

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Материаловедение и методы диагностики.

2. Лекторы.

2.1. Профессор, академик РАН, Руденко Олег Владимирович, кафедра акустики, rudenko@acs366.phys.msu.ru, 939-29-36.

2.2. Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Одина Наталья Ивановна, кафедра акустики, niodina@mail.ru, 939-18-21.

3. Аннотация дисциплины.

Курс предназначен для ознакомления студентов со свойствами микро- и наноструктурных материалов, используемых в промышленности: их регулярной структурой, дефектами и их влиянием на свойства изучаемых материалов, в том числе в условиях механических и тепловых воздействий. Студенты знакомятся с основами кристаллофизики, химической термодинамики, теории прочности и разрушения, физическими особенностями технологических процессов, методами исследования атомной и микроскопической структуры. Основы материаловедения излагаются с точки зрения использования акустических методов диагностики и неразрушающего контроля для изучения свойств материалов, изделий и структур.

4. Цели освоения дисциплины.

Владение современными профессиональными знаниями в области материаловедения и методов диагностики материалов и их применения для задач неразрушающей диагностики материалов акустическими и родственными методами.

5. Задачи дисциплины.

Задачами курса являются: (1) систематическое изложение физических основ материаловедения; (2) изложение современного состояния материаловедения; (3) знакомство с принципами работы конкретных устройств диагностики микро- и наноструктурных материалов.

6. Компетенции.

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

ПК-1, ПК-6

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

ПК-3, ПК-4

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать способы описания и методы исследования структуры (регулярной и дефектной) твердых тел, методы исследования основных механических свойств материалов, принципы работы существующих устройств диагностики твердых тел, принципы построения фазовых диаграмм;

уметь использовать данные рентгеновского и химического анализа, электронной и атомной силовой микроскопии, механических тестов для постановки задач акустической диагностики материалов и процессов.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	8			
Общая трудоёмкость, акад. часов	72			72
Аудиторная работа:				
Лекции, акад. часов	36			36
Семинары, акад. часов				
Лабораторные работы, акад. часов				
Самостоятельная работа, акад. часов	36			36
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	зач.			

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий		Форма текущего контроля
		Аудиторная работа	Самостоятельная работа (42 академ. часа)	
		Лекции (36 академ. часов)		
1	Введение в физику твёрдого тела	<i>Лекция №1 (3 часа)</i> Строение кристаллических тел. Ближний и дальний порядок. Потенциал межатомного взаимодействия. Элементарная ячейка. Кристаллографические системы. Пространственные решетки Бравэ. Параметры решетки. Координационное число. Коэффициент компактности.	<i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 3 задач по теме лекции.	ДЗ, КР
		<i>Лекция №2 (3 часа)</i> Узлы, направления и плоскости решетки. Индексы Миллера. Полиморфизм. Типы химической связи. Влияние анизотропии и ангармоничности потенциала межатомного взаимодействия на упругие свойства кристаллов.	<i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.	
		<i>Лекция №3 (3 часа)</i> Дефекты кристаллической структуры. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Вакансии, дефекты внедрения и замещения. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты (дислокации). Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргера. Движение дислокаций. Закон Паейрлса-Набарро. Амплитудно-зависимый дефект модуля упругости в некоторых моделях дислокационного гистерезиса. Пластическая деформация. Закон Шмида. Поверхностные дефекты. Границы зерен. Закон Холла-Петча. Граница двойников. Влияние пластической деформации и размеров зерна на упругие свойства металлов.	<i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.	
		<i>Лекция №4 (3 часа)</i> Методы исследования структуры твердых тел. Устройство и принцип действия рентгеновского дифрактометра. Просвечивающая электронная микроскопия. Туннельная микроскопия. Атомная силовая микроскопия. Акустическая и фотоакустическая микроскопия.	<i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.	
2	Основы материала- ловедения	<i>Лекция №5 (3 часа)</i> Механические тесты. Тест на растяжение. Определение статического модуля Юнга из зависимости напряжение-деформация. Пределы прочности и текучести. Изгибные испытания. Определение твердости. Тесты Бринелля, Виккерса и Роквелла. Микро- и нанотвердость. Корреляция твердости со скоростью и затуханием ультразвуковых волн. Ударная вязкость. Трещиностойкость. Ультразвуковая оценка трещиностойкости. Усталостные испытания. Ползучесть. Закон Аррениуса. Параметр Ларсо-	<i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.	ДЗ, КР

