

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1152168	Физика конденсированных сред

**Екатеринбург**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Материаловедение и технологии металлических материалов	<b>Код ОП</b> 1. 22.03.01/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Материаловедение и технологии материалов	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 22.03.01

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Коэмец Ольга Аркадьевна	к.т.н., доцент	доцент	Термообработки и физики металлов
2	Лобанов Михаил Львович	доктор технических наук, профессор	Профессор	термообработки и физики металлов

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Физика конденсированных сред

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль «Физика конденсированных сред состоит» состоит из дисциплин «Фазовые равновесия и диффузия», «Физическое материаловедение», выполняется Проект по модулю. Содержание модуля направлено на формирование знаний о характере межатомных связей в твердых телах, структуре и свойствах основных фаз в сплавах, твердых растворах, фаз внедрения, и их поведении в различных температурных условиях. Основные задачи обучения сводятся к следующим: -изучить основные закономерности диффузионных процессов в металлах в твердом и жидком состояниях; - изучить фазовые превращения в сплавах и их особенности в различных металлических системах; - изучить закономерности структурообразования; -изучить механизмы и кинетику процессов, протекающих при термической, термомеханической, химико-термической обработках металлов и сплавов.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Фазовые равновесия и диффузия	4
2	Физическое материаловедение	7
3	Проект по модулю «Физика конденсированных сред»	1
ИТОГО по модулю:		12

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Проект по модулю «Физика	ПК-4 - Способен осуществлять сбор и	З-1 - Объяснять влияние различных типов материалов, их структуры и свойств на

<p>конденсированных сред»</p>	<p>обработку информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах, анализировать и систематизировать ее для решения поставленных задач.</p>	<p>основные показатели и параметры технологического процесса и их влияние на качество готовой продукции</p> <p>З-2 - Описывать методы сбора и обработки информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах</p> <p>У-1 - Установить взаимосвязь различных типов материалов, их структуры и свойств с технологическими процессами и интерпретировать результаты для определения рекомендаций по совершенствованию характеристик материалов</p> <p>У-2 - Обосновать выбор методов сбора и обработки информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах с учетом поставленных задач</p> <p>П-1 - Выполнить обработку собранной информации, сформулировать рекомендации по совершенствованию характеристик материалов</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические способности</p>
<p>Фазовые равновесия и диффузия</p>	<p>ПК-4 - Способен осуществлять сбор и обработку информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах, анализировать и систематизировать ее для решения поставленных задач.</p>	<p>З-1 - Объяснять влияние различных типов материалов, их структуры и свойств на основные показатели и параметры технологического процесса и их влияние на качество готовой продукции</p> <p>З-2 - Описывать методы сбора и обработки информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах</p> <p>У-1 - Установить взаимосвязь различных типов материалов, их структуры и свойств с технологическими процессами и интерпретировать результаты для определения рекомендаций по совершенствованию характеристик материалов</p> <p>У-2 - Обосновать выбор методов сбора и обработки информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах с учетом поставленных задач</p>

		<p>П-1 - Выполнить обработку собранной информации, сформулировать рекомендации по совершенствованию характеристик материалов</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические способности</p>
Физическое материаловедение	<p>ПК-4 - Способен осуществлять сбор и обработку информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах, анализировать и систематизировать ее для решения поставленных задач.</p>	<p>З-1 - Объяснять влияние различных типов материалов, их структуры и свойств на основные показатели и параметры технологического процесса и их влияние на качество готовой продукции</p> <p>З-2 - Описывать методы сбора и обработки информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах</p> <p>У-1 - Установить взаимосвязь различных типов материалов, их структуры и свойств с технологическими процессами и интерпретировать результаты для определения рекомендаций по совершенствованию характеристик материалов</p> <p>У-2 - Обосновать выбор методов сбора и обработки информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах с учетом поставленных задач</p> <p>П-1 - Выполнить обработку собранной информации, сформулировать рекомендации по совершенствованию характеристик материалов</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические способности</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Фазовые равновесия и диффузия**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Лобанов Михаил Львович	доктор технических наук, профессор	Профессор	термообработки и физики металлов

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Новых материалов и технологий**

