

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

А. Г. Кисель

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки
15.03.01 Машиностроение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2024

УДК 67.05

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Кисель, А. Г.

Перспективные технологии автоматизированного машиностроения: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение / А. Г. Кисель – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 30 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля студентов по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение.

Табл. 3, список лит. – 3 наименования

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 20 февраля 2024 г., протокол № 5

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28 июня 2024 г., протокол № 6

УДК 67.05

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2024 г.
© Кисель А. Г., 2024 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	21
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	25
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ	29

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и производство газотурбинных двигателей (ГТД) является одним из научно-технических направлений, в котором участвуют только страны высокого технологического уровня. Это объясняется сложностью задач, лежащих на стыке материаловедения, машиностроительных переделов высокого уровня и информационных технологий. Повышение конкурентоспособности российской авиатехники и ее доли на мировом рынке является одним из приоритетов, заданных Стратегией национальной безопасности Российской Федерации. В рамках реализации Стратегии ключевой задачей является обеспечение внедрения и активного использования инновационных цифровых технологий при разработке, производстве и эксплуатации продукции.

Современный этап развития авиационной техники характеризуется ужесточением эксплуатационных параметров конструкции изделий, увеличением мощности, применением новейших материалов для повышения эффективности и увеличения ресурса изделия. Авиационная промышленность и авиадвигателестроение исторически являются лидерами применения инновационных технологий и новых материалов, а безопасность и высочайшие требования к качеству – важнейшие показатели производства газотурбинных двигателей и установок.

В турбореактивных двигателях ближайшей перспективы (2024–2026 гг.) будут существенно повышены параметры рабочего процесса и степень двухконтурности, а в их конструкции будут широко применяться композиционные материалы как в «холодной», так и в «горячей» частях двигателя. Керамические композиционные материалы (ККМ) находят применение для жаровой трубы камеры сгорания, лопаток соплового аппарата (СА) и рабочего колеса (РК) второй ступени ТВД и других ответственных высоконагруженных компонентов ГТД.

Дисциплина «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» относится к блоку 1 части ОПОП ВО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение.

Целью освоения дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» является формирование у студентов знаний по проектированию типовых и групповых технологических процессов на основе применения гибких автоматизированных систем с использованием модульного принципа описания машины как объекта машиностроительного производства.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

– особенности перспективных технологий нового поколения;

- особенности гибкого автоматизированного производства;
- метод групповой обработки деталей машин;
- перспективные технологии изготовления разных групп деталей машин в автоматизированном машиностроении;

- модульный принцип описания машин как технической системы;

уметь:

- использовать источники информации при самостоятельной работе по освоению разделов и тем дисциплины;

- обеспечивать техническое оснащение рабочих мест автоматизированным оборудованием с числовым программным управлением и гибкими производственными системами (ГПС);

- применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий;

- подготавливать исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений при проектировании перспективных технологий;

- разрабатывать типовые и групповые технологические процессы изготовления деталей машин в автоматизированном машиностроении;

владеть:

- навыками проектирования типовых и групповых технологических процессов изготовления деталей машин в автоматизированном производстве;

- навыками применения модульного принципа описания машин как технической системы;

- навыками разработки технологической документации при внедрении групповой технологии изготовления деталей машин в автоматизированном машиностроительном производстве;

- навыками проектирования комплексной детали с созданием модулей поверхностей и комплексной заготовки.

При реализации дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» организуется практическая подготовка путем проведения практических работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые задания и задания к практическим работам. Тестирование и решение практических задач

обучающихся проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых заданий и заданий к практическим работам представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания;
- задания для практических работ.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме зачёта (7 семестр), относятся:

- задания для контрольной работы (заочная форма обучения);
- контрольные вопросы по дисциплине.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена (8 семестр), относятся:

- задания для курсового проекта;
- экзаменационные вопросы по дисциплине.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;
- получившие положительную оценку при защите курсового проекта.

