

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИФПМ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФПМ СО РАН  
чл.-к. РАН  С.Г. Псахье

 «» 20  г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 05.16.06  
Порошковая металлургия и композиционные материалы  
направление подготовки 22.06.01 Технологии материалов**

Отрасль науки: 05.00.00 Технические

Форма обучения: очная/заочная

Томск 2014

## **Программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»**

### **1. Основы производства порошков, спеченных материалов**

Развернутые типовые характеристики схемы производства спеченных изделий: получение исходных порошков, их смешение, формование (прессование), спекание, последующая обработка. Сущности и назначение основных производственных операций.

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

Классификация и основные характеристики наиболее распространенных процессов производства порошков.

Основные методы исследования и контроля свойств порошков.

Механические методы производства порошков (резание, размол в шаровых, вихревых, вибрационных, планетарных и других мельницах, атриторах). Роль среды при измельчении. Поверхностно-активные вещества. Принципы конструкции и действия мельниц, атриторов. Применение их при производстве порошков.

Приготовление порошков распылением жидких металлов, сплавов и соединений. Общая характеристика методов распыления.

Производство порошков восстановлением водородом, углеродом, металлами. Классификация методов восстановления порошков металлов по типу исходного сырья (окислы, соли), применяемых восстановителей и оборудования.

Основные промышленные способы получения порошков железа, кобальта, тугоплавких металлов и их сплавов и соединений восстановлением углеродом, водородом, металлами.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Совмещение процессов восстановления и химико-термической обработки. Приготовление порошков тугоплавких соединений (карбидов, боридов, нитридов, силицидов, гидридов).

Оборудование для производства порошков восстановлением.

Плазменные процессы восстановления порошков, их особенности. Порошки,готавливаемые этим методом, и их характеристики. Конструкции установок.

Связь между физическими и технологическими свойствами порошков.

Требования, предъявляемые к порошкам в производстве заготовок и изделий из них. Транспортировка и хранение порошков.

#### **1.2 Процессы подготовки и смешивания порошков**

Отжиг, гомогенизация, довосстановление, физико-химическая сущность и практика технологии. Классификация и разделение порошков на фракции по размерам частиц, составление смесей. Смешивание порошков в смесительных барабанах, шаровых, вибрационных мельницах и другими методами. Укрупнение партий (усреднение). Введение смазывающих, пластифицирующих и склеивающих веществ для улучшения условий формования.

#### **1.3 Процессы формования заготовок и изделий из порошков, методы и приборы контроля**

Классификация методов формования. Общая характеристика основных явлений, наблюдаемых при уплотнении порошков. Внешнее и межчастичное трение, боковое давление, распределение плотности по объему брикета, упругое последствие.

Распределение напряжений и плотности при прессовании изделий сложной формы. Технология холодного прессования в закрытых прессформах. Дозировка и засыпка шихты в полость прессформы. Методы получения равномерной плотности при прессовании деталей сложной формы.

Свойства спрессованных брикетов. Упругое последствие, пористость, прочность, твердость, электропроводность.

Прессформы для холодного прессования. Классификация прессформ, для прессования деталей различной сложности и их особенности. Элементы конструкций прессформ, обеспечивающие заполнение полости матрицы порошком и выталкивание спрессованного брикета. Прессы для холодного прессования в закрытых прессформах. Автоматические прессформы. Специализированные прессавтоматы.

Виды брака при прессовании, их причины и устранение. Техника безопасности при формировании заготовок.

Методы и приборы контроля. Определение усадки, пористости, механических и других свойств штабиков из формованных заготовок. Методы и приборы для контроля.

Методы интенсификации процессов формирования.

## 1.4 Спекание

Сущность и технические задачи спекания. Классификация типов процессов спекания.

Общие сведения о различных типах дефектов в кристаллах и причинах их возникновения: подвижность атомов, диффузия, крип и рекристаллизация в металлах и сплавах. Ползучесть кристаллических тел при высоких температурах. Механизм перемещения вакансий и дислокаций, их взаимодействия. Поверхностное натяжение как движущая сила спекания. Капиллярное давление. Изменение свободной поверхности и усадка при спекании. Закономерности усадки при спекании.

Основные стадии процесса спекания. Взаимное припекание твердых тел, контактирующих по плоскости и в точке. 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.

