

*УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН*

УТВЕРЖДЕНО

*на заседании Ученого совета ИПСМ
РАН*

*Протокол № 13-10 от 5 июля
2010 г.*

Председатель, д. ф.-м. н.

_____ *Р.Р. Мулюков*

" ____ " _____ *2010 г.*

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности 05.16.01
«Металловедение и термическая обработка
металлов»
по техническим наукам

Разработал к.ф.-м.н.

О.Ш. Ситдиков

Уфа - 2010

1. ТЕРМОДИНАМИКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

- 1.1. Термодинамические потенциалы и их свойства. Первый закон термодинамики. Энтропия и второй закон термодинамики. Термодинамические свойства вещества. Зависимость между термодинамическими и физическими свойствами.
- 1.2. Фазовые и химические равновесия в металлических системах. Условия равновесия. Диаграммы состояния и использование геометрической термодинамики для анализа диаграмм состояния. Химический потенциал и правило фаз Гиббса.
- 1.3. Проблемы стабильности микроструктуры. Движущая сила изменений микроструктуры. Механизмы изменения микроструктуры.
- 1.4. Нестабильность структуры, вызванная изменением химической свободной энергии. Нестабильность, вызванная неравномерным распределением растворенного компонента. Зарождение выделений второй фазы из пересыщенного твердого раствора. Рост выделений из пересыщенного твердого раствора. Растворение выделений второй фазы. Сверхвысокая химическая нестабильность.
- 1.5. Нестабильность структуры, обусловленная влиянием энергии деформации. Запасенная энергия холодной деформации. Возврат. Рекристаллизация.
- 1.6. Нестабильность микроструктуры, вызванная влиянием поверхностей раздела. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Природа свободной энергии поверхности. Диаграмма и теорема Гиббса-Вульфа. Коалесценция по механизму Освальда. Стабильность пластинчатых и волокнистых структур.
- 1.7. Нестабильность микроструктуры, вызванная влиянием внешних факторов. Электроперенос. Влияние магнитного поля и облучения на микроструктуру металлов.

2. АТОМНАЯ СТРУКТУРА И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

- 2.1. Особенности металлического состояния вещества. Кристаллическая структура металлов.
- 2.2. Электронная теория металлов. Атомы в кристаллической решетке. Статистика электронов проводимости. Квантомеханические модели электронов проводимости. Влияние примесей и легирующих элементов на проводимость.
- 2.3. Дефекты кристаллического строения. Точечные, линейные и поверхностные дефекты. Поведение точечных дефектов при закалке и отжиге металла. Напряжения и энергия дислокаций. Упругое взаимодействие дислокаций. Пороги на дислокациях. Скольжение дислокаций с порогами. Полные и частичные дислокации. Тетраэдр Томпсона и стандартная бипирамида. Дислокации Шокли и Франка. Дислокации Ломер-Коттрелла. Поперечное скольжение расщепленных дислокаций.
- 2.4. Коллективные дислокационные эффекты. Ротационная пластическая деформация. Геометрические свойства дисклинационных дефектов. Прямолинейные дисклинации в теории упругости. Дисклинационные модели деформационных процессов в кристаллах.

2.5. Границы зерен и субзерен. Границы наклона и кручения. Дефектная структура границ зерен. Зернограничные дислокации и ступеньки. Миграция межкуристаллитных границ и зернограничное проскальзывание (ЗГП).

2.6. Межфазные границы раздела. Поверхностные дислокации.

3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СПЛАВОВ

3.1. Кристаллизация однофазных сплавов в условиях образования плоского фронта. Равновесная кристаллизация. Выращивание кристаллов высокого совершенства.

3.2. Концентрационное переохлаждение. Теория устойчивости фронта кристаллизации. Образование ячеек и дендритов. Распределение растворенного компонента при ячеистой кристаллизации.

3.3. Кристаллизация многофазных сплавов в условиях образования плоского фронта. Кристаллизация пластинчатых и стержневидных эвтектик. Кристаллизация при неустановившемся режиме.

3.4. Кристаллизация отливок и слитков. Зернистая и столбчатая структуры. Микроликвация в столбчатых структурах. Обработка и свойства металла отливок.

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

4.1. Технологические и эксплуатационные требования к материалу. Конструкционная прочность. Надежность и долговечность. Методы повышения конструкционной прочности.

