

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделом подготовки кадров
высшей квалификации



В.П. Драгунов

2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

2.6.17 Материаловедение

Новосибирск

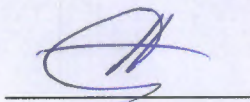
2022.

Программа кандидатского экзамена обсуждена на заседании ученого совета
МТФ

протокол № 10 от 21.12. 2022 г.

Программу кандидатского экзамена разработал

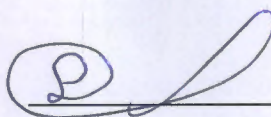
к.т.н., доцент



Смирнов А. И.

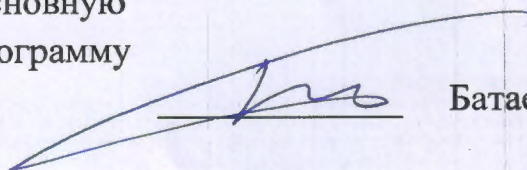
Декан МТФ,

к.т.н., доцент



Тюрин А. Г.

Ответственный за основную
образовательную программу
д.т.н., профессор



Батаев В. А.

Основная программа

Введение

Настоящая программа базируется на дисциплинах: материаловедение, физика металлов; металлография; теория и практика термической обработки; учение о прочности и механических свойствах материалов.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования России по машиностроению при участии МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАТИ им. К.Э. Циолковского, МГТУ «Станкин», МАДИ, Московского государственного вечернего металлургического института, МАИ (ТУ), Самарского государственного технического университета, ИМЕТ РАН и МЭИ (ТУ).

1 Теоретические основы материаловедения

Строение и свойства материалов

Строение атома и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Электронная структура. Типы межатомных связей в кристаллах.

Кристаллическое строение твердых тел. Типы кристаллических решеток металлов и их характеристика. Реальное строение металлических и неметаллических кристаллов. Анизотропия свойств кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные. Дислокационная структура и прочность металлов.

Фуллерены и нанотрубки. Наноструктурное строение веществ. Процессы самоорганизации дислокационной и фрактальной структур материалов с позиций синергетики.

Основы электронной теории твердых тел

Зонная теория твердых тел. Связь физических свойств с поведением электронов. Теплопроводность, электропроводность и электронная теплоемкость металлов. Термoeлектронная эмиссия. Сверхпроводимость. Электронное строение полупроводников и диэлектриков.

Магнитные свойства материалов. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм.

Формирование структуры металла при кристаллизации

Агрегатные состояния веществ. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации. Самопроизвольная и несамопроизвольная кристаллизация. Форма кристаллических образований. Строение слитка. Полиморфизм. Магнитные превращения. Аморфное состояние металлов. Аморфные сплавы.

Строение пластически деформированных металлов

Структурные изменения в металлах в условиях холодной и горячей пластической деформации. Температура рекристаллизации. Строение металлов после возврата и рекристаллизации. Механизм и стадии процесса рекристаллизации. Условия реализации направленной кристаллизации.

Основы теории сплавов и термической обработки

Условия термодинамического равновесия. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз.

Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения. Эвтектическое и перитектическое превращения. Виды ликвации. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Эвтектоидное превращение. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

Диаграммы состояния «железо-цементит» и «железо-графит». Влияние легирующих компонентов на критические точки железа и стали, свойства феррита и аустенита.

Фазовые превращения в стали при нагреве и охлаждении. Процесс образования аустенита при нагреве. Механизм превращений переохлажденного аустенита. Изотермические и термокинетические диаграммы. Влияние состава стали на процесс распада аустенита. Критическая скорость охлаждения при закалке. Мартенситное превращение, механизм и кинетика. Структура и свойства мартенсита. Влияние деформации на мартенситное превращение. Превращения при отпуске стали. Термодинамика и процесс коагуляции. Изменение структуры и свойств при отпуске. Отпускная хрупкость и способы ее предотвращения.

