

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Центральный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Отдел подготовки научных кадров



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
НИЦ «Курчатовский институт» -  
ЦНИИ КМ «Прометей»

А.С. Орыщенко

**Введен в действие**  
приказом генерального директора

от « 28 » 08 2017 г. № 314

**Учебно-методический комплекс дисциплины**

**Б1.В.ОД.3 Элементы кристаллографии и теории дислокаций для металловедов  
и материаловедов**

**Направление подготовки кадров высшей квалификации**

22.06.01 Технология материалов

**Специальность**

05.16.09 Материаловедение (машиностроение)

**Квалификация выпускника**

Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения - заочная**

Санкт-Петербург  
2017

**Составитель:** Зисман А. А. - д.ф-м.н., доцент - профессор

Рабочая программа дисциплины «Элементы кристаллографии и теории дислокаций для металлосведов и материаловосведов » составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 22.06.01 Технология материалов, (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 30.07.2014 N 888

Учебно-методический комплекс дисциплины одобрен на заседании научно-методической комиссии по металлургическим специальностям и материаловосведению (металлические, неметаллические, функциональные материалы) протокол №6 от 28.08.2017г.

Председатель НМК по металлургическим  
специальностям и материаловосведению

 В.А.Мальшевский

Согласовано:

Начальник отдела  
подготовки научных кадров

 Г.М.Орлова

«25» августа 2017г.

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

**Цель дисциплины** - формирование знаний в области кристаллографии и физики пластической деформации металлов, необходимых для эффективного применения исследовательского оборудования нового поколения при решении технологических и металлургических проблем.

### **Задачи:**

1. Изучение основных принципов и методов кристаллографии и теории дислокаций.
2. Формирование умений в области применения основных методов кристаллографии и теории дислокаций при аттестации и исследовании металлических конструкционных материалов.
3. Получение первоначального опыта творческой работы в области использования количественных данных электронной микроскопии при описании структурного состояния материалов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Элементы кристаллографии и теории дислокаций для металлургов и материаловедов» является обязательной, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 22.06.01 Технология материалов, специальности 05.16.09 Материаловедение (Машиностроение).

Индекс дисциплины по учебному плану - Б1.В. ОД.3

Дисциплина «Элементы кристаллографии и теории дислокаций для металлургов и материаловедов» изучается в 3 семестре.

Входные знания, умения и компетенции, необходимые для изучения данного курса, формируются в процессе изучения таких дисциплин, как Математика, Физика, Неорганическая химия, Кристаллохимия.

Взаимосвязь курса с другими дисциплинами ООП способствует углубленной подготовке аспирантов к решению специальных практических профессиональных задач и формированию необходимых компетенций.

## 3. Результаты обучения, определенные в картах компетенций и формируемые по итогам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Элементы кристаллографии и теории дислокаций для металлургов и материаловедов» направлен на формирование следующих компетенций :

Код компетенции	Содержание компетенции
ОПК-6	способностью и готовностью выполнять расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в качестве ведущего исполнителя с применением компьютерных технологий
ПК-2	владеть основами методов исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессов в них и в технологиях получения, обработки и модификации материалов, некоторыми навыками их использования в исследованиях и расчетах

В результате освоения дисциплины аспирант должен

**Знать:**

- основные термины и методы, связанные с определением кристаллографической ориентации и разориентации структурных элементов;
- механизмы формирования разориентированных структур при пластической деформации и полиморфном превращении металлов и сплавов.

**Уметь:**

- применять и анализировать количественные кристаллографические данные;
- выбирать методы структурного анализа в зависимости от изучаемых свойств и процессов;

**Владеть:**

- навыками работы с литературными источниками в области материаловедения, использующими экспериментальные данные и модели в терминах теории решеточных дислокаций и кристаллографии.