		<p>на-Миллера.</p> <p><i>Лекция №6 (3 часа)</i> Обработка металлов давлением. Деформационное упрочнение. Коэффициент деформационного упрочнения. Механизмы деформационного упрочнения. Источник Франка-Рида. Методы обработки металлов давлением. Остаточные напряжения. Влияние остаточных напряжений на акустические свойства твердых тел. Термическая обработка металлов. Виды термической обработки. Отжиг. Стадии отжига. Рекристаллизация. Влияние рекристаллизации на параметры акустических волн. Контроль отжига. Сварка. Акустическая сварка. Сверхпластические деформации.</p>	<p><i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.</p>	
		<p><i>Лекция №7 (2 часа)</i> Основные закономерности затвердевания. Стадии затвердевания. Гомогенная и гетерогенная нуклеация. Дендритный и планарный рост. Правило Хворинова. Дефекты затвердевания. Акустический контроль процессов затвердевания. Методы получения микро- и нанокристаллических материалов. Методы получения поликристаллического слитка. Методы выращивания монокристаллов. Методы получения нанопорошков и компактных наноматериалов. Воздействие акустических волн на процессы синтеза материалов.</p>	<p><i>3 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.</p>	
3	Основы химической термодинамики	<p><i>Лекция №8 (2 часа)</i> Фазовые превращения. Фазовая диаграмма бинарной системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии. Понятие фазы. Правило фаз Гиббса. Правила Юм-Розери. Равновесное и неравновесное затвердевание твердых растворов. Сегрегация. Исследование фазовых переходов акустическим и фотоакустическим методами.</p>	<p><i>3 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.</p>	ДЗ, КР
		<p><i>Лекция №9 (2 часа)</i> Фазовые диаграммы с протеканием трехфазных реакций. Важнейшие типы трехфазных реакций. Эвтектическая реакция. Твердые растворы, эвтектические, до-эвтектические и за-эвтектические сплавы. Структура и механические свойства эвтектических сплавов. Дисперсное упрочнение. Когерентные</p>	<p><i>3 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.</p>	
		<p><i>Лекция №10 (2 часа)</i> Фазовая диаграмма системы Fe-Fe₃C. Эвтектоидная реакция. Полиморфные превращения железа и твердых растворов на его основе. Цементит. Перлит. Бейнит. Эвтектоидная, до- и за-эвтектоидная стали. ТермокINETические кривые. Мартенситное превращение. Эффект памяти формы в мартенситных сплавах. Влияние мартенситного превращения на акустические параметры.</p>	<p><i>3 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.</p>	
4	Основы материа-	<p><i>Лекция №11 (2 часа)</i></p>	<p><i>3 часа</i></p>	

поведения (продолжение)	<p>Простая термообработка стали. Изотермическая тепловая обработка. Влияние содержания углерода, скорости охлаждения и легирующих примесей на термокинетические кривые. Закалка и отпуск. Проба Джомини для определения закаливаемости стали.</p>	Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.	ДЗ, КР
	<p><i>Лекция №12 (2 часа)</i> Классификация сплавов железа с углеродом. Стали и чугуны. Специальные стали: инструментальные, высокопрочные низколегированные, микролегированные, двухфазные, состаренные. Обработка поверхности: науглероживание, цианидирование, карбоазотирование. Нержавеющие стали: ферритовая, мартенситная, аустенитная. Чугуны: белый, серый, ковкий. Влияние состояния поверхности на параметры поверхностных акустических волн.</p>	<p><i>3 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы. Решение 2 задач по теме лекции.</p>	
	<p><i>Лекция №13 (2 часа)</i> Разрушение и коррозия металла. Механизмы трещинообразования. Хрупкое и вязкое разрушение. Усталостное разрушение. Акустическая эмиссия. Основные виды коррозии: химическая, электрохимическая, межзеренная. Окисление. Абразивный износ. Эрозия.</p>	<p><i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы.</p>	
	<p><i>Лекция №14 (2 часа)</i> Методы неразрушающего контроля твердых тел. Рентгенография, ультразвуковое тестирование, магнитный и вихретоковый, термографический, акустоэмиссионный, термо-акустоэмиссионный, фотоакустический.</p>	<p><i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы.</p>	
	<p><i>Лекция №15 (2 часа)</i> Наноструктуры. Этапы развития нанотехнологий. Классификация наноструктур. Структурные свойства индивидуальных нанокластеров. «Магические числа». Флуктуации структуры. Электронная структура нанокластеров. Механические свойства нанокристаллических материалов.</p>	<p><i>2 часа</i> Работа с лекционным материалом и чтение рекомендованной литературы.</p>	

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости.

