УДК 622.02.026.3.001

И.С.ОСИПОВ
Уральский государственный горный университет

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ АКТИВИРУЕМЫХ НАРУШЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВНОМ ДРОБЛЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Работа посвящена решению актуальной задачи направленного изменения свойств и состояния горных пород поверхностно-активными веществами применительно к повышению качества дробления горных пород взрывом. Дан анализ закономерностей возникновения и развития трещин при нагружении пород в поверхностно-активной среде. Полученные параметры распределения трещин позволяют оценить вероятность разрушения горных пород. Обсуждаются вопросы определения концентрации активируемых взрывом нарушений в среде.

The work is connected will solution of the task of predetermined changes of rocks properties and states by surface-active substances in relation to the quality increase of rocks crushing by blasting. The analysis is given of regularities in appearance and development of cracks rolen rocks are loaded in surface-active environment, the obtained parameters of cracks distribution permit to assess the probability of rock masses destruction. The questions are considered of determination of disturbances in the environment activated by blasting.

Степень нарушенности горных пород трещинами напрямую определяет их прочность. Следовательно, одним из перспективных направлений повышения эффективности разрушения пород в горной технологии является управление их трещиноватостью. Эффективным инструментом для этого может служить использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), действие которых основано на адсорбционном понижении поверхностной энергии тел e_s (эффект Ребиндера) [3]. Для оценки эффективности использования ПАВ как средства управления трещиноватостью горных пород выполнена серия экспериментальных исследований [1] эффузивных пород пироксен-плагиоклазового состава Североуральских бокситовых месторождений (СУБР).

Образцы в виде куба со стороной 10 мм выдерживались при постоянной одноосной сжимающей нагрузке $\sigma = 25$ МПа на воздухе, в дистиллированной воде и 0,16 %-ном растворе ПАВ (додецилсульфат натрия *R*-O-SO_3Na) в течение 480 ч. Данная нагрузка соответствует горному давлению на глубине 800-1000 м для условий СУБРа. В образцах до и после испытания люминесцентным методом определялись под микроскопом количество и размер трещин в плоскостях, параллельных направлению действия сжимающих сил. Сводные результаты (по 12 пробам) представлены в таблице.

Распределение трещин по размерам для горных пород, нагружавшихся на воздухе и в растворе додецилсульфата натрия (ДС), представлено на рис.1.

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы. Использование ПАВ увеличивает число и концентрацию трещин в горной породе почти в четыре раза. В такой же пропорции возрастает их удельная поверхность. В соответствии с теорией трещин Гриффитса прочность тел пропорцио-

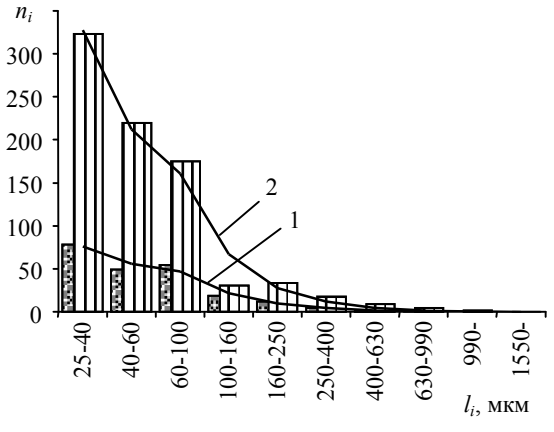


Рис.1. Распределение трещин по длине
1 – в исходной породе; 2 – в ПАВ

Характеристики трещиноватости горных пород

Интервал трещиноватости, мкм	Исходная горная порода		В растворе ПАВ					
	Среднее число трещин n	Концентрация трещин N, 1/см^3	Удельная поверхность трещин, $S_{уд}$, см^2/см^3	Степень нарушенности H	Среднее число трещин n	Концентрация трещин N, 1/см^3	Удельная поверхность трещин, $S_{уд}$, см^2/см^3	Степень нарушенности H
25-40	78,5	16652	0,352	0,019	323,0	67509	1,426	0,077
40-60	49,2	6779	0,339	0,028	219,3	29797	1,490	0,124
60-100	54,2	4668	0,597	0,079	175,0	14859	1,902	0,254
100-160	18,5	981	0,332	0,071	30,3	1585	0,536	0,116
160-250	12,2	409	0,344	0,117	34,0	1127	0,947	0,324
250-400	4,2	88	0,187	0,101	17,7	369	0,780	0,423
400-630	1,2	16	0,083	0,071	9,0	119	0,630	0,540
630-990	0,3	3	0,037	0,050	4,7	39,1	0,514	0,693
990-1550	-	-	-	-	2,0	10,7	0,345	0,730
1550-2500	-	-	-	-	0,3	1,1	0,092	0,309
Среднее	218	29596	2,271	0,539	815	115415	8,661	3,591

нальна их удельной поверхностной энергии. В этой связи характеристикой трещиноватости горных пород с точки зрения их разрушаемости может служить величина дисперсности [1] $D_i = 6/l_i$, т. е. такой максимальной поверхности, которая образовалась бы при разделении единицы объема образца на кубики со стороной, равной размеру трещины l_i. В качестве меры ослабления пород трещинами принят показатель степени нарушенности, равный отношению удельной поверхности трещин к величине дисперсности $H = S_{уд\,(i)}/D_i$, (см. таблицу).

