

## ВСТАНОВЛЕННЯ КРИТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ТРІЩИНУВАТИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Відповідно до механіки руйнування будь-який процес руйнування матеріалу належить до одного з видів порушення міцності, які можуть відбуватися в результаті: 1) пружної або пластичної деформації; 2) втрати стійкості; 3) безпосередньо руйнування. Руйнування гірських порід вибухом належить до безпосереднього руйнування і може бути частковим або повним. При частковому руйнуванні в тілі виникають пошкодження у вигляді окремих тріщин або розподілених по об'єму дефектів, які призводять до зміни механічних властивостей матеріалу. При повному руйнуванні відбувається поділ тіла на частини.

Руйнування скельних гірських порід вибухом зазвичай відносять до квазікрихкого руйнування, що відбувається під дією ударних навантажень. Массив гірських порід, який підлягає такому руйнуванню, є недосконалим з точки зору механіки суцільного середовища, оскільки в ньому існують макро- та мікротріщини і система видимих тріщин, яка характеризується показником «питомої тріщинуватості». Тому при розв'язанні задач про руйнування тріщинуватих гірських порід необхідно враховувати наявність початкових тріщин. А сам процес руйнування повинен описуватися критеріями міцності.

В цілому процес руйнування гірських порід складається з двох стадій – зародження тріщини та її поширення, причому кожна з цих стадій описується своїми законами. Зважаючи на це існують критерії міцності породи, які описують як умови зародження тріщини, так і умови поширення тріщини. Перші критерії описують умови настання небезпечного стану в точці в даний момент. Другі виходять з наявності в тілі тріщини.

Критерії початку поширення тріщини в гірській породі можуть бути отримані як на основі енергетичних критеріїв, так і силових. Спочатку А. А. Гріффітсом був запропонований енергетичний критерій руйнування, а потім Дж. Р. Ірвіном – силовий критерій. Таким чином, маємо два еквівалентні формулювання критерію руйнування скельних гірських порід. Тріщина дістає можливість поширення у тому випадку, коли:

1) інтенсивність енергії  $G$ , що звільняється, досягає критичної величини

$$G_c = \delta\Gamma/\delta S = \text{const}; \quad (1)$$

2) коефіцієнт інтенсивності напруження  $K$  досягає критичної величини

$$K_c = \text{const}, \quad (2)$$

де  $G_c$  – питома (ефективна) робота руйнування;  $K_c$  – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень.

Отже, енергетичний критерій початку зростання тріщини:

$$G = G_c. \quad (3)$$

Силовий критерій:

$$K = K_c. \quad (4)$$

Відповідно до концепції Гріффітса-Орована-Ірвіна виразимо критичне значення напруження в масиві гірських порід. Припустимо, що існує необмежена площина, яка послаблена одиночною прямолінійною тріщиною з координатами  $y = 0$ ,  $|x| \leq l$  (рис. 1). Площина розтягується рівномірним напруженням  $\sigma$  в напрямку осі у перпендикулярно до лінії тріщини.

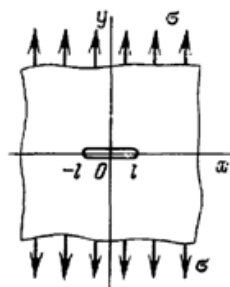


Рис. 1. Схема матеріалу з одиночною тріщиною

Встановимо, при якому значенні зовнішнього напруження  $\sigma$  тріщина даної довжини  $2l$  почне поширюватися в масиві при постійному зовнішньому навантаженні. Потенційна енергія деформації гірської породи без тріщини більше за потенційну енергію матеріалу з тріщиною, оскільки навколо тріщини існує зона зменшених напружень, тому що на вільних поверхнях тріщини напруження дорівнюють нулю.

Припустимо, що точки прикладання зовнішніх сил не зміщуються зі зростанням тріщини, тобто робота зовнішніх сил дорівнює нулю. В результаті появи тріщини потенційна енергія матеріалу зменшується на величину

$$\Delta W = W_0 - W = \frac{\pi\sigma_{\text{сп}}^2 l^2}{E}, \quad (5)$$

де  $W_0$  – потенційна енергія пружної деформації пластини без тріщини;  $W$  – потенційна пружна енергія пластини з тріщиною;  $\sigma_{кр}$  – критичне напруження;  $E$  – модуль пружності.

Звільнена пружна енергія  $\Delta W$  надходить до вершини тріщини, де виникла концентрація напружень, і там витрачається на руйнування гірської породи (на утворення нової поверхні тіла). Якщо вважати питому роботу руйнування постійною  $\gamma = \text{const}$ , то робота, яка витрачається на утворення тріщини довжиною  $2l$ , дорівнює

$$\Gamma = 4\gamma l. \quad (6)$$

Припустимо, що довжина тріщини збільшується на величину  $\Delta l$ , то енергія, яка вивільнилася буде приблизно дорівнювати

$$\Delta W = \frac{2\pi\sigma_{кр}^2 l \Delta l}{E}. \quad (7)$$

Водночас на збільшення довжини тріщини в матеріалі повинна бути витрачена енергія  $\Delta\Gamma$ :

$$\Delta\Gamma = 4\gamma\Delta l. \quad (8)$$

Таким чином, умова настання критичного стану має вигляд:

$$\Delta W = \Delta\Gamma. \quad (9)$$

З урахуванням (7) та (8) умова Гриффітса буде записана як

$$\frac{2\pi\sigma_{кр}^2 l \Delta l}{E} = 4\gamma\Delta l. \quad (10)$$

З (10) отримаємо формулу Гриффітса для визначення критичного напруження при плоскому напруженому стані для тріщин відриву

$$\sigma_{кр}^2 = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}} \quad (11)$$

Якщо зважити на те, що інтенсивність пружної енергії  $G$ , що звільняється, можна прийняти за подвійне значення інтенсивності поверхневої енергії  $\gamma$ , що витрачається на руйнування масиву гірських порід, а саме  $G = 2\gamma$ , то критичне значення напруження при плоскому напруженому стані для тріщин відриву, з урахуванням того, що

$$G = \frac{K^2}{E} \quad (12)$$

де  $K$  – коефіцієнт інтенсивності напружень для тріщин відриву, та формули (4), можна записати [5]:

$$\sigma_{кр} = \frac{K_c}{\sqrt{\pi l}}. \quad (13)$$

Таким чином, проведений аналіз досліджень в рамках квазістатичної механіки руйнування гірських порід вибухом дозволили встановити, що критичне значення напруження руйнування тріщинуватих гірських порід залежить від коефіцієнту інтенсивності напружень, а критерії рівноваги, початку, зупинки і розповсюдження тріщин описуються рівняннями енергетичного балансу.