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

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Критерий				
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	которых может связывать между собой)	взгляда на изучаемый объект		
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

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

Для успешного освоения дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для организации самостоятельной работы студентов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях, выполнять курсовой проект и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции, с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области технологического оборудования и оснастки, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

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

Таблица 2 – Структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Оборудование и технологии обработки фасонных деталей сложной формы из высокопрочных, жаростойких сплавов на многоцелевых обрабатывающих центрах
2	Оборудование и технологии протягивания для производства дисков и лопаток газотурбинных двигателей и установок
3	Аддитивные технологии для изготовления деталей и узлов газотурбинных двигателей
4	Лазерные технологии аддитивной наплавки и сварки для изготовления и ремонта деталей и узлов газотурбинных двигателей
5	Оборудование, технологии и методы шлифования лопаток газотурбинных двигателей
6	Оборудование, технологии и методы сверления отверстий охлаждения в лопатках
7	Адаптивное управление и автоматизация процессов обработки деталей с целью обеспечения требуемых эксплуатационных показателей ответственных узлов и машин в современном производстве
8	Оборудование, технологии и методы автоматизированной адаптивной размерной полировки лопаток турбин
9	Оборудование и технологии для контроля формы и размеров
10	Оптические и лазерные измерительные системы (ИС) контроля ДСЕ. Применение ИС для контроля качества и обеспечения надежности процесса сборки ответственных изделий

Номер темы	Содержание лекционного занятия
11	Оборудование и технологии для неразрушающего контроля качества поверхности, внутренних дефектов
12	Методология технологического перевооружения производства и инжиниринга многовариантного перспективного технологического процесса

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

Тема 1. Оборудование и технологии обработки фасонных деталей сложной формы из высокопрочных, жаростойких сплавов на многоцелевых обрабатывающих центрах

Ключевые вопросы темы

1. Факторы, определяющие эффективность применения МОЦ
2. Конструкция и технологические возможности многоцелевых обрабатывающих центров
3. Программирование обработки
4. Адаптивное управление процессом обработки
5. Применение МОЦ для обработки деталей ГТД
6. Гибридные технологические возможности многоцелевых обрабатывающих центров

Ключевые понятия: многооперационная обработка, валы и диски турбин, гибридные технологии, additive technology.

Литература: [1, с. 8–34].

Методические рекомендации

Проектирование и производство современных, сложнотехнологических машин, к числу которых относятся газотурбинные двигатели (ГТД) и установки, характеризуется все более возрастающими требованиями к эксплуатационным характеристикам и показателям надежности изделий. Это, в свою очередь, усложняет конструкцию ответственных деталей ГТД, ужесточает требования к точности и качеству их изготовления и обуславливает применение все более труднообрабатываемых сталей и сплавов с целью обеспечения рабочих параметров машин. Вышеназванные факторы существенно повышают

трудоемкость изготовления большинства деталей.

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется эффективность МОЦ?
2. Каковы технологические возможности МОЦ?
3. Что из себя представляет управляющая программа для МОЦ?
4. Для каких деталей ГТД применяются МОЦ?
5. В чем заключаются гибридные технологические возможности МОЦ?

Тема 2. Оборудование и технологии протягивания для производства дисков и лопаток газотурбинных двигателей и установок

Ключевые вопросы темы

1. Оборудование и методы
2. Обеспечение точности, надежности и автоматизации процесса обработки
3. Технология протягивания

Ключевые понятия: газотурбинный двигатель, оптимизация, технология, протягивание, диск, лопатка

Литература: [1, с. 35–49].

Методические рекомендации

Для авиационного двигателестроения характерно наличие блока критических базовых деталей и технологий их изготовления, обеспечивающих, а фактически гарантирующих работоспособность и надежность газотурбинных двигателей (ГТД). К числу таких деталей относятся в первую очередь диски, лопатки и направляющие кольца компрессора и турбины. Высочайшие требования к дискам определяются тем, что:

- они работают в условиях одновременного действия растягивающих, термоциклических и циклических нагрузок;
- конструктивно диски выполнены таким образом, что в них возникают различные концентраторы напряжений (вблизи отверстий, галтелей, шлицевых пазов, пазов для замков лопаток).

Вопросы для самоконтроля

1. Какие методы и оборудование применяются при операции протягивания для производства лопаток и дисков ГТД?
2. За счет чего обеспечивается точность и надежность процесса протягивания?

3. В чем заключается технология протягивания?
4. Какие инструменты применяются при операции протягивания?

