

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем сверхпластичности металлов
Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПСМ РАН

Р.Р. Мулюков

2015 г.



**Рабочая программа учебной дисциплины
«Дефекты кристаллического строения металлов»**

Составлена для аспирантов ИПСМ РАН, обучающихся по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов», профиль 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Форма обучения

очная

Составитель

зам. директора по научной работе, д.т.н.

Р.М. Имаев

Программа обсуждена и одобрена на заседании ученого совета ИПСМ РАН, протокол № 11-15 от 02 июля 2015 г.

Уфа 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Цель и задачи курса.....	3
1.1. Цель и задачи изучения дисциплины.....	3
1.2. Основные задачи изучения дисциплины.....	3
1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной.....	3
2. Место дисциплины в учебном процессе	4
3. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	4
4. Содержание дисциплины.....	4
4.1. Разделы дисциплины, трудоемкость (в часах) по видам занятий	4
4.2. Содержание разделов дисциплины.....	5
4.3. Самостоятельная работа	6
5. Текущая и промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств.....	6
5.1. Организация контроля освоения материала.....	6
5.2. Промежуточная аттестация.....	8
6. Материальное обеспечение дисциплины.....	9
7. Учебная литература для самостоятельной работы.....	9
7.1. Основная литература	9
7.2. Дополнительная литература	9

Введение

Настоящая учебная программа составлена в соответствии с Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ, Приказом Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 №1259 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)», федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 888, с изменениями, утвержденными Приказом Минобрнауки России от 30.04.2015 г. № 464 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», паспортом специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», Уставом ИПСМ и положениями, регламентирующими работу аспирантуры ИПСМ РАН.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

1.1. Цель изучения дисциплины – формирование у аспирантов фундаментальных знаний о внутреннем строении реальных кристаллических материалов, о видах, структуре и свойствах различных дефектов кристаллического строения, определяющих свойства металлов и сплавов.

1.2. Основные задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- роль дефектов кристаллического строения в физических и механических свойствах твердых тел;
- математические методы физики дефектов кристаллического строения;
- перспективы развития физики дефектов кристаллического строения и ее применений в описании свойств металлов и сплавов.

Аспирант должен уметь:

- анализировать механические и физические свойства твердых тел с использованием представлений о дефектах их кристаллического строения;
- использовать дислокационную теорию для объяснения процессов, происходящих при пластической деформации, фазовых превращениях и разрушении материалов;
- пользоваться литературой по методам исследований дефектов кристаллического строения.
- использовать передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики дефектов кристаллического строения при проведении научных исследований.

Аспирант должен приобрести навыки:

- владения методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики дефектов кристаллического строения;
- изучения современных достижений в области физики дефектов кристаллов;
- использования современных достижений в области физики дефектов в исследовательской работе.

1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной:

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

универсальных -

– способности к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

профессиональных -

– способности использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов при проведении экспериментальных и расчетно-теоретических научных исследований, нацеленных на разработку перспективных материалов и технологических процессов, обеспечивающих получение полуфабрикатов и деталей с улучшенными физико-механическими свойствами (ПК-1).

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Дефекты кристаллического строения металлов» преподается во 2-й год обучения аспиранта и относится к дисциплинам вариативной части для профиля «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», изучаемым по выбору аспиранта.

Данная дисциплина базируется на следующих дисциплинах первых двух уровней высшего образования по направлению «Технологии материалов»: кристаллография, физика металлов и сплавов, материаловедение.

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины «Дефекты кристаллического строения металлов», используются в научно-исследовательской работе аспиранта и подготовке диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Год
		2
Общая трудоемкость дисциплины	108 / 3	108
Аудиторные занятия	36 / 1	36
Лекции	36 / 1	36
Практические занятия	-	-
Самостоятельная работа	72 / 2	72
Вид итогового контроля		зачет

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины, трудоемкость (в часах) по видам занятий

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические	

					занятия	
1	Введение. Точечные дефекты	12	4			8
2	Дислокации в теории упругости	12	4			8
3	Дислокации в типичных металлических структурах	12	4			8
4	Образование дислокаций, их взаимодействие друг с другом и другими дефектами кристаллической решетки	12	4			8
5	Системы дислокаций	12	4			8
6	Дисклинации	12	4			8
7	Структура большеугловых границ зерен	12	4			8
8	Дефекты в границах зерен	12	4			8
9	Процессы в границах зерен	12	4			8
	Итого	72	36			72

4.2. Содержание разделов дисциплины

1. Введение. Точечные дефекты

Введение. Место физики дефектов в системе наук о материалах. Роль дефектов кристаллической решетки в формировании свойств материалов. Геометрическая классификация дефектов кристаллического строения. Предпосылки появления теории дефектов. Точечные дефекты. Виды точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция точечных дефектов. Точечные дефекты и элементарные механизмы диффузии в кристаллах. Источники и стоки точечных дефектов. Поведение вакансий при отжиге и закалке. Методы определения концентрации вакансий, энергии их образования и миграции. Радиационные дефекты.

