

Э.И. Ефремов, чл.-кор. НАН Украины,
И.Л. Кратковский, канд. техн. наук,
В.Д. Петренко, д-р техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОД ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЗРЫВНЫХ И УДАРНЫХ НАГРУЗОК

Експериментальним шляхом за допомогою світлооптичних методів встановлена ідентичність руйнування на мікрорівні полімінеральних середовищ під час дії вибухових і динамічних (ударних) навантажень

CHARACTER OF POLYMICTIC MEDIUM DESTRUCTION BY EXPLOSIVE AND IMPACT LOADINGS

Experimental a way by light-optical methods the identity of destruction on the microlevel of polymictic medium is set at the action of the explosive and dynamic (impact) loadings

Введение. В последние годы благодаря широкому развитию теоретических и экспериментальных исследований в области взрывного разрушения твердых сред созданы основы теории новых методов интенсификации дробления горных пород. Вместе с тем, определенные трудности вызывают как теоретическое описание, так и моделирование объектов и процессов разрушения с учетом физико-механических свойств и структурных особенностей горных пород.

Анализ состояния проблемы. Характер развития существующих в полиминеральных анизотропных средах (какими являются большинство горных пород) дефектов строения различного уровня (микро- и макротрещины) и их влияние на физические процессы механизма разрушения пород различного генезиса взрывом в настоящее время недостаточно исследованы. Применяемые методы взрывного разрушения таких пород должны отличаться от известных совокупным учетом противоречивых технологических условий и требований, обеспечивая не только необходимое дробление и гранулометрический состав горной массы, но и концентрацию энергии взрыва в заданных направлениях для исключения разубоживания рудных тел в условиях, как правило, интенсивного ведения горных работ. Проблема заключается в том, что при интенсификации дробления пород для условий циклично-поточной и поточной технологии открытых горных работ часто нерешенными остаются вопросы, связанные с ресурсо- и энергосбережением и экологической надежностью применяемых взрывных способов разрушения.

Анализ способов управляемого дробления горных пород различного генезиса с использованием энергии взрыва в целом показывает, что эффективность существующих в настоящее время способов разрушения полиминеральных сред в значительной мере зависит от структуры массивов, определяемой макротрещиноватостью, и микроструктуры, характеризующейся для пород различного генезиса ориентированным расположением минеральных зерен и их дефектов строения в виде микротрещин, характеризующихся, в свою очередь, раз-

личной степенью ориентированности. Характер развития существующих в полиминеральной среде дефектов строения в виде макро-, микротрещин, плоскостей спайности и др. и его влияние на физические процессы механизма разрушения различных сред взрывом в настоящее время наименее изучен.

Цель работы – исследование характера разрушения полиминеральных пород при действии взрывных и ударных нагрузок.

Методика и результаты исследований. Сложность исследований количественных и качественных параметров продуктов разрушения полиминеральных сред при действии динамических нагрузок обусловлена, во-первых, объективными трудностями при проведении лабораторных экспериментов по изучению характера разрушения полиминеральных пород динамическими нагрузками на микроуровне, а, во-вторых, отсутствием методики исследования, позволяющей получать надежные данные о характере разрушения при динамическом воздействии на породу.

Современные представления о процессах разрушения твердых полиминеральных сред, какими являются большинство горных пород, весьма разнообразны даже при разрушении одного масштаба (микро- и макроуровень [1]). Это свидетельствует о слабой изученности проблемы, состоящей в понимании процессов, происходящих на контакте «ВВ-полиминеральная горная порода» при действии высокоскоростных нагрузок, в частности, действии ударных волн, которые трансформируются далее в волны напряжений и являются, собственно, источником необратимых деформаций, приводящих в итоге к разрушению.

Компьютерное моделирование процесса развития трещин на виртуальных цилиндрических образцах, имитирующих горные породы, в силу различного рода ограничений могут в определенной мере дать представления лишь о характере развития радиальных и откольных трещин (протяженность, густота) в области, примыкающей к заряду ВВ, в однородных изотропных средах. Реальные горные породы, как и подавляющее большинство твердых сред, за исключением разве что хорошо отожженных стекол, таковыми, как известно, не являются.

Моделирование разрушающего действия взрыва на образцах, изготовленных из разнообразных горных пород, также связано с объективными и субъективными трудностями, в основном организационного порядка.

В момент удара, в результате взаимодействия ударных волн (продольной, поперечной, поверхностной и отраженной), в телах возникает сложное поле напряжений и деформаций (как и при взрыве). По этой причине динамический характер нагружения при высокоскоростном ударе в определенной мере подобен взрывному нагружению.