Протокол № 20210531-01 от 31.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Лобанов Михаил Львович, Профессор, термообработки и физики металлов

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Фазовые равновесия.	Общая термодинамическая характеристика фаз. Связь термодинамических потенциалов с экспериментально измеряемыми величинами. Преобразования Лежандра. Фазовая диаграмма чистых веществ. Критическая точка. Фазовые диаграммы металлов. Уравнение линии фазового равновесия. Полиморфизм конденсированных фаз. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Диаграммы двойных сплавов. Фазовые диаграммы двойных сплавов в координатах температура – химический потенциал.
P2	Основные понятия и уравнения теории диффузии.	Историческая справка. Диффузионный эксперимент. Определение процесса диффузии. Диффузионный поток. Первый закон Фика. Коэффициент диффузии. Закон сохранения вещества. Второй закон Фика. Самодиффузия. Примесная диффузия. Диффузия меченых атомов. Взаимная диффузия. Собственные коэффициенты диффузии и коэффициент взаимной диффузии. Парциальные коэффициенты диффузии. Закон Аррениуса. Атомный (микро) и феноменологический (макро) подходы в теории диффузии.
P3	Атомная теория диффузии.	Диффузия как процесс случайных блужданий. Параболический закон. Вывод законов Фика из теории случайных блужданий. Связь коэффициентов диффузии с характеристиками скачков атомов в кристаллической решетке. Оценочные характеристики диффузионных скачков атомов.

		<p>Механизмы диффузии в кристаллах: механизм обмена атомов местами; кольцевой механизм; механизм прямого перемещения по междоузлиям; механизмы непрямого перемещения по междоузлиям; краудсионный механизм; вакансионный и бивакансионный механизмы; релаксационный механизм; механизмы диффузии по неравновесным дефектам (дислокациям, границам зерен, внешним поверхностям).</p> <p>Температурная зависимость коэффициентов диффузии. Энергия активации диффузионных процессов. Энергетические барьеры и частоты скачков при наличии движущей силы. Второй закон Фика при наличии в системе внешней движущей силы.</p> <p>Корреляционные эффекты в теории случайных блужданий. Корреляционный множитель.</p> <p>Диффузия по неравновесным дефектам кристаллической структуры. Диффузия по неравновесным вакансиям. Температурная зависимость коэффициента диффузии в реальном кристалле. Пути облегченной диффузии (дислокации, границы зерен, внешние поверхности кристалла). Задача Харга.</p>
<p><b>P4</b></p>	<p>Дополнительные главы феноменологической теории диффузии.</p>	<p>Восходящая диффузия. Химический потенциал как основная движущая сила диффузионного процесса. Основные постулаты теории неравновесных процессов. Правило выбора термодинамических сил. Соотношения взаимности. Описание изотермической диффузии в бинарной системе по Онзагеру.</p> <p>Эффект Киркендала. Теория Даркена для диффузии в бинарной системе. Связь между собственными коэффициентами и коэффициентом взаимной диффузии в бинарной системе. Уравнения для диффузии в многокомпонентных системах.</p> <p>Два типа диффузионных задач (прямая и обратная). Краевые (начальные и граничные) условия диффузионных задач. Основные типы решений второго уравнения Фика. Аналитические решения. Решение для пары полубесконечных тел. Решения для систем, близких к однородным. Численные методы решения диффузионных задач: метод конечных разностей; метод конечных элементов. Решение обратной диффузионной задачи в случае концентрационной зависимости коэффициента диффузии. Метод Матано-Больцмана.</p> <p>Диффузия в многофазных системах. Атомная и реактивная (реакционная) диффузии. Значения коэффициентов диффузии в различных кристаллических решетках. Связь между характеристиками диффузии и диаграммами фазового равновесия. Процессы диффузионного роста фаз. Уравнение баланса масс. Критерии Зайта. Кинетика образования и роста фаз в покрытиях при химико-термической обработке металлов и сплавов.</p>



Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	ПК-4 - Способен осуществлять сбор и обработку информации о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах, анализировать и систематизировать ее для решения поставленных задач.	Д-1 - Демонстрировать аналитические способности

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Фазовые равновесия и диффузия

