98КБП}{2\sqrt{IT_D}}$
3	$a = \frac{0,89КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,87КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,98КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,96КБП}{2\sqrt{IT_D}}$
4	$a = \frac{0,63КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,62КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,7КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,69КБП}{2\sqrt{IT_D}}$

Примечание:  $ТБПО$  – остаточное биение обработанной поверхности;  
 $КБП$  – биение поверхностей, заданное конструктором;  
 $IT_D$  – допуск на диаметр базовой поверхности.

Таблица 4.1.5

**Типы приспособлений и необходимые классы их точности  
в зависимости от величины коэффициента  $a$** 

Интервал значений коэффициента $a$	Применяемое приспособление
1	2
]0; 0,04[	Любое приспособление класса П, реализующее принятую на операции схему базирования с выверкой по базовому диаметру.
[0,04; 0,06[	Мембранный патрон (оправка). Оправка (патрон) с гидропластом. Любое другое приспособление класса П, реализующее принятую на операции схему базирования с выверкой по базовому диаметру.
[0,06; 0,08[	Цанговый патрон (оправка) класса В. Трехкулачковый патрон (плунжерная оправка) класса П с выверкой по базовому диаметру.
[0,08; 0,09[	Цанговый патрон (оправка) класса В. Трехкулачковый патрон класса В. Плунжерная оправка класса В.
[0,09; 0,11[	Трехкулачковый патрон класса В. Плунжерная оправка класса В. Цанговый патрон (оправка) класса П.
[0,11; 0,12[	Цанговый патрон (оправка) класса П. Трехкулачковый патрон класса П. Плунжерная оправка класса П.

1	2
[0,12; 0,17[	Трехкулачковый патрон класса П. Плунжерная оправка класса П. Цанговый патрон (оправка) класса Н.
[0,17; и >[	Цанговый патрон (оправка) класса Н. Трехкулачковый патрон класса Н. Плунжерная оправка класса Н.

Использование приспособлений должно надежно обеспечивать выполнение конструкторских требований взаимного расположения поверхностей. Поэтому в первую очередь необходимо рассчитывать коэффициент  $a$  при  $\psi = 1,2$ . Если он получается меньше 0,04, то необходимо повторить расчет коэффициента  $a$  при  $\psi = 1,0$ . Если и в этом случае он получается меньше 0,04, то действительно без выверки не обойтись.

Если коэффициент  $a$  получается в интервале [0,06; 0,08[ ближе к 0,08 и нет технической возможности использовать на операции цанговый патрон (оправку) класса В, то необходимо повторить расчет коэффициента  $a$  при  $\psi = 1,0$ . Если в этом случае  $a < 0,08$ , то необходимо использовать трехкулачковый патрон класса П с выверкой по базовому диаметру.

Для операций предварительной обработки заготовки класс точности приспособлений целесообразно определять исходя из точности базовых поверхностей. При этом можно воспользоваться следующими рекомендациями: если база черновая или предварительно обработанная по 14 или 13 квалитету, то класс точности приспособления «Н»; если база чистовая или предварительно обработанная с точностью менее 13 квалитета, то класс точности приспособления «П» или «В».

На этапе назначения структуры операционных размеров внутри каждого операционного комплекса задача решается отдельно для элементов вращения и плоскостей (осей).

При назначении геометрических связей для элементов вращения указывают:

- диаметр и отклонения, если элемент выполняется на операционном комплексе окончательно;
- квалитет точности размера, если элемент выполняется на операционном комплексе предварительно;
- структуру требований взаимного расположения на выходе с каждого операционного комплекса (по необходимости).

Наиболее сложной задачей является назначение геометрических связей между плоскостями (осями), т.е. простановка операционных линейных размеров.

Наиболее рациональной системой простановки операционных технологических линейных размеров является система, построенная при соблюдении основных правил базирования: правила совмещения баз и правила постоянства баз.

Как известно, в тех случаях, когда технологическая база поверхности не совпадает (или не имеет связи внутри операционного комплекса) с элементом, контактирующим с установочным элементом приспособления (базой системы «Обработка») возникает погрешность базирования. Поэтому следует в качестве технологической базы каждого плоскостного элемента, обрабатываемого на операционном комплексе, принимать элемент, контактирующий (или имеющий связь) с базой системы «обработка», т.е. обеспечить отсутствие погрешности базирования.

Совмещение конструкторской и технологической баз обеспечивает непосредственное выполнение конструкторского размера. При этом размерная цепь, замыкающим звеном которой служит конструкторский размер, является двухзвенной цепью вида  $K_V = T_e$ , что позволяет без каких-либо дополнительных расчётов принять допуск технологического размера, равным допуску конструкторского размера.

Правило постоянства баз даёт возможность координации двух соседних состояний плоскостных элементов проводить от одной базы. При этом размерная цепь, замыкающим звеном которой служит припуск, является трёхзвенной цепью вида  $Z_i - T_{e1} - T_{e2}$ . Это обеспечивает минимальное колебание припуска, равное сумме допусков только двух составляющих размеров цепи.

Однако особенность структуры деталей и способы обработки на современном оборудовании не позволяют полностью использовать правила совмещения и постоянства баз, что вызывает увеличение числа составляющих звеньев технологических размерных цепей. В этих условиях система простановки технологических линейных размеров должна обеспечить минимально возможное число составляющих звеньев технологических размерных цепей при принятой системе базирования заготовки.

При использовании метода полной взаимозаменяемости и обеспечения работы на серийном оборудовании без применения специальных методов обработки наибольшее число составляющих звеньев технологических размерных цепей, замыкающим размером которых служит конструкторский размер, не должно превышать трёх, а для цепей, замыкающим звеном которых служит припуск – четырёх.

Экспериментальные исследования показали, что для обеспечения рационального состава технологических размерных цепей при заданной системе базирования заготовки технологической базой рассматриваемого плоскостного элемента может служить плоскостной элемент, обрабатываемый на рассматриваемом операционном комплексе, или элемент, контактирующий с базой системы «обработка», если они обладают следующими технологическими признаками (свойствами):

1. являются окончательным состоянием конструкторской базы (обеспечивается двухзвенная размерная цепь вида  $K_V = T_e$ );

2. являются элементами, контактирующими с базой системы «обработка», на операции, в которой конструкторская база получает окончательное состояние или рассматриваемый элемент получает очередное состояние (обеспечивается

трёхзвенная размерная цепь вида  $K_v = T_{e1} \pm T_{e2}$  или  $Z_i = T_{e1} \pm T_{e2}$ ;

3. являются элементами, контактирующими с базой системы «обработка», на операции, в которой формируются технологические базы операции получения конструкторской базы рассматриваемого элемента окончательного состояния или перевода рассматриваемого элемента в следующее состояние (обеспечиваются размерные цепи вида  $K_v = T_{e1} \pm T_{e2} \pm T_{e3}$ ;  $Z_i = T_{e1} \pm T_{e2} \pm T_{e3} \pm T_{e4}$ );

4. являются элементами, получающими своё состояние на операции, в которой конструкторская база или предыдущее состояние рассматриваемого элемента являются элементами, контактирующими с базами системы «обработка», и связаны с ним одним или двумя размерами (обеспечиваются трёх или четырёхзвенные размерные цепи).

Используя указанные правила, проставляют структуру операционных размеров каждой операции.

На этапе проведения размерно-точностного анализа выполняются расчёты всех операционных размеров, и выявляется возможность выполнения этих размеров и технических требований взаимного расположения элементов с заданной точностью на выбранном оборудовании автоматически при установке заготовки без выверки или с применением выверки.

При проведении размерного анализа для деталей класса корпусов, кронштейнов, рычагов, плит и т.п. деталей не тел вращения, прежде всего, следует выполнить построение размерных схем технологического процесса по линейным размерам в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях (в каждой плоскости строится своя размерная схема).

При проведении размерного анализа для деталей класса тела вращения следует выполнить построение размерной схемы биений (для определения неравномерности припуска и выполнения технических требований взаимного расположения элементов вращения) и размерной схемы линейных размеров.

Исходной информацией для построения размерных схем технологического процесса по линейным размерам являются операционные эскизы всех формообразующих операций. Для построения схемы на эскизе готовой детали (в каждой координатной плоскости) изображают припуски на обработку каждого плоскостного элемента и положение осей отверстий в ходе выполнения технологического процесса. Под (или рядом с) эскизом строят граф конструкторских линейных размеров, припусков и несоосностей, обозначая каждый конструкторский размер  $K_i$ , припуск  $Z_i$ , несоосность  $e_i$  ( $i$  – порядковый номер размера, припуска, несоосности). Затем проводят вертикальные или горизонтальные линии, соответствующие каждому состоянию плоскостных элементов или осей отверстий и строят графы, соответствующие структуре операционных линейных размеров каждой операции в порядке их выполнения – начиная с заготовительных операций и кончая последней операцией механической обработки. Каждый технологический размер обозначают  $T_i$  ( $i$  – порядковый номер размера).

При построении размерных схем линейных размеров следует помнить, что суммарное количество конструкторских размеров, припусков и несоосностей

должно быть равно количеству технологических размеров.

После построения размерных схем составляют систему уравнений технологических размерных цепей, принимая в качестве замыкающих звеньев конструкторские размеры, припуски и несоосности. При составлении уравнений, если движение по графу происходит в положительном направлении числовой оси, то размер входит в уравнение со знаком плюс, в противном случае – со знаком минус.

Решение уравнений проводят методом полной взаимозаменяемости В зависимости от замыкающего звена уравнения могут быть двух видов:

- замыкающим звеном служит конструкторский размер;
- замыкающим звеном служит припуск или несоосность.

Решение уравнения, замыкающим звеном которого служит конструкторский размер, наиболее целесообразно проводить способы средних значений по следующему алгоритму:

1. вычисляют среднее значение всех известных размеров размерной цепи, т.е. проводят перерасчёт номиналов известных размеров, чтобы отклонения стали симметричными относительно нового номинала ( $A_{iCP} \pm IT/2$ );

2. вычисляют среднее значение неизвестного составляющего размера по формулам:

$$A_{yBCP} = A\Delta_{CP} - \sum_{m-1} A_{yBiCP} + \sum_n A_{yMiCPi}; \quad (4.1)$$

$$A_{yMCP} = \sum_m A_{yBiCP} - \sum_{n-1} A_{yMiCP} - A\Delta_{CP}, \quad (4.2)$$

где  $A_{yBCP}$  – среднее значение неизвестного технологического размера, являющегося увеличивающим звеном цепи;

$A_{yMCP}$  – среднее значение неизвестного технологического размера, являющегося уменьшающим звеном размерной цепи;

$A\Delta_{CP}$  – среднее значение замыкающего звена;

$\sum_m A_{yBiCP}$  – сумма средних значений известных технологических размеров, являющихся увеличивающими звеньями размерной цепи;

$m$  – число увеличивающих звеньев;

$\sum_n A_{yMiCP}$  – сумма средних значений известных технологических размеров, являющихся уменьшающими звеньями размерной цепи;

$n$  – число уменьшающих звеньев.

3. Используя основное положение метода полной взаимозаменяемости  $IT\Delta = \sum IT_i$ , вычислить допуск неизвестного составляющего размера по формуле:

$$IT = IT\Delta - \sum_{m+n-1} IT_i, \quad (4.3)$$

где  $IT$  – допуск неизвестного технологического размера;

$IT\Delta$  – допуск замыкающего звена;

$\sum_{m+n-1} IT_i$  – арифметическая сумма допусков составляющих звеньев размерной

цепи без учёта допуска неизвестного технологического размера.

4. Провести анализ вычисленного допуска неизвестного технологического размера.

Если искомый допуск больше нуля, то следует проверить условие: искомый допуск возможно достичь при выбранном способе обработки на выбранном оборудовании автоматически. Если такой возможности нет, то следует провести ужесточение допусков известных технологических размеров до точности, соответствующей методу обработки, и повторить расчёт по пунктам 1...3.

Если и после ужесточения искомый допуск невозможно достичь на выбранном оборудовании, то необходимо:

- пересмотреть технологический процесс вплоть до выделения обработки рассматриваемого элемента в отдельный операционный комплекс;
- изменить структуру операционных размеров;
- выбрать более точное оборудование, работающее по принятому методу обработки;
- изменить метод обработки;
- изменить системы базирования на операционных комплексах технологического процесса.

После выполнения одного из указанных действий вновь составляется размерная схема и проводятся технологические расчёты.

Аналогичные действия по ужесточению технологических размеров проводятся, если искомый допуск отрицателен, так как допуск – величина положительная и не может быть меньше или равен нулю.

5. Если условие возможности достижения искомого допуска на выбранном оборудовании выполнимо, то определяют номинал и отклонения искомого размера по формулам:

- размер координат положения оси

$$A_i = A_{CP}; ES = IT/2; EI = -IT/2; \quad (4.4)$$

- охватываемый размер

$$A_i = A_{CP} + IT/2; ES = 0; EI = -|IT|; \quad (4.5)$$

- охватывающий размер

$$A_i = A_{CP} - IT/2; ES = +IT; EI = 0 \quad (4.6)$$

6. Проводят округление искомого размера (желательно до десятых долей миллиметра) при возможности уменьшения расчётного поля допуска и расположении поля скорректированного допуска в пределах поля расчётного допуска.

Решение уравнений, замыкающим звеном которых служит припуск (или несоосность), проводится по следующему алгоритму.

1. Определяют величину минимального припуска  $Z_{\min}$  или принимают величину минимальной несоосности  $e_{\min} = 0$ .

2. Определяют минимальное (для увеличивающих) или максимальное (для уменьшающих) значение искомого размера по формулам:

$$A_{\min} = Z_{\min} + \sum_n A_{yMimax} - \sum_{m-1} A_{yBimin}; \quad (4.7)$$

$$A_{\max} = \sum_m A_{yBimin} - \sum_{n-1} A_{yMimax} - Z_{\min} \quad (4.8)$$

3. Выбирают допуск на искомый размер  $A$  с учётом метода обработки и точности оборудования.

4. Определяют номинал и отклонения искомого размера, проводят необходимые округления в сторону увеличения минимального припуска и рассчитывают фактические значения минимального и максимального припуска (или несоосности).

Для деталей класса тел вращения кроме размерных схем линейных размеров строят размерную схему биений, возникающих в ходе всего технологического процесса. Для этого вычерчивают эскиз детали, на котором отмечают операционные припуски каждого элемента вращения. Справа от эскиза для операций изготовления заготовки методом литья или штамповки условным вектором, направленным от идеальной оси заготовки к каждому элементу, обозначают биение, вызванное погрешностью формы и пространственными отклонениями в исходной заготовке. Затем для всех операций механической обработки векторами, направленными от оси вращения шпинделя (базы системы «обработка») к каждому базовому, обрабатываемому и обработанному элементу, обозначают биение, возникающее на каждом операционном комплексе. При заготовке из проката биения, вызванные отклонениями формы, учитываются на первой операции механической обработки и специально не указываются. Вектора обозначают  $B_i^j$ , где:  $i$  – номер элемента и его состояние, обозначаемое двухзначным кодом: первая цифра справа – номер элемента, вторая – его состояние (0-конечное состояние, соответствующее требованию чертежа);  $j$  – номер операции, для которой определяется биение.

После построения размерной схемы проводится расчёт величин биений базовых, обрабатываемых и обработанных элементов относительно базы обработки и между собой; неравномерности припусков и возможности выполнения технических требований взаимного расположения элементов при выбранных системах базирования и на выбранных приспособлениях по следующему алгоритму:

1. Определяют биение элементов исходной заготовки относительно её идеальной оси, вызванное погрешностью формы и пространственными отклонениями по формулам:

- для литой заготовки

$$B = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{КОР})^2 + (\Delta_{СМ})^2 + (\Delta_{ПЕР})^2}; \quad (4.9)$$

- для штампованной заготовки

$$B = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{СМ})^2 + (\Delta_{КОР})^2}, \quad (4.10)$$

где  $\Delta_{КОР}$  – коробление поверхности литья или штамповки;

$\Delta_{СМ}$  - смещение оси поверхности от его номинального положения;

$\Delta_{ПЕР}$  - перекося оси отверстия.

Величины  $\Delta_{КОР}$ ,  $\Delta_{СМ}$ ,  $\Delta_{ПЕР}$  определяются по справочным данным, представленным в [6].

2. Определяют биения базовых элементов относительно базы системы «обработка» (оси шпинделя) на всех операциях, вызванные погрешностью

установки, используя справочные данные [6] или следующие эмпирические формулы [3]:

- при установке в трёхкулачковых патронах и на плунжерных оправках

$$B = 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{IT\delta} \cdot (1 + 0,02l), \quad (4.11)$$

где  $a_1$  – коэффициент, зависящий от категории установки и приспособления по точности;  $a_1 = 0,17$  – нормальная точность;  $a_1 = 0,11$  – повешенная точность;  $a_1 = 0,08$  – высокая точность;  $IT\delta$  – допуск на диаметр элемента, контактирующего с установочными элементами приспособления;  $l$  – длина участка базовой поверхности, неиспользуемого для базирования;

- при установке в цанговых патронах и на цанговых оправках

$$B = 2 \cdot a_2 \cdot \sqrt{IT\delta} \cdot (1 + 0,01l), \quad (4.12)$$

где  $a_2 = 0,12$  – нормальная точность;  $a_2 = 0,09$  – повешенная точность;  $a_2 = 0,06$  – высокая точность установки;

- при установке в патронах и на оправках с гидропластом, в мембранных патронах (на мембранных оправках)

$$B = 0,08 \cdot \sqrt{IT\delta} \cdot (1 + 0,01l), \quad (4.13)$$

- при установке заготовки в центрах

$$B = 2 \cdot (a_3 \cdot \sqrt{D} + bL), \quad (4.14)$$

где  $D$  – диаметр центральной фаски;  $L$  – общая длина заготовки;  $a_3 = 0,006$  и  $b = 0,00005$  – при нормальной точности установки;  $a_3 = 0,0018$  и  $b = 0,000015$  – при повышенной точности;  $a_3 = 0,0009$  и  $b = 0,00007$  – при высокой точности;

- при установке на жёсткой оправке с зазором величина биения равна удвоенному максимальному радиальному зазору.

3. Определяют биения обрабатываемых элементов относительно баз системы «обработка». Прежде всего, составляют размерные цепи биений, принимая в качестве замыкающих звеньев искомые биения. Составление и решение уравнений таких цепей имеет некоторые особенности. Поскольку звенья цепи представляют собой параметры, номинальное значение которых равно нулю, то отпадает необходимость определять номинал предельные значения замыкающего звена – составляется только уравнение допусков:

$$\bar{B}_i^j = \sum_q \bar{B}_s,$$

где  $q$  – число составляющих звеньев цепи.

Другая особенность расчёта является следствием векторных свойств звеньев цепи. Так как направление векторов предугадать затруднительно, то используется способ квадратичного суммирования:

$$B_i^j = \sqrt{\sum_q (B_s)^2}. \quad (4.15)$$

4. Определяют биение обработанного элемента относительно базы системы «обработка» по формуле:

$$B_i^j = K_y \cdot B_{i-1}^j. \quad (4.16)$$

где  $B_i^j$  – биение обработанного элемента  $i$  относительно базы обработки операции  $j$ ;

$B_{i-1}^j$  – биение обрабатываемого элемента  $i-1$  (элемента номер  $i$  в предыдущем состоянии) относительно базы обработки операции  $j$ ;

$K_v$  – коэффициент уточнения [6].

