

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования

"Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Козорез Д.А.

3 июля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (000197791)

Технология производства АД и ЭУ

(указывается наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Квалификация выпускника	Бакалавр
Профиль подготовки	Технология производства авиационных ГТД
Форма обучения	очно-заочная (очно, очно-заочное, заочное)
Выпускающая кафедра	ТПАД
Обеспечивающая кафедра	ТПАД
Кафедра-разработчик рабочей программы	ТПАД

Семестр	З.Е.	Трудоемкость, час.	Лекций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час	Экзамен- нов, час.	Форма промежуточног о контроля
10	5	180	26	12	16	90	36	Э
Итого	5	180	26	12	16	90	36	

Москва

2023

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## Разделы рабочей программы

1. Цели освоения дисциплины. Перечень планируемых результатов обучения.
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
3. Структура и содержание дисциплины.
4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.
5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.
6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.
8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

## Приложения к рабочей программе дисциплины

Приложение 1. Аннотация рабочей программы

Приложение 2. Прикрепленные файлы

Программа составлена в соответствии с требованиями СУОС МАИ, разработанного на основе ФГОС ВО (3++) по направлению 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

---

Авторы программы:

Бабин С.В.

Заведующий обеспечивающей кафедрой ТПАД

Программа одобрена:

Заведующий выпускающей кафедрой  
ТПАД

Директор выпускающего филиала СТ

# 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ.

Целью освоения дисциплины Технология производства АД и ЭУ является достижение следующих результатов освоения(РО):

N	Шифр	Результат обучения
1	У-1(ПКР-20.1)	Уметь выбирать рациональный способ механической обработки деталей ДЛА
2	У-2(ПКР-20.1)	Уметь выбирать рациональный способ изготовления деталей
3	В-2(ПКР-20.1)	Владеть навыками проектирования маршрутных и операционных карт
4	З-3(ПКР-20.1)	Знать организационные мероприятия, проводимые при сборке ДЛА
5	У-3(ПКР-20.1)	Уметь выбирать способы реализации технологических процессов при изготовлении и сборке ДЛА
6	В-3(ПКР-20.1)	Владеть навыками составления технологических процессов
7	З-8(ПКР-20.1)	Знать задачи технологической подготовки производства механических и механо-сборочных цехов и участков предприятий
8	У-5(ПКР-20.1)	Уметь определять рациональный вид механической обработки
9	З-10(ПКР-20.1)	Знать достоинства и недостатки различных видов механической обработки в условиях предприятия
10	В-5(ПКР-20.1)	Владеть навыками определения режимов обработки и нормирования механических операций
11	В-1(ДПК-4.1)	Владеть принципами и методами управления качеством
12	В-1(ДПК-4.2)	Владеть методами диагностики технологического оборудования по параметрам точности, жесткости, повторяемости.
13	З-1(ДПК-4.3)	Знать параметры эксплуатационной эффективности производственного оборудования
14	З-1(ДПК-5.1)	Знает нормы и правила оформления технологической документации
15	У-1(ДПК-5.1)	Уметь оформлять технологическую документацию (маршрутные карты, операционные карты, контрольные карты, карты эскизов и т.п.);
16	З-1(ДПК-5.2)	Знать влияние технологических факторов на точность, качество поверхности и производительность
17	З-2(ДПК-5.2)	Знать особенности построения технологического процесса в зависимости от типа производства
18	В-3(ДПК-5.2)	Владеть навыками построения технологических процессов с использованием ЭХО и ЭФО методов;
19	В-1(ДПК-5.3)	Владеть навыками маршрутного и операционного описания технологических процессов

20	В-2(ДПК-5.3)	Владеть навыками правильного выбора метода обработки средств технологического оснащения, отвечающих требованиям по качеству и точности в условиях конкретного производственного участка
21	З-1(ДПК-6.1)	Знать основы физических явлений происходящих в процессе обработки деталей ДЛА
22	У-1(ДПК-6.2)	Уметь применять полученные знания для разработки рациональных режимов резания при различных видах обработки разнообразных конструкционных материалов в области жаропрочных, нержавеющей и титановых сплавов
23	З-1(ДПК-6.2)	Знает особенности применения современных методов производства деталей ДЛА с целью повышения качества
24	Р-1(ДПК6.3)	Знает методы технологических исследований
25	В-1(ДПК-6.3)	Владеет навыками проведения исследований по выявлению и анализу причин брака при производстве изделий ДЛА
26	У-2(ПКР-14.1)	Уметь разрабатывать маршрутные карты технологических процессов изготовления деталей и узлов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов
27	У-3(ПКР-14.1)	Уметь обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования
28	У-2(ПКР-14.2)	Уметь обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с технологическим оборудованием
29	З-2(ПКР-14.2)	Знать порядок разработки и согласования документации на технологические процессы и оснащение рабочих мест
30	З-1(ПКР-19.1)	Знать причины появления дефектов и методы их предупреждения, идентификации, локализации

Перечисленные РО являются основой для формирования следующих компетенций:

<b>N</b>	<b>Шифр</b>	<b>Компетенция</b>
1	ДПК-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования, определять причины появления брака.
2	ДПК-5	Способность разрабатывать технологию изготовления, маршрутные и операционные карты технологических процессов изготовления отдельных деталей и узлов для
3	ДПК-6	Способность исследовать и анализировать причины брака в производстве и разрабатывать предложения по его предупреждению и устранению.
4	ПКР-20	Способен участвовать в работах по проектированию и реализации основных технологических процессов при производстве ДЛА
5	ПКР-14	Способен участвовать в работах по проектированию и реализации основных процессов изготовления ДЛА с обеспечением заданного качества и с учетом технических ограничений на оборудование
6	ПКР-19	Способен к организации работ по повышению качества продукции авиастроительной отрасли

Индикаторы достижения компетенций, служащие для проверки сформированности части соответствующей компетенции:

<b>N</b>	<b>Шифр</b>	<b>Индикатор компетенций</b>
1	ДПК-5.2	Обладает знаниями принципов разработки оптимальных технологических процессов изготовления элементов аэрокосмической техники
2	ДПК-4.2	Применяет знания методов и средств диагностики технологического оборудования по параметрам точности, жесткости, повторяемости
3	ДПК-4.1	Выполняет диагностику технологического оборудования по параметрам точности, жесткости, повторяемости
4	ДПК-4.3	Формирует обоснованное заключение по эксплуатационной эффективности технологического оборудования и средств технологического оснащения
5	ПКР-14.2	Разрабатывает документацию для оснащения рабочих мест
6	ПКР-14.1	Разрабатывает документацию на технологические процессы в соответствии с принятыми нормативными документами
7	ПКР-19.1	Демонстрирует знания причин появления производственных дефектов и методов их предупреждения
8	ПКР-20.1	Принимает участие в работах по выбору рационального технологического процесса изготовления деталей и сборочных единиц ДЛА
9	ДПК-5.1	Выполняет разработку технологии изготовления, маршрутные и операционные карт, технологических процессов изготовления отдельных деталей и узлов ДЛА
10	ДПК-5.3	Применяет знания методов технологического проектирования для разработки высокоэффективных производственных процессов
11	ДПК-6.1	Демонстрирует знания особенностей технологических процессов в производстве ДЛА, способность анализировать причины брака в производстве и разрабатывать предложения по его предупреждению и устранению
12	ДПК-6.2	Принимает участие в предупреждении появления брака на основе статистического управления качеством продукции
13	ДПК-6.3	Проводит исследования по выявлению причин брака при производстве изделий ДЛА
14	ПКР-14.2	Разрабатывает документацию для оснащения рабочих мест
15	ПКР-14.1	Разрабатывает документацию на технологические процессы в соответствии с принятыми нормативными документами
16	ПКР-19.1	Демонстрирует знания причин появления производственных дефектов и методов их предупреждения
17	ПКР-20.1	Принимает участие в работах по выбору рационального технологического процесса изготовления деталей и сборочных единиц ДЛА

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

Дисциплина Технология производства АД и ЭУ является предшествующей и последующей для следующих дисциплин:

N	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины
1	Технологическая практика	Автоматизированные системы проектирования технологических процессов (PLM-технологии в производстве ДЛА)
2	Производственная практика	Преддипломная практика
3	Методы обработки деталей, станки и инструмент	Итоговая гос. аттестация
4	Теория резания и режущий инструмент	
5	Технологическая оснастка	
6	Технология ЭХО и ЭФО (Технология электрофизических методов обработки и защитные покрытия)	
7	Технология заготовительного производства (Технология заготовительно-штамповочных работ)	
8	Оборудование с ЧПУ (Программно управляемое оборудование для механической обработки)	
9	Объекты промышленного производства	
10	Метрология, стандартизация и сертификация	
11	Проектирование механосборочных цехов	
12	Автоматизация технологических процессов (Технические средства автоматизации ТП ДЛА)	
13	Методы исследований и испытаний в авиаракетостроении (Технический контроль и измерения)	

## 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость практики составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы), 180 часа(ов).

Модуль	Раздел	Лекции	Практич. занятия	Лаборат. работы	СРС	Всего часов	Всего с экзаменами и курсовыми
Технология производства ДЛА и их агрегатов	Введение	2	0	0	1	3	180

	Особенности производства авиадвигателей и агрегатов	2	0	0	1	3	
	Методы изготовления заготовок	4	2	0	4	10	
	Методы упрочняющей обработки деталей	4	0	0	10	14	
	Технология изготовления валов авиадвигателей.	2	2	8	14	26	
	Технология из-готовления дисков турбин и компрессора	2	2	4	8	16	
	Технология изготовления рабочих лопаток турбины и компрессора	2	2	0	6	10	
	Технология изготовления лопастей винтов	2	2	0	4	8	
	Технология изготовления корпусных деталей	2	0	4	6	12	
	Технология изготовления кольцевых деталей	2	2	0	4	8	
	Технология и-готовления деталей трубопроводов	2	0	0	2	4	
<b>Всего</b>		<b>26</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>114</b>	<b>180</b>

### 3.1. Лекции

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем часов	Тема лекции
1	1.1.Введение	2	Введение. Предмет, структура и задачи курса
2	1.2.Особенности производства авиадвигателей и агрегатов	2	Особенности производства авиадвигателей и агрегатов
3	1.3.Методы изготовления заготовок	4	Методы изго-товления рациональных заготовок
4	1.4.Методы упрочняющей обработки деталей	4	Методы упрочняющей обработки деталей

5	1.5.Технология изготовления валов авиадвигателей.	2	Технология из-готовления ва-лов авиадвигате-лей.
6	1.6.Технология из-готовления дисков турбин и компрессора	2	Технология изготовления дис-ков турбин и компрессора
7	1.7.Технология изготовления рабочих лопаток турбины и компрессора	2	Технология из-готовления рабочих лопаток турбины и компрессора
8	1.8.Технология изготовления лопастей винтов	2	Технология изготовления ло-пастей винтов
9	1.9.Технология изготовления корпусных деталей	2	Технология изготовления корпусных деталей.  Технология из-готовления корпусных деталей
10	1.10.Технология изготовления кольцевых деталей	2	Технология изготовления кольцевых деталей
11	1.11.Технология и-готовления деталей трубопроводов	2	Технология изготовления де-талей трубопроводов
<b>Итого:</b>		<b>26</b>	

### 3.2. Содержание лекций

#### 1.1.1. Введение. Предмет, структура и задачи курса (АЗ: 2, СРС: 1)

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Предмет, структура и задачи курса, его место среди технологических дисциплин. Значение прогрессивных технологических процессов в решении задач сохранения сроков подготовки производства, повышения эксплуатационной надежности изделий, экономии металла, снижения трудоемкости производства, в том числе уменьшение трудоемкости механообработ-ки. Роль отечественных ученых в создании теоретических основ технологии и разработке принципиально новых методов обработки ма-териалов.

#### 1.2.1. Особенности производства авиадвигателей и агрегатов (АЗ: 2, СРС: 1)

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Влияние конструкторских и эксплуатацион-ных характеристик авиадвигателей на особенности их производства. Основные требования к материалам деталей авиадвигателей: высо-кая удельная; прочность, жаропрочность, жа-ростойкость, коррозионная и эрозионная стойкость, усталостная прочность, обрабаты-ваемость, Основные типы применяемых ме-таллических, неметаллических и композиционных материалов.



### **1.3.1. Методы изготовления рациональных заготовок (АЗ: 4, СРС: 2)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Прогрессивные методы литья, объемной штамповки, порошковой металлургии. Рациональные заготовки из листов, труб и профилей. Методы изготовления сварных и цельных цилиндрических и конических обечаек. Гибка листов на валковых станках: особенности технологии, оборудование. Ротационная вытяжка деталей: основные параметры процесса, оборудование. Формообразование деталей замкнутого контура растяжением разжимными пуансонами. Особенности изготовления деталей из профилей гибкой: технологические схемы, оборудование. Формообразование профильных деталей из непрофилированного листового металла. Импульсные высокоэнергетические методы формообразования и калибровки, обеспечивавшие получение точных заготовок и деталей. Штамповка и калибровка деталей взрывом, номенклатура штампуемых деталей, технологические схемы, определение основных параметров процесса, оборудование и оснастка. Электрогидравлическая и магнитно-импульсная обработка материалов. Сущность методов, области применения, технологические схемы, оборудование и оснастка. Техника безопасности. Термозергетический метод снятия заусенцев.

### **1.4.1. Методы упрочняющей обработки деталей (АЗ: 4, СРС: 4)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Влияние шероховатости поверхности на работоспособность деталей. Сущность поверхностно-деформационного упрочнения. Требования к технологичности упрочняемых деталей. Методы деформационного упрочнения поверхностного слоя. Гидро- и пневмо-дробеструйная обработка. Гидрогалтовка. Виброгалтовка. Деформационное упрочнение микрошариками. Обкатка роликами и шариками. Алмазное выглаживание. Упрочнение энергией взрыва. Поверхностно-термическая обработка. Диффузионные покрытия: режимы обработки, применяемое оборудование, инструмент. Влияние шероховатости поверхности и поверхностно-деформационного упрочнения на коррозионную стойкость деталей

### **1.5.1. Технология изготовления валов авиадвигателей. (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Конструктивно-технологические характеристики несущих валов. Применяемые материалы. Заготовки валов. Маршруты обработки. Базирование. Черновая, чистовая, окончательная обработка. Изготовление термоулучшаемых и цементируемых валов. Особенности обработки полых валов. Сверление глубоких отверстий, растачивание отверстий. Контроль валов.

**1.6.1. Технология изготовления дис-ков турбин и компрессора (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Конструктивно-технологические характеристики дисков. Применяемые материалы. Заготовки дисков. Особенности построения фенологического процесса. Базирование. Типовой маршрут обработки. Методы обработки пазов под лопатки. Контроль дисков

**1.7.1. Технология из-готовления рабочих лопаток турбины и компрессора (АЗ: 2, СРС: 4)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Конструктивно-технологические характеристики лопаток. Используемые материалы. Влияние температурных условий эксплуатации на выбор материала, методы изготовления заготовок. Особенности базирования лопаток, применение вспомогательных технологических аз. Маршруты обработки лопаток. Специфика обработки пера и замка. Полирование пера. Упрочнение лопаток. Особенности изго-товления охлаждаемых лопаток. Холодное вальцевание неохлаждаемых лопаток. Методы контроля лопаток.

**1.8.1. Технология изготовления ло-пастей винтов (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Конструктивно-технологические характеристики. Применяемые материалы и заготовки. Маршрут изготовления дюралевого допаста. Особенности механической обработки пера лопасти. Способы повышения точности изго-товления и эксплуатационной надежности допаста.

**1.9.1. Технология изготовления корпусных деталей.**

**Технология из-готовления корпусных деталей (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Классификация корпусных деталей по кон-структивно-технологическому принципу. Применяемые материалы. Заготовки корпусных деталей. Требования к деталям по точности изготовления. Построение технологического процесса. Особенности обработки корпусных деталей, применение станков с ЧПУ. Контроль корпусных деталей

**1.10.1. Технология изготовления кольцевых деталей (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Конструктивно-технологические характеристики. Используемые материалы и заготовки. Маршрут изготовления деталей из прессованных профилей. Метод ротационной осадки при использовании листовых заготовок. Раскатка колец. Контроль деталей.

#### 1.11.1. Технология изготовления деталей трубопроводов (АЗ: 2, СРС: 2)

**Тип лекции:** Информационная лекция

**Форма организации:** Лекция

**Описание:** Конструктивно-технологическая характеристика деталей. Особенности и схемы гибки труб. Методы, обеспечивающие резкое расширение уровня технологичности и надежности трубопроводов: гибка крутоизогнутых патрубков проталкиванием с использованием эластичного наполнителя, формообразование тройников и крестовин из трубных заготовок. Особенности изготовления сильфонов. Методы контроля трубопроводов.

### 3.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем часов	Наименование практического занятия
1	1.3.Методы изготовления заготовок	2	Определение последовательности методов обработки поверхности детали
2	1.5.Технология изготовления валов авиадвигателей.	2	Технология изготовления валов турбин авиадвигателей
3	1.6.Технология изготовления дисков турбин и компрессора	2	Технология изготовления дисков турбин и компрессора авиадвигателей
4	1.7.Технология изготовления рабочих лопаток турбины и компрессора	2	Варианты технологических процессов изготовления лопаток
5	1.8.Технология изготовления лопастей винтов	2	Технология изготовления лопастей винтов
6	1.10.Технология изготовления кольцевых деталей	2	Технологический процесс изготовления кольцевых деталей
<b>Итого:</b>		<b>12</b>	

### 3.4. Содержание практических занятий

#### 1.3.2. Определение последовательности методов обработки поверхности детали (АЗ: 2, СРС: 2)

**Форма организации:** Практическое занятие

#### 1.5.1. Технология изготовления валов турбин авиадвигателей (АЗ: 2, СРС: 2)

**Форма организации:** Практическое занятие

**1.6.1. Технология изготовления дисков турбин и компрессора авиадвигателей (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Форма организации:** Практическое занятие

**1.7.1. Варианты технологических процессов изготовления лопаток (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Форма организации:** Практическое занятие

**1.8.1. Технология из-готовления лопастей винтов (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Форма организации:** Практическое занятие

**1.10.1. Технологический процесс изготовления кольцевых деталей (АЗ: 2, СРС: 2)**

**Форма организации:** Практическое занятие

**3.5. Лабораторные работы**

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем часов	Наименование лабораторной работы	Наименование лаборатории
1	1.5.Технология изготовления валов авиадвигателей.	4	Определение жесткости токарно-го станка производственным способом	Автоматика и станки с ЧПУ
2	1.5.Технология изготовления валов авиадвигателей.	4	Влияние деформаций обрабатываемой заготовки на точность обработки на токарном станке	Автоматика и станки с ЧПУ
3	1.6.Технология из-готовления дисков турбин и компрессора	4	Исследование точности изготовления партии деталей	Автоматика и оборудование с ЧПУ
4	1.9.Технология изготовления корпусных деталей	4	Влияние размерного износа и температурных деформаций ре-жущего инструмента на точность обработки	Автоматика и станки с ЧПУ
<b>Итого:</b>		<b>16</b>		

**3.6.Содержание лабораторных работ**

**1.5.1. Определение жесткости токарно-го станка производственным способом (АЗ: 4, СРС: 6)**

**Форма организации:** Лабораторная работа

**1.5.2. Влияние деформаций обрабатываемой заготовки на точность обработки на токарном станке (АЗ: 4, СРС: 4)**

**Форма организации:** Лабораторная работа

**1.6.1. Исследование точности изготовления партии деталей (АЗ: 4, СРС: 4)**

**Форма организации:** Лабораторная работа

**1.9.1. Влияние размерного износа и температурных деформаций ре-жущего инструмента на точность обработки (АЗ: 4, СРС: 4)**

**Форма организации:** Лабораторная работа

**3.7. Курсовые работы и проекты по дисциплине**

**1.1. Разработать технологический процесс и спроектировать оснастку для изготовления детали авиационного двигателя или агрегата двигателя**

**Тематика:** Тематика курсовых проектов предусматривает проектирование технологического процесса и оснастки для изготовления конкретных деталей авиадвигателей и агрегатов

**Трудоемкость(СРС):** 30

**Прикрепленные файлы:** Метод указ к КП(АД).pdf

**3.8. Промежуточная аттестация**

**1. Экзамен (10 семестр)**

**Прикрепленные файлы:** ФОС\_ТПАД и ЭУ\_ТПАД.pdf, Билеты по ТПАД.pdf

**4. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Основная и дополнительная литература по дисциплине
2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».
3. Ресурсы научно-технической библиотеки МАИ.
4. Информационные стенды кафедры.