**4. Структура и содержание дисциплины**

*Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.*

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по темам) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	Компетенции
			лекции и	практические	СР		
I	Кристаллографические характеристики.	3	2		12	<p><i>Текущий контроль успеваемости:</i> -наблюдение за обучающимися в процессе освоения дисциплины, оценка устного опроса.</p> <p><i>Промежуточная аттестация:</i> проводится в форме зачета с оценкой.</p>	ОПК-6 ПК-2
II	Кристаллографическая текстура, методы определения и представления ориентаций решетки.	3	2	2	12		ОПК-6 ПК-2
III	Решеточные дислокации	3	3		12		ОПК-6 ПК-2
IV	Пределы дислокационной теории.	3	3		12		ОПК-6 ПК-2
V	Использование кристаллографии и теории дислокаций в практическом материаловедении.		2	2	12		ОПК-6 ПК-2
<b>Итого: 72 ч/2 з. е.</b>			<b>12</b>	<b>-</b>	<b>60</b>		

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Раздел 1. Кристаллографические характеристики (лек.-2 часа)**

Плоскости и направления в кристаллической решетке, ГЦК, ГПУ и ОЦК решетки, параметры локальной ориентации- ориентационные матрицы, углы Эйлера.

### **Раздел 2. Кристаллографическая текстура, методы определения и представления ориентаций решетки(лек.-2 часа,практ.-2 часа)**

Анизотропия свойств монокристалла и текстурированного поликристалла. Стереографическая проекция, прямые и обратные полюсные фигуры, дифракционные методы и картографирование ориентаций методами СЭМ (EBSD).

### **Раздел 3. Решеточные дислокации (лек.-3 часа)**

Предпосылки и определение дислокаций в механике и физике. Различие теоретической и реальной прочности кристаллов. Ядро и упругое поле дислокации. Системы скольжения. Источники дислокаций. Упругое взаимодействие дислокаций и устойчивые дислокационные структуры. Дислокационный механизм пластичности. Дислокационные микротрещины. Пластичность поликристаллов, модель Тэйлора. Дислокационное упрочнение. Частичные дислокации и дефекты упаковки, двойники. Границы деформационного происхождения. Взаимодействие дислокаций с твердым раствором.

### **Раздел 4. Пределы дислокационной теории (лек.-3 часа)**

Микромеханика деформируемых поликристаллов. Фрагментация. Большеугловые границы. Явление сверхпластичности.

### **Раздел 5. Использование кристаллографии и теории дислокаций в практическом материаловедении (лек.-2 часа,практ.-2 часа)**

Методы измерения и оценки плотности дислокаций. Наклеп и рекристаллизация. Деформационно-стимулированное выделение частиц. Межзеренные сегрегации и хрупкость поликристаллов. Расщепление дислокаций, влияние энергии дефекта упаковки на структуру и свойства металлов. Фрагментация аустенита и ее влияние на превращенную структуру стали.

#### 4. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

Информационная лекция с использованием медиаресурсов, проведение электронных презентаций, коллоквиумы.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

##### 6.1. Виды самостоятельной работы

Раздел	Вид самостоятельной работы	Литература
<b>Кристаллографические характеристики.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</li> <li>- конспектирование материалов, аннотирование научных публикаций, работа со справочной литературой;</li> <li>- подготовка к опросу, коллоквиуму;</li> <li>- участие в НИР аспирантов и пр.)</li> </ul>	1. Бибиков Е.Л. Процессы кристаллизации и затвердевания: учебное пособие для вузов.- М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2013. Экз. 3
<b>Кристаллографическая текстура, методы определения и представления ориентаций решетки.</b>		2. Конструкционные стали и сплавы: учебное пособие.- СПб.: Политехника, 2013. Экз.5
<b>Решеточные дислокации</b>		3. Металловедение и технология быстрозакаленных сплавов. В 2-х кн.: учебник для вузов.- М.: Изд-во МАИ-Принт, 2014. Экз.2
<b>Пределы дислокационной теории.</b>		Дополнительная литература:
<b>Использование кристаллографии и теории дислокаций в практическом материаловедении.</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Металловедение: Учебник для вузов в 2-х т. Под общей ред. В.С.Золоторевского.-М.: Издат. Дом МИСИС.— 2014. Экз.11.</li> <li>2. Шаскольская М.П. Кристаллография., М.: Высшая школа, 1984 г.</li> <li>3. Золоторевский Н.Ю., Рыбин В.В. Фрагментация и текстурообразование при деформации металлических материалов., СПб: Изд. Политехнического университета, 2014 г.</li> </ul> <p>Электронные образовательные ресурсы: 1. IPRbooks</p>

		2. eLibrary.ru НТБ ФГУП «ЦНИИ КМ Прометей»
Итого часов на самостоятельную работу: <b>60 часов</b>		

## **6.2. Порядок выполнения самостоятельной работы**

Самостоятельная подготовка к занятиям осуществляется регулярно по каждой теме дисциплины и определяется календарным графиком изучения дисциплины.