4.2. Статические испытания. Испытания на растяжение, предел пропорциональности, предел упругости, физический и условный предел текучести, предел прочности, истинное сопротивление разрыву, относительное удлинение и сужение после разрыва, относительное равномерное удлинение, модуль упругости. Испытания на кручение, определение модуля сдвига, предела пропорциональности, условного предела текучести и условного предела прочности при кручении. Испытания на изгиб, определение предела прочности при изгибе. Испытания на сжатие.

4.3. Испытания на длительную прочность и ползучесть. Предел ползучести. Предел длительной прочности.

4.4. Динамические испытания. Испытания на ударный изгиб. Работа разрушения. Ударная вязкость. Влияние различных факторов на ударную вязкость.

4.5. Испытания на усталость. Цикл напряжений. Максимальное, минимальное и среднее напряжение цикла нагружения. Амплитуда напряжений цикла. Симметричный и асимметричный цикл напряжений. Усталостная долговечность и предел выносливости при усталости. Факторы, влияющие на сопротивление усталости.

4.6. Испытания на твердость. Испытания на твердость по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу. Измерение микротвердости. Оценка механических свойств по твердости.

5. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

5.1. Теплофизические и упругие свойства, их взаимосвязь с химическим составом и структурой. Экспериментальные методы исследования теплофизических и упругих свойств. Измерение теплопроводности. Измерение теплоемкости. Дилатометрия.

5.2. Электрофизические свойства. Удельное электросопротивление, абсолютная термо-э.д.с., эффект Холла. Влияние структуры, химического состава и фазового состава. Экспериментальные методы исследования электрофизических свойств. Использование метода электросопротивления для исследования структурных изменений и построения диаграмм состояния сплавов.

5.3. Магнитные свойства. Диа-, пара- и ферромагнетизм. Парамагнетизм переходных металлов, влияние химического и фазового состава и изменение с температурой. Экспериментальные методы исследования магнитных свойств. Магнитные методы исследования конструкционных материалов.

6. ПЛАСТИЧНОСТЬ И СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

6.1. Феноменология пластичности. Механизмы деформации и пластичность металлов. Влияние температуры и скорости деформации на механизм деформации металлов. Влияние микроструктуры на пластичность металлов при горячей деформации.

6.2. Сверхпластичность, обусловленная особой (мелкозернистой) микроструктурой. Определение температуры сверхпластичности. Оптимальная скорость деформации. Коэффициент скоростной чувствительности напряжения течения. Влияние состава сплавов и предварительной обработки на эффект сверхпластичности. Низкотемпературная и высокоскоростная сверхпластичность.

6.3. Механизмы деформации металлов и сплавов в условиях проявления структурной сверхпластичности. Роль ЗГП и миграции границ зерен в сверхпластической деформации. Кооперированное ЗГП. Особенности кристаллографического скольжения в условиях сверхпластического течения. Роль диффузионных процессов в механизме сверхпластической деформации. Микроструктурные изменения при сверхпластической деформации.

6.4. Сверхпластичность, обусловленная фазовыми превращениями в процессе пластической деформации.

6.5. Методы повышения пластичности металлов и сплавов. Практическое использование эффекта сверхпластичности в технологических процессах. Сверхпластичные сплавы.

7. РАЗРУШЕНИЕ.

7.1. Межатомное взаимодействие. Силовой и энергетический критерии разрушения. Микротрещины. Баланс энергий при зарождении трещины. Форма микротрещин. Модели зарождения микротрещин. Устойчивость микротрещин.

7.2. Рост трещин. Механический подход к описанию пластической зоны. Критерии механики разрушения. Дислокационные модели пластических зон. Рост микро- и макротрещин. Макроскопическое разрушение.

7.3. Связь между коэффициентом интенсивности напряжений K_{IC} , пределом текучести материала и допустимым размером трещины. Влияние степени чистоты металла, химического состава, способа получения и структурного состояния полуфабрикатов, ориентировки надреза (анизотропия), температуры испытания, термической обработки и др. факторов на вязкость разрушения.

7.4. Методы макроскопической и микроскопической фрактографии процессов разрушения. Классификация и характерные признаки изломов. Изломы при однократном нагружении. Строение изломов при длительном действии постоянных нагрузок. Строение изломов после усталостных испытаний. Анализ строения изломов при эксплуатационных разрушениях.

8. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ПРАКТИКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ

8.1. Практика термообработки стали. Разновидности отжига – полный, неполный, сфероидизирующий. Нормализация. Патентирование.

Закалка. Способы охлаждения при закалке и практика их применения. Обработка холодом.

