

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УТВЕРЖДЕНО

на заседании Ученого совета ИПСМ РАН  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2013 г.

Председатель, д. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_ Р.Р. Мулюков

"\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2013 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА  
кандидатского экзамена по специальности 01.04.07  
“Физика конденсированного состояния”

Разработали: д.ф.-м.н.  
д.ф.-м.н.  
к.ф.-м.н.

А.А. Назаров  
А.И. Пшеничнюк  
В.Н. Даниленко

## **I. Дефекты в кристаллах**

1. Точечные дефекты. Механизмы их образования и миграции. Термодинамика вакансий и межузельных атомов. Комплексы точечных дефектов. Роль точечных дефектов в диффузии в кристаллах. Элементарные механизмы диффузии. Радиационные дефекты.

2. Дислокации. Контур и вектор Бюргера. Виды дислокаций. Дислокации в теории упругости: поля деформации, напряжений и энергия. Силы, действующие на дислокации. Скольжение и переползание. Динамика дислокаций. Барьер Пайерлса. Механизмы зарождения дислокаций. Пересечение дислокаций и образование порогов. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.

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

4. Системы дислокаций. Дислокационные скопления. Малоугловые стенки и сетки дислокаций. Экранировка поля напряжений дислокаций. Формула Франка.

5. Дисклинации. Упругое поле и энергия дисклинаций. Полные и частичные дисклинации. Дисклинационные диполи, мультиполю. Связь между дисклинациями, дислокациями и границами зерен.

6. Большеугловые границы зерен. Геометрические модели. Решетка совпадающих узлов и полная решетка наложений. Дислокационные, дисклинационные и атомные модели строения границ зерен. Современные методы исследования структуры границ зерен.

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

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

## **II. Деформация и разрушение металлических кристаллов**

1. Системы скольжения в кристаллах. Закон Шмидта. Кривые напряжение-деформация металлов.

2. Деформация кристаллов двойникованием. Напряжение двойникования. Механизм двойникования. Двойникование кристаллов с г.ц.к., г.п.у. и о.ц.к. решетками, роль энергии дефекта упаковки.

3. Деформация кристаллов с ГЦК решеткой. Стадии упрочнения. Микроструктура

деформированных металлов. Температурная зависимость напряжения течения.

4. Деформация кристаллов с ОЦК и ГПУ решеткой. Напряжение течения. Плотность дислокаций. Полосы сброса.

5. Теории деформационного упрочнения.

6. Деформация поликристаллов. Совместность деформации. Деформация по Заксу, Тейлору. Роль границ зерен в упрочнении поликристаллов. Предел текучести. Соотношение Холла-Петча. Напряжение течения и разрушения поликристаллов. Текстуры деформации.

7. Эволюция дислокационной структуры и механические свойства поликристаллов при пластической деформации. Типы дислокационных субструктур. Роль тройных стыков в формировании субструктуры поликристаллов. Деление зерен при пластической деформации.

8. Разрушение кристаллов. Классификация разрушения. Хрупкое и вязкое разрушение. Транскристаллическое и интеркристаллитное разрушение. Зарождение трещин. Дислокационные механизмы зарождения трещин. Недислокационные механизмы.

9. Усталость. Поведение материала при циклической нагрузке. Предел выносливости. Усталостная долговечность. Физические механизмы усталостного разрушения.

10. Рекристаллизация металлов. Статическая и динамическая рекристаллизация.

### **III. Ползучесть и сверхпластичность металлов и сплавов**

1. Ползучесть. Режимы ползучести. Эволюция микроструктуры при ползучести. Теории ползучести.

2. Структурная сверхпластичность. Феноменология сверхпластичности. Влияние состава сплава, предварительной деформации, размера зерна, температуры и напряжения на проявление эффекта сверхпластичности. Структурные изменения при сверхпластичности. Влияние сверхпластической деформации на кристаллографическую текстуру.

3. Механизмы сверхпластического течения. Роль зернограничного проскальзывания, внутризеренного скольжения и диффузионной ползучести при сверхпластичности. Модели сверхпластической деформации. Применения сверхпластичности.

### **IV. Нанотехнологии и наноматериалы**

1. Металлические кластеры и наночастицы. Методы их получения и физические свойства.

2. Углеродные наноматериалы. Получение. Физические свойства. Применение.

3. Методы нанотехнологии и исследования наноматериалов. Сканирующая зондовая микроскопия. Электронная и полевая ионная микроскопия.

4. Объемные ультрамелкозернистые (УМЗ) и наноструктурные материалы. Методы их получения «снизу-вверх» и «сверху вниз», их виды и характеристика. Получение и компактирование нанопорошков.

5. Деформационные методы получения наноматериалов. Кручение под квазигидростатическим давлением. Равноканальное угловое прессование. Всесторонняя изотермическая ковка.

6. Структура ультрамелкозернистых и нанокристаллических материалов. Внутренние напряжения. Структура границ зерен в наноматериалах.

7. Свойства ультрамелкозернистых и нанокристаллических материалов. Прочность. Соотношение Холла-Петча для наноматериалов. Физические свойства.

8. Механизмы пластической деформации и пластичность наноматериалов.

9. Высокоскоростная и низкотемпературная сверхпластичность ультрамелкозернистых и нанокристаллических материалов.

#### **IV. Новые материалы**

1. Аморфные сплавы. Методы получения. Структура. Свойства.

2. Квазикристаллы. Методы их получения, структура и свойства.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов.- М.: Металлургия, 1983.
2. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки.- М.: Металлургия, 1990.- 336 с.
3. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах.- М.: Высшая школа, 1983.- 144 с.
4. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций.- М.: Атомиздат, 1972.- 600 с.
5. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть 1. Дефекты решетки. - М.: МИСИС, 1999. - 384 с.
6. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть 2. Деформация. - М.: МИСИС, 1997, - 527с.
7. Фридель Ж. Дислокации. – М: Мир, 1967. 643с.
8. Орлов А.Н., Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 156с.
9. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 216с.

10. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972. – 406 с.
11. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. М., «Металлургия», 1975, с. 279.
12. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М., Metallurgia, 1986, с. 224.
13. В.И. Владимиров. Физическая природа разрушения металлов. М.: Metallurgia, 1984, 280 с.
14. Пуарье Ж.-П. Ползучесть кристаллов. Механизмы деформации металлов, керамики и минералов при высоких температурах. М.: Мир, 1988. 287
15. Полухин П. И., Горелик С. С, Воронцов В. К. Физические основы пластической деформации.— М. : Metallurgia, 1982.— 584 с. с.
16. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов.- М.: Наука, 2002.- 438с.
17. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272с.
18. Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. - 279 с.
19. Чувильдеев В.Н. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения. - М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
20. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
21. Жилияев А.П., Пшеничнюк А.И. Сверхпластичность и границы зерен в ультрамелкозернистых материалах. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.
22. Суздалев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: Кн. Дом «Либроком», 2009. – 592 с.
23. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. Том 4. Физические основы прочности. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование / под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. –696 с.
24. Новые материалы / Под ред. Ю. С. Карабасова. - М.: МИСИС. 2002 г. - 736с.
25. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы: Учебное пособие для студентов вузов. - М.: Академия, 2005. -192 с.
26. Глезер А.М., Молотилов Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов.- М.: Metallurgia, 1992.- 208 с.
27. Векилов Ю.Х., Черников М.А. Квазикристаллы. Успехи физических наук, 2010, т. 180, №6, с. 561-586.