

**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
«Получение, структура и механические свойства наноматериалов»**

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

Форма обучения

очная

Составитель

зам. директора по научной работе, д.ф.-м.н.

А.А. Назаров

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	3
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. Семинарские занятия	6
4.4. Самостоятельная работа	6
5. Текущая и промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств.....	6
5.1. Организация текущего контроля освоения материала	6
5.2. Промежуточная аттестация.....	8
6. Материальное обеспечение дисциплины.....	10
7. Учебная литература для самостоятельной работы.....	10
7.1. Основная литература	10
7.2. Дополнительная литература	10

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 методах получения, структуре и природе механических свойств наноструктурных металлов и сплавов.

1.2. Основные задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- виды и основные методы получения наноструктурных металлических материалов;
- современные представления о структуре и природе механических свойств наноструктурных металлов и сплавов;
- перспективы развития исследований и применения наноструктурных металлических материалов.

Аспирант должен уметь:

- анализировать влияние режимов получения наноструктурных металлов и сплавов на их структурное состояние и свойства;
- использовать передовые отечественные и зарубежные достижения в области наноматериалов при проведении научных исследований.

Аспирант должен приобрести навыки:

- навыками выбора метода получения наноструктурных металлов и сплавов с учетом требований к выполнению исследований их механических свойств и применению;
- навыками подбора режимов получения наноматериалов для формирования требуемых структурных состояний;
- изучения современных достижений в области наноструктурных материалов и их использования в исследовательской работе.

1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной:

Дисциплина участвует в формировании следующих профессиональных компетенций:

- 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);

– способности к самостоятельной постановке актуальных задач в области разработки перспективных материалов и технологических процессов, нацеленных на получение полуфабрикатов и деталей с улучшенными физико-механическими свойствами (ПК-2).

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Получение, структура и механические свойства наноматериалов» преподается в 3-й год обучения аспиранта и относится к дисциплинам вариативной части для профиля «Физика конденсированного состояния», изучаемым по выбору аспиранта.

Данная дисциплина базируется на следующих дисциплинах первых двух уровней высшего образования по направлению «Технологии материалов»: материаловедение, физика металлов и на дисциплинах «Дефекты кристаллического строения металлов» и «Прочность и пластичность материалов», изучаемых по программе аспирантуры во 2-м году обучения.

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины «Получение, структура и механические свойства наноматериалов», 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
		3
Общая трудоемкость дисциплины	108 / 3	108
Аудиторные занятия	36 / 1	36
Лекции	18 / 0,5	18
Семинары	18 / 0,5	18
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		Самостоя- тельная работа
			Лекции	Семи- нары	
1	Классификация и способы получения наноструктурных металлов и сплавов	10	4		6
2	Структура объемных наноматериалов	10	4		6

3	Термическая стабильность структуры наноматериалов	10	4		6
4	Механизмы пластической деформации наноструктурных металлов	14	2	2	10
5	Низкотемпературные механические свойства наноматериалов	16	4	2	10
6	Диффузия в наноматериалах	14	2	2	10
7	Высокотемпературные механические свойства наноматериалов	14	2		10
8	Механические свойства нанокompозитов с металлической матрицей	9	2		7
9	Применение наноструктурных металлов и сплавов	11	2	4	7
	Итого	108	26	8	72

4.2. Содержание разделов дисциплины

1. Классификация и способы получения наноструктурных металлов и сплавов

Классификация наноматериалов: кластеры, наночастицы, нановолокна, нанопленки, объемные наноматериалы, нанокompозиты. Методы получения: методы «снизу-вверх» (компактирование нанопорошков, осаждение с газообразной, жидкой фазы, электроосаждение), механоактивация, кристаллизация из аморфного состояния; методы «сверху-вниз» (деформационное измельчение зерен).

2. Структура объемных наноматериалов

Особенности микроструктуры. Искажения кристаллической решетки, их природа и величина. Параметр решетки. Фазовые превращения в наноструктурном состоянии. Объемная доля границ и стыков зерен. Дислокации и точечные дефекты в наноматериалах. Строение границ зерен в объемных наноматериалах: экспериментальные результаты и модели. Неравновесное состояние границ зерен. Энергия границ зерен в наноматериалах. Зернограничная диффузия в наноструктурных металлах.