2. Дислокации в теории упругости

Основные типы дислокаций и виды их движения. Краевая дислокация, ее скольжение и переползание. Винтовая дислокация. Ее скольжение, поперечное скольжение. Смешанные дислокации. Призматические дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Упругие свойства дислокаций: поля деформаций, напряжений. Энергия дислокации. Сила, действующая на дислокацию. Упругое взаимодействие параллельных краевых дислокаций. Упругое взаимодействие параллельных винтовых дислокаций. Методы выявления дислокаций в металлах.

3. Дислокации в типичных металлических структурах

Полные и частичные дислокации. Критерий Франка. Дефекты упаковки. Частичные дислокации Шокли и Франка. Стандартный тетраэдр Томпсона и дислокационные

реакции в ГЦК решетке. Вершинные дислокации и дислокации Ломер-Коттрелла. Стандартная бипирамида и дислокационные реакции в ОЦК решетке. Дислокационные реакции в ОЦК решетке. Поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций. Двойникоющая дислокация.

4. Образование дислокаций, взаимодействие их друг с другом и другими дефектами кристаллической решетки

Пересечение дислокаций. Пересечение единичных дислокаций. Пересечение дислокаций с порогами. Пересечение растянутых дислокаций. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки. Геликоидальные дислокации. Образование дислокаций. Источники Франка-Рида и Бардина Херринга. Торможение дислокаций. Сила Пайерлса. Торможение дислокаций при их взаимодействии с другими дислокациями, границами зерен, дисперсными частицами, атомами примесей и легирующих элементов.

5. Системы дислокаций

Дислокационные скопления. Малоугловые стенки и сетки дислокаций. Поля напряжений дислокационных систем. Экранировка поля напряжений дислокаций. Формула Франка.

6. Дисклинации

Дисклинации как разновидность дислокаций Вольтера. Упругое поле и энергия дисклинаций. Полные и частичные дисклинации. Дисклинационные диполи, мультиполи. Связь между дисклинациями, дислокациями и границами зерен. Образование частичных дислокаций при пластической деформации.

7. Структура большеугловых границ зерен

Геометрические и микроскопические параметры большеугловых границ зерен. Разориентировка зерен и их описание. Элементы геометрической теории границ зерен. Решетка совпадающих узлов и полная решетка наложений. Дислокационные, дисклинационные и атомные модели строения границ зерен. Современные методы исследования структуры границ зерен.

8. Дефекты в границах зерен

Зернограничные дислокации. Тройные стыки зерен. Дисклинации в тройных стыках. Взаимодействие границ зерен с дефектами решетки. Поглощение и испускание дислокаций границами зерен. Неравновесное состояние границ зерен.

9. Процессы в границах зерен

Зернограничное проскальзывание. Миграция границ зерен. Диффузия по границам зерен.

4.3. Самостоятельная работа

В курсе запланировано 72 часа на самостоятельную работу аспирантов, которая включает в себя самостоятельную проработку и расширенное изучение материала, систематизацию, закрепление знаний, выполнение заданий и подготовку к сдаче зачета.

5. Текущая и промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств

5.1. Организация текущего контроля освоения материала

Текущий контроль знаний по дисциплине «Физика дефектов кристаллического строения металлов» осуществляется путем устных или письменных опросов по вопросам пройденных тем с периодичностью через 2 занятия с использованием вопросов для

текущего контроля, а также задания, направленного на проверку сформированности компетенций при изучении дисциплины.

Объектами оценивания при текущем контроле выступают:

- учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний;
- степень сформированности компетенций.

Примерный перечень вопросов для подготовки аспирантов к текущему контролю теоретических знаний

1. Точечные дефекты. Механизмы их образования и миграции.
2. Термодинамика вакансий и межузельных атомов.
3. Комплексы точечных дефектов, их характеристики.
4. Роль точечных дефектов в диффузии в кристаллах. Элементарные механизмы диффузии.
5. Радиационные дефекты.
6. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Виды дислокаций.
7. Дислокации в теории упругости: поля деформации, напряжений и энергия.
8. Силы, действующие на дислокации.
9. Скольжение и переползание дислокаций.
10. Барьер Пайерлса для движения дислокаций.
11. Механизмы зарождения дислокаций.
12. Пересечение дислокаций и образование порогов.
13. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.
14. Дислокации в г.ц.к., г.п.у. и о.ц.к. кристаллах. Полные и частичные дислокации. Дефекты упаковки.
15. Дислокационные реакции. Тетраэдр Томпсона. Вершинные дислокации и дислокации Ломера-Коттрелла.
16. Дислокации в твердых растворах.
17. Сверхдислокации в упорядоченных сплавах.
18. Системы дислокаций. Дислокационные скопления.
19. Малоугловые стенки и сетки дислокаций. Экранировка поля напряжений дислокаций.
20. Формула Франка.
21. Дисклинации. Упругое поле и энергия дисклинаций.
22. Полные и частичные дисклинации.
23. Дисклинационные диполи, мультиполи.
24. Связь между дисклинациями, дислокациями и границами зерен.
25. Большеугловые границы зерен. Геометрические модели. Решетка совпадающих узлов и полная решетка наложений.
26. Дислокационные и дисклинационные модели строения границ зерен.
27. Атомные модели строения границ зерен.
28. Современные методы исследования структуры границ зерен.
29. Дефекты в большеугловых границах зерен. Зернограничные дислокации.
30. Тройные стыки зерен.
31. Дисклинации в тройных стыках зерен.
32. Взаимодействие границ зерен с дефектами решетки. Поглощение и испускание дислокаций.
33. Неравновесное состояние границ зерен.
34. Зернограничное проскальзывание.
35. Миграция границ зерен.
36. Диффузия по границам зерен.