Обработка горных пород раствором ПАВ приводит к увеличению степени их нарушенности в 6,7 раза. При этом обращает на себя внимание нелинейность зависимости нарушенности образцов разными по размеру трещинами (рис.2). Графики имеют явно выраженный экстремум (максимум), соответствующий размерам трещин, играющих наиболее существенную роль в ослаблении образцов. Если для исходных пород наиболее значимы трещины размером (300-600) мкм, то действие ПАВ приводит к смещению экстремума в сторону больших по размеру трещин (800-1400) мкм.

Наглядной иллюстрацией этого процесса может служить график на рис.3, где показано изменение концентрации трещин в растворе ПАВ ($N_р$) по отношению к их концентрации в исходной породе (N_0).

При условии, что число трещин в горной породе велико, и они распределены независимо и случайно, плотность распределения трещин по размерам можно описать уравнением Коши

$$F(l) = \exp\left\{-\left(\frac{l}{U}\right)^{-\alpha}\right\}, \qquad (1)$$

где U и α – параметры распределения; l – полудлина трещины.

Тогда вероятность разрушения горной породы, учитывая теорию разрушения Гриффитса, при данном напряжении σ можно определить уравнением Вейбулла

$$P(\sigma) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{2Ee_s}{\pi\sigma^2 U}\right)^{-\alpha}\right\}. \qquad (2)$$

где $\sigma_р$ – прочность при растяжении; E – модуль упругости; e_s – удельная поверхностная энергия горной породы.

Статистическая обработка результатов экспериментов позволила установить параметры распределения трещин (уравнение 1). Для исходных пород, нагружавшихся на воздухе, $U = 1{,}1\cdot10^{-3}$ мкм, $\alpha = 1{,}83$; в растворе ДС: $U = 0{,}81\cdot10^{-3}$ мкм, $\alpha = 1{,}96$. Рассчитанное по найденным уравнениям теоре-

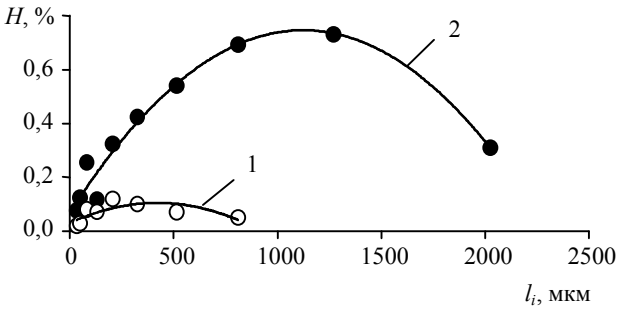


Рис.2. Степень нарушенности горных пород
1 – в исходной; 2 – в ПАВ

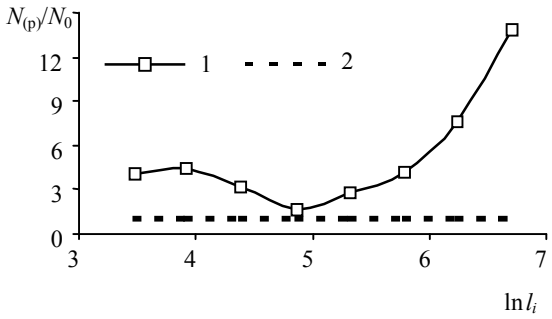


Рис.3. Относительная концентрация трещин
в горной породе
1 – ПАВ; 2 – воздух

тическое распределение трещин по размерам достаточно точно соответствует опытным данным.

Максимальное отличие теоретических и опытных частот не превышает 2,4 %. В соответствии с критерием Колмогорова [2] такая разница для данных условий опыта позволяет с надежностью, близкой к единице, утверждать об адекватности принятого закона распределения экспериментальным данным. Это подтверждает предположение о том, что трещины различных размеров в горной породе распределены независимо и случайно. Найденные параметры их распределения U и α позволяют использовать уравнение (2) для оценки вероятности разрушения горной породы при данном напряженном состоянии массива σ.

Коллективом кафедры ШС УГГУ (Безматерных В.А., Берсенев Г.П.) разработаны оригинальная теория и методика расчета параметров БВР, а также оценки качества дробления горных пород взрывом с заданной степенью надежности. Эти разработки основаны на учете числа активируемых нарушений в разрушаемом объеме, т.е. нарушений, которые способны участвовать в процессе разрушения при данных давлениях. Данный учет предлагается осуществлять по формуле

$$\gamma_L = \gamma_0 q^n, \qquad (3)$$

где γ_0 – коэффициент, зависящий от общего числа дефектов в породе; q – удельный расход ВВ; $n = 1$ – для плоского заряда; $n = 0{,}5$ – для цилиндрического заряда.

Таким образом, проведенные исследования позволяют выявить характер влияния ПАВ на трещиноватость разрушаемой горной породы, в зависимости от удельного расхода ВВ оценить число активируемых взрывом нарушений. В дальнейших исследованиях предполагается совершенствование методики расчета БВР с учетом использования поверхностно-активных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние поверхностно-активных веществ на развитие трещиноватости нагруженных горных пород / О.Г.Латышев, Н.И.Иванова, С.С.Иванова, Н.В.Перцов // Изв. вузов. Горный журнал. 1988. № 12. С.4-8.

2. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л.С.Зажигаев, А.А.Кишьян, Ю.И.Романиков. М.: Атомиздат, 1978. 232 с.

3. Эффект Ребиндера / Ю.В.Горюнов, Н.В.Перцов, Е.Д.Щукин. М.: Наука, 1966. 178 с.