

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Ефимова Виктора Прокопьевича «Разработка методов определения физических параметров, характеризующих разрушение хрупких материалов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Диссертация В.П. Ефимова посвящена актуальным вопросам механики деформируемого твердого тела и горных пород – исследованию закономерностей разрушения, а также разработке и усовершенствовании методов определения прочностных характеристик. Изучены временные аспекты разрушения хрупких материалов и предложены способы определения параметров кинетического уравнения долговечности С.Н. Журкова. Основная часть исследования сосредоточена на анализе возможности применения различных методов определения трещиностойкости, выборе оптимальных моделей и способах уточнения результатов. Важную часть исследования составляют предложенные экспресс методики определения прочности горных пород на растяжение.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена практическими потребностями повышения точности определения прочностных характеристик горных пород и усовершенствования методов их определения, включая экспресс методики. Разнообразие строения горных пород, а также изменчивость свойств образцов даже однотипных пород требует возможности быстрой оценки их прочностных характеристик при проведении горных работ, строительстве и бурении. Одним из важнейших вопросов является определение параметров долговечности, а также учет влияния скорости нагружения на режим деформации и разрушения. Для описания и учета временных аспектов разрушения в диссертации выбрано хорошо известное кинетическое уравнение С. Н. Журкова, которое имеет универсальный характер. Автором разработана и апробирована методика определения параметров данной модели, что представляет интерес для ее практического применения.

Основное внимание в диссертации уделяется определению прочности хрупких материалов на растяжение. Для горных пород данные измерения осуществляются значительно реже, чем при сжатии. Однако они могут быть крайне важными при проведении горных работ, разработке полезных ископаемых и строительстве.

Следует отметить, что для описания прочности горных пород в условиях неравноосного сжатия используют поверхности предельного состояния, которые хорошо описывают начало сдвигового разрушения. Для построения этих поверхностей используют эксперименты на сжатие образцов при различных значениях бокового обжатия, т.е. в условиях неравноосного сжатия. В процессе таких испытаний строится аппроксимация зависимости сдвиговой прочности от напряженного состояния или давления. Однако известно, что предельные поверхности имеют усеченный вид в области растяжения. Поэтому для правильного построения моделей необходимы также и экспериментальные данные о прочности при растягивающих нагрузках. Таким образом, определение прочности на отрыв, чему посвящена значительная часть диссертации, имеет большое значение также и для построения поверхностей предельного состояния.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений, а также двух актах практического внедрения результатов исследования.

В первой главе представлен обзор современного состояния исследований в области изучения прочности твердых тел, кратко описаны закономерности развития трещин и сформулированы основные задачи исследования. Основное внимание уделено описанию методов определения длительной прочности и трещиностойкости хрупких материалов.

Вторая глава посвящена вопросам применения кинетической теории прочности для описания временных аспектов разрушения, связанных с долговечностью, скоростью нагружения и уровнем напряжений. Обсуждаются вопросы физической интерпретации и способе определения параметров уравнения долговечности С.Н. Журкова. Для ряда материалов определен пороговый (безопасный) уровень напряжений, ниже которого не наблюдается интенсивного накопления повреждений, составляющий 20% от временной прочности. Отсюда сделан вывод о том, что применение данной теории возможно при превышении данного порога.

Предложен способ оценки начальной энергии активации разрушения, входящей в уравнение долговечности, основанный на предположении о ее взаимосвязи с поверхностной энергией и энергией элементарных связей межатомного взаимодействия. Обнаружено, что энергия активации разрушения, для высокопрочных горных пород примерно одинакова. Показано, что энергия активации не зависит от вида нагрузки и характера разрушения.

Важным результатом данной главы является предложенная методика определения параметров уравнения долговечности. На основе предложенной методики даны зависимости скоростной чувствительности прочности.

В третьей главе рассмотрено влияние способов нагружения при экспериментальном определении прочности на растяжение на полученные результаты, дано объяснение расхождению результатов измерений и предложены способы устранения ошибок. Показано, что основными факторами, влияющим на результаты, является неоднородность напряженного состояния и структура среды. Для сопоставления результатов экспериментов, выполненных при разных испытаниях, и устранения расхождения предложено применять нелокальные критерии. Основные идеи и результаты данной главы связаны с определением структурного параметра, мерой неоднородности напряженного состояния и применением нелокального критерия, который включает структурный параметр. В качестве структурного параметра рассматривается, параметр, характеризующий напряженное состояние трещины.

В главе подробно рассматриваются особенности определения прочности с использованием бразильского теста и испытаний на изгиб. Показано, что ввиду неоднородности напряженного состояния результаты применения данных методов могут быть чувствительны к размерам зерен горной породы. Выполнен анализ применения ряда нелокальных критериев для анализа результатов экспериментов. На основе данного анализа сделан вывод, что применение модели с пластическим участком дает наилучшие результаты для испытаний на изгиб и интегрального критерия для модифицированного метода бразильской пробы с отверстием.

