

УДК 622.035

В.В. Калюжна, к.т.н., доц.

Т.Т. Сілакова, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України "КПІ"

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДБІЙКИ ТА РОЗКОЛЮВАННЯ МОНОЛІТІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ ПРИРОДНОГО ОБЛИЦЬОВУВАЛЬНОГО КАМЕНЮ

(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)

В основу досліджень покладені теоретичні розрахунки та експериментальні спостереження за способами, що застосовуються для відокремлення та розколювання монолітів з твердих вивержених порід Українського кристалічного щита.

Для добування найбільш коштовних і великих блоків виробляється суцільне вибурювання їх з масиву на всю глибину моноліту до горизонтальної тріщини. Для даного способу відділення гранітних блоків від масиву особливо важливо, щоб усі шпури кожного ряду розташовувалися точно по заданій лінії розколу і знаходилися в одній площині.

Низька продуктивність такого способу відділення гранітних блоків обумовлюється великим обсягом потрібного буріння, питома витрата якого на кубічний метр блока буде змінюватися в залежності від розмірів і форми блоків, що виколуюються. Так, при розмірі блока $10 \times 5 \times 1$ м при бурінні його з чотирьох сторін буде потрібно: $2 \cdot (10+5) \cdot 1 = 30$ м шпурів на кубічний метр блока: $30:50 = 0,6$ м/м³, тоді як для блока розміром $20 \times 10 \times 1$ м буде потрібно: $2 \cdot (20+10) \cdot 1 = 60$ м шпурів, що складе на кубічний метр блока, що добувається, $60:200 = 0,3$ м/м³, тобто в два рази менше, ніж у першому випадку.

Залежність питомої витрати буріння від розмірів блока можна виразити таким способом:

- позначимо питому витрату буріння через l м/м³;
- потужність горизонтальної окремістості – h м;
- ширина блока – a м;
- довжина блока – b м.

Кількість шпурів, що припадає на 1 м обурюваного периметра блока, у середньому складає 20, отже:

$$l = \frac{20 \cdot h \cdot 2 (a + b)}{h \cdot a \cdot b} = \frac{40 (a + b)}{a \cdot b}, \quad (1)$$

або, у загальному випадку:

$$l = \frac{2k (a + b)}{a \cdot b}. \quad (2)$$

Дана формула показує, що питома витрата буріння при виколуванні блоків не залежить від товщини блока, але буде зменшуватися зі збільшенням його довжини і ширини, якщо довжина і ширина блока, що виколуюється, збільшені в n разів, то питома витрата буріння знижується в стільки ж разів.

Насправді, якщо

$l = \frac{40 (a + b)}{a \cdot b}$, то після збільшення довжини і ширини блока в n разів будемо мати:

$$b_1 = \frac{40 (a \cdot n + b \cdot n)}{a \cdot n \cdot b \cdot n} = \frac{40 (a + b)}{n \cdot a \cdot b}; \quad (3)$$

$$l_1 = \frac{l}{n}. \quad (4)$$

Мінімальне значення питома витрата буріння буде мати при максимально можливій величині довжини і ширини блока, що відколюється; це легко підтвердити, прийнявши довжину (чи ширину) блока за змінну величину a і взявши першу похідну отриманої функції (позначивши l через y):

$$y = \frac{40 (a + x)}{a \cdot x} = \frac{40}{x} + \frac{40}{a}; \quad y' = -\frac{40}{x^2}. \quad (5)$$

Отже мінімальне значення l приймає при $x = \infty$, тобто теоретично при необмеженому збільшенні довжини (або ширини) блока.

Подібним же шляхом можна встановити, що при рівній величині блоків найменшої питомої витрати буріння буде потрібно для блоків із квадратною (чи близькою до неї) підставою.