1. Домашнее задание (ДЗ);
2. Контрольная работа (КР)

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина по выбору
2. Вариативная часть, профессиональный блок, спецкурс кафедры.
3. Изложение опирается на знания, полученные студентами ранее в дисциплинах по математике, общих курсов физики и в вводном курсе кафедры «Введение в акустику».
 - 3.1. Дисциплины, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины:
Математический анализ, общие курсы физики, «Введение в акустику»
 - 3.2. Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:
"Физическая акустика твердого тела", "Ультразвуковые методы в физике твердого тела", "Акустическая нелинейность твердых тел", "Кристаллоакустика и акустоэлектроника", научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа.

10. Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия могут проходить на русском или английском языках. Преподавание ведется в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ. Проводятся дискуссии и круглые столы.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях.

Образцы задач для самостоятельного решения и контрольных работ.

1. В предположении кубической решетки определить тип кристаллической структуры для металла с $a=0.4949$ нм, $r=0.175$ нм.
2. Построить плоскости (100), (110) кубической решетки.
3. Рассчитать концентрацию вакансий в меди при температуре 1085°C (вблизи точки плавления), если энергия образования вакансий составляет 1эВ .
4. Определить число твердости по Бринеллю НВ, если при приложенной нагрузке 3000 кгс диаметр отпечатка составил 4 мм (диаметр индентора 10 мм).
5. По приведенной таблице построить нагрузочную кривую, определить коэффициент деформационного упрочнения и наиболее вероятный тип решетки (ГЦК, ОЦК или ГПУ).
6. Определить величину критического радиуса зародышей при переохлаждении галлия, если температура плавления - 30°C , плотность поверхностной энергии - 0.056 Дж/м², переохлаждение - 76°C , плотность скрытой теплоты плавления - $488 \cdot 10^6$ Дж/м³.
7. Сколько граммов никеля нужно добавить к 500 г меди, чтобы получить сплав с температурой ликвидуса 1350°C (фазовая диаграмма прилагается)?
8. Для сплава Pb – 10%Sn определить состав и содержание фаз при 0°C (фазовая диаграмма прилагается).
9. Вычислить состав и содержание фаз в перлите сразу после окончания эвтектоидной реакции (фазовая диаграмма прилагается).
10. По данным термического анализа (приведены на графике) построить фазовую диаграмму.

11. Вычислить состав и содержание фаз в белом чугуна сразу после окончания эвтектической реакции.

Полный перечень вопросов к экзамену.

1. Строение кристаллических тел. Ближний и дальний порядок. Потенциал межатомного взаимодействия. Элементарная ячейка. Кристаллографические системы. Пространственные решетки Бравэ. Параметры решетки. Координационное число. Коэффициент компактности.

2. Узлы, направления и плоскости решетки. Индексы Миллера. Полиморфизм. Типы химической связи. Влияние анизотропии и ангармоничности потенциала межатомного взаимодействия на упругие свойства кристаллов.

3. Дефекты кристаллической структуры. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Вакансии, дефекты внедрения и замещения. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты (дислокации). Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Движение дислокаций. Закон Паейрлса-Набарро. Амплитудно-зависимый дефект модуля упругости в некоторых моделях дислокационного гистерезиса.

4. Пластическая деформация. Закон Шмида. Поверхностные дефекты. Границы зерен. Закон Холла-Петча. Граница двойников. Влияние пластической деформации и размеров зерна на упругие свойства металлов.

5. Методы исследования структуры твердых тел. Устройство и принцип действия рентгеновского дифрактометра.

6. Просвечивающая электронная микроскопия. Туннельная микроскопия. Атомная силовая микроскопия. Акустическая и фотоакустическая микроскопия.

7. Механические тесты. Тест на растяжение. Определение статического модуля Юнга из зависимости напряжение-деформация. Пределы прочности и текучести. Изгибные испытания.

8. Определение твердости. Тесты Бринелля, Виккерса и Роквелла. Микро- и нанотвердость. Корреляция твердости со скоростью и затуханием ультразвуковых волн.

9. Ударная вязкость. Трещиностойкость. Ультразвуковая оценка трещиностойкости. Усталостные испытания.

10. Ползучесть. Закон Аррениуса. Параметр Ларсона-Миллера.