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Лобанов, М. Л., Попова, А. А.; Методы определения коэффициентов диффузии : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2017; <http://www.iprbookshop.ru/106415.html> (Электронное издание)
2. , Эйсмонтт, Ю. Г.; Защитные покрытия : учебное пособие.; Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, Екатеринбург; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/69595.html> (Электронное издание)
3. Столбовский, А. В., Гервасьева, М. А.; Математическое моделирование процессов в материаловедении с использованием MS Excel : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2018; <http://www.iprbookshop.ru/107055.html> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Бокштейн, Б. С.; Диффузия в металлах : Учеб. пособие для вузов.; Metallurgia, Москва; 1978 (28 экз.)
2. Готтштайн, Г., Золотова, К. Н., Чаркин, Д. О., Зломанов, В. П.; Физико-химические основы материаловедения; БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва; [2013] (1 экз.)
3. Маннинг, Д., Темкин, Д. Е., Любов, Б. Я.; Кинетика диффузии атомов в кристаллах; Мир, Москва; 1971 (8 экз.)
4. Криштал, М. А.; Многокомпонентная диффузия в металлах; Metallurgia, Москва; 1985 (2 экз.)
5. Попов, А. А.; Теория превращений в твердом состоянии : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 070900 - Физика металлов, 110500 - Металловедение и терм. обраб.

металлов, 07100 - Материаловедение и технология новых материалов.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2004 (23 экз.)

6. , Лякишев, Н. П.; Диаграммы состояния двойных металлических систем : Справочник : В 3 т. Т. 2. ; Машиностроение, Москва; 1997 (3 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

<http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>];

ЭБС "Лань" (Издательство "Лань");

Taylor&Francis (Taylor & Francis Group);

American Institute of Physics;

eLibrary (ООО Научная электронная библиотека);

Institute of Physics (IOP);

Journal Citation Reports (JCR) Web of Science;

Scopus Elsevier;

Springer Materials (Springer Nature);

SpringerLink (Springer Nature);

Web of Science Core Collection (Web of Science).

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ: <http://study.urfu.ru>

2. Зональная научная библиотека УрФУ: <http://lib.urfu.ru>

3. Российская электронная научная библиотека: <http://www.elibrary.ru>

4. Electron Backscatter Diffraction Analysis – обучающий сайт [www.ebsd.com](http://www.ebsd.com)

5. Поисковые системы: <http://www.yandex.ru>, <http://www.google.com>

6. Свободная энциклопедия: <http://ru.wikipedia.org>

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

### **Фазовые равновесия и диффузия**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Лабораторные занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физическое материаловедение**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Попов Артемий Александрович	доктор технических наук, профессор	Заведующий кафедрой	термообработки и физики металлов

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Новых материалов и технологий**

Протокол № 20210531-01 от 31.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Твердые растворы	<p>Типы твердых растворов. Твердые растворы замещения. Факторы, определяющие пределы растворимости в твердом состоянии. Упругая деформация решетки в твердых растворах. Эффективные размеры атомов. Несоответствие по размерам атомов и модулей упругости. Параметры несоответствия. Энергия упругой деформации. Закон Вегарда. Условие его выполнения и отклонение от него. Значение электронной концентрации. Правило Юм - Розери.</p> <p>Упорядочение в твердых растворах замещения. Дальний порядок. Параметры дальнего порядка. Типы сверхструктур. Причины образования упорядоченных структур. Домены и антифазные границы. Термодинамика процесса упорядочения. Упорядочение в сплавах с ОЦК решеткой типа бета-латуни. Упорядочение сплавов с ГЦК решеткой типа CuAu и Cu<sub>3</sub>Au. Температура Курнакова. Изменение физических свойств при упорядочении.</p> <p>Ближний порядок. Параметры ближнего порядка. Классификация типов ближнего порядка. Температурная зависимость параметра ближнего порядка. К-состояние. Различие и сходство со сверхструктурами.</p> <p>Фазы внедрения и их классификация. Твердые растворы внедрения. Окта-поры и тетра-поры в ОЦК, ГЦК и ГП решетках. Эффективные размеры атомов внедрения. Равновесное распределение внедренных атомов по междоузлиям. Упорядочение в твердых растворах внедрения. Изоморфизм процессов упорядочения в твердых растворах</p>

