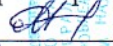


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ НЕФТИ И ГАЗА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПНГ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПНГ СО РАН, д.т.н.

М.Д. Соколова
«26»  2022 г.



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
по образовательной программе высшего образования –
программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические)

Программа вступительного испытания рассмотрена и одобрена на заседании
Ученого совета ИПНГ СО РАН протокол № 8 от 26.05. 2022г.

Разработчик(и) программы вступительного испытания:

И.о. заведующего лабораторией
материаловедения, к.т.н., доцент



П.Н. Петрова

1. Краткая характеристика программы

Материаловедение - область науки и техники, занимающаяся разработкой новых материалов с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства материалов. Междисциплинарный характер науки о материалах обусловлен необходимостью обеспечить научно-технический прогресс и устойчивое развитие разных отраслей промышленности и строительства за счет применения новых высокоэффективных материалов повышенной эксплуатационной надежности, интенсивных и энергосберегающих технологий, расширения и совершенствования сырьевой базы.

Основной целью вступительного экзамена в аспирантуру по специальной дисциплине по научной специальности 2.6.17- Материаловедение (промышленность) является выявление знаний и компетенций в следующих областях:

1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий.
2. Теоретические и экспериментальные исследования, позволяющие выявить влияние микро- и наномасштабов на механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов, взаимодействия материалов с окружающей средой, электромагнитным излучением и потоками.
3. Установление закономерностей и критериев оценки разрушения материалов от действия механических нагрузок и внешней среды.
4. Способностью использовать современные методы изучения, анализа и обобщения научно-технической информации по тематике исследования, а, также, способностью вести поиск по тематике исследований, анализировать, систематизировать и обобщать информацию из глобальной компьютерной сети.

2. Программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 2.6.17. Материаловедение

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 (без-диффузионное) 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 неметаллических 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 платиностержневый 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 ионноплазменное 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 Хэгга. 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 зернограницным 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.

Основы 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 процессов. 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 рентгенофлюоресцентный 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.

3. Экзаменационные вопросы

1. Связь атомного и кристаллического строения материалов и их свойств.
2. Методы изучения микроструктуры материалов. Оптическая, электронная, сканирующая зондовая микроскопия.
3. Особенности пластической деформации волокнистых композитов. Влияние свойств волокон и матрицы на особенности получения полуфабрикатов и изделий.
4. Физико-химическое взаимодействие компонентов композита, классификация композитов по типу взаимодействия его компонентов.
5. Методы измерения физических свойств материалов (термический анализ, калориметрия, дилатометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ и др.).
6. Получение многослойных композитов. Основы совместной деформации разнородных материалов. Применение многослойных композитов.
7. Дефекты кристаллического строения. Дислокационная структура и прочность материалов.
8. Механические свойства металлических, неметаллических и композиционных материалов. Методы их измерения.
9. Основные характеристики коррозионных, износостойких, теплозащитных, жаростойких, электроизоляционных, электропроводных, технологических и декоративных покрытий.
10. Агрегатные состояния вещества. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации.
11. Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение.
12. Механизм повышения сопротивления пластической деформации и упрочнения композитов частицами. Основные принципы выбора упрочняющих частиц.
13. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз.
14. Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Механические свойства композиционных материалов.
15. Классификация методов нанесения покрытий и модифицирования поверхности, области применения различных методов, их особенности.
16. Явления на границах раздела фаз и фазовые переходы. Физико-химическое взаимодействие компонентов композита, классификация композитов по типу взаимодействия его компонентов.

17. Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на прочность и пластичность материалов.
18. Получение многослойных композитов. Основы совместной деформации разнородных материалов. Применение многослойных композитов.
19. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование.
20. Методы испытания полимерных материалов. Механические свойства полимерных материалов. Прочностные и деформационные свойства. Релаксационные свойства.
21. Формирование служебных свойств композита металл-покрытие: механические свойства, коррозионная стойкость, триботехнические свойства, теплостойкость.
22. Основные типы диаграмм состояния и методы их построения. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии.
23. Механизм повышения сопротивления пластической деформации и упрочнения композитов частицами. Основные принципы выбора упрочняющих частиц.
24. Закономерности формирования фазового состава, структуры и свойств многослойных двухкомпонентных покрытий
25. Кластеры, наночастицы, нанопорошки, наноструктуры. Размерные эффекты и условия их проявления.
26. Прочность, вязкость, разрушение, усталостная выносливость. Общие представления о прочности и вязкости разрушения полимеров.
27. Основные технологические операции формирования вакуумных ионно-плазменных покрытий. Структура поверхностного слоя, типы основных структурных дефектов и адсорбированных слоев.
28. Измельчение твердых тел. Механохимический синтез нанопорошков.
29. Рентгеноструктурный и электронографический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.
30. Методы вакуумного напыления: термическое испарение, электродуговое распыление, ионное распыление, энергетические характеристики процессов.
31. Методы компактирования наночастиц.
32. Типы межатомных связей в кристаллах. Кристаллическое строение твердых тел.
33. Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода.
34. Углеродные наноматериалы.
35. Понятие о термодинамической, кинетической и механической совместимости компонентов композита.
36. Технологические схемы получения композитов. Пропитка пористых тел вязкими жидкостями. Смачиваемость, капиллярный эффект, краевые углы смачивания.
37. Самоорганизация в объемных материалах.
38. Основные принципы выбора упрочняющих частиц. Зависимость механических свойств от размера частиц и расстояния между ними.
39. Преимущества многослойных композитов перед обычными материалами и их свойства. Анизотропия свойств.

4. Критерии оценки результатов экзамена

Отметка «отлично» выставляется при глубоком и прочном усвоении программного материала, исчерпывающем изложении. В ответе увязывается теория с практикой, показывается знакомство с монографической литературой.

Отметка «хорошо» выставляется при твердом знании программного материала, экзаменуемый не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос.

Отметка «удовлетворительно» выставляется при знаниях только основного материала, не усвоении его деталей, допущении в ответе неточностей, недостаточно правильных формулировках основных законов и правил.

Отметка «неудовлетворительно» выставляется при отсутствии знаний значительной части программного материала и допущении существенных ошибок.

5. Список рекомендуемой литературы

1. Солнцев, Ю. П. Материаловедение : учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. — Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2017. — 783 с.
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов, под ред. В.Б. Арзамасов. - М.: МГТУ им. Баумана. 2008. - 648 с.
3. Материаловедение, под ред. Солнцев Ю.А. - М.: Академия. 2008 г. - 496 с.
4. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Вологжанина С.А., Петкова А.П. Нанотехнологии и специальные материалы: Учебное пособие для вузов. СПб.: Химиздат, 2009. 336 с.
5. Жарков В.Я. Триботехническое материаловедение: учеб. пособие для вузов / В. Я. Жарков; БГТУ. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2005. - 158 с.
6. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата / под ред. Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2022 — 406 с.
7. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для академического бакалавриата / под ред. Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2021 — 410 с.
8. Арзамасов, Б. Н. Материаловедение : учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др. ; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. - 648 с.
9. Материаловедение : учебное пособие для вузов / Л.В. Тарасенко, С.А. Пахомова, М.В. Унчикова, С.А. Герасимов / под ред. Л.В. Тарасенко — М. :ИНФРА-М, 2018. — 475 с.
10. Сироткин, О. С. Основы современного материаловедения: Учебник/О.С. Сироткин - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 364 с.
11. Гуляев, А. П. Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев. - 7-е изд., перераб. И доп. - М.: Альянс, 2011 - 643 с.
12. Лахтин, Ю. М. Материаловедение: учеб. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. - М.: Альянс, 2009 - 527 с.
13. Сильман Г.И., Горленко О.А. Триботехническое материаловедения и триботехнологии.- 2006. Машиностроение. М: 348 с.
14. Материаловедение, под ред. Бондаренко Г.Г. - М.: Высшая школа, 2007 г. - 360 с.
15. Материаловедение, под ред. Ржевская С.В. - М.: Логос, 2006 г - 424 с.
16. Технология конструкционных материалов. Производство заготовок: учебное пособие / В. С. Медко, М. М. Радкевич, В. П. Третьяков; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, СанктПетербургский политехнический университет Петра Великого, Институт металлургии, машиностроения и транспорта. - Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХПРЕСС, 2019. - 217 с.: ISBN 978-5-7422-6505-4.
17. Завражин, Д. О. Основы реологии полимеров и технологические методы переработки полимерных материалов : учебное пособие. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 109 с