

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»

«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 05.16.01 «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ»

Программа вступительного испытания при поступлении в аспирантуру по направлению 22.06.01 Технологии материалов по специальности 05.16.01 «Материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов» 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.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью вступительного испытания при поступлении в аспирантуру по направлению 22.06.01 Технологии материалов по специальности 05.16.01 «Материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов» 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 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)» 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. Основные классы материалов.

Неорганические («жесткие») материалы общетехнического и конструкционного назначения: металлы и сплавы, неорганические неметаллические материалы (керамики, стекла, углеграфитовые материалы), металлические, керамические и углерод-углеродные композиционные материалы, керметы.

Полимерные («мягкие», органические) материалы общетехнического и конструкционного назначения: термо- и реактопласты, полимерные композиционные материалы (композиты), резино-технические материалы.

Материалы специального (функционального) назначения: проводники и диэлектрики, фрикционные и антифрикционные материалы, тепло- и электроизоляционные материалы, лакокрасочные материалы и покрытия, клеи, компаунды, герметики, термо-, электро-, магнито-, механо- и оптически активные материалы, материалы с эффектом памяти формы, интеллектуальные и биоподражающие материалы.

Наноструктурные материалы: фуллерены, нанотрубки, графены, нанокompозиты.

3.2. Теоретические основы материаловедения

3.2.1. Общие представления о строении и свойствах материалов.

Электронное строение атомов металлов и неметаллов в основном и возбужденном состояниях, типы межатомных связей.

Молекулярное строение органических материалов, внутри- и межмолекулярные связи, конфигурации и конформации молекул.

Кристаллическое состояние и строение твердых тел. Типы кристаллических решеток и их характеристики. Реальное строение металлических и неметаллических атомных, ионных и молекулярных кристаллов. Анизотропия свойств кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные.

Аморфное стеклообразное состояние и строение неорганических («жестких») и органических (полимерных, «мягких») материалов, аморфно-кристаллическая структура полимеров, структурная релаксация и релаксационные переходы.

Электронное строение металлов (проводников), полупроводников и диэлектриков Зонная теория твердых тел. Связь физических свойств (электропроводности, теплопроводности и теплоемкости) с типом и поведением электронов. Термоэлектронная эмиссия и сверхпроводимость металлов, фононная теплопроводность и ионная электропроводность неметаллов. Явления диа-, пара-, и ферромагнетизма.

Формирование структуры однокомпонентных материалов при кристаллизации. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Термодинамика и кинетика, нуклеационный и бездиффузионный механизмы процесса кристаллизации. Полиморфизм. Механизм и стадии процесса рекристаллизации. Условия реализации направленной кристаллизации.

Основы теории сплавов и смесей компонентов (бинарных систем). Определение системы, фазы, фазового состава и фазовой морфологии. Смесей, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы, мезофазы. Основные типы фазового равновесия бинарных систем, правило фаз. Основные типы диаграмм состояния «жестких» и «мягких» бинарных систем и методы их построения.

3.2.2. Методы исследования структуры, фазового состава, структурных и фазовых превращений и дефектов в материалах

Металлографические и фрактографические методы, оптическая и электронная просвечивающая и сканирующая (растровая) микроскопия. Рентгеновские методы исследования: структурный и спектральный анализ.

Магнитный и электрический методы анализа фазовых и структурных превращений. Метод термо ЭДС. Метод ядерного магнитного и гамма-резонанса.

Термические методы: дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрический анализ.

Методы химического анализа: ИК спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

Физические методы неразрушающего контроля дефектов материалов: ультразвуковая дефектоскопия, рентгеновская и гамма-дефектоскопия, метод вихревых токов, магнитная и тепловая дефектоскопия.

3.2.3. Показатели и методы определения физических, физико-химических и физико-механических свойств материалов.

Показатели и методы определения физических и физико-химических свойств материалов: плотность и тепловое расширение, теплоемкость, теплота и энтропия плавления, поверхностные свойства (поверхностная энергия, смачивание, адгезия), адсорбция и сорбция (растворимость), диффузия и проницаемость низкомолекулярных веществ, тепло- и температуропроводность.

