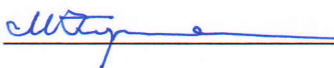


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук

СОГЛАСОВАНО
зам. директора института
по научной работе
доктор физ.-мат. наук

 М.А. Коротин

« 01 » сентября 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ
Директор института
академик РАН

 Н.В. Мушников

« 02 » сентября 2025 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
1.3.8. Физика конденсированного состояния
по физико-математическим наукам

Специализация: **Фазовые превращения и их влияние
на свойства твердых тел**

Екатеринбург
2025

Общие сведения

Общие положения теории термодинамики. Фаза. Фазовые превращения I и II рода. Структура кристаллических и аморфных твердых тел. Твердый раствор. Фазовые превращения в металлах и сплавах. Диффузионно-контролируемые и сдвиговые превращения. Кристаллизация. Полиморфные, мартенситные превращения. Распад пересыщенных твердых растворов. Атомное упорядочение.

Фазовые превращения в металлах и сплавах

Равновесные диаграммы состояния и метастабильные состояния. Фазовые превращения в металлах и сплавах. Кристаллизация. Эвтектическое, эвтектоидное, перитектическое, перитектоидное превращения. Физическая причина переохлаждения. Образование зародышевых центров и их диффузионный рост. Ликвация в сплавах. Аморфное состояние. Выращивание монокристаллов из расплава. Зонная очистка. Закалка из расплава. Полиморфные диффузионные и сдвиговые превращения. Распад пересыщенных твердых растворов. Упорядочение. Спинодальный распад. Образование модулированных структур. Магнитные превращения. Влияние давления и магнитного поля на фазовые превращения. Принципы термической обработки металлических сплавов.

Распад пересыщенного твердого раствора и атомное упорядочение сплавов

Термодинамика, механизмы и кинетика диффузионных превращений. Прерывистый и непрерывный распад. Распад по механизму образования и роста зародышей. Спинодальный распад. Зоны Гинье-Престона. Метастабильные фазы. Влияние дефектов кристаллической решетки на процессы распада пересыщенного твердого раствора и упорядочения сплавов. Дисперсионное упрочнение сплавов. Физические и механические свойства стареющих и упорядочивающихся сплавов и их связь с реальной структурой.

Особенности пластической деформации и упрочнения стареющих и упорядочивающихся сплавов. Искусственное и естественное старение.

Сдвиговые (мартенситные) превращения сплавов

Термодинамика и кинетика сдвиговых превращений. Различные типы мартенситных превращений. Схема Бейна. Кристаллография мартенситных превращений. Ориентационные соотношения Бюргерса, Курдюмова-Закса, Нишиямы, Гренингера-Трояно. Микроструктура мартенсита. Термоупругое мартенситное превращение. Структура и свойства сплавов и соединений в предмартенситном состоянии. Роль мартенситных превращений в формировании физико-механических свойств материалов. Фазовый наклеп. Эффект памяти формы. Сверхупругость. Влияние дефектов кристаллического строения на кинетику мартенситных превращений. Закалка, отпуск.

Основы пластической деформации

Дефекты кристаллического строения (точечные дефекты, дислокации, дефекты упаковки, двойники, дисклинации, субграницы и границы зёрен, включения второй фазы). Механизмы пластической деформации моно- и поликристаллов при комнатной и повышенной температурах. Деформационное упрочнение. Разрушение. Микроструктура деформированных материалов. Механические свойства материалов. Гомологическая температура деформации. Динамический возврат. Динамическая рекристаллизация. Возврат, полигонизация, рекристаллизация (первичная, собирательная, вторичная). Текстура (деформации, рекристаллизации).

Экспериментальные методы исследования структуры

Металлография. Основы теории дифракции рентгеновских лучей и электронов на кристаллах. Методы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Взаимодействие пучков электронов с веществом. Устройство электронного

микроскопа. Амплитудный (дифракционный) и фазовый (интерференционный) контраст на электронно-микроскопическом изображении реальных кристаллических и аморфных твердых тел. Топографический и композиционный контраст на изображениях, получаемых в растровом электронном микроскопе. Аналитическая электронная микроскопия (энергодисперсионные и волнодисперсионные спектрометры; анализ дифракции обратно рассеянных электронов).