## **7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **7.1. Формы текущего контроля работы аспирантов**

Текущий контроль успеваемости обучающихся осуществляется посредством учета посещаемости, оценки работы обучающихся в аудитории (работа в малых группах, участие в коллоквиумах). Оценочные средства по дисциплине представлены в Приложении 1 «Фонд оценочных средств»

### **7.2. Порядок осуществления текущего контроля**

Текущий контроль освоения отдельных разделов дисциплины осуществляется при помощи устного опроса в завершении изучения каждого раздела. Система текущего контроля успеваемости служит в дальнейшем наиболее качественному и объективному оцениванию в ходе промежуточной аттестации.

### **7.3. Промежуточная аттестация по дисциплине**

Для получения экзамена аспиранты обязаны:

- присутствовать не менее чем на 75% занятий,
- активно участвовать в коллоквиумах (по каждому разделу)

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с оценкой.

### **7.4. Фонд оценочных средств**

Содержание фонда оценочных средств см. Приложение №1.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **8.1. Рекомендуемая литература**

1. Бибииков Е.Л. Процессы кристаллизации и затвердевания: учебное пособие для вузов.- М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2013. Экз. 3
2. Шаскольская М.П. Кристаллография.,М.: Высшая школа,1984 г.Конструкционные стали и сплавы: учебное пособие.- СПб.: Политехника, 2013. Экз.5

## **8.2. Дополнительная литература:**

1. Металловедение и технология быстрозакаленных сплавов. В 2-х кн.: учебник для вузов.- М.: Изд-во МАИ-Принт, 2014. Экз.2
2. Металловедение: Учебник для вузов в 2-х т. Под общей ред. В.С.Золоторевского.-М.: Издат. Дом МИСИС.—2014. Экз.1
- 3.Золоторовский Н.Ю., Рыбин В.В. Фрагментация и текстурообразование при деформации металлических материалов., СПб: Изд. Политехнического университета,2014 г.

### **Журналы:**

1. Вопросы материаловедения
2. Заводская лаборатория. Диагностика материалов
3. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия
4. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия
5. Конструкции из композиционных материалов
6. Реферативный журнал Коррозия и защита от коррозии
7. Коррозия «территории нефтегаз»
8. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением
9. Литейное производство
10. Реферативный журнал. Металловедение и термическая обработка
11. Металловедение и термическая обработка
12. Металлообработка
13. Металлург
14. Металлы
15. Механика композиционных материалов
16. Наноструктурное материаловедение
17. Перспективные материалы
18. Письма о материалах
19. Порошковая металлургия
20. Практика противокоррозионной защиты
21. Проблемы прочности
22. Проблемы черной металлургии и материалов
23. Сталь
24. Судостроение,
25. Тяжелое машиностроение
26. Упрочняющие технологии и покрытия
27. Физика и химия обработки материалов
28. Физика металлов и металловедение
29. Физикохимия поверхности и защита материалов
30. Физическая мезомеханика
31. Химическое и нефтегазовое машиностроение
32. Черные металлы

### **Электронные образовательные ресурсы:**

1. НТБ ФГУП «ЦНИИ КМ Прометей»
2. IPRbooks
3. eLibrary.ru

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**



Стандартно оборудованная аудитория:

стол ученический-6 шт.

стулья ученические- 12 шт.

доска настенная меловая-1 шт.

мультимедиа –проектор -1 шт.

персональный компьютер-1 шт.

### **Оборудование лаборатории**

Высокоскоростной дилатометр Formastor D Fudgi Electronic Industrial (Япония);

- высокоскоростной деформационный дилатометр Dil 805 A/D фирма ВАHR (Германия);

- просвечивающие электронные микроскопы (JEM-200CX фирма Jeol (Япония), Philips EM 400T (Голландия);

- растровый электронный микроскоп Camscan-4DV, Stereoscan-150, фирма CAMBRIDGE SCANNING (Англия), Philips 535 (Голландия);

-атомно-силовой микроскоп Наноскан МИФИ (Россия);

- дифрактометры рентгеновские общего назначения ДРОН-УМ-1, ДРОН-УМ-2, АО “Буревестник (Россия).