Тема 3. Аддитивные технологии для изготовления деталей и узлов газотурбинных двигателей

Ключевые вопросы темы

1. Аддитивные технологические процессы изготовления деталей
2. Методы аддитивных технологий и материалы
3. Контроль качества и размеров в аддитивном производстве

Ключевые понятия: лопатка, аддитивные технологии, методы контроля

Литература: [1, с. 50–78].

Методические рекомендации

Находит всё более широкое применение в производстве класс технологий, называемых аддитивными, в которых построение модели формообразования детали осуществляется методом добавления материала (от англ. add – добавлять) в отличие от традиционных технологий, где формообразование детали происходит путем удаления «лишнего» материала.

Аддитивные технологические процессы используют для изготовления деталей новых высокоточных изделий, в научных исследованиях благодаря гибкости, оперативности и экономичности процесса, в особенности для изготовления прототипа.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое аддитивное производство?
2. Какие технологии изготовления деталей в аддитивном производстве существуют?
3. Какие материалы для изготовления деталей применяют в аддитивном производстве?
4. Какие материалы нельзя использовать для изготовления деталей в аддитивном производстве?
5. Как контролируют качество и размеры деталей в аддитивном производстве?

Тема 4. Лазерные технологии аддитивной наплавки и сварки для изготовления и ремонта деталей и узлов газотурбинных двигателей

Ключевые вопросы темы

1. Оборудование для технологий лазерной обработки
2. Лазерная наплавка и сварка ДСЕ
3. Адаптивное управление процессом наплавки

Ключевые понятия: лазерная адаптивная наплавка, ремонт, блиск, лопатка, компрессор высокого давления, лазерная сварка, перфорация отверстия, технология

Литература: [1, с. 79–100].

Методические рекомендации

Наиболее универсальным методом аддитивных технологий, пригодным как для изготовления, так и для ремонта габаритных сложных деталей и узлов, является метод прямого лазерного осаждения/наплавки металла LMD (LaserMetal Deposition), при котором через струю газовой взвеси порошка пропускается лазерный луч.

Режим излучения и время полёта частицы порошка в поле лазера автоматически поддерживаются таким образом, что оболочка порошка оплавляется, а ядро остается твёрдым. Нет сплошного проплавления. В результате объём жидкой фазы мал, что обеспечивает очень высокие скорости кристаллизации. Это сохраняет и даже улучшает структуру сгенерированного материала.

Высокий уровень гибкости и технологические возможности лазерной обработки актуальны при производстве прототипов новых изделий для изготовления компонентов и ремонта деталей из жаропрочных никелевых и титановых сплавов методами лазерной резки, сварки и наплавки LMD.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое блиск?
2. Какое оборудование применяется для технологий лазерной обработки?
3. В чем заключаются технологии лазерной наплавки и сварки ДСЕ??
4. Как выполняется адаптивное управление процессом наплавки?

Тема 5. Оборудование, технологии и методы шлифования лопаток газотурбинных двигателей

Ключевые вопросы темы

1. Методы шлифования лопаток
2. Обработка типовых поверхностей рабочих лопаток турбин
3. Комплексная обработка типовых поверхностей лопаток
4. Особенности обработки лопаток из композитных материалов

5. Технологии комбинированной обработки

Ключевые понятия: лопатки газотурбинных двигателей, методы шлифования, производительность, качество

Литература: [1, с. 101–126].

Методические рекомендации

Повышение технико-экономических показателей современных машин обеспечивается за счет применения новых жаростойких и износостойких материалов и сплавов, которые характеризуются более чем на порядок худшей обрабатываемостью. Эта тенденция наиболее актуальна для такого класса сложнейших машин, как газотурбинные двигатели (ГТД) для авиации, наземных энергетических и газоперекачивающих установок.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие существуют методы шлифования лопаток?
2. Какие типовые поверхности лопаток обрабатывают методом шлифования?
3. В чем заключается комплексная обработка поверхностей лопаток?
4. В чем особенности обработки лопаток из композитных материалов?
5. Какова технология комбинированной обработки лопаток?