2 Методы исследования структуры и физических свойств материалов

Методы исследования структуры и фазового состава

Металлографические и фрактографические методы исследования, оптическая и электронная, в том числе дифракционная микроскопия (просвечивающий и сканирующий электронные микроскопы). Рентгеновские методы исследования: структурный и спектральный методы анализа.

Методы исследования физических свойств и фазовых превращений в металлах и сплавах

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

Метод ядерного гамма-резонанса.

Физические методы неразрушающего контроля дефектов материалов

Ультразвуковая дефектоскопия. Рентгеновская и гамма-дефектоскопия. Метод вихревых токов. Магнитная и тепловая дефектоскопия.

3 Механические свойства материалов и методы их определения

Схемы напряженного и деформированного состояния материалов

Плоское и объемное напряженные состояния. Плоская деформация. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения, определение, классификация.

Упругие свойства материалов

Модуль упругости и его зависимость от кристаллической структуры материала. Упругое последствие, упругий гистерезис, внутреннее трение.

Пластическая деформация и деформационное упрочнение

Процессы скольжения и двойникования. Краевые, винтовые и смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Скольжение и переползание дислокаций. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесями. Особенности деформации моно- и поликристаллов. Влияние границ зерен на пластическую деформацию поликристаллов. Дисклинации. Сверхпластичность. Влияние пластической деформации на структуру и свойства материалов. Механизм упрочнения. Деформационное упрочнение. Упрочнение твердых растворов при взаимодействии дислокаций с примесями внедрения. Дисперсионное твердение.

Разрушение материалов

Виды разрушения материалов. Механизмы зарождения трещин. Силовые, деформационные и энергетические критерии локального разрушения. Трещиностойкость. Подходы механики разрушения к выбору конструкционных материалов, расчету размера допустимого дефекта и прогнозированию долговечности. Фрактография как метод количественной оценки механизма разрушения.

Механические свойства материалов и методы их определения

Классификация методов механических испытаний. Значение механических характеристик в материаловедении.

Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, трещиностойкость. Влияние легирования, структуры концентраторов напряжений и масштабного фактора на характеристики механических свойств.

Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на характеристики прочности и пластичности. Динамические испытания на изгиб образцов. Ударная вязкость. Методы определения ударной вязкости и ее составляющих.

Механические свойства, определяемые при циклическом нагружении. Усталость, диаграммы усталости, предел выносливости. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Природа усталостного разрушения. Влияние различных факторов на сопротивление усталости.

Испытания на твердость вдавливанием и царапанием. Триботехнические испытания.

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении и нагреве

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении от комнатных температур до криогенных. Хладостойкость и критическая температура хрупкости, методы определения.

Поведение материалов под нагрузкой при нагреве от комнатных температур до температуры рекристаллизации и выше. Синеломкость и тепловая хрупкость. Жаростойкость и жаропрочность. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Теория рекристаллизационной ползучести. Длительная прочность, диаграммы длительной прочности, предел длительной прочности. Механизм хрупкого разрушения при ползучести. Релаксация на-

пряжений, диаграммы релаксации, релаксационная стойкость. Влияние легирования и структуры на характеристики жаропрочности материалов.

Воздействие внешней среды

Адсорбционные процессы при деформации и разрушении металлов. Эффект Ребиндера. Влияние поверхностно-активных сред на прочность металлов и сплавов.

Закономерности окисления металлов. Коррозия металлов и сплавов под напряжением. Коррозионное растрескивание. Межкристаллитная коррозия. Сопrotивляемость материалов кавитационному и эрозионному разрушению. Влияние радиационного облучения на строение и свойства материалов.

4 Технология химико-термической, термомеханической обработки и поверхностного упрочнения материалов

Термическая обработка стали. Основные виды термической обработки стали. Выбор вида термической обработки в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации. Влияние термической обработки на свойства конструкционных сталей и сварных соединений.

