

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе БГУ

А. Д. Толстик

Регистрационный № Д-2585 /уч.



## ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

2016

Учебная программа составлена на основе ОСВJ 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч от 30.05.2013 г

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

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

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 11 от 16 05 2016.);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 10 от 09 06 2016.);

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии.

**Цель** учебной дисциплины – формирование у студентов систематизированных представлений о структурно-фазовых превращениях в сплавах, их использование при создании новых материалов и режимов термической обработки и учет при эксплуатации изделий из металлов.

**Основные задачи** учебной дисциплины – изучение процесса кристаллизации, влияние условий кристаллизации на микроструктуру сплавов, формирование структуры при фазовых превращениях в твердом состоянии, влияние пластической деформации на структуру, термическая стабильность микроструктуры .

Развитие техники предъявляет новые требования к металлам. Промышленность интересуется не только металлами, находящиеся в стабильном состоянии и обладающие определенными структурой, механическими и физическими свойствами, но и получение новых материалов с управляемой структурой, регулируемые свойствами и техническими параметрами. Решение этой проблемы достигается использованием различных условий кристаллизации и методов получения сплавов, изучением влияния химического состава и различных видов термической обработки, в том числе и нетрадиционных методов воздействия на протекание структурных и фазовых превращений и свойства металлов, особенно для сталей.

*В результате изучения дисциплины студент должен :*

**знать:**

- физические основы структурно-фазовых превращений в сплавах;
- механизмы зарождения новой фазы;
- механизмы роста новой фазы;
- механизмы распада пересыщенных твердых растворов;
- описание кинетики;
- процессы, протекающие в дисперсных средах;
- влияние пластической деформации на структуру металлов;
- структурные превращения в деформированных металлах;
- влияние структуры на физические свойства металлов;

**уметь:**

- анализировать структуру и структурно-фазовые превращения в металлах;
- выбирать режимы нагрева металла при термической обработке сплавов;
- осуществлять выбор методов исследования сплавов, в которых происходят структурно-фазовые превращения.

**владеть:-**

- уметь работать самостоятельно и повышать профессиональный уровень;
- уметь реализовывать комплексный подход к решению проблем в области физического металловедения;
- уметь применять базовые научно-технические знания для решения научных и прикладных задач в области физического металловедения;
- выбирать наиболее эффективное решение при создании определенной структуры в сплаве;
- организовывать и проводить экспериментальные исследования используемых материалов;
- пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, научно-технической и патентной литературой;
- осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям и проектам;
- организовывать свой собственный труд и взаимодействие с другими исполнителями;
- взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Форма получения высшего образования – очная, дневная.

В результате изучения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями.

**Академические компетенции:**

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

**Социально-личностные компетенции:**

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

**Профессиональные компетенции:**

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, методов измерения величин, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-2. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

Взаимосвязь учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» с учебной дисциплиной «Физика твердого тела» состоит в использовании и развитии знаний, изложенных в темах по изучению диаграмм состояния сплавов, кристаллического строения сплавов и зависимости термодинамических функций от параметров сплавов. Знания, полученные при изучении учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» (зародышеобразование новой фазы, рост новой фазы, кинетика фазовых превращений, формирование дисперсных выделений, формирование структуры при кристаллизации) будут использованы в учебной дисциплине «Структурно-фазовые превращения при облучении».

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины 132, из них количество аудиторных часов - 44. Аудиторные занятия проводятся в виде лекций 38 ч, УСП 6 ч.