Тема 6. Оборудование, технологии и методы сверления отверстий охлаждения в лопатках

Ключевые вопросы темы

1. Существующие методы резки отверстий
2. Оборудование и инструменты для резки отверстий
3. Параметры, определяющие выбор оборудования и методов получения отверстий лопаток

Ключевые понятия: отверстия охлаждения, эрозионные методы, лазерные методы, гидроабразивные методы

Литература: [1, с. 127–170].

Методические рекомендации

Большинство турбинных рабочих и сопловых лопаток современных газовых турбин имеют вентиляционные отверстия, предназначенные для охлаждения пера лопатки в условиях действия высоких рабочих температур.

Количество таких отверстий может достигать до нескольких сотен на одной детали. В большинстве случаев эти отверстия располагаются под углом около 30° к поверхности лопатки, и практически всегда эти лопатки покрываются термозащитным покрытием (ТЗП). Форма отверстий, как правило, цилиндрическая, хотя в современных турбинах эти отверстия комбинированные, с различной входной зоной.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие методы применяют для получения отверстий в лопатках? В чем их достоинства и недостатки?
2. Какое оборудование применяется для получения отверстий в лопатках?
3. Какие инструменты применяют для получения отверстий в лопатках?
4. Чем определяется выбор того или иного метода получения отверстий?

Тема 7. Адаптивное управление и автоматизация процессов обработки деталей с целью обеспечения требуемых эксплуатационных показателей ответственных узлов и машин в современном производстве

Ключевые вопросы темы

1. Методы обработки и оборудование
2. Технологические параметры и свойства оборудования
3. Технология контроля и шлифования сопловой лопатки
4. Автоматизация процесса

Ключевые понятия: газотурбинный двигатель, сопловой аппарат, лопатка, оптимизация, технология, адаптивное управление, роботизация

Литература: [1, с. 171–182].

Методические рекомендации

Одной из основных характеристик технологических процессов обработки в современном «Производстве 4.0» / «Цифровом производстве» является информационное обеспечение процесса на всех этапах: от момента получения заготовки до финишной обработки деталей, сборки узлов и механизмов. В значительной степени эффективность информационного обеспечения технологического процесса возрастает при изготовлении ответственных деталей машин, заготовки которых имеют погрешности взаимного расположения базовых поверхностей; сложную геометрическую форму, затрудняющую надежное базирование и зажим; малую протяженность базовых установочных поверхностей; длинную сложную размерную цепь в сборочном узле и др. Названные факторы приводят к погрешностям взаимного

расположения рабочих и установочных поверхностей деталей, что влияет на основные параметры при узловой сборке и в конечном итоге отражается на эксплуатационных показателях машины. Это в полной мере относится к сопловому аппарату авиационного двигателя. Сопловой аппарат – важнейший узел газотурбинного двигателя (ГТД), параметры которого обеспечивают тяговые характеристики машины. Экономичность турбины, ее КПД в первую очередь зависят от качества изготовления и сборки соплового аппарата, который является самым дорогим и наиболее ответственным узлом турбины. Основное назначение соплового аппарата – обеспечение подачи определенного объема газовой смеси в камеру сгорания, величина которого зависит от площади проходного сечения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое оборудование применяется для автоматизации процессов обработки ответственных деталей и узлов?
2. Каковы технологические параметры и свойства такого оборудования?
3. В чем особенности шлифования сопловой лопатки?
4. В чем заключается технология контроля сопловой лопатки?
5. Как можно автоматизировать процесс шлифования и контроля сопловой лопатки?

Тема 8. Оборудование, технологии и методы автоматизированной адаптивной размерной полировки лопаток турбин

Ключевые вопросы темы

1. Основные показатели качества и точности лопаток
2. Методы автоматизированной, программно-управляемой адаптивной размерной полировки
3. Информационное обеспечение процесса. Измерительные системы
4. Технологические параметры и модель адаптивного управления процессом
5. Разработка программно-управляемой технологии адаптивной обработки
6. Технологические результаты
7. Автоматизированное размерное шлифование/полирование лопаток на станке
8. Оптимизация процесса

Ключевые понятия: лопатки газотурбинного двигателя, механическая обработка, полировка, шлифование, технологические процессы, адаптивное управление, роботизация

Литература: [1, с. 183–209].

