

УДК 622.236.4.001.1

Исследование влияния воздействия взрыва на начальную стадию трещинообразования в горных породах

Куриной В. П.

НГУ МОН Украины, Днепропетровск, Украина

Поступила в редакцию 24.09.10, принята к печати 29.10.10.

Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований влияния воздействия взрыва на начальную стадию трещинообразования в горных породах.

Ключевые слова: взрыв, трещина, горные породы.

До настоящего времени основная часть полезных ископаемых добывается широким использованием взрывных работ. Возрастание объемов применения химических взрывных веществ в горнодобывающей промышленности и строительстве особенно остро ставит проблему повышения эффективности их применения на разрушение горных пород.

Горная порода обладает естественной трещиноватостью. Если в породе создать медленно возрастающее поле напряжений (например, одноосное растяжение), то при достижении некоторого значения напряжения начнется рост самой длинной трещины, ориентированной перпендикулярно приложенному напряжению. Эта трещина и определяет статический предел прочности породы.

Так как скорость роста трещин и волн разгрузки ограничена, то, увеличивая скорость нагружения, можно добиться роста все более коротких трещин, ориентированных перпендикулярно нагрузке. При динамическом нагружении предел прочности породы будет возрастать, так как он определяется критическим напряжением для самой короткой растущей трещины в образце (породе). Динамический предел прочности ограничен. Максимальное значение его будет наблюдаться, когда разделение породы по поверхности разрушения происходит одновременно по всем точкам этой поверхности.

Оценим скорость нагружения, необходимую для роста трещин длиной, большей заданной. Если известна функция распределения трещин по длине в данной породе, легко оценить среднее расстояние между трещинами определенной длины в некотором тонком плоскопараллельном слое. Причем трещины должны быть параллельны границам слоя, а сам слой должен быть перпендикулярным нагрузке [1].

Пусть указанные трещины имеют длину $2l$ и находятся на расстоянии r друг от друга. Когда напряжения в породе достигнут величины $\sigma_{кр}$, трещины длиной $2l$ начнут расти:

$$\sigma_{кр} = \sqrt{2E\gamma / \pi l}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости;

γ – работа образования единицы площади новой поверхности породы.

Волны разгрузки в породе, возникающие при росте таких трещин, распространяются со скоростью волны напряжений C_l и будут разгружать породу. За время $\Delta t \sim r / C_l$ порода будет разгружена. Для роста трещин длиной $2l$ скорость нагружения должна быть не меньше

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} \sim \frac{\sigma_{кр}}{\Delta t} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}} \cdot \frac{C_l}{r}. \quad (2)$$

Для того, чтобы трещины длиной $2l$ не смыкались, время существования напряженного состояния должно быть меньше $\Delta t_2 \approx r / 2V_T$, где V_T – средняя скорость роста трещин. При $V_T \approx C_l / 2$ $\Delta t_2 \approx \Delta t_1$.

Для роста трещины длиной $2l$ на dl необходима энергия

$$dW' \approx 2\pi\sigma_{кр}^2 \cdot l \cdot dV \cdot dl / E. \quad (3)$$

Чтобы росли все трещины длиной $2l$ в выбранном слое объемом dV необходима энергия

$$dW \approx 2\pi\sigma_{кр}^2 \cdot l \cdot n \cdot dV \cdot dl / E, \quad (4)$$

где n – концентрация трещин длиной $2l$ в слое;
 $dl = V_T dt$.

Поэтому плотность потока в волне напряжений, необходимая для роста всех трещин длиной $2l$ в слое, равна

$$\frac{d^4 W}{dV dt} C_l \approx \frac{2\pi\sigma_{кр}^2 l C_l^2 n}{E}. \quad (5)$$

Для роста трещин нужно, чтобы время существования напряженного состояния Δt_3 было больше или равно

$$\Delta t_3 \geq 2l_m / C_l, \quad (6)$$

где l_m – максимальная длина растущей трещины.

В противном случае поле напряжений, нагружающее трещину, не успеет установиться.

Разупрочнение породы может происходить и в упругой волне.

Пусть в породе распространяется продольная гармоническая волна

$$\sigma = \sigma_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} C_l t, \quad (7)$$

где σ_m – амплитуда напряжений;

λ, C_l – длина волны и скорость волны.

Оценим, насколько вырастет трещина длиной $2l$ при прохождении половины волны.

Полагая, что $\sigma_m > \sigma_{кр}$, найдем длительность существования напряжений

$$\Delta t = \frac{\lambda}{C_l} \left(1 - \frac{1}{\pi} \arcsin \left(\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_m} \right) \right). \quad (8)$$

Если положить, что $V_T = 0,5C_l$, то за время прохождения полволны трещина первоначальной длины $2l$ успевает вырасти на

$$\Delta l = \lambda \left(1 - \frac{1}{\pi} \arcsin \left(\frac{\sigma_{kp}}{\sigma_m} \right) \right). \quad (9)$$

При прохождении второй половины будут расти трещины, ориентированные в плоскостях, параллельных волновым поверхностям. Последующие волны будут продолжать развивать те же трещины. После прохождения волны в породе будут отсутствовать трещины, перпендикулярные и параллельные фронту волны, длина которых больше $2l$, но меньше новой длины рассматриваемых трещин.

Таким образом, установлено, что обязательным условием роста трещин в породе, превышающих некоторую заданную величину, необходимо, чтобы амплитуда поля напряжений, скорость изменения нагрузки и длительность ее воздействия превышали бы некоторые пороговые значения.

Условие квазистатического нагружения:

$$t_n \gg l/C_p,$$

где t_n – время нагружения;

l – размер элемента породы;

C_p – скорость волны напряжений.

