

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

УТВЕРЖДАЮ:

Проектор по науке и инновациям ПНИПУ

 В.Н. Коротаев

«30» 03 2017 г.

**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания по специальной дисциплине, соответствующей  
направленности программы аспирантуры**

**22.06.01**

*Шифр направления  
подготовки*

**Направленность  
программы аспирантуры**

**05.16.09**

*Шифр научной  
специальности*

Обеспечивающая  
кафедра

**ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ**

*наименование направления подготовки, утвержденное  
приказом Минобрнауки России от 12.09.2013 №1061*

**Материаловедение в металлургии**

**Материаловедение в металлургии**

*наименование научной специальности и отрасли науки,  
предусмотренные номенклатурой специальностей научных работников,  
утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 №59*

Металловедение, термическая и лазерная обработка  
металлов

Пермь, 2017

Программа сформирована на основе федерального государственного стандарта высшего образования по программе магистратуры:

22.04.02 «Металлургия», профиль программы магистратуры «Металловедение и технология термической обработки стали и высокопрочных сплавов»

Составители:

Заведующий кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» профессор, д-р техн. наук, Симонов Ю.Н.;

профессор по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», д-р техн. наук, Шацов А.А.;

профессор по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Иванов А.С.;

доцент по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Силина О.В.;

доцент по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Некрасова Т.В.;

доцент по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Закирова М.Г.;

доцент по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Каменских А.П.;

доцент по кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Панов Д.О.;

ведущий инженер кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», канд. техн. наук, Гребеньков С.К.

(должность, ученая степень, фамилия, и. о.)

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию методическим семинаром кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», протокол № 18 от «01» марта 2017 г.

Заведующий кафедрой МТО



Симонов Ю.Н.

## **1. Дисциплины, включенные в программу вступительных испытаний в аспирантуру:**

- 1.1. Теория термической обработки металлов
- 1.2. Механические свойства металлов. Физика и механика прочности и разрушения.
- 1.3. Рентгенография металлов
- 1.4. Организация и математическое планирование
- 1.5. Материаловедение и технологии конструкционных материалов
- 1.6. Физика металлов.
- 1.7. Электронная микроскопия.

## **2. Содержание учебных дисциплин**

### **2.1. Теория термической обработки металлов.**

Закономерности фазовых превращений в твердом состоянии.

Образование аустенита при нагреве сталей: термодинамика, кинетика, механизм. Свойства аустенита.

Перлитное превращение в сталях: термодинамика, кинетика, механизм. Влияние условий охлаждения на перлитное превращение. Свойства феррито-цементитных смесей.

Изотермические, термокинетические и ССТ-диаграммы распада переохлажденного аустенита: назначение, построение и использование диаграмм.

Бейнит в сталях: закономерности образования, строение, свойства.

Мартенсит в сталях: закономерности образования, строение, свойства.

Остаточный аустенит в закаленной стали: причины образования, влияние на свойства. Способы уменьшения количества остаточного аустенита.

Отпуск сталей: структурные превращения, виды и назначение отпуска. Влияние легирующих элементов на превращения, происходящие при отпуске. Изменение свойств при отпуске в углеродистых и легированных сталях.

Виды, назначение и параметры термической обработки сталей.

Цели, виды и технология цементации. Контроль параметров процесса и качества цементованных слоев.

Цели, разновидности и технология азотирования. Контроль параметров процесса и качества азотированных слоев.

### **2.2. Механические свойства металлов. Физика и механика прочности и разрушения.**

Упругость металлов. Понятие об упругой деформации. Упругие константы и связь между ними.

Основные механизмы упрочнения сталей и сплавов. Сравнительный анализ эффективности действия различных механизмов упрочнения в конструкционных сплавах на основе железа.

Различия подходов физики и механики к проблеме разрушения. Классификация видов разрушения. Текучесть и микротекучесть в поликристаллах. Субмикротрещины, их зарождение и размеры. Сопротивление микросколу,  $R_{MC}$ , как структурный критерий хрупкого разрушения на пределе текучести. Методы определения  $R_{MC}$ .

Структура сталей и сопротивление микросколу. Структурно-силовые диаграммы разрушения. Влияние различных типов структур на  $R_{MC}$ : размер зерна феррита; пластин третичного цементита,  $R_{MC}$  сталей эвтектоидного состава;  $R_{MC}$  сталей с глобулярным цементитом.  $R_{MC}$  сталей со структурой мартенсита и бейнита.  $R_{MC}$  сталей со смешанной феррито-перлитной и феррито-мартенситной структурой.

