

Э.И. Ефремов, И.Л. Кратковский, К.С. Ищенко

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ХАРАКТЕР ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Экспериментальными исследованиями по разрушению образцов кварцсодержащих полиминеральных горных пород динамическими нагрузками установлено, что характер их разрушения можно целенаправленно изменять путем воздействия на них щелочных растворов – поверхностно-активных веществ, – существенно понижающих прочность кварца.

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ХАРАКТЕР ДИНАМІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ПОЛІМІНЕРАЛЬНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Експериментальними дослідженнями по руйнуванню зразків полімінеральних гірських порід, що містять кварц, динамічними навантаженнями встановлено, що характер їх руйнування можна цілеспрямовано змінювати шляхом дії на них лужних розчинів – поверхнево-активних речовин, – що істотно знижують міцність кварцу.

INFLUENCE OF SURFACTANT MATERIALS ON DYNAMIC BREAKING CHARACTER OF COMPOUND ROCKS

By experimental researches on samples dynamic loading destruction polyminerals rocks that contain quartz, it is set that character of their destruction can be purposefully changed by affecting them alkaline solutions – surface-activity substances, – substantially lowering durability of quartz.

ВВЕДЕНИЕ

Массовые промышленные взрывы в соответствии с современными требованиями к охране окружающей среды не должны сопровождаться мощными выбросами пыли и вредных газов, а также формированием первичного облака, выходящего за пределы карьера. Важно обеспечить интенсивное дробление пород с минимальным их переизмельчением, а перемещение не должно приводить к образованию вторичного пылевого облака или сводить его до минимума. Пыль, образующаяся при взрывах в карьерах, выбрасывается в атмосферу

вместе с пылегазовым облаком и постепенно оседает на уступах, околокарьерных площадках и близлежащих поселках, являясь в дальнейшем интенсивным источником пылевыделения.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Исследованиями, проведенными в отделе механики взрыва горных пород ИГТМ НАН Украины, установлено, что основным источником пыли при разрушении горных пород буровзрывным способом является процесс вылета газообразных продуктов детонации взрывчатого веществ

ва и смеси из материала забойки вместе с пылевидными частичками, образовавшимися в зоне мелкого дробления на контакте «ВВ-порода», и мелкодисперсными частичками бурового шлама, вовлекаемых в пылегазовую струю из окрестности взрывной скважины инъекционным потоком воздуха [1].

На интенсивность пылевыведения и дисперсность пылевидных частичек, как установлено в [1-6], влияют следующие факторы: горно-геологические особенности массива (трещиноватость и обводненность), удельный расход взрывчатого вещества и скорость его детонации, фракционно-минералогический состав и прочностные характеристики разрушаемой породы, микроструктурные особенности среды (характер контакта между минеральными зёрнами, плотность дефектов внутреннего строения минералов в виде микротрещин и плоскостей спайности, а также степень их пространственной ориентировки). Из перечисленных факторов наибольшее влияние на пылеобразование при разрушении полиминеральных пород оказывают свойства среды, т.е. прочностные характеристики породообразующих минералов и плотность дефектов их строения. Вследствие того, что кварц – один из самых прочных породообразующих минералов – содержится в породе, как правило, в виде сверхиндивидов (вытянутые агрегаты, состоящие из нескольких десятков мелких изометричных зёрен с большой плотностью дефектов строения [6]), кварцсодержащие породы, подвергающиеся разрушению под действием динамических нагрузок (взрыв, удар), являются основным источником мелкодисперсной силикозоопасной пыли (0-100 мкм), состоящей на 75-90% и более из кварца [2]. Учитывая тот факт, что медианный диаметр (средний диаметр 50 % частичек пылевидной фракции 0-100 мкм) промышленной кварцевой пыли не превышает 2-4 мкм для пыли, образовавшейся при взрыве на контакте «ВВ-порода», и 8-10 мкм для пыли в буровом шламе, частички с такими свойствами мо-

гут довольно долго находиться в атмосфере после взрыва за счет турбулентности воздушных потоков.

