

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВИДОБУТКУ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ

В.В. Калюжна, інж. (НТУУ "КПІ", ІЕЕ)

Рассмотрено влияние физико-технических свойств горных пород на выбор технологии добычи блочного камня, обеспечивающей повышение эффективности добычных работ.

Головне завдання цієї публікації полягає у визначенні меж використання бурокулинового, бурохімічного та термічного способів відокремлення монолітів від масиву при розробці родовищ декоративного каменю. При використанні бурокулинового способу підготовки каменю до виймання необхідно знати його розколюваність, або, як кажуть виробничники, "хід каменю". Практичні спостереження за підготовкою каменю до виймання дають змогу зробити висновок, що розколюваність каменю залежить від структурно-текстурних властивостей породи. Наприклад, в лабрадоритах Головинського родовища, переважно мономінеральних, міститься 80–90 і навіть 100% плагіоклазу лабрадору. Це в загальній масі крупно- і гігантозернисті породи з розмірами кристалів до 40–50 мм. В габро-норитах Сліпчицького родовища міститься 50–60% плагіоклазів і 30–40% піроксену. Їх структура переважно дрібнозерниста, з розмірами зерен 1–2 мм. Крім того, в габро-норитах добре помітні структури течії та орієнтування довгих осей кристалів плагіоклазу вздовж структур течії. В лабрадоритах структури течії і смужчастість у більшості випадків не спостерігаються. Внаслідок таких особливостей будови та складу порід розколюваність каменю лабрадориту і габро-нориту неоднакова. Лабрадорити – дуже в'язкі породи, і це потребує при вийманні блоків з масиву використання суцільного буріння перфораторами з усіх сторін. Габро-норити, навпаки, крихкі і при ударі добре розколюються на правильне, кубічної форми штучне каміння

"формак".

Розколювання каміння проходить по взаємно перпендикулярних площинах тріщин S , Q , L . На Головинському кар'єрі видобувається тільки блочна продукція, а відходи при видобутку йдуть на щебін і бут. На Сліпчицькому кар'єрі, крім блоків, отримують ще й штучне каміння (шашку, формак, бортовий камінь). Це зумовлено тим, що лабрадорити не мають властивостей подільності каменю, а габро-норити, навпаки, мають добре визначену подільність.

Ефект утворення тріщин сколювання залежить не стільки від різниці динамічних умов, скільки від властивостей породи. Багато порід при швидкому зростанні зусилля можуть розглядатися як пружні або крихкі матеріали. Як наслідок, тріщини, що з'являються в них, утворюють між собою кути.

Після проведення серії експериментальних досліджень [1] було встановлено, що матеріали, у яких опір розтяганню більший від опору стисканню, розколюються під тупим кутом. Подальші дослідження [2] показали, що кут між тріщинами розколювання не залежить від твердості мінералу. Це дає можливість зробити важливе узагальнення, що кут сколювання зменшується зі збільшенням крихкості мінералу, і навпаки. Цей висновок підтверджується теорією Мора, згідно з якою межа міцності матеріалу визначається максимальними сколювальними напруженнями в площинах сколювання, які, в свою чергу, залежать від нормальних напружень, які діють у цих площинах. Гранічне сколювальне напруження ϵ , таким чином, функцією нормального напруження в цій площині: $T_{\max} = f(G)$. Якщо побудувати всі кола, які зображають граничні напруження, то точки, які відповідають площинам сколювання, будуть належати до об'ємної кривої цих кіл (рис. 1). Ця крива є геометричним місцем точок, які для даного G дають максимальне значення T при визначеному напруженому стані, а, отже, вона зображається у вигляді

$$T_{\max} = f(G). \quad (1)$$

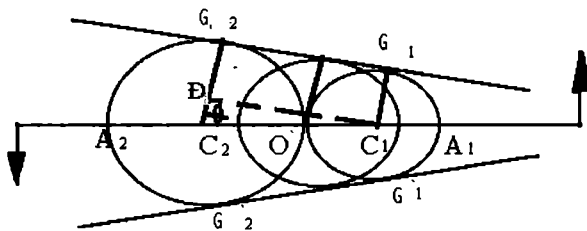


Рис. 1. Кола граничних напружень

Оскільки центри всіх основних кіл належать до осі абсцис, то дотична симетрична щодо неї і дотикається до кожного кола в двох точках G і G' , які відповідають двом площинам сколювання від даного зусилля. Експериментально встановлено, що ці криві грубо параболічні. Якщо граничні опори матеріалу стискальним і розтягувальним зусиллям відомі і дорівнюють G_{ct} і G_p , то можна побудувати круги Мора для цих граничних значень напружень (рис. 1).

