


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Руководитель программы аспирантуры

 С.А. Оглезнева  
д.т.н., профессор кафедры МКМК  
«23» мая 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры  
«Порошковая металлургия и композиционные материалы»**

<b>Научная специальность</b>	2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы
<b>Направленность (профиль) программы аспирантуры Выпускающая(ие) кафедра(ы)</b>	Порошковая металлургия и композиционные материалы Механика композиционных материалов и конструкций
<b>Форма обучения</b>	Очная
<b>Курс: 3</b>	<b>Семестр (ы): 5</b>
<b>Виды контроля с указанием семестра:</b> Экзамен: 5      Зачет:	Диф.зачет

Пермь 2022

## **1. Общие положения**

Рабочая программа дисциплины «Порошковая металлургия и композиционные материалы» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

**1.1 Цель учебной дисциплины** – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области порошковой металлургии и композиционных материалов.

### **1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Порошковая металлургия и композиционные материалы» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.6.5. - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

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.

## **2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

### **Знать:**

современные научные достижения в области порошковой металлургии и композиционных материалов;  
структуру технологического процесса производства порошковых и композиционных материалов;  
физические и химические процессы, протекающие в порошковых материалах при их получении и обработке;  
влияние микроструктуры на свойства порошковых и композиционных материалов.

### **Уметь:**

анализировать и оценивать информацию о современных научных достижениях в области порошковой металлургии и композиционных материалов;  
разрабатывать технологический процесс производства порошковых и композиционных материалов;  
применять на практике знания физических и химических процессов, протекающих в порошковых материалах при их получении и обработке;  
применять на практике знания о влиянии микроструктуры на свойства порошковых и композиционных материалов.

**Владеть:**

навыками решения исследовательских и практических задач в области порошковой металлургии и композиционных материалов;  
 навыками получения и обработки порошковых материалов;  
 навыками прогнозирования свойств порошковых материалов на основании знаний микроструктуры.

**3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы**

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		5 семестр
<b>1</b>	Аудиторная работа	20
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
<b>2</b>	Контроль самостоятельной работы (КСР)	9
	Самостоятельная работа (СР)	88
	Форма итогового контроля: Экзамен	36

**4. Содержание учебной дисциплины****4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины**

**Раздел 1. Физические и физико-химические основы и технологические процессы производства порошков, спеченных материалов и изделий.** (Л – 2 ч, КСР – 2, СР – 22 ч)

**Тема 1. Процессы производства. Методы и приборы для контроля свойств порошков.**

Современные научные достижения в области порошковой металлургии и композиционных материалов.

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

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

**Тема 2. Процессы порошковой металлургии**

Подготовка 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.

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.

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. Плазменно-искровое спекание. Спекание лазерным и электронным лучом.

## **Раздел 2. Порошковые материалы (Л – 2 ч, КСР – 2, СР – 22 ч)**

### **Тема 3. Металлические 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

### **Тема 4. Керметы и неметаллические порошковые материалы**

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.

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.

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

Твердые сплавы, безвольфрамовые твердые сплавы, минералокерамические твердые сплавы.

Технология производства искусственного графита. Графитопластовые материалы. Силицированный графит. Нанодисперсные углеродные структуры. Области применения.

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

### **Раздел 3. Композиционные материалы (Л – 1 ч, КСР – 2, СР – 22 ч)**

#### **Тема 5. 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.

#### **Тема 6. 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.

#### **Тема 7. 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.

#### **Тема 8. 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.

#### **Тема 9. 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.

### **Раздел 4. Теоретические и прикладные аспекты проблемы процессов формирования покрытий (ПЗ – 6 ч, КСР – 3, СР – 22 ч)**

#### **Тема 10. 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.

#### **Тема 11. 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: междузельный 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.

## **Тема 12. 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.

### **Тема 13. 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.

### **Тема 14. Структура технологического процесса производства порошковых и композиционных материалов.**

Структура производственных и непроизводственных затрат на создание новых материалов и изделий. Состав рабочей документации, маршрутных и операционных технологических карт для изготовления новых изделий из перспективных порошковых и композиционных материалов

## **4.2. Перечень тем практических занятий**

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	10	Развитие навыков решения исследовательских и практических задач в области порошковой металлургии и композиционных материалов	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	13	Развитие навыков контроля свойств и прогнозирования свойств порошковых материалов на основании знаний микроструктуры	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	14	Развитие навыков разработки технологических процессов изготовления новых изделий из	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины.