		<p>внедрения и замещения. Правило построения структуры упорядоченного твердого раствора внедрения по известной структуре упорядоченного раствора замещения. Особенности упорядочения атомов внедрения в мартенсите.</p> <p>Железо и его свойства. Растворимость в железе примесей внедрения. Методы получения высокочистого железа. Температурная зависимость предела текучести. Роль атмосфер Коттрелла и Снука. Легированный феррит. Влияние элементов замещения и внедрения на свойства альфа-железа. Энергия закрепления дислокаций и напряжения Пайерлса - Набарро в легированном феррите.</p> <p>Титан и его свойства. Влияние легирования на свойства альфа и бета-фаз.</p>
<p><b>P2</b></p>	<p>Промежуточные фазы</p>	<p>Классификация промежуточных фаз. Области их существования на диаграммах состояния.</p> <p>Карбиды. Условия образования. Подрешетки металла и металлоида. Правило Хэгга. Электронное строение и типы решеток 3d-переходных металлов, образующих карбиды. Металлоид как донор электронов. Гибридизация электронов. Карбиды элементов IV-VIII групп. Закономерности изменения свойств и структуры по группам. Различие решеток металла и карбида. Карбиды типа MeC. Область гомогенности, взаимная растворимость. Карбиды со сложной решеткой типа Me<sub>2</sub>C, Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Me<sub>3</sub>C, Me<sub>23</sub>C<sub>6</sub> и др.</p> <p>Нитриды. Сходство и различие с карбидами. Нитриды элементов IV-VIII групп. Структура, свойства и область гомогенности. Нитриды железа. Нитриды алюминия.</p> <p>Карбонитриды. Условия образования. Влияние состава и обработки на соотношение азота и углерода.</p> <p>Интерметаллические соединения. Классификация интерметаллидов. Электронные соединения Юм - Розери. Кристаллическая структура и химический состав электронных соединений. Квантовая теория электронных соединений. Электронные соединения в трехкомпонентных сплавах. Электронные соединения между переходными металлами.</p> <p>Фазы Лавеса. Роль геометрического фактора. Физические свойства и роль электронной концентрации в определении структурного типа.</p> <p>Сигма- фазы. Кристаллическая структура и свойства. Область гомогенности. Характеристика металлов, образующих сигма фазы. Роль электронной концентрации. Сигма - фаза в системе железо - хром. Ее влияние на свойства сплавов.</p> <p>Геометрически плотноупакованные фазы. Принцип плотной упаковки и его реализация в структуре интерметаллических соединений. Фазы типа АВ и А2В. Условия образования сигма и ню фаз. Их влияние на свойства сплавов.</p>

		<p>Неметаллические включения. Эндогенные и экзогенные включения. Виды включений: сульфиды, оксиды, силикаты, шпинели. Объемная доля и распределение по размерам. Влияние на свойства металлов. Роль неметаллических включений в хрупком и вязком разрушении.</p>
<p><b>P3</b></p>	<p>Структура расплавов и кристаллизация</p>	<p>Структура расплавленных металлов. Представление о структуре жидкости как о системе, сохраняющей ближний порядок, характерный для кристаллического (твердого) состояния. Изменение структуры жидких расплавов при перегреве. Диффузионное взаимодействие между твердой фазой и расплавом. Конвективные эффекты. Контактное плавление. Особенности структуры эвтектических сплавов и соединений в жидком состоянии.</p> <p>Гомогенная кристаллизация. Образование равновесного зародыша. Влияние переохлаждения и поверхностного натяжения. Поверхностноактивные примеси и их влияние на процесс кристаллизации.</p> <p>Гетерогенное образование зародышей. Роль готовых поверхностей раздела. Кристаллизация на анизотропной подкладке.</p> <p>Атомная теория роста кристаллов. Равновесная форма растущего кристалла. Скорость роста граней и ретикулярная плотность. Механизм роста.</p> <p>Кинетика кристаллизации. Скорость образования центров кристаллизации. Линейная скорость роста кристаллов. Вывод кинетического уравнения. Дислокационный механизм и кинетика роста несовершенных кристаллов. Кристаллизация из пара через жидкую фазу.</p> <p>Кристаллизация сплавов. Концентрационное переохлаждение. Эвтектическая кристаллизация. Бездиффузионная кристаллизация.</p> <p>Особенности кристаллизации и структуры гетерогенных сплавов. Перераспределение примесей при кристаллизации, зонная плавка. Дефекты, возникающие в кристалле в процессе роста.</p> <p>Особенности роста кристаллов и их атомная структура при больших переохлаждениях (закалка из жидкого состояния).</p> <p>Аморфное затвердевание.</p>
<p><b>P4</b></p>	<p>Общие закономерности фазовых превращений в твердом состоянии</p>	<p>Общая классификация фазовых превращений и проблема зарождения новой фазы. Роль упругой и поверхностной энергий. Структура и энергия межфазных границ. Условие когерентности решеток на границе раздела фаз. Особенности кинетики фазовых превращений в связи с характером движения границы раздела фаз. Скользящие и нескользящие границы. Понятие о бездиффузионном превращении. Процессы зарождения и роста. Роль диффузии в фазовых превращениях.</p>