Для бескварцевых пород (перидотиты, габбро, базальты) или пород с содержанием кварца менее 10% (габбро-диабазов) медианный размер мелкодисперсных частичек разрушенной взрывом породы обычно лежит в пределах 30-40 мкм при средневзвешенном их диаметре 65-75 мкм [3]. При взрывном разрушении таких пород образовавшееся пылегазовое облако быстро рассеивается и оседает в зоне горного отвода за счет интенсивного выпадения крупных частичек под действием гравитационных сил.

Учитывая тот факт, что с уменьшением прочности разрушаемых пород возрастает диаметр пылевидных частичек [1], имеется возможность увеличивать их размер за счет целенаправленного уменьшения прочностных свойств среды на контакте «разрушающий инструмент-порода» или «ВВ-порода». Уменьшение прочности кварцсодержащих пород может быть достигнуто путем воздействия на них поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для кварца таким веществом является раствор Na_2CO_3 , в присутствии которого сопротивление данного минерала разрушению сильно понижается [7, 8].

Цель работы – исследование характера разрушения кварцсодержащих полиминеральных горных пород, ослабленных действием щелочной среды, динамическими нагрузками высокой интенсивности для создания ресурсо- и энергосберегающих способов их добычи.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования разрушающего действия высокоскоростного удара на кварцсодержащие породы изготавливали образцы из гранита (SiO_2 – 20-25 мас. %) и железистого кварцита (SiO_2 – 16-20 мас. %) в виде кубиков с размером ребра 25 мм. Такие образцы беспрепятственно и с минимальными трением продвигаются по вра-

щающейся каретке центробежного ударного станда [9], обеспечивая при этом максимальную скорость встречи с мишенью – 120 м/с. Контрольные образцы высушивали в лабораторном сушильном шкафу в течение 24 часов, а экспериментальные образцы в течение такого же времени выдерживали в насыщенном растворе Na_2CO_3 .

Изучение структурных особенностей и минералогического состава кварцсодержащих пород – гранитов и железистых кварцитов – с помощью поляризационного микроскопа МП-2 в прозрачных шлифах показало следующее.

Гранит розовый мелко- и среднезернистый урансодержащий (Ватутинское месторождение, Кировоградская обл.). Минералогический состав: *главные минералы* – кислый плагиоклаз (альбит-олигоклаз № 20-30) – 40-45%; амфиболы щелочного ряда зеленовато-бурые группы рибекита – 16%; амфиболы бесцветные группы тремолит-актинолита – 4%; кварц мозаичной структуры со следами грануляции и залеченными микротрещинами в виде субвертикальных полосок газово-жидких включений – 20-25%; *второстепенные минералы* – кальцит в виде пелитоморфных зерен в полевых шпатах+апатит (часто расположенный внутри акцессорных минералов)+ незначительное количество биотита темно-бурого – 15%; *акцессорные минералы* – ортит (внутри скоплений амфиболов)+горит в микротрещинах плагиоклаза+сфен (внутри акцессорных ортита и торита) – 5%.

Железистый кварцит тонкополосчатый, мелкозернистый (Ингулецкий горнообогатительный комбинат, Днепропетровская обл.). Минералогический состав: *главные минералы*: основные рудные – гематит + магнетит + мартит – 30-35%; кварц мелкозернистый – 20%; *второстепенные минералы*: сульфиды железа – пирит + халькопирит (следы) + пирротин (следы) + марказит – 2-3%; слюды и слюдоподобные минералы – хлорит+селадонит + биотит + стильномелан (заполнители микротрещин) – 3-4%; амфиболы – куммингтонит + альмандин – 10-15%; *Fe-карбонаты* – сиде-

роплезит + сидерит + пистомезит + ферродоломит – 15-20%; гидроокислы железа – гетит + лепидокрокит – до 1%.

