

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



А. Д. Толстик



Регистрационный № УД-1356 /баз.

## ФАЗОВЫЕ ПРЕВРЩЕНИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

Направление:

1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность)

Минск 2014

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**А.К. Федотов** – профессор кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, доктор физико–математических наук, профессор.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**С.Е. Демьянов** – заведующий отделом криогенных исследований Научно-практического центра НАНБ по материаловедению, доктор физико–математических наук.

**В.Г. Шепелевич** – профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико–математических наук, профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой энергофизики физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2014);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2014);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета  
(протокол №5 от 17 мая 2013 г.)

Ответственный за редакцию: А.К. Федотов

Ответственный за выпуск: А.К. Федотов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины «Фазовые превращения в металлах и сплавах» разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям).

Для обеспечения энергосбережения и повышения энергоэффективности в энергетическом машиностроении, а также в энергосберегающих технологиях широко применяются материалы разных типов, которые формируются на основе металлов и сплавов и должны обладать набором особых функциональных свойств. При синтезе таких материалов используется целый набор разнообразных термических, механических, химических и смешанных воздействий, вызывающих целый ряд фазовых превращений, которые существенно влияют на их функциональные свойства.

Это делает необходимым понимание взаимосвязи между составом, фазовой структурой и физико-химическими свойствами металлических материалов, что становится важной составляющей подготовки специалиста-энергофизика по квалификации «физик-инженер».

Поэтому дисциплина «Фазовые превращения в металлах и сплавах» направлена на обучение студентов основным представлениям о механизмах фазовых превращений металлов и сплавов под действием термических, механических и иных внешних воздействий, которые могут быть использованы для получения современных материалов для энергетики и энергосбережения. Программа дисциплины содержит перечень вопросов, которые наиболее необходимы физикам-материаловедам.

Задача лекционного курса состоит в том, чтобы ознакомить студентов с разными видами фазовых превращения в металлических материалах, способствовать формированию представлений о механизмах зарождения фаз и кинетики протекания фазовых превращений, способах их использования в технологических процессах получения металлических материалов с заданными рабочими характеристиками, способствовать пониманию характера изменения физико-химических свойств материалов в результате фазовых превращений, научить студентов видеть области применения фазовых превращений и понимать возможности их использования при решении практических задач энергетики и энергосбережения.

Программа составлена с учетом знаний, полученных студентами при изучении следующих дисциплин: молекулярной физики, термодинамики и статистической физики, а также специального курса «Основы материаловедения». Цель данного курса – подготовить студентов к завершающему курсу по основам физического материаловедения – курсу «Энергоэффективные материалы».

Спецкурс состоит из следующих основных разделов: термодинамика фазовых превращений в кристаллических материалах; основные фазовые превращения и изменение структуры в однокомпонентных кристаллических материалах при термических воздействиях; фазовые равновесия и фазовые превращения в двухкомпонентных кристаллических материалах.

Основное внимание при изложении материала уделяется термодинамике и кинетике процессов зарождения и роста фаз, формированию структуры кристаллических материалов в результате фазовых превращений при термических, термомеханических и иных воздействиях; установлению характера изменения свойств материалов в результате фазовых превращений; а также фазовым равновесиям и превращениям в двух- и трехкомпонентных металлических сплавах.

Материал данного курса основан на базовых знаниях, представлениях и моделях, изучавшихся студентами в курсах молекулярной физики, атомной физики, термодинамики и статистической физики и спецкурсе «Основы материаловедения».

Некоторые вопросы студенты должны изучить самостоятельно при работе с рекомендуемыми учебниками, учебными пособиями, методическими материалами и Интернет-ресурсами. На самостоятельную проработку выделены темы по термодинамике фа-

зовых превращений в кристаллических материалах. Для организации управляемой самостоятельной работы (УСР) студентов по курсу рекомендуется организовать возможность сетевого доступа к учебным и учебно-методическим материалам, размещенным на Интернет-странице кафедры энергофизики. Проверку освоения материалов лекций и при самостоятельной работе студентов целесообразно проводить путем текущего и итогового контроля знаний. Текущий контроль знаний рекомендуется осуществлять в форме тестов и контрольных работ по темам курса.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:**

– основные технологические методы и процессы осуществления фазовых превращений в металлах и сплавах;

– механизмы зарождения и кинетику роста фаз в одно- и двухкомпонентных металлических материалах в результате термических, термомеханических и иных воздействий;

**уметь:**

– объяснять взаимосвязь между видами фазовых превращений, структурой и физико-химическими свойствами металлических материалов;

**владеть:**

– базовыми методами термодинамического описания фазовых превращений в металлических материалах.

Основными методами обучения, способствующими достижению целей изучаемой дисциплины, являются: элементы проблемного обучения, реализуемые как на лекционных занятиях, так и при самостоятельной работе студентов; непрерывный контроль текущего усвоения знаний; рейтинговая система оценки текущих и итоговых знаний. При чтении лекционной части курса рекомендуется применять мультимедийные средства.

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. Общее количество часов – 68. Из них аудиторных – 38 часа (в том числе: лекции – 32 часа; управляемая самостоятельная работа – 6 часов).