Методические рекомендации

В значительной степени эффективность информационного обеспечения технологического процесса возрастает при изготовлении ответственных деталей машин, заготовки которых имеют погрешности взаимного расположения базовых поверхностей; сложную геометрическую форму, затрудняющую надежное базирование и зажим. Это в полной мере относится к обработке лопаток авиационного двигателя.

Эффективность компрессора, КПД турбины и топливная экономичность в значительной степени зависят от качества изготовления лопаток. Трудоемкость изготовления лопаток современной мощной газовой турбины достигает 40 % от общей трудоемкости изготовления всех ее деталей. Окончательное формирование параметров точности и качества поверхности, усталостной прочности лопаток осуществляется в значительной степени на финишных операциях механической обработки, к которым относятся процессы шлифования, размерной полировки.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие показатели считаются основными при определении качества и точности лопаток?
2. Какие существуют методы автоматизированной, программно-управляемой адаптивной размерной полировки?
3. Как выполняется разработка программно-управляемой технологии адаптивной обработки?
4. Как можно автоматизировать размерное шлифование/полирование лопаток на станке?
5. Как можно оптимизировать процесс размерного шлифования/полирования лопаток?

Тема 9. Оборудование и технологии для контроля формы и размеров

Ключевые вопросы темы

1. Координатно-измерительные машины
2. Шарнирно-сочлененные мобильные измерительные системы – «Измерительная рука»
3. Оптические 3D-сканеры
4. Статистическая обработка данных, результатов измерений ДСЕ

Ключевые понятия: методы контроля, контрольно-измерительная машина, лазерный, оптический

Литература: [1, с. 210–239].

Методические рекомендации

Современное серийное и опытное производство прецизионных деталей и сборочных узлов невозможно представить без автоматического контроля геометрических параметров. Необходимость контроля и учета геометрических параметров каждого изделия с возможностью дальнейшего использования этой информации для оптимизации процесса – один из ключевых элементов «Индустрии 4.0». Для обеспечения возможности подобного контроля необходима разработка высокопроизводительных автоматических систем контроля с роботизацией вспомогательных процессов.

В условиях современного производства, особенно в таких отраслях, как авиационная и аэрокосмическая, требования к точности и скорости измерений непрерывно повышаются. По этой причине возрастает роль измерительных средств, точность которых должна быть в 3–4 раза выше, чем допустимая погрешность. В соответствии с этими тенденциями в последние годы наблюдается стремительное развитие конструкций и технических возможностей координатно-измерительных машин (КИМ) и измерительных систем (ИС). Несмотря на разнообразие моделей средств измерений 3D-параметров, их можно сгруппировать по типам исполнения:

- 1) координатно-измерительные машины;
- 2) шарнирно-сочлененные – «измерительная рука»;
- 3) оптические 3D-сканеры.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое КИМ? Каков принцип работы КИМ?
2. Что такое шарнирно-сочлененные мобильные измерительные системы («Измерительная рука»)? Каков их принцип действия? В чем отличие от КИМ?
3. Принцип действия оптических 3D-сканеров.
4. Как производится статистическая обработка данных, результатов измерений ДСЕ?

Тема 10. Оптические и лазерные измерительные системы (ИС) контроля ДСЕ. Применение ИС для контроля качества и обеспечения надежности процесса сборки ответственных изделий

Ключевые вопросы темы

1. Принцип работы лазерных систем контроля
2. Применение лазерных систем автоматизированного оптического контроля для цифровизации и измерения изделий
3. Измерение отклонения расположения узлов ГТД с помощью

оптических измерительных систем. Контроль наличия и правильности установки узлов

Ключевые понятия: сборка, контроль, цифровизация, САД-модель

Литература: [1, с. 240–268].

Методические рекомендации

Научно-технический прогресс в машиностроении сопровождается постоянным ростом сложности конструкций, повышением требований к качеству и технико-экономическим характеристикам выпускаемых изделий. Создание инновационных изделий в значительной мере сдерживается имеющимся уровнем технологии их изготовления и сборки.

