

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
**«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
 АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**
 НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра «Материаловедение»



«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник управления

«Научно-образовательная деятельность»

/Д.С. Свириденко

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
(кандидатский минимум)

«Материаловедение»

Научная специальность: **2.6.17. Материаловедение**

Группа научных специальностей: 2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия

Отрасль науки: 2. Технические науки

Уровень образования: Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения: очная

Трудоемкость дисциплины: 8 з.е./288 ч.

Распределение трудоемкости дисциплины по семестрам и видам учебной работы

Вид учебной работы	семестр	
	3	4
Общий объем аудиторных занятия (всего), час, в том числе:	18	18
Лекции	18	18
Практические занятия		
Общий объем самостоятельной работы, час., в том числе:	72	180
подготовка к практическим занятиям	-	-
подготовка реферата	-	-
изучение тем, вынесенных в самостоятельную работу	72	180
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен):		кандидатский экзамен
		36

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденных приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951 и учебного плана подготовки аспирантов по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Автор (ы)


подпись /д.т.н., доц. Лаптев А.Б.
уч. степень, уч. звание, ФИО

Согласовано:

Зав. кафедрой
«Материаловедение»


подпись /д.т.н., доцент Лаптев А.Б.
уч. степень, уч. звание, ФИО

Начальник отдела
«Учебный центр»


подпись / Власюк А.С.
уч. степень, уч. звание, ФИО

1. Кандидатский экзамен по специальной дисциплине представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата технических наук к проведению научных исследований по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

2. Структура и содержание разделов

1. Теоретические основы материаловедения

Строение и свойства материалов

Строение атома и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Электронная структура. Типы межатомных связей в кристаллах.

Кристаллическое строение твердых тел. Типы кристаллических решеток металлов и их характеристика. Реальное строение металлических и неметаллических кристаллов. Анизотропия свойств кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные. Дислокационная структура и прочность металлов.

Фуллерены и нанотрубки. Наноструктурное строение веществ. Процессы самоорганизации дислокационной и фрактальной структур материалов с позиций синергетики.

Основы электронной теории твердых тел

Зонная теория твердых тел. Связь физических свойств с поведением электронов. Теплопроводность, электропроводность и электронная теплоемкость металлов. Термoeлектронная эмиссия. Сверхпроводимость. Электронное строение полупроводников и диэлектриков.

Магнитные свойства материалов. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм.

Формирование структуры металла при кристаллизации

Агрегатные состояния веществ. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации. Самопроизвольная и несамопроизвольная кристаллизация. Форма кристаллических образований. Строение слитка. Полиморфизм. Магнитные превращения. Аморфное состояние металлов. Аморфные сплавы.

Строение пластически деформированных металлов

Структурные изменения в металлах в условиях холодной и горячей пластической деформации. Температура рекристаллизации. Строение металлов после возврата и рекристаллизации. Механизм и стадии процесса рекристаллизации. Условия реализации направленной кристаллизации.

Основы теории сплавов и термической обработки

Условия термодинамического равновесия. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз.

Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения. Эвтектическое и перитектическое превращения. Виды ликвации. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Эвтектоидное превращение. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

Диаграммы состояния железцементита и железогрaфита. Влияние легирующих компонентов на критические точки железа и стали, свойства феррита и аустенита.

Фазовые превращения в стали при нагреве и охлаждении. Процесс образования аустенита при нагреве. Механизм превращений переохлажденного аустенита. Изотермические и термокинетические диаграммы. Влияние состава стали на процесс распада аустенита. Критическая скорость охлаждения при закалке. Мартенситное превращение, механизм и кинетика. Структура и свойства мартенсита. Влияние деформации на мартенситное превращение. Превращения при отпуске стали. Термодинамика и процесс коагуляции. Изменение структуры и свойств при отпуске. Отпускная хрупкость и способы ее предотвращения.

2. Методы исследования структуры и физических свойств материалов

Методы исследования структуры и фазового состава

Металлографические и фрактографические методы исследования, оптическая и электронная, в том числе дифракционная микроскопия (просвечивающий и сканирующий электронные микроскопы). Рентгеновские методы исследования: структурный и спектральный методы анализа.