5. Определяют биение между обрабатываемым и обработанным элементами (удвоенная неравномерность припуска  $2e_{\max}$ ) по формуле:

$$B_{Z_i} = B_{i-1}^j - B_i^j, \quad (4.17)$$

т.е. учитывается положение: остаточные биения не увеличивают, а уменьшают величину неравномерности припуска [1,3].

6. Проводят расчёт промежуточных размеров и припусков на элементы вращения, используя следующие формулы:

- для вала

$$D_{i-1} = D_i + 2Z_{i\min} + |ei|_{i-1}, \quad (4.18)$$

- для отверстия

$$D_{i-1} = D_i - 2Z_{i\min} - |ES|_{i-1} \quad (4.19)$$

где  $D_i$  – диаметр рассматриваемой ступени обработки;

$D_{i-1}$  – диаметр предшествующей ступени обработки;

$Z_{i\min}$  – минимальное значение припуска;

$|ei|_{i-1}$  – модуль нижнего отклонения размера, получаемого на предыдущей ступени обработки;

$|ES|_{i-1}$  – модуль верхнего отклонения размера, получаемого на предыдущей ступени обработки.

Расчёт межоперационных размеров желательно выполнять в табличной форме.

После выполнения всех расчётов окончательно вычерчиваются операционные эскизы, и заполняется маршрутная карта.

Маршрутная карта (МК) заполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1118-82 с учётом общих требований к заполнению технологических карт по ГОСТ 3.1104-81. При заполнении маршрутной карты следует использовать рекомендации, изложенные в [4, 5].

### Пример выполнения задания №2

**Задание:** назначить планы обработки поверхностей, структуру технологических размеров и требований взаимного расположения поверхностей; провести размерный анализ технологического процесса, определив все технологические размеры и возможность их выполнения автоматически на принятом оборудовании; заполнить технологическую документацию.

На рис. 4.1.38 представлен чертёж втулки, а на рис. 4.1.39 – часть операционных эскизов, из которых ясно оборудование, схемы базирования и

перечень поверхностей, обрабатываемых на каждой операции технологического процесса. Рассмотрим каждую поверхность отдельно.

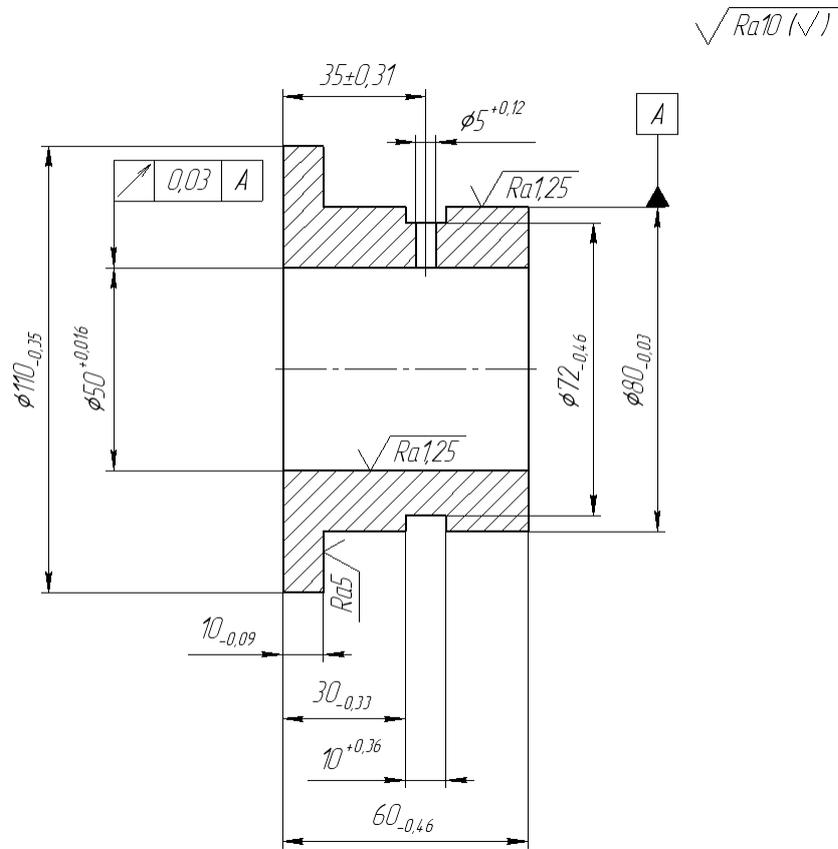
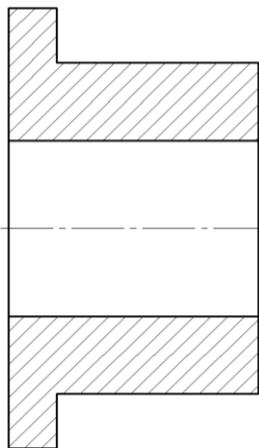


Рис. 4.1.38. Втулка

005 Штамповка ГКМ



010 Токарная  
Станок 16К20Ф3

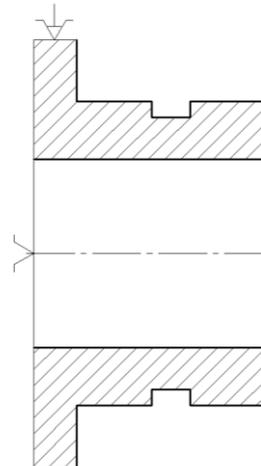
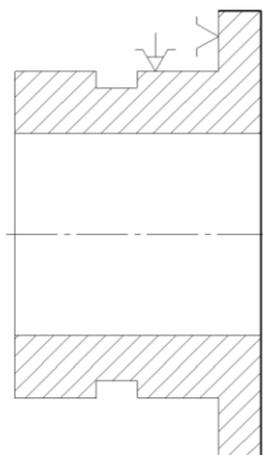
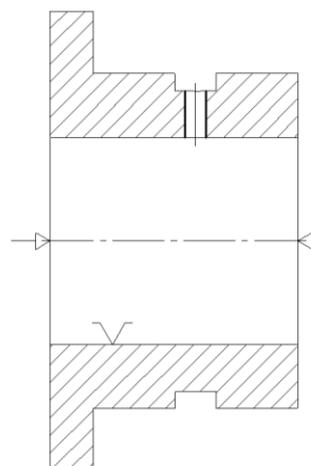


Рис. 4.1.39. Оборудование, схемы базирования и перечень элементов, обрабатываемых на операциях ТП изготовления втулки

020 Токарная  
Станок 16К20Ф3

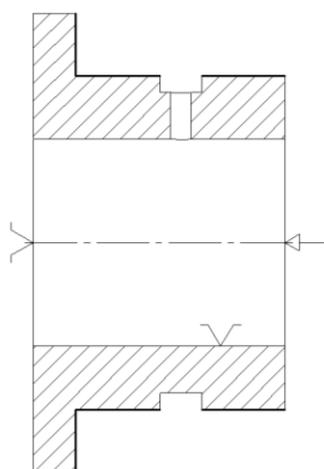


025 Сверлильная  
Станок 2Н135



030 Термическая  
Калить HRC 48...52

035 Шлифовальная  
Станок 3Т160



040 Шлифовальная  
Станок 3К227В

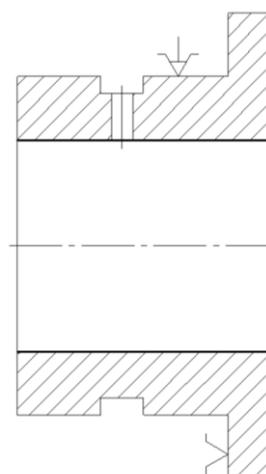


Рис. 4.1.39. (окончание)

Наружную цилиндрическую поверхность  $\varnothing 80h7_{(-0.03)}\text{мм}$ ,  $Ra=1,25\text{мкм}$  наиболее экономично, согласно [6], получить методом чистового шлифования после термообработки. До термообработки на токарной операции 010 будут последовательно выполняться: черновое точение по 13 качеству точности с  $Ra=20\text{мкм}$ ; получистовое точение по 11 качеству точности с  $Ra=10\text{мкм}$ ; чистовое

точение по 10 качеству точности с  $Ra=5$  мкм. Заготовкой этой поверхности служит штамповка повышенной точности, имеющая  $ES = +1,0$  мм,  $EI = -0,4$  мм.

Отверстие  $\varnothing 50H6^{(+0,016)}$  мм  $Ra=1,25$  мкм наиболее экономично, согласно [6], получать методом чистового шлифования после термообработки. До термообработки на токарной операции 010 будет последовательно выполняться: черновое зенкерование по 14 качеству точности с  $Ra=20$  мкм; черновое растачивание по 11 качеству точности с  $Ra=5$  мкм. Заготовкой этой поверхности служит прошитое отверстие, имеющее  $ES = +0,4$  мм,  $EI = -0,9$  мм.

Канавку будем обрабатывать стандартным канавочным резцом шириной 6 мм, врезанием с последующим продольным ходом.

Отверстие  $\varnothing 5H12$  будем выполнять сверлением.

Проведём назначение технологических размеров. Для этого вычертим операционные эскизы и на каждой операции проставим технологические размеры, руководствуясь правилами, указанными выше.

Так, на операции 005 все линейные размеры должны быть заданы от установочной базы первой операции механической обработки (все плоскости имеют предварительное состояние и в дальнейшем обрабатываются).

На операции 010 торец получает окончательное состояние, а конструкторская база имеет предварительное состояние. Поэтому координировать этот торец следует от бортика, который служит базой при переводе конструкторской базы в окончательное состояние. Аналогично следует координировать канавку.

При назначении размеров на остальных операциях обеспечиваем отсутствие погрешности базирования.

Проведём размерный анализ предлагаемого технологического процесса.

Построим размерные схемы линейных размеров и биений, которые представлены на рис. 4.1.40.