Разрушение образцов полиминеральных пород высокоскоростными ударными нагрузками производили на центробежной установке для ударных испытаний материалов [2] – специальном стенде (рис.1, а), включающим мишени, представляющих собой систему стальных вертикальных плит (отбойных пластин), обеспечивающих изменение угла встречи образца при ударе (0-32°), вращающуюся каретку с приводом от электродвигателя переменной мощности

(200-600 Вт, 5000-10000 об/мин), опорную тумбу, защитный кожух и пульт управления.

Оборудование. Вращающаяся каретка (рис.1, б) состоит из вертикального приемного лотка, соосного с осью вращения привода, и двух горизонтальных цилиндрических патрубков диаметром 50 мм. Испытуемый образец полиминеральной горной породы, загружается в приемный лоток и отбрасывается центробежной силой по горизонтальным патрубкам вращающейся каретки в сторону мишени (системы стальных вертикальных плит).



а



б

Рис.1 – Центробежная установка (стенд) для ударных испытаний материалов (*а*) и вращающаяся каретка центробежной установки (*б*)

При достижении вращающейся кареткой скорости вращения (10000 об/мин) максимальная скорость удара образца о мишень составляет 120 м/с. Угол встречи образца со стальными отбойными пластинами (мишенью), определяемый углом их поворота (40°) изменялся от 0 до 32° . Такие угловые соотношения, согласно [3] обеспечивают наилучшие результаты дробления за счет оптимального соотношения растягивающих, сжимающих и касательных (сдвиговых) разрушающих нагрузок.

Отбор образцов и выбор способа разрушения. Для исследования разрушающего действия высокоскоростного удара изготавливали образцы из полиминеральных пород в виде кубиков с размером ребра 25 мм. Такие образцы беспрепятственно и с минимальным трением продвигаются по вращающейся каретке центробежного ударного стенда, обеспечивая при этом максимальную скорость встречи с мишенью.

В качестве эталонных образцов использовали кубики, изготовленные из флюсовых известняков Докучаевского флюсо-доломитного комбината.

Такой выбор обусловлен тем, что характер разрушения этих пород, представляющих, по сути, мономинеральную мелкозернистую среду, практически не содержащую дефектов строения в виде микротрещин и состоящую преимущественно из кальцита, достаточно изучен на микроуровне.

Взрывное разрушение образцов докучаевских флюсовых известняков – дис-

ков диаметром 57 мм и высотой 15 мм – нами проводилось в полигонных условиях Докучаевского флюсо-доломитного комбината [4]. В качестве ВВ использовали отрезки детонирующего шнура (ДШЭ-9) длиной 200-300 мм, размещаемые в центре образца. Масса заряда ВВ (тэна) в образце составляла 130-140 мг.

Выдержанный минералогический состав известняков и стабильность микроструктуры позволяет делать сопоставительный анализ характера дробления пород данного класса при использовании, как энергии взрыва, так и энергии удара с хорошей повторяемостью и сходимостью результатов исследований.

Обработка результатов экспериментальных исследований. Продукты разрушения образцов горных пород, как разрушенных взрывом отрезка детонирующего шнура на полигоне Докучаевского флюсо-доломитного комбината, так и на центробежной ударной установке разделяли по фракциям на лабораторных ситах с размерами ячеек от 50 до 400 мкм, определяли массу каждой фракции, а гранулометрический состав мельчайшей фракции (0-100 мкм) дополнительно изучали с помощью светооптических методов (поляризационный микроскоп МП-1, укомплектованный интеграционным столиком ИСА, бинокулярный микроскоп МБС-2).

Данные микрогранулометрии обрабатывали методом приближения экспериментальных кривых к двухпараметрическим зависимостям, используя стандартные программы на языке BASIC, а по данным ситового анализа строили гистограммы фракционного состава в Microsoft Excel.

Известняк флюсовый органогенный, осадочного генезиса (Эталонный образец, Центральный карьер, Докучаевского флюсо-доломитного комбината). В структурном отношении данная порода представляет собой мелкозернистую разновидность плотного сливного (монолитного) известняка серого цвета (размер зерен 100-300 мкм), практически лишенного дефектов строения в виде микротрещин и спорадически встречающихся двойниковых плоскостей в зернах кальцита, содержание которого в породе составляет 90-95 %. Второстепенные минералы (5-10 %) – исключительно доломит.

Дискообразный образец известняка (диаметр 57 мм, высота 15 мм) был разрушен взрывом ДШ марки ДШЭ-9, масса заряда в образце составляла 130-140 мг.

Образец кубической формы с размером ребра 25 мм, изготовленный из того же керна, что и дискообразный образец, разрушен на центробежной установке для ударных испытаний материалов при скорости удара 120 м/с.

