

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Давыдова Сергея Андреевича на тему «Анализ напряжённо-
деформированного состояния упругих сред с учётом тепломассопереноса»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого
твёрдого тела

1. Структура и оформление диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников из 187 наименований и трех приложений и содержит 120 страниц текста, включая 27 рисунков. По структуре и оформлению диссертация и автореферат диссертации соответствуют установленным требованиям. Обзор работ по теме диссертации помещен в раздел 1.1, математическая модель выведена в разделе 1.2, задачи поставлены в разделах 1.3-1.4, аналитическому решению задач посвящены разделы 1.5, 2.1-2.5, 3.2-3.5 и приложения, а изучению процессов — разделы 3.1-3.3.

2. Актуальность темы диссертации.

Изучение влияния динамического нагружения на протекание взаимной диффузии в металлических сплавах с учетом теплопроводности безусловно является актуальной научной задачей, результаты решения которой требуются для проектирования технологических процессов плазменной ионной имплантации изделий для создания защитных покрытий, понимания особенностей изменения химического состава диффузионной зоны при лазерной ударной обработке поверхности, а также понимания особенностей протекания процессов при высокоскоростных воздействиях в зависимости от частоты повторений и масштабного фактора, что может быть важным для создания изделий микроэлектроники. Акцент заголовка диссертации на едва ли измеримом изменении напряженно-деформированного состояния упругого тела вследствие протекающих в нем процессов диффузии тепла и компонент, не уменьшает научной ценности проделанной работы и полученных результатов.

3. Теоретические результаты диссертации и их научная новизна.

Построена связанная модель многокомпонентной диффузии в упругом теплопроводном теле, в которой учтены перекрестные термодинамические коэффициенты, перекрестные коэффициенты диффузии и релаксация потоков тепла и компонент, предназначенная для изучения протекания стационарных и нестационарных процессов при динамических воздействиях. Поставлен минимальный набор краевых задач, решение которых достаточно для построения решений любых других одномерных задач.

Дано решение в квадратурах означенных задач и всех их специализаций, сопровождающихся изменением структуры собственных значений. Использовано преобразование Лапласа по времени и представление зависимости от координат рядом или интегралом Фурье. Все необходимые прямые и обратные преобразования, а также обращения матриц, проделаны в замкнутом виде с применением компьютерной алгебры системы Maple, благодаря чему возможные ошибки сведены к нулю. Это представляется главным новым научным достижением работы, дающим инструмент для получения точных результатов и приближенных оценок влияния связанности процессов и инерции при распространении упругих, тепловых и диффузионных возмущений на различных пространственных и временных масштабах.

Полученные решения применены для исследования влияния связанности процессов и инерции на протекание нестационарных одномерных процессов в слое и установлено, что такое влияние в ряде случаев оказывается существенным.

Эти основные результаты диссертации фактически указаны в автореферате и диссертации в качестве положений, выносимых на защиту.

4. Практическая значимость результатов диссертации.

Аналитические решения задач могут быть использованы для проектирования режимов динамических процессов обработки поверхности металлических изделий лазером либо плазмотроном в широком диапазоне изменения характерных времен и масштабов. Все параметры модели представляют собой физические константы, определяемые из экспериментов

в рамках линейного поведения материала при механических, тепловых и диффузионных воздействиях на него.

5. Достоверность результатов диссертации. Уравнения связанной модели многокомпонентной диффузии в упругом теплопроводном теле выведены из первопринципов механики и термодинамики континуума. Для решения нестационарных краевых задач использованы апробированные для линейных моделей методы математической физики. Для полученных решений проделаны предельные переходы к исследованным ранее частным случаям. Все аналитические выкладки проделаны в системе компьютерной алгебры, благодаря чему исключены возможные ошибки.

6. Апробация работы. Диссертационная работа С.А. Давыдова в достаточной мере опубликована и апробирована. Основные положения работы опубликованы в десяти рецензируемых научных журналах, большинство из которых рекомендовано ВАК для публикации результатов по специальности механики деформируемого твердого тела, и докладывалась на двух десятках международных и всероссийских конференций по данному профилю. Работа выполнялась в рамках проекта РФФИ, результаты которых проходят полноценную научную экспертизу.

7. Вопросы и замечания по содержанию работы.

1. При выводе уравнений модели не выписано выражение для скорости диссипации энергии W_d , положительность которой не должны нарушать обобщенные законы Фурье и Фика.

2. Приведенные на с.25 граничные условия на величины $P + \tau \partial P / \partial t$ $J^{(q)} + \tau_q \partial J^{(q)} / \partial t$, фиксирующие градиенты температуры и химических потенциалов, а не потоки тепла и массы (как обычно), не являются предельным случаем соответствующих балансовых уравнений, и их происхождение стоило бы пояснить.

3. При постановке задач и получении решений не используется зависимость переменных состава (4), которая сократила бы порядок системы на два. Для бинарной системы переменные состава подчиняются уравнению $\eta^{(1)} + \eta^{(2)} = 0$, обезразмеренные $n_0^{(1)}\eta_1 + n_0^{(2)}\eta_2 = 0$, откуда в любом случае сбалансированные значения должны иметь разные знаки. Но на рис.3.3-3.4 знаки одинаковы для любых x, t , а на рис.3.23-3.24 отношение η_1 / η_2 при

любом x , хотя и имеет отрицательный знак, но существенно зависит от времени, что можно интерпретировать только наличием еще одной компоненты.

4. В задаче I не объяснен монотонный рост неоднородности распределения состава по толщине слоя при импульсном динамическом воздействии, сопровождающий исчезновение начальной неоднородности упругих перемещений и температур. По видимому, на существенно бóльших временах эта неоднородность распределения состава должна постепенно исчезать (возвращаясь к термодинамически равновесному состоянию)?

5. В задаче II термодинамически равновесное состояние, к которому стремится система со временем, должно отвечать приложенному напряжению, но, судя по тенденциям на рис.3.6-3.8, это состояние совпадает с термодинамически равновесным состоянием $\mathcal{S} \equiv 0$, $\eta_1 \equiv 0$, $\eta_2 \equiv 0$ в отсутствии приложенного напряжения. Чем объяснить такую неединственность?

6. Исследовано влияние а) перекрестной диффузии и б) релаксации потоков на протекание нестационарных процессов, проведено сравнение распространения волны растяжения-сжатия, инициированной на границах, с упругой моделью. Однако методология исследования не позволяет трактовать полученные различия научными знаниями, т.е. четкими качественными или количественными закономерностями. В системе имеется спектр скоростей распространения термоупругодиффузионных волн и времен релаксации, связанных с диффузией и теплопроводностью, и исследование вкладов соответствующих механизмов должно проводиться на различных характерных временных интервалах.

8. Заключение по диссертации.

Квалификация автора диссертации как научного работника в области механики деформируемого твердого тела соответствует степени кандидата физико-математических наук. Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, выводы обоснованы. Работа

базируется на достаточном объёме новых содержательных теоретических результатов, которые вносят заметный вклад в соответствующий раздел механики деформируемого твердого тела.

Полагаю, что диссертационная работа Давыдова Сергея Андреевича на тему «Анализ напряжённо-деформированного состояния упругих сред с учётом тепломассопереноса», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является завершённым научным исследованием, выполненным на высоком научно-методическом уровне, соответствует специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» и имеет важное научное и практическое значение. Рецензируемая диссертационная работа отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.03.2013 года (в редакции от 28.08.2017 года), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

заведующий лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) — филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
доктор физико-математических наук (01.02.04), доцент

Келлер Илья Эрнстович

Служебный телефон: +7(342)2378307 E-mail: kie@icmm.ru

Служебный адрес: 614018, г.Пермь, ул. Акад. Королёва, д.1, ИМСС УрО РАН

10 ноября 2020 года



Келлер И.Э.
Левина (Ушкова)