Методы исследования физических свойств и фазовых превращений в металлах и сплавах

Магнитный и электрический методы анализа фазовых и структурных превращений. Метод термо ЭДС. Метод ядерного магнитного резонанса.

Метод ядерного гамма-резонанса.

Физические методы неразрушающего контроля дефектов материалов

Ультразвуковая дефектоскопия. Рентгеновская и гамма-дефектоскопия. Метод вихревых токов. Магнитная и тепловая дефектоскопия.

3. Механические свойства материалов и методы их определения

Схемы напряженного и деформированного состояния материалов

Плоское и объемное напряженные состояния. Плоская деформация. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения, определение, классификация.

Упругие свойства материалов

Модуль упругости и его зависимость от кристаллической структуры материала. Упругое последствие, упругий гистерезис, внутреннее трение.

Пластическая деформация и деформационное упрочнение

Процессы скольжения и двойникования. Краевые, винтовые и смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Скольжение и переползание дислокаций. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесями. Особенности деформации моно- и поликристаллов. Влияние границ зерен на пластическую деформацию поликристаллов. Дисклинации. Сверхпластичность. Влияние пластической деформации на структуру и свойства материалов. Механизм упрочнения. Деформационное упрочнение. Упрочнение твердых растворов при взаимодействии дислокаций с примесями внедрения. Дисперсионное твердение.

Разрушение материалов

Виды разрушения материалов. Механизмы зарождения трещин. Силовые, деформационные и энергетические критерии локального разрушения. Трещиностойкость. Подходы механики разрушения к выбору конструкционных материалов, расчету размера допустимого дефекта и прогнозированию долговечности. Фрактография как метод количественной оценки механизма разрушения.

Механические свойства материалов и методы их определения

Классификация методов механических испытаний. Значение механических характеристик в материаловедении.

Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, трещиностойкость. Влияние легирования, структуры концентраторов напряжений и масштабного фактора на характеристики механических свойств.

Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на характеристики прочности и пластичности. Динамические испытания на изгиб образцов. Ударная вязкость. Методы определения ударной вязкости и ее составляющих.

Механические свойства, определяемые при циклическом нагружении. Усталость, диаграммы усталости, предел выносливости. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Природа усталостного разрушения. Влияние различных факторов на сопротивление усталости.

Испытания на твердость вдавливанием и царапанием. Триботехнические испытания.

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении и нагреве

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении от комнатных температур до криогенных. Хладостойкость и критическая температура хрупкости, методы определения.

Поведение материалов под нагрузкой при нагреве от комнатных температур до температуры рекристаллизации и выше. Синеломкость и тепловая хрупкость. Жаростойкость и жаропрочность. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Теория рекристаллизационной ползучести. Длительная прочность, диаграммы длительной прочности, предел длительной прочности. Механизм хрупкого разрушения при ползучести. Релаксация напряжений, диаграммы релаксации, релаксационная стойкость. Влияние легирования и структуры на характеристики жаропрочности материалов.

Воздействие внешней среды

Адсорбционные процессы при деформации и разрушении металлов. Эффект Ребиндера. Влияние поверхностно-активных сред на прочность металлов и сплавов.

Закономерности окисления металлов. Коррозия металлов и сплавов под напряжением. Коррозионное растрескивание. Межкристаллитная коррозия. Сопrotивляемость материалов кавитационному и эрозионному разрушению. Влияние радиационного облучения на строение и свойства материалов.

4. Технология химико-термической, термомеханической обработки и поверхностного упрочнения материалов

Термическая обработка стали. Основные виды термической обработки стали. Выбор вида термической обработки в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации. Влияние термической обработки на свойства конструкционных сталей и сварных соединений.

Химико-термическая обработка. Общие закономерности. Цементация с последующей термической обработкой. Азотирование. Влияние легирующих компонентов на толщину, твердость и износостойкость азотированного слоя. Структура и свойства азотированной стали. Нитроцементация стали. Диффузионная металлизация: алитирование, хромирование, силицирование и т.п. Многокомпонентные покрытия. Диффузионное насыщение в ионизированных газовых средах.

Термомеханическая обработка. Основные виды: предварительная высокотемпературная, низкотемпературная. Структура и свойства материалов после термомеханической обработки.

Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия концентрированных потоков энергии. Поверхностное легирование и термическая обработка при лазерном и электронно-лучевом нагреве. Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия пластической деформации. Физическая сущность процесса. Роль остаточных напряжений. Области применения.