Продукты разрушения, как после взрыва, так и после удара рассеивались на лабораторных ситах с размерами ячеек 400, 315, 160, 100 и 50 мкм. После отсева гранулометрический состав пылевидной фракции (0-100 мкм) изучался под микроскопом при увеличении 20×. Массу фракций после отсева определяли на лабораторных весах. По данным замеров размеров разрушенных взрывом и ударом частиц строили кумулятивные кривые и гистограммы фракционного состава.

Анализ кумулятивных кривых (рис.2) и гистограмм фракционного состава (рис.3) показывает почти полное сходство (в пределах ошибки измерений) ха-

рактера разрушения на микроуровне известняка при действии взрывных и динамических (ударных) нагрузок.

На гистограмме фракционного состава прослеживаются максимумы: в интервале 400 мкм и более и в интервале 160-315 мкм. Максимум 400 мкм и более образован крупными осколками, разрушенной взрывом и ударными (динамическими) нагрузками породы. При изучении фракции 160-315 мкм под биноклярным микроскопом (увеличение 10-25×) установлено, что осколки разрушенной породы образованы отдельными зернами доломита (5-10 %) и преобладающего кальцита (90-95 %) при среднем размере зерен 150-160 мкм.

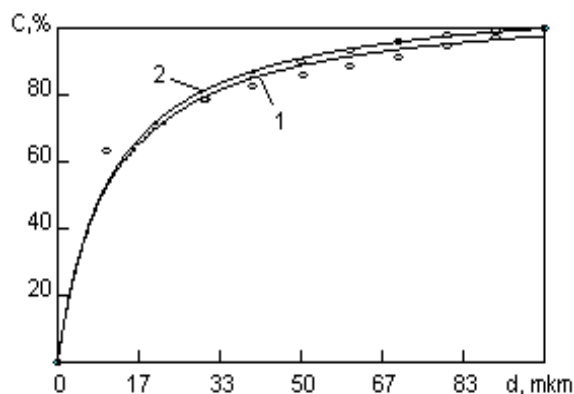


Рис.2. – Кумулятивные кривые гранулометрического состава пылевидной фракции (0-100 мкм) эталонных образцов докучаевских известняков, разрушенных взрывом (1) и высокоскоростным ударом (2)

Данный факт свидетельствует о том, что на микроуровне, как при взрывных, так и при ударных нагрузках, разрушение породы происходит по контактам минеральных зерен, являющимися для породы данного класса плоскостями наибольшего ослабления структурных связей. Микротрещины в известняках Докучаевского флюсо-доломитного комбината, как было установлено нами при изучении микроструктуры светооптическими методами, практически отсутствуют.

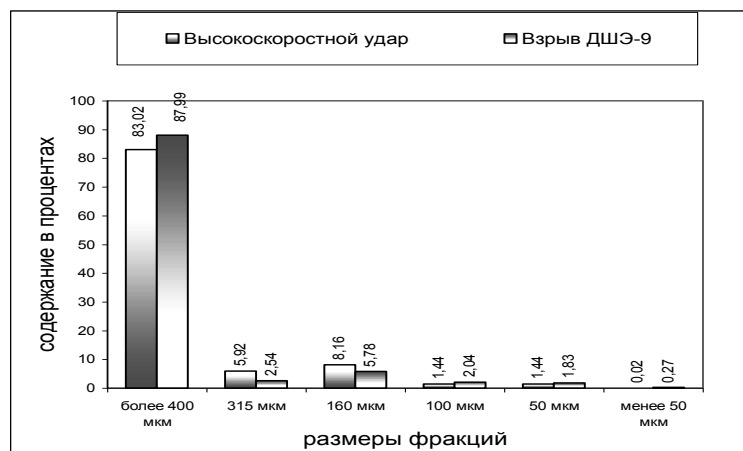


Рис.3 – Фракционный состав продуктов разрушения докучаевских известняков (эталонный образец)

Полиминеральные породы. В качестве образцов для исследований характера разрушения при действии взрывных и ударных нагрузок были выбраны существенно кварцевые

Мелкозернистые граниты магматического происхождения представляют собой полнокристаллические полиминеральные породы, минеральный состав которых приближается к «идеальным» гранитам, когда гипидиоморфно-зернистая порода, как установлено в работе [5], характеризуется «усредненным» минералогическим составом и содержит примерно одинаковое количество кварца, натрового плагиоклаза калиевого полевого шпата – главных породообразующих минералов – и до 10 % биотита, мусковита, амфиболов и других второстепенных минералов. В качестве плоскостей ослабления структурных связей в породообразующих минералах широко развиты однонаправленные дефекты строения в виде «залеченных» микротрещин в зернах кварца (плоскости газово-жидких включений), плоскостей спайности в зернах плагиоклазов, калиевого полевого шпата и слюд (биотита, мусковита и флогопита).