Занятия проводятся на 4-м курсе в 7-м семестре. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет, экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. **Введение.** Структура металла. Стабильность микроструктуры и фазовые превращения в металлах.
2. **Затвердевание металлов.**
  - 2.1. Зарождение твердой фазы при кристаллизации. Зародышеобразование. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Скорость зародышеобразования.
  - 2.2. Рост кристаллов. Механизмы роста.
  - 2.3. Кинетика кристаллизации, Кинетическая кривая. Теория кинетики кристаллизации без учета столкновения растущих кристаллов. Описание кинетики кристаллизации с учетом столкновений растущих центров.
  - 2.4. Затвердевание сплавов. Коэффициент распределения. Нормальное затвердевание. Распределение примесей и легирующих элементов при затвердевании. Концентрационное переохлаждение. Образование ячеистой и дендритной структур. Кристаллизация эвтектических сплавов. Кристаллизация сплавов, образующих перитектику.
  - 2.5. Бездиффузионная кристаллизация. Микроструктура микрокристаллических материалов. Аморфные металлы. Получение аморфных металлов. Модели структуры аморфных материалов. Кристаллизация аморфных сплавов.
3. **Фазовые превращения в твердом состоянии.**
  - 3.1. Общая характеристика фазовых превращений в твердом состоянии. Особенности фазовых превращений в металлах. Перераспределение компонентов и механизмы перестройки кристаллической решетки. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии.
  - 3.2. Зарождение и рост новой фазы. Механизмы распада пересыщенных твердых растворов. Спинодальный распад. Механизм образования и роста зародышей. Гомогенное зарождение новой фазы. Роль поверхностной энергии и энергии упругих деформаций в образовании зародышей новой фазы. Зарождение новой фазы на поверхности, границах зерен, дислокациях и дефектах упаковки. Образование переходных фаз. Механизмы роста новой фазы. Рост новой фазы, контролируемый атомными процессами на межфазной границе. Рост новой фазы, контролируемый диффузией. Рост двухфазных пластинчатых систем.
  - 3.3. Кинетика фазовых превращений. Кинетические кривые и диаграммы изотермического превращения. Формальное описание кинетики фазовых превращений. Кинетика фазовых превращений в пересыщенных твердых растворах.

3.4. Дисперсные структуры. Уравнение Гиббса-Томпсона. Коалесценция. Сфероидизация. Гомогенизация.

#### **4. Деформированное состояние металла**

4.1. Пластическая деформация металлов. Дислокационная и зеренная структура деформированных металлов. Запасенная энергия деформированного металла. Механизмы упрочнения металла.

4.2. Отжиг деформированного металла. Отдых. Полигонизация. Первичная рекристаллизация. Зарождение центров рекристаллизации. Миграция высокоугловых границ. Кинетика первичной рекристаллизации. Температура рекристаллизации. Собирательная рекристаллизация. Вторичная рекристаллизация.

#### **5. Металловедение железа и сталей.**

5.1. Фазовая диаграмма железа и основные его свойства. Фазы в сплавах железа. Диаграмма состояния железо – цементит.

5.2. Основные превращения в сталях. Аустенизация. Перлитное превращение. Мартенситное превращение. Тонкая структура мартенсита. Изменение механических свойств при закалке на мартенсит. Бейнитное превращение.

5.3. Отпуск сталей. Структурные превращения углеродистых сталей при отпуске. Изменение свойств углеродистых сталей при отпуске. Изменение свойств легированных сталей при отпуске.

### Учебно-методическая карта дисциплины

Номер раздела, ,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>2</b>						
	1.1. Структура металла	2					[1,2,3]	
<b>2</b>	<b>Затвердевание металлов</b>	<b>12</b>				<b>2</b>	[1,3,5,6,7]	
	2.1. Зарождение твердой фазы при кристаллизации.	2					[1,3,5,6] [1,3,5]	
	2.2. Рост новой фазы при затвердевании.	2						
	2.3. Кинетика кристаллизации.	2						
	2.4. Затвердевание сплавов.	4						
	2.5. Бездиффузионная кристаллизация	2						
	Форма текущего контроля						[6]	зачет
<b>3</b>	<b>Фазовые превращения в твердом состоянии</b>	<b>10</b>				<b>2</b>	[1,2,3,4,5,6,7]	
	3.1. Общая характеристика, особенности и классификация фазовых превращений в твердом состоянии.	2					[1,2,4,5]	
	3.2. Зарождение и рост новой фазы в	4					[2,4,5,6]	



