

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.1.055.2,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ГИДРОДИНАМИКИ
ИМ. М.А. ЛАВРЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.12.2024 № 1

О присуждении Краусу Александру Евгеньевичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Определение прочностных свойств гетерогенных материалов при динамических воздействиях» по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 14 октября 2024 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 24.1.055.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 15, приказ о создании диссертационного совета от 26.09.2023 № 1842/нк.

Соискатель Краус Александр Евгеньевич, 1996 года рождения, работает младшим научным сотрудником в лаборатории физики быстропротекающих процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТМП СО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, г. Новосибирск.

Диссертация выполнена в ИТПМ СО РАН. Научный руководитель – Шабалин Иван Иванович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории термомеханики и прочности новых материалов.

Официальные оппоненты:

Радченко Павел Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор, научный сотрудник, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск;

Сапожников Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, профессор кафедры технической механики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), г. Нижний Новгород, в своем положительном заключении, подписанном заведующим лабораторией динамических испытаний материалов Научно-исследовательского института механики (НИИМ) ННГУ доктором технических наук Браговым Анатолием Михайловичем и утвержденным проректором по науке и инновациям ННГУ кандидатом физико-математических наук Грязновым Михаилом Юрьевичем, указала, что полученные результаты имеют важное теоретическое и прикладное значение, диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Краус Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается авторитетностью и компетентностью официальных оппонентов, и широкой известностью достижений ведущей организации в области наук, по которой

выполнена диссертация.

Соискатель имеет более 18 работ, опубликованных по теме диссертации. Из них 6 статей опубликовано в журналах, входящих в список ВАК, 12 статей – в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, В этих работах общим объемом 18,8 печатных листа полностью отражены результаты диссертации и положения, выносимые на защиту. Все результаты получены соискателем лично либо при его непосредственном участии. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Научные работы по теме диссертации в изданиях из перечня ВАК:

1. Краус А.Е., Краус Е.И., Шабалин И.И. Стойкость керамик к удару в численном эксперименте // Прикладная механика и техническая физика. 2020. Т. 61. № 5 (363). С. 190-198.
2. Краус А.Е., Краус Е.И., Шабалин И.И., Бузюркин А.Е. Эволюция ударного импульса в гетерогенной упругопластической среде // Прикладная механика и техническая физика. 2021. Т. 62. № 3 (367). С. 147-157.
3. Краус А.Е., Краус Е.И., Шабалин И.И. Моделирование процессов группового удара по гетерогенной преграде конечной толщины // Журнал СФУ. Математика и физика. 2021. Т. 14. № 6. С. 700-711.
4. Краус А.Е., Краус Е.И., Шабалин И.И., Бузюркин А.Е. Определение эффективного динамического предела текучести гетерогенных материалов // Прикладная механика и техническая физика. 2024.
5. Краус А.Е., Краус Е.И., Шабалин И.И., Бузюркин А.Е. Идентификация свойств и величины предельного откольного разрушения гетерогенных материалов в динамических процессах // Физическая мезомеханика, 2024, т. 27, № 1. С. 64-80.
6. Краус А.Е., Краус Е.И., Шабалин И.И., Бузюркин А.Е. Сравнение реакции гомогенной среды на динамическое воздействие одиночного и сегментированного стержней// Журнал СФУ. Математика и физика. 2024. Т. 17. №1. С. 115-125.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов:

1. От кандидата технических наук, Спивака А.И., старшего научного сотрудника НИИ СМ АО «НПО Спецматериалов», доцента, г. Санкт-Петербург.

2. От член-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, Садовского В.М., главного научного сотрудника, заведующего отделом вычислительной механики деформируемых сред Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, профессора, г. Красноярск.

3. От доктора технических наук, Аптукова Валерия Нагимовича, заведующего кафедрой фундаментальной математики ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», профессора, г. Пермь.

4. От доктора физико-математических наук Скрипняка Владимира Альбертовича, заведующего кафедрой механики деформируемого твердого тела. ФГАОУВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», профессора, г. Томск.

5. От доктора физико-математических наук Смолина Игоря Юрьевича, заведующего лабораторией нелинейной механики метаматериалов и многоуровневых систем. ФГБУН «Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук», профессора, г. Томск.

6. От член-корреспондента РАЕН, кандидата технических наук Велданова Владислава Антоновича, заместителя заведующего — ученого секретаря кафедры СМ-4, ФГАОУВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», доцента, г. Москва.

7. От доктора технических наук, Директора ФГБУН ИФПМ СО РАН, заведующего лабораторией локальной металлургии в аддитивных технологиях ФГБУН ИФПМ СО РАН, профессора, Колубаева Евгения Александровича и кандидата физико-математических наук, научного сотрудника лаборатории механики структурно-неоднородных сред ФГБУН ИФПМ СО РАН, Батуева Станислава Павловича, доцента, г. Томск.