Химико-термическая обработка. Общие закономерности. Цементация с последующей термической обработкой. Азотирование. Влияние легирующих компонентов на толщину, твердость и износостойкость азотированного слоя. Структура и свойства азотированной стали. Нитроцементация стали. Диффузионная металлизация: алитирование, хромирование, силицирование и т.п. Многокомпонентные покрытия. Диффузионное насыщение в ионизированных газовых средах.

Термомеханическая обработка. Основные виды: предварительная высокотемпературная, низкотемпературная. Структура и свойства материалов после термомеханической обработки.

Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия концентрированных потоков энергии. Поверхностное легирование и термическая обработка при лазерном и электронно-лучевом нагреве. Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия пластической деформации. Физическая сущность процесса. Роль остаточных напряжений. Области применения.

Деформация изделий при их обработке и способы ее предупреждения.

5 Металлы и сплавы в машиностроении

Конструкционная прочность материалов

Критерии прочности, надежности, долговечности и износостойкости. Методы повышения конструкционной прочности.

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-стареющие стали

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

Конструкционные и коррозионно-стойкие стали

Общие принципы легирования и структура коррозионно-стойких сталей. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцево-никелевые и хромазотистые 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.

Чугуны

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

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. Латунни, 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.

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.

Материалы атомной техники. Конструкционные материалы. Ядерное горючее. Теплоносители.

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

6 Неметаллические материалы в машиностроении

Полимеры и пластические массы

Классификация и структура полимерных материалов. Молекулярная структура полимеров. Теории роста полимерных кристаллов. Особенности механических свойств полимеров, обусловленные их строением. Релаксационные свойства. Вязкое течение растворов и расплавов полимеров. Старение и стабилизация полимеров. Типы разрушения полимеров. Влияние внешних факторов на процесс разрушения. Физико-механические, адгезионные, фрикционные, антикоррозионные, диэлектрические свойства полимеров, методы исследования этих свойств.

Состав, классификация и свойства пластических масс. Пластмассы на основе термопластичных и термореактивных полимеров. Отвердители, наполнители, пластификаторы, катализаторы, пигменты, ингибиторы. Методы переработки пластмасс в изделия. Материалы, технология и оборудование для получения полимерных покрытий.

Композиционные материалы

Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Композиционные материалы с нуль-мерными и одномерными наполнителями. Эвтектические композиционные материалы. Композиционные материалы на неметаллической основе. Механические свойства композиционных материалов, моделирование на ЭВМ разрушения композиционных материалов с

использованием свойств армирующих волокон, объемной доли и свойств матрицы. Механизм разрушения. Основы расчета на прочность изделий из композиционных материалов. Способы компьютерного моделирования состава, структуры, свойств и процесса разрушения композиционных материалов. Области и перспективы применения композиционных материалов в машиностроении.

Резиновые материалы

Состав и классификация резин. Технология приготовления резиновых смесей и формирования деталей из резины. Физико-механические свойства резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резин. Применение резиновых материалов в машиностроении.

Ситаллы, керамические и другие неорганические материалы

Строение, свойства и виды технического стекла, ситаллов, фарфора и фаянса. Тугоплавкие соединения, основные типы, состав, структура, свойства, методы получения, в том числе СВС – самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Нанокристаллические материалы. Стекланные смазки и защитные покрытия. Эмали для защиты металлов. Техническая керамика. Огнеупорные и конструкционные керамические материалы. Применение керамики в машиностроении. Графит и его модификации в качестве конструкционных материалов.

Лакокрасочные и клеящие материалы

Состав и классификация лакокрасочных материалов. Особенности кремнийорганических покрытий. Технологические методы нанесения лакокрасочных покрытий. Технология нанесения лакокрасочных покрытий. Сравнительные свойства лакокрасочных покрытий и их применение в машиностроении.

Клеящие материалы, состав и классификация. Физико-химическая природа. Конструкционные клеи. Состав клеевых соединений. Методы получения клеевых соединений и их испытания. Применение клеевых соединений в машиностроении.