11. Обработка металлов давлением. Деформационное упрочнение. Коэффициент деформационного упрочнения. Механизмы деформационного упрочнения. Источник Франка-Рида. Методы обработки металлов давлением. Остаточные напряжения. Влияние остаточных напряжений на акустические свойства твердых тел.

12. Термическая обработка металлов. Виды термической обработки. Отжиг. Стадии отжига. Рекристаллизация. Влияние рекристаллизации на параметры акустических волн. Контроль отжига. Сварка. Акустическая сварка. Сверхпластические деформации.

13. Основные закономерности затвердевания. Стадии затвердевания. Гомогенная и гетерогенная нуклеация. Дендритный и планарный рост. Правило Хворинова. Дефекты затвердевания. Акустический контроль процессов затвердевания.

14. Методы получения микро- и нанокристаллических материалов. Методы получения поликристаллического слитка. Методы выращивания монокристаллов. Методы получения нанопорошков и компактных наноматериалов. Воздействие акустических волн на процессы синтеза материалов.

15. Фазовые превращения. Фазовая диаграмма бинарной системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии.

16. Понятие фазы. Правило фаз Гиббса. Правила Юм-Розери.

17. Равновесное и неравновесное затвердевание твердых растворов. Сегрегация. Исследование фазовых переходов акустическим и фотоакустическим методами.

18. Фазовые диаграммы с протеканием трехфазных реакций. Важнейшие типы трехфазных реакций.

19. Эвтектическая реакция. Твердые растворы, эвтектические, до-эвтектические и за-эвтектические сплавы.
20. Структура и механические свойства эвтектических сплавов. Дисперсное упрочнение.
21. Когерентные и некогерентные выделения. Соотношение Авраами. Упрочнение старением.
22. Фазовая диаграмма системы Fe-Fe₃C. Эвтектоидная реакция.
23. Полиморфные превращения железа и твердых растворов на его основе. Цементит. Перлит. Бейнит. Эвтектоидная, до- и за-эвтектоидная стали.
24. Термокинетические кривые.
25. Мартенситное превращение. Эффект памяти формы в мартенситных сплавах. Влияние мартенситного превращения на акустические параметры.
26. Простая термообработка стали. Изотермическая тепловая обработка. Влияние содержания углерода, скорости охлаждения и легирующих примесей на термокинетические кривые. Закалка и отпуск. Проба Джомини для определения закаливаемости стали.
27. Классификация сплавов железа с углеродом. Стали и чугуны. Специальные стали: инструментальные, высокопрочные низколегированные, микролегированные, двухфазные, состаренные. Нержавеющие стали: ферритовая, мартенситная, аустенитная.
28. Обработка поверхности: науглероживание, цианидирование, карбоазотирование.
29. Чугуны: белый, серый, ковкий. Влияние состояния поверхности на параметры поверхностных акустических волн.
30. Разрушение и коррозия металла. Механизмы трещинообразования. Хрупкое и вязкое разрушение. Усталостное разрушение.
31. Акустическая эмиссия. Основные виды коррозии: химическая, электрохимическая, межзеренная. Окисление. Абразивный износ. Эрозия.
32. Методы неразрушающего контроля твердых тел. Рентгенография, ультразвуковое тестирование, магнитный и вихретоковый, термографический, акустоэмиссионный, термоакустоэмиссионный, фотоакустический.
33. Наноструктуры. Этапы развития нанотехнологий. Классификация наноструктур. Структурные свойства индивидуальных нанокластеров. «Магические числа». Флуктуации структуры. Электронная структура нанокластеров. Механические свойства нанокристаллических материалов.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Список рекомендованной литературы:

Основная:

1. О.В.Руденко, Н.И. Одина. Материаловедение и методы диагностики микро- и наноструктурных материалов. Конспект лекций в электронной форме. 2010.
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. Москва, Мир, 1976.
3. Ч.Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. Москва, Техносфера, 2007.
4. Кайно Г. Акустические волны, Москва, Мир, 1996.
5. Б. Радж, В. Раджендран, П. Паланичами. Применения ультразвука. Москва, Техносфера, 2006.
6. Материаловедение (под ред. Б.Н.Арзамасова, В.И. Макарова, Г.Г. Мухина и др.), Москва, Изд. МГТУ им. Баумана, 2001 (имеется в библиотеке физ. ф-та).

Дополнительная:

1. Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. Москва, Мир, 1972.
2. Ю.В. Трушин. Физическое материаловедение. С.-Петербург, Наука, 2000 (имеется в библиотеке физ. ф-та).

13. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Аудитория 3-65. Ноутбук, проектор.