З рис. 1 випливає:

$$\begin{aligned} C_1C_2 &= (OA_1 + OA_2) / 2 = (G_{ct} + G_p) / 2; \\ C_2D &= C_2G_2 - C_1G_1 = G_{ct}/2 - G_p/2 = (G_{ct} - G_p) / 2; \\ \cos \theta &= C_2D / C_1C_2 = (G_{ct} - G_p) / (G_{ct} + G_p). \end{aligned} \quad (2)$$

Якщо позначити $K = G_{ct}/G_p$, то одержимо

$$\cos \theta = (K - 1) / (K + 1), \quad (3)$$

де θ – кут між тріщинами сколювання, град; G_{ct} – межа міцності породи на стискання, МПа; G_p – межа міцності породи на розтягання, МПа.

Таким чином, кут θ залежить не від окремого часткового значення зусилля, а тільки від відношення граничного стискального до граничного розтягувального напруження, до того ж $K \rightarrow \min$, а $\theta \rightarrow 90$ град.

Значення меж міцності [3] та очікуваного кута між тріщинами при

розколюванні наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Межі міцності та очікуваний кут між штучними тріщинами при розколюванні

Родовище	Гірська порода	Межа міцності на стискання $G_{ст}$, МПа	Межа міцності на розтягання G_p , МПа	Відношення $G_{ст}/G_p$	Кут між тріщинами розколювання θ , град
Головинське	лабрадорит	130,5	52,8	2,5	64,9
Жежелівське	граніт	170,0	51,6	3,3	57,7
Корнинське	„	158,5	47,2	3,2	51,8
Омелянівське	„	116,6	27,6	4,2	51,8
Лизниківське	„	161,2	33,4	4,9	48,95
Коростишівське	„	181,9	37,3	4,8	48,7
Богуславське	„	136,2	31,5	4,3	51,37
Сліпчицьке	габро-норит	152,0	32,8	4,8	49,8

Кут між тріщинами розколювання при використанні буроклинового або бурохімічного способу безпосередньо впливає на технологічні втрати сировини. Для оцінки розгляданих способів видобутку необхідно визначити ці втрати.

Технологічні втрати при використанні буроклинового способу відокремлення каменю від масиву можна визначити за формулою

$$V_{\text{технол}} = L_c P H_m, \quad (4)$$

де L_c – ширина нерівностей сколу, м; P – довжина лінії відокремлення моноліту буроклиновим способом, м; H_m – висота відокремлюваного моноліту, м.

В свою чергу, ширина нерівностей сколу L_c залежить від кута θ , який утворюється між тріщинами розколювання. Ширину нерівностей сколу можна визначити за формулою

$$L_c = \frac{l}{\operatorname{ctg}\theta}, \quad (5)$$

де l – відстань між шпурами, м.

Після підстановки значення кута розколювання з формули (2) в (5) отримаємо

$$L_c = \frac{l}{\operatorname{ctg}\left[\arccos\left(\frac{G_{\text{ст}} - G_p}{G_{\text{ст}} + G_p}\right)\right]}. \quad (6)$$

Щоб одержати результати, які можна використовувати для порівняння, прийемо однакові умови роботи (паспорт) на окремих родовищах габро, граніту та лабрадориту, а саме: відстань між шпурами – $l = 0,15$ м; діаметр шпура – $d = 0,042$ м; розміри відокремлюваного моноліту: довжина – $a = 3$ м; ширина – $b = 1,5$ м; висота – $h = 1,5$ м. Відокремлення буроклиновим способом вестиметься тільки по фронтальній площині. Втрати визначимо за формулою

$$B = PH_m \frac{l}{\operatorname{ctg}\left[\arccos\left(\frac{G_{\text{ст}} - G_p}{G_{\text{ст}} + G_p}\right)\right]} \quad (7)$$

Результати розрахунків зведено в табл. 2.