3. Термическая стабильность структуры наноматериалов

Явления, происходящие в наноматериалах при нагреве. Дифференциальная сканирующая калориметрия наноматериалов. Релаксация неравновесной структуры границ зерен в наноматериалах и ее следствия. Модельные представления о релаксации структуры границ зерен. Рост зерен в наноматериалах. Специфические механизмы роста зерен. Факторы, влияющие на термостабильность наноматериалов. Методы повышения термостабильности.

4. Механизмы пластической деформации в наноматериалах

Ограничения дислокационного скольжения в наноразмерных зернах. Деформация скольжением частичных дислокаций. Зернограничное скольжение и диффузионная ползучесть при низких температурах. Деформационное двойникование..

5. Низкотемпературные механические свойства наноматериалов

Соотношение между размером зерен и пределом текучести наноматериалов. Предел текучести и микротвердость. Нарушения соотношения Холла-Петча в области малых размеров зерен: экспериментальные данные и модели. Поведение предела текучести и микротвердости наноматериалов при отжиге, его объяснения. Особенности деформационного упрочнения наноматериалов. Прочность и пластичность наноматериалов. Вязкость разрушения и усталостные свойства наноматериалов.

6. Диффузия в наноматериалах

Эффективный коэффициент диффузии нанокристаллов. Экспериментальные данные о коэффициенте зернограничной диффузии в наноматериалах. Теоретические объяснения повышенного коэффициента диффузии в наноматериалах.

7. Высокотемпературные механические свойства наноматериалов

Ползучесть наноматериалов. Сверхпластическая деформация наноматериалов.

8. Механические свойства нанокompозитов с металлической матрицей

Виды и методы получения металломатричных нанокompозитов. Жидкофазные и твердофазные технологии получения. Механизмы упрочнения в нанокompозитах. Прочность и пластичность нанокompозитов.

9. Применение наноструктурных металлов и сплавов

Общая характеристика областей применения наноматериалов. Использование наноматериалов в транспортном машиностроении. Авиационная и космическая техника. Автомобильная промышленность. Применение наноматериалов в военной технике и средствах защиты. Конструкционные, инструментальные и триботехнические материалы и покрытия.

4.3. Семинарские занятия

1. Раздел "Механизмы пластической деформации наноструктурных металлов".

Тема: Карты механизмов деформации наноматериалов.

2. Раздел "Низкотемпературные механические свойства наноматериалов". Тема:

Способы повышения пластичности наноматериалов.

3. Раздел "Диффузия в наноматериалах". Тема: Роль неравновесной структуры границ зерен в кинетике зернограничной диффузии.

4. Раздел "Применение наноструктурных металлов и сплавов". Темы:

- 1) Сверхпластическая формовка и сварка давлением наноматериалов;
- 2) Сверхпластическая раскатка наноструктурных жаропрочных сплавов.

4.4. Самостоятельная работа

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

5. Текущая и промежуточная аттестация.

