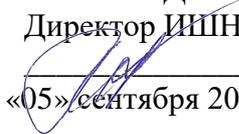


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

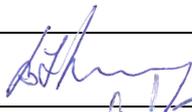
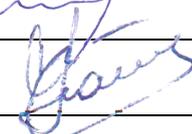
Директор ИИШНПТ

 К.К. Манабаев  
«05» сентября 2022 г.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПРИЕМ 2022 г.  
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ ОЧНАЯ

**2.6.5. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Уровень образования	Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации		
Курс	2	семестр	4

		В.А. Клименов
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры		
Руководитель программы аспирантуры (ПА)		С.В. Панин

2022 г.

## 1. Общие положения

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы составили ключевые проблемы современной порошковой металлургии (в т.ч. аддитивных технологий) и исследования закономерностей физико-механических, физико-химических процессов получения дисперсных систем в виде частиц и волокон из материалов на основе металлов, сплавов, интерметаллидов, керамики, углеродных и других соединений. В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: порошковая металлургия конструкционных и инструментальных материалов, теория формования и спекания порошковых материалов, теоретические основы структурообразования при спекании порошковых сталей, теоретические и экспериментальные исследования физических и химических процессов нанесения покрытий, технологии и оборудование, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, методы исследования материалов и покрытий.

Направления исследований по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы:

1. Изучение закономерностей физико-механических, физико-химических процессов получения дисперсных систем в виде частиц и волокон из материалов на основе металлов, сплавов, интерметаллидов, керамики, углеродных и других соединений. Создание технологии получения этих материалов и оборудования. Термодинамика и кинетика взаимодействия и фазовых превращений в порошковых материалах. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов.
2. Исследование и моделирование физико-химических процессов получения полуфабрикатов и изделий из порошковых, композиционных материалов с металлической, углеродной, керамической матрицей и армирующими компонентами различной неорганической природы, разработка оборудования и технологий.
3. Теоретические и экспериментальные исследования физических и химических процессов нанесения покрытий в контролируемой среде и вакууме, разработка технологии и оборудования.
4. Теоретические и экспериментальные исследования процессов взаимодействия потоков заряженных и нейтральных частиц с поверхностью материалов и композитов. Получение новых материалов с высокими физико-механическими и физико-химическими характеристиками методами высокоэнергетической консолидации с помощью потоков заряженных и нейтральных частиц. Разработка технологии и оборудования.
5. Изучение структуры и свойств порошковых, композиционных материалов, покрытий и модифицированных слоев на полуфабрикатах и изделиях, исследование процессов направленной кристаллизации изделий из порошковых и композиционных материалов, разработка технологий и оборудования
6. Разработка и совершенствование технологических процессов производства, контроля и сертификации полуфабрикатов и изделий различного назначения из порошковых и композиционных материалов, а также материалов и изделий с покрытиями и модифицированными слоями.

## 2. Содержание и структура кандидатского экзамена

### 1. Физические и физико-химические основы и технологические процессы производства порошков, спеченных материалов и изделий.

#### 1.1. Процессы производства. Методы и приборы для контроля свойств порошков

Механические методы производства порошков, получение порошков распылением жидких металлов, сплавов и соединений.

Физико-химические способы производства порошков: производство порошков восстановлением водородом, углеродом, металлами; получение порошков железа, кобальта, тугоплавких металлов и их сплавов и соединений восстановлением углеродом, водородом, металлами; получение легированных порошков совместным восстановлением из смесей оксидов, плазменные процессы восстановления порошков.

Электрохимические процессы получения порошков, технология производства электрохимических порошков из водных растворов (порошки железа, никеля, меди, кобальта, хрома, марганца) и расплавленных сред (порошки титана, ниобия, тантала, бериллия, молибдена, вольфрама, циркония).

Процессы термической диссоциации летучих соединений. Технология изготовления порошков железа и никеля разложением карбониллов, получение ультрадисперсных порошков металлов, тугоплавких соединений.

Ультрадисперсные порошки: особенности их производства и характеристики.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Физико-химические основы. Получение порошков тугоплавких соединений (карбидов, боридов, нитридов, силицидов, гидридов).

Физические основы и способы получения аморфных и мелкокристаллических порошков.

Состав, структура и основные свойства порошков (физические и технологические), методы исследования и контроля.