Таблиця 2. Втрати каменю при відокремленні монолітів буроклиновим способом

Родовище	Гірська порода	Кут розколювання θ , рад	Ширина нерівностей сколу L_c , м	Втрати на один моноліт B , м ³	Питомі втрати $V_{\text{втг}}$, м ³ /м ³
Головинське	лабрадорит	1,132	0,1599	0,7196	0,107
Жежелівське	граніт	1,010	0,119	0,536	0,079
Корнинське	„	0,998	0,116	0,522	0,077
Омелянівське	„	0,904	0,095	0,4275	0,633
Лизниківське	„	0,85	0,086	0,387	0,0573
Коростишівське	„	0,849	0,085	0,383	0,0563
Богуславське	„	0,896	0,094	0,423	0,0627
Сліпчицьке	габро-норит	0,869	0,089	0,400	0,0593

На рис. 2, 3, 4 показано залежності кута розколювання від відношення межі міцності на стискання $G_{ст}$ до межі міцності на розтягання G_p , ширини нерівностей сколу L_c та питомих втрат сировини $V_{пит}$.

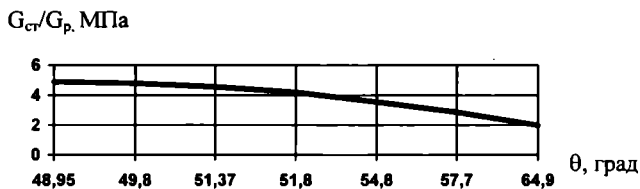


Рис. 2. Залежність між кутом розколювання та стискальними і розтягувальними напруженнями

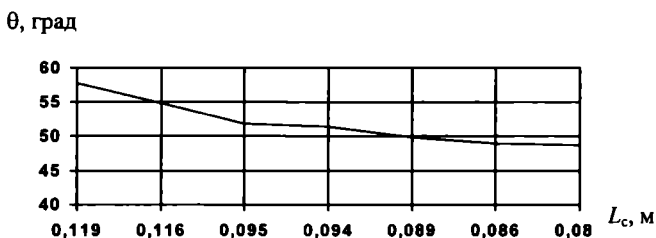


Рис. 3. Залежність між нерівностями сколу та кутом розколювання

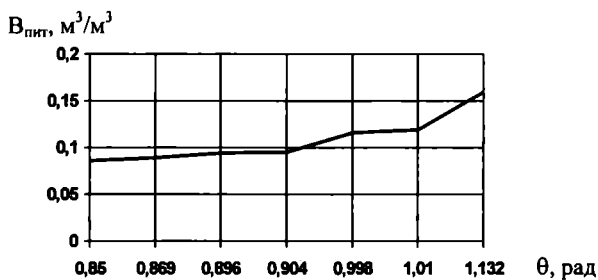


Рис. 4. Залежність питомих втрат сировини від кута розколювання

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що технологічні втрати блочного каменю при використанні клинового способу відокремлення моноліту від масиву залежать не від окремого часткового значення зусилля, а від відношення граничного стискального до граничного розтягувального напруження.

При використанні статистичного матеріалу [4] зроблено спробу визначення залежності продуктивності термогазоструменевої установки УГР-2 від вмісту в граніті зерен мінералів розміром більше 5 мм. Використані матеріали було опрацьовано за допомогою математичного пакета "MATCHCAD 7.0".

$$P_{\text{терм}} = 0,0281 d_z^{-2k} - 0,312, \quad (8)$$

де $P_{\text{терм}}$ – продуктивність термогазоструменевої установки УГР-2, м²/год; d_z – вміст у граніті зерен мінералів розміром більше 5 мм; $k = S_n/T$ – коефіцієнт, який враховує відношення площі штучного оголення до часу його відпрацювання, м²/год; S_n – площа штучного оголення, яке відпрацьовується термогазоструменевою установкою, м²; T – час відокремлення каменю термогазоструменевою установкою УГР-2, год.