Граниты (образцы в форме куба с ребром 25 мм) разрушались ударом (120 м/с) на центробежной установке, данные по фракционному составу и гранулометрии сопоставлялись с аналогичными данными по взрывному разрушению этих пород в условиях Мокрянского карьера (анализ продуктов разрушения пород при взрыве шпуровых зарядов аммонита № 6ЖВ диаметром 40 мм).

Кумулятивные кривые гранулометрического состава мелкодисперсной фракции приведены на рис.4.

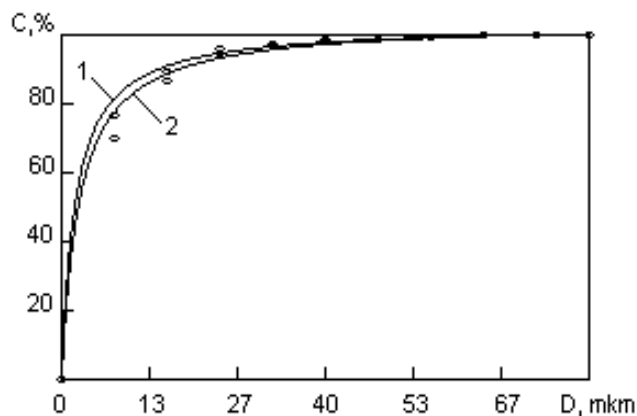


Рис.4 – Кумулятивные кривые гранулометрического состава мелкодисперсной фракции (0-100 мкм) янцевских гранитов, разрушенных взрывом шпуровых зарядов аммонита № 6ЖВ (1) и высокоскоростным ударом (2)

Выводы

В результате исследований характера разрушения полиминеральных горных пород, выполненных на центробежной установке для ударных испытаний минералов, установлено следующее:

– экспериментальным путем с помощью светооптических методов установлена идентичность разрушения на микроуровне полиминеральных сред при действии взрывных и динамических (ударных) нагрузок;

– данные лабораторных экспериментов по дезинтеграции полиминеральных сред динамическими нагрузками (высокоскоростной удар) могут быть использованы для установления характера их разрушения на контакте «ВВ-горная порода», а также могут быть положены в основу рациональных способов расчета параметров взрывания пород различного генезиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селективное разрушение минералов / Под ред. чл.-кор. АН СССР В.И.Ревнивцева. – М.: Недра, 1988. – 286 с.
2. А.с. 1490573 СССР, МКИ³ 01 Р 21/00. Центробежная установка для ударных испытаний материалов / Э.И.Ефремов, В.И.Лисица, Н.И.Мячина и др. – Оpubл. 30.06.89. – Бюл. № 24. – 3 с.
3. Лисица, В.И. Дробление дисперсной среды при свободном ударе / В.И.Лисица, Н.И.Мячина, В.В.Уваров // Повышение эффективности разрушения горных пород: Сб. науч. тр. ИГТМ АН УССР. – К.: Наук. думка, 1991. – С.100-103.
4. Выбор, обоснование и опытно-промышленная проверка способов эффективного и безопасного формирования скважинных зарядов многокомпонентных взрывчатых веществ в горных породах различной степени обводненности. Отчет от НИР (промежуточный). – НАН Украины, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова, № ГР 0103U001624. – Рук. Ефремов Э.И. – Днепропетровск: 2005. – 64 с.
5. Кратковский, И.Л. Влияние метасоматоза на кливаж гранитоидов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр./Ин-т геотех. мех. НАН Украины. – Днепропетровск, 2004. – Вып. 47. – С.141-151.

УДК 629.7.023.001.2(082)

В.Ф. Присняков, акад. НАН Украины

А.П. Лукиша
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРИСТЫХ КРУГЛЫХ КАНАЛОВ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАДИТЕЛЯ И ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПЕРВОГО РОДА

Розглянуто питання знаходження інтегральних коефіцієнтів ефективності пористих круглих каналів, досліджена залежність цих коефіцієнтів від режимних і конструктивних параметрів пористих систем

DEFINITION OF EFFICIENCY OF ROUND POROUS CHANNELS AT A TURBULENT MOTION OF A FLUID COOLANT AND UNDER THE BOUNDARY CONDITIONS OF THE FIRST TYPE

The problem of a finding of integral effectiveness ratio of round porous channels is surveyed, the dependence of these coefficients from regime parameters and design data of porous systems is explored

Введение. Актуальной задачей настоящего времени является создание компактных, высокоэффективных теплообменников, применяемых в различного рода оборудовании. Примером подобного рода систем могут служить пористые теплопередающие элементы, изготовленные из металлической сетки, металлопорошка, высокопористых ячеистых материалов или из сетчатых проницаемых материалов. Материалом пористой структуры из-за высокого коэффициента теплопроводности, как правило, выбирается медь, бронза, либо другой аналогичный материал.