Показатели и методы определения физико-механических (деформационно-прочностных) свойств материалов при стандартных низкоскоростных и квазистатических нагрузках при растяжении, сжатии, чистом сдвиге, изгибе и кручении. (модули упругости и коэффициенты Пуассона, пределы пропорциональности, текучести и прочности). Виды разрушения: хрупкое и псевдохрупкое разрушение материалов, подходы механики разрушения, параметры трещиностойкости, размер допустимого дефекта и прогнозирование статической долговечности. Квазистатическая вязкоупругость материалов (ползучесть и релаксация напряжений), долговечность и длительная прочность материалов при ползучести.

Показатели и методы определения механических свойств материалов при циклических (знакопеременных) нагрузках: динамические модули упругости и показатели потерь, усталостное разрушение, диаграммы усталости, предел выносливости, малоцикловая и многоцикловая усталость, прогнозирование усталостной прочности.

Показатели и методы определения механических свойств материалов при динамическом (ударном) нагружении: ударная вязкость и ее составляющие.

Показатели и методы определения механических свойств материалов при испытании на твердость вдавливанием и царапанием.

Триботехнические испытания и характеристики материалов.

3.2.4. Влияние температуры и воздействия внешней среды на структуру и свойства материалов.

Хладостойкость и температура хрупкости, тепло- и термостойкость, жаростойкость и жаропрочность материалов, методы определения. Влияние поверхностно-активных сред на прочность материалов (эффект Ребиндера). Влияние химических, термохимических и термоокислительных процессов на физико-механические свойства материалов. Коррозия металлов и сплавов под напряжением, коррозионное растрескивание. Сопrotивляемость

материалов кавитационному и эрозионному разрушению. Влияние радиационного облучения на структуру и свойства материалов.

3.2.5. Влияние термической, химико-термической и термомеханической обработки на структуру и свойства материалов.

Эффекты и методы термической (отжига и закалки), химико-термической (цементации, азотирования, нитроцементации, силицирования и т.п.) и термомеханической (предварительной высокотемпературной, низкотемпературной) обработок «жестких» и «мягких» материалов. Поверхностное упрочнение и модификация материалов путем воздействия концентрированных потоков энергии и ионной имплантации. Поверхностное легирование и термическая обработка при лазерном и электронно-лучевом нагреве. Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия пластической деформации. Ориентационная вытяжка полимерных материалов. Остаточные напряжения и деформации изделий при их обработке и способы их предупреждения и оценки.

3.3. Металлические материалы.

3.3.1. Конструкционные углеродистые и легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Металлургическое качество сталей. Классификация углеродистых сталей по качеству, структуре и областям применения. Влияние углерода и примесей на свойства углеродистых сталей. Углеродистые качественные стали. Автоматные стали. Углеродистые инструментальные стали.

Легированные стали. Влияние легирующих компонентов и примесей на дислокационную структуру и свойства сталей. Классификация и маркировка легированных сталей. Цементуемые (нитроцементуемые) легированные стали. Улучшаемые легированные стали. Пружинные стали общего назначения. Шарикоподшипниковые стали. Износостойкие стали.

Высокопрочные мартенситно-старяющие стали

Принципы легирования. Мартенситное превращение. Влияние легирующих элементов на кинетику фазовых превращений и особенности термической обработки. Экономно легированные мартенситно-старяющие стали. Свойства мартенситно-старяющих сталей и области применения.

Конструкционные и коррозионно-стойкие стали

Общие принципы легирования и структура коррозионно-стойких сталей. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцево-никелевые и хромозотистые аустенитные стали. Высоколегированные кислотостойкие стали. Жаростойкие и окалиностойкие стали.

Жаропрочные стали и сплавы

Принципы легирования жаропрочных сталей и сплавов. Упрочняющие фазы. Жаропрочные стали перлитного и мартенситного классов. Жаропрочные стали аустенитного класса с карбидным и интерметаллидным упрочнением. Жаропрочные и жаростойкие никелевые сплавы. Термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе. Области применения в машиностроении.

Инструментальные стали

Классификация инструментальных сталей по теплостойкости, структуре и областям применения. Быстрорежущая сталь и особенности ее термической обработки. Штамповые

стали для деформирования в горячем и холодном состоянии. Стали для форм литья под давлением и прессования.

3.3.2. Чугуны

Свойства и назначение чугунов, принципы классификации. Белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Фазовые превращения при термической обработке чугуна. Применение в машиностроении.

3.3.3. Цветные металлы и сплавы

Алюминий и его сплавы. Классификация алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Литейные алюминиевые сплавы. Особенности термической обработки. Спеченные алюминиевые сплавы. Технологические и механические свойства. Области применения алюминия и его сплавов.

Магний и его сплавы. Классификация магниевых сплавов. Деформируемые и литейные сплавы. Термическая обработка магниевых сплавов. Защита магниевых сплавов от коррозии.

Медь и ее сплавы. Влияние примесей на структуру и свойства меди. Классификация медных сплавов. Латуни, их свойства. Строение и свойства оловянных, алюминиевых, свинцовых, марганцовистых и бериллиевых бронз. Медно-никелевые сплавы. Области применения меди и ее сплавов.

Титан и его сплавы. Классификация легирующих элементов и типы сплавов титана. Механические, технологические и коррозионные свойства титановых сплавов. Водородная хрупкость титановых сплавов. Конструкционные и жаропрочные сплавы титана. Особенности термической обработки.

Цинк, свинец, олово и их сплавы. Припои на оловянистой и свинцовой основах. Антифрикционные сплавы.

3.3.4. Металлы и сплавы с особыми свойствами

Магнитные материалы. Классификация материалов по магнитным свойствам. Кривая намагничивания. Процессы, происходящие при намагничивании монокристалла. Низкочастотные и высокочастотные магнитомягкие материалы. Магнитотвердые деформируемые, литые и спеченные материалы.

Материалы с особыми тепловыми и упругими свойствами. Сплавы с заданными коэффициентом теплового расширения и модулем упругости.

Проводниковые и полупроводниковые материалы. Электропроводность твердых тел. Материалы высокой проводимости: проводниковые, припои, сверхпроводники. Сплавы повышенного электросопротивления. Контактные материалы. Полупроводниковые материалы. Строение и свойства. Кристаллофизические методы получения сверхчистых материалов. Легирование полупроводников.

Сплавы, обладающие эффектом памяти формы. Классификация, структура, физико-механические свойства. Применение в машиностроении.

3.3.5. Металлические композиционные материалы.

Армирующие волокна и металлические матрицы, способы сочетания, заготовки, способы их получения и формообразования, свойства МКМ.

3.4. Неметаллические материалы

3.4.1. Керамические и другие неорганические материалы

Строение, свойства и виды традиционных и технических керамик и стекол, ситаллов, керметов. Основные типы, состав, структура, свойства, методы получения

тугоплавких неорганических неметаллических материалов. Огнеупорные и конструкционные керамические материалы. Конструкционный графит и угле-графитовые материалы. Нанокристаллические материалы.

Стекланные смазки и защитные покрытия, неорганические эмали для защиты металлов.

Керамические композиционные материалы (ККМ): армирующие системы и матричные материалы, способы сочетания, формирование керамической матрицы из карбидо- и нитридообразующих кремний-органических полимеров. Свойства современных ККМ.

Углеро-углеродные композиционные материалы (УУКМ): армирующие системы, полимерные матрицы, процессы их пиролитических превращений (карбонизации и графитации). Повышение термостойкости УУКМ карбидизацией: пропитка или газофазное насыщение кремнием (силицирование) и карбидообразующими тугоплавкими металлами. Свойства современных УУКМ.

3.4.2. Полимерные материалы

Молекулярная и надмолекулярная структура, фазовые и реологические состояния и переходы полимеров. Особенности физических и физико-механических свойств полимеров. Старение и стабилизация полимеров. Физико-механические, адгезионные, фрикционные, антикоррозионные, диэлектрические свойства полимеров, методы исследования этих свойств.

Общая классификация и краткая характеристика основных классов полимерных материалов и методов формования деталей из полимерных материалов, их преимущества и недостатки по сравнению с неорганическими материалами. Области и перспективы применения полимерных материалов в машиностроении.

Термопластичные полимерные материалы общетехнического или конструкционного назначения. Терморезистивные (отверждающиеся) полимерные материалы общетехнического или конструкционного. Резино-технические материалы. Лакокрасочные материалы. Полимерные клеи и герметики.