Трещина в конструкции. Напряжения при вершине трещины. Критерии локального разрушения. Пластическая зона при вершине трещины. Закономерности распространения трещин. Сопротивление распространению трещин, R-кривые. Диаграммы разрушения при

однократном статическом нагружении, в условиях циклического и длительного статического нагружения.

Понятие о плосконапряженном (ПНС) и плоскодеформированном (ПДС) состояниях. Оценка трещиностойкости при ПНС и ПДС.

Переход от вязкого разрушения к хрупкому. Влияние внешних и внутренних факторов на вязко-хрупкий переход. Схема Иоффе. Оценка склонности металлов к хрупкому разрушению. Сериальные кривые.

Определение ударной вязкости и динамической трещиностойкости. Критическая температура хрупкости. Определение критической температуры хрупкости. Влияние структурного состояния сталей на ударную вязкость и критическую температуру хрупкости.

Усталость металлов, виды усталости. Определение предела выносливости. Стадии усталостного разрушения и особенности строения усталостных изломов. Влияние структуры на величину предела выносливости. Закономерности роста усталостных трещин. Диаграммы циклической трещиностойкости. Влияние структурного состояния на уровень сопротивления росту усталостных трещин.

Конструкционная прочность. Понятие о конструкционной прочности. Диаграммы и пути повышения конструкционной прочности.

### **2.3. Рентгенография металлов.**

Рентгеновское излучение. Получение, природа, спектры, применение.

Интерференция рентгеновских лучей. Уравнение Вульфа-Брэгга.

Методы рентгеноструктурного анализа. Метод порошка.

Индицирование рентгенограмм. Определение типа кристаллической решетки. Отражающие плоскости в решетках ОЦК, ГЦК.

Качественный фазовый рентгеноструктурный анализ.

Количественный рентгеноструктурный анализ. Метод градуировочной кривой. Метод гомологических пар.

Количественный рентгеноструктурный анализ многофазных композиций.

Рентгеноструктурный анализ заклеенной стали. Мартенситный дублет. Определение параметров остаточного аустенита.

Факторы, влияющие на ширину рентгеновских линий. Физическое уширение линий.

Определение микронапряжений и размеров субзерен методом аппроксимации.

Определение макронапряжений рентгеновскими методами.

### **2.4. Организация и математическое планирование.**

Материальное и идеальное моделирование. Цели, простота, адекватность и потенциальность моделей. Материальное и идеальное моделирование. Физические и аналоговые модели.

Модели физических процессов. Виды моделей. Сравнительная характеристика моделей.

Модели физических процессов, интуитивное и научное моделирование.

Содержательная модель. Классификация моделей.

Математическая модель. Классификация математических моделей. Основные этапы моделирования: постановка задачи, построение модели и проверка ее адекватности.

Исследование математической модели (вычислительный эксперимент), анализ результатов моделирования и выработка практических рекомендаций.

Основные характеристики случайных величин. Определение параметров функции распределения. Дисперсионный анализ

Планирование эксперимента и регрессионный анализ.

Оценка математического ожидания нормально распределенной случайной величины.

Найти возможный верхний предел содержания вредного компонента F по результатам анализа 100 кг готового продукта (F%): 0.18, 0.12, 0.13, 0.15. Доверительная вероятность  $\beta=0.95$ .

Доверительный интервал и доверительная вероятность. Пример. Средняя температура печи, полученная по 4 независимым измерениям оптическим пирометром, 2250 °С. Ошибка при таком методе измерений 10 °С. Найти с вероятностью 95 % доверительные границы внутри которых лежит истинное значение измеряемой величины.

Полный факторный эксперимент. Дробные реплики.

Оптимизация методом крутого восхождения по поверхности отклика.

Схема оптимизации процессов с двумя параметрами выхода.

Проверка гипотезы статистической значимости различия между результатами независимых испытаний. Пример. Сплав должен содержать не менее 99 % основного компонента. Требуется проверить гипотезу о статистической значимости между паспортными данными и результатами трех определений содержания компонента 98,3%; 97,3%, 98,7%

Факторы, их уровни, план эксперимента. Оптимальность плана и информативность факторов.

Метод наименьших квадратов.

Линейная регрессия от одного параметра.

Адекватность моделей и критерии ее оценки.

