

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.С. Гуц / Д.С. Гуц /
«10» марта 2023 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы

Красноярск 2023

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: композиционные материалы и покрытия, производство порошков общего и специального назначения, теория и технология порошковых материалов, теория модифицирования поверхностей и технологические процессы, теория покрытий и технологические особенности процессов, специальные методы контроля качества покрытий и модифицированных поверхностей.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по металлургии и металловедению при участии «МАТИ» – Российского государственного технологического университета им. К.Э.Циолковского.

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, газозависимых 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 зернограницным 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, трибо-технические 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.

Основная литература

1. Гельфман, Марк Иосифович. Коллоидная химия [Текст] / М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, В. П. Юстратов. - 3-е изд., стереотип. - Санкт-Петербург : Лань, 2005. - 332 с.
2. Процессы порошковой металлургии: в 2 т. / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарицкий. - М.: МИСиС, 2002.
3. Ржевская, Светлана Владимировна. Материаловедение [Текст] : учебник для вузов / С. В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 421 с.
4. Зимон, А.Д. Коллоидная химия / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. - М.: Изд-во Агар, 2001.
5. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение / Р.А. Андриевский. - М.: Металлургия, 1991. - 205 с.
6. Чиганова, Г. А. Физико-химия ультрадисперсных материалов: учеб. пособие / Г. А. Чиганова, А. И. Лямкин. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. - 100 с.

6. Порошковая металлургия. Материалы, технологии, свойства, области применения: справ. / И. М. Федорченко, И. И. Францевич, И. Д. Родомильский и др. – Киев : Наукова думка, 1985. – 624 с.
7. Новые материалы. Под ред. Карабасова Ю.С. – М: «МИСИС», 2002. – 736 с.
8. Андриевский, Р.А. Основы наноструктурного материаловедения / Р.А. Андриевский. – М.: Металлургия, 2012. – 205 с.
9. Гегузин, Я. Е. Физика спекания / Я. Е. Гегузин. – 2-е изд. – М. : Наука, 1984. – 312 с.
10. Скороход, В.В. Физико - металлургические основы спекания порошков / В.В. Скороход, С.М. Солонин. – М.: Металлургия, 1984. – 159
11. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. М.: Изд-во МГТУ, 1999. 
12. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992.
13. Кудинов В.В., Пекшев П.Ю. Нанесение покрытий плазмой. М.: Наука, 1990.
14. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. М.: Изд-во МИСИС, 2001.
15. Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напыления. М.: Металлургия, 1992.

Дополнительная литература

16. Порошковая металлургия в СССР. История. Современное состояние. Перспективы / Под ред. И.Н.Францевича, В.И.Трифонов. М.: Наука, 1986.
17. Новые процессы и материалы порошковой металлургии: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1983.
18. Буланов В.Я. Диагностика металлических порошков. М.: Наука, 1983.
19. Попильский Р.Я., Пилявский Ю.С. Прессование порошков керамических масс. М.: Металлургия, 1983.
20. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416.
21. Ивенсон В.А. Феноменология спекания. М.: Металлургия, 1985.
22. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990.
23. Борисов Ю.С., Харламов Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник // Киев: Наукова думка, 1987.
24. Петров С.В., Карп И.Н. Плазменное газозвдушеное напыление. Киев: Наукова думка, 1993.
25. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Под общ. ред. Ю.Н. Внукова. Киев: Тэхніка, 1992.
26. Васильев В.В., Протасов В.Д. Болотин В.В. Композиционные материалы: Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
27. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления. М.: Машиностроение, 1999.
28. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993.
29. Бабад-Захряпин А.А. Дефекты покрытий. М.: Энергоатомиздат, 1987.
30. Гольдшмидт Х.Дж. Сплавы внедрения. М.: Мир, 1971.
31. Карпинос, Д.М. Новые композиционные материалы / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, Л.Ф. Вишняков. – Киев: Вища школа, 1977. – 312 с.
32. Добровольский, А.Г. Шликерное литье / А.Г. Добровольский. – М.: Металлургия, 1977. – 240 с.
33. Злобин, Г.П. Формование изделий из порошков твердых сплавов / Г.П. Злобин. – М.: Металлургия, 1980. – 224 с.
34. Карпинос, Д.М. Новые композиционные материалы / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, Л.Ф. Вишняков. – Киев: Вища школа, 1977. – 312 с.
35. Композиционные материалы волокнистого строения. Под ред. И. Н. Францевича и Д. М. Карпиноса. – Киев: наук. Думка, 1970. – 404 с.
36. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384с.

