

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ В ДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ

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 определить 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. 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.

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

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_1 и будут разгружать поро-

ду. За время $\Delta t \sim \frac{r}{C_l}$ 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 $\Delta t \approx \frac{r}{2V_T}$, где V_T - средняя скорость роста трещин. При $V_T \approx 0,5C_l$ $\Delta t \approx \Delta t_1$.

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

$$dW \approx \frac{2\pi\sigma_{кр}^2 l dl}{E}. \quad (3)$$

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

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

где n - концентрация трещин длиной $2l$ в слое, $dl = V_T dt$, поэтому плотность потока мощности 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

$$\Delta t_3 \geq \frac{2l_m}{C_l}, \quad (6)$$

где l_m - максимальная длина растущей трещины.

В противном случае после 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 - длина волны, C_l - скорость волны. Оценим на сколько вырастают трещины длиной $2l$ при прохождении половины волны. Полагая, что $\sigma_m > \sigma_{кр}$, найдем длительность существования напряжений $\sigma > \sigma_{кр}$.

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

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

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

При прохождении второй полволны 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 волны напряжений, скорость изменения нагрузки и длительность ее воздействия превышали бы некоторые пороговые значения.

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.

УДК 534.232:627.275

В. В. Колесников

УПРАВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЕМ НАПРЯЖЕННЫХ ПОРОД С ПОЗИЦИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МИКРОМЕХАНИКИ

В напряженных средах, какими являются горные породы, происходит постоянное колебание структурных элементов и обмен энергией между пи-