

о диссертации Григорьевой Полины Михайловны «Влияние деформаций высокопрочных конструкционных материалов на транспорт водорода из внешней среды», 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.

Прочность материалов во многом зависит от состояния поверхностного слоя, в котором концентрируются различного рода дефекты, как, например, поры, включения, микротрещины, дислокации, возникшие как в процессе изготовления, так и при эксплуатации под воздействием внешних полей возмущений и окружающей среды. Современные высокопрочные и высокопроизводительные материалы, используемые во многих отраслях техники, особенно чувствительны к влиянию даже малых концентраций вредных примесей, среди которых наиболее распространенной является водород. С развитием технологий и достижением предельных механических и химических характеристик металлов и сплавов, все большее влияние на их прочность оказывает водород. Кроме задач, связанных с водородной деградацией металлических материалов, остро стоит вопросы корректного описания абсорбции и транспорта водорода в металлы, которые возникают при решении проблем хранения и перевозки изотопов водорода. Чтобы обеспечить безопасное функционирование объектов и избежать техногенных угроз требуется разработка новых моделей взаимного влияния эффектов накопления и перераспределения водорода в металле, методов исследования диффузионных процессов водорода в зависимости от физико-химических характеристик материала, его структуры, напряженно-деформированного состояния и внешних механических воздействий. В связи с этим, тема диссертации, нацеленной на универсальное и адаптируемое под различные эксперименты описание диффузионного процесса с помощью линейной неравновесной термодинамики, позволяющей учесть различные аспекты проникания водорода в металлический материал из внешней среды, влияние напряженно-деформированного состояния материала на процесс массопереноса, а также ввести дополнительный канал диффузии по ловушкам в рамках единого подхода, является, несомненно, актуальной.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 184 наименований, 43 рисунка, 3 таблиц и изложена на 142 страницах печатного текста.

Достоверность и новизна полученных результатов.

Наиболее значительными новыми результатами диссертации являются:

1. Исследовано влияние диффузии под действием напряжений на скорость распространения фронта химической реакции. Для описания этих процессов использована модель тензора химического сродства, а также рассмотрена зависимость коэффициента диффузии от механических нагрузок. На основе сформулированной модели зависимости коэффициента диффузии от компонент тензора деформаций решены краевые задачи и исследована кинетика распространения фронта химической реакции в зависимости от приложенных внешних нагрузок в случае плоского, сферического и цилиндрического фронта.

2. Для определения энергии связи водорода в гидриде титана проведены экспериментальные исследования экстракции водорода из его соединения с гидридом титана в форме аморфного порошка. На основании экспериментальных данных методом горячей вакуумной экстракции водорода построены спектры термодесорбции при ступенчатом изменении температуры. При использовании модели Киссинджера, согласно которой распад твердого тела является химической реакцией первого порядка, построены зависимости Аррениуса, из которых были определены значения энергии связи.
3. В рамках линейной неравновесной термодинамики разработана новая модель диффузии газовой компоненты в твердое тело при термомеханическом нагружении. Получено уравнение локального баланса диффузионной составляющей, учитывающее зависимость процесса диффузии от напряженно-деформированного состояния твердого тела; концентрации газовой составляющей внутри него и других термомеханических характеристик. Это уравнение было специфицировано на случай транспорта водорода в металлы из внешней среды, были исследованы влияния напряжений в линейно упругой постановке. Модель специфицирована для случая диффузии водорода в металлы.
4. Проведен анализ влияния напряженно-деформированного состояния и вклада диффузии по ловушкам на примере решения двух краевых задач: осесимметричной задачи о растяжении кругового цилиндра при диффузии водорода через свободную поверхность и плоской задачи о полубесконечной трещине с закругленной вершиной при наличии диффузионного потока через поверхность трещины. Разработаны, построены и апробированы численные методы решения связанных краевых задач диффузии.
5. Разработан и реализован комплексный подход к описанию наблюдаемого в экспериментах образования и поведения поверхностного слоя в металлах, насыщенного водородом,

Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов обусловлена правильной постановкой исследуемых проблем, использованием апробированных ранее гипотез и физических моделей, корректным применением математического аппарата, выполнимостью предельных переходов к известным решениям, адекватностью физическим представлениям о фактически наблюдаемых явлениях, Сравнением численных решений с результатами точных аналитических решений в предельных случаях

Ценность для науки и практики.