8. От доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Ревуженко Александра Филипповича, профессора, г. Новосибирск.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность диссертационного исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Отзывы содержат следующие замечания:

1. Возможность отказа от проведения динамических экспериментов для определения характеристик прочности гетерогенных материалов требует указания границ применимости предложенного в диссертации

- подхода.
2. Отмечая погрешности моделирования, автор не указывает на конкретные сравниваемые параметры (максимальные значения или среднеквадратичное отклонение, или др.).
 3. Формулировки выводов с использованием сравнений типа «сильно», «малые», «несущественно» и т.п. требуют большей корректности.
 4. Констатируя наблюдаемы в численных «экспериментах» результаты, автор, к сожалению, не приводит объяснений, т.е. подтверждённых гипотез, что наиболее ценно в научных работах.
 5. В разделе 1.5 указано, что применяется искусственная вязкость. Хотелось бы увидеть используемые при этом уравнения и значения выбранных эмпирических констант.
 6. В разделе 1.8 автор сравнивает влияние размера включений на рассеяние ударных волн. При этом размер включений приводится в количестве расчетных ячеек, а размеры исследуемых образцов в сантиметрах. Нагляднее было бы приводить размер включений либо в абсолютных величинах, либо относительно размеров образца в целом.
 7. В диссертационной работе приведено большое количество графиков аппроксимации результатов методом наименьших квадратов. К сожалению, автор не приводит вид предполагаемых зависимостей и зачастую выбор их остается спорным.
 8. Указано, что при разрушении материал может быть заменен дискретной частицей конечного размера, имеющей определенную массу и импульс. Из текста диссертации неясно, имеют ли данные частицы объем и реализуется ли контактное взаимодействие между собой.
 9. В диссертационной работе при анализе процессов высокоскоростного деформирования и разрушения исследуемых материалов диссертант использовал критические (постоянные) значения предельных характеристик пластичности и прочности. Представляется что подобный подход несколько устарел, поскольку эти характеристики

- могут являться функциями скорости деформации, температуры, давления и т.д. Хотелось бы пожелать автору в дальнейшем использовать в программном комплексе "REACTOR 3D" определяющие соотношения пластичности типа Джонсона-Кука, а в качестве критерия разрушения – соотношения Холмквиста-Джонсона-Кука.
10. В тексте диссертации замечены отдельные опечатки (несогласованные окончания слов, ошибки в знаках препинания).
 11. В автореферате отсутствуют физические модели исследуемых процессов.
 12. В отдельных зависимостях отсутствуют сведения, идентифицирующие используемые в них аргументы.
 13. При разработке аппроксимирующей зависимости (1) не приведены области определения аргументов, что затрудняет анализ этой зависимости.
 14. Шифр специальности на обложке автореферата указан неверно.
 15. В уравнения упругопластического деформирования на 8-й странице много неопределённостей. Не ясно, что значит «давление в форме Ми-Грюнайзена». Отсутствует описание параметров: D , c_0 , S_1 , и.
 16. Не имея представления о методике проведения экспериментов в работах В.Е. Фортова, Г.И. Канеля, С.В. Разоренова и их соавторов, трудно понять смысл графиков, изображенных на рис. 2 и 3. Не указано, что означает u_{fs} .
 17. Формулу (1) на 12-й странице можно понять только при наличии хорошей предварительной подготовки.
 18. Численное моделирование процессов, включающих распространение и интерференцию волн напряжений, развитые пластические деформации, большие формоизменения расчетной области и эффекты разрушения являются сложной задачей, с которой автор, судя по автореферату, успешно справился. При этом используемые критерии разрушения (стр. 8, 9) являются достаточно простыми (классическими). Было бы

логичным более эффективно использовать развитые численные методики, применяя усложнённые современные критерии разрушения – этому нужно уделить внимание в дальнейшем.

19. Часть формул в автореферате не сопровождается расшифровкой используемых обозначений, что затрудняет их восприятие. Например, в формуле для модифицированного критерия разрушения Тулера-Бучера не совпадают размерности, если все обозначения, содержащие греческую букву, сигма, являются характеристиками напряженного состояния.
20. К сожалению, автореферат не содержит примеров геометрических моделей гетерогенного материала, что не позволяет в полной мере оценить результатов прямого численного моделирования.
21. Присутствуют и опечатки, например, на рис. 3 размерность скорости свободной поверхности указана м/с, а должна быть км/с.
22. В автореферате не представлены результаты экспериментальных исследований по определению баллистических кривых (рис 5 и рис 9), а приводятся только их расчетные характеристики.
23. В автореферате не раскрыто, как именно выбирались значения некоторых входных данных для численных расчетов (например, параметры разрушения на межфазных слоях). А также отсутствуют описание типа границы между матрицей и включениями.
24. В автореферате указаны критерии разрушения, однако не поясняется как они используются для различных типов гетерогенных материалов.
25. Не обсуждены ограничения предложенных уравнений состояния. Уравнения состояния для моделирования гетерогенных материалов требуют анализа применимости к материалам с другими механическими свойствами.
26. На рисунке 3 наблюдается, что кривая АДМ располагается ближе к экспериментальным данным, чем кривая ПЧМ. Кроме того, в шкале скорости свободной поверхности, по всей видимости, имеется опечатка.

