

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Банниковой Ирины Анатольевны

«Автомодельные закономерности деформирования и разрушения сплошных сред при интенсивных воздействиях», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность

Работа посвящена экспериментальному исследованию релаксационных свойств конденсированных сред при сжатии и растяжении в условиях ударно-волновых воздействий. Полученные результаты исследования являются важными для понимания механизмов деформирования и разрушения перспективных материалов, и могут быть использованы для развития теоретических подходов к описанию их поведения. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, а также содержит список литературы из 249 работ.

Тематика диссертации, несомненно, актуальна. Полученные современные представления о механизмах деформирования и разрушения, использование возможностей ударно-волнового нагружения и систем регистрации высокого временного разрешения открывают широкие перспективы для разработки универсальных методов исследования реологических свойств и разрушения конденсированных сред, обусловленных многомасштабными структурными эффектами.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена современным представлениям о процессах деформирования и разрушения конденсированной среды, исследованию ее физико-механических свойств методами квазистатического, динамического и ударно-волнового нагружения. Механические свойства конденсированных сред в широком диапазоне скоростей деформации обусловлены многомасштабными механизмами структурной релаксации, которые проявляются на макроскопическом уровне в виде соответствующих определяющих соотношений вязкого, упругопластического деформирования, кинетических уравнений накопления поврежденности. Одним из перспективных экспериментальных методов, позволяющим исследовать релаксационные свойства и стадийность накопления поврежденности при разрушении, является техника ударно-волнового нагружения, совмещенная с процессом регистрации массовой скорости методом доплеровской интерферометрии. При этом измерения реализуются на

масштабах времен, близких к временам структурной релаксации и отражающим многоуровневую кинетику зарождения и роста дефектов, кинетику фазовых превращений.

Во второй главе описаны методики, предложенные для определения релаксационных свойств и разрушения конденсированных сред при ударно-волновом нагружения. Параграф 2.1 посвящен методике работы на установке электровзрыва проводника, приведены внешний вид и принципиальная схема экспериментальной установки. Приведены режимы электровзрывного нагружения, оценка давления и энергии ударно-волнового импульса, инициированного взрывом медного проводника.

В третьей главе представлены экспериментальные и теоретические результаты исследования релаксационных свойств в жидкостях при инициировании ударно-волнового импульса методами электрического взрыва проводника (ЭВП) и взрывного генератора (ВГ).

В четвертой главе приведены основные результаты экспериментального исследования разрушения керамических (Al_2O_3) трубчатых образцов, погруженных в жидкость (дистиллированная вода), под действием ударно-волнового нагружения, которое инициировалось коаксиальным электрическим взрывом проводника.

Основные результаты и выводы.

1. Развита методика по исследованию релаксационных свойств и разрушения конденсированных сред с использованием импульсного (ударно-волнового) нагружения методом электрического взрыва проводника (ЭВП) и методом взрывного генератора (ВГ).

2. Разработано программное обеспечение для анализа сигналов, полученных с использованием интерференционной оптоволоконной системы VISAR, с целью получения профилей скорости свободной поверхности для исследований релаксационных свойств, откольной прочности и механизмов разрушения конденсированных сред (жидкостей, керамики).

3. Реализована экспериментальная программа по исследованию релаксационных свойств и разрушения жидкостей (дистиллированная вода, технический глицерин, силиконовое масло, трансформаторное масло) при различных температурах в интервале скоростей деформации $105 \div 107$ 1/с методом ЭВП (на базе Института механики сплошных сред УрО РАН) и методом ВГ (на базе Института проблем химической физики РАН).

4. Проведен анализ на основе данных доплеровской интерферометрии (система VISAR) профилей скорости свободной поверхности, релаксационных свойств и разрушения жидкостей при различных амплитудах, энергиях импульсного нагружения и температурах.

5. Исследованы автомодельные закономерности формирования ударно-волновых фронтов и разрушения жидкостей, сопоставление с данными по формированию автомодельных волновых фронтов и разрушения твердых тел при импульсном нагружении.

6. Разработан подход по исследованию статистических закономерностей фрагментации хрупких (керамических) материалов с использованием метода ЭВП в жидкости для реализации схемы «сохранения фрагментов».

7. Развита метод исследования статистических закономерностей фрагментации на основе анализа цифровых изображений фрагментов и ансамбля пор («метод фотографии») с целью выявления автомодельных многомасштабных закономерностей разрушения керамик.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием апробированных экспериментальных методик, большой статистической выборкой измерений, высокой степенью воспроизводимости экспериментальных результатов, соответствием экспериментальных результатов известным литературным данным и результатам, полученных в данной работе различными методами.

В диссертации сформулированы следующие новые научные результаты и выводы:

1. Установлены автомодельные закономерности формирования волновых фронтов в жидкостях в диапазоне скоростей деформации $\dot{\epsilon}^* \sim 10^5 \div 10^7$ 1/с.

