

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Е. П. Щербакова**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся по направлению подготовки  
15.03.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2025

УДК 67.05

Рецензент

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инжиниринга  
технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» Д. Б. Подашев

Щербакова, Е. П.

Технологическая подготовка машиностроительного производства: учеб.-  
методич. пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся по  
направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение / Е. П. Щербакова –  
Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 104 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям для направления подготовки 15.03.01 Машиностроение, всех форм обучения.

Табл. 18, рис. 75, список лит. – 11 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано  
в качестве локального электронного методического материала методической  
комиссией института агронженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный технический университет» 30 октября  
2025 г., протокол № 8

УДК 67.05

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2025 г.  
© Щербакова Е. П., 2025 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	14
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	100
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	102

## ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии изложен краткий теоретический материал по дисциплине «Технологическая подготовка машиностроительного производства» для студентов всех форм обучения по специальности 15.03.01 Машиностроение.

В учебном пособии рассмотрены сущность, организация и планирование технической подготовки производства, функционирующего в современных условиях рыночной экономики. Изложены содержание и стадии подготовки к производству нового продукта, основные нормы и нормативы производственной деятельности, сущность и значение производственной мощности, раскрыт процесс планирования научно-технической и организационной деятельности предприятия.

Дисциплина «Технологическая подготовка машиностроительного производства» относится к блоку 1 части ОПОП ВО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение.

Целью освоения дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства» является формирование у студентов знаний, умений и навыков по планированию мероприятий, созданию и организации стадий подготовки производства.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- тенденции развития машиностроительного производства;
- основные принципы планирования производственного процесса;
- основные направления развития машиностроения;
- основные мероприятия по организации подготовки машиностроительного производства;

уметь:

- контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий;
- применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, умение применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в машиностроении;
- составлять техническую документацию (графики работ, инструкции, сметы, планы, заявки на материалы и оборудование) и подготавливать отчётность по установленным формам, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии, подготавливать исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономических расчётов;
- применять методы для решения задач планирования современной технологии машиностроения;

- использовать источники информации при самостоятельной работе по освоению разделов и тем дисциплины;
  - проводить проектные расчёты отдельных этапов подготовки машиностроительного производства;
  - применять методы математического анализа, теоретического и экспериментального исследования;
  - пользоваться критериями эффективности проектных решений;
- владеть:
- способами обеспечения технологичности изделий и процессов их изготовления;
  - способами по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции;
  - способами проверки качества монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции современными методами организации производства, основанных на широком применении современного программно-управляемого технологического оборудования;
  - схемами информационных связей с формированием контуров управления в производственном процессе, систем обеспечения и контроля производственных процессов;
  - методикой проектирования технологических процессов изготовления деталей машин, сборки машин и их составных частей;
  - особенностями подхода в разработке участков и цехов для поточного и не поточного производства.

При реализации дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства» организуется практическая подготовка путем проведения практических работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач, обучающихся проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя

системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы

Критерий	Система оценок	2	3	4	5
		0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
		«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
«не зачтено»		«зачтено»			
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Для успешного освоения дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

# 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Технологическая подготовка машиностроительного производства», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области систем числового программного управления, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

№ темы	Содержание лекционного занятия
1	Техническая и технологическая подготовка производства
2	Иновации в машиностроении
3	Единая система технологической подготовки производства
4	Система управления и подготовки производства
5	Нормирование технологических процессов в машиностроении

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

## Тема 1. Техническая и технологическая подготовка производства

### *Ключевые вопросы темы*

1. Общие принципы технической подготовки производства.
2. Технологическая подготовка производства.

*Ключевые понятия:* техническая подготовка производства, технологическая подготовка производства, производственный процесс, календарное планирование.

*Литература:* [1, с. 133–136].

### *Методические рекомендации*

Первая тема курса дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства» направлена на получение у обучающихся представления о базовых понятиях дисциплины, таких как технологический процесс, его этапы (заготовительная, обрабатывающая, сборочная) и основные направления технологической подготовки (конструкторская, технологическая, организационная, включая выбор материалов, методов обработки, контроль, проектирование и организацию производства).

Рациональная организация производственного процесса невозможна без проведения тщательной технической подготовки производства.

Техническая подготовка производства включает в себя следующее:

1. Конструкторская подготовка производства обеспечивает разработку конструкций изделий с созданием сборочных чертежей изделий, чертежей сборочных единиц и деталей, запускаемых в производство, с оформлением необходимой конструкторской документации. Повышение качества изделий предусматривает повышение уровня нормализации и стандартизации элементов изделия, улучшение технологичности конструкций, максимальное обеспечение преемственности и взаимозаменяемости агрегатов и узлов старой и новой моделей.

2. Технологическая подготовка производства обеспечивает технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах.

3. Календарное планирование производственного процесса изготовления изделия в установленные сроки, в необходимых объемах выпуска и затратах.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Технологическая подготовка производства.
2. Какая часть от общей трудоёмкости составляет трудоёмкость технологической подготовки производства.
3. Сертификация системы качества предприятия-изготовителя.
4. ЕСТПП означает.

## **Тема 2. Инновации в машиностроении**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Характеристика современной экономики.
2. Инновации.
3. Наукоёмкое изделие.
4. CALS-технологии.

*Ключевые понятия:* CALS-технологии, инновации, экономика, наукоёмкое изделие, CAD, CAM, CAE.

*Литература:* [21.2, с. 11–24]

### *Методические рекомендации*

XX век характеризуется завершением эпохи машинной индустрии.

Постиндустриальному информационному обществу свойственен особый тип экономики, в котором информация выступает определяющим производственным ресурсом, производство услуг – главной сферой занятости, а научное знание и методы его рационального использования – главной формой общественного богатства.

К числу основных черт информационной постиндустриальной экономики относятся:

- превращение в процессе научной революции, новых знаний, информации, методов их рационального и эффективного использования в основную форму общественного богатства;
- технологическая революция, связанная с переходом к пятому технологическому укладу, комплексно-автоматизированному и компьютеризированному производству;
- возрастание роли человеческого капитала, всестороннего развития способностей и инициативы работников, их отношения к труду в качестве главного производственного ресурса;
- непрерывное обновление ассортимента продукции, технологии, организации производства, труда и управления;
- структурные сдвиги, связанные с превращением сферы услуг и наукоемких отраслей производства в главную сферу занятости и производства ВВП;
- глобализация и интернационализация производства, создание мирового рынка товаров, услуг, капиталов, информации и технологий, рабочей силы, а также выбросов в окружающую среду.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Инновация это –
2. Характеристики инноваций.
3. Корпоративное управление инновациями.
4. Наукоёмкость это –
5. CALS-технологии.

## **Тема 3. Единая система технологической подготовки производства**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Структура технологических процессов. Задачи и цели ЕСТПП.
2. Технологическая подготовка производства.
3. Средства выполнения технологических процессов.
4. Требования ЕСТПП к технологическим процессам.

*Ключевые понятия:* ЕСТПП, технологический процесс, технологическая подготовка производства, трудоёмкость, тип производства.

*Литература: [3, с. 13–24]*

#### *Методические рекомендации*

Согласно ГОСТ 3.1109-82 ЕСТПП технологический процесс состоит из операций, установок, позиций, переходов, рабочих ходов, приемов и элементов приемов, выполняемых на рабочих местах.

Технологическая подготовка производства (ТПП) – это совокупность современных методов организации управления и решения технологических задач на основе комплексной стандартизации, автоматизации, экономико-математических моделей и средств технологического оснащения.

Под ТПП в общем случае понимается комплекс работ по обеспечению технологичности конструкции изделия, проектированию ТП и средств технологического оснащения, расчету технически обоснованных материальных и трудовых нормативов, потребного количества технологического оборудования и производственных площадей, внедрению ТП и управлению им в производстве, позволяющий приступить к выпуску нового изделия в заданных объемах.

Трудоемкость ТПП в значительной мере зависит от типа и вида производства, сложности изготавливаемого изделия, его технологической характеристики и организационно-технической структуры предприятия.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Виды изделий.
2. Производственный процесс
3. Технологическая операция
4. Технологическая подготовка производства
5. ЕСТПП.

### **Тема 4. Система управления и подготовки производства**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Назначение, принципы и методика построения системы управления производством.
2. Управление основным и вспомогательными процессами.
3. Организационно-техническая подготовка производства.
4. Оперативно-календарное планирование, учет и диспетчирование производственного процесса.
5. Программное обеспечение производственного процесса и выбор технических средств сбора, передачи и обработки информации.

*Ключевые понятия:* подготовка производства, система управления производством, диспетчирование, планирование, производственный процесс.

*Литература: [4, с. 333–381]*

### *Методические рекомендации*

Основная задача системы управления и подготовки производства заключается в непрерывном контроле состояния производственного процесса и воздействии на него в случае возникших отклонений от запланированного хода производства, а также в разработке технологической и плановой документации, подготовке технологической оснастки, обеспечении необходимыми материалами, полуфабрикатами и комплектующими изделиями, проведении организационных мероприятий по подготовке производственного процесса.

Эффективность работы машиностроительного производства в значительной степени определяется степенью и уровнем развития вертикального разделения управленческого труда, т. е. организации труда руководителей по координации деятельности структурных подразделений и исполнителей.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Задачи системы управления и подготовки производства.
2. Принципы построения системы управления.
3. Функции возлагаются на систему технического диагностирования основного оборудования.
4. Характеристика состава и назначения SCADA-системы интегрированной системы автоматизированного управления производством.
5. Исходные данные на проектирование систем управления основными и вспомогательными подразделениями.
6. Решение задачи системой технологической подготовки производства.
7. Варианты систем оперативно-производственного планирования.
8. Функции, возлагающиеся на подсистему учета.

## **Тема 5. Нормирование технологических процессов в машиностроении**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Нормы затрат труда и их классификация. Виды норм труда.
2. Бригадные нормы труда. Период действия норм.
3. Нормирование затрат труда.
4. Структура нормы времени.
5. Аналитические методы нормирования.
6. Изучение затрат рабочего времени.
7. Установление, замена и пересмотр норм труда.

*Ключевые понятия:* технологический процесс, нормы труда, период действия, рабочее время, структура нормы времени.

*Литература:* [5, с. 109–123]

### *Методические рекомендации*

Под нормированием в широком смысле понимают установление обоснованных норм расхода производственных ресурсов (рабочего времени, материалов, сырья, инструментов, энергии и т. п.).

Норма затрат труда представляет собой меру труда, необходимого и достаточного для производства единицы продукции.

Нормы затрат труда можно классифицировать по различным признакам:

- по виду: нормы времени, нормы выработки, нормы обслуживания, нормы численности, нормы управляемости;
- по числу исполнителей: индивидуальные, бригадные;
- по периоду действия: условно-постоянные, временные, сезонные, разовые;
- по методу установления (разработки): технически обоснованные, опытно-статистические;
- по регламентации: нормируемые и ненормируемые;
- по сфере применения: межотраслевые, отраслевые, местные;
- по обязательности применения: типовые и единые.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Виды норм труда.
2. Нормы, применяющиеся при нормировании труда в бригадах.
3. Нормирование.
4. Структура нормы времени.
5. Способы изучения затрат рабочего времени.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков по технологической подготовке машиностроительного производства.

Практические занятия по дисциплине «Технологическая подготовка машиностроительного производства» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, интересных фактов, статистических данных, связанных с изучаемой проблематикой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объём (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

№ темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Изучение конструкции и определение точностных параметров установочных элементов приспособлений
2	Изучение конструкций зажимных элементов приспособлений и их влияния на погрешность закрепления
3	Изучение конструкции и силовых параметров пневмокамеры
4	Изучение конструкций, анализ и проверка точности делительных приспособлений
5	Исследование точности установки и усилия закрепления заготовки на оправке с гидропластмассой
6	Анализ точности обработки отверстий в заготовках при сверлении их в кондукторе
7	Сборка и настройка универсально-сборного приспособления и исследование точности обработки

Обучающийся должен подготовить по рассматриваемому занятию отчет, защитить его, ответив устно на вопросы преподавателя.

По результатам защиты отчета преподаватель выставляет экспертную оценку по четырехбалльной шкале – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка «отлично» ставится обучающемуся обладающему системностью, обстоятельностью и глубиной излагаемого материала, способностью воспроизвести основные тезисы по теме практического занятия, готовому развернуто отвечать на вопросы

преподавателя. Оценка «хорошо» ставится обучающемуся обладающему глубиной и системностью излагаемого материала, но имеющему некоторые затруднения при ответе на вопросы. Оценка «удовлетворительно» ставится обучающему имеющему недостатки информации по теме практического занятия, имеющему затруднения при ответе на вопросы преподавателя. Оценка «неудовлетворительно» ставится обучающемуся, не обладающему информацией по теме практического занятия, неспособному ответить на вопросы преподавателя.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

## **Практическое занятие № 1**

### **Изучение конструкции и определение точностных параметров установочных элементов приспособлений**

*Цель занятия – получение практических умений и навыков определения точностных параметров установочных элементов приспособлений.*

#### *Задание на практическое занятие*

1. Изучение конструкции установочных элементов приспособлений.
2. Изучение методики расчёта погрешности установки для различных случаев базирования заготовок.
3. Экспериментальное определение погрешности установки для различных конструкций установочных элементов.

#### *Методические рекомендации:*

##### *1.1 Общие сведения*

При установке заготовка должна быть правильно ориентирована относительно рабочих органов станка. Установка – это базирование и закрепление заготовки в приспособлении. Ориентирование заготовки достигается её базированием. Базирование осуществляют по базам заготовки.

База – это поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке и используемые для базирования. Для базирования заготовок предназначены установочные элементы приспособлений, которые жёстко соединены с корпусом приспособления. Установочные элементы выполняются в виде опорных штырей, пластин, колец, втулок, пальцев, призм, механизмов и др.

Известно, что для полного исключения подвижности твёрдого тела в пространстве необходимо лишить его шести степеней свободы: перемещения и поворота относительно трёх координатных осей. Следовательно, для установки заготовки необходимо наложить на неё шесть жёстких двухсторонних координатных связей, приложенных в опорных точках. Это обеспечивает заданную ориентировку заготовки относительно системы координат и фиксирование её в данном положении. Таким образом, для лишения заготовки

шести степеней свободы необходимо иметь шесть точек контакта заготовки с установочными элементами (правило шести точек), каждая из которых лишает одной степени свободы.

К установочным элементам предъявляются следующие требования:

– число и расположение элементов должно обеспечить ориентацию заготовки с заданной точностью, согласно принятой в технологическом процессе схемы базирования и необходимую её устойчивость в приспособлении;

– при использовании баз с шероховатостью поверхности  $Ra > 20$  мкм установочные элементы следует выполнять с ограниченной опорной поверхностью для уменьшения влияния неровностей этих баз на устойчивость заготовки;

– установочные элементы не должны портить базовые поверхности, особенно те, которые не подвергаются повторной обработке;

– установочные элементы должны быть жёсткими и износостойкими.

Рассмотрим типовые схемы установки заготовок в приспособлениях, наиболее широко применяемые при изготовлении деталей авиационных двигателей.

## 1.2 Установка заготовок по трём взаимно перпендикулярным плоскостям

Осуществить базирование плоской базы – значит совместить её с какой-то заданной плоскостью приспособления. Так как положение любой плоскости определяется тремя точками, для выполнения базирования необходимо иметь в приспособлении три опорные точки, расположенные в одной заданной плоскости, но не на одной прямой. Это достигается с помощью различных сочетаний опорных элементов, которые и определяют способы базирования плоской базы. Опорные элементы делятся на **постоянные** (жёсткие опоры) и **дополнительные**.

Жёсткие опоры выполняются в виде **штырей** и **пластин**. Их конструкции стандартизированы. На рисунке 1.1, а показана конструкция 2 штыря с плоской головкой, используемая для обработанных установочных баз.

Диаметр выбирается сообразно с площадью установочной базы.

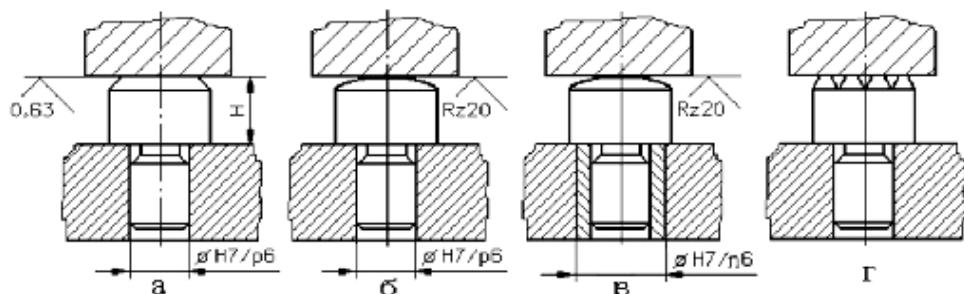


Рисунок 1.1 – Опорные штыри

Штыри со сферической (рисунок 1.1, б, в) и насечённой головкой (рисунок 1.1, г) служат для ориентирования по необработанным базам. Опорные штыри следует размещать как можно дальше один от другого в пределах базы, так как это повышает точность базирования.

Точность выполнения размера **H** соответствует **h5** или **h6** что обеспечивает размещение опорных поверхностей штырей в одной плоскости. Иногда по размеру **H** у штырей оставляют припуск для совместной обработки их опорных поверхностей после запрессовки штырей в корпус.

При установке в приспособлении нежёстких заготовок возможна их деформация под влиянием усилий закрепления, а при обработке под влиянием сил резания. Для повышения жёсткости стремятся увеличить площадь контакта заготовки с приспособлением, не нарушая при этом требований теоретической механики. Для определения положения плоскости необходимо и достаточно трёх точек. Достигается это путём применения сблокированных (рисунок 1.2, а) или плавающих (рисунок 1.2, б) опор, которые заменяют собой одну жёсткую опору, хотя они и контактируют с базой в двух или трёх точках.

Конструкция таких опор обеспечивает согласованное перемещение опорных поверхностей, при котором сохраняется практически неизменным положение опорной точки (она остаётся в заданной плоскости приспособления).

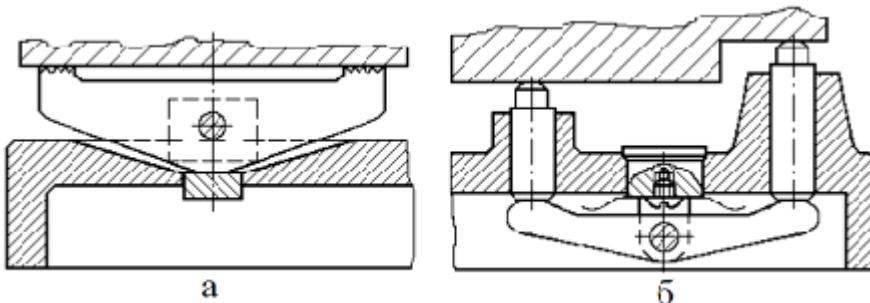


Рисунок 1.2 – Сблокированная (а) и плавающая (б) опоры

Базирование с помощью **опорных пластин** – наиболее распространённый способ установки заготовок по обработанным базам. Опорные пластины могут быть двух типов: **плоские** (рисунок 1.3, а) и с **косыми пазами** (рисунок 1.3, б).

У последних опорные поверхности легче очищаются от стружки, поэтому их следует применять для ориентирования заготовок по горизонтальным плоскостям, а плоские – по боковым плоскостям. Длину пластин выбирают в зависимости от протяжённости базы. На корпусе приспособления опорные пластины размещают обычно на возвышающихся площадках. При изготовлении приспособления эти площадки обрабатывают одновременно. Высоту **H** пластин выдерживают с отклонениями по **h6**.

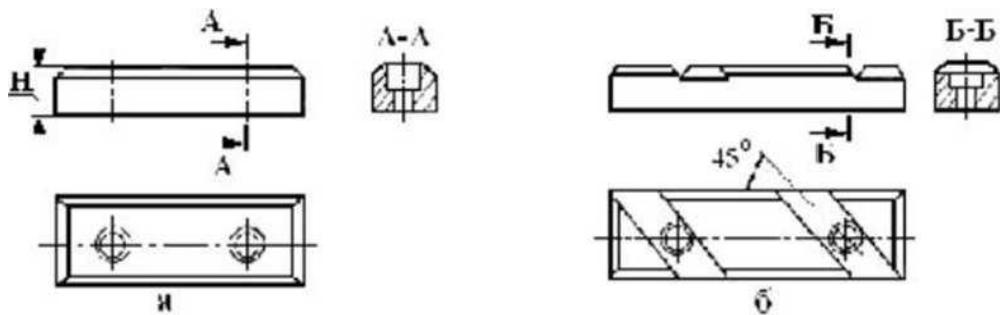


Рисунок 1.3 – Опорные пластины:  
а – плоские; б – с косыми пазами

При необходимости опорные поверхности пластин подгоняют с проверкой по краске, при этом добиваются их расположения в одной плоскости. Если при базировании рассмотренными выше способами заготовка не получает достаточной устойчивости или жёсткости, то к основным опорным элементам добавляют необходимое количество **дополнительных** (вспомогательных) опор. Эти опоры увеличивают число точек контакта заготовки с приспособлением, что повышает жёсткость технологической системы. Вспомогательные опорные элементы отличаются тем, что они подводятся к заготовке после того, как она получила необходимое базирование с помощью основных опор. При подведении вспомогательных опор необходимо следить, чтобы не нарушилось достигнутое базирование заготовки. Это позволяет уменьшить или совершенно предотвратить возможные деформации заготовки под влиянием усилий резания и закрепления.

**Вспомогательные опоры могут выполняться в виде регулируемых, самоустанавливающихся и подводимых клиновых опор.**

**Регулируемая опора** представляет собой винтовой домкрат и используется при установке жёстких заготовок, а также при тяжёлых условиях обработки (рисунок 1.4).

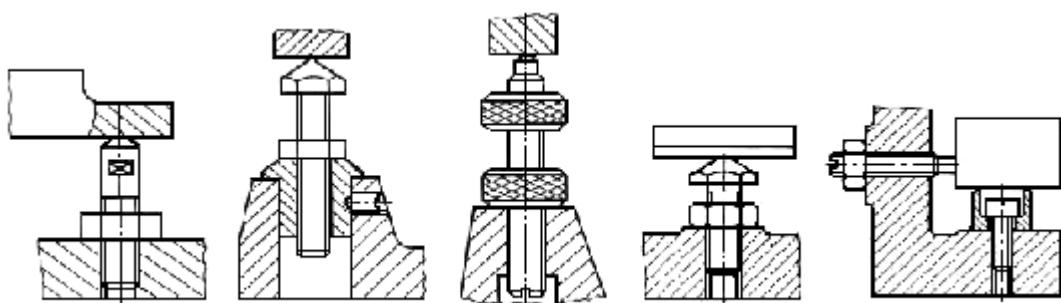


Рисунок 1.4 – Установка заготовок на регулируемые винтовые опоры

Иногда она применяется для базирования заготовок с необработанной плоской базой вместо опорных штырей, что даёт возможность изменять высоту опор в соответствии с величиной припуска у заготовок разных партий. Регулировку производят перед обработкой каждой партии заготовок с новым

припуском. После регулировки положение опор фиксируется и не изменяется на протяжении обработки всех заготовок партии.

**Подводимая клиновая** вспомогательная опора (рисунок 1.5, а) приводится в соприкосновение с базирующей поверхностью заготовки путём линейного перемещения влево систем деталей 2, 3, 4, 5. При этом опорный штырь 1 входит в соприкосновение с базой обрабатываемой заготовки. Затем, вращая рукоятку 5, уменьшают расстояние между шариками 4, которые раздвигают две сегментные шпонки 3. прижимая их к стенке отверстия в корпусе и тем самым фиксируя опору.

**Самоустанавливающаяся** (пружинная) вспомогательная опора показана на рисунок 1.5, б. До установки заготовки опорный штырь 1 несколько выступает над основными опорами, а при установке погружается, преодолевая усилие пружины 2, оставаясь в контакте с базовой поверхностью обрабатываемой заготовки. Фиксация опоры осуществляется с помощью сухаря 3 вращением рукоятки 4.

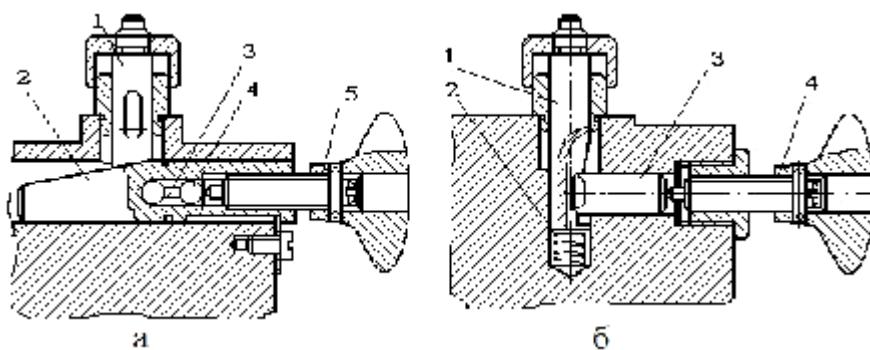


Рисунок 1.5 – Вспомогательные опоры:  
а – клиновая; б – самоустанавливающаяся

После обработки заготовки вспомогательные опоры раскрепляются и отводятся, при установке следующей заготовки цикл повторяется.

При базировании по плоской базе погрешность должна определяться в направлении, перпендикулярном плоскости. Величина погрешности базирования зависит от состояния поверхности базы. Для обработанных баз её можно принимать равной нулю. Это допустимо, если обработанная база имеет малую неплоскостность, так как в этом случае она будет совмещаться практически без погрешности с заданной плоскостью приспособления.

При базировании необработанных баз возможна погрешность, возникающая вследствие того, что плоскость базы по отношению к плоскости приспособления будет устанавливаться с перекосом из-за неровности базы. Величина этого перекоса (угла отклонения плоскости базы от заданной плоскости приспособления) будет зависеть от высоты неровностей и расстояния между опорными точками. Зная величину неровности базы и расстояние между опорами, можно для любой точки базы определить погрешность её базирования.

Погрешности базирования для типичных схем установки на базовые плоскости приведены в таблице 1.1, а в таблице 1.2 даны зависимости для расчёта перемещения заготовки (погрешности закрепления) под действием нормальной силы зажима  $Q$ .

Таблица 1.1 – Погрешность базирования при установке на плоскости

Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования
	A B C E	$\omega_{BA} = 0$ $\omega_{BB} = T$ $\omega_{BC} = 0$ $\omega_{BE} = 0$
	B a	$\omega_{BB} = h \operatorname{tg} T_\beta$ $\omega_{Ba} = T_\beta$

Таблица 1.2 – Расчёт перемещения в стыке опора – заготовка от силы зажима

Установка	Расчётная формула
На опоры со сферической поверхностью	$y = (0,67 - 0,003HB + 6,23/R)(0,1Q)^{0,8}$ $y = (2,7 - 0,004HB + 9,23/R)(0,1Q)^{0,6}$
На опоры с рифленой поверхностью	$y = (0,38 - 0,004HB + 0,0034D)(0,1Q)^{0,6}$ $y = (1,76 - 0,0008HB + 0,03D)(0,1Q)^{0,6}$
На гладкие опоры и на опорные пластины	$y = (0,4 + 0,012F + 0,0004Rz - 0,0016HB)(0,1q)^{0,7}$ $y = (0,776 + 0,53F + 0,016Rz - 0,0045HB)(0,1q)^{0,6}$

Примечание.  $R$  - радиус сферической поверхности опоры, мм:

$D$  – диаметр рифленой опоры, мм:

$F$  – площадь опоры, см<sup>2</sup>;

$Rz$  – параметр шероховатости поверхности заготовки, мкм:

$Q$  – усилие, действующее на поверхность опоры, кг;

$q$  – давление на поверхность опоры, кг/см<sup>2</sup>.

Верхние строки стальные заготовки, нижние чугунные

### 1.3 Установка заготовки по базовому отверстию и плоскости

При установке базирование осуществляется на установочные элементы,

выполненные в виде пальцев или жёстких оправок. При базировании на палец (рисунок 1.6) заготовка устанавливается по посадке с гарантированным зазором.

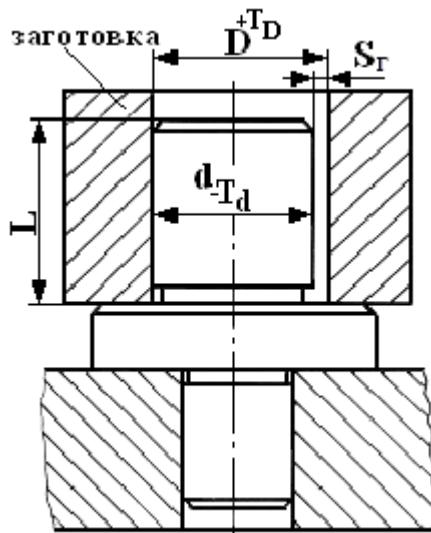


Рисунок 1.6 – Схема базирования заготовки на цилиндрический палец

**Диаметр пальца будет равен:**

$$d_{max} = D_{min} - S_g$$

где  $D_{min}$  – минимальный диаметр отверстия;  $S_g$  – гарантированный зазор.