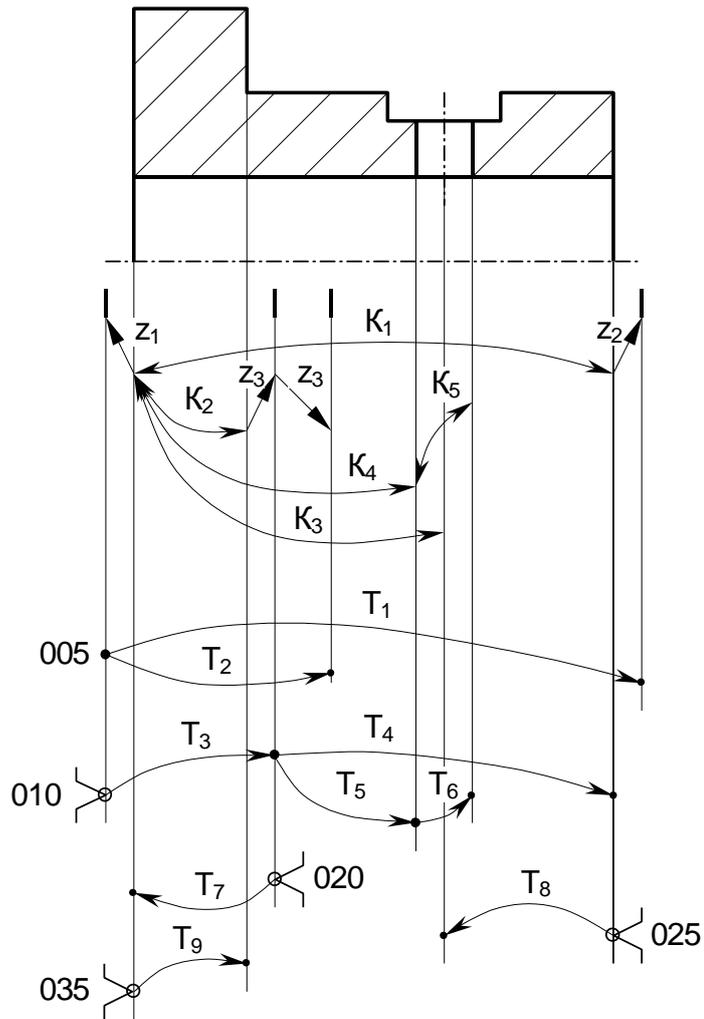
Используя размерную схему линейных размеров (рис. 4.1.40, а), составим уравнения технологических размерных цепей, принимая в качестве замыкающих звеньев конструкторские размеры и припуски:

$$\begin{aligned} K_1 &= T_7 + T_4; & K_4 &= T_7 + T_4; & Z_1 &= T_3 - T_7; \\ K_2 &= T_9; & K_5 &= T_6; & Z_2 &= T_1 - T_3 - T_4; \\ K_3 &= T_7 + T_4 - T_8; & Z_3 &= T_7 - T_9; & Z_4 &= T_2 - T_3. \end{aligned}$$

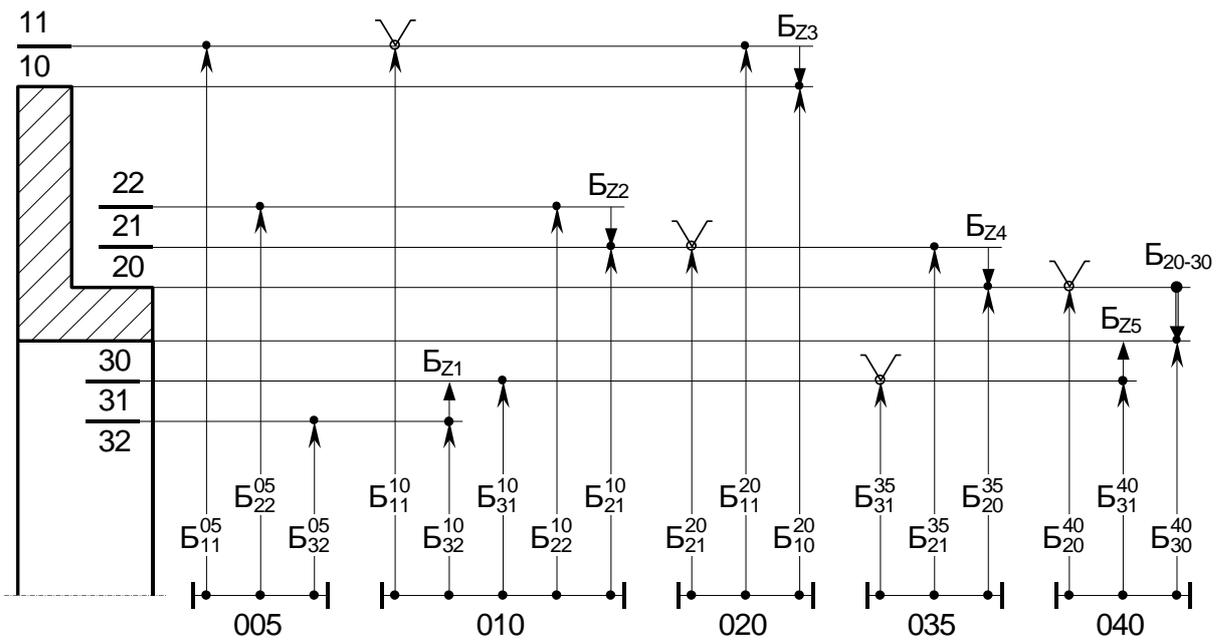
Прежде всего, для двухзвенных цепей назначим допуски технологических размеров в соответствии с методом обработки, используя положение, что, принимая для операционного размера допуск более широкий, чем допуск, соответствующий экономической точности метода обработки, мы ничего не выигрываем, так как стоимость обработки при этом не уменьшается [3].

Так как размер  $T_9$  получаем методом шлифования, то назначим для него допуск по 10 качеству, что на один квалитет грубее точности метода. Тогда  $T_9 = 10_{-0,058}$  мм.

Размер  $T_6$  выполняется методом точения и, следовательно, его допуск можно принять равным допуску конструкторского размера, т.е.  $T_6 = 10^{+0,36}$  мм.



а) Размерная схема линейных размеров



б) Размерная схема биений

Рис. 4.1.40. Размерные схемы технологического процесса

Проведём решение уравнений методом полной взаимозаменяемости.

$$Z_3 = T_7 - T_9;$$

$Z_{3\min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\phi$  и после чистового точения и термообработки получим, согласно [3,6]

$$Z_{3\min} = 0,025 + 0 + 0,145 = 0,17 \text{ мм};$$

$$T_9 = 10_{-0,058} \text{ мм};$$

$$Z_{3\min} = T_{7\min} - T_{9\max};$$

$$T_{7\min} = T_{9\max} + Z_{3\min} = 10 + 0,17 = 10,17 \text{ мм}.$$

Примем допуск на размер  $T_7$  по 11 квалитету, что соответствует методу обработки – чистовое точение ( $IT_{T7} = 0,11$  мм)

$$T_7 = T_{7\min} + IT_{T7} = 10,17 + 0,11 = 10,28 \text{ мм}.$$

Округляем и получим окончательно

$$T_7 = 10,3_{-0,11} \text{ мм}.$$

$$Z_{3\min} = T_{7\min} - T_{9\max} = 10,19 - 10 = 0,19 \text{ мм};$$

$$Z_{3\max} = T_{7\min} - T_{9\min} = 10,3 - 9,942 = 0,358 \text{ мм}.$$

$$K_1 = T_7 + T_4;$$

Известно:  $K_1 = 60_{-0,46} = 59,77 \pm 0,23$  мм;  $T_7 = 10,3_{-0,11} = 10,245 \pm 0,055$  мм;

Определим:  $T_4 = K_1 - T_7 = 59,77 - 10,245 = 49,525$  мм;

$IT_{K1} = IT_{T7} + IT_{T4} \Rightarrow IT_{T4} = IT_{K1} - IT_{T7} = 0,46 - 0,11 = 0,35$  мм, что может быть достигнуто на выбранном оборудовании.

$$T_4 = 49,525 \pm 0,175 = 49,35^{+0,35} \text{ мм}.$$

Проведем округление и приведем допуск к 12 квалитету:

$$T_4 = 49,4^{+0,25} \text{ мм}.$$

Проверка:

$$K_{1\min} = T_{7\min} + T_{4\min} = 10,19 + 49,4 = 59,59 > 59,54 \text{ мм};$$

$$K_{1\max} = T_{7\max} + T_{4\max} = 10,3 + 49,65 = 59,95 < 60 \text{ мм}.$$

$$K_3 = T_7 + T_4 - T_8;$$

Известно:  $K_3 = 35 \pm 0,31$  мм;  $T_7 = 10,3_{-0,11} = 10,245 \pm 0,055$  мм;

$T_4 = 49,4^{+0,25} = 49,525 \pm 0,125$  мм.

Определим:  $T_8 = T_7 + T_4 - K_3 = 10,245 + 49,525 - 35 = 24,77$  мм;

$IT_{K3} = IT_{T7} + IT_{T4} + IT_{T8} \Rightarrow IT_{T8} = IT_{K1} - IT_{T7} - IT_{T4} = 0,62 - 0,11 - 0,25 = 0,26$  мм, что может быть достигнуто на выбранном оборудовании.

$$T_8 = 24,77 \pm 0,13 \text{ мм}.$$

Проведём округление и приведём допуск к 12 квалитету:

$$T_8 = 24,75 \pm 0,105 \text{ мм}.$$

Проверка:

$$K_{3\min} = T_{7\min} + T_{4\min} - T_{8\max} = 10,19 + 49,4 - 24,855 = 34,735 > 34,69 \text{ мм};$$

$$K_{3\max} = T_{7\max} + T_{4\max} - T_{8\min} = 10,3 + 49,65 - 24,645 = 35,305 < 35,31 \text{ мм}.$$

$$K_4 = T_7 + T_5$$

Известно:  $K_4 = 30_{-0,33} = 29,835 \pm 0,165$  мм;  $T_7 = 10,3_{-0,11} = 10,245 \pm 0,055$  мм.

