

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ТИП РАЗРУШЕНИЯ И ВЕЛИЧИНУ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ВДОЛЬ И ВКРЕСТ СЛОЕВ ПЛОСКОСТИ ИЗОТРОПИИ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА

Под механизмом разрушения понимается, во-первых, вязкий или хрупкий тип разрушения, во-вторых, выявление закономерностей распространения трещин по слоям плоскости изотропии перпендикулярно к ним и в направлениях между ними.

Упругая энергия A_E , запасенная в породе в результате действия внешней нагрузки и необходимая для образования трещины, равна /1/

$$A_E = \frac{\pi}{E} l^2 \sigma^2. \quad (1)$$

Трещина будет расти, если

$$\frac{\partial A_E}{\partial l} > \frac{\partial A_S}{\partial l}. \quad (2)$$

Критическое состояние трещины характеризуется равенством

$$\frac{\partial A_E}{\partial l} = \frac{\partial A_S}{\partial l}.$$

Откуда

$$\sigma_{\text{рост}} = \sqrt{\frac{2Ee_s}{\pi l}}, \quad (3)$$

где E - модуль Юнга; l - длина трещины; $2e_s$ - удельная поверхностная энергия, затрачиваемая для образования двух поверхностей трещин по Гриффитсу.

Для изотропного массива имеются следующие критерии, определяющие характер разрушения /1/.

Величина удельной энергии, которая затрачивается для образования трещин, определяется выражением

$$e_s = \frac{1-\nu^2}{2E} K_{IC}^2. \quad (4)$$

где K_{IC} - критический коэффициент интенсивности напряжения, который определяется экспериментально для трещины определенной длины; ν - коэффициент Пуассона.

Длина распространения трещины вычисляется следующим выражением:

$$\ell = \frac{2Ee_s}{\pi(1-\nu^2)\sigma^2}. \quad (5)$$

Подставляя выражение (4) в (5), для критической длины трещины получаем

$$\ell_c = \frac{K_{IC}^2}{\pi \sigma_n^2}. \quad (6)$$

Это выражение определяют длину трещины в изотропной среде.

Раскрытие трещины в изотропной среде определяется выражением /2/

$$\delta = \frac{J}{m \sigma^T}, \quad (7)$$

где $m=3^{1/2}$ - параметр, зависящий от пластического стеснения деформационного упрочнения;

$$J = \frac{1-\nu^2}{E^2} K_{IC}^2. \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в (7), окончательно получим формулу раскрытия трещины в виде

$$\delta_c = \frac{(1-\nu^2) K_{IC}^2}{m \sigma^T}. \quad (9)$$

По критерию Кулона

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (10)$$

$$m = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}. \quad (11)$$

Если $m < \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}$ – то хрупкое разрушение.

Если $m > \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}$ – то вязкое разрушение.

Хрупкий или пластический тип разрушения определяется соотношением m между касательными и нормальными напряжениями, возникающими в породе.

Из теории упругости анизотропных сред /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, /8/, многочисленных натурных, экспериментальных и измеренных данных, например, /5/, /6/ и из справочника (КАДАСТР) физических свойств горных пород /7/ известно, что по направлениям упругих свойств E_1 и E_2 будут соответствовать свои анизотропные прочностные свойства: $\sigma_{\perp}^{сж}$, $\sigma_{\parallel}^{сж}$, $\sigma_{\perp}^{рост}$, $\sigma_{\parallel}^{рост}$, $\tau_{\perp}^{сж}$, $\tau_{\parallel}^{сж}$. Кроме того, экспериментальные данные показывают также, что в трансгротном массиве возникает два различных коэффициента интенсивности напряжений: в направлениях вдоль слоев ($\parallel$) и перпендикулярно ($\perp$) слоям. Например, такие данные приводятся в работе Ю.В. Зайцева /8/ на стр. 63. «... горным породам, как правило, присуща сильная анизотропия свойств, и значение K_{IC} существенно зависит от направления развития трещины, причем

минимальное значение K_c и значение K_{Ic} в перпендикулярной плоскости относятся примерно, как 1:4».

