

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)» (МАИ)

Институт №11 «Материаловедение и технологии материалов»
Кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов»
Кафедра «Технологии и системы автоматизированного проектирования
металлургических процессов»

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого Совета Института № 11



А.В.Беспалов

Протокол от «30» 01 2018 г. № 05/18

ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В
АСПИРАНТУРУ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ **22.06.01** ТЕХНОЛОГИИ
МАТЕРИАЛОВ
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ **05.16.06** ПОРОШКОВАЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Программа вступительного испытания при поступлении в аспирантуру по направлению 22.06.01 Технологии материалов по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» составлена: Профессором Скворцовой С.В.

Программа утверждена Ученым Советом института №11 «Материаловедение и технология материалов»

Программа согласована:

Зав. кафедрой «Материаловедение и технология обработки материалов»


Ильин А.А.

Зав. кафедрой «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов»


Моисеев В.С.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью вступительного испытания при поступлении в аспирантуру по направлению 22.06.01 Технологии материалов по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» является проверка подготовленности поступающего по базовым дисциплинам образовательной программы бакалавриата и магистратуры объеме требований ФГОС и СУОС НИУ МАИ по направлению 22.03.01 и 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов и оценка возможности освоения им соответствующей образовательной программы аспирантуры. К вступительному испытанию в аспирантуру по данному направлению допускаются лица, имеющие документ государственного образца о высшем образовании 2-го уровня любого направления подготовки (Часть 3 статьи 69 Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации").

Программа вступительного испытания в аспирантуру по направлению 22.06.01 Технологии материалов по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» составлена на основании федерального закона об образовании в российской федерации n273-фз, требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов (квалификация (степень) "магистр") (утвержден приказом Минобрнауки рф 12.11.2015 г. №1331).

II. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ.

Вступительное испытание проводится в письменной форме в соответствие с Правилами приема в МАИ. Результаты вступительных испытаний оформляются протоколом приемной комиссии, который заполняется на каждого поступающего. В протоколе указываются вопросы, заданные поступающему, и количество полученных им баллов по столбальной системе оценивания.

III. СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ.

3.1. Металлические порошки

3.1.1. Классификация методов получения порошков металлов и сплавов

Измельчение твердых материалов. Обработка металлов резанием. Измельчение в шаровых вращающихся, в планетарных центробежных и гироскопических, вибрационных мельницах. Измельчение ультразвуком.

Диспергирование расплавов. Основы теории диспергирования. Диспергирование струи жидкого металла потоками газа и жидкостью. Распыление расплавов под действием центробежных сил. Распыление расплава бесконтактными методами. Распыление расплава и его быстрая закалка.

Технология распыленных порошков: получение порошков железа и его сплавов, получение порошков цветных металлов и сплавов.

Физико-химические методы получения металлических порошков. Получение металлических порошков восстановлением химических соединений. Восстановление твердых соединений газами и углеродом (на примере получения порошка железа и вольфрама). Металлотермия (на примере порошков титана, циркония, тантала и ниобия). Восстановление порошков никеля, кобальта и меди из растворов.

Производство металлических порошков электролизом водных растворов (на примере меди, никеля, железа). Электролиз расплавленных сред (порошки тантала, титана, циркония). Получение порошков методом термической диссоциации карбониллов металлов.

Химико-металлургические методы получения металлических порошков. Содовый метод. Хлоридный метод. Металлотермические методы (гидридно-кальциевый, карбидо-термический и др.). Получение металлических порошков термодиффузионным насыщением и с использованием межкристаллитной коррозии.

Золь – гель процесс. Совместное восстановление водородом, аммиаком и конвертированным газом. Автоклавный метод. Метод плазменного распыления

Получение порошков металлоподобных соединений. Прямой синтез из элементов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС): механизм горения, типы СВС-процессов, свойства продуктов горения.