Задание для оценки степени сформированности компетенций

Для демонстрации степени сформированности компетенций при изучении дисциплины аспирант самостоятельно выполняет письменное задание следующего содержания.

1. Проводит критический анализ современных научных достижений в области теоретического и экспериментального исследования дефектов кристаллического строения в металлах и формулирует нерешенные проблемы (компетенция УК-1).

2. Устанавливает связь современных достижений в области физики дефектов кристаллического строения с темой диссертационной работы аспиранта (ПК-2).

5.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется с целью выявления степени освоения аспирантом теоретических знаний по дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета в конце 4-го семестра.

Обучающийся допускается к зачету или экзамену в случае выполнения всех учебных заданий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отработывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Зачет проводится в письменно-устной форме. Аспиранту выдается задание в виде двух из приведенного ниже перечня. Зачет проводится в аудитории, время на написание и подготовку к ответам 40 минут.

Оценка «зачтено» выставляется при правильном и достаточно полном ответе, правильно использующем специальную терминологию, и умении отвечать на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета. При этом могут допускаться ошибки не принципиального характера.

Оценка «не зачтено» выставляется при недостаточно полном ответе, при неправильном использовании специальной терминологии, неумении отвечать на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета, при наличии в ответе ошибок принципиального характера.

Получение зачета является необходимым условием аттестации аспиранта за второй год обучения.

Перечень вопросов для подготовки аспирантов к промежуточной аттестации по дисциплине

1. Точечные дефекты. Механизмы их образования и миграции. Термодинамика вакансий и межузельных атомов. Комплексы точечных дефектов.

2. Роль точечных дефектов в диффузии в кристаллах. Элементарные механизмы диффузии. Радиационные дефекты.

3. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Виды дислокаций. Дислокации в теории упругости: поля деформации, напряжений и энергия.

4. Силы, действующие на дислокации. Скольжение и переползание дислокаций. Барьер Пайерлса для движения дислокаций.

5. Механизмы зарождения дислокаций. Пересечение дислокаций и образование порогов. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.

6. Дислокации в г.ц.к., г.п.у. и о.ц.к. кристаллах. Полные и частичные дислокации. Дефекты упаковки. Дислокационные реакции. Тетраэдр Томпсона. Вершинные дислокации и дислокации Ломера-Коттрелла.

7. Дислокации в твердых растворах. Сверхдислокации в упорядоченных сплавах.

8. Системы дислокаций. Дислокационные скопления. Малоугловые стенки и сетки дислокаций. Экранировка поля напряжений дислокаций. Формула Франка.
9. Дисклинации. Упругое поле и энергия дисклинаций. Полные и частичные дисклинации.
10. Дисклинационные диполи, мультиполи. Связь между дисклинациями, дислокациями и границами зерен.
11. Большеугловые границы зерен. Геометрические модели. Решетка совпадающих узлов и полная решетка наложений.
12. Дислокационные, дисклинационные и модели строения границ зерен.
13. Атомные модели строения границ зерен.
14. Современные методы исследования структуры границ зерен.
15. Дефекты в большеугловых границах зерен. Зернограничные дислокации.
16. Тройные стыки зерен. Дисклинации в тройных стыках.
17. Взаимодействие границ зерен с дефектами решетки. Поглощение и испускание дислокаций. Неравновесное состояние границ зерен.
18. Зернограничное проскальзывание.
19. Миграция границ зерен.
20. Диффузия по границам зерен.

6. Материальное обеспечение дисциплины

Для проведения занятий используется аудитория, оснащенная компьютером, проектором и экраном.

7. Учебная литература для самостоятельной работы

7.1. Основная литература

1. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. - М.: Металлургия, 1990. - 335 с.
2. Фридель Ж. Дислокации. – М: Мир, 1967. - 643с.
3. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть 1. Дефекты решетки. - М: МИСИС, 1999. - 383 с.
4. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации. - М.: Металлургия, 1982. - 584 с.
5. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 216с.
6. Жилиев А.П., Пшеничнюк А.И. Сверхпластичность и границы зерен в ультрамелкозернистых материалах. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения. М. Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 400 с.
2. Судзуки Т., Ёсианага Х., Такеути С. Динамика дислокаций и пластичность. М.: Мир, 1989. - 294 с.
3. Физическое материаловедение. – Под редакцией Р. Кана, Вып. II, Пер. с англ. - М.: Мир, 1968. - 489 с.