#### 1.2. Процессы подготовки порошков

Отжиг, гомогенизация, довосстановление. Физико-химическая сущность и практика использования. Классификация и разделение порошков на фракции по размерам частиц, составление смесей. Введение смазывающих, пластифицирующих веществ для улучшения условий формования. Грануляция и распылительная сушка. Технологические присадки для регулирования процесса спекания и достижения желательной структуры изделий. Влияние процессов подготовки и смешивания порошков на свойства смесей и спеченных изделий. Контроль качества смешивания. Оборудование.

#### 1.3. Процессы формования изделий из порошков

Классификация методов формования. Общая характеристика процессов уплотнения порошков, деформационный механизм уплотнения порошковых тел. Уравнения прессования, зависимость плотности брикета от давления прессования, распределение напряжений и плотности при прессовании изделий сложной формы.

Технология холодного прессования в закрытых пресс-формах, изостатическое прессование, непрерывное формование, технология мундштучного прессования, импульсное прессование.

Основные характеристики динамического (ударного) холодного и горячего прессования. Различные виды взрывного, электрогидравлического, электромагнитного и пневматического прессования.

Инжекционное формование, шликерное формование, особенности формования металлических волокон, прочность изделий из металлических волокон.

Приборы и методы контроля.

#### 1.4. Спекание

Дефекты кристаллической решетки, диффузия, ползучесть и рекристаллизация в металлах и сплавах. Движущие силы процесса спекания. Поверхностное натяжение как движущая

сила спекания. Капиллярное давление. Изменение свободной поверхности и усадка при спекании.

Механизмы процессов спекания однокомпонентных систем. Основные стадии процесса спекания. Закономерности и кинетика спекания многокомпонентных систем без образования жидкой фазы. Особенности усадки при спекании систем с образованием твердых растворов и интерметаллических соединений с учетом влияния гетеродиффузии.

Закономерности и кинетика спекания систем в присутствии жидкой фазы.

Механизм спекания, поверхностное натяжение на границе твердого и расплавленного металлов, перекристаллизация через жидкую фазу.

Влияние дисперсности, структуры и состояния исходных порошков на уплотнение и формирование свойств для разных типов процессов спекания с образованием жидкой фазы.

Активированное спекание. Виды, особенности и физико-химические явления, лежащие в основе процесса.

Горячее изостатическое прессование.

## **2. Порошковые материалы**

Пористые материалы: подшипники, металлические фильтры, уплотнительные материалы, электроды и пластины аккумуляторов.

Беспористые и малопористые антифрикционные материалы, фрикционные материалы.

Электрические и магнитные материалы, конструкционные порошковые материалы, износостойкие материалы.

Тугоплавкие металлы: вольфрам, молибден, рений, сплавы вольфрама и молибдена с рением, тантал, ниобий, титан, цирконий Тугоплавкие и твердые бескислородные соединения.

Общая характеристика нитридов, карбидов, боридов, силицидов, гидридов, халькогенидов. Кристаллическая и электронная структура, природа межатомных связей, физико-химические свойства тугоплавких соединений.

Материалы на основе тугоплавких соединений.

Физико-химические основы керметов. Термодинамическая совместимость фаз. Кристаллическая структура, электронная структура и природа межатомных связей в тугоплавких и твердых бескислородных соединениях. Термомеханическая совместимость фаз в керметах.

Огнеупорные материалы.

Оксидные огнеупоры. Огнеупоры из тугоплавких соединений. Типовая технологическая схема производства огнеупоров. Карборундовые огнеупоры. Керамические порошковые материалы, их свойства и область применения.

Инструментальные материалы.

Твердые сплавы, безвольфрамовые твердые сплавы, минералокерамические твердые сплавы.

Углеродграфитные материалы и графит.

Технология производства искусственного графита. Графитопластовые материалы. Силицированный графит. Области применения.

Материалы для электронной техники и электротехники, материалы для ядерной энергетики, материалы для ракетной техники и преобразователей энергии.

## **3. Композиционные материалы**

### *3.1. 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.

### *3.2. 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.

### *3.3. 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 волокнистых 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 на проход в автоклаве. Технологическое оборудование. 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.

### *3.4. 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.

### *3.5. 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.

## **4. Теоретические и прикладные проблемы процессов формирования покрытий**

*4.1. 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.

#### *4.2. 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. Диаграммы состояния  $Ti-N(C, O)$ ,  $Fe-C(O, N)$ ,  $Zr-N(O, C)$ , параметры решетки твердых растворов и фаз внедрения в зависимости от состава.