Организация экспериментальных исследований, выбор схем измерений. Обработка и анализ экспериментальных данных.

Определение доверительного интервала с использованием критерия Стьюдента.

Оценка погрешностей измерений. Дискретные и непрерывные случайные величины, их системы.

Составить план эксперимента в котором изменяются 2 фактора на 2 уровнях (ПФЭ 2<sup>2</sup>).

## **2.5. Материаловедение и технологии конструкционных материалов.**

Необратимая отпускная хрупкость сталей. Причины возникновения, опасность проявления, способы борьбы.

Обратимая отпускная хрупкость сталей. Причины возникновения, опасность проявления, способы борьбы.

Сущность и причины проявления межкристаллитной коррозии (МКК). Материалы, подвергаемые этому виду коррозии и способы борьбы с МКК.

Жаростойкие материалы. Принцип легирования жаростойких сталей.

Жаропрочные стали на основе альфа-железа. Примеры сталей. Термическая обработка.

Жаропрочные стали на основе гамма-железа. Примеры сталей. Термическая обработка.

Мартенситное превращение в легированных сталях.

Влияние легирования на превращения при отпуске.

Хромоникелевые нержавеющие стали. Приведите химический состав, необходимую термообработку и получаемую структуру.

Принцип легирования жаропрочных сталей. Пути повышения жаропрочности.

Полимеры и пластические массы. Классификация и структура полимерных материалов. Молекулярная структура полимеров. Теории роста полимерных кристаллов. Особенности механических свойств полимеров, обусловленные их строением. Старение и стабилизация полимеров.

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. Области и перспективы применения композиционных материалов в машиностроении.

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ). Основные определения этого класса материалов. Схемы армирования в УУКМ и виды наполнителей и армирующих элементов в УУКМ. Способы получения УУКМ: жидкофазный способ и его особенности, газофазный способ и его особенности. Способы повышения ресурса УУКМ. УУКМ с керамической матрицей и их основные достоинства. Совместимость конструктивных элементов композиционного материала. Способы введения керамической составляющей в КМ. Применение УУКМ в различных отраслях промышленности.

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. 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. 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.

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.

Данные по стоимости углеродистых сталей и сплавов, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов и области их эффективного применения. Себестоимость различных операций термической и химикотермической, термомеханической обработки материалов. Повышение надежности, долговечности и безопасности изделий машиностроения за счет применения новых материалов, обладающих уникальными физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами, а также экологической чистотой. Совершенствование технических требований к материалам в нормативно-технической документации

## **2.6. Физика металлов.**

Виды связи в твердых телах

Виды химических связей. Отличительные особенности каждого вида. Основные энергетические характеристики. Ионная связь. Принцип формирования структуры кристаллов с ионным типом связи. Координационное число, факторы его определяющие. Ковалентная связь. Связь Ван-дер-Ваальса. Факторы, определяющие координационное число атомных кристаллов. Принцип формирования молекулярных кристаллов. Металлическая связь. Особенности металлической связи между атомами и принцип формирования кристаллических структур. Свойства металлических кристаллов.

Электронное строение твердых тел.

Электронное строение атома с позиций квантовой механики. Основные принципы квантовой механики. Уравнение Луи де Бройля, уравнение Шредингера, принцип запрета Паули. Квантовые электронные теории. Теории Зоммерфельда и Блоха. Понятие зон Бриллюэна. Статистика Ферми. Особенности движения электрона вблизи потолка зоны Бриллюэна. Электронные спектры проводников, полупроводников и диэлектриков. Влияние электронного строения металлов на их физические свойства.

### Теория сплавов.

Типы взаимодействия атомов в двойных системах в твердом и жидком состоянии. Причины и условия образования твердых растворов и эвтектик. Условия образования твердых растворов различных типов: внедрения, замещения, вычитания. Энергия смешения и устойчивость твердых растворов. Упорядочение твердых растворов. Типы сверхструктур. Расслоение твердых растворов. Классификация металлических соединений. Электронные соединения (фазы Юм-Розери). Условия образования. Зонная теория фаз Юм-Розери. Свойства. Фазы внедрения. Условия образования. Кристаллическое строение. Особенности межатомных связей в карбидах и нитридах. Свойства и основные отличия фаз внедрения от твердых растворов внедрения. Фазы Лавеса. Роль соотношения атомных радиусов компонентов и электронной концентрации при образовании кристаллических структур фаз Лавеса. Свойства фаз Лавеса. Сигма-фазы.