		<p>Типы диффузионных и бездиффузионных превращений в твердом состоянии. Общая классификация гетерогенных превращений.</p>
<b>P5</b>	<p>Аллотропические превращения в металлах и сплавах</p>	<p>Общие закономерности. Характер изменения атомнокристаллической структуры при аллотропических превращениях в металлах. Кинетика нормального аллотропического превращения.</p> <p>Термодинамика массивного превращения в сплавах. Определение концентрационно-температурных условий бездиффузионного массивного превращения.</p> <p>Теория мартенситных превращений. Деформация решетки и изменение формы объема, претерпевшего превращения. Тонкая структура мартенсита. Проблема образования зародышей при мартенситном превращении. Кинетика и морфология превращения. Причины самоторможения процесса. Факторы, влияющие на положение температур Мн и Мк. Факторы, влияющие на мартенситное превращение (пластическая и упругая деформации, высокие давления, импульсные магнитные поля и др.) Практическое значение мартенситного превращения.</p> <p>Аллотропические превращения в железе и его сплавах. Особенности мартенситных превращений в стали. Понятие об остаточном аустените. Факторы, влияющие на количество остаточного аустенита в структуре закаленной стали. Аллотропические превращения в титане и его сплавах. Мартенситные реакции и особые свойства материалов (память формы, сверхупругость и т.д.). Мартенситные реакции в легированных латунях, интерметаллидах.</p>
<b>P6</b>	<p>Процессы зарождения и роста</p>	<p>Процессы зарождения. Зарождение выделений второй фазы из пересыщенного твердого раствора. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Образование переходных фаз. Влияние примесных атомов.</p> <p>Рост выделений из пересыщенного твердого раствора. Теории термически активируемого роста. Рост, контролируемый процессами на межфазной границе. Рост, лимитируемый диффузией. Линейный рост двухфазных областей.</p> <p>Эвтектоидные превращения. Концентрационные напряжения при боковом росте перлитного центра.</p> <p>Диффузионное превращение переохлажденного аустенита. Возникновение зародышей новой фазы и линейная скорость их роста. Закономерности образования зародышевых центров феррита и карбидов. Факторы, влияющие на скорость их образования и роста (степень переохлаждения, состав аустенита, длительность изотермической выдержки). Закономерности образования феррито-карбидной смеси. Структурные формы феррито-карбидной смеси. Процесс</p>