		перспективных порошковых и композиционных материалов		Темы творческих заданий.
--	--	--	--	--------------------------

#### 4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Процессы производства. Методы и приборы для контроля свойств порошков	Собеседование	Вопросы по темам дисциплины
2	2	Процессы порошковой металлургии	Собеседование	Темы творческих заданий
3	3	Металлические порошковые материалы	Собеседование. Творческое задание.	Темы творческих заданий
4	4	Керметы и неметаллические порошковые материалы	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам дисциплины Темы творческих заданий.
5	5	Классификация композитов	Собеседование	Вопросы по темам дисциплины
6	6	Дисперсно-упрочненные композиты	Собеседование	Вопросы по темам дисциплины
7	7	Волокнистые композиты	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины Темы творческих заданий.
8	8	Многослойные композиты	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины Темы творческих заданий.
	9	Направленно закристаллизованные композиты	Собеседование	Вопросы по темам дисциплины
	10	Общая характеристика основных методов нанесения покрытий и модифицирования поверхности	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам дисциплины
	11	Физико-химические основы процессов формирования покрытий	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины Темы творческих заданий.

	12	Технология и оборудование для нанесения покрытий	Собеседование.	Вопросы по темам дисциплины Темы творческих заданий.
	13	Служебные свойства и методы контроля качества покрытий	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам дисциплины
	14	Структура технологического процесса производства порошковых и композиционных материалов	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам дисциплины

### 5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Порошковая металлургия и композиционные материалы» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

### 6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

#### 6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы 6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Порошковая металлургия : современное состояние и перспективы развития : монография / В.В. Савич, С.А. Оглезнева. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – 695 с.	
2	Металлические порошки и порошковые материалы: справочник /М.И. Алымов, Ю.В. Левинский, С. С. Набойченко, А.В. Касимцев, В.С. Панов, С.А. Оглезнева и другие. Под ред. М.И. Алымова и Ю.В. Левинского– М.: Вологда; Инфра-Инженерия, 2021. -560 с.	
3	Кульметьева В. Б. Перспективные композиционные и керамические материалы : учебное пособие / В. Б. Кульметьева, С. Е. Порозова, А.А. Сметкин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013.	

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
4	Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов : конспект лекций : учебное пособие для вузов / С. А. Оглезнева [и др.]. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013.	
5	Андриевский Р.А.. Основы наноструктурного материаловедения: возможности и проблемы. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. 252 с.	
6	Щурик А.Г. Искусственные углеродные материалы. Пермь: Изд-во УНИИКМ, 2009. 340 с.	
7	Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов : учеб. пособие / С. А. Оглезнева. – Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 307 с.	
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебно-методические, научные издания</b>		
1	Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. – М., МИСИС. Т. 1: Производство металлических порошков. 2001. 368 с. Т. 2: Формование и спекание, 2002. 319 с.	
2	Кларк Э.Р., Эберхардт К.Н. Микроскопические методы исследования материалов. – М.: Техносфера, 2007. 376 с.	
3	Порошковая металлургия и напыленные покрытия./ Под ред. Б.С. Митина. – М.: Металлургия, 1987. 792 с.	
4	Гегузин Я.Е. Физика спекания. – М., Наука, 1984. 312 с.	
5	Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009 г. 416 с.	
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия.	
2	Композиты и наноструктуры: научно-технический журнал.— Москва: Машиниздат, 2009.	
3	Наноиндустрия: журнал. Москва: Техносфера, 2007.	
4	Нанотехника: инженерный журнал. Москва: ЯНУС-К, 2004.	
5	Российские нанотехнологии: журнал. Москва: Парк-медиа, 2006.	
6	Перспективные материалы: журнал. Москва: Интерконтакт Наука, 1995	
7	Материаловедение: научно-технический и производственный журнал.— Москва: Наука и технологии, 1997.	
8	Огнеупоры и техническая керамика : международный научно-технический и производственный журнал / Меттекс .—	

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
	Москва: Меттекс	
9	Новые огнеупоры: научно-технический и производственный журнал.— Москва : Интермет Инжиниринг, 2002.	
10	Стекло и керамика : научно-технический и производственный журнал.— Москва : Ладыя.	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
1	ГОСТ 3.1412-87. Единая система технологической документации. Требования к оформлению документов на технологические процессы изготовления изделий методом порошковой металлургии	
2	ГОСТ 17359-82. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	
3		
4		
<b>2.4 Официальные издания</b>		
1	.....	
2		
3		

