

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)

«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Научная специальность:	2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
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:	<u>8 з.е./288 ч.</u>

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 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Автор (ы)


подпись /д.т.н., с.н.с. Ночовная Н.А.
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 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

2. Структура и содержание разделов

1. Строение металлов и сплавов

Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов. Поверхность Ферми и зоны Бриллюэна.

Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, $\square$ -фазы, фазы внедрения. Отклонения от закона Вегарда.

Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов. Термодинамический анализ диаграмм состояния. Отклонения от равновесия при кристаллизации сплавов в системах разного типа.

2. Кристаллическое строение и его дефекты

Основные типы кристаллических решеток. Элементарные ячейки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке. Анизотропия свойств кристаллов.

Типы дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты. Дислокации. Дефекты упаковки. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Скольжение и переползание дислокаций. Зарождение и размножение дислокаций, источник Франка—Рида. Сила Пайерлса—Набарро. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесными атомами. Атмосферы Коттрелла, Снука, Сузуки. Дислокационные сетки и малоугловые границы. Высокоугловые границы. Миграция границ и зернограничное проскальзывание. Двойники. Кристаллография и механизм деформационного двойникования.

3. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах в твердом состоянии

Механизмы миграции атомов. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Структурно-чувствительные процессы диффузии. Диффузия во внешних силовых полях.

Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное (диффузионное) превращения. Термодинамический и кристаллографический анализ сдвигового (мартенситного) превращения. Механизм и кинетика сдвиговых и нормальных превращений. Эвтектоидное превращение. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Диаграммы фазовых превращений (термокинетические, изотермические и др.).

Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Изменение свойств сплавов при упорядочении. Образование и распад метастабильных фаз. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальный распад. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье—Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулированные структуры). Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад.

4. *Металлургические процессы получения полуфабрикатов и изделий*

Виды технологии литейного производства. Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Концентрационное переохлаждение. Эвтектическая кристаллизация. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Строение металлического слитка. Модифицирование структуры литых сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация. Металлические стекла. Методы получения монокристаллов из расплава. Metallургия гранул.

Способы обработки металлов давлением. Влияние температуры, схемы и степени деформации на сопротивление деформации, структуру и свойства металлов и сплавов.

Виды сварки металлов и сплавов. Структура и свойства сварных соединений.

5. *Термическая обработка*

Классификация видов термической обработки.

Гомогенизационный отжиг. Изменение структуры и свойств сплавов при гомогенизационном отжиге.

Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отдых. Полигонизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика отдыха, виды полигонизации и рекристаллизации, влияние на них предшествующей пластической деформации, примесей, температуры и продолжительности отжига. Параметры полигонизованной и рекристаллизованной структур. Критическая степень деформации. Диаграммы рекристаллизации. Закономерности и природа изменения механических и физических свойств при отжиге после холодной деформации. Текстура деформации, первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации, механизм ее образования. Анизотропия свойств текстурованных металлов.

Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм снижения остаточных напряжений при нагревании.

Фазовые превращения при нагреве. Структурная наследственность.

Закалка без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств при закалке.

Закалка с полиморфным превращением. Микроструктура и субструктура мартенсита. Упрочнение и изменение пластичности при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость.

Бейнитное превращение. Строение бейнита. Изотермическая закалка.

Старение. Природа упрочнения при старении. Влияние температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Перестаривание, ступенчатое старение. Влияние температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на формирование структуры и свойств сплавов при старении.

Отпуск. Изменение микроструктуры, субструктуры и фазового состава при отпуске. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.

6. *Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка*

Термомеханическая обработка. Структурные изменения при пластической деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации.

Высокотемпературная и низкотемпературная термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.

Химико-термическая обработка. Элементарные процессы при химико-термической обработке. Структура диффузионных слоев и ее связь с диаграммой состояния.

Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Термоводородная обработка.

7. Технология термической обработки

Современное оборудование для закалки, отжига, отпуска, химико-термической и других видов термической обработки сталей и сплавов.

Агрегаты непрерывного отжига и закалки. Автоматизация полного цикла термической обработки.

Способы достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения изделий при термической обработке. Внутренние напряжения и деформация изделий при термической обработке. Нагрев при термической обработке изделий в защитных средах и вакууме.

Дефекты термической обработки. Газонасыщение и его влияние на структуру и свойства сплавов. Методы борьбы с поводками и короблением.

8. Упругая и пластическая деформация. Разрушение

Диаграммы деформирования моно- и поликристаллов, многофазных сплавов. Механизмы упругой и пластической деформации. Деформационное упрочнение, влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести. Эффект Баушингера. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных).

Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Неупругость.

Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Природа хладноломкости. Порог хладноломкости. Строение изломов.

Ползучесть. Механизмы и стадии ползучести. Релаксация напряжений. Кратковременная и длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на ползучесть.

Усталостная прочность. Диаграммы усталости. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Контактная усталость. Износ.

9. Методы исследования и контроля структуры и свойств металлов

Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия разных видов фольги, сканирующая микроскопия, микродифракция). Рентгеноструктурный и электронно-графический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.

Методы измерения физических свойств (термический анализ, калориметрия, dilatометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ и др.). Методы определения коррозионных свойств.

Механические свойства металлов и сплавов. Методы их измерения. Статические и динамические испытания. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

10. Промышленные сплавы (основы легирования и термической обработки, свойства, области применения)

Стали. Классификация сталей по структуре, составу, назначению. Чугуны и их классификация. Модифицирование чугунов.

Алюминий и его сплавы. Титан и его сплавы. Медь и ее сплавы. Никель и его сплавы. Магний и его сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов.

Сплавы с особыми физическими свойствами: высоким и низким электросопротивлением, магнитно-твердые и магнитно-мягкие стали и сплавы, сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами. Сверхпроводящие сплавы. Сплавы с эффектом запоминания формы и сверхупругости.

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).