

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ефремова Дениса Викторовича «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА В СТРУКТУРИРОВАННЫХ СПЛОШНЫХ СРЕДАХ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация Дениса Викторовича Ефремова «Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в структурированных сплошных средах» посвящена актуальной проблеме механики деформируемого твердого тела – исследованию закономерностей переноса импульса в структурированных сплошных средах, обусловленных коллективными свойствами локализованных сдвигов. Работа носит комплексный экспериментальный характер и объединяет исследования в области динамического деформирования твердых тел и реологии сложных сред. В ней изучаются закономерности пластического течения в алюминиево-магниевого сплавах, особенности деформации и вязкого течения полярных жидкостей и структурированных растворов полимеров, а также явления гидро- и сонолюминесценции в интенсивных потоках. **Актуальность** исследования обусловлена необходимостью понимания механизмов переноса импульса в конденсированных средах при высокоинтенсивных воздействиях. Полученные результаты важны для разработки физически-обоснованных моделей и методов оценки динамической прочности материалов, используемых в условиях высоких скоростей деформации, ударно-волновых и кавитационных процессов, а также в технологиях гидроразрыва пласта и энергосберегающих технологий деформирования. Связь между пластическим течением и турбулентностью открывает новые перспективы для исследований.

Новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Экспериментально показано и обосновано существование двух критических точек при множественной локализации пластической деформации в условиях проявления

- эффекта Портевена–Ле Шателье, определяющих различную коллективную динамику локализованных сдвигов;
2. Установлена статистическая автомодельность пространственно-временной динамики флуктуаций напряжений пластического течения в сплаве АМгб, что позволило обосновать универсальность механизма переноса импульса в различных типах структурированных сплошных сред;
 3. Выявлена универсальная степенная зависимость вязкости структурированных сред в широком диапазоне интенсивностей нагружения, характерная для псевдопластического течения, связанного с множественными дефектами сдвига;
 4. Экспериментально показано существование порогового диапазона скоростей деформации (10^5 – 10^6 с⁻¹), соответствующего возникновению эффектов гидро- и сонолюминесценции, ассоциированных с формированием множественных локализованных сдвигов;
 5. Предложены новые трактовки явления гидролюминесценции и даны методические рекомендации для диагностики условий инициирования кавитационных режимов.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается использованием современной экспериментальной базы: сервогидравлической испытательной машины Shimadzu AG-300, высокоточного калориметрического комплекса Netzsch STA «Jupiter» 449, реометров Anton Paar и Physica MCR501, а также оригинальных установок для исследования локализации сдвигов и явлений гидро- и сонолюминесценции. Полученные данные хорошо воспроизводимы, согласуются с результатами других авторов и физически непротиворечивы.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в развитии представлений о роли множественных локализованных сдвигов в механизмах переноса импульса, введении новых интерпретаций явления гидролюминесценции и разработке методических подходов к диагностике кавитационных режимов. Полученные результаты могут найти применение при создании материалов с прогнозируемыми свойствами, в задачах динамической прочности и в прикладных технологиях, связанных с воздействием высокоинтенсивных потоков энергии.

Содержание диссертации полностью **соответствует паспорту специальности 1.1.8** Механика деформируемого твердого тела, включая следующие направления: 1. Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях; 2. Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых; 3. Устойчивость процессов деформирования; 4. Динамика деформируемого твердого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры.

По теме диссертации **опубликовано** 39 работ, в том числе 12 статей в журналах из перечня ВАК, 8 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, 5 статей в сборниках материалов конференций, индексируемых в Scopus, 1 патент, а также 26 публикаций в материалах российских и международных конференций. Это полностью соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 126 страницах, содержит 66 рисунков и 6 таблиц. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 127 наименований. Структура работы логична и отражает последовательное решение поставленных задач.

Представим содержание диссертационной работы.

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи работы, приведены положения, выносимые на защиту, а также показана практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** приведён аналитический обзор литературы по проблеме переноса импульса в конденсированных средах. Рассмотрены традиционные диффузионные механизмы в жидкостях и процессы локализованного сдвига в твердых телах. Обсуждаются эффекты Френкеля, Сахарова и Дерягина, показана роль сдвиговой упругости жидкостей и структурированных растворов, рассмотрены особенности эффекта Портевена–Ле Шателье и явлений гидро- и сонолюминесценции.

Во **второй главе** изложены результаты экспериментального исследования закономерностей пластического деформирования алюминиево-магниевого сплава АМгб. Рассматриваются процессы множественной локализации пластической деформации, эффект Портевена–Ле Шателье, проводится статистическая обработка флуктуаций напряжения течения. Представлены результаты калориметрических исследований, позволивших оценить баланс запасённой энергии и диссипативных процессов.

В **третьей главе** исследуются механизмы локализации сдвигов и реологические свойства структурированных сплошных сред (глицерин, растворы полимеров, жидкости для гидроразрыва пласта и др.). Проведены измерения вязкости различными методами (метод Стокса, коаксиальные цилиндры, конус–плоскость, электрический взрыв проводника). Разработана структурно-феноменологическая модель вязкости и выполнены исследования сред с добавлением расклинивающих материалов.

В **четвёртой главе** представлены экспериментальные данные по исследованию явлений гидро- и сонолюминесценции в структурированных средах при высоких скоростях сдвига ($\sim 10^5$ – 10^6 с⁻¹). Проведен статистический анализ сигналов с фотоумножителей и высокоскоростной видеосъемки. Разработана двухконтурная экспериментальная

установка, позволившая установить связь между гидролюминесценцией и процессами кавитации.

В заключении собраны основные результаты работы: обосновано существование двух критических точек в условиях эффекта Портевена–Ле Шателье, установлена универсальная степенная зависимость вязкости структурированных сред, выявлена статистическая автомодельность флуктуаций напряжений, предложены новые трактовки явления гидролюминесценции.

По работе может быть высказан ряд замечаний:

1. Не согласованы размерности в формуле на странице 33. Судя по выражению $\sigma(\varepsilon) = \sigma_0 + \theta \varepsilon^n$ коэффициент деформационного упрочнения θ должен иметь размерность напряжений (Па), однако ниже вводится следующее определение этого коэффициента $\theta = G^{-1} d\sigma/d\varepsilon$, исходя из которого θ - безразмерная величина.
2. Не указано, проводились ли повторные опыты по деформированию образцов из АМгб в одинаковых условиях и насколько воспроизводимыми являются результаты статистического анализа интервалов и амплитуд флуктуаций напряжения.
3. Не обсуждается влияние скорости деформации на положение критических точек, в которых наблюдается резкое увеличение характерных времен «релаксации» при деформировании образцов из АМгб.
4. На рисунке 2.8 зависимости запасенной энергии от деформации показаны в виде точек с вертикальными интервалами, однако смысл этих интервалов в тексте не расшифрован.
5. Экспериментальные исследования автомодельных закономерностей механизмов неустойчивости пластического течения металлов могли бы смотреться более убедительными при использовании более широкого спектра материалов и условий.

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки работы, которая представляет собой значительный научный интерес и вносит вклад в понимание фундаментальных механизмов динамики деформации.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Дениса Викторовича Ефремова «Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в структурированных сплошных средах» является завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором содержатся новые и значимые результаты в области механики деформируемого твердого тела. Можно сделать вывод, что по объему исследований, их глубине, научной и практической значимости рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторской диссертации, в частности, п.п. 9-11, 13, 14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а ее автор, Ефремов Денис

Константинов Александр Юрьевич,

AKonf

Т. А. Лапорова