Погрешность базирования будет равна максимальному зазору в соединении –  $\omega_6 = S_{max}$

Максимальный зазор включает следующие составляющие:

$$S_{max} = S_g + T_d + T_D + T_{изн}$$

где  $T_d$ ,  $T_D$  – допуск на изготовления пальца и базового отверстия;  $T_{изн}$  – допуск на износ.

Перекос оси базы определяется по формуле:

$$\alpha = \arctg (S_{max} / L),$$

где  $\alpha$  – угол поворота оси базы;  $L$  – длина пальца.

Чтобы перекос оси базы не превышал допустимых пределов, длину пальца выбирают в пределах  $L = (1,2 \dots 1,7)D$ .

Рассматриваемый способ базирования применяется только для заготовок с базовыми отверстиями, обработанными по 6...9 квалитетам, в противном случае погрешность базирования и перекос значительно увеличиваются. В целях повышения точности заготовку в некоторых случаях устанавливают с нулевым зазором. Такая схема базирования используется при установке заготовок на оправках, которые устанавливаются в центрах станка (погрешность базирования равна нулю).

Конструкции пальцев стандартизированы (ГОСТ 12209- 66... 12212-66). На

рисунок 1.7 показаны различные конструкции пальцев. Для облегчения установки заготовок на пальцах имеется фаска.

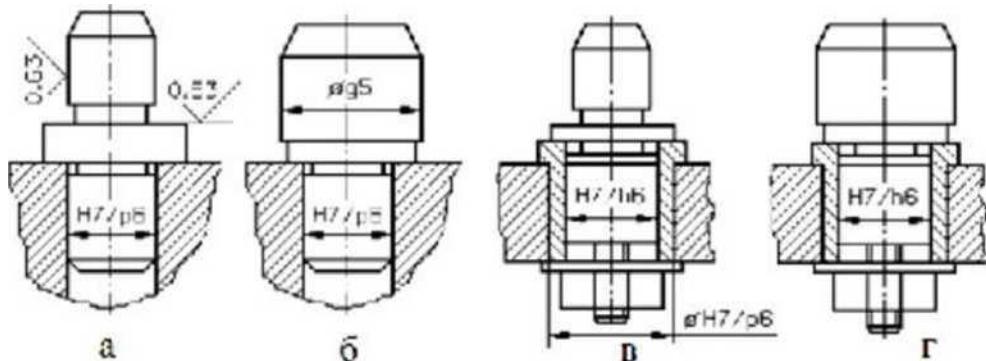


Рисунок 1.7 – Установочные пальцы:  
а, б – постоянные; в, г – сменные

Пальцы диаметром до 16 мм изготавливают из стали У7А, а диаметром более 16 мм – из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8...1,2 мм и закалкой до твёрдости HRC, 49...54. Рабочую поверхность пальцев обрабатывают по посадкам  $g6$  или  $g7$  и шлифуют до  $Ra= 0,32...0,63$  мкм.

Погрешность установки на пальцы характеризуется смещением заготовки на величину диаметрального зазора между поверхностями сопряжения. Если базовый торец заготовки не перпендикулярен к оси отверстия, возможно отклонение оси отверстия от оси пальца. В таблице 1.3 приведены погрешности базирования для типовых случаев установки заготовок на пальцы и оправки.

#### 1.4 Установка заготовок по наружной цилиндрической поверхности и горизонту

Применяются следующие способы базирования: в отверстие втулки или кольца; на призму с помощью самоцентрирующего устройства, которые различаются по точности и назначению.

Таблица 1.3 – Погрешности базирования для типовых схем установки заготовок на пальцы и оправки

Установка	Схема установки	Выполняемый размер	Погрешность базирования
Без зазора		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$0,5T_D + 2e$ $0,5T_D + 2e$ $2e$ $0$
С зазором		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$0,5T_D + 2e + T_d + T_N + 2S_r$ $0,5T_D + 2e + T_d + T_N + 2S_r$ $2e + T_d + T_N + 2S_r$ $T_d + T_N + 2S_r$
С зазором и односторонним отжимом заготовки		$H_1$ $H_2$ $H_3$ $H_4$	$0,5T_D + 2e + T_d + T_N + 0,5T_N$ $0,5T_D + 2e + T_d + T_N + 0,5T_N$ $0,5T_d + 0,5T_N + 2e$ $0,5T_d + 0,5T_N$
Без зазора, торец заготовки неперпендикулярен к оси отверстия		$L_1$	$T_L + 2r \operatorname{tg}\alpha$
То же установка с зазором		$H_1$ $H_2$	$0,5T_D + 2e + T_d + T_N + 2S_r + 2L \operatorname{tg}\alpha$ $0,5T_D + 2e + T_d + T_N + 2S_r + 2L \operatorname{tg}\alpha$
То же, с односторонним отжимом заготовки		$H_1, H_2$	$0,5T_D + 2e + 0,5T_d + 0,5T_N + 2S_r + 2L \operatorname{tg}\alpha$

*Примечание.  $e$  – эксцентричеситет наружной поверхности относительно отверстия;  $H_3$  – размер от оси наружной поверхности;  $H_4$  – размер от оси отверстия;  $T_d$  и  $T_A$  – допуски на диаметр отверстия и пальца;  $S_r$  – гарантированный зазор;  $T_D$  – допуск на наружный диаметр заготовки;  $T_L$  – допуск на длину заготовки.*

При базировании с помощью втулки 1, в отверстие которой устанавливается заготовка, ось отверстия втулки располагается в приспособлении в требуемом положении (рисунок 1.8).

Чтобы заготовку можно было вставить в отверстие втулки, необходимо предусмотреть гарантированный зазор в соединении заготовка-втулка.

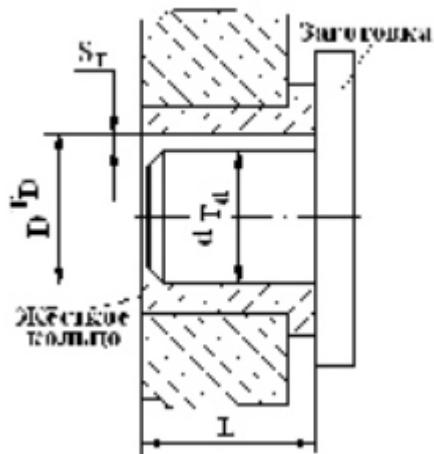


Рисунок 1.8 – Схема базирования заготовки в жёсткое кольцо

Как и в предыдущем случае (установка заготовки на цилиндрический палец) погрешность базирования при данном способе установки будет равна:

$$\omega_6 = S_{max}$$

Кроме того, в пределах  $S_{max}$  возможен перекос оси базы, который определяется по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} (S_{n\text{iax}} / L)$$

Этот способ базирования используется для заготовок с базами, обработанными по 7...9 квалитетам по СТ СЭВ. Для обеспечения лёгкости установки заготовок в отверстие втулок должен быть гарантированный зазор по подвижной посадке – **G7**. Длину втулки принимают не менее 1,5 диаметра базы, в противном случае может появиться значительный перекос оси заготовки. Кольца используют, когда установка осуществляется коротким буртиком заготовки.

Широкое распространение получило базирование наружных цилиндрических поверхностей в призму. Призмой называют установочный элемент с рабочей поверхностью в виде паза, образованного двумя плоскостями, наклонёнными друг к другу под углом  $\alpha$  (рисунок 1.9).

Призмы для установки коротких заготовок стандартизированы по ГОСТ 12195-66. Призма определяет положение оси заготовки, перпендикулярной основанию призмы вследствие совмещения её с осью углового паза.

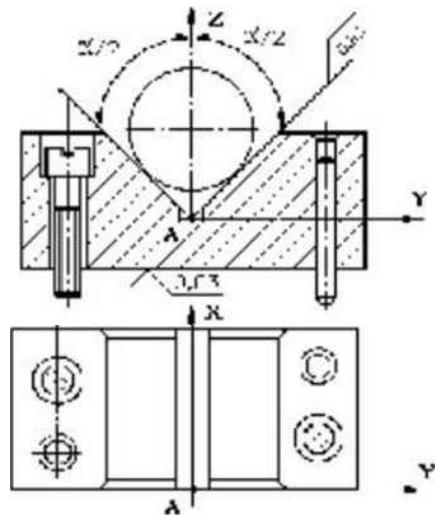


Рисунок 1.9 – Конструкция призмы

Осью углового паза считают ось, **проведённую** через точку А пересечения рабочих плоскостей перпендикулярно плоскости основания призмы. Для использования этого свойства призмы необходимо при её изготовлении обеспечивать строгую симметрию рабочих плоскостей относительно оси углового паза, т. е. точно выдержать половину угла призмы  $\alpha/2$ .

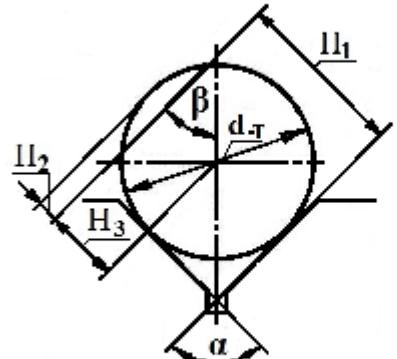
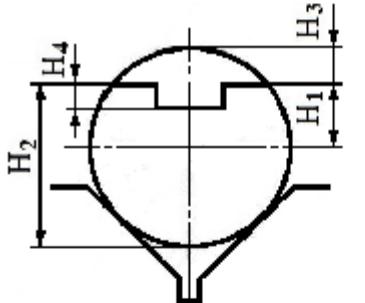
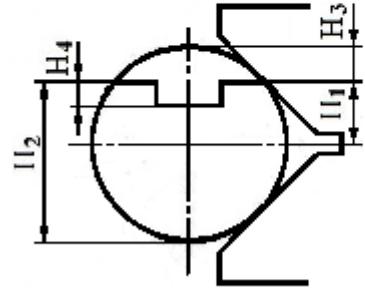
Призма определяет положение продольной оси заготовки X. В связи с этим возникает необходимость её точной фиксации на корпусе приспособления. Поэтому кроме крепёжных винтов положение призмы определяют с помощью двух контрольных штифтов.

В приспособлениях используют призмы с углами а. равными  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $120^\circ$ . Наибольшее распространение получили призмы с  $\alpha=90^\circ$ . Призмы с  $\alpha=120^\circ$  применяют, когда заготовка не имеет полной цилиндрической поверхности и по небольшой дуге окружности нужно определить положение оси заготовки. Заготовка, помещённая на таких призмах, имеет небольшую устойчивость. Призмы с углом  $\alpha=60^\circ$  применяют для повышения устойчивости заготовки в том случае, когда имеются значительные силы резания, действующие параллельно основанию призмы.

Конструктор может добиваться повышения точности выполняемого размера, не меняя установочной базы, обусловленной технологом, изменением положения призмы относительно заготовки.

В таблице 1.4 приведены типовые схемы установки цилиндрических заготовок в призму и соответствующие погрешности выполняемых размеров в функции допуска на диаметр базовой поверхности.

Таблица 1.4 – Погрешности базирования при установке в призму

Схема	Заданный размер	Погрешность базирования
	$H_1$	$\frac{T}{2} \left( \frac{\sin \beta}{\cos \alpha/2} - 1 \right)$ при $\beta = \frac{\alpha}{2} \dots 90^\circ$
	$H_2$	$\frac{T}{2} \left( 1 - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2} \right)$ при $\beta = 0 \dots \frac{\alpha}{2}$
	$H_3$	$\frac{T}{2} \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2} + 1 \right)$ $\frac{T \sin \beta}{2 \sin \alpha/2}$
	$H_1$	$\frac{T}{2} \frac{1}{\sin \alpha/2}$
	$H_2$	$\frac{T}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right)$
	$H_3$	$\frac{T}{2} \left( 1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right)$
	$H_4$	0
	$H_1$	0
	$H_2$	$T/2$
	$H_3$	0
	$H_4$	0

С целью уменьшения погрешности базирования используются различные *самоцентрирующие устройства*.

*Самоцентрирующим* называют устройство, опорные поверхности которого подвижны и связаны между собой так, что могут одновременно и с равным перемещением сближаться к оси устройства или удаляться от неё, т. е. они одновременно базируют и закрепляют заготовку. Самоцентрирующие устройства могут быть выполнены либо в виде кулачков, либо в виде цилиндрической тонкостенной втулки, упруго деформируемой при действии сил зажима и др.

Основное преимущество самоцентрирующих устройств состоит в том, что при установке в них заготовки погрешность базирования равна нулю. Эти устройства могут быть использованы для базирования заготовок как с обработанной, так и с необработанной базой. К ним относятся различные самоцентрирующие патроны: трёхкулачковые, цанговые, гидропластмассовые

и др.

### 1.5 Установка заготовок по двум базовым отверстиям и плоскости

Конструктивно различают установку на два цилиндрических пальца или на один цилиндрический и один срезанный пальцы. Граница применимости этих сочетаний определяется точностью диаметров и взаимного расположения базовых отверстий и требуемой точностью выдерживаемых на операции относительных расстояний и поворотов обрабатываемых поверхностей.

**Установка заготовок на два цилиндрических пальца.** На рисунке 1.10, а показано положение базовых отверстий 1 и 2 и пальцев 3 и 4 при номинальном размере межцентрового расстояния между ними  $L$ . Для выполнения условия установки рассмотрим наихудший случай (рисунок 1.10, б), когда межцентровое расстояние отверстий выполнено по наибольшему предельному размеру  $L+T_{m.o.}/2$ , межцентровое расстояние пальцев приспособления - по наименьшему  $L-T_{m.o.}/2$ , а зазоры в сопряжениях отверстий с пальцами выполнены минимальными –  $S_{1min}$  и  $S_{2min}$ .

При таком положении ось каждого пальца сместится к середине межцентрового расстояния на величину  $T_{m.o.}/4$ , а ось каждого отверстия сместится от середины на величину  $T_{m.o.}/4$  от номинального положения осей  $O_1$  и  $O_2$ . Следовательно, расстояния  $O_1'$ ,  $O_1''$  и  $O_2'$ ,  $O_2''$  равны  $T_{m.o.}/4 + T_{m.p.}/4$ . На рисунке 10, б видно, что оси отверстий относительно осей пальцев могут сместиться на величину  $S_{1min}$  и  $S_{2min}$ . Отсюда можно определить условия установки заготовки на два цилиндрических пальца:

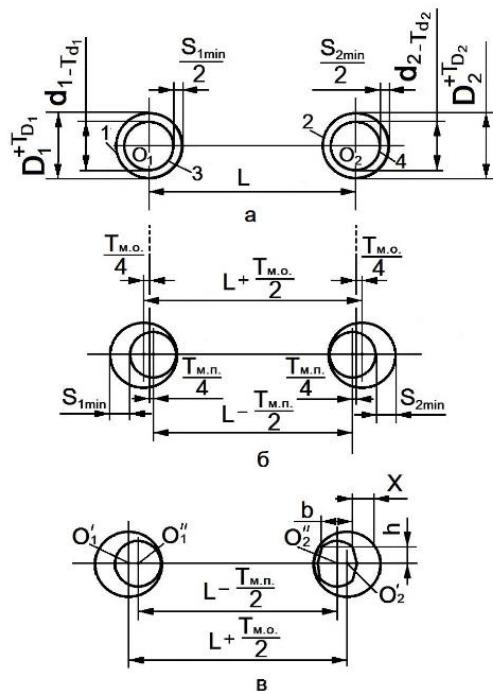


Рисунок 1.10 – Схема установки заготовки на два пальца

Следовательно, чтобы сохранить возможность установки на два

цилиндрических пальца, необходимо увеличить минимальные зазоры в сопряжении пальцев и отверстий, а это чаще всего приводит к недопустимому снижению точности установки.

Значительно повысить точность при сохранении возможности гарантированной установки любой заготовки из партии с межцентровым расстоянием базовых отверстий в пределах заданного допуска удаётся, если второй палец будет срезанным, а не цилиндрическим.

Схема установки заготовок на один цилиндрический и один срезанный палец показана на рисунке 1.10, в. Как видно, срез пальца увеличивает зазор  $X$  в направлении общей оси двух базовых отверстий  $O_1O_2$ , что позволяет установить заготовки с более широким допуском. Условие установки запишется следующим образом:

$$S_{1\min} + X \geq T_{m.o.} + T_{m.h.}$$

Смещения заготовки от её среднего положения в направлениях, перпендикулярных к оси цилиндрического пальца, определяются минимальным радиальным зазором  $S_{1\min}$ , допуском на диаметр базового отверстия  $T_{D1}$ , допуском на диаметр пальца  $T_{d1}$  и допуском на его износ  $T_{1\text{изн}}$  (рисунок 1.11). Наименьшее смещение равно  $S_{1\min}$ , а наибольшее:

$$S_{\max} = S_{1\min} + T_{D1}/2 + T_{d1}/2 + T_{1\text{изн}}/2$$

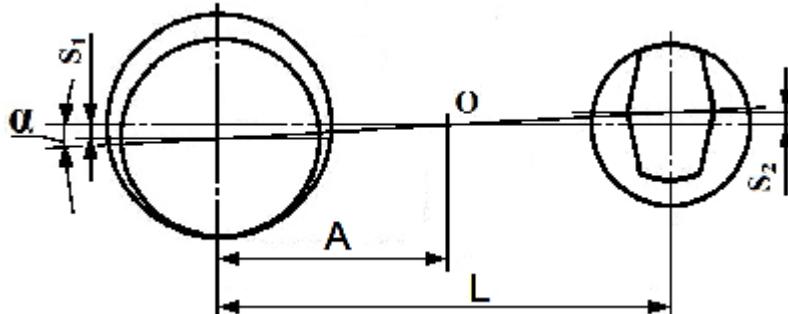


Рисунок 1.11 – Схема для расчёта погрешности установки заготовки на пальцы

По величинам смещений находят погрешность установки для выполняемых размеров. Наибольший угол поворота  $\alpha$  заготовки от её номинального положения можно найти по формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{S_{1\min} + \frac{T_{D1}}{2} + \frac{T_{d1}}{2} + S_{2\min} + \frac{T_{D2}}{2} + \frac{T_{d2}}{2} + \frac{T_{1\text{изн}}}{2} + \frac{T_{2\text{изн}}}{2}}{L}$$

где  $S_{2\min}$  – минимальный радиальный зазор при посадке на срезанный палец;  $T_{D2}$  – допуск на диаметр отверстия под срезанный палец;  $T_{d2}$  – допуск на

диаметр ленточки срезанного пальца;  $T_{2изн}$  – допуск на износ срезанного пальца.

Расстояние центра поворота от оси цилиндрического пальца

$$A = \frac{S_{1min} + \frac{T_{D_1}}{2} + \frac{T_{d_1}}{2} + \frac{T_{1изн}}{2}}{S_{1min} + \frac{T_{D_1}}{2} + \frac{T_{d_1}}{2} + S + \frac{T_{D_2}}{2} + \frac{T_{d_2}}{2} + \frac{T_{1изн}}{2} + \frac{T_{2изн}}{2}} L$$

Для уменьшения угла  $\alpha$  расстояние  $L$  следует брать наибольшим. При прямоугольной в плане базовой плоскости базовые отверстия располагают на концах её диагонали.

Установочные пальцы, применяемые для базирования заготовок по двум отверстиям и плоскости, стандартизированы (рисунок 1.12).

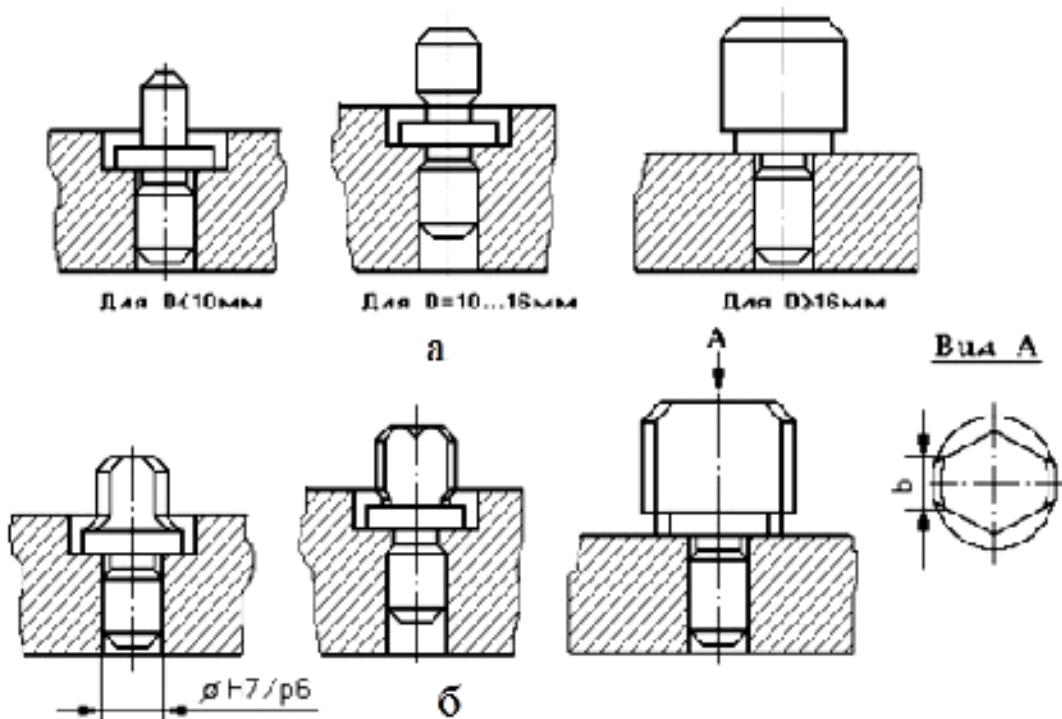


Рисунок 1.12 – Установочные пальцы:  
а – цилиндрические; б – срезанные

Конструкция цилиндрических пальцев определена ГОСТ 12209-66. А срезанных – ГОСТ 12210-66. Следует иметь в виду, что по ГОСТ ширина цилиндрической ленточки  $b$  зависит от диаметра цилиндрического пальца: для  $d=4\dots6$   $b=1$  мм, для  $d=6\dots8$   $b=2$  мм.  $D=8\dots12$ ,  $b=3$  мм, для  $d=12\dots32$   $b=4$  мм и т. д. Размеры цилиндрического пальца зависят от массы заготовки. При массе заготовки до 5 кг  $d$  пальца не превышает 6 мм. При 15 кг – 10 мм. При 45 кг 12 мм, при 120 кг – 16 мм и при большей массе – 20 мм.

## 1.6 Установка заготовок по центровым отверстиям

При обработке валов, тяг и других заготовок часто применяют установку на конические поверхности специально выполненных центровых отверстий или фасок. Установка вала по двум центровым отверстиям позволяет совместить ось заготовки с осью центров, т. е. свести к нулю погрешности от не совмещения технологической базы с собственной системой координат для всех размеров, заданных от оси вала. Такая схема установки получила широкое применение благодаря следующим преимуществам: простота конструкции приспособления; отсутствие погрешности от несовмещения баз для диаметральных размеров: обеспечение выдерживания принципа постоянства баз при обработке на различных операциях.

Недостатком этой схемы является необходимость обработки у заготовок дополнительных поверхностей - центровых отверстий.

Для реализации такой схемы базирования в качестве установочных элементов используют жёсткие и вращающиеся центры. Конструктивные разновидности жёстких центров показаны на рисунке 1.13, а схемы установки – на рисунке 1.14.

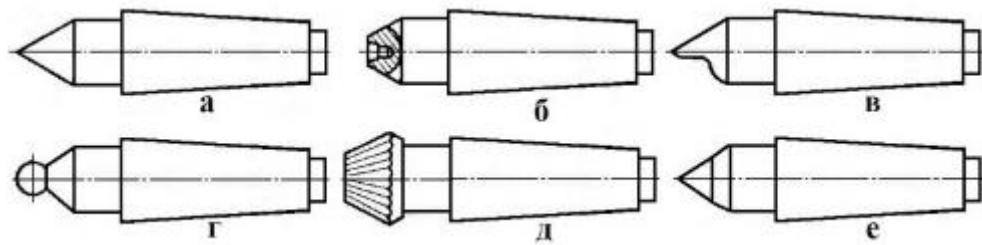


Рисунок 1.13 – Жёсткие центры:  
А – обычный; б – обратный; в – срезанный; г – сферический;  
д – рифлённый; е – с твердосплавной вставкой

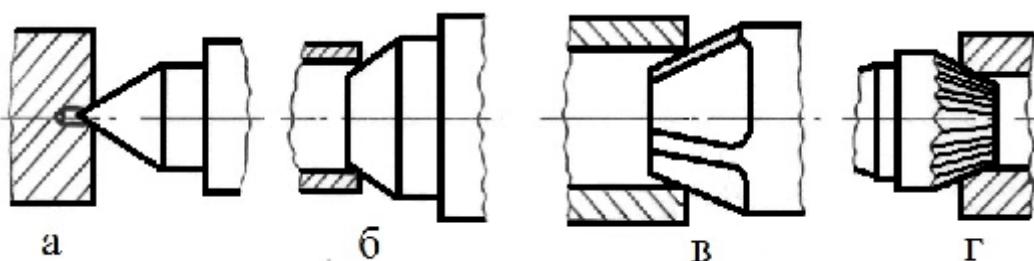


Рисунок 1.14 – Схемы установки с использованием жёстких центров

Центры изготавливают из сталей У7А, У10А и подвергают термической обработке до твёрдости **HRC**, 54...59, износостойкость повышают наплавкой твёрдого сплава.

При установке на жёсткий центр погрешность базирования для осевых

размеров зависит от точности выполнения центровых гнёзд.

### 1.7 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из основания, на котором закреплён ряд установочных элементов приспособлений, позволяющих базировать образцы (заготовки):

1. По трём плоскостям, основанию и двум боковым сторонам на жёсткие установочные опоры.
2. По базовому отверстию и плоскости: а) на жёсткий палец, б) на самоцентрирующий механизм.
3. По наружной цилиндрической поверхности и торцу: а) жёсткое кольцо, б) в призму.
4. По двум базовым отверстиям и плоскости на два жёстких пальца.
5. По центровым отверстиям, установка в жёсткие центры.

На рисунке 1.15 представлен чертёж образца, который используется в экспериментах. На чертеже указаны установочные поверхности для базирования по всем указанным выше способам. Около каждого значка в кружочках отмечен номер варианта базирования.

В экспериментах образец 5... 10 раз базируется в каждом варианте, а о погрешности установки судят по отклонениям показания индикатора. На рисунке 1.16 представлены схемы замера погрешностей базирования для всех возможных вариантов установки образца.

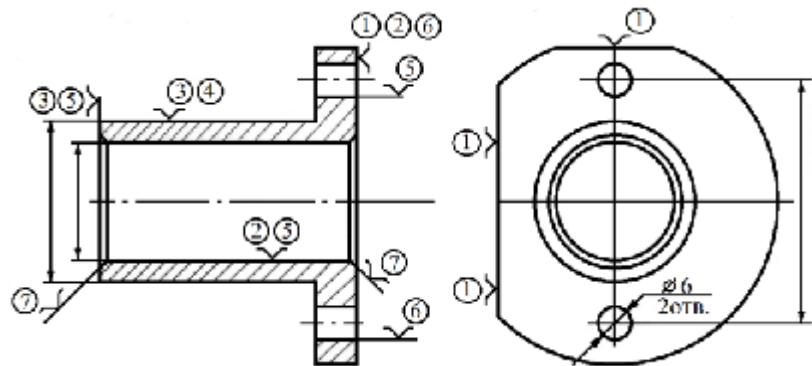


Рисунок 1.15 – Образец заготовка

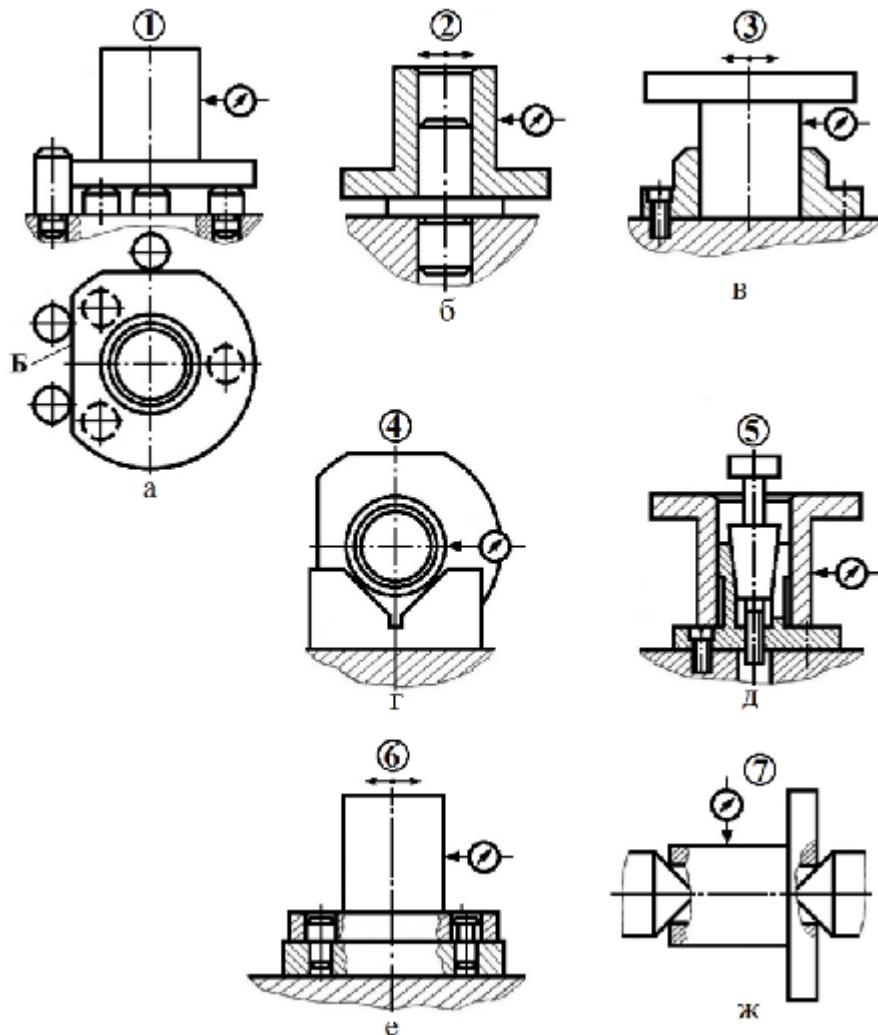


Рисунок 1.16 – Схемы базирования и замера погрешностей для различных вариантов установки образца

### 1.8 Порядок выполнения работы

#### 1. Установка образца по плоскости основания и двум боковым сторонам (рисунок 1.16, а).

1.1. Изучить конструкцию установочных элементов, замерить геометрические параметры опор.