Определим:  $T_5 = K_4 - T_7 = 29,835 - 10,245 = 19,59$  мм;

$IT_{K4} = IT_{T7} + IT_{T5} \Rightarrow IT_{T5} = IT_{K4} - IT_{T7} = 0,33 - 0,11 = 0,22$  мм, что может быть достигнуто на выбранном оборудовании.

$$T_{T5} = 19,59 \pm 0,11 = 19,7_{-0,22} \text{ мм.}$$

Приведём допуск к квалитетному (12 квалитет) и получим

$$T_{T5} = 19,7_{-0,21} \text{ мм.}$$

Проверку в данном случае проводить нет надобности, т.к. допуск ужесточился, а размер не менялся.

$$Z_1 = T_3 - T_7;$$

После штамповки, согласно [3,6];

$$Z_{1\min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\Phi = 0,16 + 0,2 + 0,3 = 0,66 \text{ мм}$$

$$T_7 = 10,3_{-0,11} \text{ мм;}$$

$$Z_{1\min} = T_{3\min} - T_{7\max};$$

$$T_{3\min} = T_{6\max} + Z_{1\min} = 10,3 + 0,66 = 10,96 \text{ мм;}$$

Примем допуск на  $T_3$  по 13 квалитету, что соответствует заданию размера от черновой базы [3]. Тогда:

$$T_3 = T_{3\min} + IT_{T3} = 10,96 + 0,27 = 11,23 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_3 = 11,3_{-0,27} \text{ мм.}$$

$$Z_{1\min} = T_{3\min} - T_{7\max} = 11,03 - 10,3 = 0,73 \text{ мм;}$$

$$Z_{1\max} = T_{3\min} - T_{7\min} = 11,3 - 10,19 = 1,11 \text{ мм.}$$

$$Z_2 = T_1 - T_3 - T_4;$$

После штамповки, согласно [3,6];

$$Z_{2\min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\Phi = 0,16 + 0,2 + 0,3 = 0,66 \text{ мм}$$

$$T_3 = 11,3_{-0,27} \text{ мм; } T_4 = 49,4^{+0,25} \text{ мм}$$

$$Z_{2\min} = T_{1\min} - T_{3\max} - T_{4\max};$$

$$T_{1\min} = T_{3\max} + T_{4\min} + Z_{1\min} = 11,3 + 49,65 + 0,66 = 61,61 \text{ мм;}$$

Размер  $T_1$  выполняется в штамповке с отклонениями  $es = 1,0$  мм;  $ei = -0,4$  мм;

$$T_1 = T_{1\min} + |ei|_{T1} = 61,61 + 0,4 = 62,01 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_1 = 62,5^{+0,1}_{-0,4} \text{ мм.}$$

$$Z_{2\min} = T_{1\min} - T_{3\max} - T_{4\max} = 62,1 - 11,3 - 49,65 = 1,15 \text{ мм;}$$

$$Z_{2\max} = T_{1\max} - T_{3\min} - T_{4\min} = 63,5 - 11,19 - 49,4 = 2,91 \text{ мм.}$$

$$Z_4 = T_2 - T_3;$$

После штамповки, согласно [3,6],

$$Z_{4\min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\Phi = 0,16 + 0,2 + 0,3 = 0,66 \text{ мм}$$

$$T_3 = 11,3_{-0,27} \text{ мм;}$$

$$Z_{4\min} = T_{2\min} - T_{3\max};$$

$$T_{2\min} = T_{3\max} + Z_{4\min} = 11,3 + 0,66 = 11,96 \text{ мм;}$$

Размер  $T_2$  выполняется в штамповке с отклонениями  $es = 0,9$  мм;  $ei = -0,4$  мм;

$$T_2 = T_{2\min} + |e_i|_{T_2} = 11,96 + 0,4 = 12,36 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_2 = 12,5_{-0,4}^{+0,9} \text{ мм.}$$

$$Z_{4\min} = T_{2\min} - T_{3\max} = 12,10 - 11,3 = 0,80 \text{ мм;}$$

$$Z_{4\max} = T_{2\max} - T_{3\min} = 13,4 - 11,03 = 2,37 \text{ мм.}$$

Результаты расчётов технологических размеров заносим в операционные эскизы.

Используя размерную схему биений, проведём расчёты биений базовых, обрабатываемых, обработанных поверхностей относительно баз системы «обработка» и между собой, а также определим неравномерность припуска поверхностей вращения.

Биение элементов 11 и 22 (см. рис. 4.1.40, б) относительно идеальной оси исходной заготовки определим по формуле 4.10

$$B_{11}^{05} = B_{22}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{CM})^2 + (\Delta_{КОР})^2},$$

где  $\Delta_{CM} = 0,4$  мм;  $\Delta_{КОР} = 0,5$  мм [6].

Тогда

$$B_{11}^{05} = B_{22}^{05} = 2 \cdot \sqrt{0,4^2 + 0,5^2} = 1,28 \text{ мм.}$$

Аналогично, используя данные [6], получим

$$B_{32}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{CM})^2 + (\Delta_{КОР})^2} = 2 \cdot \sqrt{0,63^2 + 0,5^2} = 1,61 \text{ мм.}$$

Биение базового элемента 11 относительно базы обработки операции по формуле 4.11 с учётом установки в трёхкулачковый патрон нормальной точности

$$B_{11}^{10} = 2 \cdot 0,17 \cdot \sqrt{1,4} \cdot (1 + 0,02 \cdot 2) = 0,418 \text{ мм}$$

Биение обрабатываемой поверхности 32 на операции 10 (рис. 4.1.40, б) определим, составляя уравнения размерных цепей с использованием формулы 4.15

$$B_{32}^{10} = \sqrt{(B_{11}^{10})^2 + (B_{11}^{05})^2 + (B_{32}^{05})^2} = \sqrt{0,418^2 + 1,28^2 + 1,61^2} = 2,099 \text{ мм.}$$

Биение обработанной поверхности 31 на операции 10 (рис. 4.1.40, б) определим по формуле 4.16, учитывая, что коэффициент уточнения после чистового точения равен 0,04 [6]

$$B_{31}^{10} = K_V \cdot B_{32}^{10} = 0,04 \cdot 2,099 = 0,084 \text{ мм.}$$

Согласно формуле 4.17

$$B_{Z1} = B_{32}^{10} - B_{31}^{10} = 2,099 - 0,084 = 2,015 \text{ мм;}$$

$$e_{Z1} = B_{Z1} / 2 = 2,015 / 2 = 1,008 \text{ мм.}$$

Аналогично

$$B_{22}^{10} = \sqrt{(B_{11}^{10})^2 + (B_{11}^{05})^2 + (B_{22}^{05})^2} = \sqrt{0,418^2 + 1,28^2 + 1,28^2} = 1,858 \text{ мм;}$$

$$B_{21}^{10} = K_V \cdot B_{22}^{10} = 0,04 \cdot 1,858 = 0,074 \text{ мм;}$$

$$B_{Z2} = B_{22}^{10} - B_{21}^{10} = 1,858 - 0,074 = 1,784 \text{ мм;}$$

$$e_{Z2} = B_{Z2} / 2 = 1,784 / 2 = 0,892 \text{ мм.}$$

Биение базового элемента 21 относительно базы обработки операции 020 определим по формуле 4.11 с учётом установки в трёхкулачковый патрон повышенной точности

$$B_{21}^{20} = 2 \cdot 0,11 \cdot \sqrt{0,14} \cdot (1 + 0,02 \cdot 0) = 0,082 \text{ мм}$$

Биение обрабатываемой поверхности 11 на операции 20 (рис. 4.1.40, б) определим, составляя уравнения размерных цепей с использованием формулы 4.15

$$B_{22}^{20} = \sqrt{(B_{21}^{20})^2 + (B_{21}^{10})^2 + (B_{11}^{10})^2} = \sqrt{0,082^2 + 0,074^2 + 0,418^2} = 0,432 \text{ мм.}$$

Биение обработанной поверхности 10 на операции 20 (рис. 4.1.40, б) определим по формуле 4.16, учитывая, что коэффициент уточнения после получистового точения равен 0,05 [6]

$$B_{10}^{20} = K_y \cdot B_{11}^{20} = 0,05 \cdot 0,432 = 0,022 \text{ мм.}$$

Согласно формуле 3.17

$$B_{Z3} = B_{11}^{20} - B_{10}^{20} = 0,432 - 0,022 = 0,41 \text{ мм;}$$

$$e_{Z3} = B_{Z3} / 2 = 0,41 / 2 = 0,205 \text{ мм.}$$

На операции 035, согласно представленному эскизу, заготовка устанавливается отверстием 9 квалитета точности ( $ES = 0,062$  мм;  $EI = 0$  мм) на оправку с зазором. Примем для оправки посадку f6 ( $ES = -0,025$  мм;  $EI = -0,041$  мм). Биение, вызванное погрешностью установки равно максимальному зазору, т.е.

$$B_{31}^{35} = 0,062 + 0,041 = 0,103 \text{ мм.}$$

Биение обрабатываемой поверхности 21 на операции 35 (рис. 4.1.40, б) определим, составляя уравнения размерных цепей с использованием формулы 4.15

$$B_{21}^{35} = \sqrt{(B_{31}^{35})^2 + (B_{31}^{10})^2 + (B_{21}^{10})^2} = \sqrt{0,103^2 + 0,084^2 + 0,074^2} = 0,152 \text{ мм}$$