Як відомо [5], до групи гранітів T (які підлягають термічному руйнуванню), належать граніти, в яких міститься не більше 9% темнокольорових мінералів. Це підтверджується при статистичній обробці даних кар'єрів Житомирщини [3].

Залежність продуктивності термогазоструменевої установки УГР-2 від вмісту темнокольорових мінералів можна записати у вигляді

$$P_{\text{терм}} = [1,78 - 0,155 K_i]^{-2k}, \quad (9)$$

де K_i – коефіцієнт, який враховує вміст темнокольорових мінералів у гірській породі, долі одиниці.

Залежність продуктивності термогазоструменевої установки УГР-2 від

межі гірської породи на стискання можна записати в такому вигляді:

$$\Pi_{\text{терм}} = 2500[300 - G_{\text{ст}}]^{-2k}, \quad (10)$$

де $G_{\text{ст}}$ – межа міцності породи на стискання, МПа.

Нижче наведено залежності продуктивності терморізання від вмісту в породі зерен мінералів розміром більше 5 мм d_2 , коефіцієнта вмісту темнокольорових мінералів K_f і межі міцності породи на стискання $G_{\text{ст}}$.

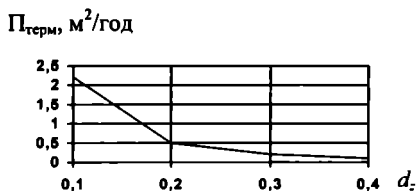


Рис. 5. Залежність продуктивності термічного різання гранітів від вмісту зерен мінералів розміром більше 5 мм

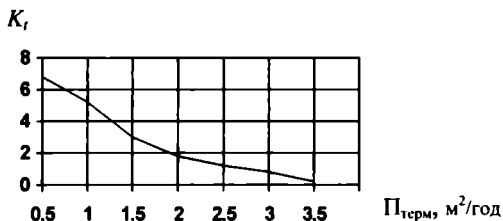


Рис. 6. Залежність між продуктивністю термічного різання гранітів і коефіцієнтом вмісту темнокольорових мінералів

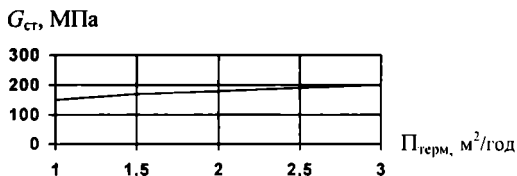


Рис. 7. Залежність між продуктивністю терморізання гранітів і межею міцності на стискання

Таким чином, математично підтверджується, що продуктивність термічного різання в гранітах залежить від трьох показників гірської породи: вмісту зерен мінералів розміром більше 5 мм, вмісту темнокольорових мінералів, межі міцності на стискання. А саме:

чим більший вміст зерен мінералів розміром більше 5 мм, тим менша продуктивність терморізання; при вмісті 30% використання терморізання є неефективним;

чим більший вміст темнокольорових мінералів, тим менша продуктивність терморізання; при наявності більше 40% темнокольорових мінералів використання терморізання є неефективним;

чим вища межа міцності на стискання гранітів, тим вища продуктивність терморізання; використання терморізання для гранітів, межа міцності яких на стискання менша 90 МПа, є неефективним.

При виборі раціональної структури комплексної механізації при видобутку декоративного каменю необхідно враховувати межі використання кожного з запропонованих способів видобутку.

1. Беккер Г. Сопротивление горных пород. – Ленинград: Изд-во АН СССР, 1923.

2. Бухер В. Исследование твёрдости минералов. – Ленинград: Изд-во АН СССР, 1927.

3. Бакка М.Т., Кузьменко О.Х., Сачков Л.С. Видобування природного каменю. – Київ: ІСДО, 1993.

4. Геоінформ. Звіти детальної геологічної та експлуатаційної розвідок. 1968–1994 рр.

5. Межведомственная классификация гранитов по трудности разработки. – М.: Изд-во стандартов, 1974.