1.2. По формулам таблице 1.2 определить зависимость перемещения в стыке опора – заготовка от силы зажима. В расчётах принять нормальную составляющую силы зажима  $Q = 150$  Н, а силу на боковую сторону Б -  $Q_B = 500$  Н.

1.3. Устанавливая заготовку на опоры 5 ... 10 раз, зафиксировать отклонения индикатора.

1.4. Определить среднюю погрешность и сравнить с расчётной.

1.5. Сделать вывод.

#### 2. Установка заготовки по базовому отверстию и плоскости на жёсткий цилиндрический палец (рисунок 1.16, б).

2.1. Замерить размеры цилиндрического пальца ( $d$ ) и диаметр базового

отверстия образца ( $D$ ).

2.2. По формулам таблице 1.3 рассчитать погрешность базирования.

2.3. Установливая заготовку на палец 5... 10 раз и каждый раз сдвигая её в пределах зазора - фиксировать показания индикатора.

2.4. Определить среднюю погрешность и сравнить с результатами расчёта.

2.5. Сделать выводы.

### **3. Установка заготовки по наружной цилиндрической поверхности и торцу в жёсткое кольцо (рисунок 1.16, в).**

3.1. Замерить внутренний посадочный диаметр кольца и базовый диаметр наружной цилиндрической поверхности образца.

3.2. По формулам таблице 1.3 рассчитать погрешность базирования.

3.3. Установливая заготовку в кольцо 5... 10 раз, фиксировать показания индикатора.

3.4. Определить среднюю погрешность и сравнить её с расчётной.

3.5. Сделать вывод.

### **4. Установка заготовки по наружной цилиндрической поверхности в призму (рисунок 1.16, г).**

**4.1. Замерить базовый диаметр образца  $d$  (угол призмы равен  $90^\circ$ ).**

4.2. По формулам таблице 1.4 определить погрешность базирования.

4.3. Установливая заготовку в призму 5... 10 раз в разных положениях, фиксировать показания индикатора.

4.4. Определить среднюю погрешность и сравнить её с расчётной.

4.5. Сделать выводы.

### **5. Установка заготовки по базовому цилиндрическому отверстию и торцу на самоцентрирующий разжимной элемент (рисунок 1.16, д).**

5.1. Изучить конструкцию установочного элемента (цанги).

5.2. Установливая заготовку и закрепляя её на цанге 5... 10 раз, изменяя при этом угловое положение заготовки, зафиксировать отклонения показаний индикатора.

5.3. Определить среднюю погрешность установки  $\omega_y$  (смещение оси) и сравнить с погрешностью варианта 2.

5.4. Сделать вывод.

### **6. Установка заготовки по двум отверстиям и плоскости (рисунок 16, е).**

6.1. Изучить конструкцию и расположение установочных пальцев. замерить их размеры и размеры базовых отверстий заготовки.

6.2. Для схемы, представленной на рисунке 1.10 определить условия установки заготовки на два цилиндрических и на один цилиндрический и один срезанный пальцы. В расчётах принять  $T_{m.o.} = \pm 0,05 \text{ мм}$ ,  $T_{m.h.} = \pm 0,04 \text{ мм}$ .

6.3. Установливая заготовку на пальцы, 5...10 раз зафиксировать отклонения в показаниях индикатора.

6.4. Определить среднее значение погрешности и сравнить с расчётом.

6.5. Сделать выводы.

### **7. Установка заготовки по центровым отверстиям (рисунок 1.16, ж).**

7.1 Установить заготовку в центры и измерить индикатором биение

наружной поверхности, повторить измерения 5... 10 раз.

7.2 Определить максимальное биение и выяснить причины, вызывающие погрешности биения заготовки.

7.3 Сделать вывод.

## 8. Оформить отчёт о работе.

### 1.9 Вопросы для самоконтроля

1. Установочные элементы приспособления
2. Выбор формы головки постоянных опор (плоская, сферическая, с насечками)?
3. Цель в опорных пластинах
4. Отличие вспомогательных опорных элементов от основных (постоянных опор)
5. Состав погрешности базирования при установке заготовки по базовому отверстию на жёсткий цилиндрический палец
6. Призма это
7. Погрешность базирования в призме
8. При базировании заготовок по двум базовым отверстиям один из пальцев выполняют срезанным

## Практическая работа №2

### Изучение конструкций зажимных элементов приспособлений и их влияния на погрешность закрепления

Цель занятия – изучить конструкции зажимных элементов приспособлений и их влияние на погрешность закрепления.

#### Задание на практическое занятие

1. Изучение конструкции и области применения зажимных элементов приспособлений.

2. Экспериментальное определение погрешности закрепления при использовании различных зажимных элементов.

#### 2.1 Общие сведения о зажимных элементах

1 Зажимные элементы приспособлений (зажимы) предназначены для обеспечения контакта заготовки с установочными элементами и создания надёжного закрепления её в процессе обработки. При этом заготовке придаётся повышенная жёсткость и виброустойчивость, что позволяет вести обработку с заданной точностью и производительностью.

К зажимным элементам приспособлений предъявляются следующие требования:

- при закреплении не должно нарушаться положение заготовки, достигнутое при её базировании;
- закрепление должно быть надёжным, чтобы во время обработки положение заготовки оставалось неизменным;

- возникающее при закреплении смятие поверхностей заготовки, а также её деформация, должны быть минимальными;
- зажим заготовки должен быть равномерным, особенно в многоместных приспособлениях;
- закрепление и раскрепление заготовок должно быть с минимальной затратой сил и времени;
- зажимные элементы должны быть надёжными в работе, простыми по конструкции, удобными и безопасными в обслуживании.

Несоблюдение этих требований закрепления может привести к возникновению погрешностей обработки, а изменение положения заготовки в процессе резания – к поломке режущего инструмента и травмированию рабочего.

Зажимы приспособлений делятся на *простые* и *комбинированные*. Простыми являются зажимы, у которых сила от определённого источника передаётся закрепляемой заготовке непосредственно через одно звено. Комбинированные – состоят из нескольких блокированных последовательно простых зажимов.

По числу точек приложения силы закрепления зажимные элементы делят на единичные и многократные. Многократные зажимные устройства закрепляют одновременно одну заготовку в нескольких точках или несколько заготовок с равными силами.

## 2.2 Простые зажимные элементы

К простым зажимам относятся: винтовая пара, клин, эксцентрик, пружина.

Винтовые зажимы имеют широкое распространение, они просты по конструкции и позволяют создать большую силу закрепления. Существенным недостатком является то, что при закреплении затрачивается сравнительно большое вспомогательное время. Закрепление осуществляется болтом или гайкой.

Непосредственное закрепление болтом осуществляется для грубо обработанных заготовок (рисунок 2.1). Зажимные болты изготавливаются из стали 45 с закалкой головки и рабочего конца до HRC 35...40.

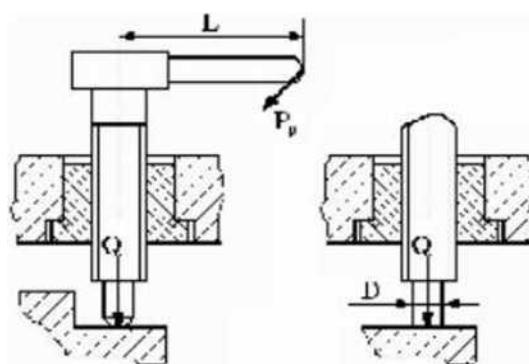


Рисунок 2.1 – Винтовой зажим

Применение промежуточной резьбовой втулки облегчает ремонт после износа соединения. Обточка рабочего конца болта выполняется для удобства его вывинчивания из втулки.

В тех случаях, когда на зажимной поверхности заготовки вмятины от действия винта недопустимы, применяют опорные пяты (рисунок 2.2). Опорная пята прикрепляется шарнирно к рабочему концу зажимного болта и даёт возможность передать давление на большую площадь, уменьшив тем самым удельное давление. Шарнирное закрепление пяты предохраняет зажимной болт от изгиба даже при наклонном положении зажимной поверхности заготовки.

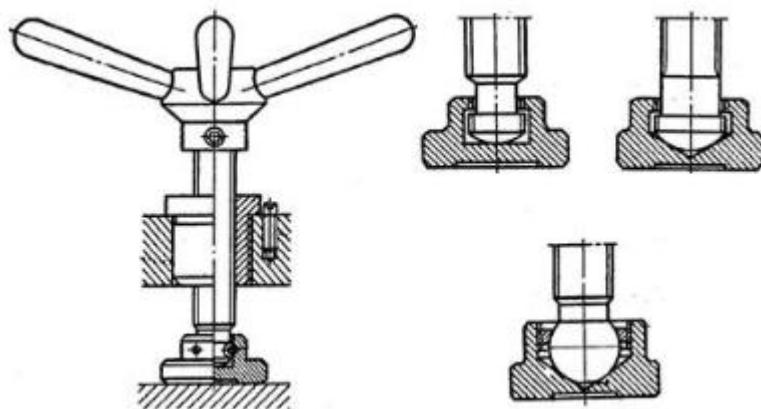


Рисунок 2.2 – Винтовые зажимы с пятой

Гайками для закрепления заготовок в приспособлениях пользуются при базировании по отверстию (рисунок 2.3). Зажимные гайки приспособлений работают в сочетании с разрезными (быстросменными) шайбами, которые дают возможность производить установку и снятие заготовки при небольшом отвинчивании гайки.

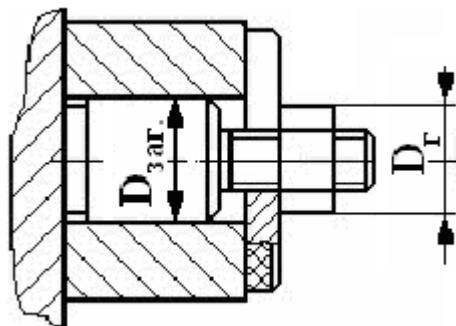


Рисунок 2.3 – Зажим гайкой с быстросменной шайбой

Эксцентрики являются распространённым средством зажима заготовок в приспособлениях. Это объясняется относительной простотой их изготовления, удобством в использовании и быстротой действия. Имея преимущество перед винтовыми зажимами в быстроте действия, эксцентриковые зажимы уступают

им в универсальности, силе зажатия и надёжности закрепления. Лучшими условиями для работы эксцентриковых зажимов является отсутствие значительных толчков и вибраций в процессе обработки заготовки.

В зависимости от формы рабочей поверхности эксцентрики могут быть **круговыми** (рабочая поверхность – окружность) или **спиральными** (эксцентрик и-кулачки, рабочая поверхность – эвольвента или спираль Архимеда) (рисунок 2.4).

**Круговой эксцентриковый** зажим представляет собой диск или валик, поворачиваемый вокруг оси  $O$  смещённой относительно геометрической оси эксцентрика на некоторую величину  $e$ , называемую эксцентризитетом. В эксцентрике соединены два элемента – круглый диск и плоский односкосный клин.

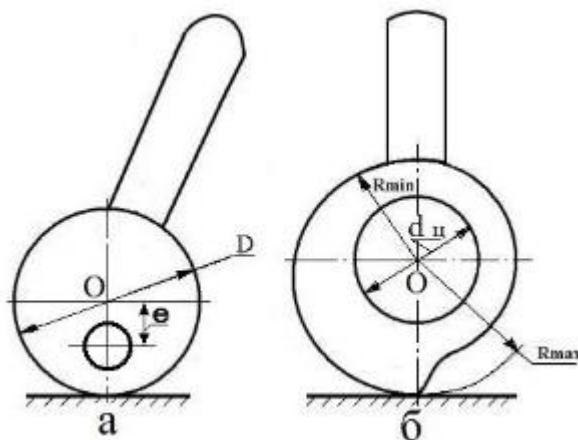


Рисунок 2.4 – Эксцентриковый зажим:  
а – круговой эксцентрик; б – криволинейный эксцентрик

Различие между круговым и спиральным эксцентриками заключается в том, что в развертке круговых эксцентриков плоский клин получается криволинейным с переменным углом подъёма клина  $\alpha$  в зависимости от угла поворота эксцентрика  $\beta$ , а у криволинейных эксцентриков  $\alpha$  не зависит от  $\beta$ . Это означает, что криволинейные эксцентрики создают стабильную силу зажима в партии заготовок, а круговые – нет. При зажиме круговыми эксцентриками в зависимости от колебания размера заготовок в партии изменяется рабочий угол поворота  $\beta$ , а, следовательно, угол  $\alpha$  и сила зажима  $Q$ . В то же время технология изготовления круговых эксцентриков значительно проще, чем криволинейных. Материалом для изготовления эксцентриков служат стали марки 20 или У7А. В первом случае эксцентрик подвергается цементации и закалке до твёрдости  $HRC_3$  55...60, во втором случае производится закалка до  $HRC_3$  48...52.

Зажим заготовок непосредственно клином используется очень редко. Однако клин в сочетании с другими звеньями механизма зажима получил широкое распространение благодаря простоте и компактности конструкции, надёжности в работе. Применение в зажимном механизме клина обеспечивает

увеличение исходной силы и перемену её направления, самоторможение механизма. Если клиновой механизм применяют для перемены направления силы зажима, то угол клина обычно равен  $45^\circ$ , а если для увеличения силы зажима или повышения надёжности закрепления, то угол клина принимают равным  $6\dots15^\circ$ .

Действие клина непосредственно на поверхность заготовки допускать не рекомендуется во избежание повреждений последней. Для этого используют промежуточное звено механизма (рисунок 2.5).

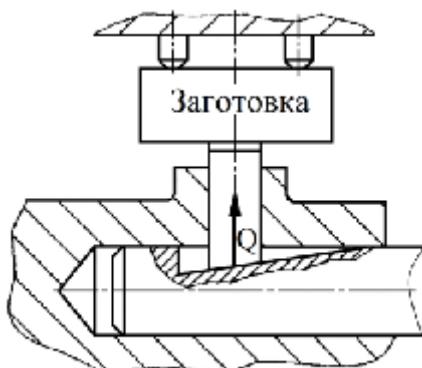


Рисунок 2.5 – Клино-плунжерный зажимной механизм

Перемещение клина происходит с помощью пневматики, гидравлики или вручную – винтом.

### 2.3 Комбинированные зажимные элементы

3 Сложные зажимные устройства состоят из двух или нескольких простых механизмов. Зажимы, состоящие из рычага в сочетании с винтовым, эксцентриковым или клиновым механизмом, называют **прихватами**. Конструкции прихватов изображены на рисунок 2.6. Прихват представляет собой механизм, состоящий из рычага в сочетании с одним из простых зажимов. Отодвигаемый винтовой прихват (рисунок 2.6, а) находит более широкое применение в конструкциях приспособлений. В исходном состоянии прижимная планка 1 (рычаг) с винтом 2 находятся в левом положении, обеспечивающем свободную установку заготовки. Пружина через конусную шайбу передаёт усилие на прижимную планку, удерживая её в верхнем положении. После установки заготовки на установочные элементы приспособления рычаг с винтом передвигается в правое крайнее положение. Вращением винта 2 с помощью ключа осуществляется крепление заготовки планкой 1. С целью предохранения поворота прихвата при зажиме заготовки винт 2 располагается в пазе опорной планки 3, закреплённой в корпусе.

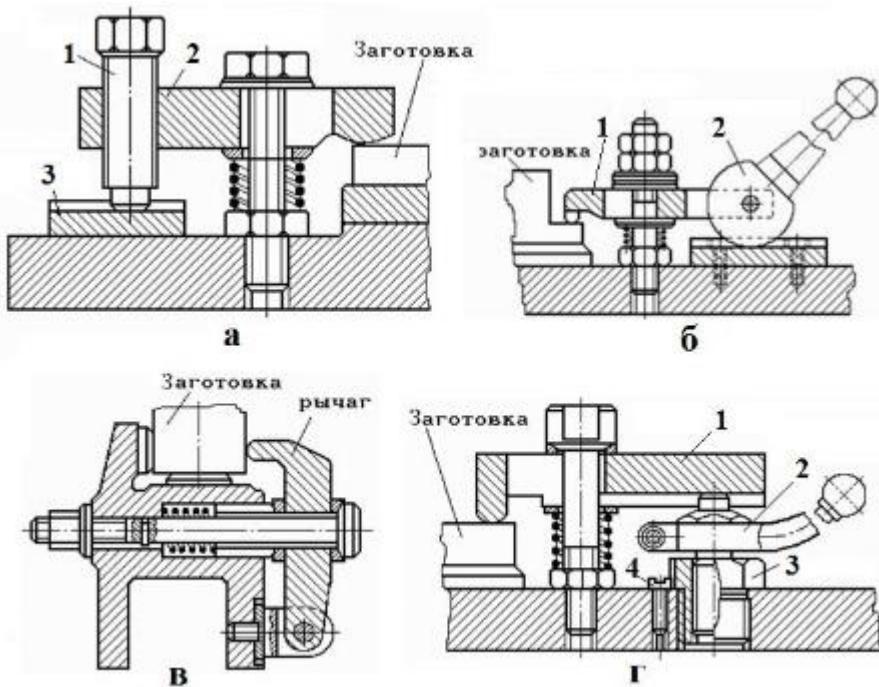


Рисунок 2.6 – Конструкции прихватов:

а – типовой; б – эксцентриковый; в – боковой; г – с винтовым домкратом

Конструкция эксцентрикового прихвата приведена на рисунке 2.6, б. В исходном состоянии прижимная планка 1 с эксцентриком 2 находится в правом крайнем положении. Вращением ручки эксцентрика по часовой стрелке производят закрепление заготовки. Назначение остальных элементов конструкции такое же, как и в конструкции прихвата (рисунок 2.6, а). Применение прихватов с эксцентриковым механизмом позволяет сократить вспомогательное время на закрепление заготовки.

На рисунке 2.6, в изображена конструкция бокового прихвата. Зажим осуществляется одновременно в горизонтальном и вертикальном направлениях за счёт установки рычага на оси.

На рисунке 2.6, г приведена конструкция прихвата с винтовым домкратом. Передача усилия на заготовку осуществляется через рычаг 1 вращением рукоятки 2. Для предохранения корпуса от износа вмонтирована переходная резьбовая втулка 3, которая стопорится винтом 4.

Прихваты комбинированные зажимные устройства применяют для увеличения сил закрепления, изменения направления сил зажима, уменьшения габаритных размеров зажимного устройства в местах его контакта с заготовкой, а также для создания наибольших удобств управления.

**4 Многократные зажимы** приводят в действие от одного силового источника и зажимают несколько или одну заготовку в нескольких точках одновременно. Применение многократных зажимов позволяет сократить вспомогательное время  $t$  на операции. Основным требованием, предъявляемым к многократным зажимам, является равенство зажимных сил. Для того чтобы обеспечить равенство сил зажима, ведомые звенья механизма должны

составлять блокированную систему, развивающую силу зажима независимо от колебаний размеров заготовок.

Известно много конструкций многократных зажимов приспособлений, которые можно разделить на группы, приняв за классификационный признак направление сил зажима. Можно выделить следующие группы: последовательного действия, передающие силу зажима в одном направлении от заготовки к заготовке (закрепление макета заготовок): параллельного действия, зажимающие заготовки в нескольких параллельных направлениях; со встречными силами зажима; с пересекающимся направлением сил (рисунок 2.7).

На рисунке 2.7 (а, в) показаны механизмы параллельного действия. Механизм (рисунок 2.7, а) прост и надёжен в работе, но при большом количестве заготовок оказывается громоздким и неудобным. Механизм на рисунке 2.7, б компактен. Под действием силы  $P_h$  система подвижных клиньев и плунжеров перемещается до тех пор, пока все плунжеры не зажмут заготовки. Недостатки этого механизма: низкий КПД, при одинаковых углах клиньев силы зажима  $Q$  неодинаковы из-за потерь на трение; для выравнивания  $Q$  углы клиньев нужно делать различными, что усложняет изготовление.

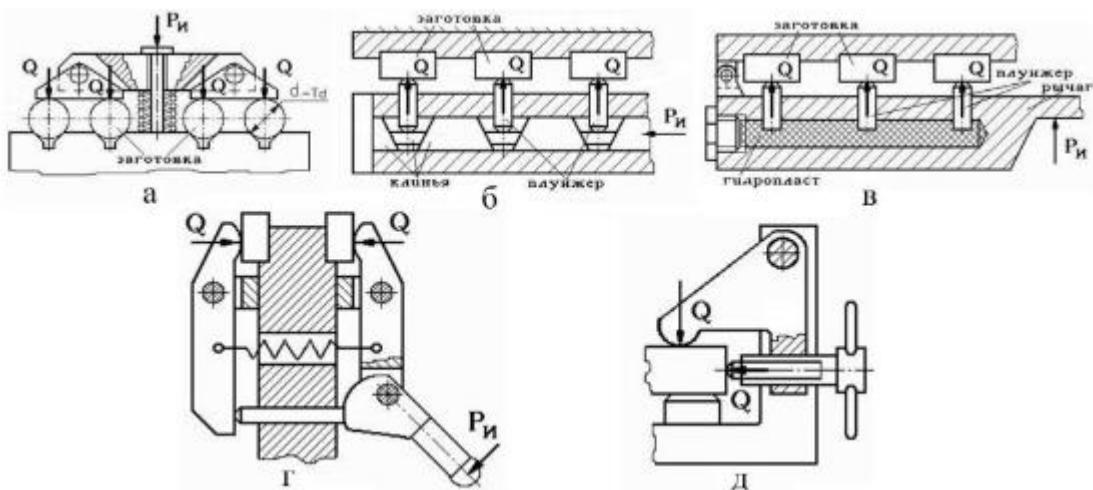


Рисунок 2.7 – Схемы многократных зажимов:  
а, б – параллельного действия; в – с гидропластом;  
г – со встречными силами; д – с пересекающимися силами

Этих недостатков лишены зажимы с гидропластом (рисунок 2.7, в). Так как гидропласт обладает способностью передавать давление по всем направлениям без изменения, силовой источник через рычаг и плунжеры передаёт одинаковую силу зажима  $Q$  на все заготовки.

На рисунке 2.7 г, д показаны механизмы со встречными и пересекающимися линиями действия сил зажима.

В пружинных зажимных механизмах элементом, преобразующим исходную силу привода  $P_h$  в силу зажима  $Q$ , является пружина. Сила  $Q$  обеспечивается сжатием пружины на необходимую величину  $F_h$ . Применяют

две схемы построения пружинных зажимов, представленные на рисунке 2.8. В схеме на рисунок 2.8. а необходимое сжатие пружины 1 достигается перемещением штока привода 5. При этом плунжер 3 передаёт на заготовку 4 силу  $Q$ . Сила зажима ограничена неподвижным упором 2. воспринимающим на себя избыточную силу привода  $Q$ .

В схеме на рисунке 2.8, б необходимое сжатие пружины 3 регулируется гайкой 2 при настройке приспособления. Сила  $Q$  передаётся на заготовку 1 через тягу 4. Для открепления заготовки шток 5 привода силой  $P_i$  подаёт вправо тягу 4, дополнительно сжимая пружину 3. Пружины для таких зажимов выбирают из числа нормализованных по требуемым значениям  $Q$  и  $F_h$ .

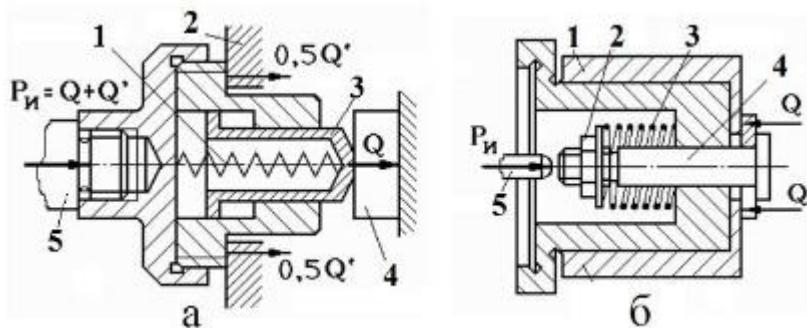


Рисунок 2.8 – Схемы пружинных зажимов

Процесс установки заготовок в приспособление включает в себя две стадии: базирование и закрепление. При базировании заготовке придают необходимую ориентацию относительно выбранной системы координат, а неизменность этого положения при обработке обеспечивают закреплением. Вследствие неоднородности базовых поверхностей заготовок, неточности изготовления изнашивания опорных и зажимных элементов приспособления, нестабильности сил закрепления и других причин положение заготовок в приспособлениях будут различным.

Погрешность обработки, определяющую погрешность фактически достигнутого положения заготовки от требуемого, называют погрешностью установки и определяют по формуле:

$$\omega_y = 1,2 \sqrt{\omega_b^2 + \omega_z^2 + \omega_{\text{пр}}^2}$$

где  $\omega_b$  – погрешность базирования;  $\omega_z$  – погрешность закрепления;  $\omega_{\text{пр}}$  – погрешность приспособления.

Зажимные элементы оказывают влияние на погрешность закрепления  $\omega_z$ , которая может быть определена как разность между наибольшей и наименьшей проекциями смещения измерительной базы на направления обрабатываемого размера при приложении к заготовке силы зажима.

## 2.4 Порядок выполнения работы

### 1. Определить погрешности закрепления от деформации стыка приспособление - заготовки.

Измерение деформации в стыке осуществляется в приспособлении, представленном на рисунке 2.9. В исследованиях используются образцы, имеющие шероховатость стыковочной поверхности  $Ra=0,63$  мкм;  $Rz=40$  мкм. Прижим образцов к приспособлению осуществляется винтовым зажимом, к которому с помощью динамометрического ключа прикладывается фиксированное усилие в 50 Н и 100 Н – на плече. О деформации в плоскости стыка судят по показаниям индикатора с ценой деления 0,001 мм. Для достоверности результатов экспериментов закрепление каждого образца осуществляют 3...5 раз.

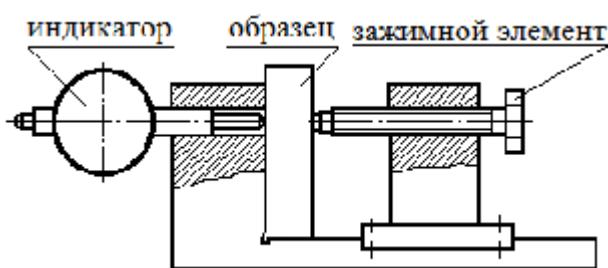


Рисунок 2.9 – Схема определения погрешности закрепления от деформации стыка

### 2. Определить погрешности закрепления в цанговом зажиме.

Схема приспособления с цанговым зажимом представлена на рисунке 2.10.

Оевые смещения заготовки при закреплении её в цанге вызываются совокупностью причин случайного характера, не поддающихся предварительной оценке. К ним относятся: «выжим» заготовки из цанги в момент зажима, отход заготовки во время её закрепления от торца цанги вследствие некоторого перекоса заготовки, имеющего место при разжатой цанге и др.

