

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.075.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
МАШИНОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.06.2022 г., протокол № 29

О присуждении **Фроловой Ксении Петровне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Анализ влияния микроструктуры деформируемого тела на характеристики массопереноса» по специальности 1.1.8 (ранее 01.02.04) – «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 7 апреля 2022 года (протокол заседания № 9/22) диссертационным советом Д 002.075.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., д. 61, в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации о создании диссертационного совета № 1902-1321 от 10.10.2008, состав совета переутвержден приказом № 532/нк от 25.05.2022.

Соискатель Фролова Ксения Петровна, 1992 года рождения, в 2016 году окончила с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ») с

присуждением квалификации магистра по направлению «Механика и математическое моделирование», в 2020 году окончила аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ») по направлению «Математика и механика». Соискатель работает младшим научным сотрудником в лаборатории прикладных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории прикладных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Вильчевская Елена Никитична, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

– Греков Михаил Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры вычислительных методов механики деформируемого тела факультета прикладной математики – процессов управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» дал положительный отзыв на диссертацию с замечаниями:

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.

– Келлер Илья Эрнстович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук дал положительный отзыв на диссертацию с замечаниями:

1. Параметрическая зависимость от температуры в рассматриваемых изотермических условиях, если бы она учитывалась, по-разному влияла бы на различные механизмы диффузии в связанной постановке. Это дает возможности независимой оценки роли этих механизмов и тех эффектов на концентрационном профиле, которые с ними связываются.

2. Микрополярная среда, вероятно, является не самой подходящей моделью континуума с микроструктурой из обобщенных континуумов. Связь уравнений равновесия и диффузии для микрополярной среды не является полноценной вследствие симметричного запрета связи аксиальных векторов, описывающих моменты и вращения, и полярных скаляров, описывающих дилатацию и концентрационные напряжения, в рамках изотропии. В чем это может проявиться, не ясно.

3. Хотелось бы отметить, что в статистической формулировке задачи растяжения структурно-неоднородного упругого цилиндра концентрация напряжений вблизи границы зависит от осевых напряжений. Подобные вопросы для нелинейной ползучести исследовали Н. Н. Попов и Ю. П. Самарин. По-видимому, в нагруженных осевыми, изгибными либо крутильными усилиями длинномерных конструкциях диффузия должна протекать более интенсивно, чем в свободных. В диссертации источники концентрации напряжений — моменты-пары на границе — не зависят от наличия растягивающей нагрузки.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, в своем положительном отзыве, подписанном Ватульяном Александром Ованесовичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой теории упругости института математики, механики и компьютерных наук им. И. И. Воровича, и утвержденном Метелицей Анатолием Викторовичем, доктором химических

наук, проректором по научной и исследовательской деятельности, указала, что диссертационная работа Фроловой К.П., посвященная развитию моделей, интегральным образом учитывающих влияние микроструктуры на массоперенос в деформируемом твердом теле, представляется актуальной. Отмечено, что в работе развиты континуальные подходы к учету микроструктуры материала при описании массопереноса. Обобщенные в диссертации для учета скачка концентрации на границе раздела фаз композита методы гомогенизации могут быть применены для определения эффективной диффузионной проницаемости широкого класса материалов. В рамках микромеханики и микрополярной теории установлена взаимосвязь между микроструктурой материала и такими характеристиками массопереноса, как коэффициент диффузии и связанные с напряженно-деформированным состоянием термодинамические силы, инициирующие дополнительные потоки диффундирующего вещества, что расширяет область применимости существующих моделей диффузии. Описано и проанализировано явление локального увеличения концентрации, что имеет принципиальное значение при исследовании водородной деградации металлов и сплавов. В частности, смоделирован малоисследованный поверхностный эффект, наблюдаемый экспериментально при насыщении стальных изделий водородом и влияющий на механизмы водородной деградации.

Отмечается, что диссертационная работа Фроловой К.П. «Анализ влияния микроструктуры деформируемого тела на характеристики массопереноса» вносит вклад в развитие механики деформируемого твердого тела в части развития подходов механики сплошных сред к учету влияния микроструктуры на процесс массопереноса посредством введения микроструктурных параметров и дополнительных степеней свободы частиц среды. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. Тема

и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 1.1.8 (ранее 01.02.04) – «Механика деформируемого твердого тела». Диссертационная работа отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Фролова Ксения Петровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

В отзыве ведущей организации, обсужденном и утвержденном на заседании кафедры теории упругости Института математики, механики и компьютерных наук им. И. И. Воровича 6 мая 2022 года, имеются следующие замечания:

1. При моделировании плотности распределения неоднородностей использована функция (1.1.2), вместе с тем, видимо, могут быть использованы и другие законы. Из диссертации неясно, каким образом выбор закона влияет на окончательные результаты по определению осредненных характеристик.