Условие динамического нагружения:

$$t_n \leq l/C_p.$$

Схематическое изображение роста трещин в динамическом поле напряжений представлено на рис. 1.

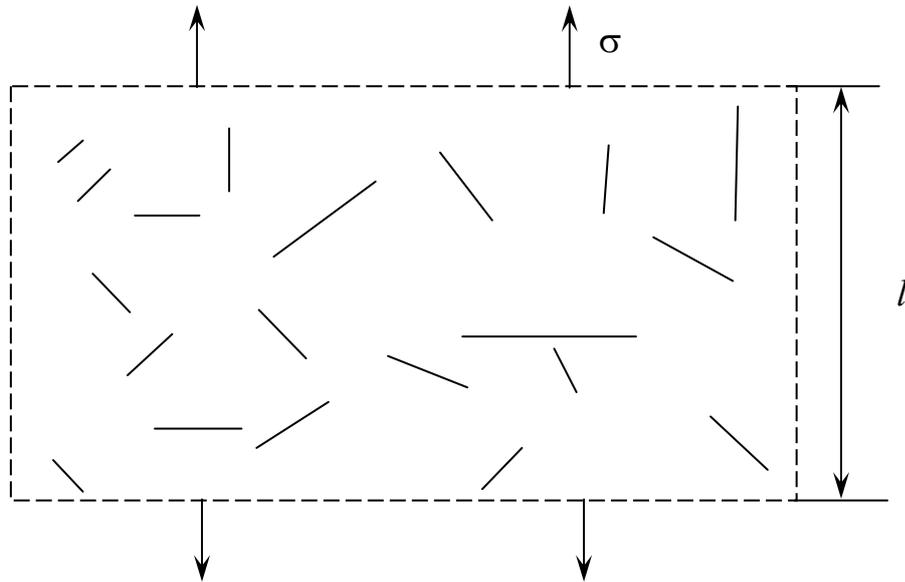


Рис. 1. Схематическое изображение роста трещин в динамическом поле напряжений

Для разупрочнения породы необходимо, чтобы не только амплитуда волны напряжений превышала некоторую определенную величину, но и плотность потока ее мощности также была ограничена снизу значениями, различными для разных горных пород. Следует также отметить, что в плоской упругой волне могут расти трещины лишь в направлениях, перпендикулярных или параллельных фронту волны.

Изменение к.п.д. процесса роста трещин представлено на рис. 2.

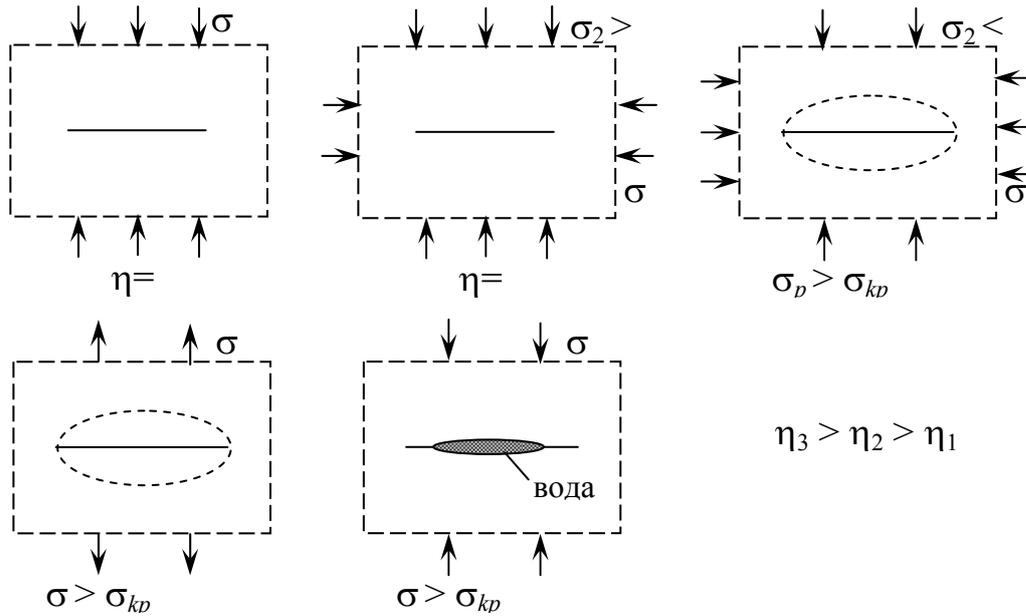


Рис. 2. Изменение к.п.д. процесса роста трещин:

σ – напряжения, приложенные к элементу породы; σ_D – результирующие напряжения; σ_{kD} – напряжения, необходимые для роста трещин; $\eta = \gamma \Delta S / A_3$, где γ – энергия единицы площади вновь образованной поверхности; ΔS – приращение площади поверхности трещины; A_3 – затраченная работа на образование трещин

Бібліографічний список

1. Ефремов Э. И. Исследование влияния ширины и свойств заполняющих их материалов на результаты действия взрыва в трещиноватых средах / Э.И. Ефремов, В.А. Никифорова, К.С. Ищенко // Разработка рудных меторождений. – Кривой Рог, 2008. – Вып. 92. – С. 25-28.

© Куриной В. П., 2011.

Анотація

У статті наведено результати теоретичних досліджень впливу дії вибуху на початкову стадію тріщиноутворення в гірських породах.

Ключові слова: вибух, тріщини, гірська порода.

Abstract

In paper results of theoretical investigations of agency of explosion's action on a cracking in initial stage in rocks are given.

Keywords: explosion, crack, rock.