© Ю.А. Боровков, К.Л. Акопян, 2012

УДК 622.831.3:62-75

Ю.А. Боровков, К.Л. Акопян

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Рассмотрен характер изменения прочностных свойств горных пород путем развития трещин и зарождения микротрещин при применении ПАВ с целью предотвращения проявления горных ударов.
Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, трещина, пластические деформации, нагружение.

Увеличение глубины разработки месторождений связано с усложнением горно-геологической обстановки и динамическими проявлениями горного давления — горными ударами. В настоящее время большинство месторождений полезных ископаемых Урала признаны опасными по горным ударам.

Традиционные методы борьбы с горными ударами включают бурение разгрузочных скважин (щелей) и камуфлетное взрывание. Реализация этих методов связана с остановкой горных работ и отличается большими затратами труда и времени, что увеличивает себестоимость добываемого полезного ископаемого.

Одним из перспективных направлений борьбы с горными ударами является управление свойствами и состоянием пород поверхностно-активными веществами (ПАВ). Эффективность ПАВ как средства воздействия на свойства горных пород доказана, однако применительно к борьбе с горными ударами они не получили широкого распространения. Это обусловлено нерешенностью к настоящему времени следующих задач.

Прежде всего, это выбор эффективных для данных условий растворов ПАВ в их оптимальной концентрации; разработка методов насыщения и контроля процесса насыщения породных массивов активными растворами; определение критериев априорной оценки эффективности использования ПАВ для борьбы с горными ударами, включая традиционные методы — бурение разгрузочных скважин и камуфлетное взрывание.

Разработка мероприятий по предотвращению горных ударов ведется преимущественно в двух направлениях — приведение горных пород в неудароопасное состояние и снижение напряжений в приконтурном массиве. Одним из перспективных направлений повышения эффективности данных мероприятий является направленное изменение свойств и состояния горных пород поверхностно-активными веществами (ПАВ). Их действие (эффект Ребиндера) носит универсальный характер и проявляется в изменении практически всего комплекса свойств горных пород (А.Д. Алексеев, Г.Я. Воронцов, Ю.В. Горюнов, И.И. Круглицкий, Н.Ф. Кусов, О.Г. Латышев, Г.И. Марцикевич, Ф.Д. Овчаренко, Н.В. Перцов, П.А. Ребиндер, Е.Д. Шукин, О.А. Эдельштейн и др.).

В основе эффекта Ребиндера лежит адсорбционное понижение по-

верхностной энергии тел. Поэтому эффективность действия ПАВ зависит от величины свободной поверхности трещин и межзеренных контактов. В свою очередь, воздействие активных растворов приводит к дальнейшему развитию трещин при нагружении горных пород. Для определения развития и формы трещин используется люминесцентный микроскопический метод изучения трещиноватости горных пород, который позволяет фиксировать общую картину трещиноватости и координаты отдельных трещин.

Нами было исследовано 15 образцов медно-никелевой руды из месторождения Шануч. Обобщение результатов изучения процессов зарождения и развития трещин при нагружении горных пород в присутствии ПАВ позволяет сделать следующие выводы. Во всех диапазонах размеров трещин их концентрация в образцах, обработанных ПАВ, заметно выше, чем в необработанных. Более того, максимальный линейный размер трещин, образовавшихся при нагружении исходных пород, не превышает 630 мкм, в то время как под действием ПАВ в тех же условиях нагружения их длина доходит до 2500 мкм. Таким образом, во всех диапазонах размеров трещин их концентрация в образцах, нагружавшихся в ПАВ, заметно выше, чем в необработанных породах. Особо следует отметить изменение степени нарушенности пород (отношение удельной поверхности трещин к их дисперсности), которая возрастает в 6,7 раза.

В соответствии с общепринятым критерием (И.М. Петухов, П.Е. Егоров) горная порода считается потенциально удароопасной, если при нагружении до 80 % предела прочности доля ее упругих деформаций превышает 70 % от общих или работа упругих деформаций превышает работу пластических. По этим признакам большинство скальных пород Урала относятся к категории склонных к хрупкому разрушению (удароопасных) [1]. Действие ПАВ способно вывести горные породы из этого состояния. Нами проведены исследования деформационных характеристик основных пород месторождения Шануч. Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы.