Процесс сборки является завершающим и наиболее ответственным этапом производства любого изделия, и с позиций ключевых положений технологии машиностроения – теорий базирования и размерных цепей – его можно представить как сопряжение базовых поверхностей деталей и узлов с формированием замыкающего звена конструкторской размерной цепи механизма. Данные положения лежат в основе автоматизированных методов сборки с применением цифровых технологий и используются для гарантированного достижения качества и идентичности изделия с конструкторскими требованиями. Контроль правильности положения ДСЕ в изделии – важнейшая задача.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается принцип работы лазерных систем контроля ДСЕ?
2. Для чего применяют лазерные системы автоматизированного оптического контроля при цифровизации и измерении изделий
3. Как производится измерение отклонения расположения узлов ГТД с помощью оптических измерительных систем?

Тема 11. Оборудование и технологии для неразрушающего контроля качества поверхности, внутренних дефектов

Ключевые вопросы темы

1. Основные параметры качества поверхности ответственных деталей ГТД, внутренние дефекты и методы их контроля.
2. Автоматизированный капиллярный контроль деталей.
3. Автоматизированный контроль твердости и сплошности деталей.
4. Ультразвуковой контроль.
5. Магнитопошковые методы неразрушающего контроля.

6. Вихретоковые методы контроля.
7. Тепловой метод неразрушающего контроля.
8. Рентгеновский контроль внутренних дефектов.
9. Неразрушающие методы контроля и анализа напряженно-деформированного состояния.
10. Машинное зрение для фиксации дефектов в автоматическом режиме.
11. Сравнение методов неразрушающего контроля.

Ключевые понятия: методы, неразрушающий контроль, компьютерная томография, результаты, композиты

Литература: [1, с. 269–309].

Методические рекомендации

В решении задач качества и надежности изделий ДСЕ ГТД в большинстве случаев определяющую роль играют методы неразрушающего контроля. Это особенно касается ответственных деталей, которые эксплуатируются в условиях экстремальных механических и температурных нагрузок и обеспечивают эксплуатационную безопасность и надежность продукции.

В условиях глобальной цифровизации производств главными векторами развития неразрушающего контроля становятся максимальная автоматизация методов как способ минимизировать влияние человеческого фактора на процессы контроля на этапах осмотра изделий на наличие дефектов, обработки результатов и достоверность результатов контроля. Большое влияние на ресурс двигателя оказывают дефекты в деталях, которые могут быть пропущены в процессе их производства. На этом принципе основана современная методология расчета ресурса двигателя по концепции безопасного развития дефекта.

Вопросы для самоконтроля

1. Что относится к основным параметрам качества поверхности ответственных деталей ГТД, внутренних дефектов?
2. Принцип действия автоматизированного капиллярного контроля деталей.
3. Принцип действия автоматизированного контроля твердости и сплошности деталей
4. Принцип действия ультразвукового контроля
5. Принцип действия магнитопорошковых методов неразрушающего контроля
6. Принцип действия вихретоковых методов контроля

7. Принцип действия теплового метода неразрушающего контроля
8. Принцип действия рентгеновского контроля внутренних дефектов
9. Какие существуют неразрушающие методы контроля и анализа напряженно-деформированного состояния?
10. Как можно применять машинное зрение при фиксации дефектов в автоматическом режиме?

Тема 12. Методология технологического перевооружения производства и инжиниринга многовариантного перспективного технологического процесса

Ключевые вопросы темы

1. Методология инжиниринга проекта технологического перевооружения производства
2. Методология инжиниринга разработки многовариантного перспективного технологического процесса

Ключевые понятия: методология, инжиниринг, технологическое перевооружение, инвестиционный проект

Литература: [1, с. 310–365].

Методические рекомендации

Машиностроение – база развития всех отраслей промышленности государства. Авиадвигателестроение – это отрасль машиностроения, которая производит наиболее сложные наукоемкие инновационные продукты – газотурбинные двигатели и установки. Основой успешного развития машиностроительной отрасли и авиадвигателестроения является применение прогрессивных инновационных технологий. Негативными факторами, сдерживающими производство наукоемких инновационных изделий, являются:

- физический и моральный износ производственной базы предприятия;
- низкий уровень мобильности и производительности производственных мощностей;
- высокий расход материалов, всех видов энергии при производстве заготовок и деталей;
- большие потери от брака, различного рода дефектов.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается методология инжиниринга проекта технологического перевооружения производства?