## **5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Описание показателей, критерии оценивания компетенций и описание шкал оценивания осуществляются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки результатов обучения студентов по дисциплине (Приказ №42 от 04.04.2014 «Об утверждении положения «Рейтинг по дисциплине»).

Для оценивания интегрированных и практико-ориентированных заданий обучающихся используются следующие критерии по 100-балльной шкале:

1. Формулирование представленной информации в виде проблемы;
2. Предложение способа решения проблемы;
3. Обоснование способа решения проблемы;
4. Демонстрация способа решения проблемы.

Оценивание осуществляется по следующей шкале:

100-балльная шкала	Результат освоения
менее 40	Критерий не сформирован
41-70	Критерий четко не выражен
71-100	Критерий выражен четко

Для оценивания ситуационных заданий используется следующая шкала:

100-балльная шкала	Результат освоения
менее 30	обучающийся не может сформулировать проблему, представленную в задании
31-50	обучающийся формулирует поставленную задачу, у него сформированы изолированные знания и умения, однако отсутствуют интегрированные понятия и навыки, в результате чего допущены ошибки в решении и задание не выполнено
51-80	задание выполнено, обучающийся применяет знания для решения поставленной проблемы, однако не сформированы компетенции, вследствие чего обучающийся испытывает затруднения в демонстрации способов решения задачи
81-100	задание выполнено как в теоретическом, так и в практическом плане, обучающийся легко демонстрирует свою компетентность по данному вопросу

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения, включают в себя:

- вопросы к промежуточной аттестации.

Перечень компетенций и этапы их формирования приведены в следующей таблице:

N	Шифр	Компетенция	Этапы формирования компетенции
1	ДПК-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования, определять причины появления брака.	Владеть принципами и методами управления качеством Владеть методами диагностики технологического оборудования по параметрам точности, жесткости, повторяемости. Знать параметры эксплуатационной эффективности производственного оборудования Семестр - 10
2	ДПК-5	Способность разрабатывать технологию изготовления, маршрутные и операционные карты технологических процессов изготовления отдельных деталей и узлов для	Знает нормы и правила оформления технологической документации Уметь оформлять технологическую документацию (маршрутные карты, операционные карты, контрольные карты, карты эскизов и т.п.); Знать влияние технологических факторов на точность, качество поверхности и производительность Знать особенности построения технологического процесса в зависимости от типа производства Владеть навыками построения технологических процессов с использованием ЭХО и ЭФО методов; Владеть навыками маршрутного и операционного описания технологических процессов Владеть навыками правильного выбора метода обработки средств технологического оснащения, отвечающих требованиям по качеству и точности в условиях конкретного производственного участка Семестр - 10

3	ДПК-6	Способность исследовать и анализировать причины брака в производстве и разрабатывать предложения по его предупреждению и устранению.	<p>Знать основы физических явлений происходящих в процессе обработки деталей ДЛА</p> <p>Уметь применять полученные знания для разработки рациональных режимов резания при различных видах обработки разнообразных конструкционных материалов в области жаропрочных, нержавеющей и титановых сплавов</p> <p>Знает особенности применения современных методов производства деталей ДЛА с целью повышения качества</p> <p>Знает методы технологических исследований</p> <p>Владеет навыками проведения исследований по выявлению и анализу причин брака при производстве изделий ДЛА Семестр - 10</p>
4	ПКР-20	Способен участвовать в работах по проектированию и реализации основных технологических процессов при производстве ДЛА	<p>Уметь выбирать рациональный способ механической обработки деталей ДЛА</p> <p>Уметь выбирать рациональный способ изготовления деталей</p> <p>Владеть навыками проектирования маршрутных и операционных карт</p> <p>Знать организационные мероприятия, проводимые при сборке ДЛА</p> <p>Уметь выбирать способы реализации технологических процессов при изготовлении и сборке ДЛА</p> <p>Владеть навыками составления технологических процессов</p> <p>Знать задачи технологической подготовки производства механических и механо-сборочных цехов и участков предприятий</p> <p>Уметь определять рациональный вид механической обработки</p> <p>Знать достоинства и недостатки различных видов механической обработки в условиях предприятия</p> <p>Владеть навыками определения режимов обработки и нормирования механических операций Семестр - 10</p>



5	ПКР-14	Способен участвовать в работах по проектированию и реализации основных процессов изготовления ДЛА с обеспечением заданного качества и с учетом технических ограничений на оборудование	Уметь разрабатывать маршрутные карты технологических процессов изготовления деталей и узлов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов Уметь обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования Уметь обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с технологическим оборудованием Знать порядок разработки и согласования документации на технологические процессы и оснащение рабочих мест Семестр - 10
6	ПКР-19	Способен к организации работ по повышению качества продукции авиастроительной отрасли	Знать причины появления дефектов и методы их предупреждения, идентификации, локализации Семестр - 10

#### Комплект типовых индивидуальных заданий

N	Раздел дисциплины	Объем, часов	Наименование типового задания
1	Методы упрочняющей обработки деталей	6	Методы упрочняющей обработки деталей ДЛА
<b>Итого:</b>		<b>6</b>	

#### Содержание типовых заданий

##### 1.4.1. Методы упрочняющей обработки деталей ДЛА (СРС: 6)

**Тематика:** Методы упрочняющей обработки деталей ДЛА Алмазное выглаживание, дробеструйная обработка и ТД

**Тип:** Домашнее задание

#### Прикрепленные файлы:

Упрочнение деталей ДЛА.pdf

#### Вопросы к промежуточной аттестации

"Технология производства АД и ЭУ"

##### 1. Экзамен (10 семестр)

**Прикрепленные файлы:** ФОС\_ТПАД и ЭУ\_ТПАД.pdf, Билеты по ТПАД.pdf

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### *а) Основная литература:*

- 1. Демин Ф.И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учебник по ред Демина Ф.И., Самара изд-во СГАУ, 2012 – 323 с. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).
- 2 Яманин А.И. Компьютерно-информационные технологии в двигателестроении, М., 2005 г. , 480с.
- 3. Полетаев В. А. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей [Электронный ресурс] / В. А. Полетаев. - М.: Машиностроение, 2006. - 256 с.  
<http://www.znanium.com/catalog.php?bookinfo=374594> (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).
- 4. Аверьянова И. О. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки: Учебное пособие / И.О. Аверьянова, В.В. Клепиков. - М.: Фо-рум, 2008. - 304 с  
<http://www.znanium.com/catalog.php?bookinfo=146817>
- 5. Иванов И. С Технология машиностроения: Учеб. пособие / И.С. Иванов. - М.: ИНФРА-М, 2009. – 192 <http://www.znanium.com/catalog.php?bookinfo=169839>
- 6. В.Г. Поляков Вопросы современной технологии механической обработки металлических лопастей воздушных винтов, Уч. пособие. М., МАТИ 2005 г.
- 7. Схиртладзе А. Г. Богодухов, С. И. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс] : учеб. для вузов / С. И. Богодухов, Е. В. Бондаренко, А. Г. Схиртладзе и др.; под общ. ред. С. И. Богодухова. - М. : Машиностроение, 2009. - 640 с.  
<http://www.znanium.com/catalog.php?bookinfo=374465>
- 8. Кузнецов В. А. Технологические процессы машиностроительного производства: Учебное пособие / В.А. Кузнецов, А.А. Черепяхин, И.И. Колтунов, В.В. Пыжов. - М.: Форум, 2010. - 528 <http://www.znanium.com/catalog.php?bookinfo=197245>
- 10. Горбачевич А.Ф., Шкерд В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов. –5-е издание, стереотипное. Перепечатка с четвертого издания 1983г. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 256с
- 11. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении. Уч. Пособие 2006 г. . под ред. В.Ф. Безъязычного Жуков Э.Л. Технология машиностроения Учебное пособие для вузов, М., 2004 г.
- 12. Лабораторные и практические работы по технологии машиностроения: учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, В. В. Непомилуев, А. Н. Семенов, и др.; под общ. ред. В. Ф. Безъязычного. — М.: Машиностроение, 2013. — 600 с.: ил. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).

### *Литература из электронного каталога:*

- Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.М., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения . Машиностроение, 2005. - 351 с.

**б) Дополнительная литература:**

- 1. Сулима А.М., Носков А.А. Основы технологии производства газотурбинных двигателей. М. Машиностроение. 1996г.
- 2. Технология производства АД и ЭУ, Технология машиностроения Ч2. Проектирование технологических процессов 2005 г. -148 с.
- 3. Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении, Выс-шая шк., 2004 г.-105 с
- 4. И.М.Колесов Основы технологии машиностроения М.: Высшая шк., 2000 г.-591 с.
- 5. Евстигнеев М.И., Подзей А.В, Сулима А.М. Технология производства двигателей лета-тельных аппаратов. М .: Машиностроение, 1999г.,260с.
- 6. Богуслаев и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД Часть 1 Лопатки компрессора и вентилятора, Запорожье, из-во ОАО «Мотор Сич», 2003 г – 396 с. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).
- 7. Крымов В.В., Еличев Ю.С., Зудин К.И. Производство лопаток газотурбинных двигателей Москва, Машиностроение-Полет, 2002 г.- 376 с. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).
- 9. Васильев А.С., и др. Направленное формирование свойств изделий машиностроения. Под ред. д-ра техн. Наук А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352с.: ил.
- 10. Технология производства авиационных двигателей : учебник для вузов. Ч.1 : Основы технологии производства авиационных двигателей / В.А. Богуслаев [и др.]; под общ. ред. В.А.Богуслаева. - 2-е изд., доп. - Запорожье : ОАО"Мотор Сич", 2007. - 517 с  
[http://elibrary.mai.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link\\_FindDoc&id=33683&idb=0](http://elibrary.mai.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link_FindDoc&id=33683&idb=0)
- 11.Технология производства авиационных двигателей : учеб. для вузов. Ч.2 : Основы проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей и технологическая подготовка производства / В.А. Богуслаев [и др.]; под общ. ред. В.А.Богуслаева. - изд.2-е., доп. - Запорожье : ОАО"Мотор Сич", 2007. - 556 с  
[http://elibrary.mai.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link\\_FindDoc&id=33681&idb=0](http://elibrary.mai.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link_FindDoc&id=33681&idb=0)

**7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ  
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ  
«ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ  
ДИСЦИПЛИНЫ**

Для обеспечения образовательного процесса по дисциплине обучающимся предоставляется возможность круглосуточного дистанционного индивидуального доступа к электронным библиотечным системам из любой точки, в которой имеется доступ к сети «Интернет».

Наименование ресурса	Интернет-ссылка на ресурс
<b>"ZNANIUM.COM"</b>	
Договор № 4855 эбс/027-1-3200-20 от 08.12.2020 с ООО "ЗНАНИУМ" С «18»12.2020 г. по «17»12.2021 г	<a href="http://znanium.com">http://znanium.com</a>
Договор № эбс/027-1-3026-21 от 22.12.2021 с ООО "ЗНАНИУМ" С «15»12.2021 г. по «31»12.2022 г	<a href="https://znanium.com/">https://znanium.com/</a>
Договор № эбс/027-1-2586-22 от 07.12.2022 с ООО "ЗНАНИУМ" С «20»12.2022 г. по «31»12.2023 г	

<b>ООО "Издательство Лань"</b>	
Договор № 027-1-0234-21 от 18.02.2021 года с ООО "Издательство Лань" С «22»_02. 2021г. по « 21» 02.2022 г	e.lanbook.com
Договор № 027-1-0234-21 от 18.02.2021 года с ООО "ЭБС Лань" С «22»_02. 2021г. по « 21» 02.2022	
Договор № СЭБ 027-0-0400-21 от 15.09.2021 года с ООО "ЭБС Лань" С «15»_09. 2021г. по « 14» 09.2024	
Договор № 027-1-0169-22 от 07.02.2022 года с ООО "Издательство Лань" С «22»_02. 2022г. по « 21» 02.2023 г	
Договор № 027-1-0168-22 от 07.02.2022 года с ООО "ЭБС Лань" С «22»_02. 2022г. по « 21» 02.2023	
<b>ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ"</b>	
Электронная библиотечная система ЮРАЙТ. ЭБС "Легендарные книги"	<a href="http://biblio-online.ru">http://biblio-online.ru</a> , <a href="https://biblio-online.ru/catalog/legendary">https://biblio-online.ru/catalog/legendary</a>
Договор № 027-1-3191-20 от 04.12.2020г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО С «04»12.2020 г. по «03»12.2021	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
Договор № 027-1-3194-20 от 04.12.2020г. с ООО "Электронное издательства ЮРАЙТ" С «04»12.2020 г. по «03»12.2021 г	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
Договор № 027-1-3034-21 от 03.12.2021г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" С «04»12.2021 г. по «03»12.2022 г	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
Договор № 150-1-3269-21 от 10.12.21 ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
Договор № 027-1-2554-22 от 01.12.2022г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" С «04»12.2022 г. по «03»12.2023 г	
Договор № 5537 от 25.11.2022 ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО	
<b>Электронная библиотека МАИ</b>	
Электронная библиотека МАИ (собственность МАИ). Лицензионный договор № 0267-НИЧ-13 от 11.12.2013 г. с ООО "Дата Экспресс "на право использования программы для ЭВМ Автоматизированная интегрированная библиотечная система (АИБС) «МегаПро» (для размещения Электронной библиотеки МАИ)	<a href="https://elibrary.mai.ru/MegaPro/Web">https://elibrary.mai.ru/MegaPro/Web</a>
<b>Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России</b>	
Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России. Соглашение о создании Консорциума вузов России "Национальный объединенный аэрокосмический университет" от 03.09.2012 г. Договор о сетевом взаимодействии от 15.12.2014 г. Соглашение от «03»09.2012 г. бессрочно	

<b>Библиотека РФФИ</b>	
Библиотека РФФИ	<a href="http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library">http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library</a>
<b>Единое окно доступа к образовательным ресурсам</b>	
Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
<b>Polpred.com</b>	
Polpred.com. Обзор СМИ	<a href="http://polpred.com">http://polpred.com</a>
<b>ООО "РУНЭБ"</b>	
Договор № 027-1-3051-20 от 07.12.2020 с ООО "РУНЭБ" С «07»12.2020 г. по «06»12.2028	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
Договор № 027-1-2895-21 от 03.12.2021 с ООО "РУНЭБ" С «03»12.2021 г. по «02»12.2039	
Договор № 027-133215-22 от 20.12.2022 с ООО "НЭБ" С «20»12.2022 г. по «19»12.2030	
<b>ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт"</b>	
Договор № РКТ-054/20/027-1-1129-20 от 30.05.2020 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" С «01»06.2020 г. по «31»05.2021 г	<a href="http://text.rucont.ru/">http://text.rucont.ru/</a>
Договор № 027-1-1235-21 от 01.06.2021 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" С «01»06.2021 г. по «31»05.2022 г	<a href="https://text.rucont.ru/">https://text.rucont.ru/</a>
Договор № 027-1-1467-22 от 09.06.2022 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" С «01»06.2022 г. по «31»05.2023 г	<a href="https://text.rucont.ru/">https://text.rucont.ru/</a>
<b>ФГБУ "РГБ"</b>	
Договор о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке (НЭБ) №101/НЭБ/2139 от 13.11.2018г. с ФГБУ" РГБ" С «13»11. 2018 г. по «12» 11. 2023	<a href="http://нэб.рф">http://нэб.рф</a>
<b>НП НЭИКОН</b>	
Соглашение № 715 ДС-2011 от 16.05.2011 о сотрудничестве в Консорциуме НЭИКОН С «16» 05.2011 г с автоматическим продлением Национальная подписка на-2021 г с РФФИ Государственного задания № 075-00011-20-00 Web Of Science- <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a> Scopus- <a href="http://scopus.com">http://scopus.com</a> Elsevier- <a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a> , <a href="http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct">http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct</a> , <a href="https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections">https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections</a> , <a href="https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections">https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections</a>	<a href="http://archive.neicon.ru">http://archive.neicon.ru</a>  <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a> <a href="http://scopus.com">http://scopus.com</a> <a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a> , <a href="http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct">http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct</a> , <a href="https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections">https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections</a> , <a href="https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections">https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections</a>
	<a href="http://rd.springer.com">http://rd.springer.com</a> , <a href="http://www.springerprotocols.com">http://www.springerprotocols.com</a>

<p>Математическая база данных zbMATH:  <a href="http://zbMATH.org">http://zbMATH.org</a></p> <p>American Chemical Society (ACS)-  <a href="https://www.acs.org/content/acs/en.html">https://www.acs.org/content/acs/en.html</a></p> <p>American Institute of Physics (AIP)-  <a href="https://www.scitation.org/">https://www.scitation.org/</a></p> <p>American Physical Society- <a href="https://journals.aps.org/about">https://journals.aps.org/about</a></p> <p>EBSCO Publishing (База CASC)-  <a href="http://search.ebscohost.com">http://search.ebscohost.com</a></p> <p>Cambridge University Press (CUP)-  <a href="https://www.cambridge.org/core">https://www.cambridge.org/core</a></p> <p>IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers , Inc.)- <a href="https://ieeexplore.ieee.org">https://ieeexplore.ieee.org</a></p> <p>INSPEC компании EBSCO- INSPEC</p> <p>Institute of Physics (IOP) издательства IOP Publishing-  <a href="https://iopscience.iop.org/">https://iopscience.iop.org/</a></p> <p>MathSciNet American Mathematical Society-  <a href="https://www.ams.org/home/page">https://www.ams.org/home/page</a></p> <p>Optical Society of America (OSA)-  <a href="https://www.osapublishing.org/about.cfm">https://www.osapublishing.org/about.cfm</a></p> <p>Oxford University Press-  <a href="https://academic.oup.com/journals/">https://academic.oup.com/journals/</a></p> <p>ProQuest Dissertations &amp; Theses Global-  <a href="https://search.proquest.com/index">https://search.proquest.com/index</a></p> <p>ORBIT Intelligence - база данных QUESTEL-  <a href="https://www.orbit.com/">https://www.orbit.com/</a></p> <p>SAGE Publication- <a href="https://journals.sagepub.com/">https://journals.sagepub.com/</a></p> <p>Annual Reviews Science Collection (AR)-  <a href="https://www.annualreviews.org">https://www.annualreviews.org</a></p> <p>JSTOR- <a href="http://www.jstor.org">www.jstor.org</a></p> <p>Wiley. John Wiley &amp; Sons.-  <a href="https://onlinelibrary.wiley.com/">https://onlinelibrary.wiley.com/</a></p> <p><b>Национальная подписка на 2022 г с РФФИ Государственного задания</b></p>	<p><a href="http://zbMATH.org">http://zbMATH.org</a></p> <p><a href="https://www.acs.org/content/acs/en.html">https://www.acs.org/content/acs/en.html</a></p> <p><a href="https://www.scitation.org/">https://www.scitation.org/</a></p> <p><a href="https://journals.aps.org/about">https://journals.aps.org/about</a></p> <p><a href="http://search.ebscohost.com">http://search.ebscohost.com</a></p> <p><a href="https://www.cambridge.org/core">https://www.cambridge.org/core</a></p> <p><a href="https://ieeexplore.ieee.org">https://ieeexplore.ieee.org</a></p> <p><a href="https://iopscience.iop.org/">https://iopscience.iop.org/</a></p> <p><a href="https://www.ams.org/home/page">https://www.ams.org/home/page</a></p> <p><a href="https://www.osapublishing.org/about.cfm">https://www.osapublishing.org/about.cfm</a></p> <p><a href="https://academic.oup.com/journals/">https://academic.oup.com/journals/</a></p> <p><a href="https://search.proquest.com/index">https://search.proquest.com/index</a></p> <p><a href="https://www.orbit.com/">https://www.orbit.com/</a></p> <p><a href="https://journals.sagepub.com/">https://journals.sagepub.com/</a></p> <p><a href="https://www.annualreviews.org">https://www.annualreviews.org</a></p> <p><a href="http://www.jstor.org">www.jstor.org</a></p> <p><a href="https://onlinelibrary.wiley.com">https://onlinelibrary.wiley.com</a></p>
<p><b>Springer Nature:</b></p> <p>1. eBoock Collection: журналы, книги -  <a href="https://link.springer.com">https://link.springer.com</a></p> <p>2. Коллекция журналов и базы данных Springer Nature: <a href="https://link.springer.com">https://link.springer.com</a></p> <p><b>Begell House Inc.</b>  <a href="https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html">https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html</a></p> <p><b>China Academic Journals</b>   (CD Edition) Electronic Publishing House Co., Ltd: <a href="https://ar.cnki.net/ACADREF">https://ar.cnki.net/ACADREF</a></p> <p><b>Institute of Electrical and Electronics Engineers:</b></p>	<p><a href="https://link.springer.com">https://link.springer.com</a></p> <p><a href="https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html">https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html</a></p> <p><a href="https://ar.cnki.net/ACADREF">https://ar.cnki.net/ACADREF</a></p> <p><a href="https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/">https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/</a></p>
<p><a href="https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>;  <a href="https://ieeexplore.ieee.org">https://ieeexplore.ieee.org</a></p>	<p><a href="https://ieeexplore.ieee.org/home.jsp">home.jsp</a>;  <a href="https://ieeexplore.ieee.org">https://ieeexplore.ieee.org</a></p>

<b>EBSCO.</b>	<a href="https://www.search.ebscohost.com/">https://www.search.ebscohost.com/</a>	<a href="https://www.search.ebscohost.com/">https://www.search.ebscohost.com/</a>
<b>INSPEC:</b>		
1. База данных Academic Search Premier		
2. База данных eBook Academic Collection		
3. eBook EngineeringCore Collection		
<b>ORBIT Intelligence</b>	- база данных QUESTEL:	<a href="https://www.orbit.com/">https://www.orbit.com/</a>
<a href="https://www.orbit.com/">https://www.orbit.com/</a>		
<b>SAGE</b>	<a href="https://journals.sagepub.com/">https://journals.sagepub.com/</a>	<a href="https://journals.sagepub.com/">https://journals.sagepub.com/</a>
<b>Publication:</b>		
<b>Wiley:</b>	<a href="https://onlinelibrary.wiley.com/">https://onlinelibrary.wiley.com/</a>	<a href="https://onlinelibrary.wiley.com/">https://onlinelibrary.wiley.com/</a>

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Эффективным способом развития творческих способностей студентов при изучении дисциплины является самостоятельная работа, которая нацелена на проработку студентами материала прошедших контактных занятий и подготовку к предстоящим занятиям.

Самостоятельная работа студентов проводится ими в соответствии с собственными возможностями. Можно, однако, рекомендовать групповое изучение материалов, обеспечивающее совместную работу нескольких студентов, что положительно влияет на качество проработки программы курса.

В то же время высокая степень усвоения изучаемой дисциплины достигается при постоянной работе студентов над текущим материалом. В этой связи желательна проработка лекционного материала в день его прочтения, что позволяет, во-первых, оперативно (на следующей лекции) снимать возникающие вопросы и, во-вторых, создавать багаж знаний по дисциплине задолго до промежуточной аттестации.

При подготовке к практическим занятиям также необходима проработка лекционного материала. Это позволит осознанно работать с предлагаемым материалом преподавателем на практическом занятии, а, следовательно, закладывать базу методик и приемов при решении практических задач.

При изучении материала необходимо делать акцент не на зазубривании материала, а на понимании его физической сути, что развивает мышление и позволяет понять методологию изучаемой дисциплины.

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Дисциплина ориентирована на применение компьютерной техники, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", электронной библиотеки МАИ для поиска, сбора, хранения, обработки и представления информации.

***Программное обеспечение, Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:***

1. Инженерно-графическая система «Solidworks».
2. Инженерно-графическая система «Autocad 2010».
3. Инженерно-графическая система «T-FLEX CAD».
4. Инженерно-расчетная система «MachCad»
5. Программа для автоматизации технологической подготовки производства «T-FLEX Техн
6. <http://www.solidworks.ru>
7. <http://www.autocad.ru>
10. <http://www.t-flex.ru>

## **10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1. Лекционные занятия**

1.1.Комплект электронных презентаций/слайдов,

1.2. Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук),

### **2. Лабораторные работы**

Лаборатория «Автоматизация технологических процессов», оснащенная токарным станком с ЧПУ 16A20Ф3С47 (завод Красный пролетарий) с системой Siemens 810d, фрезерным станком с ЧПУ MCV 1020A (компания производитель DANLIN Тайвань ) с системой ЧПУ Fanuc 0i MATE.

2.1.Лаборатория «Технология ЭХо и ЭФО», оснащенная установкой для дробеструйной обработки, установкой для плазменного нанесения специальных покрытий,

2.2 Лаборатория "Контрукция авиационных двигателей", оснащенная макетами двигателей РД-9Б, РЗЗ, АИ-25 и др.

2.2.Лаборатория "Автоматика и станки с ЧПУ", станки: 16K20T1, 1K62, 16A20Ф3, ВБ13, ТПК 125

### **3. Практические занятия**

3.1. Компьютерный класс,

3.2. Презентационная техника (проектор, экран, компьютер),

3.3. Пакеты ПО общего назначения (MS office, Adobe Photoshop)

3.4. Специализированные ПО: T-FLEX CAD, Autocad 2010, Solidworks, MachCad



### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина "Технология производства АД и ЭУ" является частью "Блока 1 Дисциплины" дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 24.03.05 "Двигатели летательных аппаратов". Дисциплина реализуется на "Московского авиационного института (национального исследовательского университета)" кафедрой (кафедрами) .

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций: ДПК-4, ДПК-5, ДПК-6, ПКР-20, ПКР-14, ПКР-19.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с: приобретением основополагающих знаний о методах и технологических процессах обработки, обеспечивающих при изготовлении деталей авиационных двигателей и агрегатов их высокую эксплуатационную надежность, уменьшение расхода материалов, сокращение трудоемкости, в том числе уменьшение трудоемкости механообработки; приобретение студентами навыков определения основных параметров технологических процессов при изготовлении деталей авиационных двигателей и агрегатов.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: Лекция, Практическое занятие, Лабораторная работа.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: промежуточная аттестация в форме Экзамен (10 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (26 часов), практические (12 часов), лабораторные (16 часов) занятия и (90 часов) самостоятельной работы студента.

**Приложение 2**  
**к рабочей программе дисциплины**  
**«Технология производства АД и ЭУ»**

**Прикрепленные файлы**

**Метод указ к КП(АД).pdf**

**Упрочнение деталей ДЛА.pdf**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«МАТИ»-Российский Государственный Технологический Университет им.  
К.Э. Циолковского

Кафедра: Технология производства двигателей летательных аппаратов

## Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу Технология производства авиационных двигателей

Сост Торпачев В. А.

Москва 2005

Настоящие указания содержат необходимый методически материал для работы над курсовым проектом по технологии производства авиационных двигателей. Изложены общие требования, структура, требование к объему и оформлению графической части и расчетно-пояснительной записки. Приведены типовые содержания расчетно-пояснительной записки для технологических проектов, последовательность их выполнения, порядок контроля работы над проектом, а также организации защиты.

Методические указания предназначены для студентов дневной и вечерней формы обучения специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки».

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование по дисциплине «Технологии производства авиационных двигателей » выполняется на завершающем этапе этой дисциплины, а также ряда других специальных и общетехнических дисциплин.

Технологический курсовой проект является первой комплексной технологической разработкой, выполняемой студентами по своей специальности, и ее выполнение является важным этапом подготовки будущих инженеров авиационного двигателестроения.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

Цель выполнения курсового технологического проекта – закрепление и углубление знаний, полученных на лекциях, лабораторных и практических занятиях, производственной практики, а так же применение этих знаний при решении конкретных технологических задач.

Задачи курсового технологического проекта – научить студентов:

- 1) самостоятельно проектировать технологический процесс механической и физико-химической обработки заданной детали на основе проведенного выбора заготовки с учетом особенности конструкции и типа производства, передового производственного опыта, с выполнением необходимых технологических расчетов при заданной годовой программе выпуска;

- 2) проектировать технологическую оснастку (приспособление, обрабатывающий и мерительный инструмент) для операций механической и физико-химической обработки);

- 3) проводить экономическое обоснование разработанного процесса и оснастки с выполнением необходимых конструкторских расчетов;

4) пользоваться технической литературой, каталогами, справочниками, ГОСТами, нормами при выполнении конкретного технологического задания.

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Темы курсовых проектов должны быть актуальными, соответствовать современному состоянию и перспективам развития науки и техники в области производства авиационных двигателей.

Решение задач повышения качества изделий и эффективности производства в курсовых проектах должно носить комплексный характер. Для выполнения этого условия в разрабатываемые технологические процессы следует включать все основные этапы изготовления детали (формообразование заготовок, их размерная обработка, контроль) или узла (изготовление входящих в сборочную единицу деталей, сборка, испытание). Однако глубина и объем проработки каждого из этапов могут быть разными в зависимости от их значимости.

Курсовые проекты разрабатываются, как правило, по тематике предприятий, являющихся базами для I технологической практики, и должны быть посвящены решению конкретных производственных задач на основе использования прогрессивных методов и средств производства.

При выдаче тем курсовых проектов и заданий на проектирование технологического оснащения рекомендуется предусматривать в каждом из них элементы научных исследований, выполняемых на кафедре или непосредственно на производстве.

В технологических и конструкторских расчетах, выполняемых при курсовом проектировании, необходимо использовать положения (теории упругости и пластичности, теории механизмов и машин, теории вероятности и математической статистики и др.), компьютерного

моделирования, математического планирования и обработки результатов экспериментов и др.

## 2.1. Тематика курсовых проектов

Тема курсового проекта определяется во время прохождения I технологической практики ее руководителем в установленные сроки и окончательно утверждается руководителем проекта. Тематика курсовых проектов должна отвечать учебным целям и увязываться с практическими требованиями производства. Она может быть связана с исследованиями в области технологии, проводимыми на кафедре.

Рекомендуемая тематика курсовых проектов:

а) проектирование технологического процесса и оснастки для изготовления заданной детали размерной обработкой заготовок из литья, поковок, штамповок, сортового или периодического проката. В качестве объекта проектирования должны выбираться изготавливаемые в цехе детали типа корпусов агрегатов, валов, дисков турбин, дисков компрессора, лопаток, крыльчаток, форсунок, зубчатых колес и т. д. При этом указанные детали должны быть получены различными операциями механической и физико-химической обработки (фрезерованием, точением, сверлением, шлифованием, ЭХО, ЭЭО и т. д.);

б) проектирование групповых технологических процессов для совместной обработки группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства;

в) проектирование технологического процесса и оснастки для изготовления заданной детали из композиционных материалов;

г) проектирование технологического процесса и оснастки для проведения испытаний деталей и узлов двигателей.

Во всех группах проектов проектирование технологического процесса должен выполняться с использованием элементов САПР.

Выбор тем курсовых проектов обуславливается местом прохождения производственной практики, потребностями предприятий и кафедры.

Все перечисленные группы курсовых проектов должны включать элементы исследований или разработки, выполнены на основе изобретений.

Другой тип проектов – проекты научно-исследовательского характера, которые выполняются при наличии соответствующей тематики на предприятии или кафедре.

## 2.2. Задание и исходные материалы для выполнения проекта

Во время прохождения I производственной практики студенту выдается задание на курсовое проектирование (Приложение I). В задании формулируется тема проекта, определяются исходные данные для проектирования (годовая программа выпуска, режим работы участка и т. д.), перечень подлежащих разработке технологических вопросов (анализ технологичности, выбор заготовки, разработка маршрутного технологического процесса, разработка наиболее ответственных или новых операций, расчет припусков, выбор средств технологического оснащения, расчет режимов резания, трудоемкости, технологической себестоимости), перечень конструкторских разработок (в зависимости от тематики проектов – приспособления для размерной обработки, специальный обрабатывающий инструмент, контрольно-измерительные приспособления, приборы и координатно-измерительные машины).

В задании на курсовой проект указывается объем и содержание графической части проекта (по листам) и расчетно-пояснительной записки, проставляются дата выдачи задания и срок защиты проекта в соответствии с графиком его выполнения.

После получения задания студенты в процессе прохождения практики должны:



- а) ознакомиться с существующим технологическим процессом изготовления детали на рабочем месте;
- б) ознакомиться с оборудованием, оснасткой, инструментом, контрольными приспособлениями, применяемыми на всех операциях технологического процесса;
- в) ознакомиться с технологическими инструкциями всего процесса;
- г) выбрать и согласовать с руководителем намеченные для разработки изменения технологического процесса, конструкции оснастки, средств контроля и автоматизации с целью совершенствования технологии изготовления.

Во время прохождения I технологической практики студенты должны получить на предприятии для выполнения курсового проекта следующие материалы:

1. Рабочий чертеж детали с техническими условиями.
2. Чертеж заготовки заданной детали (если он имеется на предприятии).
3. Описание технологического процесса (операционные карты) формообразование заданной детали, механической или физико-химической обработки.
4. Сборочные чертежи технологической оснастки для формообразования и обработки заданной детали на две-три операции технологического процесса.
5. Чертежи мерительных инструментов (или контрольных приспособлений) для двух-трех операций.
6. Данные по режимам обработки, техническому нормированию, трудоемкости и себестоимости изготовления.
7. Описание типовых процессов на различные методы обработки и испытаний, относящихся к данной детали.

Материалы по дополнительным разделам проекта подбираются по указанию руководителя практики.

К исходным материалам относятся также справочная специальная литература, альбомы и нормативы, а также отраслевые нормали и ГОСТы.

### 2.3. Состав и объем курсового проекта

Курсовой проект состоит из основных трех частей: технологической, конструкторской и технико-экономической.

Технологическая часть включает технологический раздел пояснительной записки со всеми необходимыми пояснениями, обоснованиями и расчетами, 1-2 листа формата А1, на которых выполнены чертежи деталей, схем наладок на наиболее ответственные операции размерной обработки деталей, как резанием, так и другими методами (электрохимической, электроэрозионной и др.), операционные эскизы получения деталей методами пластического формообразования и др. в соответствии с тематикой курсового проекта.

Конструкторская часть включает 3-4 листа формата А1, на которых выполнены сборочные чертежи технологической оснастки (приспособления для механической обработки, штампы для формоизменения тонкостенных заготовок и изделий из композиционных материалов и т. п.) спец - инструменты, а также раздел расчетно-пояснительной записки с необходимыми описаниями и расчетами.

Графическая часть исследовательских курсовых проектов кроме конструкторских разработок, может содержать графики теоретических и экспериментальных зависимостей, номограммы, конструкторские и технологические схемы, таблицы и другие результаты исследований.

Технико-экономическая часть представляется в виде раздела пояснительной записки с необходимыми технико-экономическими расчетами эффективности спроектированного процесса изготовления или необходимых конструкторских разработок по сравнению с существующими на предприятии.

Объем пояснительной записки должен быть минимальным при полном и подробном освещении всех необходимых разделов и примеров должен составлять:

- расчетно-пояснительная записка - 40-50 листов на бумаге формата 210x297мм;
- графическая часть – 4-5 листов формата А1.

#### 2.4. Требования к расчетно-пояснительной записке

Расчетно-пояснительная записка включает бланк задания, оглавление, введение, технологический, конструкторский и экономический разделы, заключение и список литературы. Лицевая часть обложки является титульным листом записки. Форма титульного листа приведена в Приложении 2.

Расчетно-пояснительная записка оформляется с соблюдением общих требований к текстовым документам, установленных в соответствующих стандартах ЕСКД (ГОСТ 7.32-91) и стандарта МАТИ.

В записку не следует переписывать из учебников и книг общеизвестные положения, определения, приводить дословно ГОСТы, нормали, инструкции и т. п. Сокращение слов в тексте допускаются только общепринятые. Для всех вычислительных величин должны приводиться размерности в системе СИ в соответствии со стандартом СЭВ 1052-78. Рекомендуется сводить в таблицы такие данные, как свойства материалов, технические характеристики оборудования, инструмента, средств автоматизации контроля и испытаний, режимы процессов и т. п.

. Все иллюстрации должны быть пронумерованы и иметь подпись. В тексте записки должны быть ссылки на все иллюстрации, таблицы, формулы, чертежи, а также на литературу (ГОСТ 7.32-81). Список литературы оформляется по общепринятым в технической литературе правилам (ГОСТ 7.1-76).

Соответствующая технологическая документация, операционные карты, карты технологического процесса, маршрутная карта, а также спецификации помещаются в приложениях. Приложения в объем пояснительной записки не входят.

Пояснительная записка должна иметь приведенные в приложении I содержание, последовательность компоновки материала и обозначение разделов.

## 2.5. Требования к графической части проекта

В графическую часть курсового проекта входят следующие разработки:

1. Рабочие чертежи детали и заготовки (в пояснительной записке).
2. Схема технологических наладок пооперационные эскизы к технологическому процессу.
3. Сборочные чертежи технологической оснастки для формообразования детали или приспособления для механической обработки.
4. Чертежи обрабатывающего инструмента.
5. Чертежи мерительного инструмента или контрольного приспособления.

Распределения объема графической части между отдельными разработками определяется заданием и утверждается руководителем проекта. При наличии в курсовом проекте исследовательского раздела объем и содержание графической части устанавливается руководителем совместно с автором и указывается в задании.

Сборочные чертежи оснастки, инструмента, средств автоматизации, контроля и испытаний выполняются в соответствии с основными требованиями к чертежам ГОСТ 2.109-73. Размеры и предельные отклонения

следует наносить по ГОСТ 2.307-68, ГОСТ 2308-68 учетом стандарта СЭВ 145-75 «Единая система допусков и посадок СЭВ».

Спецификация к сборочным чертежам выполняется на отдельных форматах и помещается в приложениях к расчетно-пояснительной записке.

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

#### 3.1. Описание объекта производства, условий эксплуатации и обоснование технических требований, предъявляемых к детали

В данном разделе дается краткое описание конструкции детали и сборочной единицы, в которую входит деталь, назначение детали и узлы, а также приводятся условия эксплуатации детали и определяющие эксплуатационные требования, исходя из которых объясняются конструкторские требования по отклонениям расположения и формы поверхностей, точности в виде допусков и посадок, шероховатости, материалу детали и ее термической обработке..

#### 3.2. Анализ типа производства

Тип производства в машиностроении определяет характер, построение и проведение технологического процесса изготовления детали, оснащенность его оборудованием, технологической оснасткой, инструментом, средствами измерения и автоматизации, а также форму организации технологического процесса.

На основании заданных условий производства намечаются пути построения технологического процесса, определяется, каким методом обработки и типом оборудования следует пользоваться, какой характер используемой оснастки, средств автоматизации и контроля.

Стандартный способ определения типа производства по коэффициенту закрепления операций изложен в ГОСТ 3.1121-84.

### 3.3. Анализ технологичности детали и сборочной единицы

Задачей анализа технологичности деталей - объектов производства - является выявление технически неоправданных конструктивных, элементов и требований к ним, ухудшающих технологичность, т.е. вызывающих затруднения при обработке и без достаточных оснований увеличивающих трудоемкость и себестоимость изготовления деталей.

В результате анализа, технологичности могут быть предложены конструктивные изменения данной детали, которые, не нарушая ее рабочих функций и не сказываясь отрицательно на её надежности и долговечности, упрощают и удешевляют ее изготовление.

Анализ технологичности детали и сборочной единицы по основным количественным показателям технологичности проводится согласно ГОСТ 14201-83 и 14205-83.

Анализ технологичности целесообразно проводить в следующей последовательности:

а) рассматривается обоснованность назначенных материалов и термообработки и выявляется возможность изменения марки материала в целях улучшения обрабатываемости и унификации с марками материалов других деталей в изделии;

б) анализируется обоснованность требований по точности и по качеству поверхностей к отдельным элементам детали и выявляется возможность полного исключения обработки свободных поверхностей при выполнении их в заготовке (кокильное или точное литье, точная штамповка) в окончательном виде;

в) рассматривается возможность замены или унификации конструктивных элементов детали, требующих применения фасонного,

точного или специального инструмента. К таким элементам относятся радиусные галтели, фаски, кольцевые проточки, резьбы, диаметры отверстий.

В сложных корпусных деталях с большим числом отверстий, резьб, проточек, бобышек и т.п. следует оценивать степень унификации отдельных, наиболее, часто встречающихся элементов по формуле:

$$K_{yэ}^i = \frac{n_{yэ}^i}{n_э^i},$$

где  $n_{yэ}^i$  - число унифицированных элементов;

$n_э^i$  - общее число элементов.