При прийнятому вище позначенні можна записати: вихід гірської маси з 1 м шпуру = y .

$$y = \frac{(p-x) \cdot x}{40p}, \quad (6)$$

звідси:

$$y' = \frac{1}{40p}(p-2x); \quad p-2x=0; \quad x = \frac{p}{2}, \quad (7)$$

тобто x – сторона квадрата;

$$y'' = \frac{1}{40p}(-2) = -\frac{1}{20p}. \quad (8)$$

Друга похідна y'' негативна, або $y'' < 0$. Отже знайдене значення x відповідає максимуму, тобто мінімальне значення питомої витрати буріння на виколування блока буде мати блок із квадратною підставою.

Узагальнюючи наведені висновки, можна також зробити висновок, що величина питомої площі розколу, що приходить на 1 м^3 блоків, що добуваються будь-яким способом, буде зменшуватися зі збільшенням довжини і ширини блоків і з наближенням їхньої підстави до квадрата.

У порівнянні з описаним способом більш економічним і продуктивним, а тому і більш розповсюдженим способом відколювання гранітних блоків від масиву, є застосування різних варіантів клинових робіт.

При клинових роботах у площині розколу необхідно переборювати сили зчеплення часток граніту. Удари молота через клини повідомляють стінкам клинових гнізд зусилля, що викликають напруги розколу. Успішному розколюванню граніту сприяє його твердість і крихкість, завдяки яким робота, чинена при ударах молотом по клинах, витрачається не на деформацію граніту в місці додання навантаження, як це буває в м'яких породах, а на створення зусиль у площині розколу.

У процесі клинових робіт зруйновані напруги обмежуються площиною розколу, розміри і розташування якої можна змінювати шляхом різного розташування гнізд для клинів, а також вибір форми і розмірів цих гнізд і самих клинів. За межами площини розколу гранітний блок руйнівним напруженням не піддається, і якість його цілком зберігається.

Клин застосовувався для добування штучного каменю ще в далекій давнині, однак використання позитивних якостей клинових робіт для гранітних кар'єрів має практичний інтерес і в даний час.

Застосування клина для виколування блоків у кар'єрі засновано на таких положеннях елементарної механіки.

1. Клин при додатку до нього статичного навантаження виграє у силі в стільки разів, у скількох довжин його шік більше довжини обуха, тобто, чим менше кут його загострення, тим більше виграш у силі; практично для гранітних кар'єрів застосовують клини з відношенням довжини шік до довжини обуха в межах 6–10.

2. Робота, вироблена ударом молота по клину, може створювати досить великі зусилля, що обмежуються міцністю самого клина і середовища, у якій він діє.

Виходячи з принципу рівності робіт, чинених при ударі молота і поглибленні клина в граніт, можна записати (рис. 1):

$$q \cdot H \cdot m = Q \cdot \Delta h, \quad (9)$$

$$Q = \frac{q \cdot H \cdot m}{\Delta h}, \quad (10)$$

де q – вага молота, кг;

H – висота падіння молота, см;

Q – зусилля, виникаюче у клині, кг;

Δh – поглиблення клина в граніт від дії удару молота, кг;

m – коефіцієнт, враховуючий додаток мускульної сили колії.

Практично частина роботи, чиненої при нанесенні ударів молотком по клинах, передається також на деформацію цих клинів і ділянок граніту, що прилягає безпосередньо до них. Крім того, частина роботи губиться на нагрівання, подолання тертя і т. ін. Величина створюваного в гранітному блоці зусилля від дії клина обмежується міцністю останнього і величиною тимчасового опору граніту стиску.