Физические методы исследования

Теплофизические свойства. Теплоемкость, теплопроводность твердых тел. Коэффициент линейного термического расширения. Термический анализ. Электрические свойства. Метод определения электросопротивления. Термоэлектрические свойства. Метод термоэлектродвижущей силы. Дилатометрия и определение плотности. Магнитные свойства. Доменная структура. Намагниченность. Коэрцитивная сила. Магнитометры. Магнитный структурный анализ. Метод ЯГР (эффект Мессбауэра). Внутреннее трение. Понятие о релаксационном спектре. Температурная и частотная зависимость внутреннего трения. Основные методы измерения внутреннего трения.

Литература

1. Буйнов Н.Н., Захарова Р.Р.
Распад металлических пересыщенных твердых растворов.- М.: Металлургия, 1964. - 144 с.:ил.
2. Современная кристаллография: В 4-х т./ АН СССР.Ин-т кристаллографии им.А.В. Шубникова; Редколл.: Б.К.Вайнштейн и др. - Т.1: Симметрия кристаллов.Методы структурной кристаллографии. - М.: Наука, 1979. - 383с.с ил.
3. Современная кристаллография: В 4-х т./ АН СССР.Ин-т кристаллографии им. А.В.Шубникова; Редколл.: Б.К.Вайнштейн и др. - Т.2: Структура кристаллов/ Б.К.Вайнштейн, В.М.Фридкин, В.Л.Инденбом. - М.: Наука, 1979. - 359 с.: ил.
4. Современная кристаллография: В 4-х т./ АН СССР. Ин-т кристаллографии им. А.В.Шубникова; Редколл.: Б.К.Вайнштейн и др. -

- Т.3: Образование кристаллов / А.А.Чернов, Е.И.Гиваргизов, Х.С.Багдасаров и др. - М.: Наука, 1980. - 407 с.: ил.**
- 5. Современная кристаллография: В 4-х т./ АН СССР.Ин-т кристаллографии им. А.В.Шубникова; Редколл.: Б.К.Вайнштейн и др. - Т.4: Физические свойства кристаллов/ Л.А.Шувалов, А.А.Урусовская, И.С.Желудев и др. - М.: Наука, 1981. - 495с.: ил.**
- 6. Гинье А.
Рентгенография кристаллов: Теория и практика/ Пер. с франц. Е.Н.Беловой и др.; Под ред. Н.В.Белова. - М.: Физматгиз, 1961. - 604 с.:ил.**
- 7. Джеймс, Реджинальд Вильям.
Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей / Пер. с англ. Г.А. Гольдера и М.П. Шаскольской ; Под ред. В.И. Ивероновой. –М. : Изд-во иностр. лит., 1950. - 572 с., 7 л. ил. : черт., ил.; 27 см. - (Кристаллическое состояние; Т. 2).**
- 8. Жданов Г.С.
Физика твердого тела: Учеб. пособие для вузов и втузов. - М.: Изд-во Моск.ун-та, 1962. - 501 с.: ил.**
- 9. Келли А., Гровс Г.
Кристаллография и дефекты в кристаллах/ Пер. с англ. С.Н.Горина, О.М.Кугаенко и В.С.Савченко; Под ред. М.П.Шаскольской. - М.: Мир, 1974. - 496с.**
- 10. Келли А., Никлсон Р.
Дисперсионное твердение/ Пер. с англ. З.Г.Фридмана и Ю.П.Либерова; Под ред. Л.К.Гордиенко и Е.Н.Власовой. - М.: Металлургия, 1966. - 300с.:ил. - (Успехи физики металлов. Т.10).**
- 11. Кривоглаз М.А.,Смирнов А.А.
Теория упорядочивающихся сплавов.- М.: Физматгиз, 1958. - 388с.:ил. - Библиогр.: с.381 - 388.**
- 12. Кривоглаз Михаил Александрович
Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах.- Киев: Наук.думка, 1983. - 407 с.: ил.**
- 13. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: Уче. для вузов/ Я.С.Уманский и др. - М.: Металлургия, 1982. - 631 с.: ил.**
- 14. Кристиан Дж.
Теория превращений в металлах и сплавах/ Пер. с англ. А.Я.Беленького, Д.Е.Темкина. - Ч.1: Термодинамика и общая кинетическая теория/ Под ред. А.Л.Ройтбурда.- М.: Мир, 1978. - 807 с.: ил. Christian J.W.-The theory of transformations in metall and alloys.P.I.Equilibrium and general kinetic theory.-2-nd ed.-Oxford-Ney York-Toronto.**
- 15. Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р.И.
Превращения в железе и стали. - М.: Наука, 1977. - 236 с.: ил.**

16. **Смирнов М.А., Счастливцев В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали: Учебное пособие.** Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 495 с.
17. **Металлы, электроны, решетка/ АН УССР.Ин-т металлофизики. - Киев: Науковадумка, 1975. - 440с.:ил.**
18. **МутоТ.,Такаги Ю.**
Теория явлений упорядочения в сплавах/ Пер. с англ. Я.П.Селисского. - М.: Изд-во иностр.лит., 1959. - 130 с.: ил.- Библиогр.:с.122-128.
19. **Орлов А.Н.**
Введение в теорию дефектов в кристаллах: Учеб. пособие для вузов по спец. "Физика металлов".- М.: Высшая школа, 1983. - 144 с.: ил.
20. **Павлов Виктор Алексеевич**
Физические основы пластической деформации металлов/Отв.ред. М.В.Якутович;АН СССР.Ин-т физики металлов. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 200 с.:ил.
21. **Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К.**
Физические основы пластической деформации: Учеб.пособие для вузов. - М.: Металлургия, 1982. - 584с.
22. **Владимиров В.И., Романов А.Е.**
Дисклинации в кристаллах. Л.: Наука, 1986. 224с.
23. **Верещагин Л.Ф.**
Синтетические алмазы и гидроэкструзия. М.: Наука, 1982. 328с.
24. **Левитас В.И.**
Большие упруго-пластические деформации материалов при высоком давлении. Киев: Наукова думка, 1987. 232 с.
25. **Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М.**
Рекристаллизация металлов и сплавов. 3-е изд. – М.: МИСИС, 2005. 432 с.
26. **Левит В.И., Смирнов М.А.**
Высокотемпературная термомеханическая обработка аустенитных сталей и сплавов. Челябинск: ЧГТУ, 1995. 276 с.
27. **Практические методы в электронной микроскопии/ Под ред. О.М.Глоэра; Пер. с англ., под ред. В.Н.Верцнера. - Л.: Машиностроение, 1980. - 375 с.: ил.**
28. **Симс Ч., Хагель В.**
Жаропрочные сплавы/ Пер. с англ.; Под ред. Е.М.Савицкого. - М.: Металлургия, 1976. - 568с.

29. **Суховаров В.Ф.**
Прерывистое выделение фаз в сплавах/ Отв. ред. А.Д.Коротаев. -
Новосибирск: Наука.Сиб. отд-ние, 1983. - 168с.
30. **Томас Гарет, Гориндж Майкл Дж.**
Просвечивающая электронная микроскопия материалов/
Пер.с англ.; Под ред. Б.К.Вайнштейна. - М.: Наука, 1983. - 317 с.: ил. -
Transmission electron microscopy of materials/ G.Tomas, M.J.Goringe (New York etc.).
- Библиогр.: с.310-317.
31. **Утевский Лев Маркович**
Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. - М.:
Металлургия, 1973. - 583 с.: ил.
32. **Физические основы прочности и пластичности металлов/**
С.Д.Герцикен, И.Я.Дехтяр, М.А.Кривоглаз и др. - М.: Metallurgizdat,
1963. - 322с.
33. **Фридель Ж.**
Дислокации/ Пер.с англ.; Под ред. А.Л.Ройтбурда. - М.: Мир, 1967. - 644 с.
34. **Хейденрайх Р.**
Основы просвечивающей электронной микроскопии/ Пер. с англ.
В.М.Кардонского и А.Г.Хачатуряна. - М.: Мир, 1966. - 471 с.: ил.
35. **Хирт Дж.П., Лоте И.**
Теория дислокаций/ Пер.с англ.; Под ред. Э.М.Нагорного и Ю.А.Осипьяна.
- М.: Атомиздат, 1972. - 599с.: ил. - Библиогр.: с.565-583.
36. **Электронная микроскопия тонких кристаллов/ П.Хирш, А.Хови,**
Р.Николсон и др.; Пер.с англ. Под ред. Л.М.Утевского. - М.: Мир, 1968. -
574 с.: ил.