Диффузия и массоперенос: межузельный и вакансионный механизм, законы Фика, частота атомных скачков, потенциальный барьер, уравнение Аррениуса, диффузия по границам зерен, влияние давления и напряжений, активационный объем, термо- и электромиграция, стимулированная диффузией рекристаллизация, анизотропия диффузионной подвижности металлов с ГП-решеткой.

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.

#### *4.3. 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.

Нагрев напыляемого материала. Теплообмен на границе газовой и конденсированной фаз. Критерий Био для различных напыляемых материалов и газовой фазы. Уравнение для нагрева частиц в плазменной струе.

Нагрев и плавление стержневых материалов. Задача Стефана. Мощность тепловых потоков на катод и анод. Оценка степени испарения материала электродов. Условия саморегулирования процесса плавления при электродуговой металлизации. Нагрев вылета электрода от фронта плавления и джоулевым теплом. Нагрев и плавление стержней газовым пламенем. Диспергирование. Условия дробления жидкого материала газовой струей. Поверхностное натяжение и предельное значение критерия Вебера. Динамика эвакуации жидкого материала с поверхности фронта плавления.

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.

Характеристики основных элементов оборудования и технологии вакуумного ионно-плазменного напыления

Основные виды генерации металлической плазмы: электродуговая, магнетронная, ионно-лучевая, термоэмиссионная, электронно-лучевая, торцевой холловский ускоритель.

Источники ионного травления: тлеющий разряд, ускоритель с замкнутым дрейфом электронов с протяженной зоной направленности (УЗДП), «Радикал».

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.

#### *4.4. 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

## **Дополнительная часть программы кандидатского экзамена, включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

1. Роль технологии порошковой металлургии в создании материалов общемашиностроительного и специального назначения. Перспективные методы получения легированных металлических порошков
2. Методы получения наноразмерных металлических порошков. Методы получения порошков сферической формы для аддитивных технологий. Применение нанопорошков в технологиях порошковой металлургии.
3. Инжекционное формование металлических и керамических порошков. Современные технологии изостатического формования металлических и керамических порошков. Способы активирования процесса спекания металлических порошков. Особенности формования и спекания бидисперсных (бимодальных) порошковых смесей.
4. Современные аддитивные технологии 3d- производства сложно-профильных деталей и изделий. Технологии селективного лазерного плавления (СЛП), селективного лазерного спекания (прямое выращивание) (СЛС), селективного электронно-лучевого плавления (СЭЛП), гибридные аддитивные технологии.
5. Основные виды оборудования для формования металлических порошков. Виды дополнительной обработки порошковых материалов после спекания. Особенности термической и химико-термической обработки порошковых материалов по сравнению с материалами, полученными из литых заготовок.
6. Методы расчета упругих характеристик композиционных материалов. Требования, предъявляемые к армирующим волокнам и материалу матриц. Макромеханический подход к рассмотрению КМ. Закон Гука.
7. Модули нормальной упругости в направлении оси волокна и в перпендикулярном направлении. Коэффициент Пуассона и модуль сдвига для однонаправлено-армированных композиционных материалов.
8. Прочность композиционных материалов, армированных непрерывными и дискретными волокнами. Композиционные материалы, армированные дискретными волокнами. Критическая длина волокон. Распределение напряжений по длине волокон.
9. Статистическая модель разрушения композиционных материалов. Статистическая прочность композиционных материалов. Формирование и развитие трещин в композиционном материале.
10. Термодинамическая и кинетическая совместимость компонентов в композиционном материале. Виды межфазного взаимодействия. Влияние поверхности раздела на прочность и характер разрушения. Типы связей между компонентами в композиционном материале.
11. Процессы диффузии между компонентами композиционного материала. Уравнения Фика. Диффузия через плоскую поверхность. Диффузия из бесконечно тонкого слоя в неограниченный образец.
12. Углерод-углеродные композиционные материалы. Структура и свойства карбидов. Способы получения керамических материалов на основе карбидов.
13. Структура, свойства, применение жаропрочных никелевых сплавов.
14. Порошковые технологии получения жаропрочных титановых сплавов. Структура, свойства и применение.
15. Особенности структуры и свойств композиционных алюминиевых сплавов.