7 Эффективность применения материалов в машиностроении с учетом экономичности, долговечности, безопасности и экологической чистоты

Методика расчета экономического эффекта за счет рационального выбора и применения машиностроительных материалов. Сравнительные данные стоимости углеродистых сталей и сплавов, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов и области их эффективного применения. Себестоимость различных операций термической и химико-термической, термо-механической обработки материалов. Повышение надежности, долговечности и безопасности изделий машиностроения путем применения новых материалов, обладающих уникальными физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами, а также экологической чистотой. Совершенствование технических требований к материалам в нормативно-технической документации.

8 Правила аттестации

Оценка знаний сдающего кандидатский экзамен осуществляется в устной форме по билетам, составленным на основе представленных выше тем. Билет состоит из четырех теоретических вопросов. По результатам ответа на вопросы по билету и при необходимости на дополнительные вопросы экзаменуемый может получить следующие оценки:

отлично – на все вопросы в билете даны правильные ответы, полностью раскрывающие суть вопросов; на дополнительные вопросы, заданные комиссией, экзаменуемый ответил правильно и полностью.

хорошо – на вопросы даны правильные, но неполные ответы. Раскрыта суть рассматриваемого процесса, но не приведены примеры. На дополнительные вопросы, заданные комиссией, экзаменуемый ответил правильно и полностью.

удовлетворительно – правильный ответ дан только на два из четырёх вопросов; на дополнительные вопросы, заданные комиссией, экзаменуемый ответил правильно и полностью.

неудовлетворительно – правильный ответ дан только на два из четырёх вопросов, при этом на дополнительные вопросы, заданные комиссией, экзаменуемый ответил неправильно.

В случае получения положительной оценки экзаменуемый считается успешно сдавшим кандидатский экзамен.

При получении оценки «неудовлетворительно» экзаменуемый считается не сдавшим кандидатский экзамен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение, М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001, 648 с.
2. Абраимов Н.В., Елисеев В.С., Крылов В.В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов. /Под ред. Н.В. Абраимова. – М.: Высшая школа, 1998. 444 с.
3. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Metallurgy, 1989. 456 с.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
5. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Metallurgy, 1986. 542 с.
6. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М. и др. Материаловедение и технология металлов. /Под ред. Фетисова Г.П. М.: Высшая школа, 2001, 640 с.
7. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Изд-во «МИСИС», 1999. 408 с.
8. Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов. – М.: Наука, 1988. 296 с.
9. Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. – М.: «Наука», 1994. 304 с.
10. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. М.: Metallurgy, 1990. 336 с.
11. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Metallurgy, 1986. 480 с.
12. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. – М.: МИСИС, 1998. 400 с.
13. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. – М.: Высшая школа, 1988. 312 с.
14. Лифшиц Б.Г. Металлография. – М.: Metallurgy, 1990. 236 с.
15. Партон В.З. Механика разрушения. От теории к практике. – М.: Наука, 1990. 179 с.
16. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. 384 с.
17. Шмитт-Томас К.Г. Металловедение для машиностроения. – М.: Metallurgy, 1995. 512 с.
18. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: Изд-во «МИСИС», 1999. 416 с.
19. Сталь на рубеже веков. Коллектив авторов. Под ред. Ю.С.Карабасова. М.: МИСИС, 2001. 700 с.
20. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. – М.: Изд-во Аспект Пресс, 1997. 718 с.