Следует стремиться по возможности уменьшать размерное и конструктивное разнообразие таких элементов, повысив значение коэффициента унификации. При этом следует приводить их в такой форме и размерам, которые являются наиболее благоприятными для условий обработки и конструкции режущего инструмента.

В конструкциях корпусных деталей следует обращать внимание на расположение и высоту обрабатываемых платиков и бобышек, стараясь их скорректировать так, чтобы обеспечить свободное проходное фрезерование сразу всех выступающих поверхностей.

Проверяется соответствие размеров и форм элементов детали действующим ГОСТ и отраслевым нормам.

г) рассматриваются формы детали с точки зрения целесообразности и надежности базирования и закрепления при обработке. Выявляется наличие фиксирующих отверстий или поверхностей. Рассматриваются условия базирования заготовки. При отсутствии в детали требуемых базовых поверхностей или отверстий рассматривается возможность их создания в виде дополнительных технологических элементов. Все изменения элементов детали в целях улучшения технологичности, во-первых, не должны затрагивать ее рабочих (служебных) функций и снижать ее надежности и

долговечности, а во-вторых, должны отвечать требованиям и специфике тех способов обработки, которые предполагается эффективно использовать в проектируемом технологическом процессе. Особенное внимание к особенностям технологичности детали должно уделяться при использовании таких специфических процессов обработки, как ЭХО и ЭФО. При этом должны оцениваться и предусматриваться возможности токоподвода, гидродинамика потока электролита в особенности формы и конструкции электродов-инструментов. С другой стороны, нужно иметь ввиду, что эти процессы в ряде случаев обеспечивают обработку таких поверхностей, которую крайне затруднительно и просто невозможно осуществить методами резания. Чрезвычайно важное значение вопросы технологичности приобретают при построении технологического процесса обработки деталей на станках с ЧПУ, так как стоимость этих станков высока и нужно стремиться не только к устранению всех непроизводительных потерь времени при обработке на них деталей, но и к возможно большему снижению станкоемкости обработки. Требования к технологичности деталей в этих условиях должны учитывать не только специфику работы таких станков и особенности построения технологии для их эффективного использования, но и конкретный тип намечаемого станка и его технологические особенности. К ним относятся вид системы: позиционная, контурная или комбинированная, возможности смены инструмента в процессе работ и объем магазина, число степеней свободы стола и шпиндельной головки, наличие планшуппорта и др.

Можно так сформулировать главные принципы технологичности деталей, предназначенных для обработки на станках с ЧПУ:

1. Наличии системы точных и геометрически правильных базовых поверхностей, обеспечивающих надежную ориентацию детали в пространстве и возможность ее простого и быстрого закрепления в приспособлении таким образом, чтобы была обеспечена обработка детали, с большинства ее сторон за одну установку (в идеале - полная обработка).

2. Выбор такой формы обрабатываемых элементов поверхностей



детали, которая позволяет обеспечить последовательную обработку их наибольшего числа одним инструментом без его замены (например, комбинированным) и наименьшей протяженностью холостых ходов.

3. Выполнение поверхностей, подлежащих обработке такими, чтобы можно было использовать инструменты (фрезы, резцы) с возможно большей протяженностью линии или площади контакта при резании.

4. В отличие от принципов технологичности деталей, обрабатываемых на обычных станках общего назначения, при обработке на станках с ЧПУ различие в высоких бобышках, платиков и подторцовок не имеет существенного значения, также как криволинейность контуров и фасонная форма обрабатываемых поверхностей.

Количественная оценка технологичности производится по основным и дополнительным показателям.

В рекомендуемой литературе приведены пути повышения технологичности деталей из заготовок: штампованных, литых, листовых, получаемых методами намотки.

Изменение конструкции узла или детали, проведенные для улучшения технологичности, должны быть оценены, хотя бы приближенно, по снижению трудоемкости их изготовления.

### 3.4. Анализ и обоснование выбора материала детали

Исходя из анализа условий работы детали в сборочной единице, ее конструкции, а, также учитывая технологические характеристики материала с точки зрения обрабатываемости, производят выбор и обоснование выбранного материала. В расчетно-пояснительной записке должны быть приведены основные данные о химическом составе, физико-механических свойствах, эксплуатационных и технологических свойствах назначенной марки материала.

Кроме выбранного материала необходимо привести материалы других

марок, применение которых возможно, и на основании сравнения обосновать выбор данного материала.

### 3.5. Выбор и обоснование метода получения заготовки

На этом этапе необходимо проанализировать все приемлемые методы получения заготовок и обосновать выбранный с проведением необходимых расчетов и сравнений. Обоснование выбора заготовки должно проводиться по критериям: обеспечения конструктивных свойств материала и детали, получения минимальных припусков, возможности наиболее простого достижения заданной точности и шероховатости поверхностей, максимального коэффициента КИМ использованного металла и другим технико-экономическим показателям.

Для выбранного метода получения заготовки необходимо кроме его обоснования привести описание технологии ее получения, преимуществ и недостатков метода, особенностей заготовки, а при наличии соответствующих данных - экономической целесообразности выбранного метода.

В таблице 2.1.1 (см. Приложение 1) даются рекомендации по выбору заготовительных процессов при изготовлении различных типов деталей соответственно масштабам производства.

Окончательный выбор оптимальной заготовки должен быть сделан на основе сравнительной оценки экономичности сопоставляемых вариантов, при которой сравниваются затраты на заготовительный процесс и на обработку детали, для двух или более вариантов заготовок, отнесенных к одной штуке продукции

$$C_{дет} = C_{заг} + C_{обр}$$

Стоимость материала и изготовления заготовки следует брать по заводским данным или из справочников, где приведена стоимость заготовок, выполненных из различных материалов, разными способами,

отнесенная к одному килограмму веса заготовки. Технологическую себестоимость обработки  $C_{обр}$  обязательно учитывать в том случае, когда припуски, подлежащие удалению в процессе обработки сопоставляемых вариантов заготовок, существенно различны.

На основе выбранного заготовительного процесса, исходя из его особенностей, выполняется чертеж заготовки. Чертеж заготовки должен содержать все необходимые размеры с допусками. На нем должны быть указаны линии разъема формы или штампа с базовыми размерами. На чертеже должны быть указаны материал заготовки, шероховатость поверхности и термообработка, а также приведены технические условия на приемку заготовки или ссылки на индекс заводских ТУ или РТМ.

### 3.6. Выбор технологических баз

Базирование заготовки при обработке должно обеспечивать заданную точность деталей. В этих целях используется принцип кратчайшего пути, в соответствии с которым технологический процесс строится таким образом, чтобы ему соответствовала наиболее короткая технологическая размерная цепь.

При различных методах обработки следует руководствоваться общими правилами выбора технологических баз, а для реализации принципа кратчайшего пути выполнять правила совмещения баз и постоянства технологической базы.

При выборе баз определяется не только местоположение базы, но назначается точность их обработки, шероховатость поверхности, а также предусматривается возможность повторной обработки баз (восстановления в целях ликвидации деформаций, например, после термообработки).

### 3.7. Критический анализ существующего технологического процесса и разработка нового маршрута технологического процесса

Разработка маршрутной технологии изготовления детали выполняется на основе анализа исходной конструкторской документации, типа производства, выбранных методов обработки. Исходным материалом при разработке нового маршрутного технологического процесса является базовый процесс и данные по технологическим возможностям различных методов обработки. (Приложение 2), табл. 2.2.1.

На основе критического анализа существующей технологии студент выбирает оптимальный (перспективный) вариант технологического процесса, характеризующийся применением рациональных заготовок, прогрессивных методов обработки, высокопроизводительного технологического оснащения, передовых форм организации труда.

Если для детали (узла) на производстве имеются только чертежи и ТУ на изготовление, то в задачу проекта входит разработка последовательности и содержания технологических операций.

Технологический процесс (модернизированный или оригинальный) проектируется в виде маршрутно-операционного, в котором переходы и режимы обработки определяются по справочным данным или рассчитываются.

При разработке маршрутной технологии производится анализ нескольких вариантов, из которых выбирается оптимальный. Критериями оптимальности техпроцесса могут служить следующие показатели:

1. Соответствие техпроцесса заданной программе. Для установления указанного соответствия рассчитывается ритм производства.

2. Минимальное значение цикла обработки

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n t_{i\text{ум}} \quad (3.3)$$

где  $n$  - число последовательных операций.

3. Минимальное количество операций  $n_{\text{min}}$ .

4. Минимальное количество оборудования и рабочих;

5. Минимальное количество уникального дорогостоящего оборудования.

6. Полное обеспечение заданной точности (минимальное значение расчетных погрешностей, т.е. правильный выбор баз и условий закрепления, необходимая степень концентрации операции и т. д.).

7. Минимальное количество контрольных операций.

8. Минимальная стоимость операций техпроцесса.

9. Минимальная цеховая себестоимость готовой детали.

10. Максимальная механизация операций (минимальное количество ручных работ) и другие критерии.

На каждой операции обосновывается выбор баз, способ закрепления заготовки при обработке, определяется место термической обработке, операции нанесения покрытий, место в технологическом маршруте контрольных и контрольно-испытательных операций. Производится обоснованный метод выбора оборудования, технологической оснастки, инструмента, средств контроля и испытаний.

Требуемые виды средств технического оснащения технологического процесса устанавливаются на каждую операцию в зависимости от типа производства, габаритных размеров детали, требований по точности и шероховатости ее поверхностей.

Правила выбора технологического оборудования, оснастки и средств технологического оснащения, технического контроля и испытаний изложены в ГОСТ 14304-73.....14307-73.

Марки оборудования, технологическая оснастка, средства измерений и контроля для операций механической или физико-химической обработки выбираются по каталогам и справочникам.

В расчетно-пояснительной записке записываются этапы и результаты выбора и дается техническое обоснование выбранных средств оснащения технологического процесса. Окончательно выбранный вариант маршрутной технологии сравнивается с базовым (исходным). Для этого оба процесса

записываются в карту технологического маршрута (Приложение 2), таблица 2. 2.2.

Сравнительный анализ базового и нового процессов обработки проводится по ряду технико-экономических показателей:

- 1) наличие в процессе новых прогрессивных методов заготовок или механической обработки, высокопроизводительного оборудования, оснастки, инструмента, средств контроля;
- 2) длительность производственного цикла изготовления;
- 3) общее количество операций, количество оборудования;
- 4) степень автоматизации и механизации всех операций;
- 5) производительность операций, их трудоемкость, стоимость и т. п.

В процессе дальнейшей работы возможны изменения и уточнения принятых технологических решений.

### 3.8. Расчет межоперационных припусков

Расчет припусков и размеров заготовки проводится, в основном, по нормативам справочников.

По консультанта студент обязан выполнить расчет припусков и размеров аналитическим способом на 3-4 поверхности.

Одновременно с расчетом припусков определяются допуски на размеры. После расчета припусков разрабатывается чертеж заготовки. Чертеж заготовки может выполняться на отдельном формате или эскизно в расчетно-пояснительной записке после выбора метода получения заготовки и расчета величины припусков на обработку.

На чертеже должны быть изображены все необходимые проекции, разрезы и сечения для полного выявления конфигурации и размеров заготовки. В контур заготовки должен быть вписан штрих пунктиром контур готовой детали. На чертеже заготовки должны быть указаны все размеры, допуски на все размеры, допуски на взаимное расположение поверхностей,

величина поверхностных дефектов, марка материала заготовки, термообработка и твердость заготовки, коэффициент использования материала, группа контроля, величины штамповочных, литейных уклонов и т. д., другие указания для данной заготовки.

### 3.9. Разработка операционного технологического процесса

При выборе варианта маршрутной технологии и расчета припусков (разработки заготовки) разрабатывается операционный технологический процесс.

В разработку операционного технологического процесса входит:

- а) членение операций (на переходы или даже приходы);
- б) уточнение базирования и закрепление заготовок;
- в) расчет промежуточных размеров и точности обработки;
- г) выбор и назначение оборудования, инструмента и оснастки;
- д) расчет и назначение режимов резания;
- е) выбор методов и средств технического контроля;
- ж) нормирование, расчет штучного времени и определение числа рабочих мест;
- з) определение процента загрузки оборудования и количество станочных рабочих (Необходимо стремиться, чтобы оборудование было загружено не менее чем на 80%, но не более чем на 110%).

Предварительная работа, проведенная ранее, позволяет на данном этапе окончательно сформулировать содержание операций, расчленить операции на переходы, уточнить базирование и закрепление заготовок при обработке и т.д.

При определении последовательности и содержания технологических операций следует руководствоваться описанными в рекомендуемой технологической литературе, правилами:

- для процессов обработки резанием;

- для процессов обработки резанием на станках с ЧПУ;
- для процессов ЭХО;
- для процессов ЭЭО.

Спроектированный технологический процесс оформляется на картах маршрутно-операционного процесса (ГОСТ 31105-74, форма 2), которые сопровождаются картами эскизов (ГОСТ 31103-74, форма 5), иллюстрирующих одну или несколько операций. Маршрутно-операционная карта и карты эскизов помещаются в приложения к расчетно-пояснительной записки.

В качестве графического материала, иллюстрирующего отдельные операции размерной обработки, студент может разрабатывать 1-2 технологические наладки, включающие необходимое количество проекций детали, закрепленной в приспособленных и обрабатывающий инструмент в рабочей исходной позиции по отношению к обрабатываемой поверхности.

Жирными контурными линиями изображаются обработанные в данной операции поверхности. Допускается изображение обработанных поверхностей цветными карандашами (красным).

Каждая обработанная поверхность должна иметь все размеры допусками в цифрах, которые необходимы для выполнения каждого перехода и его нормирования. На операционном эскизе по ГОСТ 2789-73 и 2309-73 должна быть обозначена или шероховатость обработанных поверхностей, или общая шероховатость обработки. На эскизе обработанной детали по данной операции с указанием установочных поверхностей, по которым производится закрепление детали, с помощью обозначений по ГОСТ 31107-73.

В многопереходных наладках приспособление с закрепленной деталью показывается только на первом переходе, на остальных вычерчивается обрабатываемая часть детали с размерами и рабочий инструмент.

Карта наладки для станков с ЧПУ должна содержать следующую информацию:



- а) способ крепления, контуры обрабатываемых поверхностей, контуры срезаемого припуска (тонко);
- б) указание, какая поверхность является базовой, а какая зажимной;
- в) расстояние от оси поворотного резцедержателя до базовой плоскости – в продольном направлении и до оси шпинделя – в поперечном направлении (т. е. координаты О - положения суппорта);
- г) расстановку инструментов на резцедержателе и их обозначение;
- д) расстояние (валеты) от оси резцедержателя до формообразующей вершины каждого резца в продольном и поперечном направлениях;
- е) указание для каждой поверхности, каким инструментом (блоком) она должна быть образована.

### 3.10. Расчет режимов обработки

Расчет режимов механической или физико-химической обработки на операциях технологического процесса ведется по нормативам соответствующих справочников. Однако на 3-4 разнохарактерные операции режимы обработки рассчитываются аналитическим способом, т.е. по специальным формулам. При расчетах режимов определяются числовые значения всех необходимых технологических параметров, которые корректируются по соответствующим показателям характеристики оборудования.

Расчет режимов резания производится в следующем порядке:

- 1) исходя из соображений производительности обработки обрабатываемости данного материала и условий работы инструмента выбирается материал режущего инструмента и его геометрические параметры;
- 2) в соответствии с величиной суммарного припуска и задачей данного перехода (т.е. обдирка, получистовая и чистовая обработка) выделяется его часть, предназначенная для снятия на данном переходе. В зависимости от

условий обработки (жесткости технологической системы и требуемой точности на данном переходе) назначается число проходов инструментов, т.е. выбирается глубина резания  $t$ ;

3) исходя из требований шероховатости поверхности на данном переходе и условий обработки выбирается по таблицам величина подачи (на оборот детали или на зуб фрезы);

4) исходя из принятой стойкости инструмента рассчитывается по формуле скорость резания  $V_p$ , определяется число оборотов  $n_p$  и минутная подача  $S$ ;

5) производится расчет сил резания и потребной мощности;

6) по числу оборотов, минутной подачи, потребной мощности уточняется выбор станка;

7) производится корректирование числа оборотов и минутной подачи по паспортным данным станка и определяется фактическое число оборотов  $n_\phi$  и фактическая скорость резания  $V_\phi$ .

При электрохимической обработке рассчитываются состав и температура электролита, плотность тока, скорость подачи электрода, давление и скорость прокачки электролита или выбирается практически опробованные заводские режимы. При электроэрозионной обработке технологические режимы в основном, назначаются по имеющимся в справочной литературе данным.

Откорректированные значения режимов изготовления заносятся в таблице операционных эскизов или в операционные технические карты.

### 3.11. Описание новых оригинальных методов обработки

В данном разделе приводятся предложенные автором в разработанном технологическом процессе оригинальные или новые методы обработки, оригинальные или сложные операции, требующие особого пояснения, или организационно-технические мероприятия, принятые автором и

улучшающие производство, с приложением схем, графиков и расчетов. Например: «Получение отверстий диаметром 0,8 мм с помощью лазерной установки», «Вибросверление деталей», «Применение неразрушающих методов контроля», «Методы удаления стружки на участке» и т.п.

### 3.12. Техническое нормирование операций

Трудоемкость выполнения технологических операций является критерием эффективности технологического процесса и определяется на основе технически обоснованных норм рабочего времени (ГОСТ 31109-82). Нормирование операций производится укрупненно по справочникам. По указанию проекта ряд операций может быть пронумерован подробно по приемам.

## 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНСТРУКТОРСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

### 4.1. Проектирование технологической оснастки

Выбор технологической оснастки (ГОСТ 14300-73) предполагает проведение комплекса работ:

а) анализ конструктивных характеристик изготавливаемой детали (габаритные размеры, материал, точность геометрия и шероховатость поверхностей и т.д.), организационных и технологических условий изготовления детали (схема базирования и фиксации, вид технологической операции, организационная схема процесса изготовления и т.д.);

б) группирование технологических операций для того, чтобы определить наиболее приемлемую схему технологической оснастки и повысить коэффициент ее использования;

в) определение исходных требований к технологической оснастке;

г) отбор номенклатуры оснастки, соответствующей установленным требованиям;

д) определение исходных расчетных данных для проектирования и изготовления новых конструкций оснастки;

е) выдачу технических заданий на разработку технологической оснастки.

Ниже излагаются особенности проектирования оснастки для основных операций изготовления деталей и узлов двигателя.

#### 4.1.2. Разработка установочно-зажимного приспособления

В расчетно-пояснительной записке необходимо сформулировать назначение данного установочно-зажимного приспособления или другой технологической оснастки как средства механизации или автоматизации установки, базирования или контроля и испытаний и обосновать необходимость его применения.

На проектируемое приспособление (оснастку) должно быть разработано техническое задание.

Оснастка проектируется на одну-две операции разработанного технологического процесса по согласованию с руководителем проекта. Исходным материалом для проектирования может служить чертеж приспособления, полученный на заводе в период производственной практики.

В данном разделе расчетно-пояснительной записки нужно привести прочностной расчет элементов станочного приспособления исходя из необходимого усилия зажима, определяемого по силам резания на данной операции. В необходимых случаях следует давать анализ или расчет точности приспособления. Расчеты должны сопровождаться необходимыми обоснованными схемами, графиками и т.д. Расчет может заканчиваться либо определением запаса прочности элементов приспособления, либо выбором

отдельных стандартных элементов или нормализованных узлов, например, пневмоцилиндров для приспособлений. Для сложных по кинематике приспособлений должны быть проведен и анализ и расчет кинематической схемы приспособления. В конце раздела необходимо привести описание самого приспособления, описание работы приспособления с обоснованием правильности, точности и однозначности базирования заготовки в приспособлении.

Сборочный чертеж специального приспособления выполняется на стадии технического проекта после проведения необходимых расчетов в соответствии с методикой проектирования станочных приспособлений. Сборочный чертеж должен быть выполнен в соответствии с требованиями ЕСКД и представлен на отдельном формате во всех необходимых проекциях и со всеми необходимыми разрезами и сечениями, показывающими конфигурацию всех сопрягаемых поверхностей и условий работы всех деталей приспособления. На приспособление должна быть составлена спецификация установленного образца. В дополнение к сборочному чертежу приспособления в необходимых случаях рекомендуется разработка кинематической, гидравлической и электрической схемы этого приспособления. Эти схемы могут быть приведены и в расчетно-пояснительной записке.

