

# Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах

(название дисциплины)

## 1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» относится к числу профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы и изучается на 3-м году обучения, в 6-ом (четном) семестре.

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углублённых знаний в области теории диффузии и диффузионно-контролируемых процессов в твёрдых телах, и изучение закономерностей поведения материалов при повышенных температурах. Особое внимание уделено анализу самодиффузии и гетеродиффузии по внутренним границам раздела материала (межзёренным и межфазным границам), влиянию степени неравновесности границ на диффузионные процессы, а также рассмотрению кинетики и особенностей протекания диффузионно-контролируемых структурно-фазовых превращений в ультра-мелкозернистых и нанокристаллических материалах.

Освоение дисциплины «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетк» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования, в первую очередь – в рамках курсов «Физика твердого тела», «Физика металлов, сплавов и керамик», «Физические основы прочности и пластичности» и «Инженерный язык материаловедения», а также на в рамках курса «Актуальные проблемы теории дефектов» (2 год обучения, 4 семестр аспирантуры).

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

### Цель курса:

1. Познакомить аспирантов с современными представлениями о роли диффузионных процессов в формировании структуры и свойств твёрдых тел, понятиями, методами и приложениями современной теории диффузии, контролируемых диффузией структурных перестроек и диффузионных фазовых превращений в кристаллических твёрдых телах.

2. Раскрыть качественные и количественные закономерности, связывающие температурно-зависящие физико-механические свойства твёрдых тел с развитой удельной поверхностью межкристаллитных границ с кинетикой диффузионно-контролируемых процессов.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

- способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям теории диффузионных процессов в материалах различного химического и фазового состава, с различной дефектной структурой, в том числе ультрамелкозернистых, субмикро- и нанокристаллических металлах и сплавах, полученных методами интенсивной пластической деформации, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного

- состояния, физического материаловедения и в смежных областях (ПК-2);
- способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов и явлений, контролируемых диффузией по внутренним границам раздела (неравновесным границам зёрен и межфазным границам), таким как , деформационно - стимулированная зернограницная диффузия, проскальзывание и миграция границ, низкотемпературная и высокоскоростная сверхпластичность модели эволюции структуры и фазового состава материалов при термо-силовых воздействиях воздействиях и др., которые, могут быть использованы при разработке новых технологических процессов получения и обработки перспективных конструкционных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
  - способность самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) (ПК-2);

**Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

<b>Формируемые компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенций</b>
ПК-2	<p>Знать:</p> <p>современные подходы к общему анализу диффузионных процессов в твёрдых телах с микроструктурой, протекающих в неравновесных условиях под воздействием внешних физических полей;</p> <p>- основные физические модели, описывающие основные закономерности диффузии и диффузионно-контролируемых процессов и явлений в конструкционных металлах и сплавах с различным типом кристаллической решётки, химическим и фазовым составом с учётом специфики их структурного состояния.</p> <p>Уметь</p> <p>- использовать фундаментальные знания, полученные в ходе освоения курса и выполнения своей научно-исследовательской работы, для разработки физических моделей диффузии и диффузионно-контролируемых процессов в материалах сложного химического и фазового состава, а также для поиска новых подходов к описанию особенностей их протекания в субмикро- и нанокристаллических материалах с сильно-неравновесной структурой внутренних границ раздела.</p> <p>Владеть</p> <p>-методами экспериментального и теоретического анализа диффузионных процессов, описания кинетики их протекания в средах с микроструктурой в условиях воздействия на материал внешних физических полей (термо-силового нагружения, лазерного облучения и др.);</p> <p>- представлять результаты своих экспериментальных и теоретических работ научному сообществу на различных профильных конференциях и семинарах;</p>