37. Крупин, А.В. Обработка металлов взрывом / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Г.С. Попов, М.Р. Кръстев. – М.: Металлургия, 1991. – 419 с.
38. Крупин, А.В. Деформация металлов взрывов / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, И.И. Шефтель, А.Г. Кобелев. – М.: Металлургия, 1975. – 416 с.
39. Ложечников, Е.Б. Прокатка в порошковой металлургии / Е.Б. Ложечников. – М.: Металлургия, 1987. – 184 с.
40. Морохов И.Д., Трусков Л.И., Лаповок В.Н. Физические явления в ультрадисперсных средах. – М. Энергоатомиздат, 1984. – 220 с.
41. Перельман, В.Е. Формование порошковых материалов / В.Е. Перельман. – М.: Металлургия, 1979. – 232 с.
42. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них : учеб. для вузов / В. С. Панов, А. М. Чурилин. – М. : МИСиС, 2001. – 426 с.
43. Костиков В.И. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы / В.И. Костиков, А.Н. Варенков. – М.: Интернет Инжиниринг. 2003. – 558 с.
44. Попильский, Р.Я. Прессование порошков керамических масс / Р.Я. Попильский, Ю.Е. Пивинский. – М.: Металлургия, 1983. – 76 с. Керамические материалы / Под ред. Г. Н. Масленниковой. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.
45. Портной, К.И. Дисперсноупрочненные материалы / К.И. Портной, Б.Н. Бабич. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
46. Прогрессивные способы изготовления металлокерамических изделий. Под ред. О.В. Романа. – Минск: Полымя, 1971. – С. 88-129.
47. Скороход, В.В. Физико - металлургические основы спекания порошков / В.В. Скороход, С.М. Солонин. – М.: Металлургия, 1984. – 159с. Сыркин, В. Г. Карбонильные металлы / В. Г. Сыркин. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
48. Федорченко, И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. – Киев: наук. думка, 1980. – 404 с. Стрелов, К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. – М. : Металлургия, 1985. – 480 с.
49. Гельфман М. И., Ковалевич О. В., Юстратов В. П. Коллоидная химия. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 336 с.
50. Зимон А. Д., Лещенко А. Ф. Коллоидная химия: учебник для вузов. – 3-е изд., доп. И исправл. – М.: АГАР, 2001. – 320 с.
51. Андриевский, Р.А. Аморфные и ультрадисперсные порошки и материалы на их основе / Р.А. Андриевский, А.А. Нуждин // Итоги науки и техники. Порошковая металлургия. – 1986. – Т. 2. – С. 3-64.
52. Материалы Всесоюзных конференций «Физико-химия ультрадисперсных систем» (Звенигород, 1984 г.; Рига, 1989 г.; Томск, 1993г.).
53. Материалы IV,V,VI,VII,VIII Всероссийских конференций «Физикохимия ультрадисперсных систем» (Москва,1998г.; Екатеринбург, 2002г.; Ершово, Моск. обл.; 2005г.; Белгород, 2008г.)
54. Материалы Всероссийских научно-технических конференций с международным участием (I,II,III,IV,V,VI Ставеровские чтения: «Ультрадисперсные порошки, наноструктуры: Получение, свойства, применение» (Красноярск,1996, 1999, 2003, 2006, 2009гг.).
55. Материалы первой международной конференции. «Наноструктурные материалы – 2008: Беларусь – Россия – Украина (Минск,2008г.)
56. Труды 6 и 7 международной Казахстанско-Российско-Японской конференций «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов. 2008г. (г. Усть-Каменогорск), 2009г. (г. Волгоград). –М.:МГИУ,2009. – 1205с.