Значит, исходя из реальных механических процессов разрушения, происходящих в трансгротном массиве, возможно констатировать существование $K_{Ic}^{\parallel}$ и $K_{Ic}^{\perp}$. Здесь верхние индексы " $\perp$ " и " $\parallel$ " показывают на направления вдоль и перпендикулярно к слоям плоскости изотропии.

Тогда, естественно, этим интенсивностям напряжений будут соответствовать различные выражения нахождения длины и ширины трещин, которые распространяются вдоль и перпендикулярно слоям. Обозначим длины через $l_c^{\parallel}$ и $l_c^{\perp}$, а ширины - через $\delta_c^{\parallel}$ и $\delta_c^{\perp}$.

Теперь известны критерии (3), (5), (6), (9), (11), полученные для изотропной среды, распространим для трансгротного горного массива.

Для трансгротного массива в случае распространения трещины вдоль слоев ($\parallel$) к плоскости изотропии выражение (11) запишем в следующем виде:

$$m^{\parallel} = \frac{\tau_{\max}^{\parallel}}{\sigma_{\max}^{\parallel}} \quad (12)$$

И для случая, когда трещина распространяется перпендикулярно к слоям ($\perp$) плоскости изотропии, получим

$$m^{\perp} = \frac{\tau_{\max}^{\perp}}{\sigma_{\max}^{\perp}}. \quad (13)$$

Растягивающее напряжение (3) для раскрытия трещины вдоль и перпендикулярно слоям имеет следующий вид:

$$\sigma_{\text{раст}}^{\parallel} = \sqrt{\frac{2E_1 e_s}{\pi d}}. \quad (14)$$

$$\sigma_{\text{раст}}^{\perp} = \sqrt{\frac{2E_2 e_s}{\pi d}}. \quad (15)$$

Если

$$m^{\parallel} < \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\parallel}}{y_{\text{раст}}^{\parallel}}, \quad (16)$$

то происходит хрупкое разрушение вдоль слоев плоскости изотропии трансгротного массива.

$$\text{При } m^{\perp} < \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\perp}}{y_{\text{раст}}^{\perp}} \quad (17)$$

разрушение происходит перпендикулярно к слоям плоскости изотропии.

$$\text{Если } m^{\parallel} > \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\parallel}}{y_{\text{раст}}^{\parallel}}, \quad (18)$$

то происходит вязкое разрушение вдоль слоев плоскости изотропии трансгротного массива.

$$\text{При } m^{\perp} > \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\perp}}{y_{\text{раст}}^{\perp}}, \quad (19)$$

вязкое разрушение происходит перпендикулярно к слоям плоскости изотропии.

Для вычисления длины трещин, распространяющихся вдоль и перпендикулярно слоям в трансгротной среде, выражение (6) представим в виде

$$\ell_c^{\perp} = \frac{K_{\text{IC}}^{\perp}}{\pi \sigma_n^2}, \quad (20)$$

$$\ell_c^{\parallel} = \frac{K_{\text{IC}}^{\parallel}}{\pi \sigma_t^2}. \quad (21)$$

Для трещин, распространяющихся вдоль и перпендикулярно к слоям в анизотропной среде, выражение (9) представим в виде

$$\delta_c^{\perp} = \frac{(1-\nu^2)(K_{\text{IC}}^{\perp})^2}{m \sigma_n} \quad (22)$$

$$\delta_c^{\parallel} = \frac{(1-\nu^2)(K_{\text{IC}}^{\parallel})^2}{m \sigma_t} \quad (23)$$

Список литературы

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
2. Сиратори М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения. – М.: Мир, 1986. – 334 с.
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 415 с.
4. Батугин С.А. Анизотропия массива горных пород. – Новосибирск: Наука, 1988. – 86 с.
5. Витке В. Механика скальных пород. – М.: Недра, 1990. – 440 с.
6. Шрейнер Л.А., Байдюк Б.В., Павлова Н. Н. и др. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. – М.: Недра, 1968. – 358 с.
7. Справочник (КАДАСТР) физических свойств горных пород. – М: Недра, 1975. – 279 с.
8. Зайдев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.