**ПАСПОРТ  
фонда оценочных средств**

**Направление** 22.06.01 Технология материалов

**Направленность** 15.06.09 Материаловедение (машиностроение)

**Дисциплина** Б1.В.ОД.4 «Элементы кристаллографии и теории дислокаций для металлургов и материаловедов»

**Форма промежуточной аттестации** зачет с оценкой

**КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>Код компетенции</b>	<b>Содержание компетенции</b>
ОПК-6	способностью и готовностью выполнять расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в качестве ведущего исполнителя с применением компьютерных технологий
ПК-2	владеть основами методов исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессов в них и в технологиях получения, обработки и модификации материалов, некоторыми навыками их использования в исследованиях и расчетах

**1.Задания для текущего контроля**

**Вопросы для подготовки к коллоквиумам**

<b>Раздел</b>	<b>Вопросы</b>	<b>Литература</b>
Кристаллографические характеристики.	Плоскости и направления в кристаллической решетке, ГЦК, ГПУ и ОЦК решетки, параметры локальной ориентации- ориентационные матрицы, углы Эйлера.	<b>8.1. Рекомендуемая литература</b> 1. Бибииков Е.Л. Процессы кристаллизации и затвердевания: учебное пособие для вузов.- М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2013. Экз. 3
Кристаллографическая текстура, методы определения и представления ориентаций решетки.	Анизотропия свойств монокристалла и текстурированного поликристалла. Стереографическая проекция, прямые и обратные полюсные фигуры, дифракционные методы и картографирование ориентаций методами СЭМ (EBSD).	2. Шаскольская М.П. Кристаллография.,М.: Высшая школа,1984 г.Конструкционные стали и сплавы: учебное

Решеточные дислокации	<p>Предпосылки и определение дислокаций в механике и физике. Различие теоретической и реальной прочности кристаллов. Ядро и упругое поле дислокации. Системы скольжения. Источники дислокаций. Упругое взаимодействие дислокаций и устойчивые дислокационные структуры. Дислокационный механизм пластичности. Дислокационные микротрещины. Пластичность поликристаллов, модель Тэйлора. Дислокационное упрочнение. Частичные дислокации и дефекты упаковки, двойники. Границы деформационного происхождения. Взаимодействие дислокаций с твердым раствором.</p>	<p>пособие.- СПб.: Политехника, 2013. Экз.5</p> <p><b>8.2. Дополнительная литература:</b></p> <p>1. Металловедение и технология быстрозакаленных сплавов. В 2-х кн.: учебник для вузов.- М.: Изд-во МАИ-Принт, 2014. Экз.2</p> <p>2. Металловедение: Учебник для вузов в 2-х т. Под общей ред. В.С.Золоторевского.-М.: Издат. Дом МИСИС.— 2014. Экз.1</p>
Пределы дислокационной теории.	<p>Микромеханика деформируемых поликристаллов. Фрагментация. Большеугловые границы. Явление сверхпластичности.</p>	<p>3.Золоторовский Н.Ю., Рыбин В..В. Фрагментация и текстурообразование при деформации металлических материалов., СПб: Изд. Политехнического университета,2014 г.</p>
Использование кристаллографии и теории дислокаций в практическом материаловедении.	<p>Методы измерения и оценки плотности дислокаций. Наклеп и рекристаллизация. Деформационно-стимулированное выделение частиц. Межзеренные сегрегации и хрупкость поликристаллов. Расщепление дислокаций, влияние энергии дефекта упаковки на структуру и свойства металлов. Фрагментация аустенита и ее влияние на превращенную структуру стали.</p>	<p><b>Журналы:</b></p> <p>1. Вопросы материаловедения</p> <p>2. Заводская лаборатория. Диагностика материалов</p> <p>3. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия</p> <p>4. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия</p> <p>5. Конструкции из композиционных материалов</p> <p>6. Реферативный журнал Коррозия и защита от коррозии</p> <p>7. Коррозия «территории нефтегаз»</p> <p>8. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением</p>

