ФАНО РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФПМ СО РАН)
Просп. Академический, д. 2/4, г. Томск, 634055
Для телеграмм: Томск - 55, Прочность
Телефон: (3822) 49–18–81
Факс: (3822) 49–25–76
E-mail: root@ispms.tomsk.ru
http://www.ispms.ru

29 АВГ 2017 № 15329-00/1064

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ».
Директор Института
чл.-к. РАН
С.Г. Псахье
«19» августа 2017

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Банниковой Ирины Анатольевны «Автомодельные закономерности деформирования и разрушения сплошных сред при интенсивных воздействиях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации

На современном этапе исследований достигнуто ясное понимание того, что механические свойства конденсированных сред, как твердых тел, так и жидкостей помимо химического и фазового состава в значительной мере определяются кинетикой изменения их внутренней структуры. Эти изменения, как правило, развиваются на различных пространственных и временных масштабах. Это отражает тот факт, что при наличии внешних воздействий существенную роль начинают играть играют коллективные моды смещений атомов с разными характерными временами и длинами корреляции. Данная

особенность наиболее ярко проявляется при интенсивных воздействиях на среду, когда она испытывает большие деформации или разрушается. Возбуждение таких коллективных мод в конденсированных средах при ударно-волновом нагружении проявляется в степенной зависимости скорости деформации от амплитуды нагружения (автомодельные закономерности). Теория структурных превращений в сплошных средах при интенсивных воздействиях развита слабо, отчасти по причине недостаточной экспериментальной изученности процессов релаксации в неравновесных системах. По этой причине поставленные в диссертационной работе Банниковой И.А. задачи являются актуальными.

Общая характеристика структуры и содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем работы - 168 страниц, список литературы включает 249 наименований.

Во *введении* сформулированы цели и задачи диссертации, обоснована их актуальность и новизна. Также сформулированы положения, выносимые на защиту, и приведены сведения об апробации диссертации и публикациях.

В *первой главе работы*, изложенной на 56 страницах, проведен подробный обзор методов исследования релаксационных свойств, включая разрушение, конденсированных сред в условиях ударно-волнового нагружения. Глава содержит три раздела. Вначале рассмотрены: поведение конденсированной среды, существующие модели зарождения и роста пор, вязкость жидкостей при различных амплитудах нагрузки, особенности фрагментации твердых тел. Затем рассмотрены методы нагружения конденсированной среды (взрывные генераторы, газовые пушки, электромагнитные ускорители, мощные лазерные импульсы, электрический взрыв проводников). Приводятся основные результаты, полученные этими методами. В последнем разделе анализируются методы регистрации профилей скорости свободной поверхности (емкостные, электромагнитные, контактные датчики, лазерный до-

пплеровский измеритель скорости, интерференционная система VISAR) и профилей давления. На основе проведенного обзора сделан выбор методов нагружения среды, используемых в работе. К ним относятся: взрывные генераторы (разработка ИПХФ РАН), электрический взрыв проводников (ИМСС УрО РАН). Для непрерывной регистрации ударно-волновых профилей скорости свободной поверхности выбор сделан в пользу допплеровской интерференционной системы VISAR, обладающей высокой пространственной и временной разрешающей способностью.

Во *второй главе работы* изложены методики, которые использовались при изучении релаксационных свойств и разрушения конденсированных сред при ударно-волновом нагружении. Приведены режимы электровзрывного нагружения на установке электрического взрыва проводника, проведена оценка давления и энергии ударно-волнового импульса. Подробно рассмотрена методика измерения массовой скорости с использованием интерференционной системы VISAR. Приведены основные соотношения для расчёта скорости свободной поверхности, скорости деформации на фронте волны сжатия и растяжения, определения сдвиговой вязкости жидкости, а также формулы для вычисления откольной прочности, амплитуды напряжений на фронте волны сжатия. Для исследования статистических закономерностей разрушения трубчатых образцов под действием электрического взрыва проводника в жидкости предложены два метода. Помимо традиционного метода «взвешивания» разработан оригинальный метод определения массы фрагментов, основанный на численной обработке изображений фрагментов. Этот метод позволяет значительно сократить время обработки и повысить качество статистического анализа.

Третья глава работы посвящена экспериментальному исследованию поведения жидкостей при ударно-волновом нагружении. Исследовались четыре жидкости: дистиллированная вода, глицерин, силиконовое масло «марки ВМ-1С», трансформаторное масло марки «ТМ-1». Последние две жидкости исследовались при разных температурах: глицерин при четырех, а транс-

форматорное масло при двух. При создании ударной нагрузки использовались метод электрического взрыва проводника и метод взрывного генератора. Обработка профилей скорости свободной поверхности позволила получить ряд интересных результатов. Отметим лишь некоторые из них. Во-первых, установлено, что в диапазоне скоростей деформации $\sim 10^5 \div 10^7$ c^{-1} во всех исследованных жидкостях зависимость скорости деформации от амплитуды импульса сжатия имеет степенной характер и отражает автомодельный характер переноса импульса. Это указывает на то, что в условиях проведенных экспериментов при сжатии и растяжении жидкости происходит возбуждение коллективных мод смещений частиц среды. Во-вторых, зависимость откольной прочности от скорости деформации зависит от химического состава и строения молекул жидкости. Так, например, указанная зависимость в диапазоне скоростей $\sim 10^4 \div 10^5$ c^{-1} имеет степенной характер только для воды и глицерина. Показано, что откольная прочность глицерина возрастает с понижением первоначальной температуры жидкости. Это свидетельствует о том, что тепловое движение атомов и молекул необходимо принимать во внимание при описании быстропротекающих процессов. В третьих, на основе анализа экспериментальных данных обоснован вывод о многомасштабном механизме зарождения и росте пор, предшествующему формированию зоны откола. Обосновано предположение, что зависимость откольной прочности от скорости деформации определяется механизмом релаксации с характерным временем порядка 10^{-5} с.

В четвертой главе работы приведены и проанализированы экспериментальные данные по разрушению трубчатых образцов из хрупкого материала (керамика Al_2O_3) в воде под действием электрического взрыва проводника. Такая постановка эксперимента позволила, во-первых, сохранить продукты разрушения, во-вторых, исключить дополнительные процессы фрагментации в образовавшихся фрагментах. Показано, что начальная пористость керамики влияет на образование 3D фрагментов. На основе проведенного статистического анализа 2D и 3D фрагментов установлено, что в

диапазоне скоростей деформации ~ $10^5 \div 10^7$ c^{-1} 2D фрагменты имеют экспоненциальное распределение по массе, а 3D – степенное. Показано, что при увеличении закачанной в образец энергии экспоненциально-степенное распределение переходит в степенное. Другими словами, возрастает вклад коллективных мод в процессы диссипации энергии и импульса.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Полученные результаты отличаются новизной и вносят существенный вклад в развитие физики быстропротекающих процессов в конденсированных средах. Наиболее значимым результатом является установление автомодельных закономерностей механизмов релаксации и разрушения конденсированных сред при ударно-волновом нагружении. Этот результат доказывает многомасштабный характер процессов сжатия, растяжения и разрушения конденсированных сред и должен учитываться при изучении быстропротекающих процессов в конденсированных средах.

Практическая ценность диссертационной работы

Полученные результаты и методики исследования механизмов релаксации могут найти применение в исследованиях по физике конденсированных сред, деформации и разрушения твердых тел, проводимых в различных научных и учебных заведениях: Физико-технический институт РАН, Институт проблем химической физики РАН, Институт физики твердого тела РАН, Институт машиноведения УрО РАН. Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Институт гидродинамики им. М.М. Лаврентьева СО РАН, Институт теплофизики СО РАН, Институт сильноточной электроники СО РАН, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, а также в других организациях, использующих многомасштабные подходы при разработке материалов с многоуровневой структурой.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы

Достоверность полученных результатов достигается использованием апробированных экспериментальных методик, соответствием полученных экспериментальных результатов известным литературным данным и совпадением результатов, полученных разными методами.

По теме диссертации опубликовано 38 работ. Среди них 9 статей, опубликованных в научных журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 28 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских съездов, школ, научных конференций.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает результаты исследований.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе исследовались четыре жидкости, однако физические соображения их выбора представлены слабо.

2. В работе показано, что при увеличении скорости деформации сдвиговая вязкость воды уменьшается, а глицерина и силиконового масла возрастает. Но возможные причины такого поведения не обсуждаются. Было бы уместно привлечь и литературные данные (при их наличии).

3. В самом начале диссертации (6 строка сверху) сказано, что «Мезоскопические дефекты …по своей природе являются флуктуациями поля смещений…». С этим утверждением трудно согласиться. Дело в том, что для образования мезоскопического дефекта необходимо когерентным образом сместить большое (порядка ста и более) число атомов (или молекул). Вероятность такой флуктуации ничтожно мала.

Указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы и могут рассматриваться в качестве рекомендаций для дальнейших исследований.

Заключение

По поставленным целям и задачам, содержанию и методам исследования диссертация Банниковой И.А. соответствует паспорту научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела (физико-математические науки) по п. 1 «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых».

Диссертационная работа Банниковой И.А. «Автомодельные закономерности деформирования и разрушения сплошных сред при интенсивных воздействиях» является логически завершенным самостоятельным научным исследованием. Совокупность научных результатов можно квалифицировать как научное достижение в области разработки экспериментальных подходов к исследованию свойств жидкостей и твердых тел при интенсивных воздействиях. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а диссертант Банникова И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв заслушан на объединенном семинаре лаборатории физики прочности и лаборатории физики нелинейных сред ИФПМ СО РАН, протокол №475 от 28 августа 2017 г. Отзыв составили:

Заведующий лабораторией физики прочности ИФПМ СО РАН
д.ф.-м.н., профессор _____ Зуев Лев Борисович

Заведующий лабораторией физики нелинейных сред ИФПМ СО РАН
д.ф.-м.н., профессор _____ Хон Юрий Андреевич