На сборочном чертеже приспособления должны быть указаны: габаритные размеры, размеры выступающих, за габариты частей, присоединительные размеры, все посадки в сопряжениях, осевые размеры, размеры и параметры, рассчитанные автором в расчетно-пояснительной записке. Разрешается изображение штрих-пунктиром (синим цветом) контуров лезвия в закрепленном положении.

Аналогичным образом проводится разработка специальных средств автоматизации. Некоторые средства автоматизации (например, обработка на станке с ЧПУ и т.п.) разрабатываются по специальным методикам.

#### 4.2. Разработка режущего инструмента

В данном разделе записки на основе разработанного технического задания определяется назначение режущего инструмента и дается обоснование необходимости его применения.

Заданием на курсовое проектирование предусматривается разработка конструкции лишь специального режущего инструмента, например, сборных и профилированных протяжек, фасонных фрез и резцов, комбинированных зенкеров, расточных оправок с регулировкой положения резцов и др.

В расчетно-пояснительной записке следует дать полное техническое описание обрабатывающего инструмента, обосновать выбранную геометрию режущей части и материал инструмента, выполнить необходимые расчеты (прочностные).

Для сборного инструмента, например, для набора фрез, необходимо разработать порядок сборки инструмента, способ изготовления режущей части и способ ее крепления к корпусу, условия эксплуатации.

При проектировании концевых инструмента, например, сверла большой длины, производится расчет на прочность стебля сверла. Особое внимание при этих расчетах уделяется инструменту с механическим креплением режущих пластин. Такой инструмент находит широкое применение, в том числе при обработке на многооперационных станках с ЧПУ. Основные его преимущества: быстросменность, повышенная стойкость, более широкие технологические возможности. Режущие пластинки изготавливаются из твердых сплавов и минералокерамики, а способы механического крепления их к корпусу могут быть различными.

Режущий инструмент должен обеспечивать заданную точность обработки детали. Точность размеров режущей и калибрующей части инструмента должна быть на 1...2 квалитета выше точности обрабатываемых размеров. Это, прежде всего, относится к мерному и фасонному инструменту (сверла, зенкеры, развертки, протяжки, фасонные фрезы, резцы и др.), к инструменту для многоцелевых станков с ЧПУ.

Для повышения производительности обработки применяются различные виды комбинированного инструмента; Так, для обработки отверстий могут использоваться многорезцовые головки, зенкеры-развертки и др. При проектировании такого инструмента следует учитывать необходимость повышенного отвода стружки, предусматривать соответствующие стружкоотводящие каналы. Расчет на прочность комбинированного инструмента производится по наиболее слабому элементу, например, у комбинированного ступенчатого сверла расчет на прочность и выбор подачи производится по первой ступени сверла, т.е. по малому диаметру, а выбор скорости резания или скорости вращения инструмента относительно детали - по второй ступени.

Аналогичное описание должно быть дано для других видов обрабатывающего инструмента (катодов, анодов, ультразвуковых головок и т.д.).

Чертеж режущего инструмента должен содержать необходимые проекции, а также сечения всех режущих лезвий с указанием углов резания, размеры всех элементов конструкции с соответствующими допусками. Для сборного инструмента дается общий вид, и показываются входящие в него отдельные детали со всеми размерами. На чертеже должна быть спецификация и технические условия. Обрабатывающий инструмент, принятый ГОСТом, включать в курсовой проект не рекомендуется.

#### 4.3. Разработка мерительного инструмента или контрольных приспособлений

На основе анализа технологического процесса и требований к детали в расчетно-пояснительной записке должно быть определено количество и место контрольных и испытательных операций. На одну-две из этих операций разрабатывается мерительный инструмент или контрольное приспособление (по согласованию с руководителем проекта).

Заданием на курсовое проектирование предусматривается разработка приспособлений и приборов лишь для окончательного контроля деталей или узлов. Обоснования по применению координатно- измерительных машин.

Основные этапы проектирования контрольно-измерительных приспособлений:

- определение основных требований к приспособлению, по точности, количеству одновременных измерений, быстродействию, степени механизации и автоматизации, возможности регистрации абсолютных значений погрешности или определения годности по диапазону допуска;
- выбор типа датчиков и мест расположения относительно детали;
- компоновка общей конструктивной схемы приспособления на основе анализа различных компоновок;
- вычерчивание общего вида приспособления;
- метрологический расчет точности приспособления.

На чертеже необходимо указать контролируемые величины и их требуемую точность, а также технические требования к точности сборки элементов приспособления.

В случае рассмотрения автором неразрушающих методов контроля качества изделий кроме полного описания необходимо представить кинематическую пневматическую или электрическую схему средств контроля и привести порядок их эксплуатации, а также схему замера контролируемых параметров.

Мерительный инструмент, принятый ГОСТом, для разработки не рекомендуется, но его разработка может быть разрешена в исключительных случаях руководителем проекта.



## 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

В экономическом разделе расчетно-пояснительной записки производится решение двух основных задач:

- определение полной технологической себестоимости изготовления одной заданной детали (узла);
- расчет срока окупаемости капитальных вложений на изготовление оснастки для штамповки, размерной обработки, сборки, испытаний.

Решение перечисленных задач производится по методике, изложенной в учебниках, учебных пособиях и справочниках.

## 6. ТИПОВОЙ ГРАФИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЗАЩИТА ПРОЕКТА

Ко времени окончания практики студенты должны выполнить не менее 30% общего объема работ по курсовому проектированию (чертежи детали и заготовки; выбор технологических баз; маршрутный технологический процесс, оформленный на технологических картах, с проработкой отдельных операций по указанию руководителя практики; расчет припусков, силовых и технологических режимов обработки). Только при этом условии студенты получают возможность сдавать зачет по практике. Руководитель практики на зачете в обязательном порядке контролирует знание методики курсового проектирования у всех студентов. Дальнейшая работа студентов над курсовым проектом осуществляется под руководством выделяемых кафедрой руководителей. Руководитель проводят консультации студентов не реже 2-х раз в неделю.

Общее время работы над курсовым проектом в семестре составляет 10-15 недель.

В процессе работы проводятся смотры с целью определения выполнения студентом графика работы над проектом. Первый смотр на 4-5 неделе курсового проектирования. Студент обязан представить:

- 1) оформленное задание на проект, список выбранной литературы;
- 2) технологическую часть проекта (описание объекта производства, обоснование выбора материала детали, разработка маршрутно-технологического процесса и его обоснование, расчет припусков, режимов обработки и технологическое нормирование, разработанный операционный технологический процесс);

Второй смотр производится на 11-12 неделях курсового проектирования. Студент предоставляет:

- 3) проект технологической оснастки и необходимые расчеты;
- 4) технико-экономический расчет;
- 5) окончательно оформленные чертежи и расчетно-пояснительную записку.

На основании второго смотра назначается дата защиты проекта.

Защита проекта производится перед комиссией, состоящей из двух преподавателей, в их числе - руководителя проекта. Защита включает доклад (5-6 минут), в котором студент излагает содержание проекта, акцентируя внимание на самостоятельных разработках с целью совершенствования базового процесса, а также вопросы и ответы студента на них, краткое совещание членов комиссии об оценке. Критериями оценки служат глубина и самостоятельность проработки материала; использование прогрессивных технологических решений по повышению КИМа, уменьшению трудоемкости изготовления, повышению надежности изделий; качество оформления графической части и расчетно-пояснительной записки; уровень ответов на вопросы.

Все материалы по проекту сдаются после защиты на кафедру.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев Ю.С., Абраимов Н.В., Крымов В.В. Химико-термическая обработка и защитные покрытия в авиадвигателестроении: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1999. – 525 с., ил. 13. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С., Крымов В.В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов: Учебное пособие для авиационных вуз\ Под. ред. Н.В. Абибова. – М.: Высш. шк., 1998. – 444 с., ил.
2. Авиастроение: Летательные аппараты, двигатели, системы, технологии. (Колл. Авторы; Под ред. А.Г. Братухина.- М.: Машиностроение, 2000. – 536 с.: ил.
3. Воробей В.В., Логинов В. Е. Технология производства жидкостных ракетных двигателей: Учебник. – М.: Издательство МАИ, 2001. – 496С.: ил.
4. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Митрофанов А.А. и др. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина.- М.: Изд. Дрофа.
5. Сулима А.М. и др. Основы технологии производства газотурбинных двигателей. Учебник для студентов авиац. спец. вузов / А.М. Сулима, А.А. Носков, Г.З.Серебрянников. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1996, - 480 с.
6. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей/ Колл. авторов; Под ред. А.Г.Братухина, Г.К.Язова, Б.Е.Карасева. – М.: Машиностроение. 1997. – 416 с.
7. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С., Крымов В.В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов: Учеб. пособие для авиационных вузов / Под ред. Н.В.Абраимова. – М.: Высш. шк., 1998 –444с.
8. Дальский А. М. и др. Технология машиностроения: Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов- М.: Издательство

МГТУ им. Баумана, 1997. – 564с.

9. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов, М.; Машиностроение, 1987, 320 с.
10. Ивашенко И.А. Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов, М.; Машиностроение, 1981, 224 с.
11. Косилова А.Г. и др. Точность обработки, заготовки и допуски в машиностроении. Справочник. М.; Машиностроение, 1987.
12. Щербак М.В., Толстая М.А., Анисимов А.П., Постановов В.Х., Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов. М.; Машиностроение, 1981, 263 с.
13. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. М.; Машиностроение, 1979, 303 с.
14. Нормативы режимов резания на механическую обработку высокопрочных, жаропрочных и титановых сплавов. НИАТ, М., 1976.
15. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. М.; Машиностроение, 1982, 400 с.
16. Машиностроительные материалы. Краткий справочник. М.; Машиностроение, 1980.
17. Самарина Л.А. Расчет геометрической точности станочных приспособлений и контрольных приборов. М.; МАТИ, 1978.
18. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Под редакцией Панова А. А. М.; Машиностроение, 1988.
19. Режимы резания металлов. Справочник. Барановский Ю.В. и др. М.: НИИТ автопром. 1995.
20. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении. Контроль деталей: Справочник.-М.: Издательство стандартов, 1987. – С. 200, ил.

Форма задания

## ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«МАТИ»-Российский Государственный Технологический Университет им.  
К.Э. Циолковского

Кафедра: Технология производства двигателей летательных аппаратов

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

«    » \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

## З А Д А Н И Е НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Студент \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

1.Тема курсового проекта \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2.Срок окончания курсового проектирования \_\_\_\_\_

3.Исходные данные к проекту \_\_\_\_\_

3.1.Рабочий чертеж \_\_\_\_\_  
(наименование детали)

3.2.Объем выпуска \_\_\_\_\_

3.3.Режим работы: \_\_\_\_\_

3.4. \_\_\_\_\_

3.5. \_\_\_\_\_

**4.Основные разработки в проекте:**

4.1.Технологические: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4.2.Конструкторские:

\_\_\_\_\_

В расчетно-пояснительной записке должна найти отражение работа выполнения по всем разделам проекта, в объеме 30-40 стр., требования к текстовой части в соответствии со стандартом МАТИ.

Дата выдачи задания " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

Студент \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

## Примерная структура курсового проекта

### **Оглавление**

### **Введение**

### **1. Технологическая часть**

1.1. Описание объекта производства, условий эксплуатации и обоснование технических требований, предъявляемых к детали.

1.2. Определение типа производства.

1.3. Анализ технологичности детали.

1.4. Анализ и обоснование выбора материала детали.

1.5. Выбор и обоснование метода получения заготовки.

1.6. Выбор технологических баз.

1.7. Критический анализ существующего технологического процесса, и разработка нового маршрута технологического процесса.

1.8. Расчет межоперационных припусков.

1.9. Разработка операционного технологического процесса.

1.10. Расчет режимов обработки.

1.11. Описание новых и оригинальных методов обработки, предложенных автором.

1.12. Техническое нормирование.

### **2. Конструкторская часть**

2.1. Приводятся техническое задание на разрабатываемую оснастку, описание, расчет и методика использования спроектированной оснастки для формообразования деталей и приспособления для их обработки.

2.2. Описание и расчет обрабатывающего инструмента.

2.3. Описание и расчет мерительного инструмента или контрольного приспособления (устройства).

### **3. Технико-экономическая часть**

3.1. Исходные данные для расчета или технико-экономического обоснования.

3.2. Расчет и обоснование технико-экономической эффективности разработанного технологического процесса.

#### **4. Исследовательская (специальная) часть**

#### **5. Заключение.**

В этой части записки дается оценка разработанного технологического процесса изготовления по сравнению с базовым процессом, указывается соответствие его заданной программе выпуска, приводятся технико-экономические показатели разработанного процесса, указываются имеющиеся недостатки техпроцесса объективного характера и пути их устранения и т.д.

#### **6. Литература.**

Составляется пронумерованный список всей использованной литературы. В тексте записки во всех случаях делается ссылка на соответствующий источник с указанием порядкового номера источника в квадратных скобках, например [1, 2, 3, 4].

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 2.1.1

Тип деталей	Заготовительные процессы	
	для мелкосерийного производства	для крупносерийного производства
1	2	3
Мелкие и средние детали типа валов и втулок из цветных сплавов.	Изготовление из прутка.	Холодное прессование из прутка.
То же из стали.	Изготовление из прутка, горячая штамповка (без отверстия).	Горячая высадка с отверстием: ГКМ, точное стальное литье по выплавляемым моделям.
Мелкие и средние детали типа стержней и валиков с головками, утолщениями и ступенями.	Изготовление из прутка.	Горячая высадка, электровысадка, холодное редуцирование, горячая и холодная высадка.
Мелкие стальные детали типа рычагов, арматура гидравлическая из цветных сплавов и из стали.	Горячая штамповка. Изготовление из листов.	Точное литье по выплавляемым моделям, холодное прессование, штамповка-вырубка.
Стальные полые ступенчатые валы, крупные стальные втулки с фланцами.	Горячая штамповка. Поперечная обкатка, обжимка.	Горячая высадка из прутка (с отверстием) или из трубы, ротационная ковка.
Диски крупные из жаропрочных сталей (диски турбин).	Горячая штамповка (без формирования лопаток).	Горячая штамповка. Отливка по выплавляемым моделям с окончательным формированием лопаток.



## Продолжение табл. 2.1.1.

1	2	3
Крыльчатки из легких сплавов.	Горячее прессование (без лопастей).	Горячее прессование (с лопастями под механическую обработку), точное литье по выплавляемым моделям с лопастями (под полирование).
Корпуса мелкие и средние из легких сплавов.	Литье в землю.	Литье в кокиль, под давлением, вакуумное литье.
Корпуса крупные из легких сплавов.		Литье по металлическим моделям с машинной формовкой или в комбинированные формы.
Корпуса стальные и чугунные.	Литье в землю.	Литье в оболочковые формы или по металлическим моделям.
Крупные кольцевые стальные детали.	Литье в землю, центробежное литье.	Гибка и сварка из прессованных профилей. Вальцовка и гибка из листового материала.
Рабочие лопатки компрессора из легированных сталей и титановых сплавов.	Горячая штамповка.	Точная горячая штамповка, горячее прессование со штамповкой и калибровкой, холодная вальцовка.
Спрямяющие лопатки компрессора.	Горячая штамповка.	Точная штамповка с чеканкой, холодная вальцовка.
Рабочие лопатки газовых турбин из жаропрочных сплавов, в том числе полые.		Безоблойная горячая штамповка, точное литье по выплавляемым моделям.
Лопатки сопловых аппаратов из жаропрочных сталей.	Точное литье.	Точное литье по выплавляемым моделям.

Таблица 2.1.2.

Виды операций	Методы обработки	Назначение	Точность	Шероховатость
Грубые	Обдирочное точение, фрезерование, строгание заготовок, полученные свободной, литьем в земляные формы, черного проката.	Снятие с заготовки напуска и основной части припусков.	IT14	Rz 320...80
Черновые	Черновые отверстий отливках и штамповках.	Снятие основной части припуска	IT13...12	Rz 80...20
Получистовые	Точение, фрезерование, растачивание со снятием небольших припусков, а также занкерование отверстий после сверления	Повышение точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей	IT11...10	Rz 40...10
Чистовые	Однократное или предварительное развертывание и шлифование; однократное или предварительное тонкое обтачивание, растачивание и фрезерование; протягивание	Повышение точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей I	IT9...8	Ra 2,5...0,63
Тонкие	Окончательное( второе ) развертывание, шлифование, тонкое (алмазное) точение, растачивание и фрезерование , Достижение по чертежу точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей детали	Достижение по чертежу точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей детали	IT7...5	Ra 0,63...0,16
Отделочные	Полирование, притирка, хонингование, суперфиниш	Снижение шероховатости	Повышение точности	Ra 1,25...0,02
Упрочняющие	Обкатывание и раскатывание поверхностей роликами и шариками, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка, виброгалтовка	Повышение твердости поверхностей и создание поверхностных напряжений сжатия с целью повышения усталостной прочности.	Точность не меняется.	Шероховатость меняется в небольших пределах

Министерство общего и профессионального образования  
Российской Федерации

“МАТИ” —

Российский государственный технологический университет  
им. К.Э. Циолковского

Кафедра “Технология производства авиационных двигателей”

---

# **УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И АГРЕГАТОВ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

Методические указания к самостоятельной работе для студентов  
специальности “Авиационные двигатели и энергетические установки”

Составители: Прокофьев Е.Ю.

Москва 1999

Анатолий Емельянович Перминов  
Вячеслав Николаевич Козлов

## УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И АГРЕГАТОВ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Методические указания к самостоятельной работе для студентов  
специальности “Авиационные двигатели и энергетические установки”

Редактор М.А. Соколова

Подп. в печ. 99 г. Объем 1,75 п.л. Заказ

Тираж 30 экз.

---

“МАТИ”-РГТУ, Берниковская наб., 14

## НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

Механическое упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) дает возможность дальнейшего повышения прочностных характеристик деталей, достигнутых с помощью термической или химико-термической обработки. Большинство методов механического упрочнения не повышает точности, обычно сохраняется точность, достигнутая предшествующей обработкой. Необходимая точность размеров и формы деталей получается с помощью широко применяемых методов окончательной обработки абразивным инструментом при шлифовании, хонинговании, притирке, суперфинишировании и т.п. Но при этом часто не обеспечивается оптимальное качество поверхностного слоя. Оно достигается методами механического упрочнения, когда стружка не образуется, а происходит упруго-пластическое деформирование тонкого поверхностного слоя.

Методы механического упрочнения применяются на окончательных операциях технологического процесса изготовления деталей и пригодны для всех сталей и сплавов, способных пластически деформироваться в холодном состоянии. Выбор подходящего метода дает возможность упрочнения деталей любой формы и размеров и создания упрочненных слоев значительной глубины.

При этом стремятся осуществить следующие цели: образование определенной микрогеометрической формы поверхности, уменьшение параметра шероховатости, изменение структуры материала без его полной рекристаллизации (поверхностный наклеп), создание определенного напряженного состояния поверхностного слоя. Для достижения поставленных целей режимы и условия обработки подбирают экспериментально. При неправильном проведении процесса упрочнения возможен перенаклеп поверхностного слоя, при этом происходит отслаивание частиц металла и поверхностный слой разрушается.

Существует много методов механического (деформационного) упрочнения, основанных на пластической деформации поверхностного слоя, которые широко применяются при производстве деталей авиационных конструкций. Они подразделяются в соответствии с ГОСТ 18296-72 на ударные и статические.

Основные из них: дробеструйный, гидродробеструйный и пневмогидродробеструйный, гидро- и виброгалтовка; ультразвуковое деформационное виброупрочнение; обкатка и раскатка роликами и шариками; вибронакатывание; алмазное выглаживание и др.

В результате деформационного упрочнения повышается усталостная прочность этих деталей за счет наклепа и остаточных напряжений сжатия, создания направленной текстуры металла в поверхностном слое.

Как сказано выше, многие из методов ППД дают снижение шероховатости поверхности, которая также влияет на эксплуатационные свойства деталей (повышается сопротивление усталости и износу, контактная жесткость).