Биение обработанной поверхности 20 на операции 35 (рис. 4.1.40, б) определим по формуле 4.16, учитывая, что коэффициент уточнения после чистового шлифования равен 0,02 [6]

$$B_{20}^{35} = K_y \cdot B_{21}^{35} = 0,02 \cdot 0,152 \approx 0,003 \text{ мм.}$$

Согласно формуле 3.17

$$B_{Z4} = B_{21}^{35} - B_{20}^{35} = 0,152 - 0,003 = 0,149 \text{ мм.}$$

$$e_{Z4} = B_{Z4} / 2 = 0,149 / 2 \approx 0,075 \text{ мм.}$$

На операции 040 заготовку устанавливают в цанговый патрон класса В. Тогда по формуле 4.12

$$B_{20}^{40} = 2 \cdot 0,06 \cdot \sqrt{0,03} \cdot (1 + 0,01 \cdot 0) = 0,021 \text{ мм;}$$

$$B_{31}^{40} = \sqrt{(B_{20}^{40})^2 + (B_{20}^{35})^2 + (B_{31}^{35})^2} = \sqrt{0,021^2 + 0,003^2 + 0,103^2} = 0,105 \text{ мм;}$$

$$B_{30}^{40} = K_y \cdot B_{31}^{40} = 0,02 \cdot 0,105 = 0,002 \text{ мм;}$$

$$B_{Z5} = B_{31}^{40} - B_{30}^{40} = 0,105 - 0,002 = 0,103 \text{ мм;}$$

$$e_{Z5} = B_{Z5} / 2 = 0,103 / 2 \approx 0,052 \text{ мм.}$$

Проверим технические требования, заданные конструктором:

$$\overline{B}_{20-30} = \overline{B}_{20}^{40} - \overline{B}_{30}^{40}$$

При наихудшем варианте, когда векторы направлены в разные стороны:

$$B_{20-30} = B_{20}^{40} + B_{30}^{40} = 0,021 + 0,005 = 0,028 \text{ мм} < 0,03 \text{ мм,}$$

т.е. требования конструктора выполнены.

Проведём расчёт межоперационных диаметральных размеров, сведя данные в таблицу и используя формулы 4.18 и 4.19.

Определим наружный диаметр, поступающий на шлифование (операция 040) после операции 010:

$$D_{i-1} = D_i + 2Z_{\min} + |ei|_{i-1},$$

где  $D_i$  – диаметр, получаемый на операции 040 и равный  $80_{-0,03}$  мм, т.е. его номинал  $D_i = 80$  мм;

$Z_{\min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{\max}$  – величина минимального припуска;

$R_{Z_{i-1}} = 0,025$  мм после чистового точения [6];

$h_{i-1} = 0$  мм после термообработки [6].

В данном случае

$$e_{\max} = \sqrt{(e_{Z4})^2 + (\Delta_K \cdot 1)^2},$$

где  $\Delta_K$  – удельное коробление после термообработки, равное  $0,15$  мкм/мм [3].

Учитывая, что  $1 = 60$  мм (см.рис.38), получим  $\Delta_K \cdot 1 = 0,15 \cdot 60 = 9$  мкм =  $0,009$  мм.

Тогда

$$e_{\max} = \sqrt{0,075^2 + 0,009^2} = 0,076 \text{ мм.}$$

$|ei|_{i-1} = 0,14$  мм, 10 квалитет после чистового точения.

$$D_{i-1} = 80 + 2 \cdot (0,025 + 0 + 0,076) + 0,14 = 80,342 \text{ мм.}$$

Округляя, получим окончательно  $D_{i-1} = 80,4_{-0,14}$  мм.

Аналогично рассчитываем все остальные размеры и данные сводим в табл. 4.1.3.

Таблица 4.1.3

Результаты расчёта межоперационных размеров элементов вращения

Технологический маршрут обработки элемента	№ операции	Размер, мм		Отклонения, мм	Элементы припуска, мм			Расчётный припуск $Z_{\min}^P$ , мм	Фактический припуск	
		Расчётный	Округлённый		$R_{Z_{i-1}}$	$h_{i-1}$	$e_{\max}$		$Z_{\min}^\Phi$	$Z_{\max}^\Phi$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varnothing 110_{-0,35}$										
Получистовое точение	020	110	110	-0,35	0,1	0,1	$0,028^{*2}$	0,228	0,265	0,875
Черновое точение	020	111,326	111,4	-0,87	0,16	0,2	$0,22^{*1}$	0,58	0,6	1,735
Штамповка	005	112,96	113	$\begin{matrix} +1,0 \\ -0,4 \end{matrix}$	–	–	–	–	–	–
$\varnothing 80_{-0,03}$										
Чистовое шлифование	035	80	80	-0,03	0,025	-	$0,076^{*6}$	0,101	0,13	0,215
Чистовое точение	010	80,342	80,4	-0,14	0,05	0,05	$0,019^{*5}$	0,119	0,14	0,32
Получистовое точение	010	80,858	80,9	-0,22	0,1	0,1	$0,07^{*4}$	0,27	0,28	0,66
Черновое точение	010	81,98	82	-0,54	0,16	0,2	$0,907^{*3}$	1,267	1,3	2,27
Штамповка	005	84,934	85	$\begin{matrix} +1,0 \\ -0,4 \end{matrix}$	–	–	–	–	–	–

Технологический маршрут обработки элемента	№ операции	Размер, мм		Отклонения, мм	Элементы припуска, мм			Расчётный припуск $Z_{\min}^P$ , мм	Фактический припуск	
		Расчётный	Округлённый		$R_{Z_{i-1}}$	$h_{i-1}$	$e_{\max}$		$Z_{\min}^{\Phi}$	$Z_{\max}^{\Phi}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varnothing 50^{+0,016}$										
Чистовое шлифование	040	50	50	+0,016	0,02	-	0,053 <sup>*10</sup>	0,073	0,119	0,158
Чистовое растачивание	010	49,792	49,7	+0,062	0,04	0,05	0,02 <sup>*9</sup>	0,11	0,15	0,231
Черновое растачивание	010	49,38	49,3	+0,10	0,05	0,05	0,076 <sup>*8</sup>	0,176	0,19	0,55
Зенкерование	010	48,328	48,3	+0,62	0,16	0,20	1,023 <sup>*9</sup>	1,383	1,4	2,36
Штамповка	005	45,134	45,1	$\begin{matrix} -0,4 \\ -0,9 \end{matrix}$	-	-	-	-	-	-

### Примечания к таблице 4.1.3.

$$^{*1} e_{\max} = e_{Z3} + e_{\text{инд}},$$

где  $e_{\text{инд}}$  – погрешность индексации при смене инструмента, равная для станка 16К20Ф3 – 0,015 мм.

$$\text{Тогда } e_{\max} = 0,205 + 0,015 = 0,22$$

$$^{*2} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*1} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,22 + 0,015 = 0,028 \text{ мм}$$

$$^{*3} e_{\max} = e_{Z2} + e_{\text{инд}} = 0,892 \cdot 0,015 = 0,907 \text{ мм}$$

$$^{*4} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*3} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,907 + 0,015 = 0,07 \text{ мм}$$

$$^{*5} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*4} + e_{\text{инд}} = 0,05 \cdot 0,07 + 0,015 = 0,019 \text{ мм}$$

<sup>\*6</sup> В данном случае  $e_{\max} = \sqrt{(e_{Z4})^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}$ , где  $\Delta_k$  – удельное коробление после термообработки, равное 0,15 мкм/мм [3].

Учитывая, что  $l = 80$  мм (см.рис.3), получим  $\Delta_k \cdot l = 0,15 \cdot 60 = 9 \text{ мкм} = 0,009$  мм.

$$\text{Тогда } e_{\max} = \sqrt{0,075^2 + 0,009^2} = 0,076 \text{ мм.}$$

$$^{*7} e_{\max} = e_{Z1} + e_{\text{инд}} = 1,008 + 0,015 = 1,023 \text{ мм.}$$

$$^{*8} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*7} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 1,023 + 0,015 = 0,076 \text{ мм}$$

$$^{*9} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*8} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,076 + 0,015 \approx 0,02 \text{ мм}$$

<sup>\*10</sup> В данном случае  $e_{\max} = \sqrt{(e_{Z5})^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}$ , где  $\Delta_k$  – удельное коробление после термообработки, равное 0,15 мкм/мм [3]. Учитывая, что  $l = 60$  мм (см.рис.4.1.38), получим

$$\Delta_k \cdot l = 0,15 \cdot 60 = 9 \text{ мкм} = 0,009 \text{ мм.}$$

$$\text{Тогда } e_{\max} = \sqrt{0,052^2 + 0,009^2} = 0,053 \text{ мм.}$$

Проведены все необходимые технологические размерные расчёты, определены все технологические размеры и можно заполнить технологическую документацию (маршрутную карту см. на рис. 4.1.41 и операционные эскизы – на рис. 4.1.42).

Так как операции не проектировались, то при заполнении маршрутной карты графы трудозатрат не заполнять.







Дубл.											
Взам.											
Подл.											
Разработал				<b>СЗТУ</b>	01140.00001	10140.00001	20140.00001				
Проверил											
Нормировал											
Н. контроль				<b>Штамповка ГКМ</b>							005

$\sqrt{Rz400 (\sqrt{I})}$

Technical drawing of a stepped shaft (flange) with dimensions and tolerances:

- Outer diameter:  $\phi 113^{+0.10}_{-0.4}$
- Inner diameter (hole):  $\phi 45.1^{+0.04}_{-0.09}$
- Outer diameter of main body:  $\phi 85^{+0.10}_{-0.4}$
- Length of main body:  $62.5^{+0.10}_{-0.4}$
- Length of flange:  $12.1^{+0.09}_{-0.4}$

КЭ

Карта эскизов

Рис. 4.1.42. Операционные эскизы ТП изготовления детали «Втулка»











## **4.2. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению**

(для студентов специальности 080502.65 – экономика и управление на предприятии машиностроения)

Задание на контрольную работу и пример ее выполнения для студентов специальности 080502.65 – экономика и управление на предприятии машиностроения соответствуют заданию №2 на курсовую работу и примеру ее выполнения для студентов специальности 151001.65 – технология машиностроения.