2. В чем особенности методологии инжиниринга разработки многовариантного перспективного технологического процесса?

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков в области перспективных технологий автоматизированного машиностроения.

Практические занятия по дисциплине «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

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

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

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Определение структуры и состава автоматической системы инструментального обеспечения ГПС обработки деталей типа тел вращения
2	Проектирование элементов гибкой производственной системы механической обработки
3	Исследование технико-экономических показателей автоматизированной производственной системы
4	Расчет и проектирование механосборочного цеха
5	Построение 3D-модели для 3D-печати
6	Подготовка 3D-модели к печати

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

По результатам защиты отчета преподаватель выставляет экспертную оценку по четырехбалльной шкале – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка «отлично» ставится

обучающемуся обладающему системностью, обстоятельностью и глубиной излагаемого материала, способностью воспроизвести основные тезисы по теме практического занятия, готовому развернуто отвечать на вопросы преподавателя. Оценка «хорошо» ставится обучающемуся обладающему глубиной и системностью излагаемого материала, но имеющему некоторые затруднения при ответе на вопросы. Оценка «удовлетворительно» ставится обучающемуся имеющему недостатки информации по теме практического занятия, имеющему затруднения при ответе на вопросы преподавателя. Оценка «неудовлетворительно» ставится обучающемуся, не обладающему информацией по теме практического занятия, неспособному ответить на вопросы преподавателя.

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

Практические занятия по дисциплине «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» необходимо проводить в компьютерных классах с использованием специального программного обеспечения: КОМПАС-3D, Microsoft Word, Microsoft Excel.

Практическое занятие № 1: Определение структуры и состава автоматической системы инструментального обеспечения ГПС обработки деталей типа тел вращения.

Цель: получение практических умений и навыков определения структуры и состава автоматической системы инструментального обеспечения ГПС обработки деталей типа тел вращения

Задания по практической работе: ознакомиться с принципами построения, классификацией, структурой и характеристиками автоматизированной системы инструментального обеспечения (АСИО).

Литература: [2, с. 17–39].

Контрольные вопросы:

1. Как выполняется планировка участка инструментальной подготовки ГПС?
2. Какие работы осуществляются на участке хранения и комплектования инструментов рабочих мест?
3. Как выполняется проектирование секции сборки и настройки инструмента?
4. Как рассчитывается величина оборотного фонда инструментов?

Практическое занятие № 2: Проектирование элементов гибкой производственной системы механической обработки.

Цель: получение практических умений и навыков проектирования элементов гибкой производственной системы механической обработки

Задания по практической работе: ознакомиться с назначением, структурой гибких производственных систем, с этапами проектирования и расчета ГПС механической обработки.

Литература: [2, с. 40–65].

Контрольные вопросы:

1. Что такое ГПС?
2. Примеры ГПС.
3. Основные этапы проектирования и расчета ГПС механической обработки.
4. Как рассчитывается количество технологического оборудования?
5. Как определяется состав и число работающих?
6. Схемы компоновки ГПС.

Практическое занятие № 3: Исследование технико-экономических показателей автоматизированной производственной системы.

Цель: получение практических умений и навыков повышения производительности труда и эффективности производства

Задания по практической работе: ознакомиться с мероприятиями по повышению производительности труда и эффективности производства, с порядком расчета экономии, полученной от внедрения автоматизации и окупаемости капитальных вложений.

Литература: [2, с. 66–95].

Контрольные вопросы:

1. Мероприятия по повышению производительности труда и эффективности производства.
2. Как рассчитывается экономия, полученная от внедрения автоматизации?
3. Как рассчитывается окупаемость капитальных вложений в автоматизацию?
4. Как рассчитывается эффект от внедрения промышленных роботов и роботизированных комплексов?

Практическое занятие № 4: Расчет и проектирование механосборочного цеха.

Цель: получение практических умений и навыков расчета и проектирования механосборочного цеха.

Задания по практической работе: ознакомиться с принципами проектирования и расчета механосборочных цехов.

Литература: [2, с. 96–130].

Контрольные вопросы:

1. Понятия «Проект», «Цех».
2. Понятия «Предприятие», «Производственный участок».
3. Понятия «Рабочее место», «Вспомогательные подразделения».
4. Понятия «Служебные помещения», «Бытовые помещения».
5. Порядок расчета механосборочного цеха.