Методы механического упрочнения также повышают долговечность деталей, работающих в условиях контактно-усталостных нагрузений (беговые дорожки подшипников, зубья шестерен). Повышению контактно-усталостной выносливости способствуют следующие факторы поверхностного слоя деталей, обеспечиваемые упрочнением: сглаженная форма микронеровностей, большая твердость, мелкодисперсная структура и сжимающие остаточные напряжения.

Детали, работающие в таких условиях, изготавливают из высокопрочных материалов и для получения очень высокой твердости поверхностного слоя подвергают химико-термическому упрочнению. В дополнение к нему целесообразно применять такие методы механического упрочнения, как алмазное выглаживание или обработка микрошариками.

Повышение сопротивления усталости при снижении шероховатости поверхности деталей объясняется снижением концентрации напряжений во впадинах микронеровностей поверхности. Концентрация напряжений тем больше, чем глубже и острее впадины. Мелкие риски, царапины, надрезы на поверхности могут вызвать появление микротрещин, которые развиваясь, быстро приведут к поломке детали.

Доля влияния остаточных напряжений в общем упрочняющем эффекте колеблется от 20 до 90%. Более сильное влияние остаточных напряжений на усталостную прочность проявляется на деталях с галтелями, выточками, напрессовками и другими концентраторами напряжений.

Упрочнение ППД эффективно для деталей из титановых сплавов, чувствительных к концентраторам напряжений.

При высокой температуре эксплуатации деталей из жаропрочных сплавов доля влияния остаточных напряжений на усталостную прочность существенно снижается и не превышает 5% в общем упрочняющем эффекте. Макронапряжения в жаропрочных сплавах в течении первых двух часов работы деталей практически полностью снимаются.

В этих условиях решающую роль играет шероховатость поверхности (свыше 70%). Поэтому механическое упрочнение поверхностным пластическим деформированием рекомендуется для деталей из сталей или титановых сплавов, работающих при температурах нагрева не более 350...400°C, т.е. ниже температур, вызывающих релаксационные процессы в деформированном поверхностном слое.

Связь характеристик качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей свидетельствует о том, что обычно оптимальный (с точки зрения повышения сопротивления усталостному разрушению) поверхностный слой должен быть достаточно твердым, иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей (большой радиус закругления впадин) при минимальной их высоте.

Особенно эффективно применение методов механического упрочнения для деталей авиационных конструкций, испытывающих циклические нагрузки

(лопатки компрессора, диски, валы, зубчатые колеса газотурбинных двигателей, лопасти винтов самолетов, силовые детали крыльев и фюзеляжа и т.д.).

Многие детали авиационных конструкций работают в условиях механического (абразивного, эрозийного, усталостного и кавитационного) изнашивания, некоторые — в условиях коррозионно-механического изнашивания.

Большое влияние на износостойкость при изнашивании всех видов оказывает твердость поверхностного слоя, макроструктура, состав металла. При механическом упрочнении деталей поверхностная твердость увеличивается до 40...70%, в результате чего практически во всех случаях повышается износостойкость.

Большинство методов механического упрочнения не только снижает шероховатость, но и создает благоприятную для износостойкости форму микронеровностей, которая ближе, чем при других методах окончательной обработки, к форме микронеровностей, образующихся после приработки. Благодаря этому повышается износостойкость и сокращается период приработки деталей.

Природа коррозии металлов объясняется их термодинамической неустойчивостью. Наклеп поверхностного слоя металла ведет к росту свободной энергии, числа дефектов кристаллической решетки, диффузионной подвижности атомов. Поэтому наклеп обычно интенсифицирует процесс коррозии. Неоднородный характер пластического деформирования приводит к разности потенциалов между неодинаково деформированными кристаллами, т.е. к образованию множества гальванических пар, являющихся причиной электрохимической коррозии. Следовательно, методы механического упрочнения снижают коррозионную стойкость деталей.

При снижении шероховатости уменьшается реальная площадь корродирующей поверхности. Защитные оксидные пленки на поверхности с гладким рельефом менее склонны к растрескиванию. Поэтому снижение шероховатости ведет к повышению коррозионной стойкости. Последнее наблюдается в случаях применения алмазного шлифования деталей.

Влияние характеристик качества поверхностей и поверхностных слоев деталей на эксплуатационные свойства обобщено в таблице 1.

Из геометрических характеристик поверхности в рабочем чертеже детали указывается только параметр шероховатости  $R_a$  или  $R_z$ .

В технических требованиях рабочих чертежей деталей отсутствуют указания в отношении глубины и степени наклепа, величины и знака остаточных напряжений. Главным препятствием к исчерпывающим указаниям в рабочем чертеже детали геометрических характеристик поверхности и физико-механических характеристик поверхностного слоя является отсутствие производственных методов их контроля.

Таблица 1. Влияние характеристик качества поверхностей и поверхностных слоев деталей на эксплуатационные свойства

Эксплуатационные свойства	Геометрические характеристики поверхности								Физико-механические характеристики поверхностного слоя			
	Шероховатость						Волнистость		Наклеп		Остаточные напряжения	
	Ra	Rz	Sm	t <sub>p</sub>	r	r'	Wa	Sw	H	h	σ	h <sub>σ</sub>
Износостойкость (трение без смазки)	+	+	+	++	++		+	+	++	++	++	++
Износостойкость (трение со смазкой)	++	+	++	++	+	+	++	++				
Трение	++	+	++	++	++	+	++	++	++		++	
Избирательный перенос	+	+	+	+	+	+	+	+	++		++	
Сопротивление усталости	+	+	+			++		+	++	++	++	++
Контактная жесткость	+	+	+	++	++		+	+	++		+	
Виброустойчивость	+	+	++	++	++		+	+	++	+	+	+
Коррозионная стойкость	+	+	++	+		+	++	+	++	++	++	++
Прочность соединения с натягом	+	+	+	++	++		+	+	+			
Плотность (герметичность) соединений	++	+	+	++			++	+				
Прочность сцепления покрытий	+	++	++	+	+	+	+	+	++	+	++	+
Обтекаемость газами и жидкостями	+	+	+	++	+	++	+	+				

++ — характеристики, оказывающие основное влияние на данное эксплуатационное свойство.

Ra — среднее арифметическое отклонение профиля;

Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам;

Sm — средний шаг местных выступов профиля;

t<sub>p</sub> — относительная опорная длина профиля;

r — радиус закругления профиля;

r' — радиус закругления впадин;

Wa — среднее арифметическое отклонение волн;

Sw — средний шаг неровностей волн;

H — микротвердость поверхностного слоя;

h — глубина наклепанного слоя;

σ — остаточные напряжения на поверхности;

h<sub>σ</sub> — глубина залегания остаточных напряжений.

В производственных условиях остаточные напряжения в поверхностном слое деталей, подвергаемых механическому упрочнению, контролируются косвенно



по величине деформации образцов-свидетелей, которые упрочняются совместно с деталями. Поэтому конструктор дает лишь указание обработать поверхности детали каким-либо конкретным методом, например, виброгалтовкой, обдувкой микрошариками, обкаткой роликом и т.п. Технолог, пользуясь экспериментальными данными, назначает режимы и условия соответствующего метода упрочняющей технологии.

Выбор метода механического упрочнения предопределяется прежде всего требуемыми эксплуатационными свойствами, формой и размерами детали.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ**

Сущность методов механического упрочнения поверхностным пластическим деформированием состоит в том, что под действием давления инструмента (ролика, шара, алмаза), при ударе дроби выступающие микронеровности поверхности детали пластически деформируются, т.е. происходит их смятие. Металл гребешков микронеровностей перетекает в смежные впадины, а металл из впадин выдавливается вверх. Образуется новая поверхность с микронеровностями, высота, форма и шаг которых определяются параметрами обработки. Результатом обработки обычно является снижение шероховатости поверхности.

Физические явления, происходящие в поверхностном слое при деформационном упрочнении объясняет дислокационная теория. В пластически деформированном поверхностном слое возрастают все характеристики сопротивления деформированию: предел упругости, текучести, прочности, твердость. Происходит, как принято говорить, наклеп.

Процесс механического упрочнения ППД сопровождается сложными структурными и фазовыми превращениями. В первоначальный момент происходит дробление зерен металла на блоки (полигонизация) и образуется мозаичная структура. Далее вследствие усиления развития сдвигов по плоскостям скольжения образуются новые, значительно измельченные зерна. При этом кристаллиты теряют свою глободную форму, сплющиваются, вытягиваются в направлении деформирования. Резко изменяется соотношение их размеров, образуется упорядоченная ориентированная структура волокнистого характера с анизотропными механическими свойствами, когда пластичность вдоль волокон выше, чем в поперечном направлении.

Основной причиной упрочнения является лавиноподобное развитие дислокаций — дефектов кристаллической решетки металла, скапливающихся вблизи линий сдвигов, и последующее их застревание перед различного вида препятствиями, образующимися в процессе деформирования (скрещение дислокаций, траектории движения которых пересекаются между собой под некоторым углом; полосы деформирования и т.д.) или существовавшими до него (межкристаллические граничные слои, скопление атомов примесей, элементы второй фазы и т.д.). Дробление на блоки объемов металла, заключенных между

линиями скольжения, поворот этих блоков, искривление плоскостей скольжения и накопление на них продуктов разрушения кристаллической решетки способствуют увеличению неровностей по плоскостям скольжения, а следовательно, упрочнению.

Увеличение дислокаций, вакансий и других дефектов кристаллической решетки металла при пластическом деформировании является причиной наклепа.

Наклеп характеризуется величиной и глубиной распространения. Величина наклепа определяется степенью упрочнения или отношением твердости поверхностного слоя к твердости сердцевины (выражается в %). С увеличением усилия деформирования при упрочняющей обработке твердость поверхностного слоя детали возрастает до определенного предела. Превышение оптимального усилия приводит к снижению твердости, в поверхностном слое появляются такие напряжения, при которых начинается его разрушение, отслаивание частиц металла (шелушение), т.е. происходит перенаклеп.

Увеличение концентрации точечных и линейных дефектов кристаллического строения и образование субмикроскопических, не опасных трещин также увеличивает удельный объем металла. Суммарное максимальное увеличение удельного объема для сталей достигает 1,1%. Это обуславливает образование в наклепанной зоне остаточных напряжений сжатия.

Энергия, воспринимаемая деформируемым телом, превращается в энергию пластической деформации и в потенциальную энергию упругой деформации.

Одна часть потенциальной энергии упругой деформации освобождается при разгрузке деформируемого тела и может рассматриваться как освобождаемая потенциальная энергия; другая — остается в теле после снятия нагрузки и рассматривается как связанная потенциальная энергия.

Если полную энергию деформации принять за 100%, то энергия, превращенная в работу пластической деформации, составляет 80...85%, снимающаяся (свободная) потенциальная энергия — 3...4%, а связанная потенциальная энергия (энергия остаточных напряжений) — 10...15%.

Связанная потенциальная энергия представляет собой энергию упругого смещения атомов из их равновесного положения в кристаллической решетке. Силы, стремящиеся вернуть смещенные атомы в их исходное положение, являются причиной напряжений. Поэтому обычно говорят, что механическая энергия аккумулируется в металле в форме остаточных напряжений.

Так как процессы механического упрочнения сопровождаются выделением тепла (главным образом за счет работы пластического деформирования и трения), то локальный нагрев металла приводит к наведению в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений.

Сжимающие остаточные напряжения способствуют повышению циклической прочности металла, а растягивающие — снижению, особенно при наличии концентраторов напряжений.

Следовательно, операции механического упрочнения необходимо проводить при таких режимах и условиях, чтобы воздействие теплового фактора было минимальным (ограничивать скорость деформирования, применять смазочно-охлаждающие жидкости).

Вследствие неустойчивого структурно-фазового состояния деформированного слоя металла (повышения его энергетического уровня) в нем самопроизвольно возникают явления отрыва, т.е. стремление к возвращению металла в первоначальное, ненаклепанное состояние. Это объясняется термодинамически неизбежным стремлением дислокаций к самоуничтожению, либо к наименьшему энергетическому уровню. Таким образом, отрыв, с точки зрения теории дислокаций, объясняется уменьшением числа дислокаций. Отрыв (снятие наклепа) при обычных температурах протекает чрезвычайно медленно и только нагрев вызывает его ускорение. Отрыву способствует упругая деформация ненаклепанного нижележащего слоя металла. Следовательно, наклеп — явление обратимое. Полное снятие наклепа возможно при температуре рекристаллизации, равной 0,4 температуры плавления металла. Это обстоятельство следует учитывать для деталей, работающих или проходящих технологические операции при повышенных температурах.

## УДАРНЫЕ (ДИНАМИЧЕСКИЕ) МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ

*Ударные* (динамические) методы обработки (дробеструйная, гидродробеструйная, пневмогидродробеструйная, гидрогалтовка, виброгалтовка, ультразвуковое виброупрочнение) применяются для повышения конструкционной прочности деталей сложной формы, малой жесткости, с концентраторами напряжений, работающих при циклически меняющихся, в том числе и ударных, нагрузках (лопатки компрессора газотурбинных двигателей, лопасти винтов самолетов, силовые детали крыльев и фюзеляжа и т.д.).

При ударных методах инструмент (рабочие тела) многократно воздействуют на всю обрабатываемую поверхность или на ее часть, при этом сила воздействия в каждом цикле изменяется от нуля до максимума, а очаг деформирования распространяется на всю поверхность детали или может последовательно проходить всю обрабатываемую поверхность. В качестве рабочих тел могут быть использованы шарики или дробь.

При *дробеструйной* обработке (сухой дробью) кинетическая энергия сообщается дробин потоком сжатого воздуха (на пневматических дробеметах) или лопастями ротора диаметром 200...500 мм, вращающегося со скоростью до 3000 об/мин (на механических дробеметах). Режим упрочнения определяется скоростью дробин, расходом ее за единицу времени и продолжительностью обработки. Оптимальные режимы обработки устанавливаются экспериментально в зависимости от материала детали и условий ее эксплуатации. Диаметр дробин (0,5...2 мм) влияет на шероховатость обработанной поверхности, причем обработка мелкими шариками дает более

низкую шероховатость. Глубина упрочненного слоя (не более 1,5 мм) возрастает с увеличением диаметра (массы) дроби и ее скорости.

К недостаткам данного метода относятся: нестабильность процесса вследствие быстрого изнашивания дроби и сопла, колебания давления воздуха (на пневматических дробеметах), высокие локальные температуры при ударе дробинки о деталь, повышение шероховатости обработанной поверхности.

Гидродробеструйное и пневмогидродробеструйное упрочнение производится стальными шариками (дробью)  $\varnothing 0,5 \dots 2$  мм с эмульсией или трансформаторным маслом на установках, принцип действия которых основан на эжекции (рис. 1).

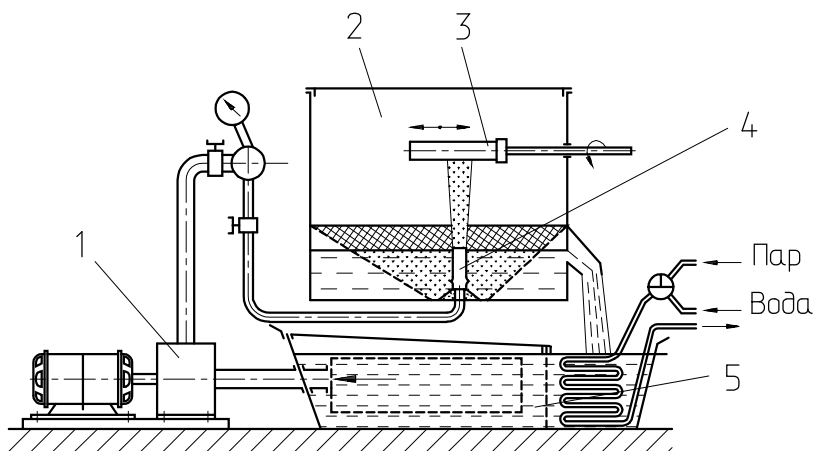


Рис. 1. Схема гидродробеструйной эжекторной установки

Эжектор состоит из корпуса с заборными окнами, сопла и форсунки. При подаче в форсунку воздуха из сети (в пневмогидродробеструйных установках) или смазочно-охлаждающей жидкости под давлением от местной насосной станции 1 (в гидродробеструйных установках) в эжекторе 4 создается разрежение и шарики из сетчатого бункера вместе с эмульсией или маслом засасываются в сопло через заборные окна, а затем со скоростью 50...80 м/с направляются на деталь 3, помещенную в камеру 2. Отработанная дробь с жидкостью возвращается в бункер, дробь и часть жидкости остается в нем, а излишняя жидкость, проходя через сетку, сливается в бак 5. Из бака отфильтрованная от осколков дробы и других металлических включений жидкость вновь подается насосом в эжектор.

Рабочие тела (шарики, дробинки) изготавливаются из стали ШХ15 твердостью 62...65 HRC<sub>2</sub>.

Деталь имеет возможность перемещаться для обеспечения равномерности упрочнения по всей поверхности.

Лопатка, закрепленная замком в переходнике, совершает вращательное движение (20 об/мин) и возвратно-поступательное (20...50 мм/мин), располагаясь от эжектора на расстоянии 200...250 мм.

Основные параметры процесса гидродробеструйного упрочнения следующие:

- рабочая среда (материал и размеры рабочих тел, состав смазочно-охлаждающей жидкости);

- скорость движения рабочей среды (может быть выражена через давление жидкости или воздуха, через частоту вращения дробеметного колеса при гидрогалтовке);

- расход дробы, кг/мин;

- расстояние от сопла до упрочняемой поверхности, угол и диаметр струи дробы;

- продолжительность процесса (может быть выражена через скорость перемещения детали или сопла).

Режимы упрочнения выбираются в зависимости от материала и размера детали.

В результате упрочнения деталей обеспечиваются остаточные напряжения сжатия 400...500 МПа, глубина наклепа до 0,8 мм, степень наклепа до 20% и повышение усталостной прочности на 20...30%. Шероховатость поверхности при упрочнении может возрастать с  $Ra=0,8...0,4$  мкм до 1,6...0,8 мкм, и поэтому для ее снижения возникает необходимость дополнительной обработки, например, виброконтантного полирования.

Этими методами упрочняют наружные и внутренние поверхности валов, диски, цапфы, зубчатые колеса, трубопроводы, лопатки компрессора и другие детали. Например, для упрочнения дисков применяют восьмисопловые эжекторные установки.

*Гидрогалтовка* производится стальными шариками  $\varnothing 0,6...0,8$  мм, а также стальными или стеклянными микрошариками  $\varnothing 0,1...0,4$  мм на дробеметных установках (рис. 2). Шарiki с маслом подаются насосом или воздушным потоком в бункер 1, а затем под действием силы тяжести падают на лопасти ротора 2 (дробеметного колеса) и отбрасываются ими со скоростью 10...20 м/с на упрочняемую поверхность детали 3.

Режимы обработки подбираются экспериментально (диаметр и материал шариков, скорость струи, время обработки). Например, лопатки компрессора из титанового сплава ВТЗ-1 обрабатывают стальной дробью  $\varnothing 0,6...0,8$  мм в смеси с маслом в течение 30 мин, частота вращения ротора 450 об/мин, шероховатость обработанной поверхности  $Ra=0,40...0,20$  мкм, степень наклепа 20%, глубина наклепа 0,2 мм.

По сравнению с гидродробеструйной обработкой процесс более экономичен по расходу энергии и более стабилен ввиду постоянства скорости движения дробы и размеров ее струи.

Все методы ППД сопровождаются выделением тепла главным образом вследствие пластической деформации металла и трения.

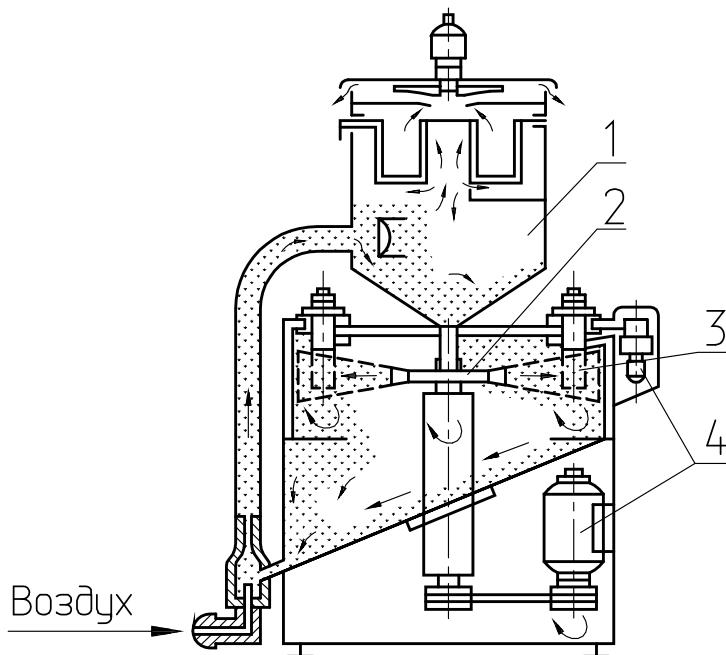


Рис. 2. Схема дробеметной установки

По сравнению с обдувкой сухой дробью наличие масла оказывает охлаждающее действие и создает условия, благоприятствующие пластическому деформированию тонкого поверхностного слоя детали.