Главными результатами данной главы является обоснование возможности применения модифицированного метода бразильской пробы с применением нелокального критерия разрушения, позволяющего корректно учесть влияние отверстия. Достоинством данного метода является возможность проведения испытаний любых горных пород и предсказуемый строго радиальный рост трещины, без очагов необратимой деформации в зонах контакта с устройством.

Четвертая глава посвящена методу определения трещиностойкости хрупких горных пород при помощи клиновидных ударников, а также при помощи метода каустики. Подробно рассмотрена задача о внедрении клина в образец с надрезом. Рассчитаны оптимальные углы раствора клина. На основе эксперимента приведены оценки соотношений расхода энергии на трещинообразование и сопутствующие явления, включая трение,

необратимую деформацию в зоне контакта клина с образцом и кинетическую энергию разлета фрагментов.

Вторая часть главы посвящена применению оптического метода каустик для определения критического коэффициента интенсивности напряжений в квазистатическом и динамическом режимах при скорости до $V_R/4$.

Основные результаты главы связаны разработкой и реализацией методики определения трещиностойкости, которые могут применяться при медленном и динамическом росте трещин при скоростях, пока поле напряжений в вершине сохраняет вид статического распределения.

В качестве важнейших результатов диссертационного исследования следует выделить:

1. Разработка обоснованной методики определения параметров кинетического уравнения долговечности. Полученные оценки энергии активации и величины порогового напряжения. Вывод о независимости энергии активации от вида разрушения.
2. Обоснование необходимости применения нелокальных критериев разрушения для определения параметров прочности в неоднородных условиях нагружения.
3. Разработанные экспресс методики определения прочности горных пород на растяжение.

Выводы диссертации основаны на полученных результатах и являются новыми. Обоснованность защищаемых положений и выводов обеспечивается результатами экспериментальных данных, проведенных по разным методикам и их анализом.

Практическое применение.

Ценность работы подчеркивают приложения к диссертации, в которых изложен ряд методов экспериментального определения прочности на растяжение, которые включают все необходимые соотношения, включая предложенные усовершенствования. Данные методы дают полное представление о возможности практического применения результатов исследования. Здесь следует выделить экспресс методики, которые могут быть использованы при проведении буровых и горных работ, а также в строительстве.

Следует отметить большой объем экспериментальных данных по ряду горных пород, полученных автором, которые могут быть полезны при разработке моделей горных пород.

Вопросы и замечания

1. Чаще всего горные породы находятся в условиях неравноосного сжатия. В таких условиях разрушение обычно имеет сдвиговой характер. Существенными могут быть как сдвиговой, так и отрывной механизмы разрушения. К сожалению, в диссертации сдвиговому механизму разрушения уделено очень мало внимания.
2. Во всех разделах работы говорится о структурном параметре, даются оценки его размера и делаются попытки дать ему физическое толкование. В таком качестве рассмотрен параметр, характеризующий напряжения вокруг вершины трещины. Однако при рассмотрении горных пород важно связать параметр с внутренней структурой породы, размером зерен, микротрещин, пор. Основной вопрос о том, как определить структурный параметр, имея образец горной породы или массив, остался не раскрытым?
3. В работе достаточно подробно, но порой путанно дается объяснение расхождений данных измерений при различных условиях экспериментов.
4. Очень подробно рассматривается задача о расклинивании для обоснования соответствующего метода измерения. В то же время, данная задача не представляет самостоятельной ценности, т.к. не является новой. Кроме того, существуют усовершенствованные методики проведения таких экспериментов, когда зона контакта образца и клина хорошо контролируются через дополнительные вставки, не допускающие контакта инструмента с породой.

Указанные замечания не снижают ценности и высокой оценки выполненного исследования, они являются пожеланием для дальнейших исследований и развития предложенных подходов.

Основные результаты диссертации достаточно полно представлены в 18 статьях опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК, а также в трудах конференций. Автореферат и научные публикации в полной мере отражают ее содержание.

Диссертация является логичным, законченным исследованием, имеющим большую как научную, так и практическую значимость, она является существенным вкладом в развитие методов определения прочностных характеристик горных пород. Выводы диссертации тщательно обоснованы и достоверны.

Диссертация Ефимова Виктора Прокопьевича «Разработка методов определения физических параметров, характеризующих разрушение хрупких

материалов» соответствует требованиям положения ВАК о порядке присуждения степени доктора наук, а её автор, Ефимов Виктор Прокопьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент –

ведущий научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела)



Стефанов Юрий Павлович

12.10.2016

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук

630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Коптюга, д. 3,
Тел.: (383) 333-29-00,
ipgg@ipgg.sbras.ru,
<http://www.ipgg.sbras.ru/ru>

Подпись Ю.П. Стефанова удостоверяю

Зав. отдела кадров ИНГГ СО РАН



С.И. Капитонов