		<p>распада аустенита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях. Влияние степени переохлаждения и состава аустенита на соотношение между количеством феррита или карбидов в феррито-карбидной смеси.</p> <p>Формальная кинетика процессов зарождения и роста. Кривые изотермического превращения. Уравнение Авраами.</p> <p>Превращения с параболическим законом роста. Влияние температуры. Неизотермические превращения.</p> <p>Растворение выделений второй фазы. Растворение, контролируемое диффузией. Кинетика реакций на поверхности раздела. Сетки выделений второй фазы. Практическое применение теории.</p> <p>Растворимость карбидов, нитридов и интерметаллидов при нагреве. Стадии растворения. Термодинамика процесса. Влияние легирующих элементов на растворимость. Роль термодинамической активности. Влияние состава твердого раствора.</p> <p>Растворимость карбидов, нитридов и интерметаллидов при нагреве. Стадии растворения. Термодинамика процесса. Влияние легирующих элементов на растворимость. Роль термодинамической активности. Влияние состава твердого раствора.</p>
P7	Промежуточные (бейнитные) превращения	<p>Бейнитное превращение. Рост кристаллов бейнита. Структурные формы продуктов промежуточного превращения, их фазовый состав. Кинетика бейнитного превращения; зависимость полноты распада от температуры изотермической выдержки. Изменение состава аустенита в процессе частичного бейнитного превращения. Двойственный характер бейнитного превращения (совмещение диффузионного и бездиффузионного мартенситного механизмов). Влияние частичного распада аустенита по промежуточному механизму на последующее мартенситное превращение (на положение мартенситного интервала, количество остаточного аустенита). Практическое значение бейнитного превращения.</p> <p>Промежуточные превращения в сплавах титана. Изотермическое образование альфа два штриха и омега -фаз. Их влияние на структуру и свойства сплавов.</p>
P8	Распад пересыщенных твердых растворов	<p>Изменение свойств и структуры при старении сплавов. Некоторые вопросы термодинамики и кинетики распада пересыщенных твердых растворов. Нестабильность структуры, вызванная изменением химической свободной энергии. Нестабильность, вызванная неравномерным распределением растворенного компонента.</p> <p>Непрерывное и прерывистое выделение.</p>

		<p>Спинодальный распад. Образование метастабильных периодических распределений концентраций. Упругая энергия и морфология гетерофазных растворов. Модулированные структуры.</p> <p>Старение алюминиевых, медных и титановых сплавов.</p> <p>Процессы старения в сталях. Образование карбидов, нитридов и интерметаллидов при распаде пересыщенного твердого раствора. Термодинамика процесса. Зарождение непосредственно из твердого раствора и через промежуточную фазу. Влияние ориентационного и размерного соответствия решеток выделения и матрицы на размер и форму когерентных выделений.</p> <p>Отпуск мартенсита. Взаимодействие углерода с дефектами решетки. Процесс двухфазного распада. Процессы карбидообразования. Карбидообразование при отпуске. Влияние легирования на процессы отпуска. Роль специальных карбидов. Вторичная твердость. Схемы двух механизмов карбидообразования.</p> <p>Особенности образования карбидов и интерметаллидов.</p>
<b>Р9</b>	Нестабильность структуры, вызванная влиянием поверхностей раздела	<p>Природа свободной энергии поверхности. Теорема Гиббса - Вульфа. Коалесценция выделений по механизму Оствальда. Механизм и кинетика коалесценции по Оствальду. Рост выделений, контролируемый объемной диффузией. Кинетика роста, контролируемого переносом атомов через межфазную поверхность раздела. Рост выделений на малоугловых и высокоугловых границах. Некоторые применения теории роста выделений. Системы, устойчивые к росту выделений.</p> <p>Стабильность пластинчатых и волокнистых структур.</p>

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной	ПК-4 - Способен осуществлять сбор и обработку информации о существующих типах и марках материалов, их	Д-1 - Демонстрировать аналитические способности

		ой деятельности	структуре и свойствах, анализировать и систематизировать ее для решения поставленных задач.	
--	--	-----------------	---	--

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Физическое материаловедение**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Илларионов, , А. Г.; Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов : учебное пособие.; Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, Екатеринбург; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/68304.html> (Электронное издание)
2. Селиванова, , О. В., Попова, , А. А.; Структура материалов и методы ее исследования. Кристаллизация материалов. Двойные сплавы; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2017; <http://www.iprbookshop.ru/106526.html> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Попов, А. А.; Теория превращений в твердом состоянии : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 070900 - Физика металлов, 110500 - Металловедение и терм. обраб. металлов, 07100 - Материаловедение и технология новых материалов.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2004 (23 экз.)
2. , Бернштейн, М. Л., Курдюмов, Г. В., Меськин, В. С., Рахштадт, А. Г., Капуткина, Л. М., Прокошкин, С. Д., Супов, А. В.; Металловедение и термическая обработка стали и чугуна : справочник : в 3 т. Т. 2. Строение стали и чугуна ; Интермет Инжиниринг, Москва; 2005 (22 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

#### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

#### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Физическое материаловедение

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES