

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: **Физические основы пластической деформации  
и механические свойства металлов и сплавов**

Екатеринбург

2025

## **Общие сведения**

Упругая и пластическая деформация. Дефекты кристаллической решетки. Дислокационная теория пластической деформации металлов. Общее понятие о дислокациях. Напряжения. Деформационное упрочнение металлов и сплавов. Методы пластической деформации.

### **Дислокационная теория пластической деформации металлов**

Теоретическая прочность идеального кристалла. Упругая и пластическая деформация. Напряжения. Основные типы дислокаций и их движение (скольжение, переползание). Вектор Бюргерса. Тензор деформации, тензор напряжений. Энергия дислокации. Напряжение Пайерлса-Набарро. Системы скольжения дислокаций в металлах с кубической и гексагональной решетками. Единичные и частичные дислокации в кристаллах с кубической и гексагональной решетками. Дефект упаковки, энергия дефекта упаковки. Дислокации в кристаллах с упорядоченной решеткой. Сверхдислокации. Антифазные границы. Упругое и контактное взаимодействие (пересечение) дислокаций. Источник Франка-Рида. Образование барьера Ломер-Коттрелла. Большеугловые границы обычного типа и специальные. Дислокационные модели малоугловых границ. Взаимодействие дислокаций с различными дефектами кристаллической решетки. Твердорастворное упрочнение. Понятие дисклинаций. Деформационное упрочнение.

### **Фазовые превращения в металлах и сплавах**

Твердый раствор. Фазовые превращения в металлах и сплавах. Диффузионно-контролируемые и сдвиговые превращения. Распад пересыщенных твердых растворов. Атомное упорядочение. Твердорастворное и дисперсионное упрочнение. Механизм перерезания и огибание частиц (механизм Орована). Физические и механические свойства стареющих и упорядочивающихся сплавов и их связь с реальной структурой. Особенности пластической деформации и упрочнения стареющих и упорядочивающихся

сплавов. Различные типы мартенситных превращений. Микроструктура мартенсита. Термоупругое мартенситное превращение. Роль мартенситного превращения в формировании физико-механических свойств материалов. Фазовый наклеп. Эффект памяти формы. Сверхупругость.

### **Деформация. Механические свойства материалов**

Упругая и пластическая деформация. Модули упругости. Пластическая деформация монокристаллов и поликристаллов. Плоскости и направления скольжения дислокаций. Критическое напряжение сдвига. Фактор Шмида. Двойникование. Закон Холла-Петча. Деформационное упрочнение. Коэффициент и показатель деформационного упрочнения. Методы определения механических свойств материалов. Диаграммы растяжения в истинных и условных координатах. Предел прочности, истинный и условный предел текучести, удлинение. Влияние температуры и скорости деформации на механические свойства материалов. Сверхпластичность. Обработка металлов давлением. Ударно-волновая обработка. Механизмы деформации на большие степени. Ротационные моды деформации. Дисклинация. Микроструктура деформированных материалов. Субмикроструктурная деформационная структура. Кристаллографическая текстура. Деформация композитных материалов.

### **Деформация сплавов при повышенных температурах**

Гомологическая температура деформации. Влияние температуры и скорости деформации на механические свойства материалов. Сверхпластичность. Жаропрочность и жаростойкость материалов. Явление ползучести. Деформация материалов под постоянной нагрузкой и при высокой температуре. Кривая ползучести. Методы определения ползучести материалов. Дислокационный, диффузионный и смешанный механизмы ползучести. Влияние легирования на прочностные и усталостные свойства сплавов при повышенных температурах. Деформация интерметаллидов при повышенной

температуре.

### **Разрушение. Усталостное разрушение**

Макроскопические теории разрушения. Кинетика разрушения. Дислокационные теории разрушения. Неоднородность и локализация деформации. Дисклинационный механизм разрушения. Хрупкое и вязкое разрушение. Хрупко-вязкий переход. Хладноломкость. Коррозионное растрескивание. Коррозионное растрескивание под напряжением. Кавитационное разрушение. Радиационное набухание материалов. Фрактографический анализ поверхности разрушения. Очаг разрушения.

Понятие «усталость». Методика усталостных испытаний. Усталостное разрушение материалов. Закон Пэриса (уравнение Пэриса-Эрдогана). Кривая усталости Вёлера. Предел выносливости (предел усталости). Малоцикловая (МЦУ), многоцикловая (МнЦУ), сверхмногоцикловая (гигацикловая) (СВМУ) усталость.

### **Механические свойства металлов и сплавов**

Основные виды механических испытаний. Диаграммы растяжения в истинных и условных координатах. Временное сопротивление, истинный и условный предел текучести, относительное удлинение, сужение поперечного сечения. Твердость, микротвердость и методы её измерения. Разрушение металлов. Вязкое и хрупкое разрушение. Влияние скорости нагружения на сопротивление пластической деформации и разрушению. Сверхпластичность. Испытания на удар, чувствительность к концентраторам напряжений. Влияние давления и температуры испытания на сопротивление деформации и разрушению. Ползучесть. Длительная прочность, предел ползучести. Жаропрочность и жаростойкость. Методы определения ползучести материалов. Релаксация напряжений. Хладноломкость металлов. Циклические испытания. Усталость металлов. Коррозия под напряжением. Кавитационное разрушение. Эффект Ребиндера. Радиационное набухание материалов.