8.2. Углеродистые стали. Превращения при нагреве, наследственная зернистость стали, ее практическое значение. Диаграмма аустенизации. Измельчение зерен аустенита при нагреве.

Диффузионное (перлитное) превращение при охлаждении, изотермическая и термокинетическая диаграммы распада переохлажденного аустенита, влияние температуры превращения на структуру и свойства стали.

Мартенситное превращение, закаливаемость стали, свойства закаленной стали. Бейнитное превращение, свойства стали с бейнитной структурой. Низкий, средний и высокий отпуск закаленной стали, структура и свойства отпущенной стали.

8.3. Легированные стали. Взаимодействие легирующих элементов с железом, их влияние на полиморфизм железа в двойных и тройных сплавах. Взаимодействие легирующих элементов с углеродом. Классификация легированных сталей. Принципы легирования конструкционных и инструментальных сталей. Особенности термообработки легированных конструкционных сталей. Термообработка легированных и высоколегированных инструментальных режущих сталей. Термообработка сталей для штампов холодной и горячей штамповки.

8.4. Аустенитно-мартенситные и мартенситно-стареющие стали, особенности их композиции и термообработки. Природа высокой прочности мартенситно-стареющих сталей. Оценка надежности сталей, находящихся в высокопрочном состоянии. Трип-стали: особенности композиции, термообработка и свойства.

8.5. Нержавеющие стали и сплавы. Природа химической и электрохимической коррозии. Химический состав и структурное состояние, обеспечивающее повышение коррозионной стойкости. Классификация нержавеющих сталей и сплавов и особенности их применения и термообработки.

8.6. Алюминиевые сплавы. Особенности физических и механических свойств алюминия. Классификация алюминиевых сплавов. Особенности композиции и свойств деформируемых (термически упрочняемых и термически неупрочняемых) и литейных алюминиевых сплавов. Основные виды и практика термической обработки этих сплавов: гомогенизации, закалки, старения, гетерогенизации.

8.7. Магниевого сплавы. Механические, физические и химические свойства магния. Деформационные характеристики магния и его сплавов. Основные принципы легирования магния. Практика термической обработки. Влияние легирования, пластической деформации, термической и термомеханической обработки на структуру и свойства магниевых сплавов.

8.8. Титановые сплавы. Физико-механические свойства титана. Взаимодействие титана с легирующими элементами и примесями. Классификация титановых сплавов. Фазовые превращения в условиях равновесного и неравновесного охлаждения. Метастабильные фазы и их влияние на механические свойства. Основные виды и практика термической обработки титановых сплавов.

8.9. Жаропрочные никелевые сплавы и области их применения. Особенности композиции, фазового состава и структуры высокопрочных сплавов на никелевой основе. Основные виды и практика термической обработки сплавов на никелевой основе.

8.10. Медь и ее сплавы. Механические свойства. Термическая обработка. Латунни, обрабатываемые давлением. Литейные латунни. Деформируемые и литейные бронзы. Медноникелевые сплавы. Теплопроводные и жаропрочные медные сплавы.

9. МЕТОДЫ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ

9.1. Равноканальное угловое прессование (РКУП). Схема метода и достигаемые деформации при РКУП. Маршруты РКУП (А, В_А, В_С, С). Результаты исследований структуры, механических и физических свойств материалов, подвергнутых РКУП.

9.3. Многократная всесторонняя ковка (ВК). Схема и особенности метода. Ковка труднодеформируемых материалов, проводимая при понижении температуры. Результаты исследований структуры, механических и физических свойств материалов, подвергнутых ВК.

9.2. Кручение под высоким приложенным давлением (КВД) и аккумулятивная прокатка (АП). Схемы и особенности методов. Результаты исследований структуры, механических и физических свойств материалов, подвергнутых КВД и АП.

10. ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

10.1. Методы синтеза нанокристаллических порошков. Конденсация паров. Плазмохимический синтез. Осаждение из коллоидных растворов. Термическое разложение и восстановление. Механосинтез, детонационный синтез, электровзрыв.

10.2. Получение объемных нанокристаллических материалов. Компактирование порошков. Осаждение на подложку. Кристаллизация аморфных сплавов. Методы, основанные на интенсивной пластической деформации.

10.3. Особенности микроструктуры объемных нанокристаллических металлов и сплавов. Границы раздела в объемных наноматериалах.