Деформация изделий при их обработке и способы ее предупреждения.

5. Металлы и сплавы в машиностроении

Конструкционная прочность материалов

Критерии прочности, надежности, долговечности и износостойкости. Методы повышения конструкционной прочности.

Конструкционные углеродистые и легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Металлургическое качество сталей. Классификация углеродистых сталей по качеству, структуре и областям применения. Влияние углерода и примесей на свойства углеродистых сталей. Углеродистые качественные стали. Автоматные стали. Углеродистые инструментальные стали.

Легированные стали. Влияние легирующих компонентов и примесей на дислокационную структуру и свойства сталей. Классификация и маркировка легированных сталей. Цементуемые (нитроцементуемые) легированные стали. Улучшаемые легированные стали. Пружинные стали общего назначения. Шарикоподшипниковые стали. Износостойкие стали.

Высокопрочные мартенситно-стареющие стали

Принципы легирования. Мартенситное превращение. Влияние легирующих элементов на кинетику фазовых превращений и особенности термической обработки. Экономно легированные мартенситно-стареющие стали. Свойства мартенситно-стареющих сталей и области применения.

Конструкционные и коррозионно-стойкие стали

Общие принципы легирования и структура коррозионно-стойких сталей. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцево-никелевые и хромазотистые аустенитные стали. Высоколегированные кислотостойкие стали. Жаростойкие и окалиностойкие стали.

Жаропрочные стали и сплавы

Принципы легирования жаропрочных сталей и сплавов. Упрочняющие фазы. Жаропрочные стали перлитного и мартенситного классов. Жаропрочные стали аустенитного класса с карбидным и интерметаллидным упрочнением. Жаропрочные и жаростойкие никелевые сплавы. Термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе. Области применения в машиностроении.

Инструментальные стали

Классификация инструментальных сталей по теплостойкости, структуре и областям применения. Быстрорежущая сталь и особенности ее термической обработки. Штамповые стали для деформирования в горячем и холодном состоянии. Стали для форм литья под давлением и прессования.

Чугуны

Свойства и назначение чугунов, принципы классификации. Белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Фазовые превращения при термической обработке чугуна. Применение в машиностроении.

Цветные металлы и сплавы

Алюминий и его сплавы. Классификация алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Литейные алюминиевые сплавы. Особенности термической обработки. Спеченные алюминиевые сплавы. Технологические и механические свойства. Области применения алюминия и его сплавов.

Магний и его сплавы. Классификация магниевых сплавов. Деформируемые и литейные сплавы. Термическая обработка магниевых сплавов. Защита магниевых сплавов от коррозии.

Медь и ее сплавы. Влияние примесей на структуру и свойства меди. Классификация медных сплавов. Латунь, их свойства. Строение и свойства оловянных, алюминиевых, свинцовых, марганцовистых и бериллиевых бронз. Медно-никелевые сплавы. Области применения меди и ее сплавов.

Титан и его сплавы. Классификация легирующих элементов и типы сплавов титана. Механические, технологические и коррозионные свойства титановых сплавов. Водородная хрупкость титановых сплавов. Конструкционные и жаропрочные сплавы титана. Особенности термической обработки.

Цинк, свинец, олово и их сплавы. Припой на оловянистой и свинцовой основах. Антифрикционные сплавы.

Металлы и сплавы с особыми свойствами

Магнитные материалы. Классификация материалов по магнитным свойствам. Кривая намагничивания. Процессы, происходящие при намагничивании монокристалла. Низкочастотные и высокочастотные магнитомягкие материалы. Магнитотвердые деформируемые, литые и спеченные материалы.

Материалы с особыми тепловыми и упругими свойствами. Сплавы с заданными коэффициентом теплового расширения и модулем упругости.

Проводниковые и полупроводниковые материалы. Электропроводность твердых тел. Материалы высокой проводимости: проводниковые, припой, сверхпроводники. Сплавы

повышенного электросопротивления. Контактные материалы. Полупроводниковые материалы. Строение и свойства. Кристаллофизические методы получения сверхчистых материалов. Легирование полупроводников.

Материалы атомной техники. Конструкционные материалы. Ядерное горючее. Теплоносители.