### Теория диффузии.

Понятие диффузии. Законы диффузии: первое и второе уравнение Фика. Восходящая диффузия. Самодиффузия. Гетеродиффузия. Механизмы процесса диффузии. Уравнение Аррениуса. Факторы, влияющие на процесс диффузии: температура, тип твердого раствора, тип кристаллической решетки, дефекты кристаллического строения и структура. Диффузия в поверхностном слое.

### Теория фазовых превращений в твердых телах.

Особенности фазовых и структурных превращений в твердом состоянии. Виды и классификация фазовых превращений в твердом состоянии. Различие оснований для разных видов классификации. Характеристика фазовых превращений в стали по разным классификациям. Термодинамический анализ процесса образования новой фазы в твердом состоянии. Роль межфазных границ и упругой энергии в фазовом превращении. Строение и энергия межфазных границ. Условия когерентности решеток на межфазной границе. Условия возникновения упругих искажений и упругой энергии в ходе фазового превращения. Влияние их на кинетику фазового превращения.

### Теплоемкость металлов и сплавов.

Понятие атомной и удельной теплоемкостей. Соотношение  $C_p$  и  $C_v$ . Температурная зависимость атомной теплоемкости. Теория теплоемкости Эйнштейна-Дебая. Характеристическая температура как мера энергии межатомной связи. Электронная теплоемкость. Тепловые эффекты при фазовых превращениях. Различие температурной зависимости теплоемкости при фазовых превращениях I и II рода. Температурная зависимость теплоемкости железа. Анализ теплоемкости при изучении превращений в стали. Методы измерения теплоемкости. Эффекты изменения теплоемкости при наклепе, закалке, отпуске и других технологических операциях. Методы калориметрического и термического анализа.

### Плотность металлов и сплавов.

Общие понятия и определения. Методы измерения плотности. Влияние различных факторов на плотность. Изменение плотности при плавлении, фазовых превращениях и пластической деформации. Изменение плотности при термической обработке стали.

### Термическое расширение металлов и сплавов.

Физические основы термического расширения твердых тел. Понятие о коэффициенте линейного термического расширения. Факторы, влияющие на величину теплового расширения. Инварный эффект. Принцип создания сплавов с заданным коэффициентом термического расширения. Устройство, принцип действия, область применения дифференциального dilatометра Шевенара.

### Электрические свойства металлов и сплавов.

Основные понятия и определения. Физическая природа электрической проводимости металлов. Зависимость электросопротивления от природы металла, от температуры и наклепа. Термоэлектрические свойства. ТермоЭДС. Зависимость удельного электросопротивления от химического состава сплава. Правило Курнакова-Матиссена для твердых растворов и гетерогенных сплавов. Влияние температуры, наклепа, вида

термообработки на электросопротивление сталей. Методы измерения электросопротивления. Применение методов измерения электросопротивления сплавов для оценки изменений структурного состояния.

Магнитные свойства металлов и сплавов

Парамагнетизм и диамагнетизм. Основные понятия и определения. Диамагнитные и парамагнитные свойства химических элементов и твердых тел. Методы измерения парамагнитных и диамагнитных свойств. Влияние плавления, наклепа и фазовых превращений. Магнитное упорядочение. Спонтанный ферромагнетизм. Физическая природа ферромагнетизма. Магнитные характеристики, определяемые по кривой намагничивания и петле гистерезиса. Магнитные свойства электронов проводимости. Внутренняя структура ферромагнетиков. Доменное строение ферромагнетиков. Влияние температуры. Точка Кюри. Теории технического намагничивания. Влияние внешнего магнитного поля на миграцию междоменных границ. Магнитная кристаллографическая анизотропия. Константа магнитной анизотропии. Теории коэрцитивной силы: теория напряжений, теория включений. Однодоменные частицы. Теория намагничивания однодоменных ферромагнетиков.

### **7. Электронная микроскопия.**

Взаимодействие потока электронов с веществом кристаллическим и аморфным.

Трансмиссионный электронный микроскоп. Принципиальная схема. Область применения. Преимущества и недостатки электронного микроскопа просвечивающего типа по сравнению с металлографическим световым микроскопом. Сравнительная характеристика световой и электронной микроскопии. Разрешающая способность, глубина поля, глубина фокуса.

