

Программа кандидатского экзамена по научной специальности

05.16.09 Материаловедение (по отраслям)

Блок II (Кафедра наноматериалов и нанотехнологии)

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Теоретические основы материаловедения.

1.1 Строение и свойства материалов.

Строение атома и периодическая система элементов Д.И.Менделеева. Электронная структура. Типы межатомных связей в кристаллах. Кристаллическое строение твердых тел. Типы кристаллических решеток металлов и их характеристика. Реальное строение металлических и неметаллических кристаллов. Анизотропия свойств кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные. Дислокационная структура и прочность металлов.

Наноструктурированное состояние вещества. Процессы самоорганизации структуры материалов.

1.2 Физико-химические основы материаловедения.

Условия термодинамического равновесия. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения. Эвтектические и перитектические превращения. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Эвтектоидные превращения. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

2. Методы исследования структуры и свойств материалов

Методы изучения микроструктуры. Оптическая микроскопия. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия фольг, сканирующая микроскопия, микродифракция). Сканирующая зондовая микроскопия. Рентгеноструктурный и электронографический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам. Метод гамма-ядерного резонанса.

Методы измерения физических свойств (термический анализ, калориметрия, дилатометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ и др.). Методы определения коррозионных свойств. Механические свойства металлических, неметаллических и композиционных материалов. Методы их измерения. Статические и динамические испытания. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

3. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах.

Механизмы миграции атомов. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Структурно чувствительные процессы диффузии. Диффузия во внешних силовых полях.

Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное (диффузионное) превращения. Термодинамический и кристаллографический анализ сдвигового (мартенситного) превращения. Механизм и кинетика сдвиговых и нормальных превращений. Эвтектоидное превращение. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Диаграммы фазовых превращений (термокинетические, изотермические и др.).

Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Изменение свойств сплавов при упорядочении. Образование и распад метастабильных фаз. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальный распад. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулированные структуры). Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад.

4. Композиционные материалы.

4.1. Классификация композитов.

Дисперсно-упрочненные, волокнистые, многослойные и направленно закристаллизованные композиты. Основные задачи, решаемые применением композитов в конструкциях. Понятие о матрице и арматуре, их функции в композите и требования, предъявляемые к ним.

Физико-химическое взаимодействие компонентов композита, классификация композитов по типу взаимодействия его компонентов. Понятие о термодинамической, кинетической и механической совместимости компонентов композита. Термические и фазовые напряжения в композитах. Пути оптимизации взаимодействия компонентов композита.

4.2. Дисперсно-упрочненные композиты.

Механизм повышения сопротивления пластической деформации и упрочнения композитов частицами. Основные принципы выбора упрочняющих частиц. Зависимость механических свойств от размера частиц и расстояния между ними. Отличие дисперсно-упрочненных композитов от дисперсно-твердеющих сплавов. Дисперсно-упрочненные композиты на основе алюминия и никеля. Их получение, свойства и применение.

4.3. Волокнистые композиты.

Особенности волокнистых композитов. Анизотропия свойств. Модуль упругости. Свойства при растяжении, правило смеси. Зависимость прочности от содержания волокон. Критическая объемная доля волокон. Прочность при внеосевом растяжении и ее зависимость от геометрии укладки волокон. Многонаправленное армирование. Прочность при сжатии. Механизм передачи нагрузки с матрицы волокна. Зависимость прочности от длины волокон. Критическая длина и критический параметр волокон. Микромеханика и характер разрушения. Влияние анизотропии упругих свойств на концентрацию напряжений около трещины в композите. Работа разрушения.

Непрерывные и дискретные волокна и нитевидные монокристаллы, применяемые для армирования волокнисты композитов. Способы получения нитевидных монокристаллов и их свойства, природа их прочности. Способы получения непрерывных волокон углерода, бора (борсика), карбида кремния, окиси алюминия, их структура и свойства. Роль взаимодействия неметалли-

ческих волокон, получаемых осаждением на металлическую подложку - нить с подложкой, металлические волокна из вольфрама, молибдена, бериллия, стали; их получение и свойства. Защитные покрытия на волокнах и их влияние на свойства волокон.

Технологические схемы получения композитов. Пропитка пористых тел вязкими жидкостями. Смачиваемость, капиллярный эффект, краевые углы смачивания. Технологические схемы получения изделий пропиткой в автоклаве. Получение изделий формовкой монолент. Особенности формовки и соединения; технологическое оборудование. Метод диффузионной сварки. Метод пластической деформации. Методы порошковой металлургии.

Особенности пластической деформации волокнистых композитов. Влияние свойств волокон и матрицы на особенности получения полуфабрикатов и изделий.

4.4. Многослойные композиты.