10.4. Создание наноструктурных состояний, как эффективный способ повышения физико-механических свойств металлов и сплавов. Результаты исследований влияния размера зерен и границ раздела на свойства компактных наноматериалов. Аномалии механического поведения. Теплофизические, электрические и магнитные свойства. Перспективы применения объемных наноструктурных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков И.И., Золоторевский В.С., Портной К.К. и др. Металловедение Т. II, М., Издательский Дом МИСиС, 2009. с. 528.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. М., Издательский дом «Альянс». 2009, с. 528
3. Перспективные материалы, Т II: Конструкционные материалы и методы управления их качеством. Под ред. Д.Л. Мерсона, ТГУ, МИСиС, 2007, с. 468.
4. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС. 2005. – 432 с. ISBN 5-87623-128-2.
5. Бокштейн Б.С., Менделев М.И. Краткий курс физической химии: Учеб. пособие. М. «ЧеРо», 2001. с. 232.
6. Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов: учебное пособие для вузов., М. Рос. ун-т дружбы народов. 2008, с. 225.
7. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М., Физматлит, 2005, с. 416
8. Чумаченко Е.Н., Смирнов О.М., Цепин М.А. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии., М., Книжный дом «Либроком». 2009, с. 320.
9. Теплухин Г.Н., Пейсахов А.М. Фазовые превращения в сталях перлитного класса., СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009, с. 219.
10. Утяшев Ф.З. Современные методы интенсивной пластической деформации: учебное пособие. Уфа., УГАТУ, 2008, с. 313.
11. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М., Логос, 2000, с. 272.
12. Жилияев А.П., Пшеничнюк А.И. Сверхпластичность и границы зерен в ультрамелкозернистых материалах., М., Физматлит, 2008, с. 320.
13. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы, М., ИКЦ «Академкнига», 2007, с. 398.
14. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: Учеб., М. Высш. шк., 2000, с. 494.
15. Физическое металловедение. Под ред. Р. Кана, вып.1-3, М., «Мир», 1967, с.1308 (Физическое металловедение. Под ред. Кана (3 т) – М: Мир, 1988)
16. Мартин Дж., Доэрти Р. Стабильность микроструктуры металлических систем. М., «Атомиздат», 1978, с. 280.
17. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов. М.: «Металлургия», 1977, с. 431.
18. Постников В.С. Физика и химия твердого состояния М., «Металлургия», 1976, с. 544.
19. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. М.: «Мир», 1978, с. 806.
20. Флеминг С.М. Процессы затвердевания. М., «Мир», 1977, с. 423.

21. Физические методы исследования металлов. Ред. А.Т. Туманов, М., «Машиностроение», 1971, с. 554.
22. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов. М., «Наука», 2002, с. 438.
23. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. М., «Металлургия», 1975, с. 279.
24. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. М., «Металлургия», 1984, с. 264.
25. Грабский М.В. Структурная сверхпластичность металлов. Пер. с польск. М., «Металлургия», 1975, с. 272.
26. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М., «Металлургия», 1987, с. 214.
27. Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. М., «Машиностроение», 1978, с. 200.
28. Бернштейн М. Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. М., «Металлургия», 1970, с. 472.
29. Клевцов Г.В., Ботвина Л. Р., Клевцова Н.А., Лимарь Л.В. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций: Учебное пособие для вузов. М., МИСИС. 2007, с. 264 ISBN 978-5-87623-176-5
30. Астанин В.В., Зарипов Н.Г. Методы исследования материалов и процессов. Уфимский гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, УГАТУ, 2008, с.134.
31. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для студентов вузов. Под ред. В.С. Чередниченко, М., Издательство «Омега-Л». 2007, с. 752.
32. Караваева М.В. Физика разрушения пластичных материалов. Часть I Физические основы процесса разрушения: Учебное пособие. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, УГАТУ, 2010, с. 136.
33. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: Учебник для вузов, 4-е издание. М., Metallurgy, 1986, с. 480.
34. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов: атомное строение металлов и сплавов, М., Атомиздат, 1978, с. 350.
35. Штремель М.А. Прочность сплавов: Учебник для вузов. М., МИСИС, 1997,1999.
36. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки: Учебник для вузов. М., Metallurgy, 1990, с. 336.
37. Смирнов М.А., Счастливец В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали: учебное пособие. Екатеринбург, УрО РАН, 1999, с. 495. ISBN 5–7691–0848–7.
38. Владимиров В.И., Романов А.Е. Дисклинации в кристаллах. Л., Наука, 1986, с. 223.
39. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М., Metallurgy, 1986, с. 224.