## **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. **Бернштейн М.Л., Займовский В.А.**  
**Механические свойства металлов: Учебник для вузов по спец. "Физика металлов" и "Металловедение, оборуд. и технология терм. обраб. металлов". - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Металлургия, 1979. - 495 с.: ил.**

2. **Механические свойства материалов под высоким давлением.** Под ред. Х.Л. Пью. Перевод с английского под ред. акад. Л.Ф. Верещагина. Вып.1, вып. 2. М.: Изд—во «МИР».
3. **Владимиров В.И., Романов А.Е.**  
**Дисклинации в кристаллах/ Отв.ред.А.Н.Орлов; АН СССР. Физ.-техн. ин-т им.А.Ф.Иоффе.-** Л.: Наука.Ленингр.отд-ние, 1986. - 223с.: ил.
4. **Глезер А.М., Молотилев Б.В.**  
**Упорядочение и деформация сплавов железа.** - М.: Металлургия, 1984. - 168с.:ил.
5. **Золоторевский, В.С.**  
**Механические свойства металлов : Учеб. для студентов вузов, обучающихся по группе спец. направления "Металлургия" / 3. изд., перераб. и доп. –** М.: МИСИС, 1998. - 398 с. : ил.; 21 см.; ISBN 5-87623-017-0
6. **Кривоглаз М.А.,Смирнов А.А.**  
**Теория упорядочивающихся сплавов.-** М.: Физматгиз, 1958. - 388с.:ил. - Библиогр.: с.381 – 388
7. **Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: Уче. для вузов/ Я.С.Уманский и др. -** М.: Металлургия, 1982. - 631 с.: ил.
8. **Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р.И.**  
**Превращения в железе и стали.** - М.: Наука, 1977. - 236 с.: ил.
9. **Смирнов М.А., Счастливец В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали: Учебное пособие.** Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 495 с.
10. **Литвинов В.С., Каракишев С.Д., Овчинников В.В.**  
**Ядерная гамма-резонансная спектроскопия сплавов.** - М.: Металлургия, 1982. - 144с.
11. **В.А. Лихачев, В.В. Рыбин.**  
**Дисклинационная модель пластической деформации и разрушения металлов.** Вестник Ленинградского университета, Механика, 1976, № 7, 103-108с.

12. **Мак Лин Д.**  
**Механические свойства металлов/ Пер. с англ. Л.И.Миркина; Под ред. Я.Б.Фридмана. - М.: Металлургия, 1965. - 432с.**
13. **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.**
14. **Павлов Виктор Алексеевич**  
**Физические основы холодной деформации ОЦК металлов/ Отв.ред. М.В.Якутович; АН СССР.Урал.науч.центр. - М.: Наука, 1978.- 208 с.:ил.**
15. **Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И., Павлик Д.А., Малышев В.Ф. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск.: Навука і тэхніка, 1994. 232 с.**
16. **Попов Л.Е., Козлов Э.В.**  
**Механические свойства упорядоченных твёрдых растворов. - М.: Металлургия, 1970. - 216с.**
17. **Рыбин В.В.**  
**Большие пластические деформации и разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1986. - 224с.**
18. **Столофф Н.С., Дэвис Р.Г.**  
**Механические свойства упорядочивающихся сплавов/ Пер. с англ. Л.Б.Вульф; Под ред. В.Г.Курдюмова. - М.: Металлургия, 1969. - 113с.:ил. - (Успехи физики металлов.Т.13).**
19. **Уманский Я.С.,Скаков Ю.А.**  
**Физика металлов. Атомное строение металлов и сплавов: Учебник для вузов по спец."Физика металлов". - М.: Атомиздат, 1978. - 352 с.: ил.**
20. **Утевский Лев Маркович**  
**Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. - М.: Металлургия, 1973. - 583 с.:ил.**

21. **Фазовый наклеп аустенитных сплавов на железоникелевой основе / К.А.Малышев, В.В.Сагарадзе, И.П.Сорокин, Н.Д.Земцова, В.А.Теплов, А.И.Уваров; Отв. ред. В.Д.Садовский; АН СССР. УНЦ. Ин-т физики металлов. - М.: Наука, 1982. - 260 с.**
22. **Фридель Ж.**  
**Дислокации/ Пер.с англ.; Под ред.А.Л.Ройтбурда. - М.: Мир, 1967. - 644 с.**
23. **ХиртДж.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.**
24. **Хоникомб Р.**  
**Пластическая деформация металлов/ Пер. с англ.; Под ред. Б.Я.Любова. - М.: Мир, 1972. - 408 с.:ил.**
25. **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.**
26. **Petrov V. A., Vladimirov V. I., Orlov A. N. A Kinetic Approach to Fracture of Solids I. General Theorie //physica status solidi (b). – 1970. – Т. 42. – №. 1. – С. 197-206.**
27. **Orlov A. N., Petrov V. A., Vladimirov V. I. A kinetic approach to fracture of solids. II. The time to the fracture of a specimen under constant load in the presence of propagating cracks //physica status solidi (b). – 1971. – Т. 47. – №. 1. – С. 293-303.**