Преимущества многослойных композитов перед обычными материалами и их свойства. Анизотропия свойств. Модуль упругости, правило смеси для расчета жесткости композитных изделий. Механические свойства при статистическом и динамическом нагружении, зависимость механических свойств от геометрических характеристик слоев, их числа и последовательности укладки. Механизм деформации и разрушения многослойных композитов. Влияние состояния поверхности раздела между слоями на свойства композитов.

Получение многослойных композитов. Основы совместной деформации разнородных материалов. Применение многослойных композитов.

4.5. Направленно закристаллизованные композиты.

Характеристики направленно закристаллизованных композитов. Сплавы эвтектического типа. Термодинамика фазовых равновесий эвтектических систем. Морфология фаз и принципы классификации двойных эвтектик. Многовариантные и тройные эвтектики.

Основные представления о процессе направленной кристаллизации. Механизм и кинетика направленной кристаллизации. Стандартный платино-

стержневой рост. Диффузионные процессы. Условия формирования структуры композита. Влияние примесей на структуру композита.

Физико-механические свойства направленно закристаллизованных композитов. Термическая стабильность и жаропрочность. Применение направленно закристаллизованных композитов.

5. Теоретические и прикладные проблемы процессов формирования покрытий

5.1. Общая характеристика основных методов нанесения покрытий и модифицирования поверхности.

Классификация методов нанесения покрытий и модифицирования поверхности, области применения химических, электрохимических, газофазных и физических методов, основные преимущества и недостатки. Физические методы: газотермическое, вакуумное ионно-плазменное нанесение покрытий, лазерное оплавление, ионная имплантация, ионное газонасыщение, основные параметры процессов, сравнительная эффективность,

Основные характеристики коррозионных, износостойких, теплозащитных, жаростойких, электроизоляционных, электропроводных, экранирующих, технологических и декоративных покрытий.

5.2. Физико-химические основы процессов формирования покрытий.

Процессы образования низкотемпературной плазмы. Диссоциация, ионизация, потенциал и степень ионизации, дебаевский радиус экранирования, амбиполярная диффузия, уравнение подвижности Ланжевена, рамзауэровские сечения столкновений, теплопроводность плазмы.

Физические основы генерации плазменных потоков металла: методы получения атомарных потоков вещества, испарение, распыление, реактивное напыление и энергетическое состояние осаждаемых атомов, ускорение и дополнительная ионизация плазменного потока магнитным полем.

Структурные закономерности формирования покрытий.

Кристаллохимия твердых растворов и фаз внедрения: электроотрицательность, электронная концентрация, размеры атомов и ионов, правило Хэг-

га. Октаэдрические и тетраэдрические междоузлия, типичные структуры фаз внедрения.

Дефекты в покрытиях: Микродефекты: избыточная концентрация вакансий, дефекты дислокационного типа, остаточные напряжения, неоднородность состава, форма роста. Макродефекты: вакансионные поры, поры, вызванные зернограничным проскальзыванием, поры на границах зерен с разным направлением преимущественного роста.

Нарушение адгезии с подложкой: влияние остаточных напряжений, загрязнение подложки.

5.3. Технология и оборудование для нанесения покрытий.

Плавление, испарение, сублимация и диссоциация материала, состав газовой фазы, взаимодействие распыленных частиц с кислородом, влагой, углеродосодержащими газами, водородом, азотом, кристаллизации и фазовые превращения.

Взаимодействие напыляемых частиц с подложкой. Физический контакт. Уравнения химической реакции на границе раздела фаз. Энергия активации. Оценка ударного и напорного давления в контакте. Термическое взаимодействие частиц с подложкой. Температура и время в контакте.

Конструирование покрытий и основы расчета режимов. Распределение дисперсной фазы по сечению струи и аппроксимация его нормальным законом. Радиус рассеяния и дистанция напыления. Условие равнотолщинного напыления на тела вращения, плоские поверхности, поверхности сложной конфигурации. Основные принципы формирования многокомпонентных, многослойных и градиентных покрытий.

Основа расчета тепловых режимов напыляемых изделий. Выбор температурного интервала режима напыления изделия. Оценка предельной температуры нагрева и характеристика полей температур в изделии. Определение необходимой мощности двухфазной струи и ее связь с удельным тепловым потоком.

Методы вакуумного напыления: термическое испарение, электродуговое распыление, ионное распыление, энергетические характеристики процес-

сов. Основные стадии процесса вакуумного напыления, принципиальные схемы устройств для вакуумного напыления, основные типы серийного оборудования.

Основные технологические операции формирования вакуумных ионно-плазменных покрытий. Структура поверхностного слоя, типы основных структурных дефектов и адсорбированных слоев. Задачи и методы предварительной очистки поверхности подложки. Очистка подложки с помощью низкотемпературной плазмы, характеристика процесса, изменение структуры и свойств подложки в процессе очистки. Очистка, активация и нагрев поверхности подложки в процессе ионной бомбардировки, изменение структуры и свойств. Формирование структуры покрытий в процессе конденсации, основные дефекты покрытий.

