

ОТЗЫВ

о диссертации Фроловой Ксении Петровны на тему «Анализ влияния микроструктуры деформируемого тела на характеристики массопереноса», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 (ранее 01.02.04) – механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации.

Все более широкое распространение на практике получают новые высокопроизводительные материалы, исследованию микроструктуры которых в последнее время уделяется особое внимание. Такие материалы особенно чувствительны к влиянию даже малых концентраций вредных примесей, среди которых наиболее распространенной является водород. Под влиянием различных внешних возмущений могут происходить микроструктурные изменения материала, приводящие к перераспределению полей напряжений, развитию и блокированию пластических деформаций и процессов разрушения. Можно привести целый ряд процессов, в которых необходим учет взаимного влияния внешних воздействий и микроструктурных изменений. К ним относятся фазовые превращения в сплавах и сталях, в частности, в материалах с памятью формы, ориентационные превращения в полимерах, химические реакции, переходы в термотропных и лиотропных жидких кристаллах и многие другие. Для предсказания более точных сроков эксплуатации готовой продукции и предотвращения аварий, вызванных накоплением вредных примесей, важен корректный учет особенностей микроструктуры материала и происходящих на мезоуровне процессов при описании массопереноса. В связи с этим, тема диссертации, направленной на определение эффективных диффузионных свойств трансверсально-изотропного пористого материала с учетом эффекта сегрегации как неидеального межфазного контакта, исследование неоднородного напряженно-деформированного состояния длинного цилиндра с учетом взаимодействия структурных неоднородностей материала в рамках микрополярной теории упругости, а также разработке моделей диффузии с учетом влияния неоднородной микроструктуры в рамках микромеханики и микрополярной теории, является, несомненно, актуальной.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 174 наименований, 34 рисунка, 5 таблиц и изложена на 198 страницах печатного текста.

Достоверность и новизна полученных результатов.

Наиболее значительными новыми результатами диссертации являются:

1. Расширены возможности применения методов гомогенизации, что позволило учесть скачек концентрации материала на межфазной границе при определении эффективных коэффициентов диффузии композита, содержащего неоднородности с заданным распределением по ориентации.
2. С учетом эффекта сегрегации определены и проанализированы эффективные диффузионные свойства трансверсально-изотропного пористого материала, анизотропия которого обусловлена формой и ориентацией пор. Выявлены зависимости эффективных коэффициентов диффузии от параметра сегрегации, объемной доли пор, их формы и распределения по ориентациям.
3. Предложен подход, основанный на определении напряженно-деформированного состояния в рамках микрополярной теории упругости, для описания поверхностных эффектов различной природы, связанных со структурными особенностями материала. Поведение поверхностного слоя описано на примере длинного цилиндра.
4. Разработаны модели диффузии с учётом влияния неоднородной микроструктуры деформируемого твёрдого тела с позиций микромеханики и микрополярной теории.

Проведенный анализ влияния неоднородной микроструктуры на распределение диффундирующего вещества позволил описать локальное увеличение концентрации.

5. Разработаны численные методы решения нелинейных связанных задач определения напряженно-деформированного состояния длинного цилиндра и распределения диффундирующего вещества при учете микроструктуры твердого тела с позиций микро-механики и микрополярной теории.
6. Разработан подход для описания поверхностного эффекта при диффузии водорода в сталях, основанный на учете взаимодействия зерен путем моментных взаимодействий между частицами микрополярной упругой среды.

Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов обусловлена корректной постановкой исследуемых проблем, использованием апробированных ранее гипотез и физических моделей, строгой постановкой математических задач, выполнимостью предельных переходов к известным решениям, адекватностью физическим представлениям о фактически наблюдаемых явлениях, качественным и количественным совпадением с результатами теоретических и экспериментальных исследований других авторов.

Ценность для науки и практики.

С теоретической точки зрения результаты диссертации вносят значительный вклад в механику микронеоднородных сред со сложной структурой при учете происходящих в них диффузионных процессов, а проведенные в работе исследования позволят оценить напрямую влияние микроструктуры на макроскопические свойства материала и выявить размерный эффект на основе построенной модели обобщенных сред. Построение концентрационных профилей способствует выявлению областей с повышенным содержанием диффундирующего вещества и позволяет оценить локальную концентрацию вещества. Особенно это важно в случаях, когда даже незначительное увеличение количества примеси оказывает заметное влияние на свойства материала и его поведение на макроуровне. Полученные в работе результаты могут быть использованы на практике, например, при описании водородной деградации металлов и сплавов, поскольку водород оказывает влияние на свойства материала и его поведение на макроуровне даже при малых концентрациях. В частности, предложенный в работе подход позволяет описать малоисследованный поверхностный эффект при насыщении сталей водородом, влияющий на механизмы водородной деградации, обусловленной экстремальными условиями эксплуатации конструкций в различных областях техники. Помимо водородной деградации металлов и сплавов, проведенный анализ влияния микроструктуры на массоперенос может быть использован, например, в геологии при определении свойств и поведения горных пород, в материаловедении при разработке новых функциональных материалов с внутренней микроструктурой.

Замечания по работе.

1. В связи с достаточно большим количеством обозначений и значительным объемом работы, особенно первой главы, отсутствие перечня этих обозначений очень затрудняет чтение работы.
2. Во ряде случаев возникают вопросы, связанные с отсутствием ссылок или пояснений, например, на стр. 30 утверждается, что «Выражение для тензора концентрации Λ_c может быть получено в явном виде на основании решения задачи Эшелби только для эллипсоидальной неоднородности», то же для тензора Хилла (стр. 31) и для тензора вклада фиктивной области (стр. 40).
3. В целом, работа написана хорошим языком с минимальным количеством описок. Однако две из них имеют принципиальное значение. На стр. 23 сравниваются по величине два

тензора диффузии, а на стр. 105 сравниваются производные и сама функция, которые имеют разные размерности.

4. Отсутствует комментарий к графикам отношений компонент тензоров Хилла на рис. 1.3.
5. Трудно понять фразу на стр. 63: «прямая проверка показывает, что все полученные в предыдущих разделах результаты сходятся к результатам, полученным на основании прямой аналогии между задачами диффузии и тепло- и электропроводности».
6. Графики для интенсивности напряжений на рис. 2.5 (стр. 128) лишены смысла, поскольку построены за пределом упругости.

Указанные замечания не умаляют значимости полученных результатов и не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация К. П. Фроловой является законченным научным исследованием и выполнена на профессиональном уровне. Полученные в ней новые и оригинальные результаты представляют большой практический и теоретический интерес и могут служить богатым методическим материалом для научных и инженерно-технических работников, а также в учебном процессе в ВУЗах.

Основное содержание диссертации изложено в 13-х опубликованных работах автора, из которых 3 в изданиях, входящих в перечень ВАК, 5 – в базы данных Scopus и Web of Science, полно отражено в автореферате.

Диссертационная работа Ксении Петровны Фроловой отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 - механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры вычислительных методов
механики деформируемого тела факультета
прикладной математики – процессов управления СПбГУ



Греков Михаил Александрович

198504, Санкт-Петербург, Университетский пр., 35
С.-Петербургский государственный университет,
Тел.: (812) 4287159, E-mail: m.grekov@spbu.ru

25 мая 2022 г.

