**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

 высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  **УТВЕРЖДАЮ** Директор ИФВТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Яковлев А.Н. «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г. |

#

# **ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

Кандидатского экзамена по специальности

**05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы**

Томск 2014

**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 карбонилов, 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, электромагитного 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 матриалы, 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, многослйные и направленнно 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 проскальзываением, 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.

**Основная литература**

1. Герман Рендалл М. Порошковая металлургия от А до Я: [учебное пособие]: пер. с англ. / Р. М. Герман - М. : Интеллект, 2009 - 336 с. : ил.
2. Кульков Сергей Николаевич Наноматериалы: порошки и спеченные композиты: учебное пособие / С. Н. Кульков, С. П. Буякова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) - Томск : Изд-во ТПУ, 2011 - 100 с. : ил.
3. Бальшин Михаил Юльевич Основы порошковой металлургии / М. Ю. Бальшин, С. С. Кипарисов - М. : Мир, 1980 - 248 с. : ил.
4. Либенсон Герман Абрамович Процессы порошковой металлургии: Учебник: В 2 т. / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий - М. : МИСиС, 2001-202 с. : ил.
5. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.] - Долгопрудный: Интеллект, 2010 - 347 с. : ил.
6. Михайлин Юрий Александрович Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин - СПб. : НОТ, 2009 - 660 с. : ил.
7. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие / под ред. А. А. Берлина - СПб. : Профессия, 2008 - 560 с. : ил.
8. Батаев Анатолий Андреевич Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебное пособие для вузов / А. А. Батаев, В. А. Батаев - М. : Логос, 2006 - 398 с. : ил. - (Новая университетская библиотека).
9. Егоров Ю.П Материаловедение: Учебное пособие /.Егоров Ю.П., Лозинский Ю.М., Роот Р.В., Хворова И.А.– Томск, Изд-во ТПУ, 2008 --.188 с.
10. Ливанов Дмитрий Викторович, Физика металлов: учебник для вузов / Д. В. Ливанов. — М.: Изд-во МИСИС, 2006. — 280 с.
11. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С. С. Горелик, С. В. Добаткин, Л. М. Капуткина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МИСИС, 2005. — 432 с.
12. Батаев В. А Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей: учебное пособие / В. А. Батаев, А. А. Батаев, А. П. Алхимов. — 2-е изд. — М.: Флинта: Наука, 2008. — 220 с.

**Дополнительная литература**

1. Порошковая металлургия в СССР. История. Современное состояние. Перспективы / Под ред. И.Н.Францевича, В.И.Трифонова. М.: Наука, 1986.
2. Новые процессы и материалы порошковой металлургии: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1983.
3. Буланов В.Я. Диагностика металлических порошков. М.: Наука, 1983.
4. Попильский Р.Я., Пилявский Ю.С. Прессование порошков керамических масс. М.: Металлургия, 1983.
5. Ивенсон В.А. Феноменология спекания. М.: Металлургия, 1985.
6. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990.
7. Борисов Ю.С., Харламов Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник // Киев: Наукова думка, 1987.
8. Петров С.В., Карп И.Н .Плазменное газовоздушное напыление. Киев: Наукова думка, 1993.
9. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Под общ. ред. Ю.Н. Внукова. Киев: Тэхника, 1992.
10. Васильев В.В., Протасов В.Д. Болотин В.В. Композиционные материалы: Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
11. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления. М.: Машиностроение, 1999.
12. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993.
13. Бабад-Захряпин А.А. Дефекты покрытий. М.: Энергоатомиздат, 1987.
14. Гольдшмидт Х.Дж. Сплавы внедрения. М.: Мир, 1971.

**Региональные и вузовские компоненты**

1. **Процессы порошковой металлургии**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

 Новые материалы и области использования взамен традиционных - пластмассы, композиционные материалы, углепластики и керамические материалы - основа будущего развития техники и технологии. Конструкционные керамики. Использование неметаллических материалов в условиях Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Российский материаловедческий центр - база для развития нетрадиционных материалов и технологий.