## **4.3. Текущий контроль**

Приводятся 30 тестовых заданий текущего контроля (10 тестовых заданий по каждому из трех разделов дисциплины). Они предлагаются студентам в качестве тренировочных (репетиционных). После работы с этими тестами можно проверить ответы – они приведены на стр. 270. Контрольные тесты студенты получают у своего преподавателя или на учебном сайте в системе MOODLE.

### **Тест № 1**

- 1. Конструкторская документация используется в технологическом проектировании для характеристики**
  - A. Производственной обстановки.
  - B. Планового задания.
  - C. Предмета производства.
  - D. Организации производства.
  
- 2. Техническая система «Обработка»**
  - A. Включает следующие элементы: заготовка, приспособление, станок, инструмент, технологическая среда.
  - B. Состоит из множества сборочных единиц и деталей.
  - C. Состоит из операций обработки заготовки.
  - D. Состоит из множества станков и оснастки, используемых при обработке заготовки.
  
- 3. Обработка деталей партиями осуществляется в**
  - A. Единичном производстве.
  - B. Массовом производстве.
  - C. Любом типе производства.
  - D. Серийном производстве.

- 4. Способ расчленения технической системы определяется**
- A. Структурой системы.
  - B. Типом решаемых задач.
  - C. Взаимодействием системы с окружающей средой.
  - D. Видом технической системы.
- 5. Высокая концентрация операции наиболее характерна для**
- A. Единичного и мелкосерийного производства.
  - B. Массового производства.
  - C. Крупносерийного производства.
  - D. Любого типа производства.
- 6. Рабочий ход это**
- A. Законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой.
  - B. Законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки.
  - C. Законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека (или оборудования), которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности.
  - D. Законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки.
- 7. Связь «Технологический процесс – Предмет производства» (ТП–ПП) заключается в**
- A. Отработке ПП на технологичность по результатам внедрения ТП.
  - B. Определении типа производства.
  - C. Распределении оборудования по цехам.
  - D. Определении объёма выпуска ПП.
- 8. Метод пробных проходов и промеров целесообразно использовать в**
- A. Массовом производстве.
  - B. Любом типе производства.
  - C. Единичном и мелкосерийном производстве.
  - D. Крупносерийном производстве.
- 9. Системный подход состоит в**
- A. Использовании технических систем, взаимосвязанных друг с другом.
  - B. Исследовании влияния организационно-плановой структуры ТП на результат его функционирования.

- C. Систематическом контроле точности изготавливаемой детали.
- D. Представлении объекта как системы состоящей из множества взаимосвязанных элементов, являющихся единым целым.

**10. Обозначением технической системы преобразования является**

- A. ТСПП.
- B. ТСО.
- C. ТСЗ.
- D. ТСИ.

**Тест № 2**

**1. Векторы связи между объектами в Т-системах направлены**

- A. От базируемого к базирующему элементу.
- B. Безразлично.
- C. В зависимости от свойств объекта.
- D. От базирующего к базируемому элементу.

**2. Минимальный расчётный припуск  $Z_{min}$**

- A. Это пространственные отклонения при установке заготовки.
- B. Равен сумме высоты микронеровностей  $Rz$  и толщины дефектного слоя  $h$  на предшествующей обработке и пространственных отклонений на предшествующей и данной операции.
- C. Это погрешность, вызванная индексацией поворотных устройств.
- D. Это слой металла, снимаемый с элемента в ходе его перевода из одного состояния в другое при его механической обработке.

**3. Ожидаемая точность размера характеризуется**

- A. Результатом функционирования ТП.
- B. Задаваемой точностью размера  $A - T_A$ .
- C. Погрешностью выполнения размера  $A - \omega_A$ .
- D. Множеством  $\{A_{max}, A_{min}\}$ .

**4. При полном базировании заготовки типа «тело вращения» для её обработки на токарном станке**

- A. Необходимо лишить заготовку 5-ти степеней свободы.
- B. Необходимо лишить заготовку 6-ти степеней свободы.
- C. Количество степеней свободы будет зависеть от конфигурации заготовки.
- D. Количество степеней свободы будет зависеть от модели станка.

**5. Модуль вектора геометрической связи положения объекта при базировании**

- A. Равен нулю.
- B. Не равен нулю.

- C. Зависит от количества объектов базирования.  
D. Может иметь любое значение.
- 6. Систематическая погрешность это погрешность,**  
A. Которая для разных заготовок партии может иметь разное значение, не подчиняется видимой закономерности.  
B. Для определения которой используются законы распределения.  
C. Возникающая из-за неравномерности припуска.  
D. Которая для всех заготовок рассматриваемой партии постоянна или закономерно изменяется при переходе от одной детали к другой.
- 7. План обработки ТСЗ это**  
A. Выбор последовательности выполнения технологических операций.  
B. Алгоритм расчёта линейных технологических размеров.  
C. Перечень этапов и методов перевода элементов из состояния «Заготовка» в состояние «Готовая деталь», записанный в обратном порядке.  
D. Алгоритм расчёта диаметральных технологических размеров.
- 8. Направляющая база лишает заготовку**  
A. 3-х степеней свободы.  
B. 2-х степеней свободы.  
C. 5-и степеней свободы.  
D. 6-и степеней свободы.
- 9. Методом расчёта технологических размерных цепей, при котором исключается возможность появления брака является**  
A. Метод полной взаимозаменяемости.  
B. Метод неполной взаимозаменяемости.  
C. Вероятностный метод.  
D. Метод Симпсона.
- 10. Условный знак  $\nabla$  на операционном эскизе обозначает**  
A. Люнет неподвижный.  
B. Опору неподвижную.  
C. Патрон с механическим зажимом.  
D. Центр плавающий.

### Тест № 3

- 1. Исходными данными для проектирования маршрута ТП являются**  
A. Чертёжи изделия, его узлов и деталей.  
B. Конструкторская документация, объём выпуска, производственная обстановка, характеристика организации производства на предприятии.

- C. Операционные эскизы обрабатываемой заготовки.
  - D. Чертёж исходной заготовки и тип производства.
- 2. Групповой ТП механической обработки разрабатывается для деталей,**
- A. Входящих в одну сборочную единицу.
  - B. Имеющих конструктивные признаки общности.
  - C. Имеющих технологические признаки общности.
  - D. Входящих в одно изделие.
- 3. Технологический анализ чертежа детали необходим для**
- A. Разработки маршрута ТП.
  - B. Расчёта режимов обработки.
  - C. Расчёта такта выпуска.
  - D. Расчёта величины партии выпуска.
- 4. Маршрутная карта ТП механической обработки содержит**
- A. Режимы обработки.
  - B. Перечень операций и оборудования, время выполнения операций.
  - C. Перечень переходов.
  - D. Межпереходные размеры.
- 5. Подвижная поточная сборка с расчленением на операции применяется**
- A. В единичном производстве.
  - B. В мелкосерийном производстве.
  - C. В любом типе производства.
  - D. В массовом производстве.
- 6. Унификация это**
- A. Продолжительность изготовления изделия при нормальной интенсивности труда в часах.
  - B. Процесс изготовления группы деталей с общими конструктивными и технологическими признаками.
  - C. Рациональное сокращение числа типов, размеров изделий одинакового назначения.
  - D. Процесс создания изделия с заранее заданными свойствами.
- 7. Схема наладки разрабатывается для**
- A. Настройки оборудования при выполнении операции.
  - B. Расчёта технологических размеров.
  - C. Контроля точности технологических размеров.
  - D. Определения структуры операции.
- 8. Структура технологических операций зависит от**
- A. Времени обработки заготовки на операции.

- В. Используемого оборудования, количества обрабатываемых заготовок, и режущих инструментов.
- С. Схемы компоновки инструментов.
- Д. Окончательной корректировки режимов обработки.

**9. Отработка чертежа на технологичность проводится**

- А. Конструктором на этапе конструкторской подготовки производства.
- В. Технологом по результатам расчёта режимом обработки.
- С. Проектировщиком технологической оснастки.
- Д. Технологом на этапе сбора исходной информации для проектирования и согласовывается с конструктором.

**10. При необходимости выполнения закалки в ТП операцию термообработки необходимо выполнять**

- А. После чернового этапа обработки, перед обработкой элементов ТСЗ высокой точности и малой шероховатости.
- В. Перед выполнением механической обработки.
- С. После завершения механической обработки.
- Д. После любой операции ТП.

**ПРАВИЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ НА ТРЕНИРОВОЧНЫЕ ТЕСТЫ  
ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ**

№ теста	Раздел	Номера тестовых заданий / Правильные ответы										
		Номер тестового задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1	Номер тестового задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Правильный ответ	C	A	D	B	A	B	A	C	D	B
2	Раздел 2	Номер тестового задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Правильный ответ	D	B	C	A	B	D	C	B	A	C
3	Раздел 3	Номер тестового задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Правильный ответ	B	C	A	B	D	C	A	B	D	A

**4.4. Итоговый контроль**

Изучение дисциплины для студентов специальности 151001.65 и направления подготовки бакалавров 150900.62 завершается сдачей экзамена и защитой курсовой работы, а для студентов специальности 080502.65 – сдачей экзамена и защитой контрольной работы.

В данном блоке приводятся вопросы для подготовки к экзамену.