	твердом состоянии. 3.3. Кинетика фазовых превращений в твердом состоянии. 3.4. Дисперсные структуры.	2 2				2	[2,4,5] [2,4,5,6]	Контрольная работа
<b>4.</b>	<b>Деформированное состояние металла</b>	<b>6</b>				<b>4</b>	[2,4,5,6,7]	
	4.1. Пластическая деформация металлов. 4.2. Отжиг деформированного металла. Лабораторная работа «Рекристаллизация металлов».	2 4				4	[2,4,5] [2,4,5]	Рефераты
<b>5</b>	<b>Металловедение железа и сталей</b>	<b>8</b>					[3,4,6]	
	5.1. Фазовая диаграмма железа. 5.2. Основные превращения в сталях. 5.3. Отпуск сталей.	2 4 2						
	<b>Форма текущего контроля</b>							Экзамен

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Рекомендуемая литература**

#### *Основная*

1. Фольмар М. Кинетика образования фаз. М.: Мир, 1986.
2. Мартин Дж., Доэрти Р. Стабильность микроструктуры металлов. М.: Атомиздат, 1978.
3. Мозберг Р.К. Материаловедение. М.: Высшая школа, 1991.
4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Metallurgy, 1978.
5. Шепелевич В.Г. Структурно-фазовые превращения в металлах. Мн.: БГУ, 2007.
6. Шепелевич В.Г. Сборник задач по физике металлов и металлостроению. Мн.: Технология, 2000.
7. Шепелевич В.Г. Физика металлов и металлостроение. Лабораторный практикум: учеб. пособие. Минск, Высшая школа, 2012, 166 с.

#### *Дополнительная*

1. 8. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Metallurgy, 1986.
2. 9. Кристьян Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. М.: Мир, 1978.
3. 10. Физическое металлостроение. Т.2. Под ред. Р.У. Канна и П. Хаазена. М.: Metallurgy, 1986.
4. 11. Соколовская Е.М., Гузей Л.М. Металлохимия. М.: МГУ, 1986.
5. 12. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Контрольные работы (тестирование).
2. Реферативные работы.

### **Примерный перечень заданий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине**

#### *Рекомендуемые темы контрольных работ*

1. Фазовые превращения в твердом состоянии.

*Рекомендуемые темы реферативных работ*

1. Сплавы олова, полученные высокоскоростной кристаллизацией.
2. Сплавы цинка, полученные высокоскоростной кристаллизацией.
3. Эвтектические легкоплавкие сплавы.
4. Многокомпонентные припои на основе олова.
5. Многокомпонентные припои на основе цинка.
6. Многокомпонентные припои на основе индия.
7. Многокомпонентные припои на основе висмута.
8. Сверхбыстрая закалка бинарных сплавов легкоплавких сплавов из жидкой фазы.
9. Легкоплавкие сплавы.
10. Информационный поиск по теме «Быстрозатвердевшие сплавы олова» за 1980-2015г.г.
11. Патентный поиск по теме «Припои на основе тройной системы Sn-Bi-In» за 1960-2015 г.г.
12. Патентный поиск по теме « Быстрозатвердевшие припои на основе олова» за 1960-2015 г.г.

## **Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведение аттестации**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Контрольная работа проводится в письменном виде. Каждое из заданий включает в себе 8 вопросов (задач). На выполнение отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа калькуляторы и справочные пособия. Оценка результатов контрольных работ проводится в десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентацией с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится в десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как средняя оценка за контрольную работу и защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости – 0,2, для экзаменационной оценки – 0,8.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика твердого тела,	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № ____ от _____.____.201__
Структурно-фазовые превращения при облучении	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № ____ от _____.____.201__