16. Плазмохимический способ получения наноразмерных порошков. Изучение каталитических свойств гетерогенных нанокатализаторов. Получение наночастиц гексагонального нитрида бора. Связь структуры и свойств с режимами синтеза.
17. Способы получения нитридов и карбонитридов тугоплавких металлов. Фильтрационные синтезы. Получение нитридов и карбонитридов циркония и гафния.
18. Способы получения и свойства синтетических алмазов. Углеродные наноматериалы с фуллереноподобной структурой.
19. Технологии получения сложнопрофильных изделий с геометрической формой, близкой к конечному изделию (ГИП, аддитивные технологии).
20. Жаропрочные материалы на основе никеля и способы повышения их свойств (на примере интерметаллида NiAl). Способы получения боридов и силицидов тугоплавких металлов. Особенности структуры и свойства боридов и силицидов. Закономерности процесса спекания твердых сплавов марки ВК. Факторы, влияющие на структуру и свойства твердых сплавов.
21. Влияние состава твердого сплава и размера карбидного зерна на механизмы износа и эксплуатационные свойства. Безвольфрамовые твердые сплавы. Классификация, области применения.
22. Методы получения и свойства порошков для аддитивных технологий. Закономерности процесса селективного лазерного сплавления. Факторы, влияющие на структуру и свойства получаемых материалов.
23. Структура и свойства боридов переходных металлов. Особенности структуры, свойства, применение. Методы получения углеродных материалов с организованной структурой.
24. Композиционные материалы с углеродным волокном. Способы получения, механизм упрочнения, свойства. Алмазосодержащие режущие материалы с наномодифицированной металлической матрицей.
25. Получение и свойства спеченного алюминиевого порошка (САП). Высокопористые материалы. Особенности технологии получения, свойства, области применения.
26. Композиционные материалы на основе алюминидов никеля.

### **3. Методические указания по процедуре проведения и оценивания кандидатского экзамена**

#### **Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

- аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
- соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильного отделения, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению.* Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен

составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата* включает титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

### **Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн. Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении материаловедения. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

% выполнения заданных экзамена	Экзамен, балл	Соответствие традиционной оценке	Определение оценки
90% ÷ 100%	18 ÷ 20	«Отлично»	Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному
70% - 89%	14 ÷ 17	«Хорошо»	Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов
55% - 69%	11 ÷ 13	«Удовл.»	Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов
0% - 54%	0 ÷ 10	«Неудовл.»	Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям

#### 4. Рекомендуемая литература

##### Основная литература

1. Андриевский, Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы / Андриевский Р. А. - 3-е изд. - Издательство "Лаборатория знаний", 2017. - 255 с. - Книга из коллекции Издательство "Лаборатория знаний" - Нанотехнологии. - ISBN 978-5-00101-475-1. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU-LAN-BOOK-94128>
2. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов : учебное пособие / А. П. Ильин [и др.]; ТПУ, Институт физики высоких технологий (ИФВТ), Ка-федра общей и неорганической химии (ОНХ). - 2-е изд., испр. и доп. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C366267>
3. Наноматериалы : учебное пособие / Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л., - 5-е изд. - Издательство "Лаборатория знаний", 2017. - 368 с. - Книга из коллекции Издательство "Лаборатория знаний" - Нанотехнологии.. - ISBN 978-5-00101-474-4. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/LANBOOK%5C94117>
4. Полимерные нанокпозиционные материалы : учебное пособие / Е. Н. Евстифеев, А. А. Кужаров; Донской государственный технический университет (ДГТУ). - Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. - 218 с.: ил. - Университетский учебник. - Библиогр.: с. 214-217.. - ISBN 978-5-4486-0162-0.
5. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C368705>

##### Дополнительная литература

1. Теоретические основы спекания порошков. Кинетика спекания реальных материалов. Курс лекций / Аникин В. Н., Блинков И. В., Челноков В. С., - МИСИС, 2014. - 121 с. - ISBN 978-5-87623-699-9 <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/LANBOOK%5C47441>
2. Нано- и биокмозиты / Под ред. Лау А.К.-Т., Хуссейн Ф., Лафди Х.; Пер. с англ. - Эл. изд. - Издательство "Лаборатория знаний", 2015. - 393 с. - Книга из коллекции Издательство "Лаборатория знаний" - Нанотехнологии.. - ISBN 978-5-9963-2914-4. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/LANBOOK%5C66206>
3. Материаловедение. Технология композиционных материалов : учебник / А. Г. Кобелев [и др.]. - Москва: КноРус, 2016. - 270 с.: ил. - Бакалавриат. - Библиогр.: с. 269-270.. - ISBN 978-5-406-04814-6. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C328435>
4. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие / под ред. А. А. Берлина. - 4-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург: Профессия, 2014. - 591 с.: ил. - Библиография в конце глав. - ISBN 978-5-91884-056-6. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C277933>