Полученные при высокоскоростном ударе о стальную мишень продукты разрушения кварцсодержащих пород разделяли на фракции на лабораторных ситах с размерами ячеек от 50 до 400 мкм, определяли массу каждой фракции, а гранулометрический состав мельчайшей пылевидной фракции (0-100 мкм) дополнительно изучали с помощью поляризационного микроскопа МП-2, укомплектованного 20-ти кратным объективом, интеграционным столиком ИСА и отсчетным 10-ти кратным окуляром, что позволяло устанавливать размеры отдельных частичек разрушенной породы (зерен и их обломков, минеральных сростков) при увеличении 300× с точностью до 1 мкм. Кроме того, в поле зрения микроскопа при увеличении порядка 600× по характерным оптическим константам определяли минеральный состав пылевидной фракции исследуемых пород и анализировали форму частичек, образовавшихся в процессе разрушения породы.

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.

В процессе исследований фракционно-минералогического состава продуктов разрушения кварцсодержащих пород – гранитов и железистых кварцитов – установлено следующее.

Мелкодисперсные продукты разрушения образцов Ватутинских гранитов (фракция 0-100 мкм), необработанных ПАВ, на 90-95% состоят из вытянутых остроугольных обломков кварца и полевых шпатов (микроклина и альбита) и на 5-10% слюды (биотита). При этом мельчайшие обломки кварца и полевых шпатов присутствуют в анализируемых пробах приблизительно в равных долях (рис. 1, а).

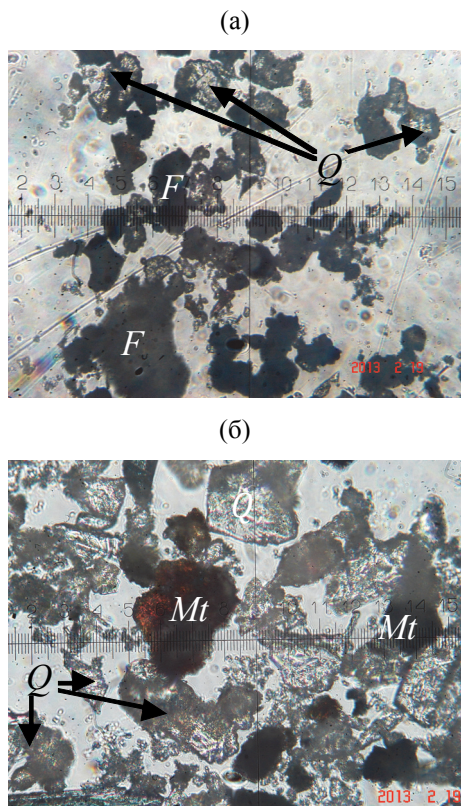


Рис. 1. Микрофотография продуктов разрушения гранитов (а) и железистых кварцитов (б); увеличение 300×: Q – кварц, F – полево шпат, Mt – магнетит

Мелкодисперсных продукты разрушения необработанных поверхностно-активных веществ (ПАВ) железистых кварцитов на 95-99% состоят из обломков кварца. Обломки и зерна рудных минералов, а также слюд, гидрослюд и амфиболы (магнетит, биотит, хлорит, стильпомелан, куммингтонит) в поле зрения микроскопа наблюдаются редко. Их содержание в продуктах разрушения данной породы не превышает 1-5% (рис. 1, б).

При микроскопическом изучении продуктов разрушения высокоскоростными ударными нагрузками образцов гранитов и железистых кварцитов, обработанных концентрированным раствором Na_2CO_3 , было

установлено, что в составе мелкодисперсных частиц фракции 0-100 мкм преобладает кварц, характеризующийся более округлой формой по сравнению с частичками кварца такой же фракции для сухих образцов, т.е. в продуктах разрушения практически не наблюдаются остроугольные обломки (рис. 2).

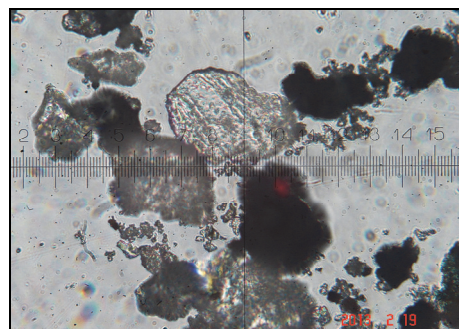


Рис. 2. Микрофотография продуктов железистого кварцита обработанного насыщенным раствором Na_2CO_3 увеличение 300×: светлые зерна – кварц, темные – магнетит

Гранулометрия продуктов разрушения кварцсодержащих пород (гранитов и железистых кварцитов) позволила установить существенное увеличение среднего размера мелкодисперсных частиц, а также их медианного и квартильных размеров для пород, обработанных ПАВ – насыщенным раствором Na_2CO_3 . Результаты гранулометрии продуктов разрушения кварцсодержащих пород, сухих и после воздействия ПАВ, приведены на рис. 3 и в табл. 1.

Анализ данных, приведенных на рисунках 1-3 и в таблице, позволил установить, что при воздействии на кварцсодержащие горные породы ПАВ, обладающих щелочной реакцией, характер их разрушения под действием ударного нагружения изменяется.

В частности, в сухих образцах кварцсодержащих пород разрушение происходит, как по контактам минеральных зерен, слагающих породу, так и по межзерновым границам. В образцах, подвергнутых дей-

ствию ПАВ, разделение полиминеральной породы на мелкодисперсные фрагменты происходит в основном по межзерновым границам – контактам минеральных зерен. При этом крупность мелкодисперсных частичек, составляющих пылевидную фракцию (0-100 мкм), увеличивается для гранитов в 1,15-1,25 раза и в 1,6-2,4 раза для железистых кварцитов.

Следует отметить, что величина коэффициента равномерности дробления (коэффициента сортировки) для горных пород обычно находятся в интервале 1,5÷3, и чем меньше его значение, тем больше частичек с одинаковым размером присутствует в анализируемой фракции.

Для гранитов, подверженных действию ПАВ, величина коэффициента равномерности дробления мало изменяется по сравнению с аналогичным параметром для сухих пород (чуть более 2%). Для анализируемой фракции 0-100 мкм железистых кварцитов коэффициент равномерности дробления уменьшается почти на 14%, что свидетельствует о более равномерном дроблении высокоскоростным ударом данных пород на контакте «мишень-порода» после воздействия на них ПАВ – насыщенного раствора Na_2CO_3 .

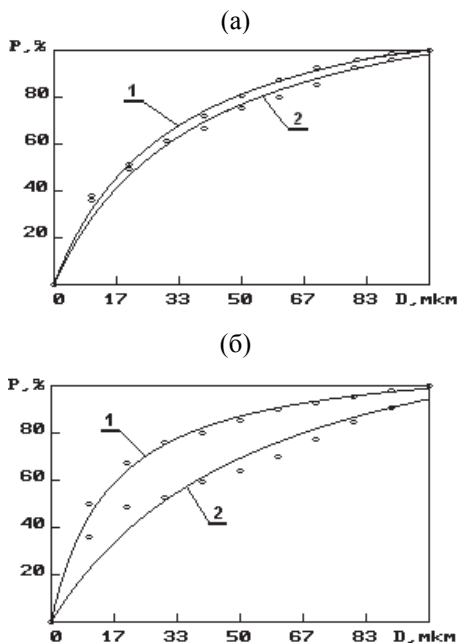


Рис. 3. Кумулятивные кривые гранулометрического состава мелкодисперсных фракций (0-100 мкм) образцов гранитов (а) и железистых кварцитов (б), разрушенных высокоскоростным ударом: 1 – сухие образцы; 2 – образцы, ослабленные действием ПАВ (Na_2CO_3)

ДАННЫЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КВАРЦОСодержащих ПОРОД, РАЗРУШЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ УДАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Таблица 1

| Порода | Условия воздействия | Средний размер частиц, мкм | Квартиль-50 (медианный размер частиц), мкм | Квартиль-25, мкм | Квартиль-75, мкм | Коэффициент равномерности дробления (сортировки частиц) |
|---|--|----------------------------|--|------------------|------------------|---|
| Ураноносные граниты. Ватутинское месторождение (Кировоградская обл., Украина) | Сухая порода | 31,35 | 18,46 | 7,27 | 37,89 | 2,28 |
| | После 24 ч выдержки в насыщенном растворе Na_2CO_3 | 35,52 | 22,34 | 8,56 | 47,14 | 2,33 |
| Железистые кварциты. Ингулецкий ГОК (Кривой Рог) | Сухая порода | 26,59 | 12,22 | 4,40 | 29,44 | 2,61 |
| | После 24 ч выдержки в насыщенном растворе Na_2CO_3 | 41,43 | 28,92 | 11,51 | 58,28 | 2,25 |

ВЫВОДЫ

Использование поверхностно-активных веществ, в частности, насыщенного раствора Na_2CO_3 , обладающего щелочной реакцией, для понижения сопротивления разрушению минерала кварца позволяет целенаправленно изменять характер разрушения кварцосодержащих горных пород



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов, Э.И. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах [Текст] / Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.П. Мартыненко, В.И. Борисов. – Днепропетровск: Січ, 1996. – 177 с.

2. Ефремов, Э.И. О влиянии фракционного состава кварцосодержащих пород на содержание силикозоопасной пыли в продуктах их разрушения [Текст] / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский, С.В. Шевченко // Доклады АН Украины. – 1993. – № 5. – С. 45-49.

3. Ефремов, Э.И. Экспериментальные результаты разрушения полиминеральных сред при взрывном и механическом воздействии [Текст]: материалы междунар. конф. «Высокоэнергетическая обработка материалов» / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский, В.В. Шеленок. – Днепропетровск, 1995. – С. 44-49.

4. Ефремов, Э.И. Влияние взрывного нагружения на степень разрушения полиминеральных сред [Текст]: межвед. сб. науч. тр. «Геотехническая механика» / Э.И. Ефремов, И.Л. Кратковский, В.Д. Петренко. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 1998. – Вып. 4. – С. 4-9.

5. Ефремов, Э.И. Экспериментальные исследования влияния скорости взрывного нагружения на выход пылевидных фракций при разрушении горных пород [Текст]: межвед. сб. науч. тр. «Геотехническая механика» / Э.И. Ефремов, И.Л. Кратковский, В.Д. Петренко Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2001. – Вып. 26. – С. 8-12.

на контакте «породоразрушающий инструмент-порода» или «ВВ-порода». На основе данного эффекта могут быть разработаны новые ресурсо- и энергосберегающие способы разрушения горных пород с использованием интенсивных динамических нагрузок (взрывных, ударных).

6. Кратковский, И.Л. Степень ориентированности дефектов строения кристаллических пород и характер их разрушения под действием нагрузок [Текст]: межвед. сб. науч. тр. «Геотехническая механика» / И.Л. Кратковский. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2003. – Вып. 42. – С. 115-122.

7. Greggs, D. Experiments bearing upon the orientation of quartz in deformation rocks / D. Greggs, J. Bell // Geol. Soc. American Bull., 1938 – vol. 49. – P. 1723-1746.

8. Greggs, D. Experiments bearing upon the orientation of quartz in deformation rocks / D. Greggs, J. Bell // Geol. Soc. American Bull., 1938 – vol. 49. – P. 1723-1746.

9. А.с. 1490573 СССР, МКИЗ 01 P 21/00. Центробежная установка для ударных испытаний материалов [Текст] / Э.И. Ефремов, В.И. Лисица, Н.И. Мячина и др.; Опубл. 30.06.89., Бюл. № 24. – 3 с.

ОБ АВТОРАХ

Ефремов Эрнест Иванович – д.т.н., профессор, заведующий отделом механики взрыва горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Кратковский Игорь Леонидович – к.т.н., с.н.с. отдела механики взрыва горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Ищенко Константин Степанович – к.т.н., с.н.с. отдела механики взрыва горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.