

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
С. Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Физические основы аддитивных технологий

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Задачи освоения дисциплины

– Изучить физические основы современных аддитивных технологий, таких как селективное лазерное сплавление, селективное лазерное спекание и электронно-лучевая наплавка. Познакомиться с механизмами взаимодействия энергетических потоков (лазера, электронного пучка) с материалами.

– Понять процессы зарождения и развития дефектов (поры, трещины, остаточные напряжения) в материалах, полученных методами аддитивных технологий. Изучить их влияние на свойства материалов и методы их минимизации.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Физика металлов.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Восьмой семестр, зачёт.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными представлениями и понятиями из курсов: Кристаллография, Физика твердого тела, Дефекты в твердых телах, Теория дислокаций.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часов, из которых:

-лекции: 24 ч.

в том числе практическая подготовка: 6 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Введение в аддитивные технологии

- История и этапы развития аддитивных технологий.
- Современные методы аддитивного производства: селективное лазерное сплавление, селективное лазерное спекание, электронно-лучевая наплавка.
- Преимущества и ограничения аддитивных технологий по сравнению с традиционными методами.
- Области применения аддитивных технологий.

Тема 2. Физические основы аддитивных процессов

- Взаимодействие лазера и электронного пучка с материалами.
- Теплопередача в процессе аддитивного получения материалов: зоны термического влияния.
- Механизмы плавления и спекания порошковых материалов.
- Кристаллизация и образование микроструктуры при аддитивном производстве.
- Остаточные напряжения и их влияние на свойства изделий.

Тема 3. Дефекты в аддитивных технологиях

- Классификация дефектов: пористость, трещины, деформации.
- Причины возникновения дефектов: температурные градиенты, неравномерное плавление, параметры сканирования.
- Методы предотвращения и устранения дефектов.
- Анализ распределения напряжений в материалах, получаемых методами аддитивных технологий.
- Энергия дефектов и их влияние на механические свойства изделий.

Тема 4. Механические свойства и микроструктура аддитивных материалов

- Зависимость механических свойств от параметров процесса аддитивного получения материалов.
- Формирование зеренной структуры в материалах, получаемых методами аддитивных технологий.
- Влияние толщины слоя и скорости охлаждения на структуру и свойства изделия.
- Методы анализа микроструктуры: рентгенография, металлографический анализ, компьютерная томография.

Тема 5. Методы контроля качества структуры и свойств аддитивных изделий

- Основные методы контроля качества: визуальный осмотр, рентгенография, ультразвуковая дефектоскопия.
- Изучение пористости и микроструктуры изделий.
- Методы механических испытаний: прочность, твердость, усталостная стойкость.
- Компьютерная томография как инструмент анализа внутренних дефектов.

Тема 6. Оптимизация параметров аддитивного процесса

- Выбор мощности лазера, скорости сканирования и толщины слоя. Влияние параметров процесса на качество изделий.

- Определение способов и параметров перемешивания исходных порошковых материалов с применением метода дискретных элементов.
- Компьютерное моделирование тепловых процессов в аддитивных технологиях.
- Оптимизация геометрических параметров изделий методами компьютерного моделирования (конечных элементов).
- Применение нейронных сетей для прогнозирования влияния параметров процессов аддитивных технологий на структуру и свойства материалов.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения заданий по материалам курса (выступление и работа на практических занятиях), и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение заданий по материалам курса – 40. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачёт в семестре проводится в письменной форме по вопросам. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Промежуточная аттестация заключается в проведении семинарских / практических занятий. На промежуточную аттестацию планируется не более 30 баллов.

Зачет включает 3 вопроса по 10 баллов из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИПК-1.2. Ответы даются в развернутой форме.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации: оценка «зачтено» – от 70 баллов.

Примеры вопросов:

1. Остаточные напряжения в материалах, используемых для получения изделий методами аддитивных технологий: причины и методы их снижения.