		<p>9. Литейное производство</p> <p>10. Реферативный журнал. Металловедение и термическая обработка</p> <p>11. Металловедение и термическая обработка</p> <p>12. Металлообработка</p> <p>13. Metallurg</p> <p>14. Металлы</p> <p>15. Механика композиционных материалов</p> <p>16. Наноструктурное материаловедение</p> <p>17. Перспективные материалы</p> <p>18. Письма о материалах</p> <p>19. Порошковая металлургия</p> <p>20. Практика противокоррозионной защиты</p> <p>21. Проблемы прочности</p> <p>22. Проблемы черной металлургии и материалов</p> <p>23. Сталь</p> <p>24. Судостроение,</p> <p>25. Тяжелое машиностроение</p> <p>26. Упрочняющие технологии и покрытия</p> <p>27. Физика и химия обработки материалов</p> <p>28. Физика металлов и металловедение</p> <p>29. Физикохимия поверхности и защита материалов</p> <p>30. Физическая мезомеханика</p> <p>31. Химическое и нефтегазовое машиностроение</p> <p>32. Черные металлы</p> <p><b>Электронные образовательные ресурсы:</b></p> <p>НТБ ФГУП «ЦНИИ КМ Прометей»</p>
--	--	---

		IPRbooks eLibrary.ru
--	--	-------------------------

**Критерии оценки:**

«зачтено»	Аспирант при ответе демонстрирует содержание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями, имеет представление о структуре материалов разных типов и связи структурного состояния с их эксплуатациями технологическими характеристиками, знает главные требования и особенности строения конструкционных, инструментальных и функциональных материалов. Информирован и способен делать анализ проблем разработки и получения материалов с требуемыми свойствами. Может предложить пути решения возникающих проблем.
«не зачтено»	Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала ,не информирован или слабо разбирается в проблемах, и/или не в состоянии наметить пути их решения

## 2. Задания для промежуточной аттестации

### Контрольные вопросы к экзамену/зачету

#### Основы кристаллографии для металлургов

1. Кристаллическая структура и ее элементарная ячейка на примере примитивной кубической, ГЦК и ОЦК решеток.
2. Индексация плоскостей и направлений в кристаллах.
3. Плотные упакованные плоскости и направления в ГЦК и ОЦК решетках.
4. Решеточное преобразование ГЦК → ОЦК по схеме Бейна при сдвиговом превращении в железе и сталях.
5. Описание ориентации кристалла относительно лабораторной системы координат с помощью углов Эйлера, матриц и векторов поворота.
6. Дифракция на кристаллической решетке, условие Вульфа-Брэгга.
7. Особенности дифракции обратно рассеянных электронов и ее применение при панорамном отображении ориентации решетки методом EBSD (СЭМ).
8. Стандартные опции представления структуры методом EBSD: ориентации (IPF), границы, «зерна», «качество отображения» (IQ).
9. Отображение кривизны (неоднородности ориентации) решетки с помощью EBSD: «усреднение по зерну» (GAM) и «усреднение в локальной окрестности точки» (KAM). Использование соответствующих карт при анализе процессов рекристаллизации и фазовых превращений металлов.
10. Применение дифракции рентгеновского излучения для анализа текстуры поликристаллов (полюсные фигуры) и фазового анализа (определение доли различных фаз).

#### Основы теории дислокаций для металлургов

1. Теоретическая прочность бездефектного кристалла на сдвиг и резкое снижение сопротивления сдвигу за счет подвижных решеточных дислокаций.
2. Представление о дислокациях в непрерывной среде и в кристаллической решетке, контур и вектор Бюргера решеточных дислокаций. Плоскости легкого скольжения.
3. Упругие поля решеточных дислокаций, энергия дислокации.
4. Сила, действующая на дислокацию со стороны внешних напряжений.
5. Упругое взаимодействие дислокаций и их устойчивые конфигурации.
6. Дислокационные механизмы зарождения микротрещин (модели Зинера-Стро и Котрелла).
7. Малоугловые дислокационные границы: энергия границ и угол разориентировки в зависимости от расстояния между составляющими дислокациями.
8. Плотность дислокаций (смысл и измерение); зависимость предела текучести от плотности дислокаций.
9. Размножение дислокаций при пластической деформации (источник Франка-Рида).
10. Представление о деформационном упрочнении моно- и поликристаллов.

**Критерии оценки:**

«Отлично»	Выставляется аспиранту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач
«Хорошо»	Выставляется аспиранту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения
«Удовлетворительно»	Выставляется аспиранту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
«Неудовлетворительно»	Выставляется аспиранту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы

**Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.