Дополнительная программа

1. Физические основы построения изображения при металлографическом анализе.
2. Металлографические методы.
3. Количественная металлография.
4. Классификация методов металлографического анализа.
5. Основы метода просвечивающей электронной микроскопии.
6. Область использования ПЭМ.
7. Растровая электронная микроскопия.
8. Получение изображения на РЭМ.
9. Применение РЭМ для исследования материалов.
10. Рентгеноспектральный микроанализ.
11. Основы метода РСМА и схема микроанализатора.
12. Качественный и количественный анализ в электронной микроскопии.
13. Рентгеноструктурный анализ материалов.
14. Экспериментальные особенности метода поликристалла.
15. Индексирование рентгенограмм.
16. Прецизионные измерения периодов решетки.
17. Анализ твердых растворов.
18. Построение диаграмм состояния.
19. Фазовый анализ.
20. Анализ напряжений и дисперсности.
21. Анализ текстур.
22. Основы метода оптического анализа топографии поверхности.
23. Получение изображения и его анализ.
24. Классификация неметаллических материалов, применяемых в машиностроении.
25. Строение неметаллических материалов.
26. Атомно-кристаллическое строение неметаллических материалов.
27. Свойства неметаллических материалов при нагружении.
28. Методы исследования и испытания неметаллических материалов.
29. Производство неметаллических материалов.
30. Принцип плотнейшей упаковки. Плотнупакованные решетки. Плоскости плотнейшей упаковки.
31. Линейные дефекты. Контур и вектор Бюргерса. Краевая, винтовая дислокации. Смешанная дислокация.
32. Дислокационная модель Пайерлса-Набарро. Упругая энергия Пайерлса.
33. Полные дислокации. Частичные дислокации. Системы скольжения полных дислокаций.
34. Эффект Ребиндера.

35. Частичные дислокации Шотки. Частичные дислокации Франка. Барьеры Пайерлса для частичной дислокации.

36. Дефекты упаковки. Полные и расщепленные дислокации.

37. Поперечное переползание и скольжение расщепленных дислокаций.

38. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами и примесными атомами. Атмосферы Котрелла, Снука, Сузуки.

39. Дисклинации. Клиновые дисклинации. Дисклинации кручения. Вектор поворота. Полные и частичные дисклинации. Энергия дисклинаций. Дисклинационный диполь.

40. Поверхностные дефекты. Границы зерен. Малоугловые, высокоугловые границы. Границы наклона и кручения. Специальные и произвольные границы.

Основная литература к дополнительной программе

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник / под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепяхина. – М. : Академия , 2009. – 446 с.
2. Материаловедение и технология металлов : учебник для вузов / [Г. П. Фетисов и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова - М. : Высшая школа , 2007. – 861 с.
3. Полимерные композиционные материалы: прочность и технология/ С. Л. Баженов [и др.].- Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 347 с.
4. Эшби М. Ф. Конструкционные материалы: полный курс / М. Эшби, Д. Джонс; пер. 3-го англ. изд. под ред. С. Л. Баженова.- Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 671 с.

Дополнительная литература к дополнительной программе

1. Белкин П.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / П. Н. Белкин. – М. : Мир , 2005. – 335 с.
2. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. В 3 т. Т. 1 . Методы испытаний и исследования : справочник / под ред. А. Г. Рахштадта. – М. : Интернет Инжиниринг , 2004. – 687 с.
3. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан ; пер. с англ. под ред. С. Л. Баженова. – М. : Техносфера , 2006. – 377 с.
4. Синдо Д. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т. Оикава ; пер. с англ. С. А. Иванова. – М. : Техносфера , 2006. – 249 с.
5. Абраимов Н.В. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / Н. В. Абраимов, Ю. С. Елисеев. – М. : Интернет Инжиниринг, 2001. – 620 с.
6. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение / К. Уорден. М. : Техносфера, 2006. – 223 с.
7. Гольдштейн М.И. Специальные стали. Учебник / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
8. Мэттьюз, Ф. Композитные материалы: Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс. – М. : Техносфера, 2004. – 406 с.
9. Тушинский Л.И. Структурная теория конструктивной прочности материалов / Л.И.Тушинский. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 400 с.
10. Киричек А. В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А. В. Киричек, Д. Л. Соловьев, А. Г. Лазуткин. – М. : Машиностроение, 2004. – 287 с.
11. Новые технологии обработки давлением медных и цинковых сплавов / Р. Л. Шаталов и др. под науч. ред. Р. Л. Шаталова. – М. : Теплотехник, 2006. – 219 с.