1. **Теория покрытий и модифицирование поверхности**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

 Особенности использования металлов в качестве конструкционных материалов. Проблема срока службы деталей машин и механизмов. Классификация методов упрочнения поверхности. Схема структуры упрочненного поверхностного слоя. Методы упрочнения. Упрочнения поверхности за счет ее модифицирования. Методы поверхностного пластического деформирования. ХТО, ионное азотирование, ионная имплантация и др. методы упрочнения. Поверхностная обработка высокоэнергетическими источниками. Плазменная, электроннолучевая, лазерная обработка поверхности. Поверхностное легирование. Комбинированные методы обработки поверхности. Газотермическое напыление композиционных порошков.

 Основы построения компьютерных моделей процессов поверхностного упрочнения и нанесения покрытий.

1. **Технология нанесения покрытий**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Технологические параметры процесса напыления и их влияние на эффективность процесса и свойства формирующегося покрытия. Установки для нанесения покрытий. Распылительные головки. Системы газо- и энергопитания установок. Порошки для газотермическогонапыления. Подготовка поверхности перед напылением. Последующая обработка покрытий.

1. **Физическая мезомеханика материалов**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Локализация деформации. Природа и иерархия коцентраторов напряжений. Механизмы и закономерности пластической деформации и разрушения на мезомасштабном уровне. Физическая мезомеханика - методологическая основа компьютерного конструирования материалов.

1. **Современные методы диагностики нагруженных материалов и конструкций**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Дефекты и уровень дефектности; контроль технологических факторов; разрушающие и неразрушающие методы контроля; технологические возможности и особенности применения различных методов.

Статистические методы контроля качества; методы оценки механических свойств при статических и динамических нагрузках.

1. **Компьютерное конструирование материалов**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Роль математического моделирования в компьютеризации комплексной разработки новых материалов и технологических процессов. Современные аналитические подходы к явлений и процессов в материалах и покрытиях: теории фазовых переходов и критических явлений, теории подобия и скейлинг, законы сохранения, теория перколяции; геометрия фрактальных кластеров. Математические методы моделирования материалов и покрытий, паро-, жидко-, и твердофазных процессов, их получения, обработки и переработки. Модели тепловых, гидравлических, деформационных, импульсных процессов, процессов осаждения; разработка алгоритмов расчета параметра новых материалов (основных групп) технологических процессов и рабочих деталей технологической оснастки; математические модели процессов, полученные при кинематическом исследовании объекта; динамические модели сложных объектов; имитационное моделирование. Оптимизация технологических процессов: понятие об оптимизации; объект оптимизации; критерий оптимальности; этапы решения задачи оптимизации; виды задач оптимизации технологических процессов; аналитические методы оптимизации; линейное программирование; нелинейное программирование; многокритериальные задачи оптимизации; специальные виды программирования.

1. **Проблемы современного материаловедения**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Композиционные материалы. Особенности процессов получения изделий из композиционных материалов. Требования, предъявляемые к армирующим и матричным материалам. Перспективные материалы. Основы компьютерного моделирования процессов и конструирования материалов с заданными свойствами. Наноструктурные материалы и технологии.

**Дополнительная литература:**

Отечественные научные и научно-технические журналы : «Успехи физических наук», «Физика твердого тела», «Известия вузов», «Металловедение и термическая обработка металлов», «Физика металлов и металловедение», «Защита металлов», «Кузнечно-штамповое производство», «Литейное производство», «Порошковая металлургия», «Сварочное производство», «Неорганические материалы», «Физика и технология полупроводников», «Химические волокна», «Высокомолекулярные соединения,» «Пластические массы», «Физика и химия стекла», «Физика и химия обработки материалов», «Надежность и контроль качества».

Иностранные научные и научно-технические журналы: Physical Review, Journal of Material Science, Journal of Composite Materials, Metallurgical and Materials Transactions, Journal of Materials Strategy, Carbon, International Ceramic Review, Journal of Electronics Materials, Journal of Applied Physics, Journal of Applied Polymer Science, Composite Science and Technology.

Программа подготовки научно-педагогических и научных кадров составлена на основе программы кандидатского экзамена по специальности 05.16.06, утвержденной приказом Минобразования России от 17 февраля 2004 года.

Дополнительная программа утверждена Ученым советом ИФВТ

протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2014 г.

Составитель:

Руководитель ООП \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Б.Б. Овечкин