Изменение фазового состава, структуры и свойств при формировании монослойных покрытий, влияние ориентации подложки по отношению к ионному пучку. Формирование служебных свойств композита металл-покрытие: механические свойства, коррозионная стойкость, триботехнические свойства, теплостойкость.

Закономерности формирования фазового состава, структуры и свойств многослойных двухкомпонентных покрытий, конструирование покрытий с учетом фазового состава, текстуры, сопряжения кристаллической решетки и остаточных напряжений промежуточного слоя, реализуемый комплекс служебных свойств.

Многокомпонентные, многослойные покрытия, влияние легирующих элементов на структуру и свойства покрытий, формирование нанокристаллических и аморфных покрытий.

5.4. Служебные свойства и методы контроля качества покрытий.

Определение потенциодинамических кривых, испытания на коррозионную стойкость, износостойкость, измерение коэффициента трения, адгезионной и когезионной прочности, статические и усталостные испытания образцов с покрытиями, испытания при повышенных температурах, методы определения характеристик механики разрушения покрытий.

Особенности измерения микротвердости покрытий: микротвердомеры с супермалыми нагрузками, переменной нагрузкой, измерение модулей упругости покрытий. Радиоизотопный и рентгенофлуоресцентный методы неразрушающего определения толщины покрытия. Рентгеновский и нейтронно-графический методы измерения остаточных напряжений в покрытиях.

Экспрессные неразрушающие методы контроля качества покрытий: измерение контактной разности потенциалов, ультразвуковой метод, метод вихревых токов.

Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности

05.16.09 Материаловедение (по отраслям)

1. Связь атомного и кристаллического строения материалов и их свойств.
2. Дефекты кристаллического строения. Дислокационная структура и прочность материалов.
3. Агрегатные состояния вещества. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации.
4. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз.
5. Явления на границах раздела фаз и фазовые переходы.
6. Химические превращения в гетерогенных системах.
7. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование.
8. Основные типы диаграмм состояния и методы их построения. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии.
9. Кластеры, наночастицы, нанопорошки, наноструктуры. Размерные эффекты и условия их проявления.
10. Наноструктурированные материалы и покрытия.
11. Плазмохимический синтез наночастиц.
12. Осаждение наночастиц из коллоидных растворов.
13. Измельчение твердых тел. Механохимический синтез нанопорошков.
14. Синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах.
15. Биохимические методы получения наночастиц.
16. Получение наночастиц из газовой фазы.
17. Упорядоченные наноструктуры.
18. Методы компактирования наночастиц.
19. Кристаллизация аморфных сплавов.
20. Углеродные наноматериалы.
21. Самоорганизация в объемных материалах.
22. Физико-химическое взаимодействие компонентов композита, классификация композитов по типу взаимодействия его компонентов.

23. Методы изучения микроструктуры материалов. Оптическая, электронная, сканирующая зондовая микроскопия.
24. Рентгеноструктурный и электронографический анализ. Микрорентгено-спектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.
25. Метод гамма-ядерного резонанса (мёссбауэровская спектроскопия). Использование спектроскопии гамма-ядерного резонанса при изучении магнитных материалов.
26. Методы измерения физических свойств материалов (термический анализ, калориметрия, дилатометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ и др.).
27. Механические свойства металлических, неметаллических и композиционных материалов. Методы их измерения.
28. Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение.
29. Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на прочность и пластичность материалов.
30. Механические свойства, определяемые при циклическом нагружении. Усталость, диаграммы усталости, предел выносливости. Природа усталостного разрушения.
31. Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Механические свойства композиционных материалов.
32. Физико-химическое взаимодействие компонентов композита, классификация композитов по типу взаимодействия его компонентов.
33. Механизм повышения сопротивления пластической деформации и упрочнения композитов частицами. Основные принципы выбора упрочняющих частиц.
34. Особенности пластической деформации волокнистых композитов. Влияние свойств волокон и матрицы на особенности получения полуфабрикатов и изделий.

35. Получение многослойных композитов. Основы совместной деформации разнородных материалов. Применение многослойных композитов.
36. Физико-механические свойства направленно закристаллизованных композитов. Применение направленно закристаллизованных композитов.
37. Классификация методов нанесения покрытий и модифицирования поверхности, области применения различных методов, их особенности.
38. Основные характеристики коррозионных, износостойких, теплозащитных, жаростойких, электроизоляционных, электропроводных, экранирующих, технологических и декоративных покрытий.
39. Основные принципы формирования многокомпонентных, многослойных и градиентных покрытий.
40. Формирование нанокристаллических и аморфных покрытий.