Фонд оценочных средств

5.1. Организация текущего контроля освоения материала

Текущий контроль знаний по дисциплине «Получение, структура и механические свойства наноматериалов» 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. Дать определения кластеров, наночастиц, нановолокон, нанопленок, объемных наноматериалов (наноматериалов), нанокompозитов.
2. Привести примеры методов получения наноматериалов, основанных на концепции «снизу-вверх».
3. Описать метод получения нанопорошков осаждением с газообразной фазы.
4. Получение нанопорошков путем осаждения с жидкой фазы.
5. Описать методы компактирования нанопорошков.
6. Описать метод получения наноматериалов электроосаждением.
7. Получение наноматериалов механоактивацией.
8. Каким образом получают аморфные сплавы?
9. Описать получение наноматериалов кристаллизацией из аморфного состояния.
10. Почему деформационные методы относят к методам "сверху-вниз"?
11. Как меняется параметр решетки в отдельных наночастицах и наноматериалах?
12. Какова природа искажений кристаллической решетки в наноматериалах?
13. Как они определяются?
14. Фазовые превращения в наноструктурном состоянии.
15. Посчитать объемную долю границ и стыков зерен в наноматериалах в зависимости от размера зерен.
16. Дислокации и точечные дефекты в наноматериалах.
17. Описать экспериментальные результаты о строении границ зерен в объемных наноматериалах.
18. Какие модели границ зерен в нанокристаллах существуют? На каких данных они основаны?
19. Неравновесное состояние границ зерен.
20. Энергия границ зерен в наноматериалах.
21. Явления, происходящие в наноматериалах при нагреве.
22. На какие особенности указывают данные дифференциальной сканирующей калориметрии наноматериалов?
23. Релаксация неравновесной структуры границ зерен в наноматериалах
24. Модельные представления о релаксации структуры границ зерен.
25. Рост зерен в наноматериалах. Специфические механизмы роста зерен.
26. Факторы, влияющие на термостабильность наноматериалов.
27. Методы повышения термостабильности.
28. Ограничения дислокационного скольжения в наноразмерных зернах.
29. Деформация скольжением полных дислокаций.
30. Деформация скольжением частичных дислокаций.
31. Зернограничное скольжение в наноматериалах.
32. Диффузионная ползучесть при низких температурах.
33. Деформационное двойникование в наноматериалах.

34. Соотношение между размером зерен и напряжением течения для наноматериалов.
35. Связь между пределом текучести и микротвердостью.
36. Нарушения соотношения Холла-Петча в области малых размеров зерен: экспериментальные данные
37. Модели предела текучести наноматериалов.
38. Поведение предела текучести и микротвердости наноматериалов при отжиге, его объяснения.
39. Особенности деформационного упрочнения наноматериалов.
40. Прочность и пластичность наноматериалов.
41. Вязкость разрушения и усталостные свойства наноматериалов.
42. Эффективный коэффициент диффузии нанокристаллов.
43. Экспериментальные данные о коэффициенте зернограничной диффузии в наноматериалах.
44. Теоретические объяснения повышенного коэффициента диффузии в наноматериалах.
45. Ползучесть наноматериалов.
46. Сверхпластическая деформация наноматериалов.
47. Виды и методы получения металлматричных нанокомпозитов.
48. Жидкофазные и твердофазные технологии получения нанокомпозитов.
49. Механизмы упрочнения в нанокомпозитах.
50. Прочность и пластичность нанокомпозитов.
51. Общая характеристика областей применения наноматериалов.
52. Использование наноматериалов в транспортном машиностроении.
53. Наноматериалы в авиационной и космической технике.
54. Применение наноматериалов в военной технике и средствах защиты.
55. Конструкционные, инструментальные и триботехнические наноматериалы и нанопокртия.

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 отечественных и зарубежных работ в области технологий получения наноструктурных металлов и сплавов и осуществляет обоснованный выбор методов, обеспечивающих получение полуфабрикатов и деталей с улучшенными физико-механическими свойствами (ПК-1).

2. На основе знаний современных достижений в области исследования наноматериалов описывает актуальные задачи в области разработки перспективных материалов и технологических процессов, нацеленных на получение полуфабрикатов и деталей с улучшенными физико-механическими свойствами (ПК-2).

5.3. 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 отрабатывает 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 третий год обучения.

Перечень вопросов для подготовки аспирантов к зачету по дисциплине

1. Классификация наноматериалов: кластеры, наночастицы, нановолокна, нанопленки, объемные наноматериалы, нанокompозиты. Методы получения: методы «снизу-вверх» (компактирование нанопорошков, осаждение с газообразной, жидкой фазы, электроосаждение), механоактивация, кристаллизация из аморфного состояния; методы «сверху-вниз» (деформационное измельчение зерен).

2. Особенности микроструктуры наноматериалов. Параметр решетки. Искажения кристаллической решетки, их природа и величина.

3. Фазовые превращения в наноструктурном состоянии. Объемная доля границ и стыков зерен. Дислокации и точечные дефекты в наноматериалах.

4. Строение границ зерен в объемных наноматериалах: экспериментальные результаты и модели.

5. Неравновесное состояние границ зерен. Энергия границ зерен в наноматериалах.

6. Термическая стабильность структуры наноматериалов. Явления, происходящие в наноматериалах при нагреве. Дифференциальная сканирующая калориметрия наноматериалов.