2. Введение постоянного коэффициента сегрегации согласно равенства (1.1.4) накладывает весьма сильные ограничения на концентрационное поле, которое на концентрационной границе имеет разрывы и у функции и нормальной производной. Может оказаться, что краевая задача перестанет иметь решение при некоторой форме границы раздела. Скорее всего, коэффициент сегрегации должен зависеть от координат.

3. В соотношениях (2.1.9) введен параметр N , который играет важную роль в описании погранслоного решения. К сожалению, в значительной части работы рассматривается случай $N = 1$, при котором большинство используемых соотношений теряет смысл (например, касательные напряжения (2.2.11), уравнения (2.2.14)). Согласно (2.15) параметр N всегда

меньше 1, за счет чего можно его полагать равным 1, из текста диссертации неясно.

4. Помимо аналитического решения в задаче для цилиндра построено численное решение на основе разностной схемы. Неясно, каким образом осуществлялась верификация предложенной расчетной схемы.

5. В задаче для цилиндра строится решение задачи типа Сен Венана в моментной теории, имеющее погранслойный характер в окрестности радиальной границы. Вместе с тем отметим, что погранслойный характер решения задачи для цилиндра наблюдается и у торцов. Желательно было бы определить соотношение показателей в погранслойных решениях.

6. Из постановки задачи для цилиндра неясно: 1. каким образом можно приложить распределенный момент на боковой границе цилиндра; 2. каков характер нагружения цилиндрических образцов, при котором концентрация минимальна или вообще отсутствует.

7. Имеется ряд технических замечаний

7.1. на с. 31 имеются обозначения для эллиптических интегралов (неясно, какого типа, от каких аргументов), неполная конкретизация появляется несколько ниже

7.2. на с. 139 имеется текст «модули упругости могут зависеть от радиальной координаты», однако на этой же странице приведены уравнения, в которых модули постоянны (3.1.24)

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе 13 работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ (3 работы в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, и 5 работ в изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science).

Основные результаты автором апробированы в полной мере и соответствуют содержанию диссертации. В диссертации отсутствуют

недостовверные сведения об опубликованных соискателем работах, их виде, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимыми публикациями по теме диссертации являются

Список ВАК Минобрнауки РФ:

1. Фролова К. П. Соотношения между модулем Юнга и коэффициентом диффузии двухфазного материала // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2021. – Т. 14. – №. 1. – С. 177-189.

2. Frolova K. P., Vilchevskaya E. N. Effective diffusivity of transversely isotropic material with embedded pores // Materials Physics & Mechanics. – 2021. – Т. 47. – №. 6. – С. 937-950.

3. Фролова К.П. Определение эффективного модуля Юнга среды с микроструктурой, характерной для водородной деградации // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2020. – Т. 13. – №. 2. – С. 160-174.

Scopus и Web of Science:

4. Frolova K., Vilchevskaya E., Bessonov N., Müller W., Polyanskiy V., Yakovlev Y. Application of micropolar theory to the description of the skin effect due to hydrogen saturation // Mathematics and Mechanics of Solids. – 2021. DOI: 10812865211059223.

5. Frolova K.P., Vilchevskaya E.N. Effective Diffusion Coefficient of a Porous Material Applied to the Problem of Hydrogen Damage // Advances in Hydrogen Embrittlement Study. – Springer, Cham, 2021. – С. 113-130.

6. Frolova K.P., Vilchevskaya E.N., Polyanskiy V.A., Yakovlev Y.A. Modeling the skin effect associated with hydrogen accumulation by means of the micropolar continuum // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2021. – Т. 33. – №. 3. – С. 697-711.

7. Frolova K., Vilchevskaya E., Polyanskiy V., Alekseeva E. Modelling of a hydrogen saturated layer within the micropolar approach // New Achievements in Continuum Mechanics and Thermodynamics. – Springer, Cham, 2019. – P. 117-128.

8. Polyanskiy A.M., Polyanskiy V.A., Frolova K.P., Yakovlev Y.A. Vacuum vs argon technology for hydrogen measurement // Procedia Structural Integrity. – 2018. – Т. 13. – С. 1408-1413.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов (все положительные):

1. Отзыв ведущего научного сотрудника лаборатории динамики и сейсмостойкости бетонных и железобетонных сооружений Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева», к.т.н., доцента Цейтлина Бориса Вениаминовича с замечаниями:

– При упоминании сравнения полученных в первой и второй главе результатов с экспериментальными данными остается неясным, были ли эти экспериментальные данные получены автором (при личном участии автора), либо взяты из литературы.

– Не вполне ясно, чем обоснован выбор конкретного направления распределенного момента или микроповоротов при задании граничного условия (13) на боковой поверхности цилиндра.

2. Отзыв профессора кафедры «Техническая физика и математика» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», д.ф.-м.н., профессора Шоркина Владимира Сергеевича с замечаниями:

– Микротрещины, поры обладают разнообразной формой граничной поверхности. В диссертации рассматриваются только гладкие формы границ этих объектов, хотя могут быть и такие, которые являются

кусочно-гладкими с угловыми линиями и точками соединения гладких участков. Эти линии и точки являются концентраторами напряжений, в окрестностях которых наблюдаются высокие значения их градиентов. Следовательно, здесь процесс диффузии проходит иначе, чем в окрестностях аналогичных пор с гладкой поверхностью. Учитывалось ли это обстоятельство в диссертации?

– Было бы интересно в связи с влиянием диффундирующего водорода на прочность упругого материала рассмотреть задачу о влиянии наводораживания на равновесную длину трещин Гриффитса и, как следствие, величину предела прочности однородной среды с нарушениями сплошности множеством микротрещин.

3. Отзыв директора Института проблем машиностроения РАН - филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», д.ф.-м.н., профессора Ерофеева Владимира Ивановича с замечаниями:

– Поверхностный эффект при насыщении сталей водородом описан и верифицирован на примере цилиндрического образца конкретного радиуса. Остается неясным, как форма образца и, в частности, радиус цилиндра, повлияет на результат качественно и количественно.

– Из автореферата диссертации остается неясным, исследовалось ли в работе влияние неклассических упругих модулей, вводимых в рамках микрополярной теории, на концентрационные профили.

4. Отзыв заведующего лабораторией функционально-градиентных и композиционных материалов научно-образовательного центра «Материалы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет», д.ф.-м.н., старшего научного сотрудника Айзиковича Сергея Михайловича с замечанием:

– Эффективные диффузионные свойства пористого материала находятся в работе при задании скачка концентрации на границе раздела фаз, определяемого неким постоянным параметром сегрегации s . Насколько обосновано введение такого частного граничного условия? Позволяют ли используемые в работе подходы описать эффект запираания диффундирующего вещества в ловушках?

5. Отзыв старшего научного сотрудника лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, к.ф.-м.н. Мурашкина Евгения Валерьевича с замечанием:

– При моделировании диффузии в материале с микротрещинами, инициированными накоплением примеси, не учитывался тот факт, что трещины, как правило, образуются преимущественно по границам зерен. Возможен ли учет данного обстоятельства в рамках разрабатываемых в диссертации подходов?

Во всех отзывах указывается, что автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 (ранее 01.02.04) – «Механика деформируемого твердого тела».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются компетентными и авторитетными учеными в области механики деформируемого твердого тела и механики сплошных сред, ведущими научную деятельность и имеющими научные публикации в областях науки, затрагиваемых диссертацией, а ведущая организация является одним из крупнейших научных центров в области теории упругости, механики обобщенных сред и механики композитов, в котором работают такие авторитетные в данных областях ученые, как д.ф.-м.н., профессор Л.М. Зубов, д.ф.-м.н. М.И. Карякин, д.ф.-м.н., профессор А.О. Ватульян, д.ф.-м.н., профессор А.В. Наседкин и многие

другие, способные оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Впервые предложена модель для описания поверхностного эффекта при накоплении водорода в сталях, при котором практически вся примесь аккумулируется в тонком слое порядка характерного размера структурной неоднородности, что, в свою очередь, может привести к разрушению металла. Механизм поверхностного эффекта **продемонстрирован** на примере длинного цилиндра при задании на боковой поверхности неклассического граничного условия в рамках микрополярной теории, позволяющей учесть взаимодействие структурных неоднородностей на меньшем масштабном уровне.

Для описания локального увеличения концентрации водорода в материале **впервые развита** модель механодиффузии вредной примеси с учетом влияния полей напряжений и деформаций посредством установления **новых** взаимосвязей между микроструктурой и напряженно-деформированным состоянием материала с позиций микромеханики и микрополярной теории.

Проведен анализ влияния неоднородной микроструктуры на диффузионный процесс с позиций микромеханики с учетом сегрегации – скачка концентрации на границе раздела фаз.

Получено аналитическое выражение для тензора вклада изолированной сфероидальной неоднородности в диффузионную проницаемость композита при наличии сегрегации.

Построены оценки эффективной диффузионной проницаемости материала с произвольной микроструктурой и изотропного на макроуровне материала с учетом сегрегации.

Обобщены методы эффективного поля для учета сегрегации при определении эффективной диффузионной проницаемости композита с заданной микроструктурой.

Получены аналитические выражения для определения эффективной диффузионной проницаемости трансверсально-изотропного пористого материала, анизотропия которого обусловлена геометрией микроструктуры, с учетом сегрегации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации

Разработаны новые модели механики сплошных сред для описания локального увеличения концентрации вредных примесей в деформируемых твердых телах с неоднородной микроструктурой, которые находятся в агрессивной среде, что приводит к деградации механических свойств металлов и потере несущей способности металлоконструкций. Для учета влияния неоднородной микроструктуры материала в рамках микромеханики и микрополярной теории **модифицированы** существующие модели диффузии, что позволяет использовать их при моделировании массопереноса и расчете напряженно-деформированного состояния металлоконструкции в агрессивной внешней среде.

Решена задача гомогенизации для определения тензора вклада изолированной сфероидальной неоднородности с учетом сегрегации, являющейся частным случаем неидеального контакта на границе раздела фаз композита. Полученные зависимости могут быть использованы для определения эффективной диффузионной проницаемости композитов.

Получены соотношения для определения эффективной диффузионной проницаемости композита, состоящего из изотропной матрицы и изотропных сфероидальных неоднородностей с заданным распределением по ориентациям, с учетом сегрегации – постоянного скачка концентрации диффундирующего вещества на границе раздела фаз композита.

Получено решение краевой задачи типа Сен-Венана для цилиндра в рамках микрополярной теории при задании на боковой поверхности неклассического граничного условия. На основании полученного решения типа пограничного слоя **предложен** подход к описанию поверхностных эффектов различной природы, связанных с наличием структурной неоднородности.

Разработаны численные методы и программное обеспечение для решения нелинейных связанных задач об определении напряженно-деформированного состояния длинного цилиндра и распределения примеси с учетом неоднородной микроструктуры твердого тела с позиций микромеханики и микрополярной теории.

С помощью разработанных методов и программного обеспечения **решены** конкретные связанные задачи в рамках микромеханики и микрополярной теории, на основании полученных решений **проведен** качественный и количественный анализ влияния неоднородной микроструктуры материала на распределение диффундирующей примеси.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что они могут быть использованы при описании массопереноса в деформируемых твердых телах со сложной внутренней структурой, для оценки эффективных коэффициентов диффузии газовых примесей в широком классе композитов и в поликристаллических материалах. Разработанные подходы и уточненные модели диффузии могут быть использованы для прогнозирования возникновения областей с повышенным содержанием диффундирующего вещества, которые существенно влияют на механические характеристики, несущую способность и прочность конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах. На основании предложенного в работе подхода описан малоисследованный поверхностный эффект при диффузии водорода в сталях, оказывающий непосредственное влияние на механизмы водородной деградации.

Полученные в работе результаты также имеют приложения в механике горных пород и новых функциональных материалов со сложной внутренней структурой.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что

- В ходе исследования использовались апробированные в литературе гипотезы и общепризнанные фундаментальные методы механики сплошных сред, теории упругости, термодинамики, микромеханики и теории обобщенных сред.

- Полученные в работе результаты моделирования качественно и количественно соответствуют имеющимся в научной литературе и полученным в процессе исследований экспериментальным данным.

- При фиксации анализируемых в работе параметров и пренебрежении влиянием ряда учтенных в работе факторов полученные решения сводятся к известным и апробированным.

Личный вклад соискателя состоит в

- Непосредственном участии в формулировке и постановке целей и задач диссертационного исследования.

- Разработке общих подходов, новых моделей, методик расчета и программного обеспечения для анализа влияния микроструктуры деформируемого твердого тела на массоперенос.

- Построении аналитических и численных решений задач об определении эффективных свойств композитов, напряженно-деформированного состояния материала и распределения диффундирующего вещества в твердом теле, проведении анализа и интерпретации полученных результатов и массива экспериментальных данных.

- Непосредственном участии в подготовке публикаций по теме диссертации и апробации результатов исследования на конференциях и семинарах.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Микрополярная среда, вероятно, является не самой подходящей моделью континуума с микроструктурой из обобщенных континуумов. Связь уравнений равновесия и диффузии для микрополярной среды не является полноценной вследствие симметричного запрета связи аксиальных векторов, описывающих моменты и вращения, и полярных скаляров, описывающих дилатацию и концентрационные напряжения, в рамках изотропии. В чем это может проявиться, не ясно.

2. Введение постоянного коэффициента сегрегации накладывает весьма сильные ограничения на концентрационное поле, которое на концентрационной границе имеет разрывы и у функции и нормальной производной. Может оказаться, что краевая задача перестанет иметь решение при некоторой форме границы раздела. Скорее всего, коэффициент сегрегации должен зависеть от координат.

3. Микротрещины, поры обладают разнообразной формой граничной поверхности. В диссертации рассматриваются только гладкие формы границ этих объектов, хотя могут быть и такие, которые являются кусочно-гладкими с угловыми линиями и точками соединения гладких участков. Эти линии и точки являются концентраторами напряжений, в окрестностях которых наблюдаются высокие значения их градиентов. Следовательно, здесь процесс диффузии проходит иначе, чем в окрестностях аналогичных пор с гладкой поверхностью.

Соискатель Фролова К.П. согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, привела собственную аргументацию и указала, что уравнения равновесия и диффузии в представленной в диссертации постановке задачи в рамках микрополярной теории не являются полностью связанными ввиду отсутствия учета влияния примеси на вращение частиц микрополярной среды. При этом формально

можно было бы учесть, что накопление диффундирующего вещества приводит не только к дилатационному расширению материала, но и к вращению частиц, что позволило бы решить полностью связанную задачу в рамках микрополярной теории, но потребовало бы построения более сложного определяющего соотношения для напряжений и введения неизвестных параметров материала. При этом преимуществом использования микрополярной теории является возможность описания поверхностного слоя, состояние которого отлично от состояния основного объема материала, в том числе и при отсутствии примеси. Соискателем отмечено, что постоянный коэффициент сегрегации рассматривался в диссертации как простейший случай неидеального контакта на границе раздела фаз композита, при задании которого было возможно аналитически решить задачу об осреднении полей. При этом именно такое условие рассматривается в литературе при попытке учесть скачок концентрации в рамках методов микромеханики. Введение такого условия обосновано при относительно небольших концентрациях примеси. Рассмотрение такого частного вида неидеального контакта позволило качественно оценить влияние сегрегации, что и было одной из целей работы. Рассмотрение более сложных типов неидеального контакта является отдельной задачей, требующей дальнейших исследований. Параметр сегрегации, по всей видимости, должен зависеть от концентрации, что приведет к нелинейной постановке задачи, которая может не иметь аналитического решения. Полученные в работе формулы могут быть применены для определения свойств материала с эллипсоидальными неоднородностями, для которых имеется аналитическое решение задачи Эшелби. В диссертации проводился анализ влияния сфероидальных неоднородностей на эффективные свойства. В случае неэллипсоидальных неоднородностей задача Эшелби не имеет аналитического решения, рассмотрение таких неоднородностей выходит за рамки исследования.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация

Фроловой Ксении Петровны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842.

На заседании 16 июня 2022 года диссертационный совет принял решение за разработку новых моделей механики сплошных сред для учета влияния микроструктуры деформируемого тела на характеристики массопереноса на основании подходов микромеханики и микрополярной теории присудить Фроловой Ксении Петровне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета Д 002.075.01,

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Индейцев

Дмитрий Анатольевич



Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.075.01,

д.т.н.

Седакова

Елена Борисовна

16 июня 2022 г.