3.5. Термическая обработка металлов и сплавов

3.5.1. Диффузионные фазовые превращения в твердом состоянии

Термодинамика фазовых превращений. Образование зародыша критического размера. Роль поверхностной и упругой энергии в образовании критического зародыша. Роль флуктуаций концентрации при образовании зародыша. Влияние строения межфазных границ при фазовом превращении. Гомогенное и гетерогенное зарождение фаз. Зарождение на границах зерен, дислокациях, дефектах упаковки. Зарождения на включениях и микронесплошностях. Факторы, определяющие морфологию структурных составляющих. Образование промежуточных метастабильных фаз. Правило ступеней. Кинетика фазовых превращений. Скорость превращения. Инкубационный период. Диаграммы изотермических превращений.

3.5.2. Бездиффузионные фазовые превращения в твердом состоянии

Общая характеристика мартенситного превращения (МП). Теория МП. Сдвиговой механизм атомной перестройки решетки при МП. Кристаллогеометрия МП (на примере перехода ОЦК → ромбическая решетка). Ориентационные соотношения при МП. Однородная деформация решетки. Понятие о главных деформациях МП. Деформация с

инвариантной решеткой. Дислокационный и двойниковый механизмы вторичной деформации. Субструктура мартенсита. Термодинамика МП. Кинетика зарождения мартенситных кристаллов. Работа образования критического зародыша. Морфология зародышей мартенсита. Проблемы образования зародышей мартенсита в исходной фазе. Механизм и кинетика роста мартенситных кристаллов. Характеристические температуры МП. Влияние концентрационных флуктуаций на характеристические температуры МП. Структура и субструктура мартенсита. Эффекты неупругого поведения, сопровождающие МП. Мартенсит напряжения и мартенсит деформации.

3.5.3. Виды термической обработки металлов и сплавов

Отжиг I рода. Гомогенизационный отжиг. Рекристаллизационный и дорекристаллизационный отжиги. Отжиг для снятия напряжений.

Отжиг II рода. Отжиг сталей (полный, неполный, сфероидизирующий, изотермический, нормализация, патентирование). Отжиг чугунов (графитизирующий, нормализация). Отжиг цветных металлов и сплавов (гетерогенизирующий, с фазовой перекристаллизацией).

Закалка. Закалка без полиморфного превращения. Закалка с полиморфным превращением. Закалка с плавлением поверхности.

Старение и отпуск. Изменение структуры и свойств сплавов при старении. Влияние состава сплава на старение. Изменения структуры и свойств сталей при отпуске. Отпускная хрупкость.

Термомеханическая обработка. Горячая обработка давлением. Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО). Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО). Предварительная термомеханическая обработка (ПТМО).

Химико-термическая обработка. Диффузионное насыщение неметаллами. Диффузионное насыщение металлами. Диффузионное удаление элементов. Термоводородная обработка (ТВО).

3.6. Теория фазовых и структурных превращений в жидком состоянии

3.6.1. Физические свойства жидких металлов и сплавов

Температура плавления, плотность, вязкость, поверхностное натяжение, давление пара, температура кипения, удельная теплота плавления, теплопроводность, теплоемкость. Роль физических свойств в формировании литой структуры. Особенности формирования структуры заготовок при их изготовлении методами литья. Роль структуры в управлении качеством отливок и слитков.

3.6.2. Структура и свойства жидких металлов в предкристаллизационный период

Термодинамическая теория гомогенного образования зародышевых центров кристаллизации. Равновесная температура кристаллизации. Переохлаждение сплава в предкристаллизационный период. Критический размер центров кристаллизации. Взаимосвязь скорости образования центров кристаллизации и линейной скорости их роста со степенью переохлаждения сплава. Термодинамическая теория гетерогенного образования зародышевых центров кристаллизации. Твердые включения в жидких металлах и их классификация. Роль твердых включений в образовании центров кристаллизации.

3.6.3. Модифицирование сплавов

Влияние модифицирования на структуру и механические свойства сплавов. Измельчение структуры путем стимулирования гомогенного образования центров кристаллизации. Модифицирование путем увеличения скорости охлаждения заготовки, торможения литейной скорости роста кристаллов, дезактивации гетерогенных центров кристаллизации. Модифицирование с использованием вибрации, акустических и электромагнитных полей. Измельчение структуры путем стимулирования гетерогенного образования центров кристаллизации. Введение в сплав множества готовых центров кристаллизации. Примеры модифицирования промышленных литейных сплавов.