ПК-4	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ключевые физические модели (в том числе междисциплинарного характера) диффузии и диффузионно-контролируемых процессов в материалах сложного химического и фазового состава с развитой дефектной структурой;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать фундаментальные и/или практические результаты (в том числе – междисциплинарного характера), полученные в ходе выполнения своей научно-исследовательской работы, для разработки научных основ технологий получения и обработки новых конструкционных материалов и покрытий различного функционального назначения;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками разработки физических моделей диффузии и диффузионно-контролируемых процессов которые могут быть использованы при разработке технологических операций и процессов получения субмикро- и нанокристаллических материалов и покрытий с уникальными свойствами.</li> </ul>
ПК-5	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физические основы современных методик анализа диффузионных свойств материалов;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать современные физические модели диффузии и диффузионно-контролируемых процессов а также результаты фундаментальных и прикладных исследований, для разработки новых методик прогнозирования свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-способностью осваивать и внедрять новое исследовательское и контрольно-измерительное оборудование для испытания материалов (в том числе - наноматериалов) на термическую стабильность;</li> <li>-способностью осуществлять разработку и внедрение новых методик аттестации диффузионных свойств материалов (в том числе - наноматериалов);</li> <li>- способностью анализа диффузионных свойств материалов, методами анализа кинетики протекания диффузионно-контролируемых процессов в материалах с сложного химического и фазового состава с развитой дефектной структурой.</li> </ul>

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» составляет 2 зачётные единицы (з.е.), всего - 72 часа, из которых 18 часов занятия лекционного типа, 18 часов практических занятий и лабораторных работ, а также 36 часов - на самостоятельную работу обучающегося.

В таблице 2 приведено распределение учебной нагрузки по основным разделам (модулям) дисциплины.

#### **4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Закономерности и модели диффузии в металлах и сплавах различного химического и фазового состава.

Макроскопическая теория диффузии. Микроскопические модели диффузии. Самодиффузия в чистых металлах. Самодиффузия и диффузия растворённых элементов в разбавленных сплавах. Диффузия в концентрированных сплавах. Диффузия по ядрам дислокаций. Диффузионные фазовые превращения в твёрдых телах.

Раздел 2. Закономерности и модели диффузии по внутренним границам раздела.

Феноменологические модели зернограничной диффузии. Классификация режимов зернограничной диффузии по Харрисону. Обобщённые классификации режимов зернограничной диффузии для неподвижных и движущихся границ. Диффузия в движущейся границе зерна. Диаграмма Кана-Баллуффи. Микроскопические теории зернограничной диффузии. Диффузия по неравновесным границам.

Раздел 3. Диффузионно-контролируемые процессы и явления в поликристаллических твёрдых телах.

Делокализация ядер решёточных дислокаций в большеугловых границах зёрен с неупорядоченной атомной структурой. Деформационно-стимулированное проскальзывание и миграция границ зёрен. Возврат дефектной структуры границ зёрен. Динамическая сверхпластичность.

Раздел 4. Особенности протекания диффузионных процессов в субмикро и нанокристаллических материалах, полученных методами интенсивной пластической деформации.

Активированная диффузией ползучесть наноструктурных материалов. Активированная диффузией сверхпластичность ультра-мелкозернистых металлов и сплавов. Особенности протекания диффузионных фазовых превращений в наноструктурных материалах.

#### **5. Аттестация по дисциплине**

Общая аттестация по дисциплине проходит в виде зачета. Допуск к экзамену осуществляется на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по практической работе.

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» аспиранты готовят реферат, зачет / незачет которого является одним из ключевых оснований для зачёта.

Примеры тем рефератов соответствуют разделам изучаемой дисциплины (см. табл. 3).

По итогам изучений отдельных разделов 2 и 3 дисциплины «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» аспиранты готовят отчет по практической (лабораторной) работе, зачет которой является одним из ключевых оснований для получения зачета по дисциплине в целом.

Общая аттестация по дисциплине проходит в виде зачета. Допуск к экзамену осуществляется на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по практической работе.

**Автор:** Перевезенцев В.Н., д.ф.-м.н., проф.