Материалы, обладающие эффектом памяти формы. Классификация, структура, физико-механические свойства. Применение в машиностроении.

6. Неметаллические материалы в машиностроении

Полимеры и пластические массы

Классификация и структура полимерных материалов. Молекулярная структура полимеров. Теории роста полимерных кристаллов. Особенности механических свойств полимеров, обусловленные их строением. Релаксационные свойства. Вязкое течение растворов и расплавов полимеров. Старение и стабилизация полимеров. Типы разрушения полимеров. Влияние внешних факторов на процесс разрушения. Физико-механические, адгезионные, фрикционные, антикоррозионные, диэлектрические свойства полимеров, методы исследования этих свойств.

Состав, классификация и свойства пластических масс. Пластмассы на основе термопластичных и термореактивных полимеров. Отвердители, наполнители, пластификаторы, катализаторы, пигменты, ингибиторы. Методы переработки пластмасс в изделия. Материалы, технология и оборудование для получения полимерных покрытий.

Композиционные материалы

Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Композиционные материалы с нуль-мерными и одномерными наполнителями. Эвтектические композиционные материалы. Композиционные материалы на неметаллической основе.

Механические свойства композиционных материалов, моделирование на ЭВМ разрушения композиционных материалов с использованием свойств армирующих волокон, объемной доли и свойств матрицы. Механизм разрушения.

Основы расчета на прочность изделий из композиционных материалов. Способы компьютерного моделирования состава, структуры, свойств и процесса разрушения композиционных материалов. Области и перспективы применения композиционных материалов в машиностроении.

Резиновые материалы

Состав и классификация резин. Технология приготовления резиновых смесей и формирования деталей из резины. Физико-механические свойства резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резин. Применение резиновых материалов в машиностроении.

Ситаллы, керамические и другие неорганические материалы

Строение, свойства и виды технического стекла, ситаллов, фарфора и фаянса. Тугоплавкие соединения, основные типы, состав, структура, свойства, методы получения, в том числе СВС – самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Нанокристаллические материалы. Стекланные смазки и защитные покрытия. Эмали для защиты металлов. Техническая керамика. Огнеупорные и конструкционные керамические материалы. Применение керамики в машиностроении. Графит и его модификации в качестве конструкционных материалов.

Лакокрасочные и клеящие материалы

Состав и классификация лакокрасочных материалов. Особенности кремнийорганических покрытий. Технологические методы нанесения лакокрасочных покрытий. Технология нанесения лакокрасочных покрытий. Сравнительные свойства лакокрасочных покрытий и их применение в машиностроении.

Клеящие материалы, состав и классификация. Физико-химическая природа. Конструкционные клеи. Состав клеевых соединений. Методы получения клеевых соединений и их испытания. Применение клеевых соединений в машиностроении.

3. Учебно-методическое и информационное обеспечение

Основная литература

1. Уильям Д. Каллистер Материаловедение. От технологии к применению. Металлы, керамика, полимеры [Электронный ресурс] : учебник / Д.Каллистер Уильям, Дж.Ретвич Дэвид. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: Научные основы и технологии, 2011. — 896 с. — 978-5-91703-022-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13216>.- Загл. с экрана.
2. Бондаренко Г.Г. Основы материаловедения / Г.Г. Бондаренко, В.В. Рыбалко; под ред. Г.Г. Бондаренко. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. — 760 с.
3. Воробьев А.А. Материаловедение: учеб./ Д.А. Жуков, Д.П. Кононов, А.А. Соболев, Н.Ю. Шадрина. — М.: Аргамак-Медиа: ИНФРА-М, 2014. — 304 с.
4. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. — М.: ВИАМ, 2017. — 472 с.
5. Белов Н.А., Белов В.Д., Дашкевич Н.И. Фазовый состав многокомпонентных гамма-сплавов на основе алюминидов титана: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. — М.: ВИАМ, 2018. — 348 с.
6. Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Ригин В.Е. Металлургия литейных жаропрочных сплавов: технология и оборудование / под общ. ред. Е.Н. Каблова. — М.: ВИАМ, 2016. — 368 с.
7. Шаров М.В. Теоретические основы литейного производства: конспект лекций. — 2-е изд., с изм. и доп. — М.: ВИАМ, 2016. — 480 с.