Закономерности спекания под давлением, горячего прессования. Структура и свойства спеченных изделий. Их зависимость от условий спекания и характеристики исходных порошков. Различия и сходство в свойствах, структуре и составе спеченных и литых металлов и сплавов.

## 2. Порошковые материалы

### 2.1 Пористые материалы.

Подшипники. Бронзографитовые и железографитовые материалы. Основы технологии производства пористых подшипников. Эксплуатационные характеристики пористых подшипников. Возможные пути улучшения физико-механических свойств подшипников на железной основе за счет легирования медью.

Экономическая эффективность от применения спеченных пористых подшипников.

Металлические фильтры. Общая характеристика спеченных фильтров и их основные свойства. Материалы, применяемые для изготовления металлических фильтров; факторы, влияющие на свойства металлических фильтров и аналогичных пористых спеченных изделий.

Другие виды пористых материалов. Уплотнительные материалы для газовых турбин. Электроды и пластины аккумуляторов для электрохимических производств. Уплотнительные материалы для химического машиностроения и зачеканки труб. Спеченные материалы для охлаждения выпотеванием, пенометаллы. Беспористые и малопористые антифрикционные и фрикционные материалы.

Фрикционные материалы. Общая характеристика спеченных фрикционных материалов. Требования к фрикционным материалам. Физико-механические свойства и области применения. Технология изготовления. Магнитные материалы. Классификация магнитных материалов, магнитодиэлектрики, магнитомягкие материалы, ферриты, получаемые методами порошковой металлургии.

Сравнительные свойства литых и спеченных магнитных материалов. Технологические примеры производства конструкционных деталей: шестерни, поршневые кольца, шаблоны, детали приборостроения, бытовых машин. Методы получения конструкционных изделий повышенной прочности: многократное прессование и спекание, ударное прессование, пропитка медью и ее сплавами, горячая штамповка пористых заготовок, применение легированных порошков, особенности термообработки и химико-термической обработки спеченных деталей.

Технико-экономические преимущества методов порошковой металлургии в производстве машинных деталей. Тугоплавкие металлы. Вольфрам и молибден. Требования к исходным порошкам, применяемым для получения компактных ковких металлов. Влияние технологии прессования и спекания на свойства. Влияние искусственных присадок на свойства металлов. Тяжелые сплавы на основе вольфрама, физико-химические основы и сущность технологии. Их применение. Тугоплавкие и твердые бескислородные соединения.

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

## 2.2 Твердые сплавы

Общая характеристика спеченных твердых сплавов и их классификация. Области применения. Типовая технологическая схема производства спеченных твердых сплавов. Исходные порошкообразные компоненты и требования, предъявляемые к ним. Виды и методы введения присадок цементирующего металла. Зависимость структуры и свойств спеченных твердых сплавов от технологии получения.

Пути улучшения свойств твердых сплавов. Повышение чистоты исходных материалов, термообработка, вакуумная обработка, виброобработка и др.

Безвольфрамовые твердые сплавы. Классификация, технология изготовления, свойства, области применения. Неперетачиваемые пластины и пластины с износостойкими покрытиями. Технология изготовления, свойства, области применения.

Минералокерамические твердые сплавы. Составы, технология их изготовления, свойства, области применения. Жаропрочные и жаростойкие спеченные материалы. Жаропрочные материалы и псевдосплавы. Принцип создания жаропрочных материалов. Жаропрочные соединения на основе тугоплавких металлов и соединений. Металлы и сплавы дисперсноупроченного типа. Общая характеристика, классификация, материалы на основе алюминия, меди, железа, никеля, тугоплавких металлов.

Материалы, армированные волокнами, нитевидными монокристаллами. Спеченные материалы электронной техники и электротехники. Требования к материалам электродов электронных и других устройств. Применение тугоплавких металлов и соединений в качестве электрода электронных и других устройств. Материалы ракетной техники и преобразователей энергии. Общая характеристика и требования к материалам реактивных двигателей. Изделия, получаемые методами порошковой металлургии и применяемые для теплозащиты корпуса головных частей ракеты, стабилизирующих устройств, сопел. Волокнистые материалы, пеноматериалы, высокоэнтальпийные материалы и др. Спеченные материалы устройств для прямого преобразования тепловой и химической энергии в электрическую.