27. В работе отсутствует обсуждение возможных ошибок численного моделирования, таких как влияние сетки и влияние граничных условий на точность расчетов.

28. В автореферате не указаны направления дальнейших исследований. Полезно было бы обозначить, какие задачи могут быть решены в будущем на основе предложенных моделей и методов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Показано, что упругие модули гетерогенного материала, построенного прямым численным моделированием в условиях нагружения плоской ударной волной без учета разрушения, соответствуют с погрешностью менее 5% данным эксперимента и результатам аддитивной модели смеси.

2. Установлено, что граничные условия на поверхности раздела основы и включений не оказывают существенного влияния на ударно-волновые процессы при взаимодействии с плоской волной.

3. Показано, что параметры за фронтом плоской ударной волны в неразрушающемся гетерогенном материале, построенным прямым численным моделированием, при всех возможных типах граничных условий между матрицей и включениями, сходятся с результатами аддитивной модели смеси в пределах погрешности 2%.

4. Установлено, что скорость и величина затухания ударного импульса зависят от размера включений. Малые включения, сравнимые с толщиной фронта волны сжатия, не рассеивают импульс.

5. Показано, что керамические включения, с размерами сильно превышающими толщину фронта ударной волны, оказывают существенное влияние на увеличение длины импульса в силу многократного отражения волн от границ материалов с разными свойствами.

6. Показано, что при взаимодействии объемно-армированного металломатричного композита с высокоплотным удлиненным стержнем при

скоростях 0,8-1,6 км/с повышается баллистический предел на 60% по сравнению с двуслойной преградой.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Впервые получено соотношение для величины предельного откольного разрушения гетерогенной среды на основе предельных напряжений откола и концентрации ее компонент, позволяющее предсказать величину предельного откольного разрушения гетерогенной среды с погрешностью не более 20%.
- Впервые в динамическом численном эксперименте получено соотношение для величины предельной деформации разрушения гетерогенной среды на основе предельных деформаций разрушения и концентрации ее компонентов.
- Впервые проведено прямое численное моделирование высокоскоростного нагружения объемно-армированного металломатричного композита из комбинации 316L+A356 с учетом разрушения. Результаты моделирования отклоняются от экспериментальных данных менее 10%.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- градиентная преграда (объемно-армированный металломатричный композит) демонстрирует стойкость к воздействию микрочастиц, не допуская образования запреградного облака осколков;
- у такой преграды баллистический предел на 60% выше в сравнении с двуслойной преградой с аналогичной поверхностной плотностью;
- в рамках численного эксперимента применение гетерогенных пластин в защитных пакетах позволяет вдвое снизить давление на модель человеческого тела по сравнению с пакетом из слоеной пластины.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– достоверность вынесенных на защиту положений и сформулированных выводов обеспечиваются применением современных методов математического моделирования, согласованностью результатов, полученных различными методами, сопоставлением их с данными других авторов, качественным и количественным согласием с результатами многочисленных экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит:

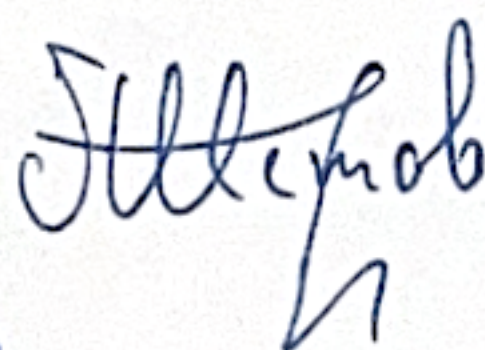
– в выборе направления исследований, разработке плана работ, постановке и решении задач, описании соотношений для оценки предельного откольного напряжения и предельных деформаций разрушения гетерогенных твердых тел, обработке и анализе полученных результатов.

На заседании 16.12.2024 диссертационный совет принял решение присудить Краусу А.Е. учёную степень кандидата физико-математических наук. При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – 0, не участвовали в голосовании – 0.

Председатель

диссертационного совета,

доктор физ.-мат. наук



Шутов А.В.

Учёный секретарь

диссертационного совета,

кандидат физ.-мат. наук



Бойко С.В.

Дата оформления заключения: 17.12.2024 г.