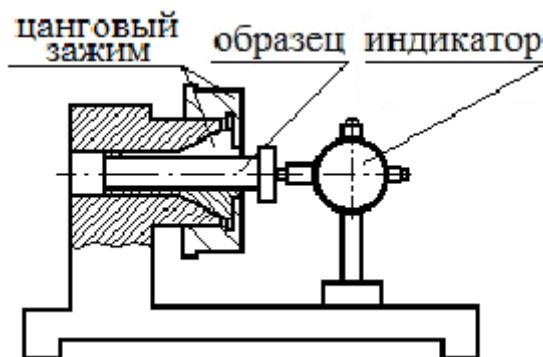


Рисунок 2.10 – Измерение погрешности закрепления в цанговом зажиме

В эксперименте образец устанавливается в цанге, которая предварительно зажимается гайкой вручную. К торцу заготовки подводится индикатор с ценой деления 0,01 мм. Затем производится окончательный зажим гайки ключом. При этом по индикатору фиксируется осевое перемещение образца. Эксперимент повторяется 3...5 раз.

### **3. Определить погрешности закрепления при использовании винтовых зажимов.**

Исследования проводят на экспериментальной установке, представленной на рисунок 2.11.

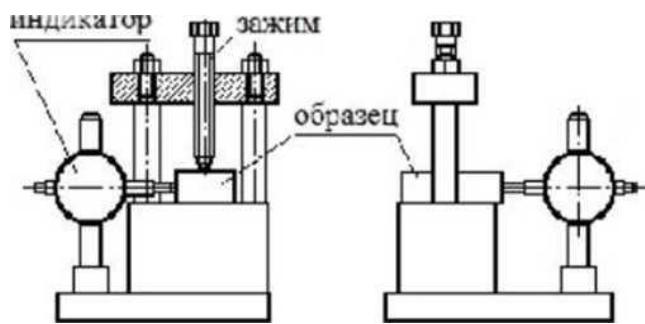


Рисунок 2.11 – Схема измерения погрешности закрепления при использовании винтовых зажимов

При экспериментах фиксируется смещение образца в двух направлениях с помощью индикаторов с ценой деления 0,02 мм. Зажим последовательно осуществляется с помощью винтов с различной опорной поверхностью (рисунок 2.12, а, б, в) и пружинным зажимом (рисунок 2.12, г).

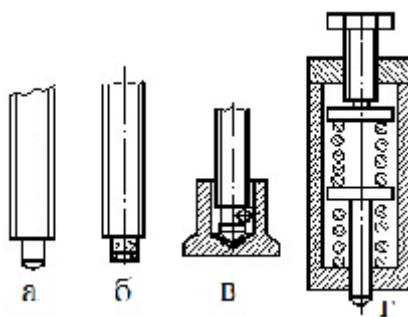


Рисунок 2.12 – Конструкции винтов с различной опорной поверхностью: а – сферический; б – кольцевой; в – с пятой; г – сферический пружинный

К головке винтов динамометрическим ключом прикладывается фиксированное усилие в 50Н и 100Н. Зажим образцов каждым винтом производится 3...5 раз.

### **4. Определить погрешности закрепления при использовании сложных зажимных механизмов (прихватов).**

В экспериментах используется в качестве сложного механизма винтовой прихват. В исследованиях фиксируется перемещение образца в двух направлениях с помощью двух индикаторов с ценой деления 0,001 мм.

В исследованиях вартируется положение рычага относительно образца с помощью опорного винта. При этом достигается два положения: когда рычаг параллелен зажимной поверхности образца (рисунок 2.13, а) и когда он находится под углом к образцу (рисунок 2.13, б). Зажим образца осуществляется 3...5 раз.

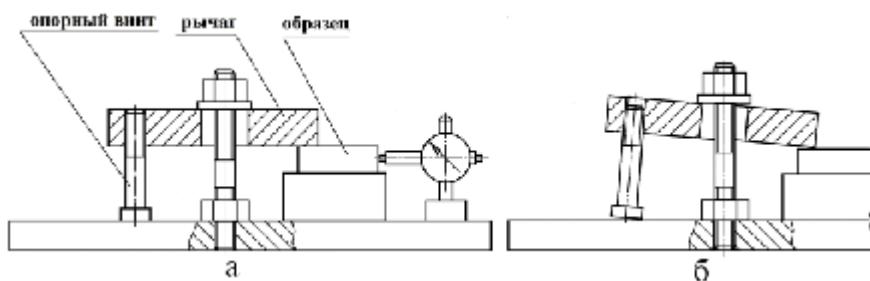


Рисунок 2.13 – Схема измерения погрешности закрепления при использовании сложных зажимных механизмов:  
а – рычаг параллелен зажимной поверхности образца;  
б – рычаг расположен под углом к образцу

## 5. Оформить отчёт по выполненной работе.

### 2.5 Вопросы для самоконтроля

1. Зажимные элементы и требования к ним.
2. Простой зажим.
3. Сложные или комбинированные зажимы.
4. Многократный зажим.
5. Погрешность закрепления.
6. Причины погрешности закрепления при использовании различных зажимных элементов.

## Практическая работа № 3

### Изучение конструкции и силовых параметров пневмокамеры

*Цель занятия* – изучить конструкцию и силовые параметры пневмокамеры.

#### *Задание на практическое занятие*

1. Ознакомление с конструкциями пневмоприводов для зажимных элементов приспособлений.
2. Изучение методики расчёта силовых параметров пневмокамеры.
3. Получение экспериментальной зависимости развиваемого усилия от хода штока пневмокамеры.

### 3.1 Общие сведения о конструкциях пневмоприводов

1 Основным назначением силового привода в приспособлении является создание исходного усилия, необходимого для закрепления заготовки. Силовые приводы используют также: для механизации и автоматизации загрузки, выгрузки и транспортирования заготовок; поворота приспособлений: включения и выключения станков; удаления стружки и т. п.

Силовой агрегат привода представляет собой преобразователь какого-либо вида энергии в механическую энергию, необходимую для работы зажимных механизмов. Поэтому в зависимости от вида используемой энергии приводы подразделяются: на пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электрические, электромагнитные, магнитные, вакуумные, центробежно-инерционные и др.

Наибольшее распространение в машиностроении получили пневмоприводы, использующие энергию сжатого воздуха. 2 Широкое применение пневмопривода объясняется его быстродействием (скорость срабатывания – доли секунды), простотой конструкции, лёгкостью в управлении, надёжностью и стабильностью в работе. Вместе с тем пневмопривод имеет недостатки: неплавное перемещение штока, большие габаритные размеры силовых агрегатов из-за низкого давления воздуха, шум при сбросе давления воздуха.

3 Пневмопривод включает в себя следующие части: источник сжатого воздуха (обычно цеховая или заводская компрессорная установка): силовой агрегат-пневмодвигатель, преобразующий энергию сжатого воздуха в силу на штоке; пневмоаппаратура – контролирующие приборы, распределительные, предохранительные устройства, воздуховоды и т. д.

Пневмодвигатель располагается, как правило, на корпусе приспособления. Пневмоаппаратура размещается вне приспособления и соединяется с пневмодвигателем при помощи воздуховодов.

4 Наибольшее распространение получили пневмодвигатели двух типов: поршневые (пневмоцилиндры) и диафрагменные (пневмокамеры) (рисунок 3.1).

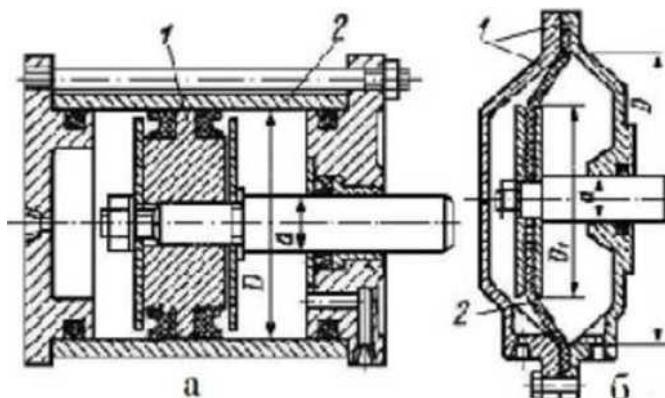


Рисунок 3.1 – Типы пневмодвигателей:  
а – поршневой; б – диафрагменный

Основными деталями поршневого привода являются поршень 1 и цилиндр

2 (рисунок 3.1. а). Поршневые приводы могут быть *одностороннего* и *двустороннего* действия. В приводе одностороннего действия рабочий ход производится сжатым воздухом, а холостой – усилием пружины. Они применяются, когда не требуется большой ход штока и когда при обратном ходе не требуется большой силы для отвода зажимных элементов в исходное положение. В приводе двустороннего действия и рабочий и холостой ход производятся сжатым воздухом. Эти приводы применяют при больших ходах штока. Для герметизации рабочих полостей в пневмоцилиндре необходимы уплотнения на поршне и штотке, которые довольно быстро изнашиваются (обычно срок их службы не превышает 10 тыс. циклов срабатывания).

*Пневмокамеры* представляют собой конструкцию из двух литых или штампованных корпусов 1, между которыми зажата упругая диафрагма 2 из резины или прорезиненной ткани (рисунок 3.1, б). 5 В связи с этим рабочий ход штока пневмокамеры ограничен величиной возможной упругой деформации диафрагмы. Диафрагмы могут быть **плоские** и **тарельчатые** (рисунок 3.2).

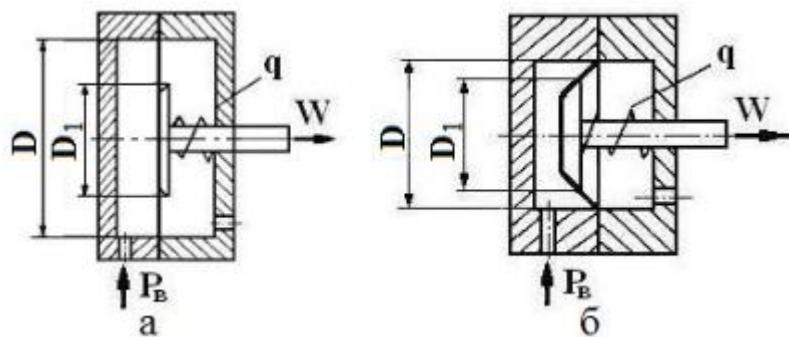


Рисунок 3.2 – Схемы пневмокамер:  
а – с тарельчатой диафрагмой; б – с плоской диафрагмой

Тарельчатые диафрагмы позволяют увеличить ход штока. Как и пневмоцилиндры, пневмокамеры могут быть *одностороннего* и *двустороннего* действия. 5 Основным достоинством пневмокамеры является высокая долговечность (600 тыс. циклов срабатывания), что объясняется отсутствием трущихся уплотнений.

### 3.2 Расчёт силы зажима, развиваемой пневмокамерой

Расчётная схема пневмокамеры представлена на рисунок 3.3.

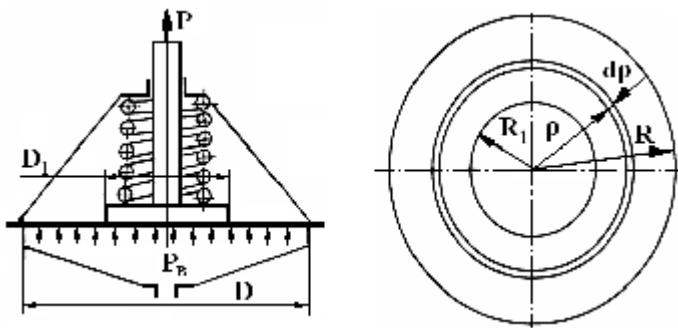


Рисунок 3.3 – Расчетная схема пневмокамеры

При расчёте силы на штоке пневмокамеры необходимо учитывать, что в связи с жёстким креплением диафрагмы в корпусе не вся сила сжатого воздуха передаётся на штоке. Часть этой силы, приходящейся на кольцевую площадку  $0,5(D-D_1)$ , передаётся корпусу. Поэтому полетное усилие  $W$  на штоке пневмокамеры можно представить состоящим из силы  $W_1$ , приходящейся на шайбу радиусом  $R_1 = 0,5D_1$  и силы  $W_2$ , приходящейся на кольцевую площадку, та вычетом силы  $Q$ , необходимой для сжатия пружины:  $W = W_1 + W_2$

Сила  $W_1$  определяется по формуле:

$$W_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} P_b = \pi R_1^2 P_b.$$

Силу  $W_2$  можно определить, пренебрегая упругостью материала диафрагмы. Для этого выделим элементарную кольцевую площадку на текущем радиусе  $\rho$  шириной  $d\rho$  (рисунок 3.3). На эту площадку воздух действует с силой, равной  $2\pi P_b \rho d\rho$  (величиной  $(d\rho)^2$  можно пренебречь). Допустим, что на шток камеры будет передаваться только часть этой силы, пропорциональная отношению  $(R-\rho) / (R-R_1)$ , характеризующему положение элементарной кольцевой площадки, тогда:

$$\begin{aligned} W_2 &= \int_{R_1}^R \frac{R-\rho}{R-R_1} dW_2 = \frac{2\pi P_b}{R-R_1} \int_{R_1}^R (R\rho d\rho - \rho^2 d\rho) = \pi P_b \int_{R_1}^R \left( \frac{R\rho^2}{R-R_1} - \frac{2}{3} \frac{\rho^3}{R-R_1} \right) = \\ &= \pi P_b \left[ R(R+R_1) - \frac{2}{3} (R^2 + RR_1 + R_1^2) \right] = \frac{\pi P_b}{3} (R^2 + RR_1 - 2R_1^2) \end{aligned}$$

Подставив выражения для  $W_1$  и  $W_2$  формулу для определения силы тяги, получим

$$W = \frac{\pi P_b}{3} (R^2 + RR_1 - 2R_1^2) - q$$

Величина силы  $W$  зависит от положения диафрагмы в камере, которое непрерывно изменяется при перемещении штока. Изменение силы  $W$  объясняется зависимостью величины  $Q$  и упругого сопротивления материала мембранны от хода штока. На рисунке 3.4 приведён график изменения усилия  $W_B$  зависимости от хода штока  $L$  для нормализованной камеры диаметром 230 мм при давлении воздуха в сети  $P_B = 0,4$  МПа.

Как видно из графика, кривая изменения силы имеет три характерных участка – в начале и конце рабочего хода сила резко уменьшается, в середине – стабилизируется. Поэтому при конструировании приспособлений с пневмокамерами рабочий ход следует выбирать таким образом, чтобы при закреплении заготовки диафрагма занимала примерно среднее положение (обеспечение постоянного усилия зажима).

Расчёт величины усилий, развиваемых пневмокамерами, можно производить по формулам, представленным в таблице 3.1.

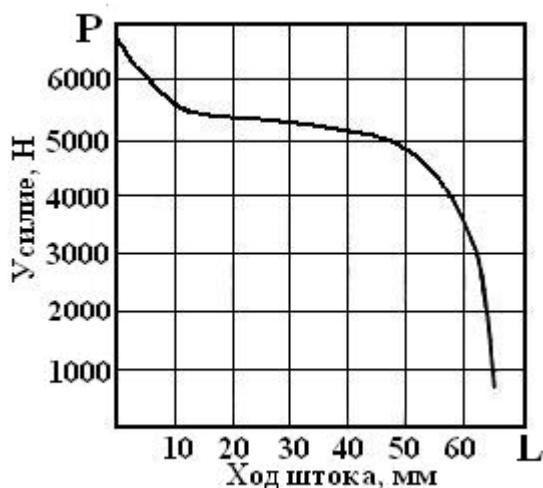
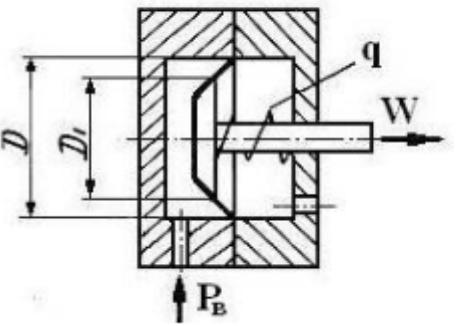
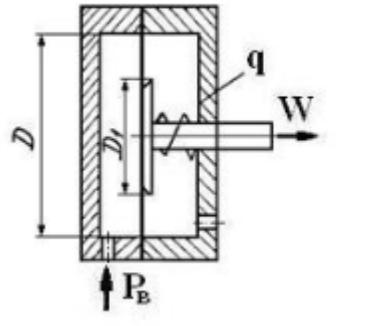


Рисунок 3.4 – График зависимости усилия от хода штока пневмокамеры

Таблица 3.1. Формулы для определения усилий, развиваемых пневмокамерами

Для тарельчатых резинотканевых диафрагм	
	<p>В исходном положении штока:</p> $W = \frac{\pi}{16} (D + D_1)^2 P_s - q$ <p>При перемещении штока на расстояние <math>0,15D</math> (крайнее положение штока):</p> $W = \frac{0,75\pi}{16} (D + D_1)^2 P_s - q,$ $D = 4 \sqrt{\frac{W + q}{0,75\pi P_s}} - D_1.$
Для плоских резинотканевых диафрагм	
	<p>В исходном положении штока:</p> $W = \frac{\pi}{16} (D + D_1)^2 P_s - q$ <p>При перемещении штока на расстояние <math>0,07D</math>:</p> $W = \frac{0,75\pi}{16} (D + D_1)^2 P_s - q,$ $D = 4 \sqrt{\frac{W + q}{0,75\pi P_s}} - D_1.$

### 3.3 Описание лабораторной установки

Конструкция лабораторной установки представлена на рисунке 3.5.

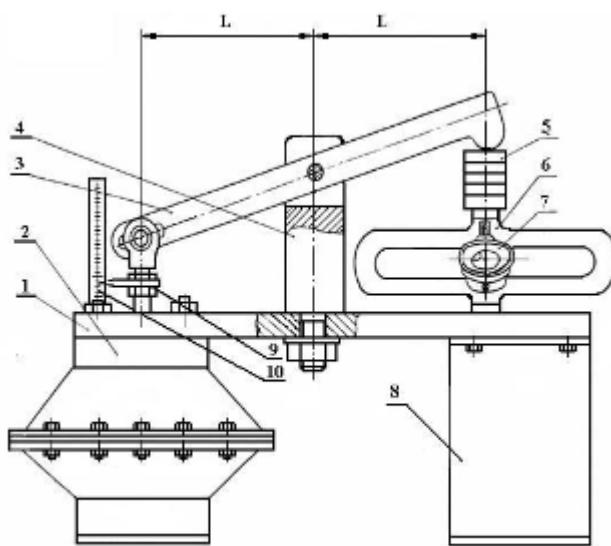


Рисунок 3.5 – Конструкция лабораторной установки

На основании 1 закреплена пневмокамера 2, которая через рычаг 3,

закреплённый в стойке 4, передаёт усилие на блок образцов 5. Блок образцов располагается на динамометре 6 марки ДОСМ-3-5. 8 Величина усилия закрепления фиксируется индикатором 7. К основанию 1 снизу прикреплены четыре опорных элемента 8, выполненных из швеллера, с помощью которых установка располагается на рабочем столе. Величина хода штока пневмокамеры контролируется с помощью линейки 10 и жёстко закреплённой на нём стрелки 9.

При работе усилие, создаваемое пневмокамерой 2 через рычаг 3, передаётся на блок образцов и динамометр. Рычаг является равноплечным, поэтому усилие, создаваемое пневмокамерой, без трансформации передаётся на динамометр.

На рисунке 3.6 представлена конструкция пневмокамеры. Между нижней 1 и верхней 2 чашками корпуса камеры закреплена резинотканевая тарельчатая диафрагма 3 с наружным диаметром 200 мм, сверху над диафрагмой расположен шток 4, посредством которого передаётся развивающееся пневмокамерой усилие.

Опорная поверхность штока имеет размер  $d107$  мм. В эту поверхность упираются пружины 5, которые возвращают шток в исходное положение после стравливания воздуха из нижней полости пневмокамеры. Пружины развиваются усилие сжатия 60., 100 Н.

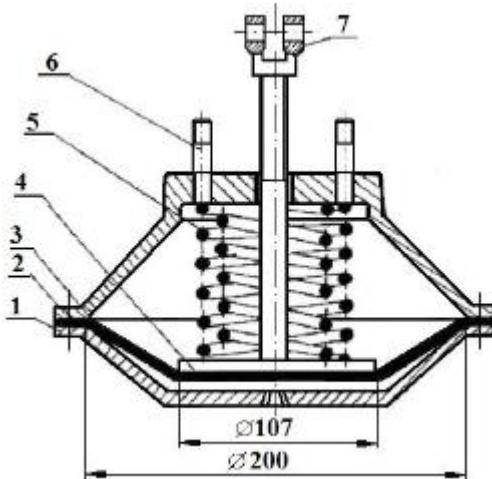


Рисунок 3.6 – Конструкция пневмокамеры

С помощью шпилек 6 пневмокамера прикрепляется к основанию 1 (рисунок 3.6). Вилка 7 навинчивается на резьбовой конец штока и служит для его соединения с рычагом.

На рисунке 3.7 представлена конструкция блока образцов, в состав которого входят два плоских опорных образца (верхний и нижний) толщиной 10 мм и десять образцов толщиной 5 мм. Диаметр образцов  $d50$  мм. В комплект также входит один образец (верхний) толщиной 9 мм.

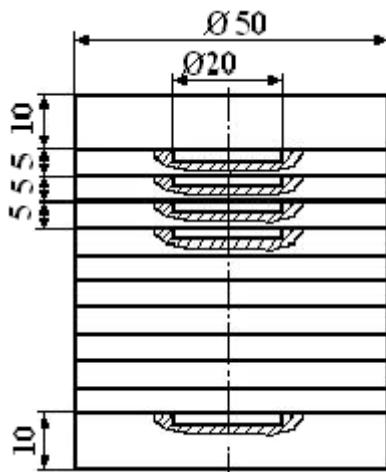


Рисунок 3.7 – Блок образцов

Между собой образцы центрируются по цилиндрическим пояскам d20 мм. Конструкция блока образцов позволяет изменять его высоту с интервалом в 5 мм и тем самым регулировать величину хода штока пневмокамеры.

### 3.4 Порядок выполнения работ

1. Изучить конструкции пневмоприводов и конструкцию пневмокамеры, приведённую на рисунке 3.6.
2. Расчётным путём определить величину зажимного усилия, развиваемого пневмокамерой, в исходном положении штока и после его перемещения на расстояние 0.3  $D$  при давлениях воздуха  $P_b = 0.4$  МПа и  $P_b = 0.6$  МПа.
3. Экспериментально определить зависимость усилия закрепления от хода штока, для чего:
  - установить блок образцов (высота блока 70 мм) на динамометр, что соответствует исходному положению штока;
  - подать сжатый воздух в пневмокамеру последовательно при давлении  $P_b = 0.4$  МПа и  $P_b = 0.6$  МПа, фиксируя при этом в протоколе проведения экспериментальных исследований (таблица 3.2) показания индикатора динамометра 7 (рисунок 3.5) в мм;
  - по тарировочному графику динамометра ДОСМ-3-5, представленному на рисунке 3.8, определить численное значение усилия закрепления в ньютонах:

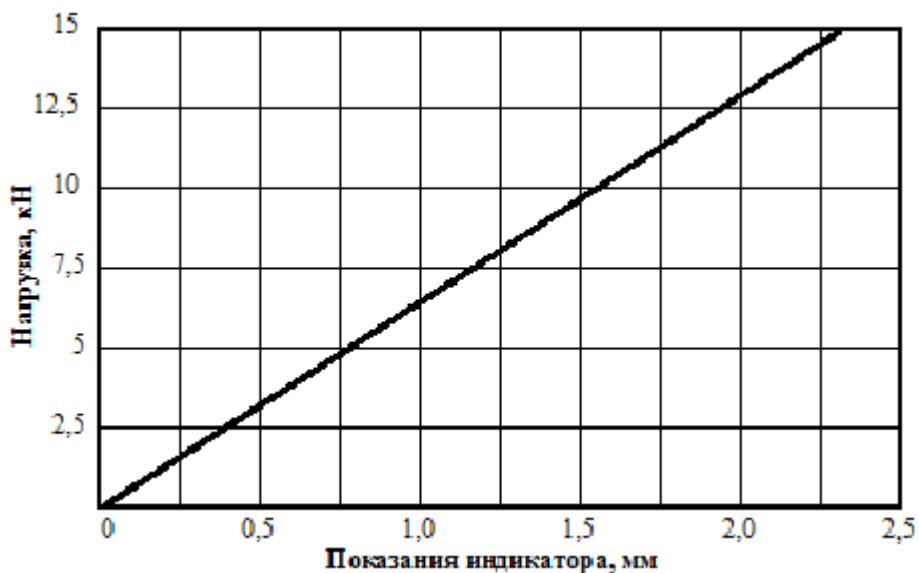


Рисунок 3.8 – Тарировочный график динамометра ДОСМ-3-5

- из блока образцов удалить один из средних образцов, толщиной 5 мм, и повторить замеры усилия закрепления;
- повторить измерения при последовательном удалении средних образцов до хода штока, соответствующего величине  $0,3 D$ ;
- построить график зависимости усилия закрепления от величины хода штока пневмокамеры (рисунок 3.4);
- провести сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчётами;
- сделать выводы по полученным результатам.

Таблица 3.2 – Протокол проведения экспериментальных исследований

Давление воздуха	Усилие	Ход штока $L$ , мм										
		0	1	5	10	15	20	25	30	31	35	40
$P_B = 0,4$ МПа	W	мм										
		Н										
$P_B = 0,4$ МПа	W	мм										
		Н										

4. Определить изменение сил закрепления при зажиме заготовок, имеющих допуск на установочную базовую поверхность в пределах 1,0 мм, для чего:

- в блоке образцов заменить верхний образец толщиной 10 мм на образец толщиной 9 мм, высота блока после этого составит 69 мм;
  - установить блок образцов на динамометр и провести замер усилий при давлениях воздуха  $P_B = 0,4$  МПа и  $P_B = 0,6$  МПа;
  - удалить шесть средних образцов, что будет соответствовать перемещению штока на 31 мм от исходного положения и повторить измерения;
  - определить разброс усилий закрепления и сделать вывод.
5. Оформить отчёт по выполненной работе.

### *3.5 Вопросы для самоконтроля*

1. Назначение силового привода в приспособлении.
2. Достоинства и недостатки пневматических приводов.
3. Состав пневмопривода.
4. Типы пневмодвигателей, использующиеся в приспособлениях.
5. Достоинства и недостатки пневмокамер.
6. Типы диафрагм применяют в пневмокамерах.
7. Нарисуйте график зависимости усилия от хода штока пневмокамеры.
8. Экспериментальное определение усилия, развиваемое пневмокамерой при различных положениях штока.

## **Практическая работа № 4**

### **Изучение конструкций, анализ и проверка точности делительных приспособлений**

*Цель занятия – изучить конструкции, выполнить анализ и проверку точности делительных приспособлений.*

#### *Задание на практическое занятие*

1. Изучение конструкций делительных приспособлений
2. Выявление и оценка факторов, влияющих на точность деления
3. Получение навыков расчета на точность делительного приспособления

#### *4.1 Общие сведения о делительных устройствах*

Делительные приспособления широко применяются в производстве деталей авиационных двигателей. Они дают возможность, не освобождая установленной и закрепленной в приспособлении заготовки, повернуть её на заданный угол или передвинуть на заданное расстояние. Таким образом, заготовка при одной установке и одном закреплении может занимать различные, заранее предусмотренные и обеспеченные конструкцией приспособления положения относительно станка и инструмента. Каждое из таких положений называется позицией.

В практике чаще всего применяются делительные приспособления для поворота заготовки и установки её в заданные позиции. Поэтому такие приспособления называют поворотными. Они широко применяются на сверлильных и фрезерных станках.

Делительные приспособления состоят из подвижной и неподвижной частей. На подвижную часть устанавливается заготовка. Неподвижная часть (корпус) устанавливается на стол станка.

Обязательной частью этих приспособлений является делительное устройство, главными элементами которого являются делительная плита или диск и фиксатор, определяющий положение плиты.

Фиксатор располагается в корпусе приспособления, а делительная плита - на поворотной части приспособления. Делительная плита имеет столько гнезд, сколько позиций должна занимать обрабатываемая заготовка. Фиксатор, входя

в гнездо, стопорит подвижную часть приспособления относительно неподвижной. Рабочий профиль фиксатора определяется профилем гнезда делительного диска.

По форме гнезд делительные диски разделяют на две группы с отверстиями и с пазами. На рисунке 4.1, а показаны делительные плиты с отверстиями. В плите для уменьшения износа запрессовываются термически обработанные до высокой твердости (закалка, цементация) и точно отшлифованные втулки (гнезда). Отверстие в них под фиксатор выполнится цилиндрическим или коническим. Коническое отверстие обеспечивает более высокую точность деления. Отверстия под гнезда получают на координатно-расточных станках с точностью линейных размеров до 0,005 мм.