3.1.2. Свойства металлических порошков

Общая характеристика порошков. Химические свойства порошков. Физические свойства порошков. Форма частиц. Размер частиц. Методы их определения: оптическая и электронная микроскопия, ситовой и седиментационный анализы. Классификация в потоке газа. Метод кондуктометрии. Лазерный и рентгеновский методы. Удельная поверхность порошка и её измерение методами газопроницаемости и адсорбции. Плотность. Микротвердость.

Технологические свойства. Угол естественного откоса. Плотность утряски. Текучесть. Уплотняемость, прессуемость и формуемость.

Особенности структуры и свойств наночастиц. Вопросы техники безопасности при работе с металлическими и неметаллическими порошками; экологические проблемы порошковой металлургии и пути их решения.

3.2. Получение порошковых материалов

3.2.1. Основные характеристики пористых тел

Свойства порошковых материалов: плотность, относительная плотность, пористость, относительный объем. Типовые схемы изготовления деталей методом порошковой металлургии. Подготовка металлических порошков к формованию. Методы классификации порошков. Приготовление смесей. Методы оценки однородности смешивания.

Классификация методов формования. Формование с приложением давления. Холодное прессование металлических порошков в прессформах. Изменение контактной поверхности при прессовании. Идеализированный и реальный процесс уплотнения порошковых материалов. Зависимость плотности прессовки от давления прессования. Уравнения прессования М.Ю. Бальшина. Другие уравнения прессования.

Внешнее и внутреннее трение. Факторы, определяющие величину потерь на трение при прессовании. Боковое давление. Упругое последствие. Влияние технологических свойств порошка на свойства спрессованных брикетов. Использование смазок при прессовании. Одно- и двустороннее прессование. Прессование с плавающей матрицей.

Группы сложности порошковых деталей. Схема прессования изделий различных групп сложности. Классификация прессформ. Дозаторы. Понятие о коэффициенте засыпки порошка. Классификация матриц. Стержни. Пуансоны. Прессовое оборудование. Брак при прессовании.

3.2.2. Способы получения порошковых материалов

Гидростатическое прессование. Неравноплотность формовок изготовленных прессованием в прессформах и гидростате. Прессование в эластичных оболочках. Непрерывные методы прессования. Прессование скошенным пуансоном. Продольно-последовательное прессование труб. Прокатка порошка. Conform-процесс.

Динамические методы прессования. Гидроимпульсное прессование. Электрогидроимпульсное прессование. Взрывное прессование порошков. Формование без приложения давления. Вибрационное прессование. Шликерное литье. Мундштучное прессование. Инжекционное формование.

Определение процесса спекания. Классификация способов спекания. Движущие силы спекания. Капиллярные силы. Уравнение Лапласа. Давление паров. Концентрация вакансий. Механизмы спекания. Механизмы массопереноса. Вязкое течение. Модель Набарро – Херринга – Лифшица. Модель Эшби – Ферралла. Дополнение Б.Я. Пинеса. Объемная диффузия. Поверхностная диффузия. Перенос вещества через газовую фазу. Формирование контакта при наличии прижимающего усилия. Рекристаллизация частиц.

Усадка (уплотнение) пористых тел при спекании. Кинетика спекания аморфных и кристаллических тел. Аналитические кривые изотермической усадки. Уравнения Ивенсена. Уравнение Скорохода.

Влияние технологических факторов на процесс спекания. Свойства исходных порошков. Влияние давления прессования. Гомологические температуры спекания. Влияние температуры спекания. Влияние продолжительности спекания.

Активированное спекание. Методы активирования спекания. Физические методы активирования: измельчение исходных порошков, наклеп материала порошков при

формовании;неизотермическое спекание;ультразвуковое воздействие;электромагнитное воздействие. Химические методы активирования спекания. Спекание системы W-Ni. Особенности спекания нанодисперсных порошков.

Спекание многокомпонентных систем. Спекание компонентов, обладающих неограниченной взаимной растворимостью в твердом состоянии. Системы с ограниченной растворимостью компонентов. Системы с нерастворимыми компонентами.