## 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

### 6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / [Электрон. б-ка дис.](#) – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманит., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

6. Электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : мультидисциплинар. электрон. версии журн. на ин. яз.] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 2000-2016. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. Springer [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. журн., кн. по гуманитар., обществ., естеств. и техн. наукам, протоколы исследований на англ. и нем. яз.] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Cham, 2016. – Режим доступа: <http://link.springer.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

8. ScienceDirect [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. науч. журн. и кн. по обществ., естеств. и техн. наукам на англ. яз.] / Elsevier B. V. – Amsterdam, 2016. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

9. Questel Orbit [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : патенты и данные 95 пат. ведомств всех регионов мира на ин. яз.] / Questel. – Paris, 2016. – Режим доступа: <http://www.orbit.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

10. Scopus [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на англ. яз.] / Elsevier B. V. – Amsterdam, 2016. – Режим доступа: <http://www.scopus.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

11. Web of Science [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на англ. яз.] / Thomson Reuters. – New York, 2016. – Режим доступа: <http://apps.webofknowledge.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

12. Сайт Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве образования и науки Российской Федерации.- <http://vak.ed.gov.ru/>.

## 6.2.2. Профессиональные базы данных

1. Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

2. Информационная система Техэксперт: Интранет [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : законодат. и норматив. док., коммент., журн. и др.] / Кодекс. – Версия 6.3.2.22, сетевая, 50 рабочих мест. – Санкт-Петербург, 2009-2013. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

## 7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

### 7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката,	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
--------	---	------------	--	-----------------

	лабораторное оборудование)			
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10	Оперативное управление	23
2	Проектор	1	Собственность	21

## 8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является кандидатский экзамен, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

### 8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

#### Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

#### • Собеседование

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

#### • Защита отчета о творческом задании

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

#### Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде экзамена по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

#### • Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче экзамена:

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по 5-балльной системе оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена приведены в табл. 5.

## Шкала оценивания результатов освоения на экзамене

Оценка	Критерии оценивания
5	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.</p> <p>Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и систематическое <b>применение</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.</p>
4	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал недостаточно уверенные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета с небольшими неточностями. Показал в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение <b>навыков</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p>
3	<p>Аспирант продемонстрировал неполные знания при ответе на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал неуверенные <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета с существенными неточностями. Показал в целом успешное, но не систематическое <b>применение</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p>
2	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные <b>знания</b> при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично усвоенное <b>умение</b> и <b>применение</b> полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

### 9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

### 10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Влияние способа консолидации порошков на свойства порошковых материалов, рассматриваемых в рамках темы научно-исследовательской деятельности.
2. Методы синтеза порошков, используемых по выбранной тематике исследования.
3. Применение волокон в качестве армирующей фазы в композиционных материалах.
4. Сравнение свойств порошков железа (никеля, меди...), полученных различными способами.

Типовые контрольные задания:

1. Предложите методы получения порошков металлов со сферической формой частиц.
2. Предложите методы спекания для получения беспористого кермета для инструментального материала.
3. Предложите состав и способы нанесения износостойкого покрытия на детали пары трения.
4. Предложите технологические схемы получения композиционного алмазного инструмента.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «МКМК».



**Программа**

Порошковая металлургия и композиционные материалы

**Кафедра**

*Механика композиционных материалов и конструкций*

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФГАОУ ВО «Пермский национальный**  
**исследовательский политехнический**  
**университет» (ПНИПУ)**

«Порошковая металлургия и композиционные материалы»

**БИЛЕТ № 1**

1. Материалы для электронной техники и электротехники, материалы для ядерной энергетики, материалы для ракетной техники и преобразователей энергии (*контроль знаний*).
2. Механизм повышения сопротивления пластической деформации и упрочнения композитов частицами (*контроль знаний*).
3. Предложите материал и технологическую схему производства детали конструкционного назначения по предложенным требованиям: НВ 80, предел прочности 800 МПа, плотный, износостойкий (*контроль умений и владений*).

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

Аношкин А.Н.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 \_\_\_\_ г.

**Лист регистрации изменений**

<b>№ п.п.</b>	<b>Содержание изменения</b>	<b>Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой</b>
1	2	3
1		
2		
3		
4		