Экзаменационные вопросы по дисциплине  
«Основы технологии машиностроения»

1. Задачи технологии машиностроения.
2. Машина как объект производства. Основные понятия.
3. Критерии качества машин.
4. Техническая подготовка производства и ее составляющие.
5. Типы производства и его организация.
6. Производственный процесс, его содержание и структура. Техническая подготовка производства, ее структура и содержание частей.
7. Показатели технологического процесса. Организация производства и ее формы.
8. Сущность и методика системных исследований. Объект и его окружение. Две стороны структуры объекта: целостность и расчлененность. Моделирование систем.
9. Информационная модель системы «Технологический процесс».
10. Модели технических систем: «Предмет производства», «Изделие», «Сборка», «Обработка». Их взаимосвязь с системой «Технологический процесс».
11. Техническая система «Заготовка». Ее состав и этапы проектирования. Задачи, решаемые при проектировании ее структуры.
12. Базирование и виды баз.
13. Базы и базирование. Принципы единства и постоянства баз.
14. Взаимозаменяемость. Виды. Способы обеспечения. Расчет допусков звеньев.
15. Методы обеспечения точности замыкающего звена при сборке. Область их применения.
16. Размерные расчеты сборочных цепей.
17. Пригонка и регулирование размеров при сборке.
18. Припуски на механическую обработку и их классификация.
19. Расчет припусков на механическую обработку.
20. Технологические размерные расчеты.
21. Расчет операционных допусков, линейных размеров и припусков на обработку.
22. Расчет операционных диаметральных размеров и припусков на обработку.
23. Организационные формы сборки.

24. Влияние жесткости и податливости технологической системы на формирование геометрической формы обрабатываемых заготовок.

25. Систематические и случайные погрешности обработки. Их причины. Законы распределения случайных погрешностей.

26. Статистические законы распределения случайных погрешностей размеров.

27. Методы настройки системы «Обработка». Расчет настроечных размеров при статической настройке.

28. Методы настройки системы «Обработка». Расчет настроечных размеров при настройке по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра.

29. Методы настройки системы «Обработка». Расчет настроечных размеров при настройке по пробным заготовкам с помощью универсального измерительного инструмента.

30. Методы управления точностью: по входным данным, по выходным данным, по режимам обработки.

31. Влияние механической обработки на эксплуатационные свойства деталей.

32. Технологический процесс и его виды. Исходные данные для проектирования.

33. Типизация техпроцессов и групповой метод обработки. Достоинства и недостатки.

34. Проектирование техпроцессов механообработки. Основные этапы и их содержание.

35. Способы построения технологических процессов. Концентрация и дифференциация операций. Производительность операций.

36. Сборочные технологические процессы. Основные этапы проектирования ТП сборки.

37. Техническое нормирование и его методы.

38. Нормирование операций с различной структурой.

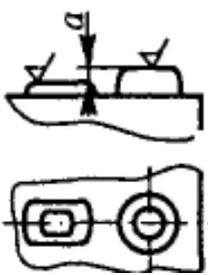
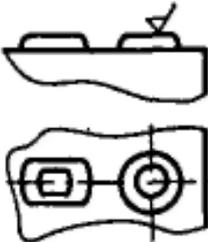
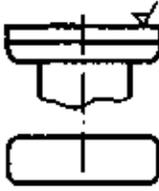
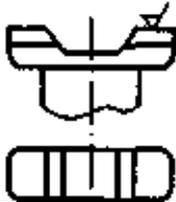
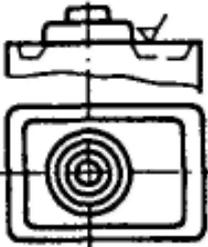
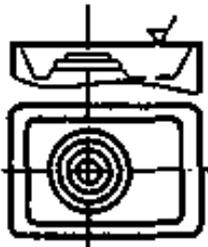
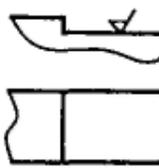
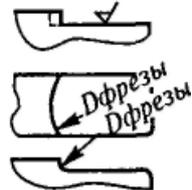
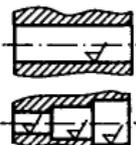
39. Технологичность изделий. Способы ее обеспечения.

40. Технологическая документация и ее виды.

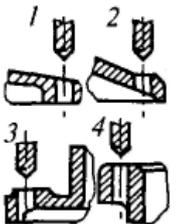
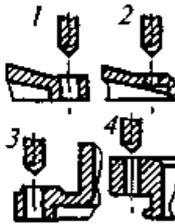
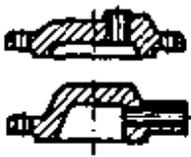
## Приложение А

Таблица 1

### Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Обрабатываемые плоскости следует располагать на одном уровне			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность обработки за один ход производительными методами – торцовым фрезерованием, плоским шлифованием и протягиванием</li> <li>2. Возможность обработки нескольких заготовок одновременно</li> <li>3. Упрощение контроля</li> </ol>
Обрабатываемые плоскости не должны быть сплошными			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уменьшение расхода шлифовальных кругов</li> <li>2. Повышение точности и снижения шероховатости обработки</li> <li>3. Снижение трудоемкости</li> </ol>
Обрабатываемые плоскости должны быть открытыми. Узкие и длинные поверхности должны быть расположены так, чтобы их можно было обрабатывать вдоль плоскости			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность обработки торцовым фрезерованием</li> <li>2. Повышение производительности и точности обработки</li> </ol>
Обрабатываемые плоскости не должны располагаться в углублениях			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применение производительных методов обработки</li> <li>2. Снижение трудоемкости</li> </ol>
Закрытые плоскости должны иметь переходную поверхность, соответствующую размерам и виду инструмента			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение трудоемкости</li> <li>2. Применение производительных методов обработки и нормализованного режущего инструмента</li> </ol>
В отверстиях не должно быть обрабатываемых выточек			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение трудоемкости</li> <li>2. Возможно применение производительных методов обработки</li> </ol>

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
В ступенчатых отверстиях наиболее точную ступень следует делать сквозной			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение трудоемкости обработки</li> <li>2. Повышение точности обработки и стойкости инструмента</li> <li>3. Упрощение конструкции инструмента</li> </ol>
Шлицевые отверстия должны быть непрерывными			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Предохранение инструмента от поломок и повышение его стойкости</li> <li>2. Снижение трудоемкости обработки отверстия</li> </ol>
Следует избегать глухих шлицевых отверстий			Возможность обработки отверстия производительным методом – протягиванием
Следует избегать глубоких шлицевых отверстий			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Упрощение конструкции инструмента и повышение его стойкости</li> <li>2. Упрощение процесса обработки</li> </ol>
Следует избегать закрытых гнезд и несквозных пазов			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сокращение числа рабочих ходов</li> <li>2. Упрощение конструкции режущего инструмента</li> <li>3. Снижение трудоемкости обработки</li> </ol>
Следует избегать закрытых пазов, обрабатываемых концевыми фрезами			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применение более производительного инструмента</li> <li>2. Улучшение условий работы инструмента и особенно его врезания</li> <li>3. Снижение трудоемкости обработки</li> </ol>
Для сокращения длины обрабатываемого отверстия следует обеспечить условия для наилучшего направления инструмента			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение точности обработки</li> <li>2. Увеличение жесткости инструмента</li> <li>3. Повышение производительности</li> </ol>
Отверстия должны быть расположены так, чтобы можно было работать инструментом нормальной длины			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применение нормализованного инструмента и более полное его использование</li> <li>2. Повышение точности обработки</li> </ol>

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Возможность нормального входа и выхода режущего инструмента			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Предохранение инструмента от поломок</li> <li>2. Повышение точности сверления</li> <li>3. Повышение производительности</li> </ol>
Следует избегать наклонного расположения оси отверстия			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Упрощение конструкции приспособления</li> <li>2. Возможность одновременно обрабатывать другие отверстия при параллельном расположении осей</li> <li>3. Снижение трудоемкости обработки отверстий</li> </ol>
Глухие отверстия с резьбой должны иметь канавки для выхода инструмента или в них должен быть предусмотрен сбег резьбы			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Улучшение качества резьбы</li> <li>2. Улучшение условий</li> <li>3. Снижение трудоемкости</li> </ol>
Конструкция отверстия с резьбой должна давать возможность работать резьбовым инструментом на проход			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение производительности</li> <li>2. Улучшение условий работы инструмента</li> <li>3. Применение инструмента, обладающего лучшими режущими свойствами</li> </ol>

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАЦИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ .....	3
1.1. ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
1.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ .....	5
1.2.1. <i>Содержание дисциплины по ГОС</i> .....	5
1.2.2. <i>Объем дисциплины и виды учебной работы</i> .....	5
1.2.3. <i>Перечень видов практических занятий и контроля</i> .....	6
2. РАБОЧИЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	7
2.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА .....	7
2.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ .....	15
2.3. СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ДИСЦИПЛИНЫ .....	25
2.4. ВРЕМЕННОЙ ГРАФИК ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	26
2.5. ПРАКТИЧЕСКИЙ БЛОК.....	27
2.5.1. <i>Практические занятия</i> .....	27
2.5.2. <i>Лабораторные работы</i> .....	28
2.6. БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА .....	29
3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ .....	30
3.1. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	30
3.2. ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ.....	31
3.3. УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ .....	113
3.4. ГЛОССАРИЙ .....	113
3.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ .....	121
3.6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	144
4. БЛОК КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	172
4.1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ.....	172
4.2. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ.....	253
4.3. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ .....	253
4.4. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ .....	258
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	261

Редактор \_\_.\_\_. \_\_\_\_\_

Сводный темплан 2007 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 78.01.07.953.П.005641.11.03 от 21.11.2003 г.

---

Подписано в печать \_\_.\_\_.2009.

Формат 60×84 1/16

Б. кн.-журн. П.л. \_\_, \_\_ .

Б.л. \_\_. \_\_. \_\_ .

РТП РИО СЗТУ

Тираж \_\_.

Заказ \_\_

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет

РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов Санкт-Петербурга

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5