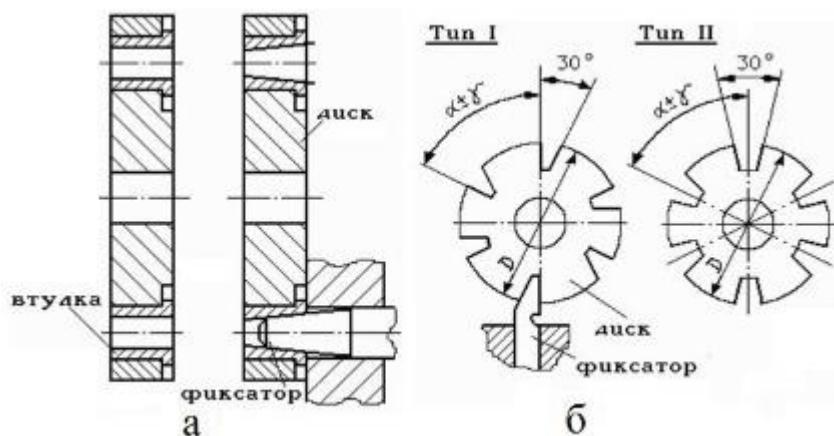


Рисунок 4.1 – Конструкции делительных плит

На рисунке 4.1, б представлены делительные плиты с пазами. Плиты с асимметричными пазами (тип I) более эффективны, чем с симметричными (тип II) так как загрязнение симметричного паза по любой плоскости неизбежно вызовет погрешность деления. При загрязнении же асимметричного паза фиксатор удалит грязь с его рабочей поверхности, расположенной по радиусу, а загрязнение наклонной поверхности не сказывается на точности деления. При равной точности угловых шагов ( $\alpha \pm y$ ) плиты с пазами обеспечивают более высокую точность деления, чем плиты с отверстиями. Однако плиты с пазами более сложные в изготовлении.

Для изготовления сопрягаемых деталей делительных устройств используются цементируемые или инструментальные углеродистые стали (У7, У8).

Фиксаторы различаются конструкцией механизмов, применяемых для их перемещения. На рисунке 4.2 приведены различные конструкции фиксаторов.

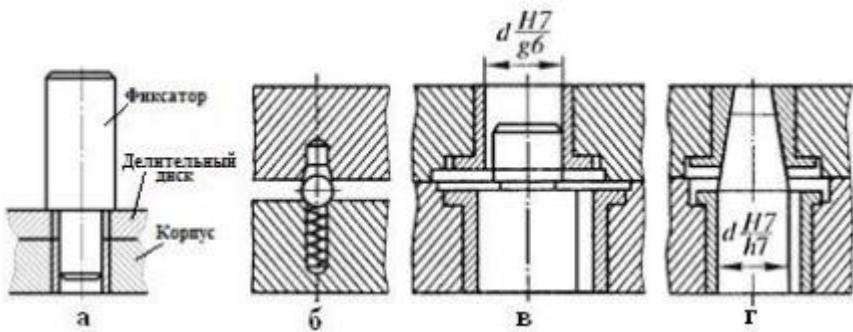


Рисунок 4.2 – Конструкции фиксаторов:  
 а – простейший; б – шариковый; в – вытяжной цилиндрический;  
 г – вытяжной конический

Наибольшее применение в делительных приспособлениях находят вытяжные фиксаторы с кнопочным оттягиванием (рисунок 4.3, а, б) и вытяжные фиксаторы с реечным приводом (рисунок 4.3, в).

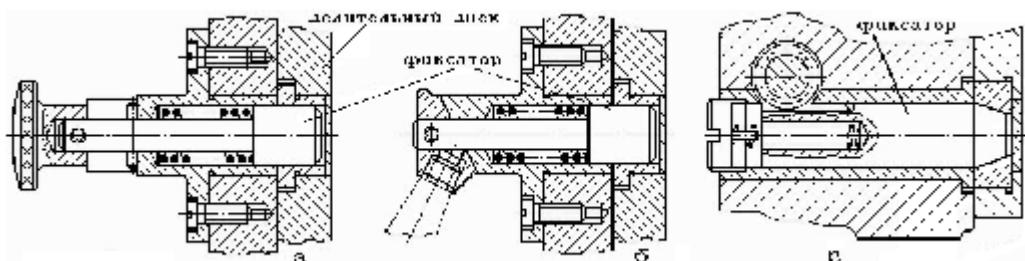


Рисунок 4.3 – Конструкции вытяжных фиксаторов:  
 а, б – с кнопочным оттягиванием; в – с реечным приводом

В зависимости от характера компоновки делительного приспособления бывает удобным различное расположение фиксатора относительно делительного диска (плиты). По этому признаку различают две группы делительных устройств.

1. Делительные устройства, у которых фиксатор расположен в плоскости делительной плиты (рисунок 4.4, а).

2. Делительные устройства, у которых фиксатор расположен в плоскости, перпендикулярной делительной плите (рисунок 4.4, б).

По расположению оси вращения делительные приспособления делятся

- на приспособления с горизонтальной осью;
- приспособления с вертикальной осью;
- приспособления с наклонной осью.

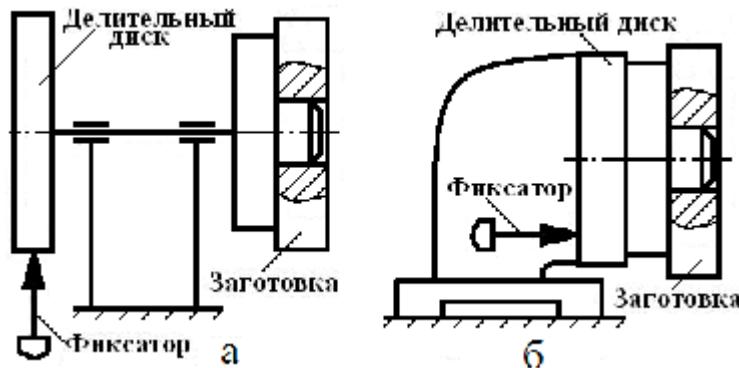


Рисунок 4.4 – Схемы делительных устройств:

а - фиксатор расположен в плоскости делительной плиты, б – фиксатор расположен в плоскости перпендикулярной делительной плите

Поворотные и передвижные части делительных приспособлений для устранения вибраций возникающих во время обработки заготовок (из-за зазоров) а также для исключения действия нагрузок от сил резания на фиксатор (в противном случае его можно повредить) необходимо жёстко крепить к неподвижному корпусу после процесса деления. Это требование особенно необходимо исполнять на фрезерных приспособлениях, где работа сопряжена с большим усилием резания и ударной нагрузкой при прерывистой обрабатываемой поверхности. Чаще всего, по возможности, стремятся к тому, чтобы процесс деления совместить с креплением поворотной части приспособления к неподвижному корпусу.

На рисунках 4.5–4.7 представлены конструкции приспособлений с делительными устройствами, а в таблицах 4.1–4.3 приведены сведения о составе входящих в приспособления элементов.

#### 4.2 Оценка точности делительного устройства

Результирующая погрешность обработки при выполнении любой операции с применением приспособлений не должна превышать заданного допуска на геометрический параметр, т. е.

$$\omega \leq T,$$

где  $\omega$  – результирующая погрешность обработки заданного геометрического параметра;  $T$  – допуск на геометрический параметр. Результирующую погрешность можно представить в виде

$$\omega = \omega_o + \omega_y \leq T, \quad (1)$$

где  $\omega_o$  – погрешность, связанная с методом обработки;  $\omega_y$  – погрешность, связанная с установкой.

Таблица 4.1 – Элементы фрезерного делительного приспособления

№ поз	Наименование	Колич.	Материал	Примеч.
1	Корпус	1	СЧ12-14	-
2	Втулка	1	Ст 45	-
3	Делительный диск	1	Ст 45	HRC 46...50
4	Шпонка	1	Ст 45	HRC 46...50
5	Фиксатор	1	У7А	HRC 52...56
6	Пружина	1	65Г	HRC 58...62
7	Стакан	1	Ст 45	HRC 46...50
8	Фиксатор	1	Ст 35	-
9	Пробка	1	Ст 35	-
10	Винт	1	Ст 45	-
11	Фиксатор	1	Ст.35	-
12	Ручка	1	Ст 3	-
13	Хомут	1	65Г	HRC 46...60
14	Коническая втулка	1	Ст 45	-
15	Гайка	1	Ст 45	-
16	Гайка контровочная	1	Ст 45	-
17	Штурвал	1	Ст 3	-
18	Гайка	1	Ст 3	-
19	Вал	1	Ст 3	-
20	Шпонка	1	Ст 4	HRC 46...50
21	Гайка	1	Ст 3	-
22	Винт	1	Ст 3	-
23	Винт	1	Ст 3	-
24	Ручка	1	Ст 3	-
25	Штифт	1	Ст 45	HRC 46...50
26	Штифт	1	Ст 45	HRC 46...50

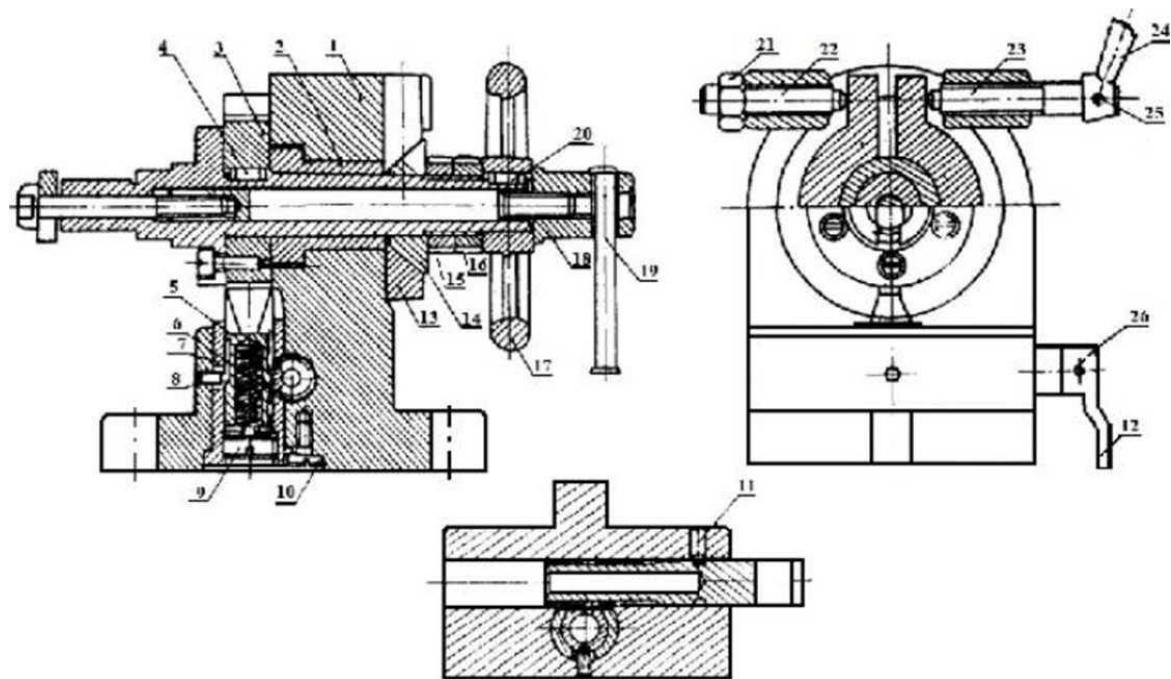


Рисунок 4.5 – Фрезерное делительное приспособление

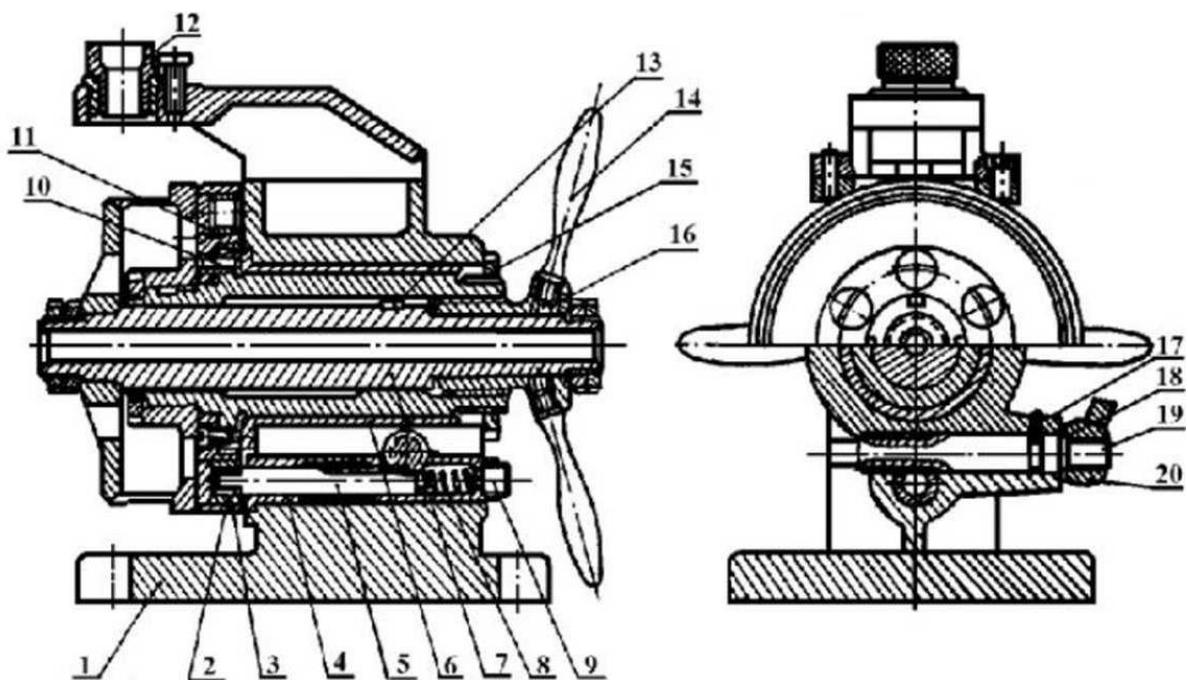


Рисунок 4.6 – Сверлильное делительное приспособление

Запишем формулу (1) в виде  $\omega_{ул} < T - \omega_o$ , т. е. допустимая погрешность, связанная с установкой заготовки, является мастью допуска. Обычно погрешность установки составляет  $\omega_{ул} = (0,3...0,4)T$ .

При проектировании приспособлений конструктор определяет расчётную погрешность установки  $\omega_{ур}$ , которая не должна превышать допустимую

погрешность  $\omega_{ул}$ .

В общем случае расчётная погрешность установки определяется по формуле:

$$\omega_{yp} = 1,2 \sqrt{\omega_6^2 + \omega_3^2 + \omega_{пр}^2}$$

где  $\omega_6$  – погрешность базирования;  $\omega_3$  – погрешность закрепления;  $\omega_{пр}$  – погрешность изготовления и износа приспособления.

Таблица 4.2 – Элементы сверлильного делительного приспособления

№ поз.	Наименование	Колич.	Материал	Примеч.
1	Корпус	1	СЧ12-14	-
2	Делительный диск	1	Ст45	-
3	Стакан	6	У7А	HRC 48...52
4	Втулка	1	Ст45	HRC 52...56
5	Фиксатор	1	У7А	HRC 52...56
6	Подшипник	1	Ст45	HRC 45...50
7	Вал	1	Ст45	HRC 46...50
8	Пружина	1	65Г	-
9	Пробка	1	Ст3	-
10	Штифт	1	Ст45	-
11	Пробка	6	Ст3	-
12	Кондукторная втулка	1	У7А	HRC 52...56
13	Шпонка	1	Ст45	HRC 45...50
14	Ручка	4	Ст3	-
15	Гайка	1	Ст45	HRC 45...50
16	Гайка	1	Ст45	HRC 45...50
17	Фиксатор	1	Ст3	-
18	Шайба	1	Ст3	-
19	Вал	1	Ст45	-
20	Рукоятка	1	Ст3	-

Погрешность изготовления и износа приспособления определяется по формуле:

$$\omega_{пр} = \omega_{изг} + \sqrt{3\omega_i^2 + \omega_{y,пр}^2}$$

где  $\omega_{изг}$  – погрешность изготовления элементов приспособления;  $\omega_i$  – погрешность, связанная с износом установочных элементов;  $\omega_{y,пр}$  – погрешность установки приспособления на станке.

Точность работы делительного устройства (точность деления) зависит от характера и величин погрешностей изготовления его деталей, т. е. от точности взаимного расположения сопряженных поверхностей корпуса приспособления, делительной плиты и фиксатора. Поэтому точность деления является составной частью погрешности изготовления  $\Phi_{изг.}$ .

При оценке точности необходимо различать погрешности изготовления, которые приводят к смещению делительного диска по линии, соединяющей ось вращения диска и ось фиксатора. Эта погрешность будет определяться минимальным из максимальных зазоров в посадках: диск-корпус, фиксатор-корпус, фиксатор-гнездо.

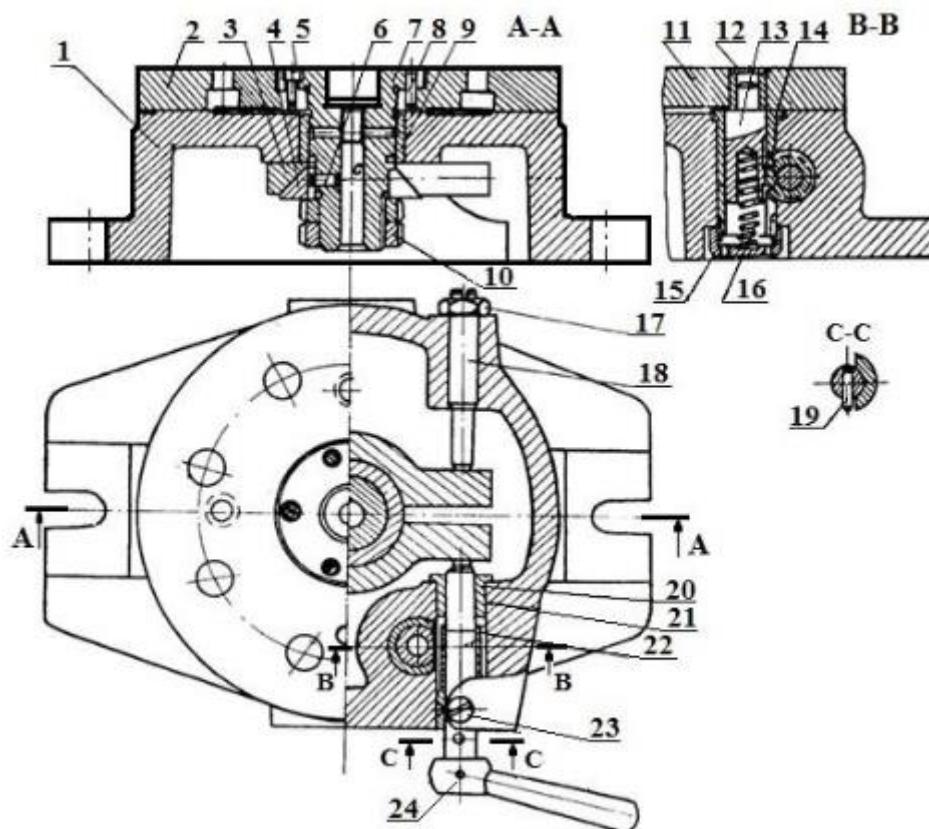


Рисунок 4.7 – Нормализованный делительный стол

Таблица 4.3 – Элементы нормализованного делительного стола

№ поз.	Наименование	Колич.	Материал	Примеч.
1	Корпус	1	СЧ 12-14	
2	Делительный диск	1	Ст 45	HRC 52...56
3	Хомут	1	Ст 45	HRC 52...56
4	Втулка коническая	1	Ст 45	HRC 52...56
5	Винт	6		-
6	Штифт	1	Ст 45	
7	Стакан	1	30ХГСА	HRC 42...45
8	Штифт	2	Ст 45	
9	Втулка	1	Ст 45	HRC 46...50
10	Гайка	2	Ст 45	-
11	Втулка	1	Ст 35	HRC 52...56
12	Упор	1	Ст 3	
13	Фиксатор	1	65Г	HRC 52...56
14	Корпус фиксатора	1	Ст 45	-
15	Подпятник	1	Ст 45	-
16	Пружина	1	Ст 45	HRC 58...62
17	Гайка	1	Ст 3	
18	Палец резьбовой	1	Ст 3	HRC 52...56
19	Штифт	1	Ст 3	
20	Втулка	1	Ст 45	
21	Шток	1	Ст 3	HRC 52...56
22	Валик шлицевой	1	Ст 3	HRC 52...56
23	Винт	1	Ст 3	-
24	Ручка	1	Ст 3	-

На рисунке 4.8 представлена схема нормализованного делительного устройства (конструкцию см. на рисунке 4.7).

Погрешность делегат – это погрешность, возникающая при повороте делительного диска на заданный угол. Очевидно, что для обеспечения заданной точности деления необходимо, чтобы

$$\omega_{дел} = \sum_1^n \omega_{изг.i} \leq T_{дел}$$

где  $\omega_{изг.i}$  – погрешности элементов приспособления влияющие на точность деления  $T_{дел}$  – заданная точность (допуск) деления.

Для схемы на рисунке 4.8 источниками погрешностей, влияющих на точность деления являются

- зазоры в посадках
- погрешности в угловом расположении отверстий гнезд под фиксатор

$$\omega_{дел} = \omega_3 + \omega_a$$

где  $\omega_3$  – погрешность, обусловленная зазорами;  $\omega_\alpha$  – погрешность углового расположения отверстий гнезд.

$$\omega_\alpha = T_\alpha + T_\alpha$$

где  $T_\alpha$  – допуск на эксцентризитет втулки под фиксатор:  $T_\alpha$  – допуск на расположение осей отверстий под гнезда в плите.

На рисунке 4.9 приведена схема для расчета погрешности поворота делительного диска

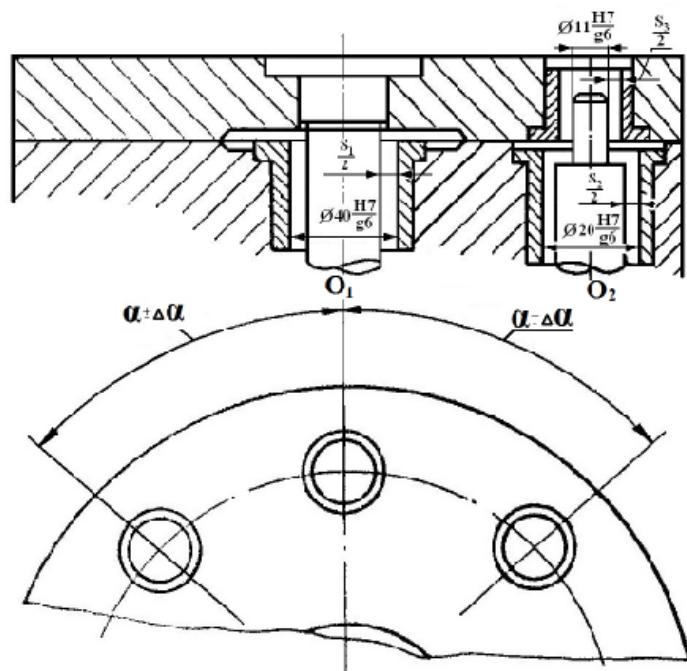


Рисунок 4.8 – Схема делительного устройства приспособления

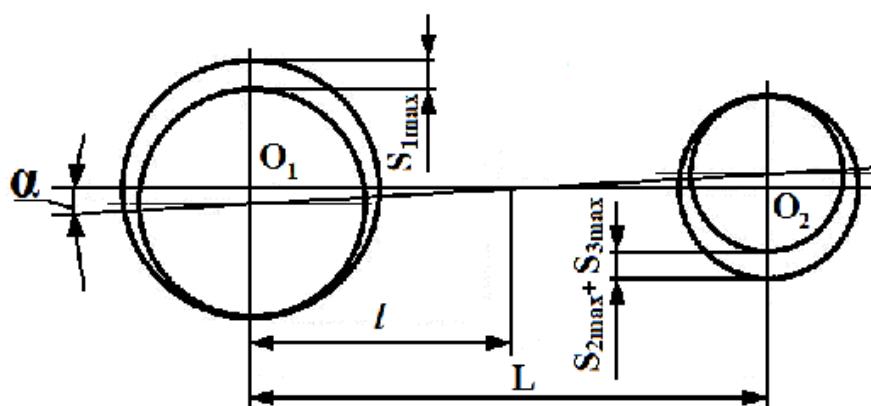


Рисунок 4.9 – Схема для расчёта погрешности поворота делительного диска

Угол и центр поворота определяются по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S_{1max} + S_{2max} + S_{3max} + T_{\alpha}}{2L}$$

$$l = \frac{S_{1max}}{S_{1max} + S_{2max} + S_{3max} + T_{\alpha}} L$$

Если  $T_{\text{дел}}$  задаётся в градусах (минутах), то используя эти формулы, определяют расчётную погрешность поворота делительного диска. Если  $T_{\text{дел}}$  задаётся в миллиметрах, то определяют максимальное смещение делительного диска по окружности расположения осей фиксаторов. В этом случае  $\omega_s$  будет равно:

$$\omega_s = \frac{S_{1max}}{2} + \frac{S_{2max}}{2} + \frac{S_{3max}}{2}$$

#### 4.3 Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкции делительных приспособлений (см. рисунки 4.5–4.7). При этом следует обратить внимание на классификационные признаки делительных устройств.

2. Произвести анализ точности приспособления, представленного на рисунке 4.8:

– выявить факторы, влияющие на точность деления;

– исходя из посадок и погрешностей расположения элементов делительного устройства, произвести расчет максимально возможной погрешности деления при расчетах принять значения допусков  $T_b=0.02\text{мм}$ ;  $T_{\alpha}=0,005\text{ мм}$ .

– определить угловую погрешность деления (угол поворота делительного диска).

3. Замерить фактическую точность деления.

4. Сравнить расчетную точность деления с фактической точностью и дать заключение.

#### 4.4 Вопросы для самоконтроля

1. Назначение делительных устройств.

2. Конструкции фиксаторов, применяющиеся в делительных устройствах.

3. Классификация делительного устройства.

4. Факторы зависящие на погрешность деления.

## Практическая работа № 5

### Исследование точности установки и усилия закрепления заготовки на оправке с гидропластмассой

*Цель занятия* – получение практических умений и навыков исследования точности установки и усилия закрепления заготовки на оправке с гидропластмассой.

*Задание на практическое занятие:*

1. Ознакомление студентов с принципом действия и конструкцией приспособлений с гидропластмассой.
2. Изучение методики и приобретение практических навыков расчета приспособлений с гидропластмассой.
3. Экспериментальное исследование влияние технологических факторов на точность установки и усилие закрепления заготовок на оправке с гидропластмассой.

#### *5.1 Общие сведения*

При изготовлении деталей авиационных двигателей предъявляются высокие требования к погрешности взаимного расположения цилиндрических поверхностей. Во многих случаях несоосность базовой и обрабатываемой поверхности допускается не более 0,01 ... 0,05 мм. Такая точность достигается применением высокоточных центрирующих зажимных устройств, в том числе приспособлений с гидропластмассой.

Приспособления с гидропластмассой используются для точной установки заготовок при обработке на различных станках и для контроля поверхностей деталей. В этих приспособлениях центрирующим элементом являются тонкостенная упругая втулка, которая деформируется по диаметру под действием давления гидропластмассы, находящейся в кольцевой полости, образованной между упругой втулкой и корпусом приспособления. Базирование и закрепление заготовки осуществляется упругими деформациями втулки. При этом силы зажима заготовки невелики, поэтому приспособления применяют для чистовой или окончательной обработки. Учитывая, что деформация упругой втулки по диаметру мала, базовые поверхности заготовки должны быть обработаны с точностью порядка 7...8 квалитета. Форма и размеры тонкостенной втулки должны обеспечивать достаточную её деформацию для надёжного закрепления заготовки при её обработке на станке.

Среди гидропластмассовых приспособлений наибольшее распространение получили патроны, которые устанавливают заготовки по базовой наружной цилиндрической поверхности, и оправки, которые устанавливают заготовки по базовому отверстию.

На рисунке 5.1 представлены конструкции приспособлений с гидропластмассой.

**Концевая оправка** (рисунок 5.1, а) предназначена для установки втулок по внутренней цилиндрической поверхности при обработке на шлифовальном

станке. На корпус оправки 1 напрессована упругая втулка 5, между корпусом и втулкой образуется кольцевая полость 4, соединённая каналами с отверстием, в котором перемещается плунжер 3. Полость и каналы заполнены гидропластмассой. Заготовка устанавливается на втулку 5, наружный диаметр которой выполнен по посадке **g6**. Поэтому между втулкой и базовым отверстием образуется гарантированный зазор  $S_r$ .

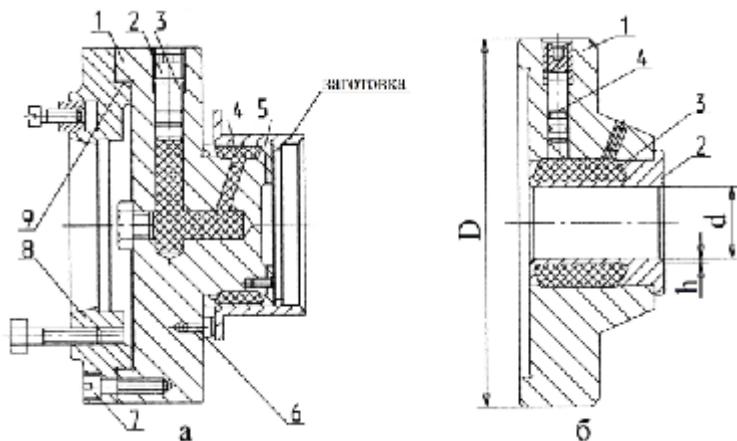


Рисунок 5.1 – Конструкции приспособлений с гидропластмассой:  
а – концевая оправка; б – патрон

При вращении винта 2 плунжер перемещается поступательно, давит на гидропластмассу, которая равномерно деформирует втулку 5. Втулка одновременно центрирует и закрепляет заготовку. Базирование заготовки в осевом направлении осуществляется по опорным штырям 6. Приспособление к шпинделю станка крепится с помощью переходного фланца 8. Корпус 1 центрируется по буртику 9 фланца и соединяется с ним винтами 7.

**Патрон** представлен на рисунке 5.1, б. В корпусе 1 запрессована втулка 2. Между корпусом и тонкостенной частью втулки расточена кольцевая замкнутая полость, заполненная гидропластмассой 3. Через плунжер 4 на гидропластмассу создается давление, деформирующее тонкостенную часть втулки, которая центрирует и зажимает заготовку.

Гидропластмасса представляет собой смесь полихлорвиниловой смолы дибутилфталата и стеарата кальция в различных процентных соотношениях для различных марок гидропластмасс. Температура плавления их колеблется в пределах от 110 до 160 °С (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Состав гидропластмасс и их характеристика

Компоненты и параметры	Состав в % и показатели		
	МАТИ-1-4	ДМ	СМ
Полихлорвиниловая смола М ПВ Дибутилфталат Стеарат кальция Вакуумное масло ВМ 4			
	-	10	20
	20	-	-
	59,2	88	78
	0,8	2	2
	20	-	-
Температура плавления, °С Удельный вес Усадка объёма после остывания до 10 °C, % Рекомендуемые температурные условия эксплуатации	150 ..160	110 ... 160	
	1,02	1,08	
	10 ... 12	10 ... 12	10 ... 12
	до +60 °C	до +60 °C	до +60 °C
Область применения	<i>При передаче усилий зажима в условиях незначительных потерь на трение</i>	<i>При передаче усилий зажима в условиях повышенных потерь на трение (при заполнении рабочих полостей, имеющих сложную конфигурацию и значительную протяжённость)</i>	

Расчётная схема оправки с упругой втулкой, разжимаемой изнутри гидропластмассой показана на рисунке 5.2. Принцип действия такой оправки заключается в том, что при создании давления в полости с гидропластмассой 1 посредством плунжера 2 тонкостенная втулка 3 разжимается (рисунок 5.2, а).

В начальный момент I между втулкой 3 и базовой поверхностью заготовки 4 возможен наибольший диаметральный зазор  $S_{\max}$ :

$$S_{\max} = D_{\text{заг.} \max} - D_{\min},$$

С повышением давления стенка втулки начинает деформироваться до тех пор, пока не коснётся заготовки своим средним участком (момент II).

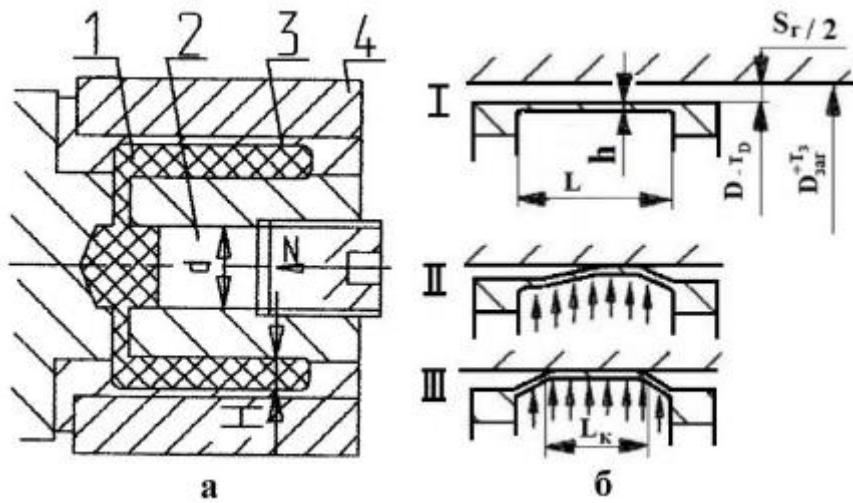


Рисунок 5.2 – Расчетная схема оправки с гидропластмассой:  
а – конструктивная схема; б – схема действия втулки

Если  $S_{\max}$  не превышает допустимого значения, то при дальнейшем повышении давления (момент III) длина  $L_K$  контакта достигает  $0,7L$ . Это положение соответствует нормальной работе устройства в качестве установочного.

После этого повышение давления уже незначительно изменяет длину контакта и почти полностью воспринимается базой заготовки. В сопряжении втулки с заготовкой создается натяг. За счет возникающих при этом сил трения заготовка прочно закрепляется. Устройство приобретает качество зажимного элемента.

С целью предотвращения пластической деформации втулки базовая цилиндрическая поверхность заготовки должна быть выполнена не ниже 7...8 кв точности. Втулка изготавливается из углеродистой стали У7А или легированных сталей 30ХГСА и др. Твёрдость после термообработки **HRC**, 36 ... 42.

Для надежного закрепления заготовки гидропластмасса должна быть сжата до определенного давления. Сжатие обеспечивается плунжером от винта пневмоцилиндра или другого силового механизма. На концах втулка имеет утолщенные бурты, которыми она с натягом (**H7/p6**, **H7/r6**) насаживается на корпус (или в корпус) приспособления обеспечивая герметичность полости с гидропластмассой. Поэтому втулку при расчете можно рассматривать как жестко заделанную по краям.

## 5.2 Расчёт втулки оправки

1. Определяется длина тонкостенной части втулки

$$L = (1,0 \dots 1,3)L_{\text{заг}}$$

где  $L_{\text{заг}}$  – длина базовой поверхности заготовки.

2. Определяется толщина  $h$  тонкостенной части втулки которая зависит от величины передаваемого крутящего момента или осевой силы и длины втулки (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Толщина  $h$  деформируемой стенки втулка

Длина тонкостенной части $L$ , мм	Номинальный диаметр втулки, мм	
	$D \leq 50$ мм	$D \geq 50$ мм
$L > 0,5 D$	$h = 0,015D + 0,5$	$h = 0,025D$
$L \leq 0,5 D$	$h = 0,01D + 0,25$	$h = 0,02D$

3. Определяется допускаемая упругая деформация втулки  $\Delta D$ :

- для втулок из хромистых сталей  $\Delta D \approx 0,003 D$ ;
- для втулок из конструкционных сталей  $\Delta D \approx 0,002 D$ .

4. Максимальный посадочный зазор между заготовкой и установочной поверхностью втулки до зажима в общем случае определяется по формуле

$$S_{\max} = D_{\text{заг. max}} - D_{\min} = S_{\Gamma} + T_D + T_{\text{заг.}}$$

где  $S_{\Gamma}$  – гарантированный зазор;  $T_D$  – допуск на наружный диаметр упругой втулки;  $T_{\text{заг.}}$  – допуск на базовое отверстие заготовки.

Обычно величина гарантированного зазора  $S_{\Gamma}$  лежит в пределах 0,01 ... 0,03 мм. При этих условиях на оправку можно устанавливать заготовки, базовое отверстие, которых выполнено по посадкам, указанным в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Посадки заготовок на гидропластмассовые оправки

Номинальный диаметр наружной поверхности оправки $D$ , мм	Рекомендуемые ноля допусков	
	Оправка	Заготовка
до 30	h6, g6, h8	H7
30 ... 50	h6, g6, h8	H7, H8
50 ... 80	h6, g6, F7, h8	H7, H8, H9
80 ... 120	h6, g6, F7, e8, h8	H7, H8, H9

В этих случаях напряжения в материале оболочки не превышают допустимые. Для обеспечения высокой точности центрирования толщина оболочки должна быть одинаковой. Допустимая разностенность не должна превышать 0,05 мм.

5. Натяг при зажиме заготовки определяется по формуле:

$$\delta_{\text{нат}} = \Delta D - S_{\max},$$

при  $\Delta D > S_{\max}$  втулка зажимает заготовку;

при  $\Delta D = S_{\max}$  втулка просто центрирует, но не зажимает заготовку;

при  $\Delta D < S_{\max}$  втулка не центрирует и не зажимает заготовку, т. е. её нельзя применять.

6. Требуемая сила зажима обрабатываемой заготовки на тонкостенной втулке определяется по формуле

$$Q = 5 \times 10^5 \times \frac{2h}{D} \sqrt{\frac{2h}{D}} \times \delta_{\text{нат}} \times D,$$

где  $Q$  – в Н;  $h$ ,  $D$  и  $\delta_{\text{нат}}$  – в мм.

7. Определяется сила  $F$ , удерживающая заготовку от осевого перемещения и поворота:

$$F = f \times Q = 5 \times 10^5 \times \frac{2h}{D} \sqrt{\frac{2h}{D}} \times \delta_{\text{нат}} \times D \times f,$$

где  $F$  – коэффициент трения ( $F = 0,15 \dots 0,18$ ).

8. Рассчитывается максимальный передаваемый крутящий момент:

$$M_{\max} = F \times \frac{D}{2} = 2,5 \times 10^5 \times \frac{2h}{D} \sqrt{\frac{2h}{D}} \times \delta_{\text{нат}} \times D^2 \times f,$$

где  $M_{\max}$  – в Н м;  $h$ ,  $D$  и  $\delta_{\text{нат}}$  – в мм.

9. Определяется высота рабочей полости под заполнение гидропластмассой:

$$H = 2\sqrt[3]{D},$$

10. Диаметр плунжера  $d$  определяется по формуле:

$$d = (1,5 \dots 1,8)\sqrt{D},$$

11. Увеличение объёма рабочей полости за счёт приращения диаметра втулки определяется по формуле

$$\Delta V = \pi D L \frac{\Delta D}{2},$$

12. Уменьшение объёма гидропластмассы за счёт сжимаемости находящихся в её среде воздушных пузырьков:

$$v = 0,002V$$

где  $V$  – объём гидропластмассы, заключённой в рабочей полости.

13. Величина перемещения плунжера, необходимая для зажима

заготовки:

$$m = \frac{\Delta(\Delta V + v)}{\pi d^2}$$

### 5.3 Оборудование для выполнения лабораторной работы

1. Лабораторная установка (рисунок 5.3), включающая в себя: оправку с гидропластмассой: центры для её установки; узел для создания нагрузки на оправку; устройство для измерения, передаваемого оправкой крутящего момента.

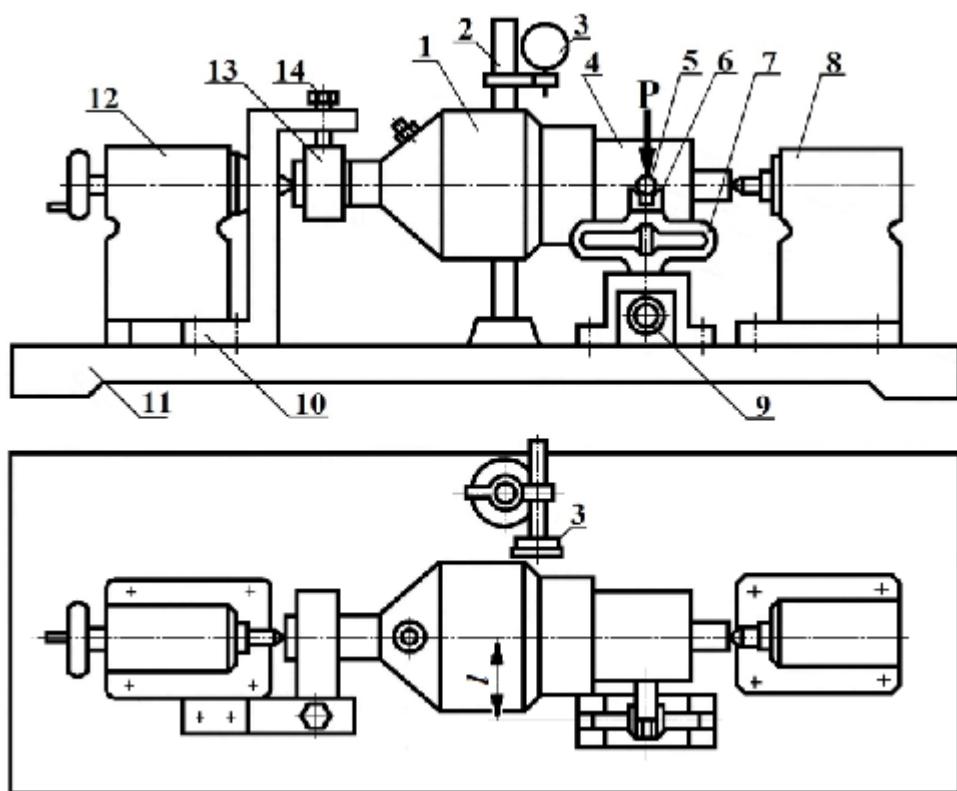


Рисунок 5.3 – Схема лабораторной установки

2. Набор образцов с различными размерами базового диаметра.
3. Мерительный инструмент:
  - а) микрометр 25–50;
  - б) индикаторный нутромер 25–50, цена деления 0,01 мм;
  - в) индикатор часового типа ИЧ10, цена деления 0,01 мм;
  - г) динамометр.

### 5.4 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рисунок 5.3) представляет собой основание 11, на котором установлены центры 8,12, кронштейн 10, динамометр 7, стойка 2 с индикатором 3. Образец (заготовка) 4 закрепляется на оправке с гидропластмассой 1, которая устанавливается в центры 8, 12. В заготовку

вворачивается палец 5, находящийся в контакте с призмой 6, установленной на площадке с динамометром 7. Передаваемое на динамометр усилие фиксируется индикатором 9.

На левом конце оправки закреплён рычаг 13, который передаёт на оправку крутящий момент, создаваемый вращением винта 14, ввёрнутым в кронштейн 10. Стойка 2 с индикатором 3 используются для замера биения базовой поверхности оправки, устанавливаемой в центрах и биения наружной поверхности образца, закреплённого на оправке.

Лабораторная установка позволяет определять максимальный передаваемый оправкой крутящий момент  $M_{max}$ . Для этого вращением винта 14 на рычаге 13 создается сила, приводящая к возникновению крутящего момента на оправке. Величина момента может быть определена путём измерения усилия  $P$ , передаваемого пальцем 5 на динамометр 7:

$$M_{max} = P \times l,$$

где  $l$  – величина вылета пальца относительно оси центров ( $l = 110$  мм).

Максимальный, передаваемый оправкой, крутящий момент  $M_{max}$  возникла при смещении (повороте) образца относительно оправки.

На рисунке 5.4 представлена конструкция оправки с гидропластмассой.

На корпус 1 напрессована упругодеформируемая втулка 4, соединённая с ним тремя винтами 5. В корпусе выполнены перекрещивающиеся канаты, в которых установлены плунжер 3, винт 2 и заглушка 6. Между корпусом и втулкой находится кольцевая полость, заполненная гидропластмассой. Давление на гидропластмассу создаётся плунжером 3 посредством винта 2. Заглушка 6 используется при заполнении внутренней полости оправки гидропластмассой. Корпус с обеих сторон имеет цилиндрические хвостовики с центровыми гнёздами. Правый хвостовик оправки имеет резьбу.

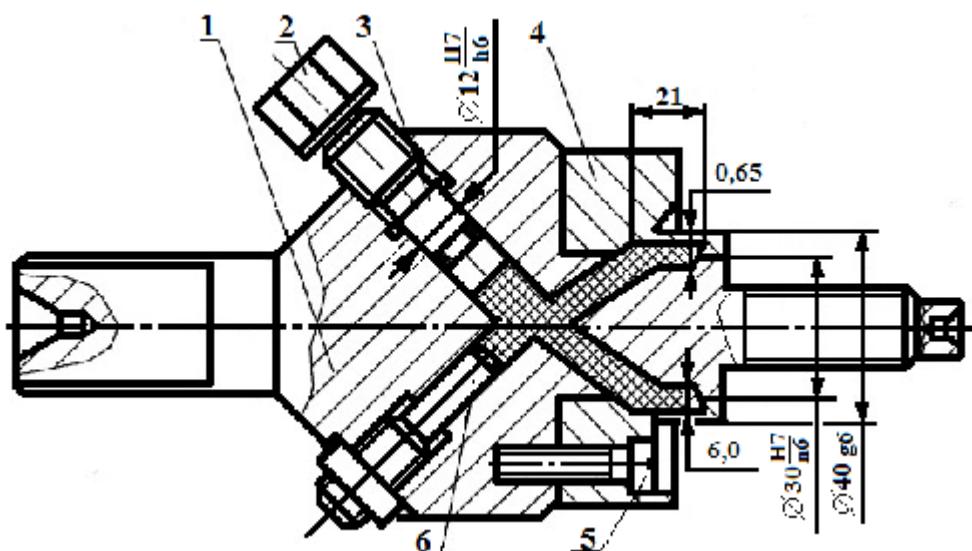


Рисунок 5.4 – Конструкция оправки с гидропластмассой

## 5.5 Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию оправки (рисунок 5.4), записать в протокол основные параметры оправки (**h**, **L**, **H**, **d**). Измерить микрометром диаметр оправки **D** в 2...3 диаметральных плоскостях с повторением 2...3 раза. Подсчитать среднее значение и записать в отчёт.

2. Измерить индикаторным нутромером базовые отверстия двух заготовок-образцов (рисунок 5.5). Результаты измерений записать в отчёт.

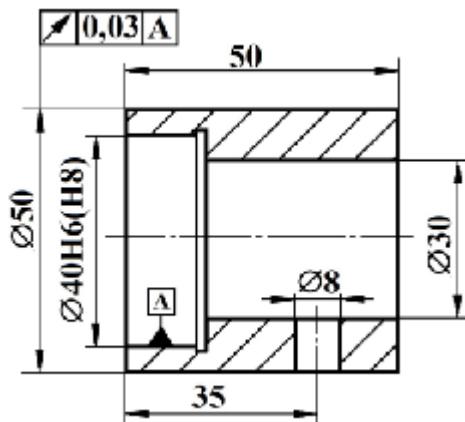


Рисунок 5.5 – Конструкция заготовки-образца

3. По формулам для расчёта втулки оправки определить её расчётные геометрические параметры и сравнить полученные значения с размерами реальной конструкции.

4. На призме (рисунок 5.6) замерить погрешность (биение) взаимного расположения базовой и наружной цилиндрической поверхностей каждой заготовки. Результаты занести в протокол.

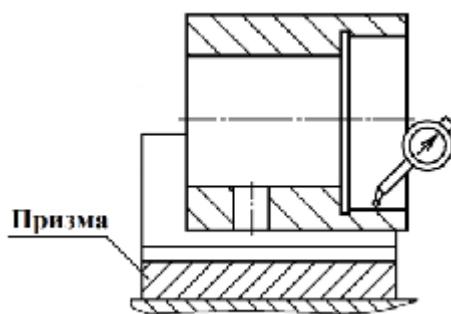


Рисунок 5.6 – Схема измерения биения базовой и наружной цилиндрической поверхностей заготовки

5. В центрах проверить биение наружной поверхности тонкостенной втулки в ненагруженном состоянии.

6. Закрепить образец на оправке, установить её в центрах и замерить биение наружной цилиндрической поверхности (рисунок 5.7). Повторить

процесс перезакрепления и измерений 2...3 раза.

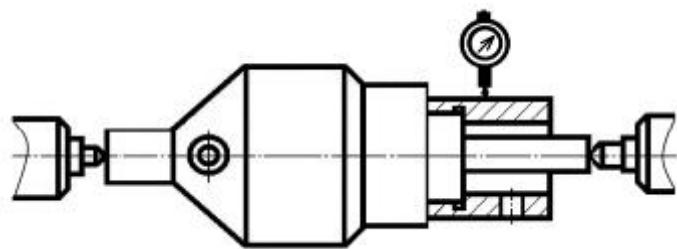


Рисунок 5.7 – Схема измерения биения заготовки, установленной на оправке

7. По результатам измерений определить погрешность установки заготовок на оправке и сделать вывод.

8. Для заданных размеров оправки рассчитать величину передаваемого крутящего момента в случае закрепления двух заготовок, отличающихся размерами базового отверстия.

9. Закрепить на оправке одну из заготовок, установить в неё палец 5 (рисунок 5.3), установить оправку в центры. Вращением винта 14 создать силу, приводящую к проворачиванию заготовки на оправке. Сила определяется по показаниям индикатора динамометра в момент проворачивания заготовки (показания индикатора переводятся в ньютоны с помощью тарировочного графика, приведённого на рисунке 5.8). Повторить измерения для второй заготовки.

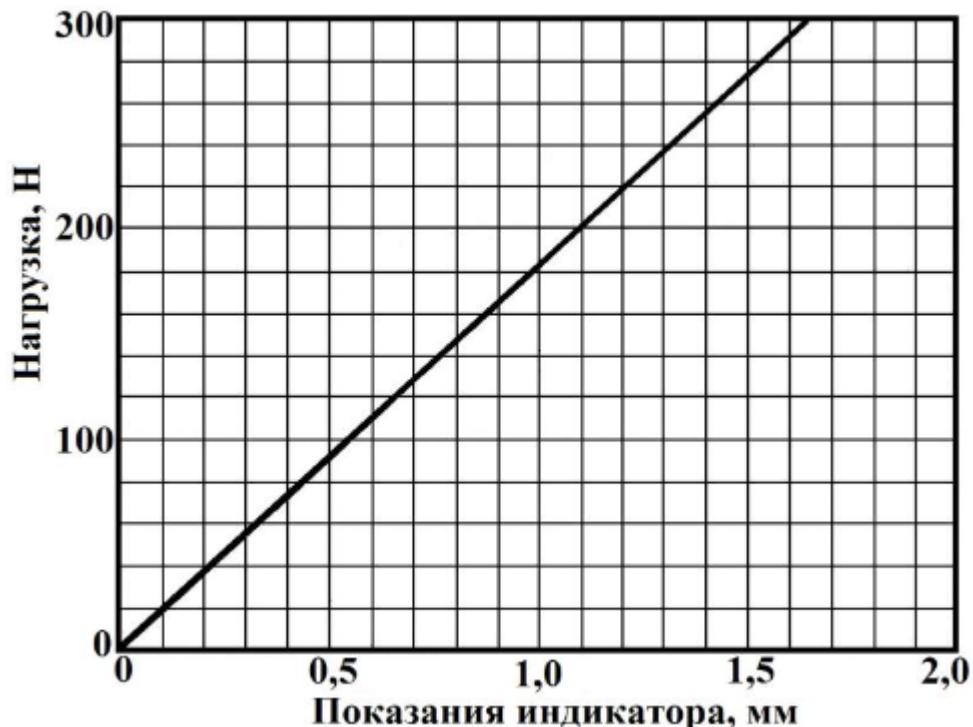


Рисунок 5.8 – Тарировочный график

10. Определить максимальный передаваемый оправкой крутящий момент  $M_{max}$ . Сравни полученные значения с расчётыми и сделать общий вывод по работе.

#### *5.6 Вопросы для самоконтроля*

1. Принцип работы приспособления с упругодеформируемой втулкой
2. Точность изготовления базового отверстия заготовки, устанавливаемой на оправку с гидропластмассой
3. Область применения приспособлений с гидропластмассой
4. Изготовление упругодеформируемой втулки
5. Условия, обеспечивающие центрирование и закрепление заготовки

### **Практическая работа № 6** **Анализ точности обработки отверстий в заготовках** **при сверлении их в кондукторе**

*Цель занятия* – получение практических умений и навыков выполнения анализа точности обработки отверстий в заготовках при сверлении их в кондукторе.

#### *Задание на практическое занятие*

1. Ознакомление студентов с принципом действия и конструкцией приспособлений к сверлильным станкам.
2. Изучение методики и приобретение практических навыков оценки точности при сверлении отверстий с использованием кондуктора.

#### *6.1 Общие сведения о кондукторах*

Приспособления к сверлильным станкам, служащие для базирования и закрепления обрабатываемых заготовок и снабженные направляющими элементами – кондукторными втулками, называются кондукторами.

В авиадвигателестроении в соответствии с ГОСТ 1.51558-84 и ГОСТ 1.51574-84 наибольшее распространение получили следующие типы кондукторов: накладные, крышечные (со съемной или откидной кондукторной плитой – крышкой), с откидной кондукторной планкой, кантующиеся или перекладные, поворотные (рисунок 6.1).

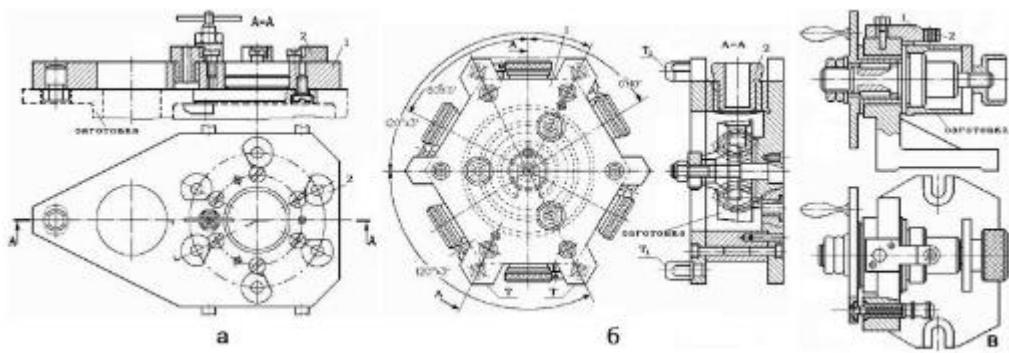


Рисунок 6.1 – Конструкции кондукторов:  
 а – накладной; б – кантующийся; в – поворотный:  
 1 – кондукторная плита; 2 – кондукторная втулка

Кондукторные втулки определяют положение режущего инструмента (сверла, зенкера, развертки и т. п.) относительно установочных поверхностей приспособления, создают ему заданное направление при обработке отверстий в заготовке и повышают осевую жёсткость инструментов малых диаметров. Кондукторные втулки разделяются на постоянные сменные, быстросменные (рисунок 6.2) и специальные (рисунок 6.3). Первые три группы стандартизированы.

Кондукторные втулки устанавливают либо непосредственно в корпус приспособления, либо в специальную кондукторную плиту (планку). Для уменьшения изнашивания втулок и для отвода стружки между её нижним торцом и поверхностью заготовки предусматривают зазор  $a = (0,3 \dots 1,0)d$ .