Журналы

1. Вопросы материаловедения
2. Высокомолекулярные соединения
3. Гальванотехника и обработка поверхности
- Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*
4. Коллоидный журнал*
5. Композиты и наноструктуры
6. Конструкции из композиционных материалов: научно-технический журнал*
7. Материаловедение*

8. Металловедение и термическая обработка металлов*
9. Нано- и микросистемная техника*
10. Нанотехника
11. Нанотехнологии и наноматериалы
12. Неорганические материалы
13. Успехи физических наук
14. Физика горения и взрыва
15. Физика и химия обработки материалов
16. Физика и химия стекла
17. Физика металлов и металловедение
18. Физика твердого тела
19. Физикохимия Поверхности и Защита Материалов

Электронные ресурсы

1. <http://lib2.sfu-kras.ru/elib/b35/i-740236.pdf>
Физико-химия керамических и композиционных материалов: метод. указ. к практ. и лаб. занятиям. А.Ф. Шиманский, 2011
2. http://lib2.sfu-kras.ru/elib_tech/umkd/63/u_practice.pdf
Процессы порошковой металлургии : метод. указ. к практ. работам/ Сиб. федерал. ун-т. - 2008
3. http://lib2.sfu-kras.ru/elib_tech/umkd/63/u_lectures.pdf
Процессы порошковой металлургии : курс лекций/Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – 2008
4. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4031 Ржевская, С. В. Материаловедение [Текст] : учебник для вузов / С. В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2004. - 421 с.
5. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4033 Ржевская, С. В. Материаловедение [Текст] : учебник для вузов / С. В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : МГТУ, 2005. - 454 с.
6. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4029 Гельфман, М. И. Коллоидная химия [Текст] / М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, В. П. Юстратов. - 3-е изд., стереотип. - Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 336 с. □
7. lib.sfu-kras.ru/ Процессы порошковой металлургии [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины / Е. Н. Осокин [и др.] ; Сиб. федерал. ун-т. - Версия 1.0. - Электрон. дан. (19 Мб). - Красноярск : ИПК СФУ, 2008. - on-line. - (Процессы порошковой металлургии : УМКД № 63-2007 / рук. творч. коллектива Е. Н. Осокин) (Электронная библиотека СФУ. Учебно-методические комплексы дисциплин). - Загл. с титул. экрана. Режим доступа: удалённый
8. lib.sfu-kras.ru/ Теоретические основы, технология получения и свойства порошковых материалов [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины / Э. М. Никифорова [и др.] ; Сиб. федерал. ун-т. - Версия 1.0. - Электрон. дан. (PDF ; 2 Мб). - Красноярск : ИПК СФУ, 2009. - on-line. - (Теоретические основы, технология получения и свойства порошковых материалов : УМКД № 1830/1018–2008 / рук. творч. коллектива Э. М. Никифорова) (Электронная библиотека СФУ. Учебно-методические комплексы дисциплин). - Загл. с титул. экрана. - Режим доступа: удалённый
9. lib.sfu-kras.ru/ Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. М.: Изд-во МИСИС, 2001. -312с.
10. <http://www.lib-kras.ru> Чиганова, Г. А. Физико-химические свойства ультрадисперсных материалов: конспект лекций / Г. А. Чиганова. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 123 с. – (Физико-химические свойства ультрадисперсных материалов : УМКД № 91-2007 / рук. творч. коллектива Г. А. Чиганова).
11. <http://www.lib-kras.ru> Ролдугин, В. И. Физикохимия поверхности / В. И. Ролдугин. – Долго-

прудный: Интеллект, 2008. – 565 с.

12. <http://www.lib-kras.ru> Ланге, К. Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение /К. Р. Ланге; ред. Л. П. Зайченко. – СПб: Профессия, 2004. – 240 с.

Разработчик: доцент кафедры МиТОМ, к.т.н  О. А. Масанский

Программа обсуждена на заседании кафедры МиТОМ
«23» марта 2023г. протокол № 7

Заведующий кафедрой МиТОМ (выпускающей)  О. А. Масанский