7. Релаксация неравновесной структуры границ зерен в наноматериалах и ее следствия. Модельные представления о релаксации структуры границ зерен.

8. Рост зерен в наноматериалах. Специфические механизмы роста зерен.

9. Факторы, влияющие на термостабильность наноматериалов. Методы повышения термостабильности.

10. Механизмы пластической деформации в наноматериалах. Ограничения дислокационного скольжения в наноразмерных зернах. Деформация скольжением частичных дислокаций.

11. Зернограничное скольжение и диффузионная ползучесть при низких температурах. Деформационное двойникование.

12. Соотношение между размером зерен и пределом текучести наноматериалов. Предел текучести и микротвердость. Нарушения соотношения Холла-Петча в области малых размеров зерен: экспериментальные данные и модели. Поведение предела текучести и микротвердости наноматериалов при отжиге, его объяснения.

13. Особенности деформационного упрочнения наноматериалов. Прочность и пластичность наноматериалов.

14. Вязкость разрушения и усталостные свойства наноматериалов.

15. Диффузия в наноматериалах. Эффективный коэффициент диффузии нанокристаллов. Экспериментальные данные о коэффициенте зернограничной диффузии в наноматериалах.

16. Теоретические объяснения повышенного коэффициента диффузии в наноматериалах.

17. Высокотемпературные механические свойства наноматериалов. Ползучесть наноматериалов.
18. Сверхпластическая деформация наноматериалов.
19. Виды и методы получения металлматричных нанокомпозитов. Жидкофазные и твердофазные технологии получения.
20. Механизмы упрочнения в нанокомпозитах. Прочность и пластичность нанокомпозитов.
21. Общая характеристика областей применения наноматериалов. Использование наноматериалов в транспортном машиностроении. Авиационная и космическая техника. Автомобильная промышленность.
22. Применение наноматериалов в военной технике и средствах защиты. Конструкционные, инструментальные и триботехнические материалы и покрытия.

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. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М.: Логос, 2000. 272 с.
2. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов.- М.: Наука, 2002.- 438с.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
4. Жияев А.П., Пшеничнюк А.И. Сверхпластичность и границы зерен в ультрамелкозернистых материалах. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.
5. Сверхпластичность ультрамелкозернистых сплавов: Эксперимент, теория, технологии / Р.Р. Мулюков, Р.М. Имаев, А.А. Назаров, В.М. Имаев, М.Ф. Имаев, В.А. Валитов, Р.М. Галеев, С.В. Дмитриев, А.В. Корзников, А.А. Круглов, Р.Я. Лутфуллин, М.В. Маркушев, Р.В. Сафиуллин, О.Ш. Ситдиков, В.Г. Трифонов, Ф.З. Утяшев; под ред. Р.Р. Мулюкова, Р.М. Имаева, А.А. Назарова, В.М. Имаева, М.Ф. Имаева. - М.: Наука, 2014. - 284 с.
6. Гуткин М.Ю., Овидько И.А. Дефекты и механизмы пластичности в наноструктурных и некристаллических материалах. - СПб.: Янус, 2001. - 178 с.
7. Гуткин М.Ю., Овидько И.А. Физическая механика деформируемых наноструктур. Т. 1. - СПб.: Янус, 2003. - 194 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Утяшев Ф.З. Современные методы интенсивной пластической деформации // 2008, Уфа: УГАТУ. 313 с.
2. Маркушев М.В. К вопросу об эффективности некоторых методов интенсивной пластической деформации, предназначенных для получения объемных наноструктурных материалов // Письма о материалах. 2011. т.1. вып. 1. С. 36-42.
3. Петров Е.Н., Родионов, Кузьмин Э.Н., Лутфуллин Р.Я., Сафиуллин Р.В. Ячеистые конструкции — Снежинск: Издательство РФЯЦ-ВНИИТФ. 2008. — 176 с. ISBN 978-5-902278-26-9
4. Суздаев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: Кн. Дом «Либроком», 2009. – 592 с.

5. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жияев А.П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 213 с.
6. Ильин А.А., Строганов Г.Б. Ультрадисперсные (нанокристаллические) материалы: учебное пособие. - М.: МАТИ, 2009. - 128 с.