

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе *Ефремова Дениса Викторовича* на соискание степени кандидата физико-математических наук по теме «Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в структурированных сплошных средах» по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы исследования. В диссертации изучены закономерности развития неупругих деформаций твердых (металлы) и жидких конденсированных средах. Сделана попытка найти общие закономерности деформирования конденсированных сред, демонстрирующих пластическое и псевдопластическое поведение. Подобные исследования привлекали и привлекают внимание многих ученых в течение всего XX века, а также в наше время.

Экспериментальное исследование процессов пластического течения металлов и псевдопластического течения жидкостей и локализации деформации имеет большое **фундаментально-научное значение**, поскольку расширяет и обобщает научные представления о природе неупругих деформаций конденсированных сред, устанавливает связь течения жидкостей с явлениями гидролюминесценции и сонолюминесценции. Таким образом тема диссертации *Д.В. Ефремова*, очевидно, является актуальной и имеющей большое научное значение.

Практическая значимость результатов диссертации обусловлена разработкой новых методов исследования локализации пластических деформаций твердых тел и жидкостей, использующих в том числе явления гидролюминесценции и сонолюминесценции, что имеет также большое значение для исследования кавитации. Созданная автором экспериментальная установка может быть применена для диагностики смазываемых узлов трения, создание средств трибодиагностики, использующих связь кавитационной эрозии с закономерностями сонолюминесценции.

Важно, что работа выполнена в связи с государственным заданием министерства Науки и высшего образования РФ; проектами РФФИ и РНФ; проекта, поддержанного правительством Пермского края.

Основные результаты Среди результатов диссертации следует особо выделить следующие наиболее важные результаты.

Прежде всего, это разработка новых оригинальных методик изучения гидролюминесценции и сонолюминесценции. В результате автору удалось разделить эти два явления и подтвердить их "электрическую" (не тепловую) природу. Созданная для данных исследований установка может быть использована для исследования кавитации на поверхности материалов. Другим важным результатом является установление связи между локализацией сдвига в вязких жидкостях с зависимостью их вязкости от скорости деформации. Именно, падение вязкости с ростом скорости сдвиговой деформации приводит к неустойчивости однородного сдвига и формированием поверхностей локализованного сдвига. Предложено объяснение перехода к локализованной пластической или псевдопластической деформации, основанное на развитии коллективных форм движения деформационных сдвиговых дефектов. Еще одним результатом является установление связи между двумя критическими точками появления и затухания эффекта Портевена – Ле Шателье и накоплением упругой энергии деформационных дефектов (коэффициентом Тейлора –Куини). Показано, что интервал деформаций, в котором наблюдаются скачки напряжений, соответствует максимальным значениям упругой энергии.

Новизна полученных результатов. К новым результатам следует отнести выявление на кривой деформирования металлов критических точек, которые соответствуют интенсивному накоплению и высвобождению упругой энергии дефектов и между которыми проявляется эффект Портевена – Ле Шателье; обоснование предположения об универсальности сдвигового механизма переноса импульса в конденсированных средах; установление степенного закона

зависимости вязкости; экспериментальное доказательство существования порогового значения скорости деформации, после которого возникает сонолюминисценция и гидролюминисценция.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием современных приборов и методов исследования, воспроизводимостью результатов, согласием результатов и выводов с данными, полученными другими исследователями.

Апробация работы. Основные результаты были опубликованы в 12 работах, в том числе в журналах из списка ВАК министерства Науки и высшего образования России, в изданиях, индексируемых базами РИНЦ, Scopus и Web of Science;. Результаты исследования доложены и обсуждены на семинарах института Механики сплошных сред УрО РАН, были представлены на всех основных всероссийских и международных конференциях, тематика которых соответствует области исследований, выполненных в рамках диссертации, в том числе 5-ти Всероссийских конференциях «Зимняя школа по механике сплошных сред», 3-х международных симпозиумах «Неравновесные процессы в сплошных средах», 2-х международных конференциях «Физическая мезомеханика материалов», Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», Петербургских чтениях по проблемам прочности, международной конференции «Актуальные проблемы прочности» и ряде других конференций.

Оформление работы

В целом работа написана ясным научным языком, изложение методов исследования и полученных результатов является логичным и последовательным. Иллюстрации, отражающие результаты работы, понятны. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Задачи и цели работы сформулированы четко, подробно описаны выполненные эксперименты и выводы по результатам диссертации.

Замечания по диссертации относятся к отдельным недостаточно четким обоснованиям выводов, некоторым неточностям формулировок и опечаткам.

1. На с.12 утверждается, что "механизм переноса импульса в жидкостях – диффузионный" и, поэтому "Время релаксации неравновесного состояния в жидкостях оценивается в соответствии со скоростью самодиффузии". Ввиду этого в формуле (1.1.) использован коэффициент самодиффузии.

Однако, молекулы жидкости, взаимодействуя, могут обмениваться импульсом, поэтому диффузия импульса не сводится к самодиффузии молекул и коэффициент диффузии импульса не должен совпадать с коэффициентом самодиффузии.

2. На с.31 утверждается, что "Качественное изменение функции распределения свидетельствует о корреляции зон локализации пластического течения на масштабе образца". Представляется, что качественное изменение функции распределения – не достаточное обоснование именно факта корреляции зон локализации пластического течения.
3. На с. 62 не сказано, на каком основании отождествляются характерные времена «релаксации» и интервалы следования импульсов. Не указано, релаксация чего имеется в виду.
4. На с.84 утверждается, что "можно заметить, что область линейной вязкоупругости заканчивается (сплошные линии с кружками), примерно при скорости деформации $\dot{\epsilon} = 2 \text{ с}^{-1}$ для обеих исследуемых сред." Однако для гуара (открытые кружки) это не видно".
5. С.90: при обсуждении зависимости напряжения Гюгонио от максимальной скорости деформации говорилось, что "показатель степени $m = 4$ для всех материалов, а коэффициент a зависит от материала". В эмпирических законах, обычно константы не имеют точных значений и зависят от материала, что, по-видимому, должно относиться и к показателю m .
6. на с.91 утверждается, что: "соответствие показателей степени для вязкоупругого ПАВ

(–0,85) и гуара (–0,43) степенной зависимости $\eta \sim (\dot{\epsilon}^p)^{-3/4}$ следующей из работ по исследованию пластических волновых фронтов в твёрдых телах, указывает на

автомодельный характер переноса импульса в заданном диапазоне интенсивностей нагружения". Однако, значения показателей $-0,85$ и $-0,43$ достаточно сильно отличаются от $-3/4$ (0.75).

7. С.106: неясно, что такое "скорость начала микровзрыва $J(\tau)$ " и почему она есть функция τ , которое по-видимому есть время ожидания начала микровзрыва.
8. Имеется ряд неточных формулировок и опечаток, например, следующие.
 - (а) на с. 4 записано: "Для реализации такого механизма в жидкостях, в отличие от традиционного, определяемого kT , необходимы флуктуации, порождаемые акустическими модами". Получается, что некоторый механизм определяется kT .
 - (б) на с. 12 записано: "величина G_x имеет тот же порядок величины, что и величина сдвиговой упругости соответствующего твердого тела". Неясно, что автор имеет в виду под "соответствующим" твердым телом.
 - (в) на с.14 говорится, что " $k=\beta ia$ – комплексное волновое число жидкости". Данная терминология некорректна.
 - (г) На с. 17 приведена формула: $p_{ik} = n \int s_{ik} W(s, \vec{v}, \vec{l}) ds d^3 \vec{v} d^3 \vec{l}$. Поскольку $\vec{v}$ и $\vec{l}$ – орты, задаваемые двумя независимыми компонентами, неясно, почему использованы обозначения $d^3 \vec{v}$ и $d^3 \vec{l}$.
 - (д) на с. 29. перепутаны объяснения обозначений μ_z и μ .
 - (е) на с. 31 используется неясный термин "диссипативный масштаб".
 - (ж) имеется опечатка в формуле $\theta = G^{-1} d\sigma/d\varepsilon$ на с.33.
 - (з) с.34: термины "автоволна переключения", "фазовая автоволна", коллапс автоволнового процесса" не являются общепринятыми, но их разъяснений не приведено.
 - (и) с.35: непонятно, что изображено на рис. 1.12.
 - (к) с.42: в подписи к рис.1.16 не разъяснено обозначение 9. Не подписано, где сделана зачистка изоляции струны.
 - (л) с.63-64. Не разъяснены обозначения D_t и D_σ . Неясно, что имеется в виду: стандартное отклонение t и σ или их логарифмов. Не указано, что такое P_σ и P_t .
 - (м) в подписи к рис. 3.13 используется термин "угол сдвига фаз среды" Это явно – жаргон.
 - (н) с.101: в формуле $V_{\max} = Q/S$ имеется опечатка. Правильно: $V_{\max} = 2 Q/S$.
 - (о) не разъяснены обозначения P на рис. 4.10 и 4.11.

Сделанные замечания не изменяют общего положительного заключения по диссертации.

Диссертация *Ефремова Дениса Викторовича* на тему: «Экспериментальное исследование механизмов переноса импульса в структурированных сплошных средах» соответствует основным требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а соискатель Ефремов Денис Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Профессор кафедры теории упругости
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»,
доктор физико-математических наук,

« 19 » 09 2025 г.

 / Волков Александр Евгеньевич /

Игорю Игоревичу Волкову
уверенно
ПОМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИК
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
ГУОРП
ОС СУВОРОВА