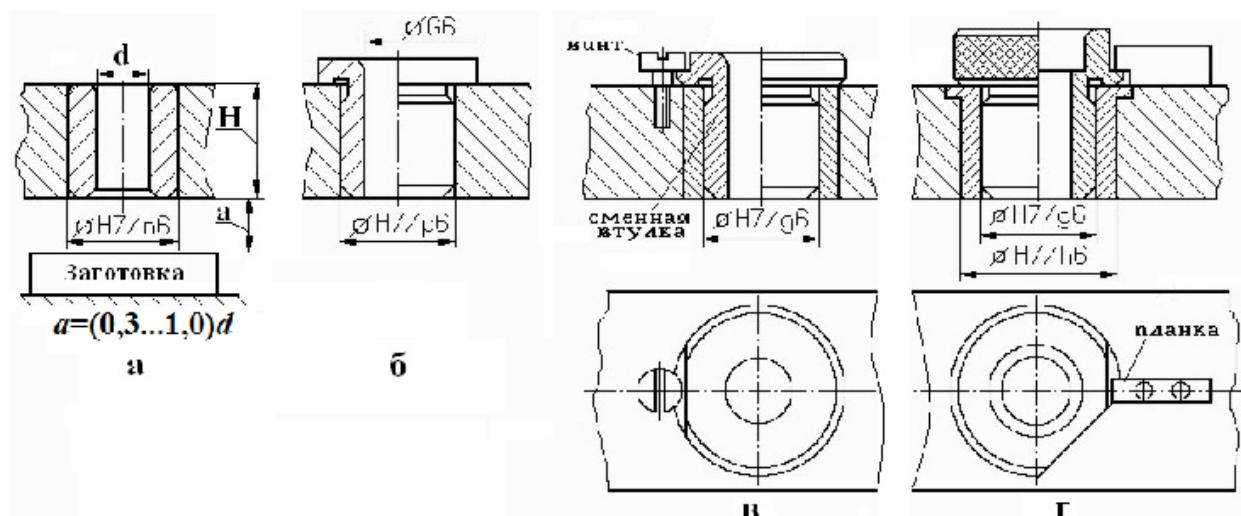


Рисунок 6.2 – Конструкции кондукторных втулок:  
 а – постоянная; б – постоянная с буртом; в – сменная; г – быстросменная

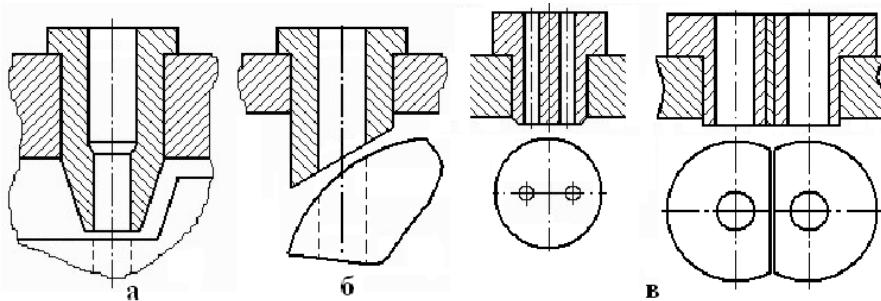


Рисунок 6.3 – Конструкции специальных кондукторных втулок:

а – для обработки отверстия в углублении; б – для обработки отверстия на криволинейной поверхности, в – для близко расположенных отверстий

**Постоянные втулки** (рисунок 6.2, а, б) запрессовываются в корпус или кондукторную плиту и предназначены для обработки отверстий в заготовках одним инструментом заданного размера.

По конструкции втулки могут быть **без бурта и с буртом** (применяют при малой толщине стенки). Недостаток – после износа втулку необходимо выпрессовывать, а новую втулку подгонять под отверстие, что можно сделать в условиях инструментального участка.

Сменные втулки (рисунок 6.2, в), как и постоянные, используются при обработке отверстий одним инструментом, но в тех случаях, когда необходима сравнительно частая их замена из-за износа. Сменные втулки устанавливаются в промежуточные втулки по посадке **H6/g5** или **H7/g6** с минимальным зазором, а для того, чтобы они не проворачивались или не поднимались, их закрепляют за буртик винтами или прижимными планками. Втулка может быть заменена непосредственно в условиях основного производства (на рабочем месте). Однако из-за наличия зазора между гнездом и втулкой возникает дополнительная погрешность.

**Быстросменные втулки** (рисунок 6.2, г) применяют, когда отверстия в заготовках обрабатывают несколькими инструментами, например, сверлом, зенкером, разверткой. Для направления каждого инструмента предусматривается своя быстросменная втулка. Поэтому к кондуктору изготавливается комплект втулок, имеющих одинаковый наружный диаметр, а внутренние диаметры соответствуют диаметрам направляемого инструмента. Втулка устанавливается в специальное гнездо по посадке **H7/g6** и закрепляется путём поворота вокруг своей оси. Гнездо предохраняет корпус от износа при частой смене втулки. Для удобства захвата руками втулку делают с высоким буртиком с накаткой.

**Специальные кондукторные втулки** (рисунок 6.3) применяют, когда не представляется возможным использовать стандартные втулки.

Втулки с диаметром отверстия до 25 мм изготавливают из инструментальных сталей У10А, У12А и закаливают до твердости **HRC** 62...65, а при диаметре отверстия больше 25 мм из стали марки 20-20Х с цементацией и закалкой до той же твёрдости.

Режущий инструмент направляется в отверстиях всех кондукторных втулок по подвижной посадке с гарантийным зазором. При этом инструмент принимают за основной вал (система вала), а посадка обеспечивается та счет диаметра отверстия втулки. Для направления свёрл и зенкеров используются посадки **G7** или **F8**, а для развёрток – **G7**.

Применение кондукторов позволяет значительно повысить производительность и точность обработки отверстий в заготовках по сравнению с выполнением этой операции без использования кондуктора. Повышение производительности достигается за счёт исключения предварительной разметки обрабатываемых отверстий в заготовках и сокращения вспомогательного времени на установку заготовки при обработке в кондукторе.

Повышение точности обеспечивается за счёт точного расположения кондукторных втулок относительно установочных поверхностей кондуктора, которые определяют положение и направление режущего инструмента. При этом уменьшается разбивка (погрешность) диаметра обрабатываемого отверстия и точность повышается примерно на один квалитет. Кроме этого повышается точность расположения отверстий, т. е. смещение их относительно номинального положения, а также уменьшается увод оси отверстия.

При изготовлении отверстий в заготовках обычно выдерживается два геометрических параметра:

- размер отверстия, т. е. диаметр с заданным допуском;
- расположение отверстия или отверстий, т. е. смещение оси отверстия от номинального положения в пределах заданного допуска.

При изготовлении отверстий в ответственных деталях, где перекос (увод) оси отверстия оказывает влияние на прочность соединяющих крепёжных деталей или приводит к смещению осей маслопроводных и др. каналов, назначается допуск на третий геометрический параметр. Устанавливается допустимая величина отклонения оси отверстия от перпендикуляра к базовой установочной поверхности заготовки или к плоскости сверления.

Для обеспечения точности указанных параметров при проектировании кондуктора проводят точностный расчёт по всем заданным геометрическим параметрам обрабатываемого отверстия, ограниченных допуском. Годным кондуктор является тогда, когда расчётная (ожидаемая) погрешность обработки каждого параметра не превышает заданного допуска на соответствующий геометрический параметр отверстия заготовки.

## 6.2 Общая методика расчёта приспособлений на точность

Результирующая погрешность обработки при выполнении любой операции с применением приспособлении не должна превышать заданного допуска на геометрический параметр, т. е.

$$\omega \leq T,$$

где **ω** – результирующая погрешность обработки заданного

геометрического параметра;  $T$  – допуск на геометрический параметр.

Результирующую погрешность можно представить в виде:

$$\omega = \omega_0 + \omega_y \leq T, \quad (1)$$

где  $\omega_0$  – погрешность, связанная с методом обработки;  $\omega_y$  – погрешность, связанная с установкой.

Запишем формулу (1) в виде  $\omega_y \leq T - \omega_0$ , т.е. допустимая погрешность, связанная с установкой заготовки, является частью допуска. Обычно погрешность установки составляет  $\omega_y = (0,3...0,4)T$ .

Для того, чтобы знать допустимую погрешность  $\omega_{уд}$  необходимо определить погрешность  $\omega_0$  которая зависит от многих производственных погрешностей. Обычно величину  $\omega_0$  для конкретного метода обработки находят по таблицам статистических данных, которые приводятся в справочниках.

Для конструктора приспособлений главным является определение **ожидаемой (расчётной) погрешности установки**. Эта погрешность зависит в основном от выбора и точности установочных баз, конструкции установочных элементов, прочности и износа установочных и других элементов приспособлений, которые оказывают влияние на погрешности установки.

Таким образом, расчёт приспособления на точность сводится к определению **ожидаемой (расчётной) погрешности установки**  $\omega_{yp}$  которая не должна превышать допустимую погрешность  $\omega_{уд}$ .

В общем случае погрешность установки включает следующие составляющие: погрешность базирования  $\omega_b$ ; погрешность закрепления  $\omega_z$ ; погрешность изготовления и износа приспособления  $\omega_{pr}$ .

$$\omega_{yp} = 1,2 \sqrt{\omega_b^2 + \omega_z^2 + \omega_{pr}^2}$$

При расчёте  $\omega_{yp}$  конструктор не располагает всеми достоверными данными, вследствие чего рекомендуется принимать до 20 % запас точности приспособления, поэтому в формуле введён коэффициент 1,2.

**Погрешность базирования** – это отклонение фактически достигнутого положения заготовки при базировании от требуемого. Эта погрешность является величиной геометрической. Для данной схемы базирования она определяется проекцией расстояния между предельными положениями измерительной базы заготовки на направление размера, получаемого при обработке.

**Погрешность закрепления**  $\omega_z$  – это разность предельных смещений измерительной базы в направлении получаемого размера под действием сил зажима заготовки. При достаточной жёсткости корпуса приспособления и заготовки погрешность закрепления зависли в основном от перемещения в стыке **заготовка – установочные элементы**.

Величина погрешности  $\omega_z$  обычно невелика, и её определяют по экспериментальным данным или расчётным путём.

Погрешность изготовления и износа приспособления определяется по формуле:

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{изг}} + \sqrt{3\omega_{\text{и}}^2 + \omega_{\text{у.пр}}^2}$$

где  $\omega_{\text{изг}}$  – погрешность изготовления элементов приспособления;  $\omega_{\text{и}}$  – погрешность, связанная с износом установочных элементов;  $\omega_{\text{у.пр}}$  – погрешность установки приспособления на станке.

Составляющая  $\omega_{\text{изг}}$  характеризует неточность положения установочных и направляющих элементов приспособления. Погрешность изготовления может включать в себя несколько составляющих звеньев и определяется исходя из анализа конструктивной схемы приспособления.

Составляющая  $\omega_{\text{и}}$  характеризует износ установочных и направляющих элементов приспособления. Величина износа зависит: от времени работы приспособления; материала, массы и состояния базовых поверхностей заготовки, а также условий установки заготовки в приспособление и снятия её. Эту погрешность устанавливает конструктор и её величина обычно не превышает 0.01 ... 0,02 мм.

Составляющая  $\omega_{\text{у.пр}}$  возникает при установке приспособления на станок. Её величина не превышает 0.02 ... 0.05 мм. В некоторых приспособлениях, например кондукторах.  $\omega_{\text{у.пр}} = 0$ .

Расчёт точности рекомендуется вести в следующей последовательности:

- определяется значение  $\omega_0$ ;
- определяется  $\omega_{\text{уд}}$ ;

– на основании анализа технологической операции и конструкции приспособления выявляются основные погрешности, влияющие на точность обработки;

- определяются их значения по таблицам и формулам;
- определяется расчётная погрешность  $\omega_{\text{у.р}}$ ;

– расчётная величина  $\omega_{\text{у.р}}$  сопоставляется с допустимой погрешностью установки ( $\omega_{\text{у.д}} \leq T - \omega_0$ ); если  $\omega_{\text{у.р}} \geq \omega_{\text{у.д}}$ , необходимо уменьшить составляющие погрешности и снова определить  $\omega_{\text{у.р}}$ ; если  $\omega_{\text{у.р}} \leq \omega_{\text{у.д}}$ , то делается вывод о том, что приспособление обеспечивает заданную точность.

### 6.3 Расчёт на точность кондуктора крышечного типа

Расчёт выполняется в следующем порядке:

**1. Изучение исходных данных.** На рисунке 6.4 приведён операционный эскиз обработки заготовки (деталь фланец). Установочными базами являются опорный торен и отверстие  $D_6 = 12,4^{+0,12}$

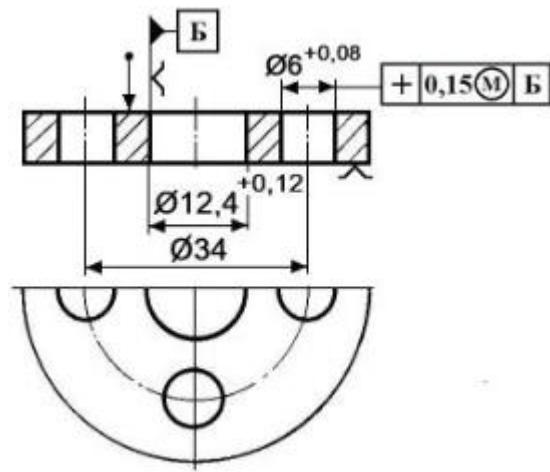


Рисунок 6.4 – Операционный эскиз обработки заготовки фланец

В операции выполняются два геометрических параметра:

– диаметр отверстия  $D_o = 6,0^{+0,08}$ ;

– смещение оси отверстия от номинального положения с допуском

$T_c = \pm 0,15$  мм.

Для сверления отверстий используется кондуктор крышечного типа, схема которого приведена на рисунок 6.5. Кондуктор состоит из корпуса 1, в котором запрессован установочный палец 4. на пальце базируется заготовка 2 и кондукторная плита 3 с постоянной кондукторной втулкой 6. Заготовка закрепляется с помощью зажима 5.

Размеры, допуски, посадки и отклонения основных поверхностей деталей кондуктора приведены в таблице 6.1.

**2. Определение погрешности параметра  $D_o = 6,0^{+0,08}$ .** Диаметр получаемого отверстия определяется диаметром применяемого инструмент. Значения размера, допуска и отклонений применяемого сверла приведены в таблице 6.1.

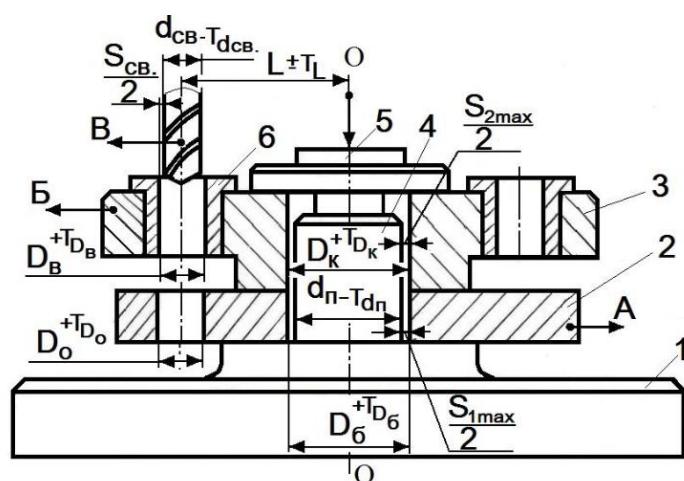


Рисунок 6.5 – Схема обработки заготовки в кондукторе:  
0-0 – ось установочного пальца

Таблица 6.1 – Геометрические параметры деталей кондуктора

Размеры, допуски, отклонения	Поверхности деталей кондуктора						
	Установочный палец	Базовое отверстие кондукторной плиты	Кондукторная втулка	Сверло	Расстояние между осями	Высота втулки	Расстояние до заготовки
Размер	$d_{\text{п}} = 12,4$	$D_{\text{k}} = 12,4$	$D_{\text{B}} = 12,4$	$d_{\text{св}} = 6,0$	$L = 17$	$H = 20$	$a = 4$
Посадка	G6	H7	F7	H6			
Допуск	0,011	0,018	0,012	0,009	0,06		
Отклонения	-0,006 -0,017	+0,018	+0,022 +0,01	-0,009	$\pm 0,03$		
Износ	0,012	0,012					
Эксцентричность кондукторных втулок $T_3$			0,005				

**3. Расчёт погрешности смещения осей отверстия от номинального положения (допуск  $T_c = \pm 0,15$  мм).** Расчёт проводится в последовательности, изложенной выше.

Погрешность метода обработки  $\omega_0$ .

Определение погрешности метода обработки при сверлении отверстий имеет некоторые особенности.

Прежде всего  $\omega_0$  зависит от зазора, определяемого посадкой между инструментом и отверстием в кондукторной втулке ( $D_B$ ).

$$S_{\text{св max}} = S_{\text{г.св}} + T_{d_{\text{св}}} + T_{D_B} + T_{\text{изн.вт}}$$

где  $T_{d_{\text{св}}}$  – допуск на диаметр инструмента;  $S_{\text{г.св}}$  – гарантированный зазор посадки;  $T_{D_B}$  – допуск на диаметр  $D_B$  кондукторной втулки;  $T_{\text{изн.вт}}$  – допуск на износ кондукторной втулки.

Однако при сверлении возможен перекос оси сверла в кондукторной втулке, который вызывается следующими причинами:

- неперпендикулярностью оси шпинделя к плоскости стола станка;
- неперпендикулярностью оси кондукторной втулки к основанию корпуса приспособления;
- деформацией технологической системы.

Схема перекоса сверла приведена на рисунке 6.6.

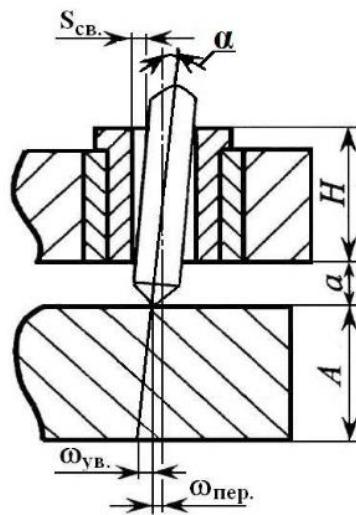


Рисунок 6.6 – Схема перекоса сверла

Погрешность перекоса определяется по формуле:

$$\begin{aligned}\omega_{\text{пер}} &= \left(\frac{H}{2} + a\right) \operatorname{tg} \alpha, \\ \text{но } \operatorname{tg} \alpha &= \frac{S_{\text{св}}}{H}, \\ \text{тогда } \omega_{\text{пер}} &= S_{\text{св}} \max\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{H}\right)\end{aligned}$$

Погрешность перекоса уменьшается при уменьшении зазора  $S_{\text{св}}$ , уменьшении размера  $a$  и увеличении  $H$ . Так как  $\omega_{\text{пер}}$  определяет положение оси отверстия в детали, то это и будет погрешностью метода обработки при сверлении по кондукторным втулкам, т. е.

$$\omega_o = S_{\text{св}} \max\left(\frac{1}{2} + \frac{a}{H}\right)$$

Анализ схемы обработки (рисунок 6.6) показывает, что смещение осей отверстий происходит от действия многих первичных погрешностей, которые входят в погрешность  $\omega_{\text{пер}}$ . При расчёте принимаем наихудшие условия обработки, когда при базировании и закреплении заготовка смещается по стрелке  $A$ , а кондукторная втулка и сверло смещаются в противоположном направлении по стрелкам **Б** и **В**.

Для наглядности при определении погрешности  $\omega_{\text{пер}}$  составим общую схему размерных цепей (рисунок 6.7). При этом за исходную базу принимаем ось установочного пальца  $O_{\text{п}} - O_{\text{п}}$ .

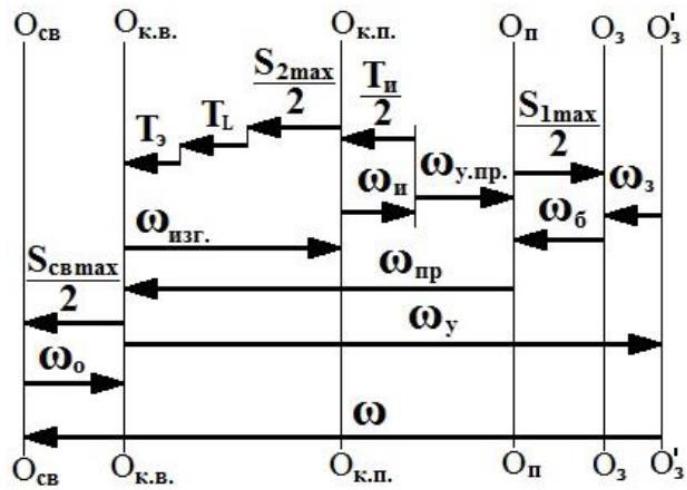


Рисунок 6.7 – Схема размерных цепей:

$O_n - O_n$  – ось установочного пальца;  $O_3 - O_3$  – ось базового отверстия заготовки после базирования;  $O_3^I - O_3^I$  – после закрепления;

$O_{k.p.} - O_{k.p.}$  – ось кондукторной плиты;  $O_{k.v.} - O_{k.v.}$  – ось кондукторной втулки;  $O_{sb} - O_{sb}$  – ось сверла

Погрешность базирования  $\omega_6$  (смещение оси заготовки).

Эта погрешность определяется половиной максимального зазора в посадке заготовка – установочным пальцем:

$$\omega_6 = \frac{S_r}{2} + \frac{T_{d_n}}{2} + \frac{T_{D_6}}{2} + \frac{T_{izn.n}}{2}$$

где  $T_{izn.n}$  – допуск на износ установочного пальца.

На рисунке 6.8 приведена размерная цепь **погрешности базирования**.

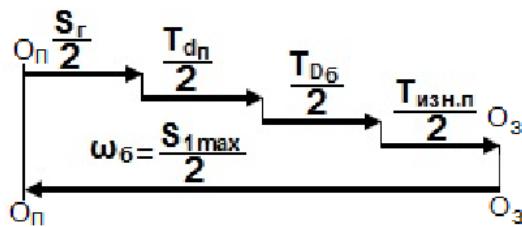


Рисунок 6.8 – Размерная цепь погрешности базирования

Погрешность закрепления  $\omega_3$  (смещение оси заготовки).

При принятой схеме закрепления заготовки  $\omega_3 = 0$ .

Погрешность изготовления элементов приспособления  $\omega_{izg}$ .

Эта погрешность включает следующие составляющие (рисунок 6.7):

$$\omega_{izg} = \omega_{s2} + \omega_{T_3} + \omega_{TL},$$

где  $\omega_{s2}$  – погрешность смещения оси кондукторной плиты относительно оси установочного пальца;

$\omega_{\text{тз}}$  – погрешность смещения оси кондукторной втулки из-за допуска на несоосность диаметров кондукторной втулки  $T_{\text{з}}$ ;

$\omega_{\text{тл}}$  – погрешность смещения оси кондукторной втулки из-за допуска на смещение оси отверстия в кондукторной плите под кондукторную втулку относительно базового отверстия кондукторной плиты  $T_{\text{л}}$ .

Погрешность определяется максимальным зазором в посадке кондукторная плита – установочный палец.

$$\omega_{s2} = \frac{S_{\text{г}}}{2} + \frac{T_{d_{\text{п}}}}{2} + \frac{T_{D_{\text{К}}}}{2}$$

Размерная цепь для  $\omega_{s2}$  приведена на рисунке 6.9.

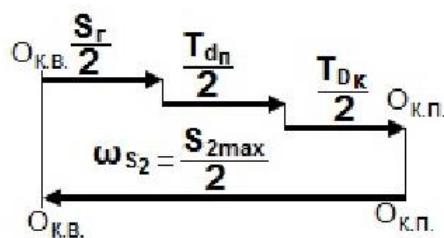


Рисунок 6.9 – Размерная цепь смещения оси кондукторной плиты относительно оси установочного пальца при установке

*Погрешность износа  $\omega_{\text{и}}$ .* Эта погрешность характеризует смещение оси кондукторной плиты за счёт износа в посадке кондукторная плита – установочный палец и включает следующие составляющие (рисунок 6.10):

$$\omega_{\text{и}} = \omega_{\text{изн.к.п.}} + \omega_{\text{изн.п.}},$$

где  $\omega_{\text{изн.к.п.}} = T_{\text{изн.к.п.}}/2$  – погрешность износа кондукторной плиты;

$\omega_{\text{изн.п.}} = T_{\text{изн.п.}}/2$  – погрешность износа установочного пальца.

$$\omega_{\text{и}} = \frac{T_{\text{изн.к.п.}}}{2} + \frac{T_{\text{изн.п.}}}{2}$$

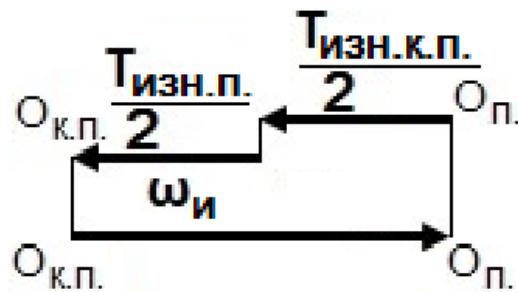


Рисунок 6.10 – Размерная цепь смещения оси кондукторной плиты относительно оси установочного пальца при износе

Погрешность установки приспособления на станке  $\omega_{y,pr}$ .

При обработке отверстий с использованием кондукторов  $\omega_{y,pr} = 0$ .

Погрешность, связанная с изготовлением и износом приспособления  $\omega_{pr}$  (размерная схема представлена на рисунке 6.11).

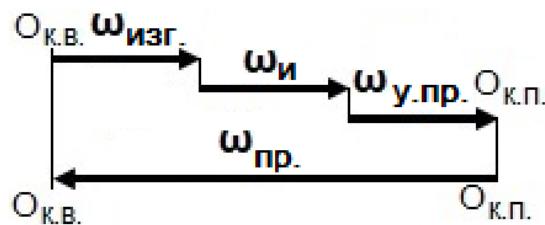


Рисунок 6.11 – Размерная цепь изготовления и износа приспособления

Полученные выше значения  $\omega_{изг}$ ,  $\omega_i$ ,  $\omega_{y,pr}$  подставляем в уравнение:

$$\omega_{pr} = \omega_{изг} + \sqrt{3\omega_i^2 + \omega_{y,pr}^2}$$

Расчетная погрешность установки  $\omega_{yp}$  (размерная схема представлена на рисунке 6.12) определяется по формуле:

$$\omega_{yp} = 1,2 \sqrt{\omega_6^2 + \omega_3^2 + \omega_{pr}^2}$$

Для определения  $\omega_{yp}$  подставляем значения  $\omega_{pr}$ ,  $\omega_6$  и  $\omega_3$  данную формулу.

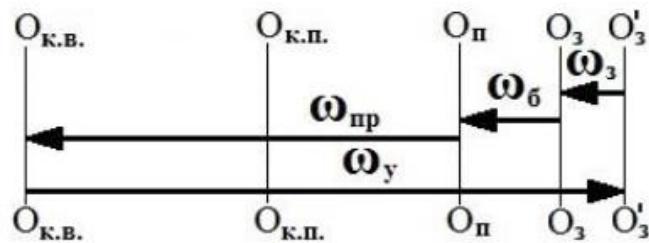


Рисунок 6.12 – Размерная цепь погрешности установки

**4. Оценка годности кондуктора по расчётной точности.** Полученное в результате расчётов значение  $\omega_{up}$  сопоставляется с допустимой погрешностью установки  $\omega_{up} \leq \omega_{ud} = T - \omega_0$ . Если это условие не выполняется, то необходимо уменьшить составляющие погрешности: предельные отклонения базового отверстия кондукторной плиты и диаметра установочного пальца, допуски на износ; высоту кондукторной втулки и др. Если условие  $\omega_{up} \leq \omega_{ud}$  выполняется, то делается вывод о том, что кондуктор обеспечивает заданную точность.

#### 6.4 Содержание и порядок выполнении работы

1. Изучить типовые конструкции кондукторов и кондукторных втулок.
2. Изучить общую методику расчёта приспособлений на точность и методику расчёта на точность кондуктора крышечного типа.
3. Изучить операционный эскиз обрабатываемой заготовки – фланец (см. рисунок 6.4). При этом определить базовые поверхности, требования по точности обработки отверстий.
4. Изучить конструктивную схему кондуктора крышечного типа для обработки отверстий в заготовке – фланец.
5. Изучить методику расчёта на точность кондуктора крышечного типа.
6. Построить размерные цепи.
7. Выполнить расчёт на точность кондуктора крышечного типа и дать оценку годности кондуктора по расчётной точности, обеспечивающей  $d_o^{+0,08}$  и  $T_c = \pm 0,15$  мм.
8. Провести экспериментальную проверку точности обработки отверстий с использованием кондуктора:
  - установить заготовку в кондуктор и просверлить отверстия ( $d_o = 6$  мм) в соответствии с операционным эскизом;
  - измерить диаметры полученных отверстий и расстояния между осями отверстий (рисунок 6.13). Измерение диаметра осуществлять индикатором для внутренних измерений, а межосевое расстояние – с помощью контрольного прибора.

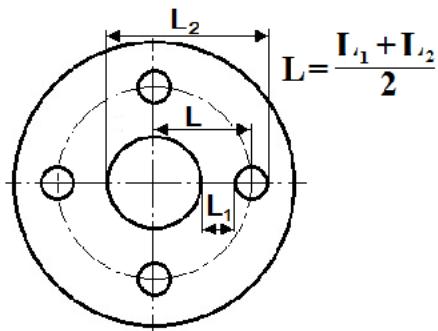


Рисунок 6.13 – Схема измерения расстояния между осями

– по результатам замеров определить действительные погрешности и сравнить их с заданными по чертежу и результатами точностных расчётов.

9. Дать заключение о годности кондуктора крышечного типа для выполнения операции по сверлению отверстий в заготовке – фланец.

10. Внести предложения по повышению точности обработки отверстий во фланце.

#### *6.5 Вопросы для самоконтроля*

1. Виды кондукторов в зависимости от их конструкции
2. Цель кондукторных втулок?
3. Типы кондукторных втулок, использующиеся в конструкциях приспособлений
4. Расчёт приспособления на точность
5. Составляющие в расчётной погрешности установки заготовки в приспособлении
6. Погрешность базирования?
7. Особенности расчёта точности при сверлении по кондукторным втулкам

### **Практическая работа № 7** **Сборка и настройка универсально-сборного приспособления и** **исследование точности обработки**

*Цель занятия* – получение практических умений и навыков собирать и настраивать универсально-сборное приспособление и исследовать точность обработки.