Насыщение горных пород растворами ПАВ приводит к существенному (от 25 до 60 %) снижению их прочности, уменьшению (на 30—50 %) модуля и предела упругости. При этом рост трещин и ослабление межзеренных контактов сопровождается подвижкой минеральных зерен и уплотнением пород при их циклическом нагружении. Это проявляется в нелинейном росте модуля деформации пород в каждом последующем цикле нагружения. Данная зависимость описывается уравнениями

$$E = E_0\left(a - b\cdot\frac{\sigma_c}{\sigma}\right), \qquad (1)$$

где E_0 — начальный модуль упругости горных пород; a — безразмерный коэффициент, характеризующий асимптоту зависимости, т. е. предельно возможное увеличение относительно модуля деформации; b — безразмерный параметр, характеризующий скорость роста E с нагрузкой; σ, σ_c — напряжение и прочность при сжатии пород.

Мерой необратимых изменений, т. е. пластифицирования горных пород в ПАВ, служит величина их остаточной деформации

$$\varepsilon_{ост} = k\cdot\sigma\cdot\left(\frac{1}{E_0} - \frac{1}{E}\right), \qquad (2)$$

где коэффициент пропорциональности *k* зависит от активности раствора

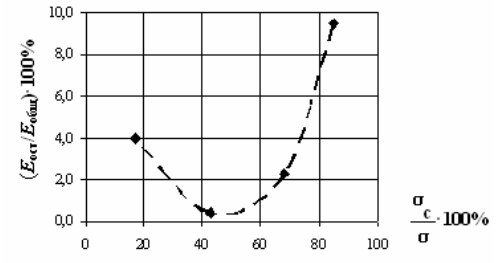

Рис. 1. Доля остаточной деформации при нагружении образца медно-никелевой руды $AlCl_3$

и степени его проникновения в горную породу (времени экспозиции). Расчет по приведенным формулам подтверждается экспериментальными данными и показывает экстремальный характер зависимости относительной доли остаточных деформаций от уровня приложенного напряжения. На рис. 1 показан график для медно-никелевой руды. Характер графика отражает зависимости деформирования горных пород в активной среде. Начиная с некоторого уровня напряжений (на графики это 17 % от σ_c) в горной породе начинается межзеренное скольжение, приводящее к ее уплотнению и снижению доли остаточной деформации. Но уже при напряжениях в 40—50 % от прочности доля остаточных деформаций возрастает с ускоряющимся темпом. Это определяется развитием под действием ПАВ имеющихся в породе трещин и проникновением по ним активного раствора во все больший объем породы. Рост трещин подтвержден нами экспериментально с помощью люминесцентно-микроскопического метода.

Одним из общепринятых критериев потенциальной удароопасности горных пород является условие превышения доли упругих деформаций в общих на 70 % ($\varepsilon_y > 0{,}7\varepsilon_{общ}$) при нагружении пород до 80 % от их прочности. Это условие можно записать в виде

$$\sigma_y/E_O > 0{,}7\cdot 0{,}8\ \sigma_{сж}/E = 0{,}56\sigma_{сж}/E,$$

где σ_y — предел упругости породы. Тогда предлагается использовать как прогнозную оценку потенциальной удароопасности горных пород соотношение

$$1{,}8\frac{\sigma_y E}{\sigma_{сж} E_O} > 1\cdot \qquad (3)$$

Отмеченные выше нами зависимости деформирования пород, выраженные в приведенных формулах, показывают, что обработка изученных пород растворами ПАВ выводит их из состояния потенциальной удароопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сынбулатов В.В.* Повышение эффективности предотвращения горных ударов // Известия вузов. Горный журнал. — 2005. — № 4. — С. 118-120. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Боровков Ю.А., Акопян К.Л. — МГРИ — РГГРУ, e-mail: kareny777@gmail.com.