Жидкофазное спекание. Классификация жидкофазного спекания. Краевой угол смачивания. Кинетическая кривая усадки при жидкофазном спекании.Механизм перегруппировки. Влияние количества жидкой фазы на уплотнение.Перекристаллизация через жидкую фазу. Спекание с жидкой фазой, присутствующей до конца изотермической выдержки. Спекание в интервале солидус – ликвидус.Инфильтрация.

Спекание порошков железа и сплавов на его основе. Спекание порошков меди, никеля и их сплавов.Спекание порошков титана и сплавов на его основе. Атмосферы спекания. Схема производства водорода железо-паровым способом. Диссоциированный аммиак.Экзотермический газ. Эндотермический газ. Конвертированный газ.

Горячее прессование. Газостатическое прессование. Горячая штамповка порошковых материалов.Горячая экструзия. Допрессовка и повторное спекание. Волочение. Калибрование спеченных заготовок.

3.3. Практическое применение методов порошковой металлургии

3.3.1. Материалы и изделия, получаемые методом порошковой металлургии

Пористые материалы и изделия. Пористые подшипники. Антифрикционные материалы на медной основе. Бронзографитовые подшипники. Многослойные антифрикционные материалы. Фильтры. Уплотнительные элементы. Фрикционные материалы. Фрикционные спеченные материалы на основе меди, железа, бронзы. Технология и оборудование для производства фрикционных материалов. Электротехнические материалы. Свойства и области применения. Электрические контакты. Магнитные спеченные материалы. Технология производства.

Конструкционные материалы. Схемы их производства. Свойства и области применения.

Высокотемпературные материалы. Тугоплавкие металлы. Тугоплавкие бескислородные соединения. Технология изготовления тугоплавких материалов.

Твердые сплавы. Особенности технологии и области применения. Жаропрочные и жаростойкие материалы.

Специальные методы порошковой металлургии. Материалы с метастабильной структурой.

Особенности компактирования материалов с неравномерной структурой аморфной, микрокристаллической, квазикристаллической. Сохранение неравновесной структуры при специальных методах компактирования.

3.3.2. Моделирование процессов формования и спекания

Общие закономерности спекания. Вклад различных ученых в развитие теории спекания. Основные концепции Френкеля, Пинеса, Кучинского, Ивенсена, Гегузина, Скорохода и др. Развитие теории спекания в настоящее время.

Движущие силы спекания. Изменение свободной энергии дисперсной системы при спекании. Роль поверхности частиц при спекании. Термодинамика спекания. Поверхностная энергия и капиллярное давление.

Формальная кинетика спекания. Стадии процесса между частицами. Рост контактной площади (контактного сечения). Закрытие сквозной пористости. Сфероидизация пор. Усадка при спекании. Коалесценция пор.

Изменение свободной поверхности. Поверхности межчастичного контакта, формы частиц при спекании.

Механизмы переноса веществ при спекании дисперсных систем. Перенос веществ через газовую фазу. Объемная диффузия. Поверхностная диффузия. Вязкое течение. Соотношение между коэффициентом вязкости. Уравнение вязкого течения. Диффузионные потоки при спекании.

Изучение механизмов переноса на моделях.

Формирование новых межкристаллических границ и рост зерен (межчастичный и внутри поликристаллических частиц). Поле напряжений и распределение вакансий вокруг изолированной сферической поры. Взаимодействие пор с межзеренными межблочными границами. Физико-химические закономерности и кинетика процессов упрочнения брикетов и роста зерен.

Количественное описание процессов спекания. Феноменологический подход к спеканию. Прогнозирование свойств спеченных материалов. Анализ уравнения Ивенсена. Расчет плотности брикета и энергии активации при спекании. Диаграмма спекания. Расчет температуры и времени спекания для получения заданной плотности.

3.3.3. Микросталлические и аморфные материалы.