С теоретической точки зрения результаты диссертации вносят значительный вклад в развитие моделей и методов исследования процессов, связанных с диффузией водорода в металлы. Это касается, в частности, модели диффузии газовой компоненты в твердое тело при действии термомеханических нагрузок, модели ловушечных мод с использованием тензора повреждаемости, метода решения задач о распространении фронта химической реакции с учетом модели тензорного химического сродства, а также взаимозависимости диффузии и напряженного состояния тела. Решения этих задач позволяют понять, как напряженно-реформированное состояние твердого тела и распределение водорода внутри твердого тела

вливают друг на друга. Кроме того, построенные модели дают возможность объяснить возникновение стабильного насыщенного водородом приповерхностного слоя, наблюдаемого при диффузии водорода в металлы из окружающей среды. 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, предложенные в работе подходы к моделированию диффузии позволяют описать малоисследованный поверхностный эффект при насыщении сталей водородом, т. е. возникновение тонкого приповерхностного слоя, насыщенного водородом. Практическая значимость результатов диссертации заключается также в возможности использовать их при оценке эксплуатационного ресурса конструкций, подверженных воздействию водорода, при определении способов хранения и транспортировки изотопов водорода.

Замечания по работе.

1. Работа содержит ряд погрешностей грамматического и смыслового характера. Например:
 - Стр. 12: ... решения задачи о взаимном влиянии напряженно-деформированного состояния металла на накопление и перераспределение водорода ... Стр. 85: Решения ..., а также выбор модели ... взаимно влияют на распределение водорода внутри твердого тела. Стр. 91: ... уравнение диффузии газа в твердое тело, которое учитывает взаимовлияние напряженно-деформированного состояния этого твердого тела.
 - Стр. 21: ... два подгоночных параметра, размер которых равен некоторому объему.
 - Стр. 16: ... напряженно-деформированного состояния плоской полубесконечной полукруглой трещины.... Стр. 85: ... распределение водорода в среде с плоской полукруглой полубесконечной трещиной. Стр. 100: ... Рассмотрим бесконечное тело с полубесконечной трещиной начального круглого отверстия. Стр. 116: ... плоская задача о полубесконечной полукруговой трещине.
 - Стр. 64: ... для полого цилиндра касательные напряжения являются сжимающими.
2. Формулировка задачи о плоском фронте химической реакции в параллелепипеде содержит неопределенности и может трактоваться по-разному. Поскольку граней, перпендикулярных фронту, четыре, то неясно, какие перемещения или силы заданы на каких гранях. Если одни и те же перемещения или силы заданы на противоположных гранях (как можно понять из формулировки), то параллелепипед будет смещаться, как жесткое целое. Кроме того, рассмотренные случаи граничных условий не гарантируют того, что реализуется плоское напряженное состояние. Для этого нужно еще считать, что размер параллелепипеда в направлении оси x_3 , т. е. перпендикулярно фронту, намного меньше, чем размеры в направлении двух других осей координат.
3. В плоской задаче о диффузионном потоке через поверхность полубесконечной трещины с закругленной вершиной граничные условия (147) и второе условие в (148) на оси симметрии не соответствуют правильной словесной формулировке задачи. Кроме

того, нормальные напряжения в (148), действующие на оси симметрии в направлении этой оси, названы касательными напряжениями.

Несмотря на ряд пропущенных слов, опечаток и погрешностей, указанных в первом замечании, в целом, работа написана хорошим понятным языком.

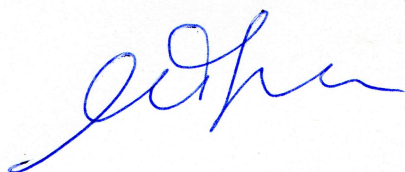
Указанные замечания не умаляют значимости полученных результатов и не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация Полины Михайловны Григорьевой является законченным научным исследованием и выполнена на профессиональном уровне. Полученные в ней новые и оригинальные результаты представляют большой 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 10 опубликованных работах автора, из которых 2 в изданиях, входящих в перечень ВАК, 6 – в базы данных Scopus и Web of Science, полно отражено в автореферате.

Диссертационная работа Полины Михайловны Григорьевой «Влияние деформаций высокопрочных конструкционных материалов на транспорт водорода из внешней среды» 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

8 декабря 2022 г.



08.12.2022

Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.html>

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей