

Отзыв

на автореферат диссертации Ефремова Дениса Сергеевича

«Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в структурированных сплошных средах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела

Работа посвящена исследованию механизмов деформации и переноса импульса в структурированных сплошных средах, обусловленных коллективными свойствами ансамблей дефектов сдвига.

Экспериментальное исследование твёрдых тел (алюминий-магниевого сплава АМгб) и структурированных сред (глицерин; среды, применяемые в технологии гидроразрыва пласта на основе гуара и сурфогеля, гидравлическое масло) в широком диапазоне скоростей деформации для изучения связи механизмов деформации с коллективными явлениями, в ансамблях локализованных сдвигов является **актуальной** задачей, востребованной при разработке и создании экспериментальной установки и методики для исследования закономерностей гидролюминесценции в диапазоне скоростей деформации $\sim 10^5 \div 10^6 \text{ с}^{-1}$.

Автором диссертации Ефремовым Д.С. получен ряд важных в научном и практическом отношениях результатов. Наиболее значимыми, на наш взгляд, являются следующие:

- экспериментальные данные о пространственно-временной локализации пластического течения сплава АМгб на стадии развитой пластической деформации. Определение области реализации механизмов деформирования множественными локализованными сдвигами и инициирования разрушения;
- выявление статистической автомодельности пространственно-временной динамики флуктуаций напряжений пластического течения в сплаве АМгб, что позволило обосновать предположение об универсальности механизма переноса импульса в структурированных сплошных средах по механизму псевдопластического сдвига;
- предложено обоснование степенной зависимости вязкости от скорости деформации с учётом давления для структурированных сплошных сред в широком диапазоне интенсивностей нагружения с величиной показателя, характерного для псевдопластического течения, обусловленного множественными дефектами сдвига;
- получены новые экспериментальные данные о закономерностях развития гидролюминесценции и сонолюминесценции при интенсивных течениях структурированных сплошных сред; установлено существование порогового значения скорости сдвига $10^5 \div 10^6 \text{ с}^{-1}$ и степенного закона распределения сигналов гидролюминесценции, ассоциируемые с псевдопластическим механизмом переноса импульса.

В целом, в автореферате показана актуальность диссертационной работы, степень разработанности темы, цель и задачи работы, научная новизна, связь работы с государственными программами и НИР, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность результатов, отмечены публикации по работе, личный вклад автора, структура и объем диссертации. Результаты получены с использованием экспериментальных методов исследования на современном оборудовании. Автор работы продемонстрировал навыки владения современными методами исследования структуры и свойств материалов различного класса. Материалы диссертации широко опубликованы в печати: 12 статей в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК и входящих в базу цитирования *Scopus* и *Web of Science*, 26 публикаций в материалах конференций. Получен 1 патент на изобретение.

По прочтению автореферата возникли следующие замечания:

1. На стр. 5 автореферата автор указывает: «Доказана необходимость учета множественных локализованных сдвигов в структурированных сплошных средах и их роли в механизмах переноса импульса в соответствующих диапазонах скоростей

деформирования». Во-первых, не понятно, об импульсе чего идет речь? Во-вторых, термин «структурированная сплошная среда» имеет очень широкое трактование, в то время как указанная формулировка была предложена для жидких сред.

2. На стр. 6 автореферата автор упоминает: «статистическую автомодельность пространственно-временной динамики флуктуаций напряжений пластического течения в сплаве АМгб, позволившую обосновать предположение об универсальности механизма переноса импульса в структурированных сплошных средах по механизму псевдопластического сдвига». Еще раз приходится признать, что в автореферате не введено четкого определения импульса, перенос которого является предметом исследований. Кроме того, пластический сдвиг есть суть релаксационный процесс, возникающий вследствие приложения к материалу внешней нагрузки. Подобные пластические сдвиги развиваются на микромасштабном уровне вследствие действия концентраторов напряжений на более высоких масштабно-структурных уровнях. Не совсем очевидно, что в этом случае следует рассматривать в качестве источника подобного типа импульса, а также откуда и куда он при этом передается?
3. На стр. 9 автореферата автор указывает: «отмечается, что в отличие от механизма «диффузии импульса», традиционно рассматриваемого в жидкостях, энергия типичных носителей механизма переноса импульса при пластическом течении (дислокаций, микросдвигов) существенно превосходит kT и недостающий энергетический вклад обеспечивается флуктуациями упругого поля, фононным спектром». Не совсем очевидно, как «носители механизма переноса импульса», имеющие релаксационную (диссипативную) природу, могут выступать носителем импульса, как механизма переноса энергии? Кроме того, диффузионные процессы характеризуются низкой скоростью протекания, в то время как рассматриваемые в работе скорости нагружения (для жидкостей) относятся к быстропротекающим процессам.
4. На стр. 12 автореферата указано: «существование идентичных негауссовых статистических распределений флуктуаций напряжений пластического течения в сплаве АМгб и флуктуаций момента при течении жидкостей при больших числах Рейнольдса позволяет высказать предположение о существовании единого механизма переноса импульса пластическим сдвигом [1-4]». Упоминаемые автором флуктуации наиболее вероятно вызваны неустойчивостью развития процессов, что в том числе связано с особенностью внутренней структуры деформируемого твердого тела (его кристаллическим строением). Однако течение жидкости определяется иными механизмами (молекулярными), в том числе взаимодействием жидкости со стенками. В этом отношении высказанное предположение требует более системного обоснования. Это в полной мере касается и фразы на стр. 13 автореферата: «установлено, что глицерин при достижении определённых сдвиговых нагрузок теряет оптическую однородность в областях с критической скоростью сдвига, представляющих собой тонкий цилиндрический слой с «разрушенной» структурой (рис. 6)».
5. На стр. 18 автореферата указано: «Явление ГЛ связывается с формированием коллективных мод сдвига, аналогично сценариям формирования мод локализованного сдвига при пластической деформации твёрдых тел при достижении пороговых значений скорости деформации $\epsilon \sim 10^5 \text{ с}^{-1}$. Характер такого перехода сопровождается резким изменением диссипативных свойств жидкости, проявлением которых является ГЛ [9-12]». Следует согласиться с точкой зрения о том, что гидролюменесценция в жидкостях и выделения тепла в твердых телах являются проявлением диссипации энергии. Также справедливо мнение о том, что в условиях высоких скоростей нагружения поведение твердых тел может напоминать таковое для жидкостей. Однако, явление люменесценции следует относить скорее к

фотонным эффектам, нежели к изменению ее диссипативных свойств. Хотя последнее вполне может их сопровождать.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и, зачастую, открывают направления для дискуссии. Они не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования. Диссертационная работа «Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в структурированных средах» является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям ВАК РФ (Постановление Правительства РФ №842 в редакции от 16.10.2024 г.), предъявляемых к кандидатским и докторским диссертациям, а ее автор Ефремов Денис Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Заведующий лабораторией механики полимерных композиционных материалов
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор
Панин Сергей Викторович
(специальность 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела)

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Ефремова Д.С., исходя из нормативных документов Правительства, Минобрнауки РФ и ВАК, в том числе на размещение их в сети Интернет на сайте ИМСС УрО РАН, на сайте ВАК, в единой информационной системе.

Панин С.В.

Старший научный сотрудник
лаборатории механики полимерных композиционных материалов
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
(специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния)
Корниенко Людмила Александровна

Согласна на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Ефремова Д.С., исходя из нормативных документов Правительства, Минобрнауки и ВАК, в том числе на размещение их в сети Интернет на сайте ИМСС УрО РАН, на сайте ВАК, в единой информационной системе.

Корниенко Л.А.

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт физики прочности
и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук
г. Томск, проспект Академический 2/4, 634055
Тел. +7 (3822) 286-904
E-mail: svp@ispms.ru, rosmc@ispms.ru

Подписи Панина С.В. и Корниенко Л.А. удостоверяю
Ученый секретарь ИФПМ СО РАН, к.ф.-м.н.

Матолыгина Н.Ю.

18 сентября 2025 г.