

УДК 622.235

МЕХАНИЗМ ПРИРАЩЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ПРИ ВЗРЫВНОМ НАГРУЖЕНИИ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Мец Ю.С., д. т. н., проф.

Криворожский технический университет

50086, г. Кривой Рог, Днепропетровская обл. пр.Гагарина, 55/30

E-mail: kту@alba.dp.ua

У статті досліджується один із шляхів вибухового руйнування мінералів.

Ключові слова: механізм, вибухонебезпечна речовина, пористість, залізисті кварцити

One way of separating of minerals is investigated in the article.

Key words: mechanism, explosive, poreness, ferruginous, quartzites.

Введение. Повышение качества концентрата при обогащении окисленных железистых кварцитов может решаться, в частности, воздействием управляемого взрывного нагружения.

При достаточной интенсивности взрывной волны напряжений преобладающее значение в процессах разрушения горной породы имеет такой режим разрушения, характерным признаком которого является появление микротрещин в отбитых кусках руды. Опыты показывают, что по мере увеличения относительного расстояния от заряда интенсивность микротрещиноватости резко снижается.

Анализ предыдущих исследований. Результаты работ [1,2] показывают, что образование магистральных макротрещин, дробящих породу, является конечным результатом процессов роста микротрещин и их слияния впереди фронта макротрещин. Последнее наглядно подтверждается периодическим излучением упругих волн из локальных очагов микроразрушений непосредственно впереди магистральной трещины, которые были экспериментально зафиксированы в работе [2]. Наличие процессов роста и слияния микротрещин, которые протекают за определенный промежуток времени, обуславливает также известные эффекты взрывного запаздывания разрушения и повышение прочности породы при увеличении скорости нагружения.

Если условия нагружения таковы, что имеется рост микротрещин, но полного их слияния не произошло и максимальная конечная длина микротрещин намного меньше размеров образца, то последний, сохраняя видимую целостность, приобретает внутреннюю микроповрежденность. Как показывают опыты [1], зарождение микротрещин при динамическом нагружении происходит на естественных дефектах, обычно присутствующих в горных породах. Уменьшение числа дефектов, равно как и уменьшение их линейных размеров, ведет к повышению удельного разрушающего усилия.

Таким образом, интенсивное динамическое разрушение хрупкой горной породы характеризуется процессами роста и слияния трещин, которые зарождаются на естественных дефектах породы. Степень

развития микротрещиноватости отбитых кусков руды определяется интенсивностью взрывного нагружения, а также исходными размерами естественных дефектов.

Распределение естественных дефектов в породе (поры, трещины, и т.п.) неоднородно. По классификации В.В. Ржевского, Г.Я. Новика [3] дефекты по величине можно разбить на три порядка. Дефекты первого порядка – это собственно дефекты кристаллической решетки минералов и другие внутрикристаллические дефекты размером 10^{-9} – 10^{-5} м. Дефекты второго порядка – это трещины в межзерновом цементе или непосредственно между зёрнами размером 10^{-6} – 10^{-2} м. Дефекты третьего порядка – это тектонические трещины, кливаж, трещины выветривания и т.п., достигающие размеров 10–100 м. Дефекты первого и второго порядков ориентированы хаотично и обусловлены процессами диагенезиса осадков или кристаллизации магм. Как отмечается в [3], дефекты второго порядка оказывают решающее влияние на процессы измельчения в дробилках, мельницах и дезинтеграторах, а также на процессы экскавации пород и бурения. Поэтому процесс измельчения можно существенно облегчить, обеспечив зарождение микротрещин при взрывном нагружении именно на дефектах второго порядка.

Цель работы. Изучить механизм приращения пористости при взрывном нагружении окисленных железистых кварцитов.

Материал и результаты исследований. В ближней зоне взрыва куски взорванной руды содержат микротрещины, развитые из исходных микродефектов. Следовательно, пористость этих кусков увеличивается по сравнению с пористостью данного куска в массиве до проведения взрыва.

Принимая, что эффективный объем трещины является цилиндром с радиусом основания, равным начальному размеру трещины r_a и высотой $r(t)$, получим, что приращение их объема для всех активных трещин будет равно:

$$U = \pi r_a^2 [r_a + C(t_1 - t_0)] n_1(r_a) dr_a \quad (1)$$

где $n_I(r_a)$ – распределение по размерам активных дефектов удовлетворяющих критерию начала роста дефекта в виде:

$$\sigma^I = \sigma^I. \quad (2)$$

Как известно [4], зарождение микротрещин на дефекте, находящегося под действием растягивающей нагрузки и интенсивности σ , будет иметь место при достижении внутренними напряжениями σ^I вблизи дефекта своего критического значения σ^{I*} . Величина σ^I учитывает особенность распределения напряжений у краёв дефекта и концентрацию их в окрестности дефекта. Величина σ^{I*} , определяющая начало локального разрушения, соответствует пределу прочности породы на растяжение в данной точке.

Общее приращение пористости, вследствие процесса микротрещинообразования, выражается интегралом от равенства (1) по всем активным микротрещинам от наименьшего r_a до наибольшего r_{max} , которые удовлетворяют критерию:

$$u_n = p \int_{r_a}^{r_{max}} r^2 a [r_a + c(t_1 - t_0)] h_1(r_a) dr_a. \quad (3)$$

В [5] приведены зависимости прочностных и деформационных свойств крепких горных пород Кривбасса от пористости:

$$\begin{aligned} \sigma_{сж.} &= 45 \cdot 10^7 (1 + 3\Pi)^2, \text{ н/м}^2 \\ \mu &= 0,333 \pm 0,15 \\ E_q^1 &= 14,5 \cdot 10^{10} (1 + 2,67\Pi)^2, \text{ н/м}^2, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\sigma_{сж.}$ – предел прочности при сжатии перпендикулярно слоистости, μ – коэффициент Пуассона, E – динамический модуль упругости перпендикулярно слоистости, Π – пористость в долях единицы.

Пористость удельной массы 1г связана с u_n соотношением

$$\Pi = \rho \cdot u_n, \quad (5)$$

где ρ – плотность, г/см³.

Тогда из (4) и (5) следует, что снижение прочности на сжатие выражается зависимостью:

$$\frac{S_{сж.}}{S_{сж.}^0} = \left[\frac{1 - 3(\Pi_0 - \Pi)}{1 - 3\Pi_0} \right]^2 \quad (6)$$

где $S_{сж.}^0$ – прочность породы до проведения взрыва.

Из соотношений (4) и (5) видно, что куски взорванной руды, содержащие микротрещины, развитые взрывом из её исходных дефектов, характеризуются меньшими пределами прочности на сжатие и динамическим модулем упругости, но увеличенным коэффициентом Пуассона.

Для примера рассмотрим упрощенное типичное распределение дефектов по размерам $n_I(r) = A \cdot r^{-k}$ и примем, что $r_a = 5 \cdot 10^{-3}$ см, $r_{max} = 5 \cdot 10^{-2}$ см, $C = 2 \cdot 10^6$ см/с, $t_1 - t_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ с, $K = 2$, $A = 0,26$, $\rho = 3,5$ г/см³, $\Pi_0 = 0,1$ пористость до проведения взрыва.

Для примера рассмотрим упрощенное типичное распределение дефектов по размерам $n_I(r) = A \cdot r^{-k}$ и примем, что $r_a = 5 \cdot 10^{-3}$ см, $r_{max} = 5 \cdot 10^{-2}$ см, $C = 2 \cdot 10^6$ см/с, $t_1 - t_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ с, $K = 2$, $A = 0,26$, $\rho = 3,5$ г/см³, $\Pi_0 = 0,1$ пористость до проведения взрыва.

Подставляя эти данные в (3) и (5), получим:

$$\Pi = ru_n = p \cdot A \cdot r \left[\frac{r_{max}^2 - r_a^2}{2} + C(r_{max} + r_a) \right] (t_1 - t_0) \approx 0,13 \quad (7)$$

При этом дефект исходного размера $r_a = 0,05$ см возрастает до величины $r(t_1) = 1,05$ см. В результате из (4) следует, например, снижение прочности $\sigma_{сж.}$ в отношении

$$\frac{S_{сж.}}{S_{сж.}^0} \approx 0,76$$

Таким образом, снижение прочности в рассмотренном примере достигает 24%.

Заметим, что, согласно (3), возможно селективное разупрочнение зерен. Например, селективность разупрочнения зерен мартита (М) и кварца (К) возрастает при прочих равных условиях с ростом отношения

$$\begin{aligned} & (r_{max}^M - r_a^M) / (r_{max}^K - r_a^K), \\ \text{так как} \quad & \frac{u_n^M}{u_n^K} = \frac{r_{max}^M - r_a^M}{r_{max}^K - r_a^K}. \end{aligned} \quad (8)$$

Выводы. Рассмотренный механизм образования микротрещин позволяет прогнозировать изменение прочности и степени разделения минералов окисленных железистых кварцитов, подвергнутых взрывному нагружению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shockey D.A., Pettersen C.F., Curren D.R., Rosenberg F.F. Failure of rock underling rate tensile loads new horisuo i rock mechanics. Proc.14th 1972. Amer soc. Civil enges, №4, 1973.
2. Удар, взрыв и разрушение // Новое в зарубежной науке. – М., 1961. - № 26.
3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. - М.: Недра, 1978.
4. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. - М.: Наука, 1974. - 640 с.
5. Глушко В.Т., Борисенко В.Г. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений. - М.: Наука, 1978.

Статья поступила 04.05.2008.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
Воробйовим В.В.