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на / учебный год

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основания

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.М. Анищик

Лекций: 38 Практических:6 Лабораторных:36	ФНПМ7	Дисциплина специализации Фазовые превращения в металлах	ECTS: 2
Лектор	Профессор кафедры физики твердого тела БГУ, доктор физико-математических наук Шепелевич В.Г.		
Цель спецкурса	Целью курса является усвоение студентами закономерностей формирования структуры в металлах при фазовых превращениях и внешних воздействиях.		
Базовые курсы	Молекулярная физика, термодинамика и статистическая физики, некоторые вопросы кристаллофизики и термодинамики твердого состояния, дефекты в кристаллах		
Содержание	<p><b>1 Введение.</b> Структура металла. Стабильность микроструктуры и фазовые превращения в металлах.</p> <p><b>Затвердевание металлов.</b>2.1. Зарождение твердой фазы при кристаллизации. Зародышеобразование. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Скорость зародышеобразования. 2.2. Рост кристаллов. Механизмы роста. 2.3.Кинетика кристаллизации, Кинетическая кривая. Теория кинетики кристаллизации без учета столкновения растущих кристаллов. Описание кинетики кристаллизации с учетом столкновений растущих центров. 2.4..Затвердевание сплавов. Коэффициент распределения. Нормальное затвердевание. Распределение примесей и легирующих элементов при затвердевании. Концентрационное переохлаждение. Образование ячеистой и дендритной структур. Кристаллизация эвтектических сплавов. Кристаллизация сплавов, образующих перитектику. 2.5. Бездиффузионная кристаллизация. Охлаждение и затвердевание при сверхбыстрой закалке из расплава. Микроструктура микрокристаллических материалов. Аморфные металлы. металлов. Кристаллизация аморфных сплавов.</p> <p><b>2. Фазовые превращения в твердом состоянии.</b> 3.1.Общая характеристика фазовых превращений в твердом состоянии. Особенности фазовых превращений в металлах. Перераспределение компонентов и механизмы перестройки кристаллической решетки. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии. 3.2. Зарождение и рост новой фазы. Механизмы распада пересыщенных твердых растворов. Спинодальный распад. Механизм образования и роста зародышей. Гомогенное зарождение новой фазы. Роль поверхностной энергии и энергии упругих деформаций в образовании зародышей новой фазы. Зарождение новой фазы на поверхности, границах зерен, дислокациях и дефектах упаковки. Образование переходных фаз. Механизмы роста новой фазы. Рост новой фазы, контролируемый атомными процессами на межфазной границе. Рост новой фазы, контролируемый диффузией. Рост двухфазных пластинчатых систем. 3.3. Кинетика фазовых превращений. Кинетические кривые и диаграммы изотермического превращения. Формальное описание кинетики фазовых превращений. Кинетика фазовых превращений в пересыщенных твердых растворах. 3.4. Дисперсные структуры. Уравнение Гиббса-Томпсона. Коалесценция. Сфероидизация. Гомогенизация.</p> <p><b>4. Деформированное состояние металла.</b> 4.1.Пластическая деформация металлов.. Запасенная энергия деформированного металла. Механизмы упрочнения металла. 4.2. Отжиг деформированного металла. Отдых. Полигонизация. Первичная рекристаллизация. Зарождение центров рекристаллизации. Миграция высокоугловых границ. Кинетика первичной рекристаллизации. Температура рекристаллизации. Собирательная рекристаллизация. Вторичная рекристаллизация.</p> <p><b>5. Металловедение железа и сталей.</b> 5.1.Фазовая диаграмма железа и основные его свойства. Фазы в сплавах железа. Диаграмма состояния железо – цементит. 5.2.Основные превращения в сталях. Аустенизация. Перлитное превращение. Мартенситное превращение. Тонкая структура мартенсита. Изменение механических свойств при закалке на мартенсит. Бейнитное превращение. 5.3.Отпуск сталей. Структурные превращения углеродистых сталей при отпуске. Изменение свойств углеродистых сталей и легированных сталей при отпуске.</p>		
Методика преподавания	Лекции		
Литература	1. Фольмар М. Кинетика образования фаз. М.: Мир, 1986. 2. Мартин Дж. Доэрты Р. Стабильность микроструктуры металлов. М.: Атомиздат, 1978.		
Экзаменационная методика	Экзамен		
Примечания			