Понятие скорости охлаждения. Понятие скорости затвердевания. Методы оценки скорости охлаждения. Влияние скорости охлаждения на структуру затвердевшего расплава. Пересыщенные твердые растворы. Метастабильные фазы. Получение микросталлических материалов закалкой расплава. Методы распыления расплава газом. Центробежное распыление расплава. Получение волокон и лент закалкой расплава. Получение микросталлических материалов механическим легированием. Получение компактных микросталлических материалов пресованием со сдвиговыми деформациями. Горячее изостатическое пресование. Горячее пресование. Изотермическое пресование. Динамическое пресование. Электроимпульсное спекание. Технологические схемы производства заготовок с микросталлической структурой. Свойства и области применения микросталлических материалов. Методы получения аморфных сплавов (АС) закалкой расплава. Методы получения АС осаждением из паровой фазы. Методы получения АС обработкой поверхности потоками высокой энергии. Механохимические методы получения АС. Температура стеклования (T_g). Модели строения АС. Релаксация АС. Кристаллизация АС. Физические свойства АС. Химические свойства АС. Механические свойства АС. Получение изделий из АС. Применение АС.

3.3.4. Аддитивные технологии

Основные направления и идеология синтеза объемных изделий. Задачи, решаемые в аддитивных технологиях. Лазерная стереолитография. Селективное лазерное спекание (SLS). Процесс 3-мерной печати (3D printing). Лазерная объемная наплавка (LENS). Синтез

изделий электронным лучом. Неизотермическое спекание. Влияние свойств исходных порошков на процесс спекания. Особенности спекания многокомпонентных систем. Спекание в присутствии жидкой фазы. Основные операции синтеза изделий электронным лучом. Укладка порошка при свободной засыпке. Дополнительная обработка изделий. ГИП. Инфильтрация пористых каркасов.

3.4. Композиционные материалы

3.4.1. Классификация КМ и ДУКМ

Определение композиционных материалов (КМ). Определение границы раздела "матрица - наполнитель", основные типы связи по этой границе. Главные функции составляющих композита (матрицы и наполнителя) в дисперсноупрочненных, волокнистых и слоистых материалах.

Дисперсноупрочненные композиционные материалы (ДУКМ), их определение и классификация по структурному признаку. ДУКМ «пластичная матрица – хрупкий наполнитель». Механизм упрочнения в таких композитах. Теории Орована, Анселла и Ленелла. Технология ДУКМ «пластичная матрица – хрупкий наполнитель», методы получения композитных порошковых смесей. Сущность процессов спекания, деформации и отжига.

Технология ДУКМ «пластичная матрица – хрупкий наполнитель» - САП, особенности технологических операций, используемых для его изготовления. Физико-химические аспекты получения ДУКМ «пластичная матрица – хрупкий наполнитель» методом направленной реакционной пропитки (Lanxideprocess).

ДУКМ «хрупкая матрица – пластичный наполнитель». Особенности технологии, физические основы торможения разрушения в таких композитах. Вопросы термодинамической совместимости фаз.

ДУКМ «хрупкая матрица – хрупкий наполнитель». Высокотемпературный композит « Al_2O_3 - керамическая матрица – $tZrO_2$ - наполнитель». Полиморфизм ZrO_2 . Механизм трансформационного упрочнения в таком композите. Особенности его технологии. Получение матричного порошка Al_2O_3 по методу Байера. Эффект двойного электрического слоя при смешивании матричного порошка с порошком наполнителя в водной суспензии.

3.4.2. Волокнистые композиционные материалы (ВКМ)

ВКМ и их классификация по структурному признаку. Расчетное обоснование условия эффективного армирования матрицы волокном (соотношение модулей упругости волокна и матрицы, критическая объемная доля волокна в матрице). Физические основы торможения разрушения в ВКМ. Зависимость характера разрушения ВКМ от соотношения величин предельной деформации матрицы и волокон, прочности границы раздела «волокно – матрица» и степени совершенства структуры волокон.

Физико-химические основы методов получения дискретных (нитевидных кристаллов) и непрерывных волокон из металлов и керамики, используемых в качестве армирующих элементов (осаждение из газовой фазы, ПЖТ – метод, экструзия металлоорганической суспензии, волочение, метод Тэйлора и др.).

Химизм процесса получения непрерывных углеродных, борных, SiC – волокон, а также волокон «борсик». Особенности технологии ВКМ, армированных дискретными и

непрерывными волокнами. Методы соединения волокна с матрицей (порошковая технология, жидкофазные методы, намотка на оправку с последующим деформированием). Анализ процесса взаимодействия между волокном и матрицей.