2. Обоснован вывод о неньютоновском (псевдопластическом) механизме переноса импульса в исследованных жидкостях в диапазоне скоростей деформации $\dot{\epsilon}^* \sim 10^5 \div 10^7$ 1/с.

3. Установлена зависимость откольной прочности полярных и неполярных жидкостей от скорости деформации ($\dot{\epsilon} \sim 10^4 \div 10^5$ 1/с).

4. Установлена зависимость откольной прочности глицерина от температуры в интервале скоростей деформации $\dot{\epsilon} \sim 10^4 \div 10^5$ 1/с.

5. Обоснован вывод о многомасштабном характере зарождения и роста дефектов (пор) в керамике Al_2O_3 и жидкостях в диапазоне скоростей деформации $\dot{\epsilon} \sim 10^4 \div 10^5$ 1/с.

6. Обоснован механизм разрушения керамик в интервале скоростей деформации $\dot{\epsilon}^* \sim 10^5 \div 10^7$ 1/с в соответствие с установленными типами статистических распределений фрагментов по размерам.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Полученные результаты исследований служат экспериментальной основой верификации широкодиапазонных определяющих соотношений и могут быть использованы для развития теоретических подходов к описанию поведения конденсированных сред, стадийности разрушения, включая статистические закономерности фрагментации.

Выводы, следующие из полученных результатов исследований, способствуют более глубокому пониманию закономерностей повреждения и разрушения конденсированных сред.

Разработанные методики исследования механизмов релаксации и разрушения могут быть распространены на различные типы перспективных материалов и использоваться при подготовке высококвалифицированных специалистов в области физики конденсированных сред.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты диссертационной работы Банниковой Ирины Анатольевны представляют интерес для организаций и предприятий, выполняющих НИОКР по исследованию поведения конденсированных сред в условиях высокоскоростного нагружения. Материалы диссертации могут быть рекомендованы для использования в учреждениях Российской академии наук, таких как Институт Механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт физики и прочности материалов СО РАН (г. Томск), Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Институт теоретической и прикладной механики СО РАН (г. Новосибирск), институтах РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск), РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров); вузах Российской Федерации МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва), СПбПУ (г. Санкт-Петербург), ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород), ПНИПУ (г. Пермь) КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева (г. Казань), НИ «Томский политехнический университет», НИ «Томский государственный университет» и др.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Текст диссертации и автореферата написаны в научном стиле, хорошо иллюстрированы.

К замечаниям по диссертации можно отнести следующее:

1. Работа, несомненно, выиграла, если бы диссертант привел обоснование выбранного ряда исследуемых конденсированных сред (дистиллированная вода, технический глицерин, силиконовое масло, трансформаторное масло), а также указал область их

применения.

2. Следовало бы привести более подробные сведения о личном вкладе автора в модернизацию и усовершенствование установки ЭВП нагружения.

3. Во второй главе диссертации в параграфе 2.2 приводится алгоритм для анализа сигналов, полученных при помощи системы VISAR, с целью получения профилей скорости свободной поверхности. Представленный алгоритм был запрограммирован в программный код, однако отсутствуют сведения об используемых компьютерных платформах, операционных системах, расчетных сетках, времени счета, что затрудняет оценку универсальности разработанного программного обеспечения.

Сформулированные замечания, носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы И.А. Банниковой.

Указанные недостатки не снижают научных достоинств диссертации. Полученные в ней результаты являются новыми и представляют несомненный научный интерес.

Основные результаты диссертации представлены и опубликованы в 38 научных работах, в том числе 9 статей в журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, 2 статьи в российских научных журналах, переводные версии которых индексируются Springer, 1 статья в российском научном журнале, индексируемом Scopus, 5 статей в зарубежных электронных научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus), 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 28 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских съездов, школ, научных конференций (из них 2 зарубежные конференции). В опубликованных работах достаточно полно отражены результаты диссертационного исследования. Результаты диссертационной работы представляют ценность для современной механики деформируемого твердого тела.

Диссертация Банниковой Ирины Анатольевны является законченной научной квалификационной работой, в которой содержится решение задачи установления автомодельных закономерностей механизмов релаксации и разрушения конденсированных сред при интенсивных нагрузках.

На основании анализа актуальности темы диссертации, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизны можно сделать следующие заключения:

Диссертация «Автомодельные закономерности деформирования и разрушения сплошных сред при интенсивных воздействиях» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям (Пункт 9), а ее автор, Банникова Ирина Анатольевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,
Ученый секретарь
Отдела структурной макрокинетики
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Томского научного центра
Сибирского отделения
Российской академии наук

634055, г. Томск,
пр. Академический, 10/4,
<http://www.tsc.ru/>,
т. 492-294, maks@dsm.tsc.ru
E-mail: bliz3@yandex.ru

кандидат физико-математических наук _____ Иванова Оксана Владимировна
"09" августа 2017 г.

Подпись О.В. Ивановой заверяю

Главный ученый секретарь
Томского научного центра СО РАН



А.Б. Марков