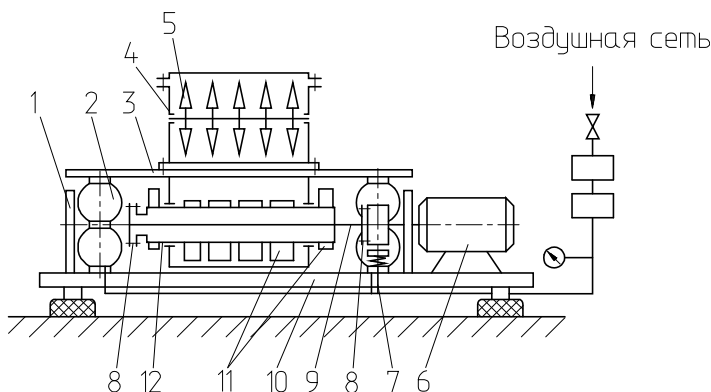
Гидрогалтовкой упрочняют валы, лопатки компрессора и др.

Гидрогалтовка микрошариками эффективна для пластической деформации поверхностей малоразмерных конструктивных концентраторов напряжений — острых кромок, малых радиусов переходов, например, мелко модульных зубчатых колес, резьбовых поверхностей, пазов елочных хвостовиков лопаток, торцовых шлицев на фланцах валов, а также маложестких деталей сложной геометрической формы.

Упрочнение микрошариками диаметром 100...400 мкм лопаток компрессора с тонкими кромками пера и малыми радиусами переходов обеспечивает шероховатость поверхности  $Ra=0,4...0,1$  мкм.

Виброгалтовка (виброударное упрочнение) осуществляется на вибромашинах — инерционных дисбалансных установках (рис. 3). Рама 3 с контейнером 4 в нерабочем состоянии опирается на стойки 1, а в процессе

работы — на пневматические баллоны 2, установленные на основание 10. Вращение ротору передается от электродвигателя 6 через две эластичные муфты 8 и торсионный валик 9. Ротор 12 состоит из полого вала и дисбалансовых грузов 11. Торможение ротора при остановках производится электромагнитным колодочным тормозом 7. В рабочую камеру 4 (контейнер с цилиндрическим дном) помещаются упрочняемые детали 5 и рабочие тела, например, стальные шарики  $\varnothing 1...1,5$  мм, и заливается промывочно-охлаждающая жидкость. Контейнер закрывают крышкой и включают насос, прокачивающий жидкость. В пневмобаллоны подают воздух, под давлением которого контейнер поднимается на заданную высоту и включается привод вибратора. Контейнер с деталями и рабочими телами подвергают вибрациям в трех направлениях при помощи неуравновешенного ротора 12, в котором создан большой дисбаланс. Вследствие вибраций непрерывно перемещающиеся относительно деталей стальные шарики, ударяясь о поверхность деталей, пластически деформируют поверхностный слой и сглаживают микронеровности. Шероховатость поверхности после упрочнения  $Ra=0,20...0,10$  мкм.



*Рис. 3. Схема установки с инерционным приводом для виброгалтовки*

Режимы обработки устанавливают экспериментально. Например, лопатки из стали 13X12H2BMФ виброгалтуют в течение 3 часов при частоте вибраций 24 Гц, амплитуде вибраций: вертикальных — 2,9...3,6 мм, боковых — 1,0...1,1 мм, осевых — 0,1...0,15 мм. Рабочие тела после каждой операции промываются керосиново-масляной смесью.

Этим методом можно упрочнять наружные и внутренние поверхности деталей сложной формы.

Из-за ограниченных энергетических возможностей продолжительность виброупрочнения значительна (до нескольких часов). В отличие от других методов механического упрочнения при виброгалтовке практически исключен перенаклеп.

Виброгалтовкой упрочняют диски, лопатки, валы, шлицы валов компрессора, зубчатые колеса, сепараторы подшипников, детали шасси, втулки винта, лопасти воздушных винтов самолетов.

*Ультразвуковое* деформационное виброупрочнение (ультразвуковая виброгалтовка) осуществляется на установках, в которых источником вибраций является генератор ультразвуковых колебаний (частотой 18...20 кГц) с магнитострикционным преобразователем электрических колебаний в механические. Режимы обработки подбираются экспериментально (диаметр шариков, частота и амплитуда вибраций, расстояние деталей от вибрирующих стенок камеры, время обработки). Например, упрочнение окончательно обработанных лопаток осуществляется стальными шариками  $\varnothing 1...3$  мм с эмульсией или водой с антикоррозионными добавками; продолжительность обработки 3...15 мин. шероховатость поверхности после обработки несколько увеличивается и составляет  $Ra=0,40...0,20$  мкм. Данный метод упрочнения аналогичен виброгалтовке, но более производителен; он применяется для упрочнения валов, дисков, лопаток.

Вышеперечисленные методы дробеударной обработки в отличие от обкатки роликом позволяют упрочнять детали сложной конфигурации и малой жесткости.

## БЕЗУДАРНЫЕ (СТАТИЧЕСКИЕ) МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ

*Безударные (статические)* методы упрочнения включают: обкатывание и раскатывание роликами и шариками, алмазное выглаживание, вибронакатывание.

При статических методах обработки инструмент воздействует на участок обрабатываемой поверхности с определенной постоянной силой, и при движении инструмента происходит плавное перемещение очага воздействия, который последовательно проходит всю поверхность, подлежащую обработке.

Инструментами могут быть ролики, шары, алмаз.

Статические методы упрочнения по сравнению с ударными требуют в 1,7...2,8 раза меньше энергии в зависимости от твердости обрабатываемого материала. Одна из причин этого заключается в том, что при статических методах упрочнения меньше скорость нагружения и больше время протекания процесса пластического деформирования, а следовательно, ниже напряжение, при котором проходит переход от упругого деформирования к пластическому.

*Обкатыванием* роликами и шариками упрочняют наружные цилиндрические и конические поверхности, галтели валов, резе — плоскости и фасонные поверхности.

*Схема обкатывания* деталей типа тел вращения аналогична схеме токарной обработки (рис. 4). Обкатывание выполняют свободно вращающимися роликами (одним или несколькими), приводимыми в соприкосновение с принудительно вращающейся деталью под давлением. Необходимое давление обеспечивается натягом за счет поперечной (радиальной) подачи роликов. Обкатывание



цилиндрических поверхностей обычно выполняют на токарных, револьверных станках, а плоских — на строгальных станках; применяют также специализированные станки.

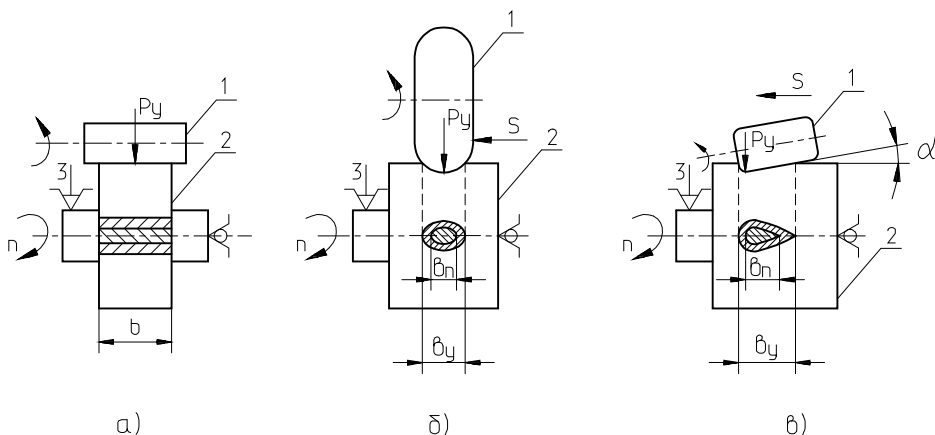


Рис. 4. Схемы обкатывания детали:

- а) цилиндрическим роликом без осевой подачи;
- б) тороидальным роликом (кругового профиля) с осевой подачей;
- в) цилиндрическим или коническим роликом с осевой подачей

Число роликов выбирают в зависимости от жесткости обрабатываемой детали. Обкатывание одним роликом применяют для жестких деталей. Рабочие поверхности роликов должны иметь низкую шероховатость  $Ra=0,05...0,025$  мкм и высокую твердость 62...65 HRC<sub>2</sub>, поэтому ролики изготавливают из стали ШХ15, У10А и др. Конструкции роликов многообразны по типам и исполнению. Форма рабочей поверхности роликов зависит от формы обкатываемой поверхности. Для обкатки цилиндрических поверхностей применяют тороидальные ролики (радиус профиля ролика в пределах 0,5...0,75 его диаметра) или ролики с цилиндрическим пояском и двумя заборными конусами. Линии перехода от цилиндрического пояска к конусам должны слегка скругляться. Для обкатывания галтелей и канавок рабочим поверхностям ролика придают соответствующий радиус. Также применяют ролики с комбинированным профилем.

При неподвижных ролике и детали в месте контакта при приложении нагрузки остается отпечаток, форма которого зависит от конфигурации ролика и детали. Теоретически это может быть прямоугольник, эллипс, окружность (фактически искаженные упругой и пластической деформацией металла). В простейшем случае прямоугольный отпечаток создает цилиндрический ролик, установленный параллельно оси цилиндрической детали. Отпечаток (лунка) эллипсной формы создается тороидальным роликом, круглой формы —

шариком на плоской поверхности, каплевидной формы — цилиндрическим или коническим роликом, установленным под углом к обрабатываемой поверхности детали.

При обкатывании тел вращения без продольной (осевой) подачи ролика отпечаток превращается в пластически деформированную кольцевую канавку, копирующую профиль ролика. Во время обкатывания цилиндрических поверхностей с продольной подачей ролика отпечаток превращается в винтовую канавку. Поскольку ширина этой канавки в несколько раз превышает величину подачи, то при втором и последующем оборотах детали ролик расширяет канавку. Канавки, налагаясь друг на друга, образуют новую цилиндрическую поверхность детали, шероховатость которой в несколько раз ниже исходной. За один проход ролика каждая точка поверхности детали соприкасается с роликом несколько раз:

$$N = b_k / S,$$

где  $N$  — число касаний какой-либо точки поверхности детали с роликом (число циклов нагружения);

$b_k$  — ширина канавки, мм;

$S$  — подача, мм/об.

Оптимальное значение  $N = 4 \dots 6$ , при котором достигается наибольшая производительность и высокое качество обработки. Использование многороликовых обкатников позволяет увеличить продольную подачу при сохранении оптимального числа циклов нагружения  $N$ .

При превышении оптимального  $N$  возникает опасность перенаклепа, поэтому обкатывание наиболее целесообразно производить за один проход (рабочий ход) ролика при оптимальной подаче.

Главным параметром режима обкатывания является давление на площадке контакта ролика и детали.

В простейшем случае при упругом контакте максимальное давление в центре площадки контакта цилиндрического ролика и детали (двух цилиндров с параллельными осями) можно рассчитать по формуле Герца:

$$q = 0,4 \sqrt{\frac{P_y}{b} \frac{E_{пр}}{\rho_{пр}}},$$

где  $P_y$  — радиальная сила прижатия ролика к детали;

$b$  — ширина площадки контакта ролика и детали;

$E_{пр}$  — приведенный модуль упругости материалов ролика и детали;

$\rho_{пр}$  — приведенный радиус сопряженных цилиндров (ролика  $\rho_1$  и детали  $\rho_2$ ):

$$\rho_{пр} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}.$$

Из формулы следует, что чем меньше ширина площадки контакта и радиусы ролика и детали, тем больше давление.

Обкатывание жестких валов диаметром более 100 мм можно выполнять роликом диаметром, равным диаметру детали или менее его. С уменьшением диаметра ролика и радиуса профиля увеличивается (при прочих равных условиях) давление и шероховатость обработанной поверхности детали.

При обкатывании происходит смятие гребешков микронеровностей и остаточная деформация поверхностного слоя детали, поэтому необходимо предусматривать припуск 0,02...0,08 мм. Уменьшение диаметрального размера детали зависит от высоты шероховатости исходной поверхности.

С увеличением давления обкатки возрастает глубина (до нескольких мм) и степень наклепа (до 20%) и величина остаточных напряжений сжатия (до 500 МПа). Обкатку проводят за 1...2 прохода, увеличение числа проходов, а также давления выше оптимального, может привести к перенаклепу и увеличению шероховатости поверхности. Алюминиевые сплавы более чувствительны к перенаклепу, чем стали, поэтому их обработку целесообразно производить при меньшем давлении.

Следующим по значению параметром режима обработки после давления является подача. Наилучшее качество поверхности достигается при обработке без продольной подачи, но такая возможность реализуется только при упрочнении поверхностей небольшой ширины (канавки, пояски, галтели). Обычно же поверхности упрочняют с продольной (осевой) подачей обкатника. Рекомендуемая осевая подача 0,2...2,0 мм/об, но не более 0,5 от ширины пояска ролика при двух проходах. С увеличением подачи увеличивается шероховатость поверхности. Достижимый параметр шероховатости зависит от исходного (для пластичных металлов в меньшей степени). Перед обкатыванием или раскатыванием шероховатость поверхности должна быть не более  $Ra=0,8$  мкм, которая достигается обычными методами резания. Скорость обкатки практически не влияет на шероховатость поверхности и должна назначаться из условий обеспечения работы без вибраций и достаточной производительности (80...200 м/мин).

Обкатка производится при обильной смазке роликов и детали машинным маслом.

Однороликовые и многороликовые обкатники подразделяются на сепараторные и бессепараторные. Ролики в сепараторных устройствах свободно катятся по опорной поверхности и удерживаются от выпадения с помощью сепаратора. В бессепараторных устройствах ролики имеют вспомогательные конструктивные элементы (цапфы или отверстия), посредством которых они удерживаются. Сепараторные обкатники имеют ограниченные технологические возможности по обработке поверхностей различных диаметров, они более сложны, но обладают высокой производительностью. Поэтому их используют в серийном и массовом производстве. Бессепараторные обкатники просты по конструкции, обеспечивают быстроту и удобство переналадки, широкие технологические возможности. Поэтому их целесообразно использовать в единичном и мелкосерийном производстве.

По способу нагружения рабочих роликов обкатники подразделяют на механические (пружинные), пневматические, гидравлические.

Конструкции однороликовых обкатников для обработки наружных цилиндрических и плоских поверхностей стандартизованы, они просты, универсальны, обычно с механическим нагружением.

Упрочнение обкатыванием обеспечивает шероховатость поверхности до  $Ra=0,05 \dots 0,2$  мкм и повышение усталостной прочности на 20...25%.

Также повышается износостойкость деталей.

Обкатывание и раскатывание роликами применяется для поверхностей относительно простой формы, деталей достаточной жесткости. Для создания требуемого давления, обеспечивающего пластическое деформирование поверхностного слоя детали, инструмент должен воздействовать на деталь силой довольно значительной величины вследствие большой площади их контакта.

Обкатыванием роликами упрочняют гладкие и ступенчатые валы, болты, пазы в елочных замках лопаток, шлицы, резьбы.

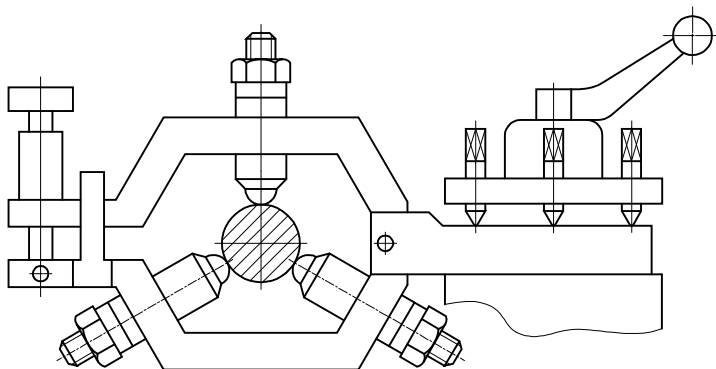
При обкатывании роликами имеет место проскальзывание роликов вдоль оси детали (трение скольжения), что вызывает осевые нагрузки на ролики и приводит к необходимости вести обкатку с большой осевой силой.

*Обкатывание шариками*, помещенными в специальное приспособление — обкатник, лишено указанного недостатка. Применяют одно- и многошаровые жесткие и упругие обкатники. На рис. 5 показана схема обкатывания детали 3-х шаровым обкатником. Шарiki имеют возможность самоустанавливаться относительно обрабатываемой поверхности, не имеют фиксированной оси вращения и проскальзывания вдоль оси детали.

Применение многошаровых обкатников вместо одношаровых обусловлено стремлением избежать одностороннего давления инструмента на обрабатываемую деталь, повысить производительность обкатывания и степень упрочнения за счет возможности увеличения подачи и обработки за один рабочий ход.

Наибольшее распространение получили многошаровые обкатники и раскатники упругого действия, обеспечивающие по сравнению с жесткими обкатниками более равномерную пластическую деформацию как в радиальном, так и в осевом сечениях детали, при обработке неравножестких деталей, биении детали, неоднородной ее твердости.

Жесткие многошаровые раскатники применяют для обработки более жестких деталей, когда помимо улучшения характеристик поверхностного слоя необходимо несколько повысить точность размеров отверстия. Конструкции жестких многошаровых раскатников диаметром 40...300 мм нормализованы. В целях достижения минимальной шероховатости обрабатываемой поверхности для каждого раскатника шары необходимо подбирать с разностью диаметральных размеров не более 2 мкм.



*Рис. 5. Схема обкатывания детали трехшаровым обкатником*

Оптимальная подача выбирается в зависимости от исходной и требуемой шероховатости, диаметра шаров и их числа в обкатнике (раскатнике). Например, при обработке одношаровым инструментом, исходной шероховатости  $Ra=1,6$  мкм и требуемой  $Ra=0,2$  мкм, диаметре шара 10 мм рекомендуемая подача 0,2 мм/об, а при диаметре шара 40 мм — 0,35 мм/об. При исходной шероховатости  $Ra=0,8$  мкм и требуемой  $Ra=0,05$  мкм, диаметре шара 10 мм рекомендуется подача 0,1 мм/об, а при диаметре шара 40 мм — 0,2 мм/об. При обработке многошаровым инструментом подача может быть увеличена прямо пропорционально числу шаров.

Параметр шероховатости теоретически прямо пропорционален подаче во второй степени и обратно пропорционален радиусу шара. Скорость обкатывания (раскатывания) и число рабочих ходов практически не влияют на шероховатость поверхности. Оптимальное давление, при котором достигается минимальная шероховатость, при упрочнении сталей 1400...2200 МПа (большие значения для стали большей твердости). Оптимальное давление, при котором достигается максимальное упрочнение стали, 2000...3000 МПа.

Область рационального использования шаровых устройств — упрочнение мало жестких и неравно жестких деталей, в том числе деталей с высокой поверхностной твердостью, а также сферических поверхностей, галтельных переходов.

По сравнению с роликовыми устройствами упрочнение шарами требует меньшей радиальной силы в связи с меньшей площадью контакта шаров с обрабатываемой поверхностью; для достижения требуемой шероховатости процесс ведется с меньшей подачей, поэтому достигается меньшая производительность.

Схема *раскатывания* отверстий роликами или шариками аналогична схеме обкатывания деталей.