Физико–химические основы получения ВКМ методом направленной кристаллизации эвтектических расплавов. Особенности процесса направленной кристаллизации эвтектик. Технологические факторы, определяющие структуру ВКМ при направленной кристаллизации эвтектик (пластинчатая и стержневая структура). Примеры эвтектических композиций. Аппаратурное обеспечение метода, его преимущества и недостатки.

3.4.3. Слоистые композиционные материалы (СКМ)

Классификация СКМ по структурному признаку. Физические основы торможения разрушения в СКМ. Основные процессы, обеспечивающие диссипацию энергии движущейся трещины в СКМ.

Технологические приемы, используемые для изготовления листов (пластин), фольг и пленок. Методы формирования из них слоистых композитов. Примеры СКМ с химическим и механическим/дисперсионным типом связи по границам слоев. Особенности технологии и разрушения слоисто-гранульных композиционных материалов.

3.4.4 Теория разрушения КМ

Основы теории разрушения К.М. Зарождение трещины с позиции теории дислокаций (виды дислокаций, способы их перемещения). Силовое и энергетическое условие (по Коттрелу) распространения трещины. Особенности разрушения хрупкой матрицы. Расчет теоретической прочности на отрыв по Оровану. Сравнительный анализ диаграмм деформирования хрупкой и пластичной матрицы. Классификация типов разрушения матриц КМ.

Характеристики разрушения, используемые для оценки трещиностойкости КМ: критический коэффициент интенсивности напряжений (параметр K_{Ic}), вязкость разрушения, удельная эффективная работа разрушения (γ_F). Понятие о коэффициенте интенсивности напряжений (КИН), зависимость Инглиса. Характеристики весовой эффективности КМ.

3.5. Теория и технология создания покрытий

3.5.1. Физика и химия взаимодействия высокоэнергетических потоков с поверхностью материалов

Физические основы взаимодействия ускоренных электронов, ионов и лазерного излучения с веществом. Физика и техника ускорения заряженных частиц. Теплофизические процессы в зоне обработки материалов лазерным излучением. Источники теплоты при действии излучения на материал теплопроводности, неподвижные источники. Физико-химия и техника микродугового оксидирования.

Испарение материалов при действии лазерного излучения. Модели поверхностного испарения материалов. Объемное парообразование. Расширение пара при испарении в вакуум. Взаимодействие излучения с продуктами выброса. Лазерно-плазменные и термохимические процессы, инициируемые действием излучения.

Газовый разряд и газоразрядная плазма. Классификация разрядных процессов. Пробой и зажигание разряда. Физические явления, приводящие к эмиссии электронов поверхностью твердого тела. Термо-, авто-, и фотоэлектронная эмиссия. Вольт-амперная характеристика газового разряда. Тлеющий разряд. Дуговой разряд. Искровой разряд. Коронный разряд. Характеристики, параметры и диагностика газоразрядной плазмы.

3.5.2. Процессы и методы нанесения покрытий

Основы теории формирования покрытий. Основные физические методы нанесения защитных и функциональных покрытий. Газотермическое напыление покрытий – основные методы и оборудование. Плазмотроны. Высокоскоростное напыление. Классификация вакуумных методов напыления конденсационных покрытий. Нанесение тонких пленок методом термического испарения. Нанесение тонких пленок методом ионного распыления. Напыление покрытий и тонких пленок электронно-лучевым испарением. Принципы работы и схема магнетронной распылительной системы. Несбалансированный магнетрон. Многокатодные магнетронные распылительные системы. Вакуумно-дуговое напыление покрытий. Принципы работы и схема дугового испарителя. Лазерно-плазменное нанесение покрытий. Реактивное вакуумное напыление. Многослойные и многокомпонентные композитные покрытия. Напыление покрытий на поверхности изделий сложной формы. Применение методов вакуумного напыления для изготовления метаматериалов и метапокрытий. Методы измерения параметров покрытий.