2. Принципы взаимодействия лазера с металлическим порошком при аддитивном производстве.

Дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса (разделы 8, 11), позволяющие оценить уровень освоения всей программы. Ответ на уровне формулировки основных определений и представлений.

Например:

Вопрос 1. В чем отличие между селективным лазерным сплавлением и селективным лазерным спеканием?

Вопрос 2. Как скорость сканирования влияет на пористость образцов, получаемых методами аддитивных технологий?

Вопрос 3. Какие параметры электронного луча необходимо оптимизировать для минимизации остаточных напряжений?

Вопрос 4. Как температура плавления материала влияет на выбор метода аддитивной технологии?

И т.д.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Основная и дополнительная учебная литература.

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по

дисциплине.

в) Коллоквиумы и аналитические лабораторные работы с применением практических материалов.

План семинарских и лабораторных занятий по дисциплине.

1. Семинар: «Физические основы селективного лазерного сплавления и селективного лазерного спекания».

2. Семинар: «Физические основы технологии электронно-лучевой наплавки».

3. Семинар. «Анализ микроструктуры образцов из нержавеющей сталей, изготовленных методом селективного лазерного сплавления: сравнение структуры при изменении температурной мощности лазера P , скорости нагрева v , и толщины слоя h ».

4. Семинар. «Выполнение персонального задания».

5. Семинар. «Выполнение персонального задания».

6. Семинар. «Выполнение персонального задания».

Примеры тем персональных заданий:

1. Анализ микроструктуры образцов из алюминиевых сплавов, изготовленных методом селективного лазерного спекания: сравнение структуры при изменении температурной мощности лазера P , скорости нагрева v , и толщины слоя h .

2. Анализ полей температур (и их градиента) при селективном лазерном сплавлении порошков алюминиевых сплавов для различных мощностей лазера P , скоростей сканирования v , и толщин слоя h .

3. Анализ остаточных напряжений в образцах из титана, полученных методом электронно-лучевой наплавки при различных параметрах энергии электронного луча E и скорости перемещения луча v .

4. Анализ влияния скорости сканирования лазера и толщины порошкового слоя на формирование дефектов (поры, трещины) в образцах нержавеющей стали, получаемых методом селективного лазерного сплавления.

5. Анализ влияния энергии электронного луча на ширину зоны термического влияния при обработке никелевых сплавов.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

– углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;

– подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;

– подготовку к зачету.

12. Перечень учебной литературы

а) основная литература:

1. Горунов А.И. Аддитивные технологии и материалы. – Казань.: КНИТУ-КАИ, 2019. – 56 с.

2. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Издательство политехнического университета, 2013. – 221 с.

3. Wang D. Laser Powder Bed Fusion of Additive Manufacturing Technology. – Berlin.: Springer, 2023. – 304 pp.

4. Hang Z. Yu Solid-State Metal Additive Manufacturing: Physics, Processes, Mechanical Properties, and Applications. – Weinheim.: Wiley-VCH, 2024. – 416 pp.

5. Zhou K., Han C. Metal Powder-Based Additive Manufacturing – Weinheim.: Wiley-VCH, 2023. – 317 pp.

б) дополнительная литература:

1. Kar A. Solid State Additive Manufacturing. – Florida.: CRC Press, 2023. – 248 pp.
2. Peyre P. Additive Manufacturing of Metal Alloys 2: Microstructures, Post-processing and Use Properties. – New Jersey.: Wiley-ISTE, 2023. – 288 с.
3. Кочергин А.И. Применение лазерных, плазменных и аддитивных технологий в промышленности. – Минск.: БНТУ, 2019. – 32 с.
4. Осовкая И.И., Антонова В.С. Аддитивные технологии. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 30 с.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной верстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple;

– публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Издательство «Лань» [Электронный ресурс]:/ – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». – М, 2012. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. – URL: <http://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой «Актру».

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

15. Информация о разработчиках

Акимов Кирилл Олегович, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ,
доцент.