## 3. Композиционные материалы с металлической матрицей (композиты)

### 3.1 Классификация композитов

Дисперсно-упроченные, многослойные, волоконные 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 между собой.

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. Дисперсно-упрочненные композиты. Механизм повышения сопротивления пластической деформации и упрочнения композитов частицами. Основные принципы выбора упрочняющих частиц.

### 3.2 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 статическом и динамическом нагружении; зависимость механических свойств от геометрических характеристик слоев, их числа и последовательности укладки. Механизм деформаций и разрушения многослойных композитов. Влияние состояния поверхности раздела между слоями на свойства композитов.

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

#### Волокнистые композиты

Особенности и достоинства 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.

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. Методы порошковой металлургии. Направленно закристаллизованные композиты.

Основные представления о процессе направленной кристаллизации. Механизм и кинетика направленной кристаллизации. Условия формирования структуры композита. Влияние примесей на структуру композита.

#### Основная литература

- 1 Порошковые легированные стали / В.Н. Анциферов, В.Б. Акименко, Л.М. Гревнов - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1991. - 318 с.
- 2 Металлургические композиты. Введение в феноменологическую теорию / Г.А. Бабушкин, В.Я. Буланов, И.А. Сеницкий. - Свердловск: АНЦ АН СССР, 1987. - 312 с.
- 3 Либенсон, Г.А. Процессы порошковой металлургии: в 2-х т. / Г.А. Либенсон, Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. - М.: МИСИС, 2001. - Т.1. - 368 с. - Т.2. - 320 с.
- 4 Ермаков, С.С. Порошковые стали и изделия / С.С. Ермаков, Н.В. Вязников. - 4-е изд. перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1990. - 319 с.
- 5 Атлас структур порошковых материалов на основе железа / Т.А. Пумпянская, В.Я. Буланов, В.Г. Зырянов. - М.: Наука, 1986. - 216 с.
- 6 Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. - Киев: Наук, думка, 1980. - 404 с.
- 7 Порошковая металлургия и напыленные покрытия: учебник для вузов / В.Н. Анциферов [и др.]. - М.: Металлургия, 1987. - 792 с.
- 8 Автомобильные материалы: справочник. / Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов, - 3-е изд. - М.: Транспорт, 1989. - 464 с.
- 9 Термохимическая обработка порошковых сталей. / В.Н. Анциферов, В.Я. Буланов, С.И. Богодухов, Л.М. Гревнов. - Екатеринбург: УрО РАН, 1997. - 482 с.
- 10 Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / под ред. Ю.В. Левинского. - М.: Экомет, 2005. - 520 с.

- 11 Курс материаловедения в вопросах и ответах: учебное пособие / С.И. Богодухов, В.Ф. Гребенюк, А.В. Синюхин. – 2-е изд. – М.: Машино-строение, 2005. – 288 с.
- 12 Технологические процессы в машиностроении: учебник для вузов / С. И. Богодухов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2008. – 640 с.
- 13 Порошковая металлургия: науч.-технич. журн. / учредители ФГОУ ВПО ГТУ “Моск. ин-т стали и спл.” ЗАО “Калвис”, 2008. – М.: изд-во “Калвис” - № 1. – ISSN 1997-308X.
- 14 Порошковая металлургия: науч.-технич. журн. / учредители ФГОУ ВПО ГТУ “Моск. ин-т стали и спл.” ЗАО “Калвис”, 2008. – М.: изд-во “Калвис” - № 10. – ISSN 1997-308X.
- 15 Порошковая металлургия: науч.-технич. журн. / учредители ФГОУ ВПО ГТУ “Моск. ин-т стали и спл.” ЗАО “Калвис”, 2007. – М.: изд-во “Калвис” - № 5. – ISSN 1997-308X.
- 16 Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учебное пособие для ВУЗов / В.С.Панов, А.М.Чувиллин, В.А.Фальков-ский – 2-е изд. доп. и переработ. – М.: МИСиС, 2004. – 464 с.
- 17 Порошковые материалы: учебное пособие / С.И.Богодухов, В.А.Бондаренко, А.Д.Проскурин, А.В.Синюхин. – Оренбург: ОГУ, 1999. – 148 с.