3.6.5. Механизм роста и формообразования кристалла

Термодинамика процесса. Кристаллизация сплавов, образующих твердый раствор. Фазовый состав сплава при равновесной и неравновесной кристаллизации. Диффузионное (концентрационное) переохлаждение. Дендритное и послойное формирование кристалла. Типы образующихся структур. Кристаллизация эвтектических сплавов. Внутрикристаллическая ликвация. Факторы, влияющие на степень развития ликвации. Мероприятия, направленные на устранение внутрикристаллической ликвации. Литые заготовки с направленной и монокристаллической структурой.

3.6.6. Затвердевание литых заготовок. Формирование структуры

Затвердевание отливок из сплавов, кристаллизующихся при постоянной температуре. Объемное и последовательное затвердевание. Влияние условий охлаждения на вид затвердевания. Кристаллическое строение заготовок. Влияние модифицирования и др. факторов на структуру. Затвердевание отливок из сплавов, кристаллизующихся в интервале температур. Объемный и объемно-последовательный процесс затвердевания. Влияние условий охлаждения на вид затвердевания. Факторы, определяющие ширину зоны объемного затвердевания. Структура заготовок, формирующихся в условиях объемно-последовательного затвердевания. Практические методы управления структурой литых заготовок.

3.6.7. Дефекты структуры литых заготовок

Зональная ликвация (прямая и обратная). Механизм образования. Факторы, влияющие на степень развития ликвации. Меры борьбы. Ликвация по удельному весу. Механизм образования. Влияние положения сплава на диаграмме состояния, условий охлаждения и других факторов на степень развития ликвации. Меры борьбы с ликвацией по удельному весу. Усадочные дефекты (пористость, раковины). Объемная усадка. Влияние вида затвердевания на усадочные процессы. Механизм образования усадочной раковины и усадочной пористости. Влияние положения сплава на диаграмме состояния на степень развития усадочных дефектов. Мероприятия по борьбе с дефектами усадочного происхождения. Газовая и газоусадочная пористость. Влияние пористости на свойства заготовок. Механизм образования пористости. Влияние вида затвердевания и скорости охлаждения на степень развития пористости. Технологические мероприятия, направленные на предупреждение или снижение развития пористости. Характеристика других литейных дефектов, образующихся в заготовках при их затвердевании. Литейные свойства сплавов. Взаимосвязь литейных и механических свойств с положением сплавов на диаграмме состояния.

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

4.1. Основная литература

1. Гуляев А.П. Металловедение. - 7-е изд. перераб. и доп. М. : Альянс, 2011, -544 с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. 4 - е изд. пере- раб. и доп. - М.: Машиностроение, 2009. - 528 с.
3. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для студентов вузов /под ред. В.С. Чередниченко. - 2-е изд., перераб. - М.; Омега - Л, 2006.- 752 с. 5 11.
4. Арзамасов В.Б., Волчков А.Н., Головин В.А., Кузнецов В.А., Смирнова Э.Е., Черепакхин А.А., Шлыкова А.В., Шпунькин Н.Ф. АТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ. - М.: Изд. центр «Академия» 2007, 538 с.
5. Фетисов Г.П. и др. Материаловедение и технология металлов. -:Высшая школа, 2007, 864 с.
6. Уайэтт О, Дью-Хьюз Д. Металлы, керамики, полимеры. Перевод с англ./Под ред. Б.Я.Лобова. –М: Атомиздат, 1979, 580 с.
7. Технология полимерных материалов: Учебное пособие. / Под ред. В.К. Крыжановского. - СПб.: Профессия, 2008. - 544 с.
8. С.А.Баженов, А.А.Берлин, А.А.Кульков. Полимерные композиционные материалы.- Долгопрудный, Изд. Дом «Интеллект», 2010, 583 с.
9. Комаров Г.В. Клеи, адгезия, технология склеивания. - СПб. : Профессия, 2007. -355с.
10. Марк Д, Ведделл У., Греди Б.: Каучук и резина. Наука и технологи.Пер. с англ. М.: Изд. ИД Интеллект, 2011, 768 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. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. Изд. Томск, 2013 г., 118 с.
9. Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б. Переработка пластмасс, пер. с нем. - СПб. :Профессия, 2008. - 315 с.,
10. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов. /Г. А. Молодцов и др. -М.: Машиностроение 2000. - 352с.

11. 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.
12. И.М. Буланов, В.В. Воробей. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. Учебник для студентов. 1998 г. М.: Изд. МГТУ-511с.
13. Костиков В.И., Варенков А.И. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы. - М.: Интермет Инжениринг, 2003. - 560 с.