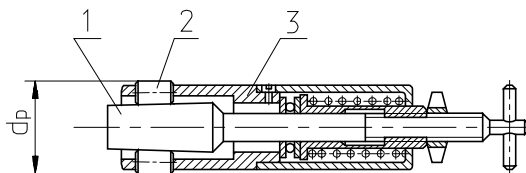
Раскатыванием роликами можно обрабатывать сквозные, глухие и прерывистые отверстия. Назначение раскатывания — калибрование отверстий,

снижение шероховатости до  $Ra=0,2\ldots0,05$  мкм и упрочнение поверхностного слоя на глубину  $0,3\ldots0,8$  мм (наклеп 20%, остаточные напряжения сжатия  $200\ldots500$  МПа). В результате раскатывания отверстий ресурс их повышается в  $5\ldots10$  раз.

Конструкции роликовых раскатников разнообразны, применяют жесткие и упругие одно- и многороликовые сепараторные и бессепараторные устройства.

При раскатывании отверстий деталей, особенно тонкостенных, большое значение имеет способ закрепления заготовки и раскатника. Заготовку рекомендуется закреплять путем поджима ее с торцов. Многороликовый раскатник должен самоустанавливаться в отверстии, что достигается плавающим креплением с помощью специальных державок. Так как при раскатке применяют схемы с самоустанавливающимся инструментом, то повышенных требований к точности оборудования не предъявляют.

Конструкцией жестких регулируемых раскатников предусматривается изменение их рабочего размера в определенных пределах, что делает инструмент более универсальным и экономичным. Конструкции раскатников нормализованы. Число роликов должно быть четным для удобства настройки на размер.



*Рис. 6. Схема регулируемого раскатника для упрочнения отверстий*

Жесткий регулируемый раскатник (рис. 6) состоит из оправки с опорным конусом 1 и опирающихся на его рабочую поверхность четырех роликов 2, удерживаемых сепаратором в корпусе 3. При продольном перемещении опорного конуса ролики раздвигаются, регулируя диаметральный размер раскатника  $d_p$  в небольших пределах ( $0,5\ldots0,8$  мм). Ролики по форме бывают цилиндрические, конические и тороидальные.

Конические ролики состоят из деформирующего (заборного), калибрующего и сглаживающего участков. Деформирующий участок выполняет основную работу деформирования, обеспечивает центрирование и захват детали, по форме бывает конический и тороидальный. Длина калибрующей части принимается равной диаметру ролика с углом конусности несколько большим, чем угол конусности опорного конуса.

При упрочнении цилиндрического отверстия многороликовым раскатником с коническими роликами образующие цилиндра и конуса (калибрующей части роликов), контактирующие друг с другом, обычно не параллельны, а пересекаются под небольшим углом, называемым углом вдавливания  $\alpha$ . Он равен разности углов конусности калибрующей части самого ролика  $\alpha_p$  и

опорного конуса  $\alpha_k$ . Угол  $\alpha$  не должен превышать  $2^\circ$ , так как в противном случае увеличивается проскальзывание роликов и их изнашивание.

За счет угла вдавливания отпечаток роликов на деформируемой поверхности детали получается каплевидной формы.

Оптимальный диаметр и число роликов в раскатнике выбирается в зависимости от диаметра раскатываемого отверстия. Для диаметров отверстия 6...100 мм диаметр роликов в нормализованных раскатниках принимается в пределах 2...12 мм. Число роликов в раскатнике четное, от 4 до 10. При малых диаметрах роликов достигается наибольшее упрочнение поверхностного слоя детали, требуется меньший натяг. Однако увеличивается проскальзывание роликов, крутящий момент и ухудшаются условия обработки.

Основными параметрами режима раскатывания являются: давление роликов, определяемое величиной натяга  $i = d_p - d_o$ , где  $d_p$  — диаметр раскатника, мм;  $d_o$  — диаметр отверстия перед раскатыванием, мм.

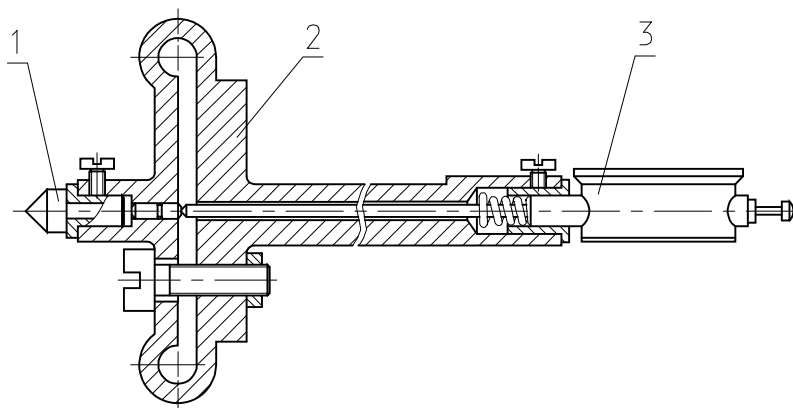
Для отверстий диаметром от 6 до 60 мм при раскатывании жесткими сепараторными раскатниками величина натяга принимается в пределах 0,05...0,20 мм (в зависимости от исходной и требуемой шероховатости). Необходимо предусматривать припуск на диаметр величиной 0,02...0,06 мм в зависимости от состояния раскатываемой поверхности. Обработка ведется с применением масла.

Для раскатывания отверстий также применяют одно- и многошаровые жесткие и упругие раскатники, которые выполняют нерегулируемыми и регулируемыми на размер обрабатываемого отверстия. Жесткие раскатники получили меньшее распространение, их применяют лишь для обработки жестких деталей, когда помимо улучшения характеристик поверхностного слоя необходимо несколько повысить точность размеров и формы отверстия. Регулируют диаметральный размер раскатников путем перемещения шаров по конусу или с помощью рычагов, упоров и других механизмов.

Обкатывают и раскатывают детали из алюминиевых и титановых сплавов, стали твердостью до 45...50 HRC.

Кроме раскатывания отверстия можно упрочнять *калиброванием* с помощью шарика или оправки — дорна, проталкиваемых с натягом в отверстие детали на прессах или горизонтально-протяжных станках.

*Алмазное выглаживание* — отделочно-упрочняющая обработка, обеспечивающая шероховатость поверхности  $Ra = 0,20 \dots 0,05$  мкм и деформационное упрочнение поверхностного слоя. Схема алмазного выглаживания аналогична схеме токарной обработки. Державку с жестко закрепленным или подпружиненным алмазным наконечником обычно устанавливают в резцедержателе токарного станка вместо резца (рис. 7). Сила прижатия державки с алмазом 1 к детали задается тарированной пружиной 2 по индикатору 3.



*Рис. 7. Схема упругой державки для алмазного выглаживания наружных поверхностей*

Упругое выглаживание проще и удобнее для применения в производственных условиях.

Преимущество устройств с упругим элементом нагружения — постоянство заданной силы выглаживания независимо от погрешностей установки и точности геометрической формы обрабатываемой поверхности. Приспособления с механической системой нагружения с помощью пружины получили наибольшее распространение.

Технологическая оснастка позволяет выглаживать наружные и внутренние цилиндрические, сферические, плоские поверхности, а также глубокие отверстия.

Движения детали и алмаза такие же, как при обтачивании. Алмаз, выполненный в виде полусферы радиусом 1...5 мм или цилиндра, не вращается, а скользит с весьма малым коэффициентом трения по поверхности детали. Алмаз закрепляют в державке механически, припоем или клеем и полируют до  $Ra=0,05$  мкм.

Сила прижатия алмаза к детали сравнительно мала и составляет 50...300 Н, в то время как при обкатывании роликом она составляет 2...20 кН и более. Выглаживание ведется со скоростью 50...200 м/мин, с применением СОЖ, например, смазыванием веретенным маслом; число проходов не должно быть более двух. Скорость выглаживания ограничивается контактной температурой и повышенным износом алмаза.

Оптимальные режимы алмазного выглаживания некоторых металлических покрытий (хромированных, никелированных, никель-фосфорных, серебряных) следующие: радиальная сила  $P_y=100...200$  Н, подача 0,05...0,08 мм/об, радиус сферического алмаза 2...5 мм.

Рекомендуемые режимы алмазного выглаживания закаленных сталей твердостью 50...62 HRC<sub>3</sub>: радиальная сила  $P_y=120...250$  Н; подача



0,02...0,04 мм/об; скорость обработки 50...100 м/мин; СОЖ — масло промышленное И-20А.

Детали из алюминиевых сплавов рекомендуется выглаживать при следующих режимах: радиальная сила  $P_r=80\ldots120$  Н; подача 0,06...0,10 мм/об; скорость 50...200 м/мин; СОЖ — керосин.

Радиус сферического алмаза выбирается в зависимости от твердости материала детали. Для выглаживания твердых материалов (закаленных сталей) рекомендуется применять алмазы с радиусом сферы 1...1,5 мм, а для мягких материалов (цветных сплавов) — 3...5 мм.

Алмазное выглаживание позволяет обрабатывать тонкостенные детали и детали сложной формы, не требуют специального оборудования и приспособлений.

Алмазным выглаживанием можно увеличить износостойкость деталей (главным образом в период приработки). Это объясняется закруглением вершин микронеровностей и снижением шероховатости, большей относительной площадью опорной поверхности выглаженных деталей. Кроме того, повышению износостойкости способствует деформационное упрочнение (до оптимальной степени). Для каждого конкретного условия эксплуатации деталей существует оптимальная шероховатость поверхности, обеспечивающая максимальную износостойкость.

Повышение коррозионной стойкости деталей после алмазного выглаживания объясняется преобладающим действием таких факторов, как сглаживание гребешков и устранение на поверхности рисок, царапин, микротрещин, где концентрируются и откуда начинают разрушение вещества, вызывающие коррозию. С другой стороны, пластическая деформация повышает термодинамическую неустойчивость металлов и способствует коррозии. С целью повышения коррозионной стойкости рекомендуется алмазное выглаживание проводить с несколько меньшими усилиями, чтобы эффект сглаживания был сильнее, чем отрицательное, снижающее коррозионную стойкость, влияние наклепа.

Путем выглаживания может быть снижена высота микронеровностей поверхности в 4...5 раз. Шероховатость выглаженной поверхности зависит от исходной. При исходной шероховатости  $Ra=0,1\ldots0,4$  мкм может быть достигнута шероховатость выглаженной поверхности  $Ra=0,025\ldots0,1$  мкм. Исходная шероховатость поверхности из алюминиевых сплавов допускается выше, чем для закаленных сталей. Чем пластичнее материал, тем в меньшей мере достигаемый параметр шероховатости зависит от исходного. Высота микронеровностей снижается при уменьшении подачи, увеличении радиуса алмаза и усилия выглаживания.

В результате алмазного выглаживания размер деталей может изменяться на 3...5 мкм, что необходимо учитывать при обработке поверхностей с размерами 5...6 квалитета точности.

При увеличении до оптимального значения усилия выглаживания возрастает глубина и степень наклепа. Превышение оптимального значения силы выглаживания может привести к увеличению высоты шероховатости, разрушению поверхностного слоя и появлению трещин. При выглаживании с оптимальными режимами обеспечивается степень упрочнения 25...40% при глубине упрочненного слоя до 0,4 мм и создаются сжимающие остаточные напряжения.

Улучшение эксплуатационных характеристик после алмазного выглаживания выражается в следующем: предел выносливости деталей повышается на 40...100%; контактная усталостная прочность деталей с металлопокрытиями — на 30...60%.

Алмазному выглаживанию подвергаются поверхности тел вращения и плоские поверхности деталей из различных конструкционных материалов (валы компрессора и турбины, торцы гасек, переходники, втулки и др.), а также детали с металлическими покрытиями (хромированные, никелированные и др.). Алмазным выглаживанием можно подготавливать поверхности под покрытие, например, хромирование, что обеспечивает высокое качество и прочность хромового покрытия.

Высокая твердость алмаза позволяет выглаживать стали, закаленные до твердости 60...65 HRC.

Алмазное выглаживание не может применяться в случае, если предшествующая обработка не обеспечивает требуемой точности, так как параметры точности после выглаживания остаются практически без изменения. Вследствие хрупкости алмаза затруднена обработка прерывистых поверхностей. Не подвергаются алмазному выглаживанию титановые сплавы и ряд тугоплавких металлов, которые вследствие адгезии налипают на алмаз. Алмазное выглаживание по сравнению с обкатыванием шариками или роликами обеспечивает меньшую производительность.

*Вибронакатывание или вибровыглаживание* осуществляется упрочняющим элементом — шариком или сферическим алмазом, который устанавливается в резцедержатель токарного станка, и специальным устройством (вибратором) ему сообщается помимо обычного движения с продольной подачей дополнительное колебательное движение с малой амплитудой.

На рис. 8 показана схема вибронакатывания алмазным наконечником с радиусом сферы 1,5...4 мм, установленным с эксцентриситетом  $e=0,01...2$  мм, который вращается со скоростью более 1000 об/мин; деталь вращается со скоростью 50...400 об/мин, продольная подача алмаза 0,05...1 мм/об, усилие накатывания 100...400 Н.

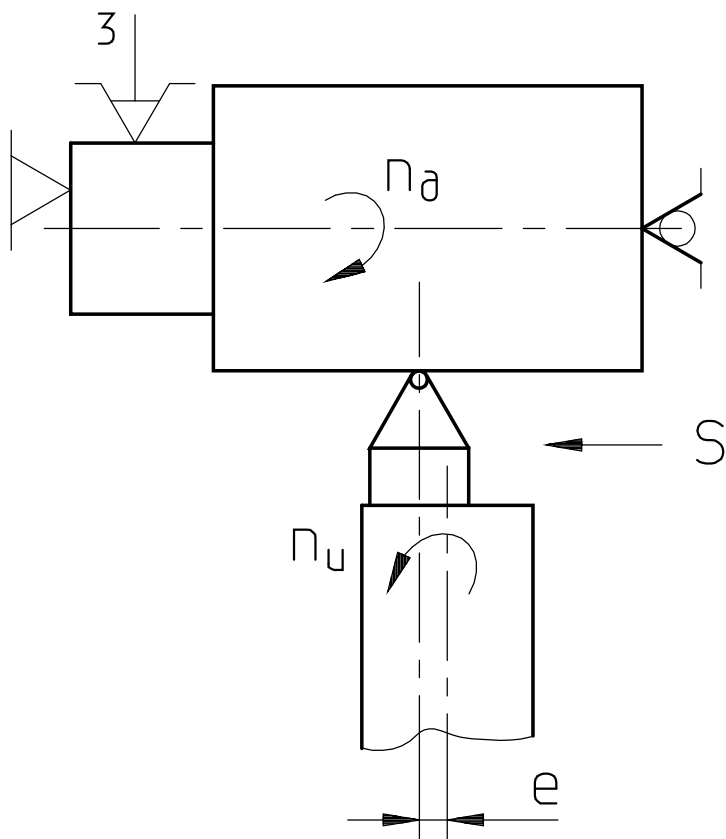


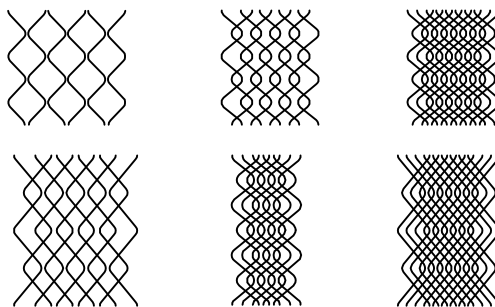
Рис. 8. Схема вибронакатывания

Изменяя скорость накатки, продольную подачу, амплитуду и частоту колебаний, можно на поверхности детали получить, т.е. выдавить слабозаметные, прилегающие друг к другу синусоидальные канавки, создающие требуемый рисунок. На рис. 9 показаны разновидности регулярного микрорельефа поверхности детали после вибронакатывания или вибровыглаживания.

Распространение получили рисунки с непересекающимися канавками, с неполностью пересекающимися и с пересекающимися.

Шариком можно выдавливать канавки на поверхности материалов твердостью до 40 HRC, алмазом — до 62 HRC.

Канавки играют роль карманов, в которых скапливается смазочный материал и мелкие частицы, образовавшиеся в процессе изнашивания. Вибронакатывание или вибровыглаживание повышает износостойкость деталей, стойкость против фреттинг-коррозии и одновременно упрочняет поверхность.



*Рис. 9. Регулярный микрорельеф поверхности деталей после вибронакатывания или вибровыглаживания*

Имеются положительные результаты снижения фреттинг-коррозии на кинематически неподвижном сопряжении — кольцевом подпятнике (сопряжения типа нецентрально нагруженных дисков). Детали сопряжения изготавливаются из стали 12Х2Н4А, одна из контактирующих деталей цементуется и закаливается до твердости 60...62 HRC<sub>3</sub>, другая только закаливается до твердости 40...42 HRC<sub>3</sub>. Поверхности деталей шлифованные, шероховатость  $Ra=0,1$  мкм. Условия эксплуатации сопряжения следующие: амплитуда относительного смещения 50...150 мкм, частота смещений 8 Гц, контактное давление около 60 МПа, смазкой является гипоидное масло.

Регулярный микрорельеф, нанесенный на поверхность цементованной закаленной детали, с шагом микронеровностей около 100 мкм, глубиной 40 мкм, алмазным индентором с радиусом сферы 0,1 мм позволяет снизить интенсивность фреттинг-коррозии.

Режимы алмазного вибровыглаживания: усилие выглаживания 150 Н, подача индентора 0,13 мм/об, скорость вращения детали 20 об/мин, эксцентриситет вибраций индентора 1,2 мм, их частота 24 Гц, в качестве смазки — масло промышленное. Шаг микронеровностей выглаженной поверхности сопоставим с амплитудой относительного смещения контактирующих деталей при их эксплуатации.

После такой обработки на контактирующих поверхностях отсутствуют каверны и налипание металла, исключается износ схватыванием, а работоспособность сопряжения ограничивается только предельным износом микрорельефа. Величина износа микрорельефа прямо пропорциональна времени изнашивания, что позволяет прогнозировать ресурс работы сопряжения.

Операции механического упрочнения обычно являются окончательными в технологическом процессе изготовления деталей.

*Контроль качества* поверхностного слоя деталей, подвергаемых механическому упрочнению, осуществляется по величине деформации образцов-свидетелей, которые упрочняют совместно с деталями. Образцы-свидетели изготавливаются в виде пластин или колец. У плоских образцов

измеряется величина прогиба; у кольцевых, разрезаемых после упрочнения, измеряется увеличение диаметра. Проводится визуальный контроль сплошности упрочнения поверхности. Также контролируется шероховатость поверхности путем измерения или сравнения с эталонной. Качество упрочнения обеспечивается соблюдением заданных режимов, условий и времени обработки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологические методы поверхностного упрочнения деталей не ограничиваются выше рассмотренными. К упрочнению поверхностным пластическим деформированием относят также гидроабразивную обработку, виброполирование и др.[9].

Кроме того, сюда можно отнести формообразующие технологические методы, такие, как накатывание поверхностей в холодном состоянии, сопровождающееся упрочнением деталей. Накатанные детали имеют более высокое сопротивление усталости. Это объясняется тем, что при формообразовании накатыванием волокна материала заготовки не перерезаются, как при обработке резанием. Профиль накатываемых деталей образуется за счет вдавливания профиля инструмента в материал заготовки и выдавливания части его во впадины инструмента. Такие методы сочетают в себе функции черновой и чистовой обработок. Их используют для получения мелких шлицев и резьбы на валах и зубьев на венцах мелко модульных зубчатых колес. Накатывание обеспечивает очень высокую производительность, низкую себестоимость и высокое качество обработанных поверхностей деталей [1].

Упрочняющие технологические методы продолжают совершенствоваться, а область их применения — расширяться.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов. — М.: Машиностроение, 1985. — 448 с.
2. Евстигнеев М.И. и др. Технология производства двигателей летательных аппаратов. — Машиностроение, 1982. — 260 с.
3. Козлов В.Н., Перминов А.Е. Уменьшение фреттинг-коррозии стальных деталей. //Машиностроитель, 1989, №10.
4. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник. — М.: Машиностроение, 1987. — 328 с.
5. Рыковский Б.П. и др. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом. — М.: Машиностроение, 1985. — 152 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — 656 с.
7. Сулима А.М. и др. Основы технологии производства газотурбинных двигателей. — М.: Машиностроение, 1996. — 486 с.
8. Сулима А.М. и др. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
9. Хворостухин Л.А. и др. Технология поверхностного упрочнения деталей летательных аппаратов. Учебное пособие. — М.: МАТИ, 1975. — 104 с.
10. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. М.: Машиностроение, 1982. — 260 с.