Электронные линзы и полюсные наконечники. Устройство, принцип действия, назначение. Диафрагмы. Назначение. Механизм получения светлопольного, темнопольного, контрастного изображения и дифракционной картины. Аберрации магнитных линз: сферическая, хроматическая, астигматизм. Методы устранения и устройства для этого.

Фольги и реплики. Способы приготовления, область использования. Контраст в изображении аморфных и кристаллических объектов. Способы повышения контраста реплик.

Особенности дифракции электронов. Волновая природа электронов. Основные выводы кинематической теории дифракционного контраста в изображении кристаллов.

Механизм возникновения экстинкционных контуров. Толщинные и изгибные контуры. Контраст в изображении совершенных и несовершенных кристаллов. Контраст в изображении дефектов упаковки. Контраст в изображении краевой дислокации, параллельной и перпендикулярной поверхности фольги. Контраст в изображении винтовой дислокации, параллельной и перпендикулярной поверхности фольги. Ориентационный контраст в изображении частиц второй фазы. Экстинкционный и деформационный контраст в изображении включений.

Растровый электронный микроскоп. Принципиальная схема. Область использования. Механизм формирования контраста в растровом электронном микроскопе. Композиционный и топографический контраст. Принцип определения хим. состава в РЭМ. Композиционный контраст. Микрорентгеноспектральный анализ. Сущность метода. Области применения.

Нейтроннография. Принцип действия. Область применения.

Зондовая микроскопия. Принцип действия. Область применения.

Виды вакуума. Средства получения. Средства измерения.



### **3. Рекомендуемая литература, информационные ресурсы**

#### **3.1. Рекомендуемая литература**

1. Георгиев М.Н., Симонов Ю.Н. Трещиностойкость железоуглеродистых сплавов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 419 с.
2. Иванов А.С. Рентгенография металлов: учеб. пособие/ А.С. Иванов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. Исслед. политехн. ун-та, 2014. – 77 с.
3. Соловьев В.П., Богатов Е.М. Организация эксперимента: учебное пособие для вузов /.— Старый Оскол : ТНТ, 2012 .— 253 с.
4. Физическое металловедение: Учебник для вузов. 2-е изд., переработанное и дополненное Грачев С.В., Бараз В.Р., Богатов А.А., Швейкин В.П. – Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного технического университета – УПИ, 2009. – 548 с.
5. Теория термической обработки металлов : учебник для вузов / И. И. Новиков .— 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Металлургия, 1986 .— 480.с.
6. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана : справочник термиста / Л. Е. Попова, А. А. Попов .— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Металлургия, 1991 .— 502 с.
7. Трусов П.В. Введение в математическое моделирование. М.: «Логос», 2005. -338 с.
8. Основы термической обработки стали: Учебное пособие/ М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. – М.: «Наука и технологии», 2002. – 519 с.

#### **3.2. Информационные ресурсы.**

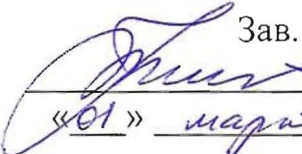
1. <http://elibrary.ru/>
2. <http://www.mati.ru/>
3. <http://www.stankin.ru/>
4. <http://www.madi.ru/>
5. <http://www.imet.ac.ru/>

#### **4. Перечень тем рефератов по избранному направлению подготовки**

1. Формирование структуры сталей при аустенитизации и охлаждении.
2. Критерии механики разрушения материалов.
3. Отпуск сталей.
4. Моделирование эксперимента при разработке материалов. химико-термической и термической обработке.
5. Отпуская хрупкость: причины возникновения, определение и эффективные методы борьбы.
6. Диффузионное насыщение металлов.
7. Современные дифракционные методы исследования структуры сплавов.

**5. Образец экзаменационного билета**

<p>ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ</p>	<p>Вступительные испытания по специальной дисциплине, соответствующей программе аспирантуры Материаловедение в металлургии и машиностроении <i>(наименование программы аспирантуры)</i> 22.06.01 ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ <i>(шифр и наименование направления)</i></p>
--	---

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой МТО  
 СИМОНОВ Ю.Н.  
«01» марта 2017 г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Различия подходов физики и механики к проблеме разрушения.
2. Модели физических процессов. Виды моделей. Сравнительная характеристика моделей.
3. Техническая керамика. Огнеупорные и конструкционные керамические материалы. Применение керамики в машиностроении.
4. Понятие диффузии. Законы диффузии: первое и второе уравнение Фика.