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Практические	Семинары	Лабораторные занятия	Контролируемая самостоятельная работа	Всего
1.	Термодинамика фазовых превращений в кристаллических материалах	2				2	4
2.	Плавление однокомпонентных кристаллических материалов	2					2
3.	Кристаллизация однокомпонентных материалов	4					4
4.	Механизмы и модели роста кристаллов	4					4
5.	Закалка однокомпонентных кристаллических материалов	2					2
6.	Изменение структуры од-	4				2	6

	нокомпонентных кристаллических материалов при термических воздействиях						
7	Фазовые равновесия в двухкомпонентных кристаллических материалах	4				2	6
8	Фазовые превращения в двухкомпонентных кристаллических материалах	6					6
9	Фазовые равновесия в трехкомпонентных кристаллических материалах	4					4
	Итого	32				6	38

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 1. Термодинамика фазовых превращений в кристаллических материалах

Термодинамическое равновесие. Изменения в энергии материалов. Диаграмма энтропия-температура для материалов. Энтропия и свободная энергия материала. Диаграмма свободная энергия –температура для материала. Гетерогенные равновесия. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы однокомпонентных материалов. Термодинамика фазовых переходов в кристаллических материалах.

### 2. Плавление однокомпонентных кристаллических материалов

Плавления кристаллов как фазовый переход. Диаграмма нагрева для характеристики плавления. Зависимость температуры плавления от давления. Взаимосвязь между температурами плавления и физическими свойствами кристаллов. Динамика и механизмы плавления.

### 3. Кристаллизация однокомпонентных материалов

Кристаллизации из расплава как фазовый переход. Диаграмма охлаждения при кристаллизации из расплава. Условия кристаллизации из расплава. Гомогенная и гетерогенная кристаллизация из расплава. Термодинамика гомогенной кристаллизации из расплава.

### 4. Механизмы и модели роста кристаллов

Слоистый механизм роста кристаллов. Слоисто-спиральный механизм роста кристаллов. Форма и структура кристаллов и кристаллических агрегатов. Атомная, нано, микро и макроструктура кристаллических агрегатов. Литые поликристаллических материалов. Дендритный рост кристаллов.

### 5. Закалка однокомпонентных кристаллических материалов

Закалка в твердом состоянии. Закалка из расплава. Нанокристаллические и наноструктурированные материалы. Влияние высокоскоростной закалки расплава на свойства однокомпонентных материалов.

### 6. Изменение структуры однокомпонентных кристаллических материалов при термических воздействиях

Отжиг однокомпонентных материалов. Изменения атомной структуры деформированных металлов на стадии возврата. Механизмы рекристаллизации деформированных металлов. Влияние деформации на запасенную энергию и зеренную структуру поликристаллических материалов. Зарождение новых зерен при рекристаллизации деформированных поликристаллических материалов. Роль границ зерен в процессе рекристаллизации деформированного поликристаллического материала. Кинетика зарождения зерна на стадии рекристаллизации. Факторы, влияющие на зарождение зерна и скорость роста во время рекристаллизации. Изменения в структуре и свойствах дефор-

мированного металла на стадии рекристаллизации. Полиморфные превращения в кристаллических материалах.

#### **7. Фазовые равновесия в двухкомпонентных кристаллических материалах**

Типы кристаллических сплавов. Фазовое равновесие в сплавах. Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов. Взаимосвязь между свойствами сплавов и типом диаграмм состояния.

#### **8. Фазовые превращения в двухкомпонентных кристаллических материалах**

Структурные превращения в сплавах при термических воздействиях. Термическая обработка деформированных и литых сплавов. Термическая обработка закаленных сплавов. Термическая обработка сплавов с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Термообработка сплавов, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии.

#### **9. Фазовые равновесия в трехкомпонентных кристаллических материалах**

Принципы построения диаграмм состояния трехкомпонентных сплавов. Принципы изучения тройных диаграмм состояния. Основные виды тройных диаграмм состояния.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Рекомендуемые формы диагностики знаний**

Контрольные работы – 3

Тесты - 15

### **Рекомендуемые темы контрольных работ**

1. Виды отжигов однокомпонентных кристаллических материалов
2. Двойные диаграммы состояния.
3. Структурные превращения в сплавах при термических воздействиях.

### **Рекомендуемые темы для тестов**

1. Закалка сплавов.
2. Сверхбыстрая кристаллизация сплавов.
3. Пластическая деформация металлов.
4. Пластическая деформация однофазных и двухфазных сплавов.
5. Термическая обработка деформированных и литых сплавов.
6. Термическая обработка закаленных сплавов.
7. Термообработка сплавов, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии.
8. Термическая обработка сплавов с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

### ***Рекомендуемая литература***

#### **Основная**

1. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах. Минск: Высшая школа, 2012. 440 с.

2. Фистуль, В.И. Физика и химия твердого тела. Ч. 1 и 2. М.: Металлургия, 1995. – 543 с.
3. Солнцев, Ю.П. Материаловедение / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф М Войткун – М.: Изд. МИСИС, 1999.- 345 с.
4. Научные основы материаловедения. Под ред. Б.Н. Арзамасова. / М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. – 361 с.

**Дополнительная**

1. Лившиц Ю Б.Г. Металлография / Б.Г. Лившиц - М.: Металлургия, 1971. – 301 с.
2. Гуляев, А.П. Металловедение / А.П.Гуляев - М.: Оборонгиз, 1963. – 323 с.
3. Ван Флек. Теоретическое и прикладное материаловедение. / Ван Флек. - М.: Атомиздат, 1975. – 284 с.