

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Фрейдина Александра Борисовича на диссертацию Игушевой Людмилы Александровны на тему «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация Л.А. Игушевой посвящена исследованиям динамического разрушения и включает теоретические результаты и согласованный с ними анализ имеющихся экспериментальных данных. Целью работы является развитие теоретического подхода к описанию процессов разрушения материалов и определения их прочностных характеристик в широком диапазоне скоростей нагружения с учетом влияния дополнительных внешних факторов, таких как температура и внешнее давление.

Исследования разрушения при динамических воздействиях являются **актуальными** и будут долго сохранять актуальность, так как при динамическом нагружении наблюдаются эффекты, которые не описываются классическими трактовками прочности и не согласуются с традиционными критериями разрушения.

Практическая значимость темы диссертации определяется с одной стороны общей направленностью работы на обоснование методик расчетов динамической прочности, а с другой стороны, представленными конкретными приложениями учета воздействия температуры и гидростатического давления в постановке и решении прикладных задач.

Научная значимость и новизна работы обусловлены дальнейшим развитием концепции инкубационного времени в результате решения новых задач и апробации концепции для новых приложений. В новой постановке исследована задача о разрушении упругого стержня, взаимодействующего с окружающей средой. Получены новые результаты расчетов динамической прочности на сжатие для горных пород и цементных растворов, подвергнутых предварительному термическому воздействию. Для этих материалов продемонстрированы эффекты инверсии прочности, когда прочность при квазистатическом воздействии оказывается выше, чем при импульсном. Получены новые результаты, касающиеся связей инкубационного времени разрушения и температурой и давлением.

Стоит также отметить, что аналитические и численные подходы в диссертации хорошо сочетаются с анализом экспериментальных данных, что свидетельствует о хорошей физико-математической культуре автора.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 136 наименования и изложена на 122 страницах.

Введение содержит формулировку целей и задач исследования, обоснование актуальности темы, новизны, достоверности, научной и практической значимости

работы. Отдельное внимание уделено вопросам методологии исследований прочности. Дано компактное описание основных результатов работы и сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы, связанной с темой диссертации. Приведен анализ имеющихся критериев разрушения. Особое внимание уделено структурно-временному подходу и концепции инкубационного времени, используемым в диссертации. Независимо от вопросов прочности дано обсуждение моделей стержня, взаимодействующего с окружающей средой. Заключительная часть обзора посвящена влиянию температуры и гидростатического давления на прочностные свойства материалов.

Во второй главе в одномерной постановке рассмотрены продольные колебания стержня конечной длины, соприкасающегося с упругой окружающей средой. При сделанных предположениях задача сводится к анализу уравнения Клейна – Гордона. Выделено три возможных варианта распространения волн: дисперсия волн, демпфирование волн и увеличение амплитуды исходного импульса при отражении от свободного конца стержня. Проведен анализ динамического разрушения стержня. Показана возможность разрушения как при прохождении волны в прямом направлении по стержню, так и в результате откола после отражения волны от свободного края стержня.

Третья глава посвящена исследованию влияния внешних факторов на динамическую трещиностойкость материалов. Исследованы зависимости трещиностойкости от скорости интенсивности напряжений для гидростатически сжатых и предварительно термически обработанных образцов гранита, а также для термически обработанных баритового и стандартного цементного растворов. На основе экспериментальных данных проведена оценка значений инкубационных времен. Предложено объяснение эффекта инверсии прочности.

В четвертой главе исследовано влияние внешних факторов на динамическую прочность при сжатии. Известные экспериментальные данные по динамическому разрушению песчаника и цементных растворов анализируются на основе критерия инкубационного времени разрушения. Получены зависимости прочности на сжатие от скорости нагружения для гидростатически сжатых и предварительно термически обработанных образцов песчаника, а также для стандартного цементного раствора и раствора с примесью сульфата бария. Установлена связь между инкубационным временем и внешним гидростатическим давлением. Оценено влияние предварительной термической обработки на динамическую прочность при сжатии материалов, вычислены значения инкубационного времени для каждой температуры предварительной обработки.

В заключении суммируются результаты работы.

По работе имеются вопросы и замечания:

1. Описывается влияние среды на стержень, которое сводится к введению дополнительной силы, действующей на стержень, пропорциональной

перемещению точек стержня. Остается неясным, как стержень воздействует на среду. Не ясно, что происходит с окружающей средой в момент разрушения стержня.

- Например, при идеальном контакте кажется, что среда может не дать стержню разрушиться из-за кинематического ограничения равенства продольных перемещений в среде и в стержне. Что будет, если среда настолько жесткая и хрупкая, что стержень не может разрушиться без сопутствующего разрушения окружающего материала?
 - Может ли разрыв стержня инициировать разрушение в среде (что потребует дополнительных энергетических затрат)?
 - Влияет ли среда на эффективное инкубационное время разрушения стержня?
 - Нужно или не нужно учитывать воздействие стержня на среду при анализе экспериментальных данных (раздел 2.4)?
2. Насколько чувствительно (устойчиво) полученное решение Клейна – Гордона для стержня в условиях действия силы сопротивления, пропорциональной перемещению, к отклонениям от пропорциональности.
 3. В задачи работы не входило влияние неупругости стержня и среды на динамическую прочность. Было бы интересно увидеть в диссертационной работе соображения относительно влияния хотя бы небольшой вязкости. Может ли учет этого влияния сильно изменить картину разрушения и его количественные характеристики?
 4. После чтения работы кажется, что инкубационное время всегда увеличивается с ростом температуры. Не хватает пояснений, насколько эта тенденция является универсальной. Например, изменение температуры может приводить к разным физическим процессам, например, к фазовым переходам. Есть ли основания считать, что инкубационное время высокотемпературной фазы всегда больше инкубационного времени низкотемпературной фазы? Или это свойство конкретного материала, которое обнаруживается в результате экспериментальных исследований, причем другие материалы могут демонстрировать другие тенденции?
 5. В тексте имеются нечеткие формулировки. Напр., на стр. 51 написано: «При сравнительно больших значениях длительности t_0 и небольшом значении b ». Что значит «сравнительно большие» и «небольшие»? На стр. 55 высказаны соображения относительно случаев когда частота $\omega < b$ и больше b . А насколько меньше или больше? Хотелось бы видеть количественные оценки.

Эти замечания не имеют квалификационного значения. Работа обладает внутренним единством и содержит материал, важный для дальнейшего развития теории и понимания процессов динамического разрушения. Результаты достаточно полно представлены в 6 публикациях (1 статья входит в базу данных Scopus, 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования России) и апробированы на российских и международной конференции. Кроме того,

на момент написания данного отзыва появились еще 3 публикации в журналах, индексируемых в Scopus (две в Mechanics of Solids, одна в Material Physics and Mechanics), также имеющие прямое отношение к диссертации.

Диссертация Игушевой Людмилы Александровны на тему «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Соискатель Игушева Л. А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Главный научный сотрудник, заведующий лабораторией математических методов механики материалов Института проблем машиноведения РАН



А.Б. Фрейдин

28.11.2024