3.5.3. Методы ионно-плазменной и лазерной обработки материалов

Ионное легирование материалов. Характеристика и классификация методов имплантационной металлургии. Методы ионно-плазменного синтеза. Характеристика и классификация методов ионно-плазменного синтеза. Применение ионного распыления. Осаждение из сепарированных ионных потоков. Оборудование для ионно-плазменного синтеза. Методы ионно-плазменного травления. Технологические процессы электронно-лучевой обработки материалов. Физика и техника ионных пучков субмикронных размеров. Технологические особенности мощных импульсных ионных и электронных пучков. Трёхмерная ионная имплантация.

Поверхностная обработка материалов лазерным излучением. Физические основы поверхностной обработки металлов и сплавов лазерным излучением. Изменение структуры и свойства металлов и сплавов в зонах обработки импульсным излучением. Воздействие непрерывного лазерного излучения на металлы и сплавы.

Лазерная сварка и резка. Лазерная обработка неметаллических материалов.

Режимы МДО и их классификация по виду и способу формирования разряда.

3.6. Повышение качества процесса изготовления материалов

3.6.1. Этапы повышения качества производства

Организация исследования: составление программы и сметы, контроль за ходом выполнения. Теории стимулирования применительно к качеству.

Наблюдение: методы наблюдения, методы регистрации, ошибки наблюдения.

Интерпретация: интерпретация результатов наблюдений, значение испытаний и оценки, эксперимента, идентификации и прогнозирования.

Решение: целевые критерии, критерии/условия ограничения, методы принятия решений.

Внедрение: реализация и использование решения проблемы, отчетность и учет.

Проекты и программы повышения качества: принципы и методы, организация проектных групп и кружков качества, участие других подразделений.

Обеспечение качества информации.

3.6.2 Статистические методы обработки результатов

Теория вероятностей, оценивание, проверка гипотез, теория выборочного метода, применение и полезность статистических методов в контроле качества, анализе дефектов и исследовании технологических процессов.

Управление технологическими процессами: стандарты и допуски, рассеяние процесса, центр распределения, контрольные карты для количественных и качественных признаков, способы наглядного представления (визуализации) качества процесса, изучение возможностей процесса.

Контроль партии: идентификационный контроль, приемочный контроль, уровень контроля, установление приемочного уровня контроля качества.

Методы менеджмента качества, основанные на статистике. Анализ рисков и последствий отказов.

4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВСТУПИТЕЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ В АСПИРАНТУРУ

4.1. Основная литература

1. В.Н.Анциферов, Г.В.Бобров, Л.К.Дружинин и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. Учебник для вузов. – М.: Металлургия. – 1987. – 797 с.
2. Г.А.Либенсон, В.Ю.Лопатин, Г.В.Комарлицкий. Процессы порошковой металлургии. – М.: МИСиС. – 2001.
3. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / под редакцией Ю.В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ. – 2005. – 520с.
4. Е.Л.Шведков. Э.Т.Денисенко. И.И.Ковенский. Словарь-справочник по порошковой металлургии. – Киев: Наукова Думка. – 1982.
5. Г.Г.Сердюк, Л.И. Свистун. Технология порошковой металлургии.: Учеб. пособие в 3-х т. – Краснодар: ГОУВПО «КубГТУ». – 2005.
6. Химия синтеза сжиганием. Под. ред. М.Коидзуми. Пер. с японск. – М.:Мир. – 1998. – 247 с.
7. Дембовский В. Плазменная металлургия. Пер. с чешского.Прага: СНТЛ. – М.: Металлургия. – 1981. – 280 с.
8. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. Учебник под редакцией Б.С.Митина. – М.: Металлургия. – 1987. – 661 с.
9. Б.С. Митин, Г.А. Фомина, Д.А. Иванов. Разрушение композиционных керамических материалов. Учебное пособие. – М.: МАТИ имени К.Э. Циолковского. –1989. – 74с.