#### *Задание на практическое занятие*

1. Ознакомление студентов с элементами и компоновками универсально-сборных приспособлений.
2. Получение практических навыков сборки и настройки УСП на примере кондуктора.
3. Изучение методик расчёта кондуктора на точность.

## 7.1 Общие сведения об УСП

Одним из путей сокращения объёма работ при проектировании и изготовлении станочных приспособлений является использование в их конструкциях нормализованных деталей и узлов. Наибольшая степень нормализации и взаимозаменяемости достигнута в системе универсально-сборных приспособлений (УСП).

Универсально-сборным называется сборно-разборное приспособление, состоящее из 100 % стандартизованных элементов по всем параметрам. Такая степень стандартизации и взаимозаменяемости в системе УСП позволяет многократно собирать из элементов различные приспособления – компоновки. Компоновки УСП применяют для обработки заготовок на всех типах металлорежущих станков. На рисунке 7.1 приведены компоновки УСП.

УСП нашли широкое применение в единичном, мелкосерийном и даже среднесерийном производстве, а также на опытных заводах. Объясняется это тем, что они позволяют значительно сократить срок подготовки производства, так как сборка УСП для выполнения определенной операции производится за 2...4 часа и собранное приспособление гарантирует точность и экономичность обработки.

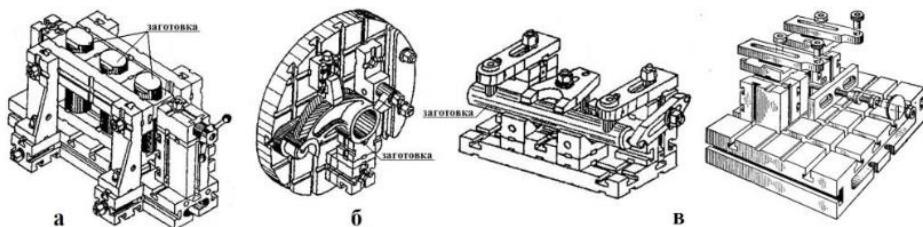


Рисунок 7.1 – Компоновки УСП:  
а – фрезерное; б – токарное; в – сверлильные

УСП собирается из универсальных стандартных элементов, но собранное приспособление становится **специальным**, так как оно предназначено для выполнения конкретной операции. После обработки заданной партии заготовок приспособление разбирают, а элементы УСП используются для сборки других приспособлений, т. е. они находятся в непрерывном обращении.

Число стандартизованных деталей и неразборных узлов, которые находятся в непрерывном обращении.

Число стандартизованных деталей и неразборных узлов, которые находятся в постоянном кругообороте при обслуживании компоновками одного цеха и ряда цехов, принято называть **комплектом элементов**. Комплекты элементов УСП изготавливаются централизованно. Комплекты элементов УСП изготавливаются централизованно. Для станочных приспособлений выпускаются три серии комплектов УСП-8, УСП-12, УСП-16, которые различаются шириной Т-образных и П-образных пазов (соответственно 8, 12 и 16 мм), числом и типоразмерами элементов. В зависимости от масштаба

производства и объёма применения сборной оснастки комплект УСП может состоять из 15 ... 30 тысяч деталей. При таком количестве деталей в комплекте на рабочих местах можно использовать одновременно до 300 компоновок-приспособлений для сверления, фрезерования, шлифования, токарной обработки, штамповки, сварки, контроля.

Номенклатура комплекта элементов УСП **по функциональным признакам** делится на семь: базовые, опорные (корпусные), установочные, направляющие, прижимные, крепёжные и сборочные единицы (например, поворотные головки, делительные плиты, центровые бабки, механизированные быстродействующие пневмоприводы). На рисунке 7.2 представлены примеры основных групп элементов УСП, входящих в комплект, а на рисунке 7.3 – фотографии элементов.

**Базовые детали** являются самыми сложными и дорогими, они имеют различные размеры и форму: плиты круглые и прямоугольные, угольники. На базовые детали монтируются все остальные элементы при компоновке приспособления.

**Корпусные** детали предназначены для образования корпуса приспособления совместно с базовыми элементами. К этим элементам относятся опоры, проставки, прокладки, призмы, угольники, кондукторные планки и др.

**Установочные и направляющие** детали обеспечивают требуемое взаимное расположение базовых, опорных и других элементов в компоновке. С их помощью координируется также положение обрабатываемой заготовки относительно приспособления и режущего инструмента. К ним относятся штыри, шпонки, пальцы, диски, переходники и др.

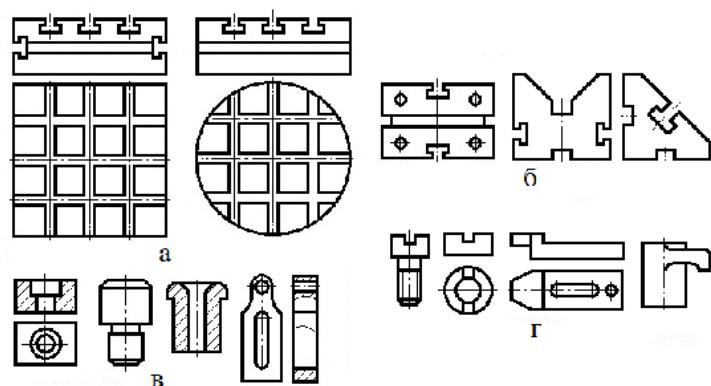


Рисунок 7.2 – Примеры элементов системы УСП:  
а – базовые; б – опорные; в – установочные и направляющие; г – крепёжные



Рисунок 7.3 – Элементы комплекта УСП

**Крепёжные** (прихваты, планки и т. п.) и **прижимные** (болты, шпильки, винты, гайки, шайбы) детали предназначены для соединения отдельных элементов компоновки в одно целое и для закрепления обрабатываемых заготовок на приспособлении.

**Сборочные единицы** служат для ускорения процесса сборки приспособлений УСП. Они позволяют получить наиболее рациональные и компактные конструкции. В эту группу входят поворотные устройства, бабки центровые, фиксаторы, зажимы эксцентриковые, кулачковые, призмы подвижные, диски делительные, головки самоцентрирующие, кулачковые зажимы.

Поскольку элементы УСП используются многократно, они должны быть долговечными и в течение всего срока эксплуатации сохранять свои точностные параметры, поэтому они имеют следующие особенности:

**1. Высокая точность изготовления элементов УСП.** Основные размеры рабочих поверхностей базовых, корпусных, установочных и направляющих элементов выполняются с точностью 5 ... 7 квалитета. С такой же точностью выполняются отверстия, пазы, служащие базой для соединения элементов. При этом обеспечивается полная взаимозаменяемость соединения элементов УСП. Координирующие размеры между осями отверстий, пазами выполняются с допусками  $\pm 0,01$  мм. Отклонение от параллельности и перпендикулярности всех сторон пазов не превышает 0,01 мм на длине 100 и 200 мм.

**2. Применение износостойких и прочных материалов:**

- **базовые и корпусные детали** – хромоникелевая сталь 12ХН3А, твёрдость рабочих поверхностей после закалки – HRC 59...63, а внутренний слой – HRC 29...31;
- **установочные** – стали У8А и У10А, твёрдость HRC 52...56;
- **направляющие** – стали 20Х, 40Х;
- **кондукторные втулки** – сталь 9ХС, 20Х с твёрдостью HRC 36...41;
- **неответственные детали** – сталь 45.

**3. Низкая шероховатость поверхностей.** Рабочие поверхности базовых, корпусных и других элементов обрабатывают с шероховатостью  $R_a = 0,32 \dots 0,16$  мкм, а остальные –  $R_a = 2,5 \dots 1,25$  мкм.

**4. Высокая точность собранного приспособления** (0,02 … 0,05 мм).

**5. Большой срок службы элементов УСП.** Базовые и корпусные элементы имеют срок службы 15…20 лет, а остальные детали – 10…15 лет.

## 7.2 Сборка и настройка компоновок УСП

Изготовление приспособления сводится к его сборке по предварительно разработанной компоновочной схеме. Чтобы выяснить, обеспечит ли предлагаемая компоновочная схема приспособления заданную точность геометрических параметров обработанных поверхностей, следует подвергнуть её соответствующему расчёту (методика расчёта изложена в п.7.3).

Сборка компоновки осуществляется на основании заказа технолога и при наличии операционной карты заготовки. В операционной карте с эскизом обрабатываемой заготовки указывается следующая информация:

- обрабатываемые поверхности с их размерами, координатами и техническими требованиями;
- технологические и измерительные (исходные) базовые поверхности;
- поверхности для закрепления;
- вид обработки и режимы резания;
- модель станка, на котором осуществляется данная операция;
- габаритные размеры заготовки.

Сборка УСП выполняется на специализированных участках вспомогательных цехов квалифицированными слесарями- сборщиками.

На рисунке 7.4 приведены примеры компоновок УСП – кондукторов для сверления отверстий в различных по форме заготовках.

Как видно из сопоставления приведённых конструкций, схемы их одинаковы, а существенное отличие наблюдается лишь в элементах для установки заготовок. Выбор этих элементов диктуется формой базовых поверхностей заготовки. Для заготовки на рисунке 7.4, а двум плоским базам отвечают два упора 1 и 2 кондуктора. У заготовки на рисунке 7.4, б базой является наружная цилиндрическая поверхность, поэтому в качестве установочного элемента используется призма 1. Заготовка на рисунке 7.4, устанавливается на два пальца – один цилиндрический 1, а второй срезанный (ромбический) 2.

После сборки выполняется настройка приспособления. Задача настройки состоит в том, чтобы придать скомпонованным деталям УСП требуемое взаимное расположение с целью обеспечения заданной точности обработки.

При настройке конструкций УСП, подобным изображённым на рисунке 7.4, используются точные контрольные валики и плоские концевые меры (плитки). На рисунке 7.5 показана схема использования этих элементов при настройке вместо сверла в кондукторную втулку устанавливают контрольный валик 1, а расстояние от его образующей до упора приспособления реализуют набором (блоком) мерных плиток 2. Таким же образом осуществляется

настройка кондуктора и в другом направлении (размер Б).

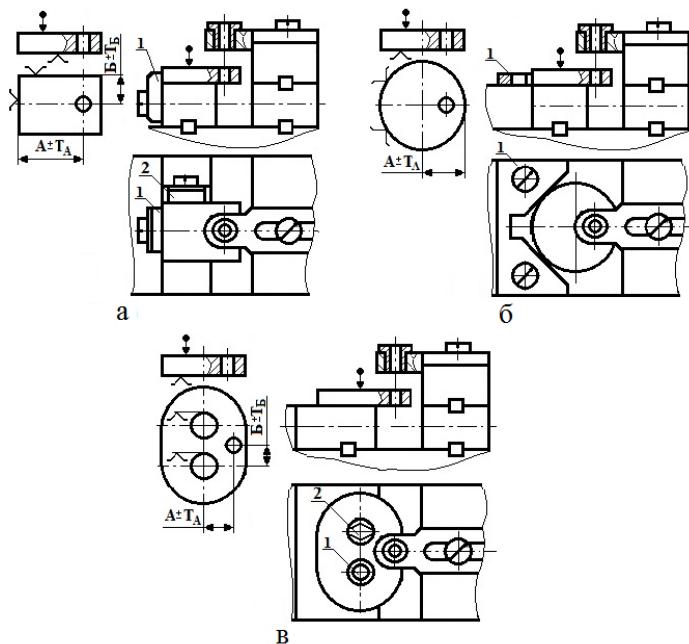


Рисунок 7.4 – Операционные эскизы заготовок и схемы УСП для их обработки

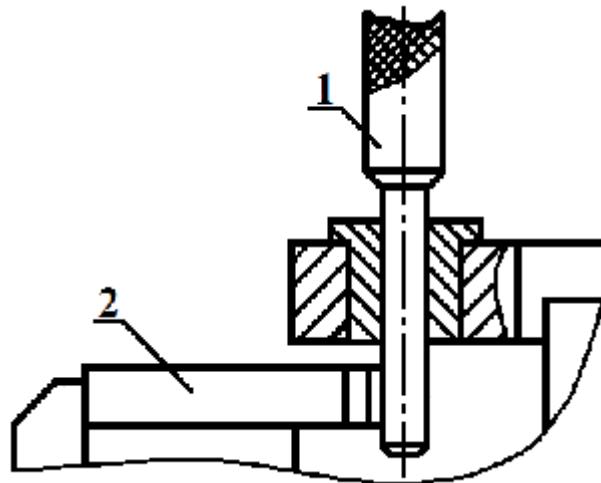


Рисунок 7.5 – Схема настройки УСП – кондуктора:  
1 – контрольный палец; 2 – блок концевых мер

### 7.3 Расчёт ожидаемой погрешности обработки

Разработанная компоновка УСП должна обеспечить требуемую точность заданных геометрических параметров. Поэтому перед окончательной наладкой выполняют расчёт приспособления на точность.

Результирующая погрешность обработки при выполнении любой операции с применением приспособлений не должна превышать заданного допуска на геометрический параметр, т.е.

$$\omega \leq T,$$

где  $\omega$  – результирующая погрешность обработки заданного геометрического параметра;  $T$  – допуск на геометрический параметр.

Результирующую погрешность можно представить в виде:

$$\omega = \omega_0 + \omega_y \leq T$$

где  $\omega_0$  – погрешность, связанная с методом обработки;  $\omega_y$  – погрешность, связанная с установкой.

В общем случае погрешность установки включает следующие составляющие: погрешность базирования  $\omega_b$ ; **погрешность закрепления  $\omega_z$** ; погрешность изготовления и износа приспособления  $\omega_{pr}$ .

$$\omega_{yp} = 1,2 \sqrt{\omega_b^2 + \omega_z^2 + \omega_{pr}^2}$$

**Погрешность базирования** – это отклонение фактически достигнутого положения заготовки при базировании от требуемого. Эта погрешность является величиной геометрической.

**Погрешность закрепления  $\omega_z$**  – это разность предельных смещений измерительной базы в направлении получаемого размера под действием сил зажима заготовки.

**Погрешность изготовления и износа приспособления** определяется по формуле:

$$\omega_{pr} = \omega_{изг} + \sqrt{3\omega_i^2 + \omega_{y,pr}^2}$$

где  $\omega_{изг}$  – погрешность изготовления элементов приспособления;  $\omega_i$  – погрешность, связанная с износом установочных элементов;  $\omega_{y,pr}$  – погрешность установки приспособления на станке.

Рассмотрим в качестве примера расчёт на точность компоновки УСП, приведённой на рисунке 7.4, а. Для наглядности построим размерные цепи, которые возникают при наладке и при обработке заготовки. На рисунке 7.6 приведена размерная схема, возникающая при настройке приспособления.

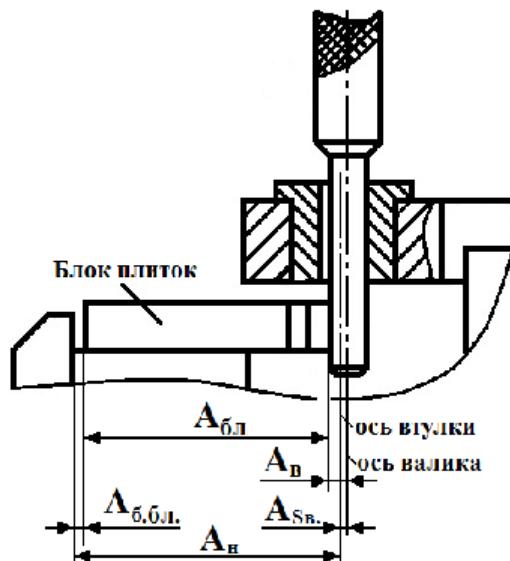


Рисунок 7.6 – Размерная схема настройки кондуктора

Размерная цепь настройки кондуктора:

$$A_{бл} + A_{б.бл} + A_{в} + A_{Sв} + A_{н} = 0,$$

где  $A_{бл}$  – размер блока плиток;  $A_{б.бл}$  – отклонение контактной поверхности блока плиток от номинального положения;  $A_{в}$  – радиус контрольного валика;  $A_{Sв}$  – смещение оси контрольного валика относительно оси кондукторной втулки за счёт зазора в посадке;  $A_{н}$  – настроочный размер.

Замыкающим звеном в размерной цепи является настроочный размер  $A_{н}$  – размер между базой приспособления и осью кондукторной втулки (его номинальное или среднее значение равно номиналу операционного и конструкторского размеров, записанных соответственно в операционной карте и рабочем чертеже). Этот размер в свою очередь является размером, определяющим изготовление кондуктора, и поэтому его погрешность будет равна  $\omega_{н} = \omega_{изг}$  (для данной компоновки). Размерную цепь запишем в виде:

$$A_{н} = A_{б.бл} + A_{бл} + A_{в} + A_{Sв}$$

Погрешность настройки определяется по формуле:

$$\omega_{н} = \omega_{б.бл} + \omega_{бл} + \omega_{в} + \omega_{Sв}$$

Цепь настройки позволяет рассчитать размер блока плиток, который используют при настройке (номинальные размеры  $A_{б.бл}$  и  $A_{Sв}$  по смыслу равны нулю):

$$A_{бл} = A_{н} - A_{в}$$

При расчёте погрешности необходимо учитывать, что значения  $\omega_{б.бл}$  и  $\omega_{бл}$  вследствие их малости можно принять равными нулю, т.е.  $\omega_{б.бл} = 0$ ,  $\omega_{бл} = 0$ . Тогда

$$\omega_n = \omega_b + \omega_{sb}$$

Для определения суммарной погрешности рассмотрим размерную схему, приведённую на рисунке 7.7.

Размерная цепь обработки:

$$A_b + A_n + A_{sb} + A_\Delta = 0,$$

где  $A_b$  – отклонение технологической базы заготовки от номинального положения;  $A_{sb}$  – смещение оси сверла относительно оси кондукторной втулки;  $A_\Delta$  – ожидаемый размер.

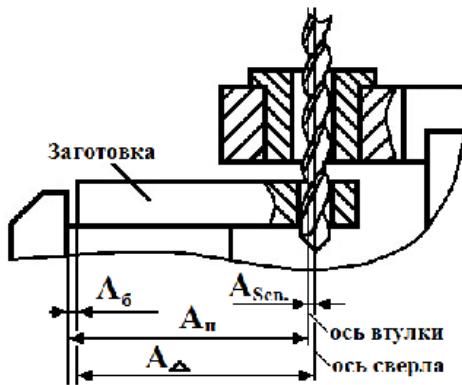


Рисунок 7.7 – Размерная схема обработки

Замыкающим звеном в размерной цепи является ожидаемый размер  $A_\Delta$  – размер между исходной базой заготовки и осью обработанного отверстия (его номинальное значение равно номиналу операционного размера). Размерную цепь запишем в виде:

$$A_\Delta = A_b + A_n + A_{sb}$$

Ожидаемая (расчёчная) результирующая погрешность обработки определяется по формуле:

$$\omega_{\Delta p} = \omega_b + \omega_n + \omega_{sb}$$

В этой формуле  $\omega_{sb}$  является погрешностью метода обработки при сверлении,  $\omega_b$  – погрешность базирования, а  $\omega_n$  – погрешность изготовления.

Необходимо отметить, что при определении погрешности метода обработки при сверлении и погрешности наладки должны учитываться

перекосы сверла и контрольного валика во втулке. Эти погрешности будут увеличиваться с увеличением длины втулки. В данной лабораторной работе для упрощения перекосы не рассматриваются.

Погрешность износа назначается (рассчитывается) конструктором приспособления. Обычно  $\Phi_{изг}$  принимают равной 0,01 мм.

Погрешность установки приспособления на станке для кондукторов равна нулю.

По результатам точностного расчёта сопоставляется полученное значение  $\Phi_{др}$  с допуском на операционный размер  $T$  и делается вывод о возможности использования приспособления.

#### 7.4 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с элементами УСП и изучить конструкции приспособлений различного назначения из этих элементов.

2. Изучить методику расчёта приспособлений на точность.

3. Изучить операционный эскиз обрабатываемой заготовки – фланец (рисунок 7.8). При этом определить базовые поверхности, требования по точности обработки отверстия.

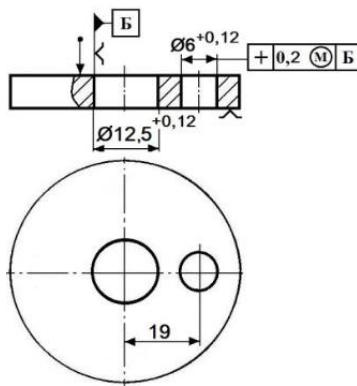


Рисунок 7.8 – Операционный эскиз фланца

4. Предложить схему компоновки приспособления для выполнения операции «Сверление отверстия».

5. Выполнить анализ погрешностей, характерных для предложенного приспособления и построить размерные цепи, которые возникают при наладке и при обработке заготовки.

6. Определить ожидаемую суммарную погрешность обработки. Расчёт выполнять по фактическим геометрическим параметрам. Для сокращения объёма работы, связанной с измерениями, студентам предлагается воспользоваться данными таблицы 7.1.

Таблица 7.1 – Геометрические параметры элементов УСП

Диаметр, мм				
установочного пальца	базового отверстия заготовки	контрольного валика	сверла	кондукторной втулки
12,44	12,55	6,0	6,0	6,02

7. Рассчитав ожидаемую погрешность и убедившись, что  $\omega_{\Delta p} \leq T$ , выполнить сборку и настройку приспособления.

8. Провести экспериментальную проверку точности обработки отверстий с использованием кондуктора:

- установить заготовку в кондуктор и просверлить отверстие в соответствии с операционным эскизом (повторить обработку не менее трёх раз);

- измерить расстояния между осями отверстий;

- по результатам замеров определить действительные погрешности и сравнивать их с заданными по чертежу и результатами точностного расчёта.

9. Дать заключение о годности кондуктора для выполнения операции по сверлению отверстия в заготовке – фланец.

10. Внести предложения по повышению точности обработки отверстия во фланце.

11. Оформить отчёт по работе.

### 7.5. Вопросы для самоконтроля

1. Универсально-сборные приспособления.

2. Преимущество УСП перед другими приспособлениями.

3. Особенности УСП.

4. Группа элементов, состоящая в комплекте УСП.

5. Особенность наладки компоновок кондукторов из элементов УСП.

6. Цель расчёта приспособления на точность.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Технологическая подготовка машиностроительного производства» направления подготовки 15.03.01 Машиностроение, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнения контрольной работы.

При выполнении контрольной работы студенты отвечают на два вопроса. Варианты вопросов определяются по таблице 4 в зависимости от двух последних цифр студенческого шифра (номера студенческого билета и зачетной книжки). В таблице по горизонтали (Б) размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых – последняя цифра шифра студента. По вертикали (А) также размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых – предпоследняя цифра шифра студента. Пересечение горизонтальной и вертикальной линий определяет клетку с номерами вариантов контрольной работы. Перечень вопросов для выполнения контрольной работы представлен в приложении А.

Таблица 4 – Варианты заданий

Б		Последняя цифра шифра									
А		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предпоследняя цифра шифра	0	1,26	11,5	21,11	1,26	11,1	21,13	1,22	11,2	21,12	1,18
	1	2,26	12,3	22,11	2,26	12,1	22,13	2,22	12,3	22,12	2,18
	2	3,26	13,5	23,11	3,26	13,1	23,13	3,22	13,15	23,12	3,18
	3	4,26	14,5	24,11	4,26	14,24	24,13	4,22	14,15	24,12	4,18
	4	5,26	15,5	25,11	5,26	15,24	25,13	5,22	15,1	25,12	5,18
	5	6,26	16,5	26,11	6,26	16,24	26,13	6,22	16,15	26,12	6,18
	6	7,26	17,8	27,11	7,26	17,24	27,13	7,22	17,15	27,12	7,18
	7	8,26	18,5	3,10	8,26	18,2	8,9	8,22	18,15	16,8	8,18
	8	9,26	19,5	7,10	9,26	19,24	8,9	9,22	19,15	9,8	9,18
	9	10,26	20,5	2,11	10,26	20,24	8,12	10,22	20,15	9,13	10,18

Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными, ясными и содержать элементы анализа.

При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации. Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников (не менее 10 источников).

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см, верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

*Структура контрольной работы:*

- титульный лист (приложение Б)

- содержание
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа)
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.100-2018, ГОСТ 7.82-2001.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 15 листов А4.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю.

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу). Студент, получивший контрольную работу с оценкой «зачтено», знакомится с рецензией и с учетом замечаний преподавателя дорабатывает отдельные вопросы с целью углубления своих знаний.

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не заченной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вотинова, Е. Б. Основы технологической подготовки производства: учеб. пособие / Е. Б. Вотинова, М. П. Шалимов, А. М. Фивейский; науч. ред. А. В. Березовский; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. – 171 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=696290> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-7996-2171-1. – Текст : электронный.
2. Кулик, В. И. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении: учеб. пособие / В. И. Кулик, А. С. Нилов. – Санкт-Петербург: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 98 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/122069> (дата обращения: 18.02.2022). – Текст : электронный.
3. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник для ВО / А. А. Маталин. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 512 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/143709> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-8114-5659-8. – Текст : электронный.
4. Ковшов, А. Н. Технология машиностроения: учебник / А. Н. Ковшов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 320 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212438> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-8114-0833-7. – Текст : электронный.
5. Проектирование технологических процессов машиностроительных производств: учебник / В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, Н. П. Солнышкин, С. И. Дмитриев. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 384 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211652> (дата обращения: 16.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Должиков, В. П. Технологии наукоемких машиностроительных производств: учеб. пособие / В. П. Должиков. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 304 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212423> (дата обращения: 16.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств: учебник / Н. К. Юрков. – 2-е изд., испр., доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 480 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211457> (дата обращения: 16.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Вороненко, В. П. Проектирование машиностроительного производства: учебник / В. П. Вороненко, М. С. Чепчурев, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. П. Вороненко. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 416 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL:

<https://e.lanbook.com/book/206783> (дата обращения: 16.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Технологические процессы в машиностроении. Назначение режимов резания и нормирование операций механической обработки заготовок в машиностроении: учеб. пособие для вузов / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев, В. Г. Юрьев, М. А. Афанасенков. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 248 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/197529> (дата обращения: 16.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. Медведева, С. А. Основы технической подготовки производства: учеб. пособие / С. А. Медведева. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. – 69 с.

11. Мещеряков, А. В. Технологическая подготовка современного производства: учеб. пособие / А. В. Мещеряков. – Самара: Самарский университет, 2019. – 152 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/148615> (дата обращения: 16.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## **Приложение А**

### **Вопросы для контрольной работы**

1. Последовательность и содержание работ технологической подготовки производства.
2. Технологическая подготовка производства при проектировании изделий.
3. Технологическая подготовка производства опытных образцов и единичных изделий.
4. Технологическая подготовка производства серийных изделий.
5. Обеспечение технологичности конструкции изделия.
6. Обеспечение технологического проектирования.
7. Организация контроля и управления технологическими процессами.
8. Автоматизация технологической подготовки производства.
9. Организация технологической подготовки производства.
10. Оформление титульного листа технологической документации.
11. Оформление маршрутной карты.
12. Оформление технологического процесса, выполненного на форме маршрутной карты с применением маршрутно-операционного описания.
13. Оформление карты технологического процесса.
14. Оформление операционной карты.
15. Оформление карты эскизов.
16. Оформление ведомости операций технического контроля.
17. Оформление операционной карты технического контроля.
18. Оформление ведомости применяемости деталей (сборочных единиц) в изделии, ведомости применяемости стандартных, покупных, оригинальных деталей и сборочных единиц в изделии, ведомости сборки изделия, ведомости технологических маршрутов, технологической ведомости.
19. Оформление ведомости технологических маршрутов.
20. Оформление технологической ведомости.
21. Оформление ведомости оборудования и ведомости оснастки.
22. Оформление ведомости технологических документов и ведомости держателей подлинников.
23. Оформление технологической инструкции.
24. Особенности оформления технологической документации при обработке заготовок на многооперационных станках с ЧПУ.
25. Особенности оформления технологической документации при обработке заготовок на станках-полуавтоматах и автоматах.
26. Особенности оформления технологической документации при обработке заготовок на автоматических линиях.
27. Особенности разработки технологических процессов и оформления технологической документации для гибких производств.

**Приложение Б**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Институт агроинженерии и пищевых систем**

**Кафедра инжиниринга технологического оборудования**

Контрольная работа  
допущена к защите:  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_\_\_» 202\_\_ г.

Контрольная работа  
защищена  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_\_\_» 202\_\_ г.

**Контрольная работа №\_\_\_\_**

по дисциплине  
**«ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА»**

Шифр студента\_\_\_\_\_  
Вариант №\_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент гр.\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_\_\_» 202\_\_ г.

Калининград – 20\_\_\_\_

Локальный электронный методический материал

Елена Петровна Щербакова

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редактор С. Кондрашова  
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 8,4. Печ. л. 6,5.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1