Дополнительная литература

1. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения: учеб. пособие: пер. с англ. — М.: / под ред. В.П. Зломанова.- Бином. Лаборатория знаний, 2014. — 400 с.
2. Космическая технология и материаловедение: сб. — М.: Наука, 1982. - 186 с.
3. Мельниченко, А.С. Статистический анализ в металлургии и материаловедении [Электронный ресурс] : учебник / А.С. Мельниченко. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2009. — 268 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2066>. — Загл. с экрана.
4. Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Специальные технологии литья. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 367 с.
5. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие/ В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер и др.; под общ. ред. В.К. Крыжановского. - СПб.: Профессия, 2004. - 464 с.
6. Константинов В.В. Материаловедение для гальваников. — М.: Высшая школа, 1984. — 87 с.
7. Садыкова Ф.Х., Садыкова Д.М., Кудряшова Н.И. Текстильное материаловедение и основы текстильных производств. — М.: Легпром, 1989. - 288 с.
8. Химическая технология стекла и ситаллов/под ред. Н.М. Павлушкина. — М.: Стройиздат, 1983. — 432 с.
9. Справочник по микроскопии для нанотехнологии / под ред. Нан Яо, Чжун Лин Ван; пер. с англ.; науч. ред. И.В. Яминский. - М.: Научный мир, 2011. - 712 с.; ил. - (Фундаментальные основы нанотехнологий: справочники). - Парал. тит. л. англ. - ISBN 978-5-91522.
10. Технология изготовления растворов пленкообразующих и лаков. Ознакомление с технологией создания и переработки термопластичных материалов. Клеящие материалы, герметики, резины авиационного назначения [Электронный ресурс]: метод. указания к

лабораторной работе по курсу «Функциональные материалы» / Всерос. ин-т авиационных материалов, Каф. материаловедения. - М.: ВИАМ, 2014. - 20 с. - Библиогр.: с. 20

11. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. - 8-е изд., стер. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. - 648 с.: ил. - Библиогр.: с. 630-631. - ISBN 978-5-7038-1860-2: 220-00.

12. Авиационные материалы и технологии. - Архив журнала с 2008 г. - по н.в. - (печатная версия).

13. Перспективные материалы. - Архив журнала с 2000 г. - по н.в. - (с 2000 г. - июнь 2013 г. – (печатная версия); с июля 2013 г.- по н.в. (электронная версия).

14. Технология легких сплавов. - Архив журнала с 1968 г. - по н.в. - (печатная версия).

15. Технология металлов. - Архив журнала с 2007 г. - №6 2013 г.- (печатная версия). с №7 2013 г. - по н.в. - (электронная версия).

16. Химическая технология. - Архив журнала с 2007 г. - №6 2013 г. - (печатная версия), с №7 2013 г.- по н.в.. - (электронная версия).

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. www.iprbooks.ru Электронно-библиотечная система IPRbooks

2. www.e.lanbook.ru Электронно-библиотечная система «Лань»

3. <https://rd.springer.com> - Springer Link

4. <https://www.nature.com> - Springer Nature

5. <https://materials.springer.com> - Springer Materials

6. www.springerprotocols.com - Коллекция научных протоколов по различным отраслям знаний SpringerProtocols

7. <https://zbmath.org> Реферативная база данных по чистой и прикладной математике ZbMATH

8. <https://nano.nature.com> - База данных NANO

9. <https://onlinelibrary.wiley.com> - Журналы издательства Wiley

10. <http://pubs.rsc.org> - Журналы издательства Royal Society of Chemistry (Королевского химического общества)

4. Материально-техническое обеспечение по дисциплине:

– учебные классы с маркерной доской и презентационной техникой (терр. 1 - каб. 20, каб. 23, каб. 117, терр. 2 – каб. 313, 309);

– презентационная техника (проектор, экран, компьютер, ноутбук, колонки);

– операционная система Windows 7, 8, 10 (лицензионное программное обеспечение);

– офисный пакет Microsoft Office 2003, 2007, 2010, 2013 (лицензионное программное обеспечение);

– программы для чтения: pdf-документов Adobe Acrobat Reader (свободное программное обеспечение);

– интернет-браузеры Opera, Mozilla FireFox, Chrome, Яндекс (свободное программное обеспечение).