10. В.И. Галкин. Новые эффективные методы производства изделий из волокнистых композиционных материалов. Учебное пособие. – М.: МАТИ имени К.Э. Циолковского. – 1997. – 53 с.
11. Новые материалы. Под редакцией Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС. – 2002. – 736 с.
12. А.Г. Братухин Современные авиационные материалы: технологические особенности. – М.: Авиатехинформ. – 2003. – 440 с.
13. С.В. Михеев, Г.Б. Строганов, А.Г. Ромашин. Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. – М.: Альтекс. – 2002. – 276 с.
14. Ю.А. Михайлин. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. – СПб.: НОТ. – 2011. – 416 с.
15. Ю.А. Михайлин Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. – СПб.: НОТ. – 2010. – 822 с.
16. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. – СПб.: Научные основы и технологии. – 2009. – 660 с.
17. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. Издание переработанное. Под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия. – 2009. – 725 с.
18. И.В.Золотухин, Ю.Е.Калинин, О.В. Стогней. Новые направления развития физического материаловедения. Учебное пособие. – Воронеж: Воронежский ГУ. – 2008. – 360 с.
19. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера. – 2006. – 223 с.
20. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении. Под ред. А.Г. Братухина, В.С. Боголюбова, О.С. Сироткина. – М.: Готика. – 2003. – 516 с.
20. В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. Композиционные материалы: Справочник. Под общ. Ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение. – 1990. – 512 с.
21. В.А. Васильев, Ш.Н. Каландаришвили, В.А. Новиков и др. Управление качеством и сертификация. Под ред. В.А. Васильева. – М.: Интернет Инжиниринг. – 2002.
22. О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. Всеобщее управление качеством. – М.: Радио и связь. – 1999.
23. Е.Ю. Барменков, Е.Б. Бобрышев, Е.В. Борисова, С.А. Гришаева, М.М. Данин. Основы менеджмента качества. – М.: МАТИ. – 2009.
24. Погребняк А.Д., Лозован А.А., Кирик Г.В., Щитов Н.Н., Стадник А.Д., Братушка С.Н. Структура и свойства нанокompозитных, гибридных и полимерных покрытий. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 344 с.
25. Избранные задачи современного материаловедения: кластеры, покрытия, порошки, композиты, неразъемные соединения / Под редакцией Лозована А.А. - М.: ПРОБЕЛ-2000, 2014. Актуальные задачи инженерии поверхности [Текст]: монография / А.А. Лозован [и др.]; под. ред. Лозована А.А. – М.: Пробел-2000, 2016 – 232 с.
26. Лозован А.А., Банишев А.Ф., Франгулов С.В. Лазерные методы нанесения покрытий. – М.: АИР, 2014. – 94 с.

4.2. Дополнительная литература

1. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник // М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. 520с.
2. Ильин А.А., Строганов Г.Б. Ультрадисперсные (нанокристаллические) материалы. - М.:МАТИ, 2009, 128 с.
3. Колачев Б.А., Ильин А.А., Егорова Ю.Б. Физическое материаловедение -М.:ИЦ МАТИ, 2007. 458с.
4. Ильин А.А., Строганов Г.Б., Фаткуллин О.Х., Шульга А.В., Мартынов В.Н. Структура и свойства быстрозакаленных сплавов // М.: Альтекс. 2008. 588с.
5. Ильин А.А., Строганов Г.Б. Ультрадисперсные (нанокристаллические) материалы. МАТИ, 2009, 128с.
6. Троицкий О.А. Физические основы и технологии обработки современных материалов (теория, технология структура, свойства). - М.: ИКМ, 2004, 590 с.
7. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера, 2006. - 223 с.
8. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов. /Г. А. Молодцов и др. -М.: Машиностроение 2000. - 352с.
- 9.Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении. / Под ред. А.Г. Братухина, В.С. Боголюбова,О.С. Сироткина. - М.: Готика, 2003. - 516 с.
- 10..И.М. Буланов, В.В.Воробей. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. Учебник для студентов. 1998 г. М.:Изд. МГТУ-511с.
11. Костиков В.И., Варенков А.И. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы. - М.: Интермет Инжениринг, 2003. - 560 с.