Практическое занятие № 5: Построение 3D-модели для 3D-печати.

Цель: получение практических умений и навыков построения 3D-модели для 3D-печати

Задания по практической работе: построить 3D-модель изделия по заданию преподавателя.

Литература: [3, с. 40–53].

Контрольные вопросы:

1. Порядок построения 3D-модели.
2. Что означает понятие «Additive Manufacturing»?
3. В чём заключается суть технологии 3D-печати?
4. Наиболее распространенный формат 3D-файла для 3D-печати.
5. Материалы, применяемые при 3D-печати.

Практическое занятие № 6: Подготовка 3D-модели к печати.

Цель: получение практических умений и навыков подготовки 3D-модели к печати.

Задания по практической работе: подготовить трехмерную модель к печати на 3D-принтере.

Литература: [3, с. 54–62].

Контрольные вопросы:

1. Технология Material extrusion
2. Технология Material jetting.
3. Технология Binder jetting.
4. Технология Sheet lamination.
5. Технология Vat photo polymerization.
6. Технология Powder bed fusion.
7. Технология Directed energy deposition.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» направления подготовки 15.03.01 Машиностроение, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнения контрольной работы.

Контрольная работа оформляется в виде реферата, в котором представлены ответы на два вопроса (темы) из представленного ниже списка. Номера вопросов выбираются по варианту, в качестве которого принимаются две последние цифры номера зачетной книжки. По предпоследней цифре выбирается номер темы из верхней половины списка – номера от 1 до 10. Если цифра в зачетке «0», то берется тема номер 10. По последней цифре выбирается номер из нижней части списка – номера от 11 до 20. Если цифра в зачетке «0», то берется тема номер 20.

Перечень вопросов:

1. SLA-технология 3D-печати.
2. DMP/SLM-технология 3D-печати.
3. SLS-технология 3D-печати.
4. FDM-технология 3D-печати.
5. MJP-технологии 3D-печати.
6. CJP-технологии 3D-печати.
7. DMT-технологии 3D-печати.
8. VJ-технологии 3D-печати.
9. LSPc-технология 3D-печати.
10. Оборудование для технологии наплавки методом LMD.
11. Ультразвуковой неразрушающий контроль.
12. Магнитопорошковые методы неразрушающего контроля
13. Вихретоковые методы неразрушающего контроля.
14. Тепловой метод неразрушающего контроля.
15. Рентгеновский контроль внутренних дефектов.
16. Токарные станки с ЧПУ.

17. Фрезерные станки с ЧПУ.
18. Шлифовальные станки с ЧПУ.
19. Протяжные станки с ЧПУ.
20. Электроэрозионные станки с ЧПУ.

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

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

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

Структура контрольной работы:

- титульный лист (приложение);
- содержание;
- текстовая часть;
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.001-2003, ГОСТ 7.82-2001.

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

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

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

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

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мубаракшин, Р. М. Инновационные технологии и оборудование для производства ответственных деталей газотурбинных двигателей / Р. М. Мубаракшин. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 372 с. – ISBN 978-5-507-46050-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/295994> (дата обращения: 03.07.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Романов, П. С. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Проектирование гибкой производственной системы. Лабораторный практикум: учеб. пособие / П. С. Романов, И. П. Романова; под общей редакцией П. С. Романова. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 156 с. – ISBN 978-5-8114-3604-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206639> (дата обращения: 04.07.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Трофимов, А. В. Компьютерные технологии в машиностроении. Аддитивные технологии: учеб. пособие / А. В. Трофимов. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – 72 с. – ISBN 978-5-9239-1114-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/120060> (дата обращения: 04.07.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт агроинженерии и пищевых систем

Кафедра инжиниринга технологического оборудования

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

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

Контрольная работа № _____

по дисциплине
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ»

Шифр студента _____
Вариант № _____

Работу выполнил:
студент гр. _____
_____ Фамилия И.О.
«__» _____ 202__ г.

Калининград – 20__

Локальный электронный методический материал

Антон Геннадьевич Кисель

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 2,2. Печ. л. 1,9.

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