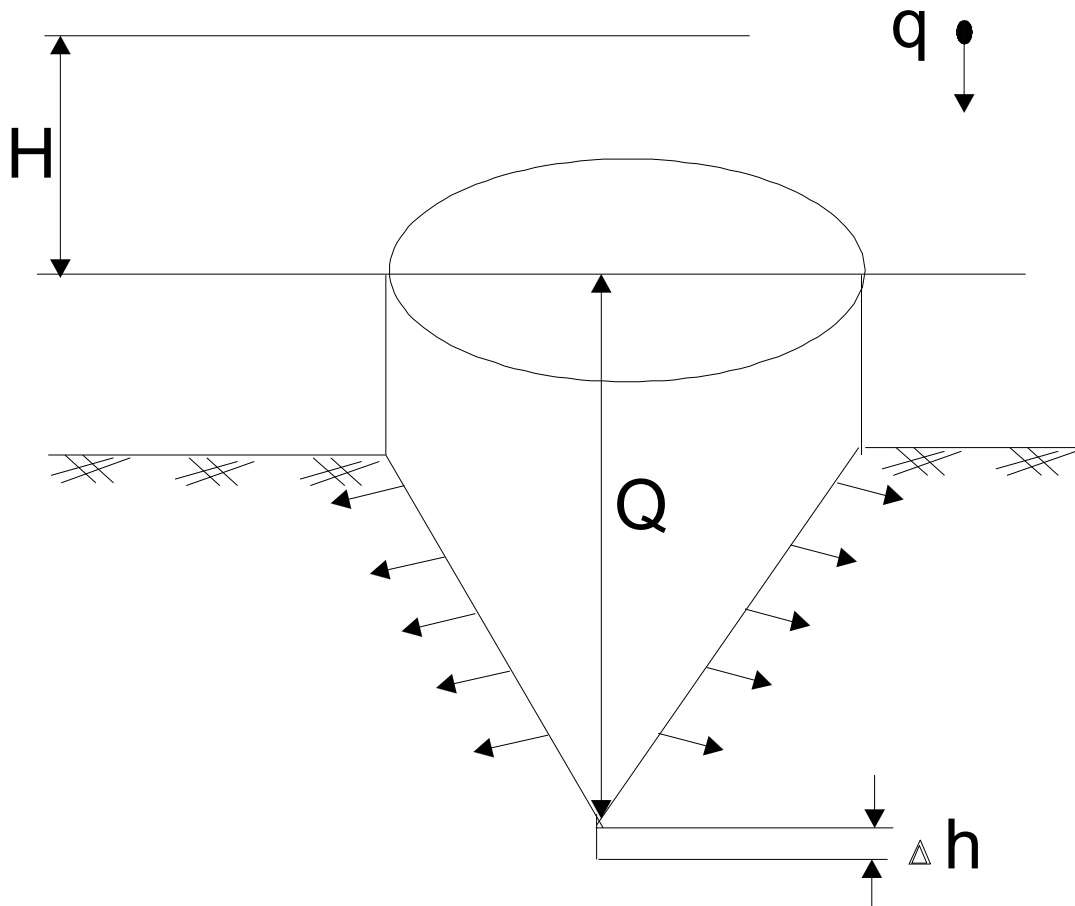


Рис. 1. Схема для визначення зусилля, що створюється клином в гранітному масиві

У протилежному випадку було б місце зняття клинової ділянки граніту, що безпосередньо стикається з ним.

3. Стискаючі навантаження, що надаються обуху клина ударами молота, передаються на стінки клинового отвору в гранітному блоці, викликаючи в ньому розтягання і сколювання, тимчасовий опір яким у граніту в 20–30 разів нижче, ніж опір стиску.

4. Тиск на стінки клинового отвору, виробленого клином під дією сили P (рис. 2), визначається з рівняння:

$$-P + 2N \cdot \sin \alpha + 2F \cdot \cos \alpha = 0, \tag{11}$$

де сила тертя:

$$F = f \cdot N = \operatorname{tg} \phi \cdot N ;$$

$$N = \frac{P \cdot \cos \phi}{2 \cdot \sin (\alpha + \phi)}. \tag{12}$$

Для видалення клина, забитого в клиновий отвір (гніздо) чи в тріщину, до нього повинне бути прикладене зусилля:

$$P = 2N \frac{\sin (\phi - \alpha)}{\cos \phi}. \tag{13}$$

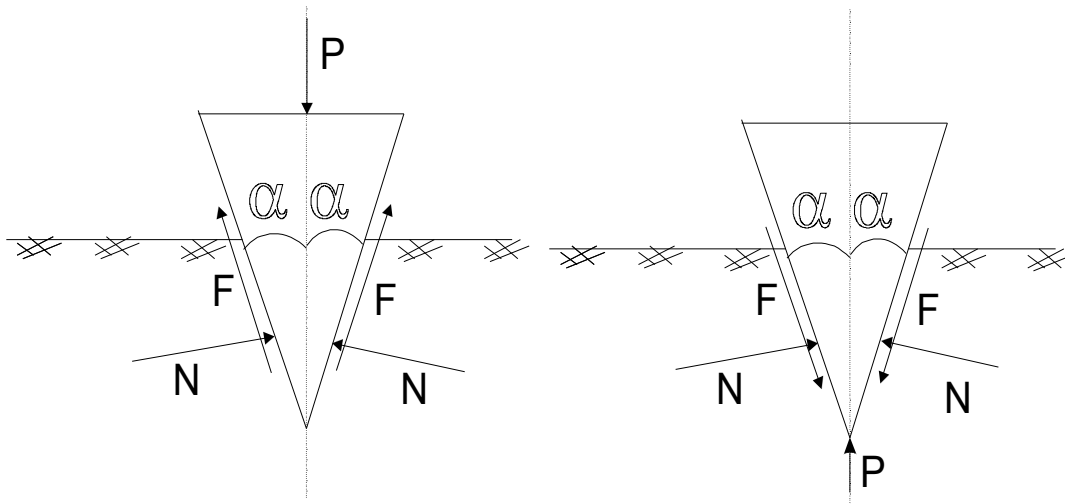


Рис. 2. Розподіл зусиль при забиванні клина в масив і при його видаленні

З даного виразу легко укласти, що за умови клина при ударі молотком будуть самі вискакувати з гнізд. Таке явище спостерігається на практиці при випаданні атмосферних опадів, коли вода чи сніг, потрапляючи між щоклами клина і гранітом, значно знижують тертя і створюється умова $\alpha > \varphi$, у результаті чого клини вискакують із гнізд, що в ряді випадків створює небезпеку травмування робітників. Щоб уникнути цього, варто обмежувати величину кута загострення клина. Коефіцієнт тертя сталі об граніт складає 0,11, або $\varphi = 20^\circ 20'$. Відповідно до цього кут загострення клина для роботи з гранітом повинен бути менше 40° . Практично його приймають рівним $20\text{--}25^\circ$.

У процесі клинової роботи включається виготовлення клинових отворів, установка в них клинів і рівномірне, почергове нанесення по цих клинах ударів. Вирішальне значення для успішного застосування клинових робіт у блочних кар'єрах має правильне використання особливостей геологічної будови розробляльовального родовища, доцільне розташування клинів у масиві, а також найбільша механізація цих робіт.

Виготовлення клинових отворів механізується шляхом застосування пневматичного інструмента, при цьому можливі два варіанти:

- 1) буріння дрібних шпурів круглого перетину глибиною 10–12 см;
- 2) виготовлення отворів клинчастої форми глибиною від 5 до 40–50 см.

Буріння дрібних шпурів, широко застосовуване на гранітних кар'єрах України, має такі істотні недоліки:

- 1) низька продуктивність бурильника внаслідок частішої перестановки бурильного молотка, що використовується так само, як при забурюванні шпурів, з неповною продуктивністю;
- 2) недостатньо повне зіткнення з гранітом клина, що вставляється в шпур, унаслідок чого робота ударів молота витрачається на місцеву деформацію і руйнування устя шпуру.

До достоїнств другого варіанта виготовлення клинових отворів варто віднести більш високу продуктивність і більш повне зіткнення щік клина з гранітом, що розколюється, унаслідок чого цей спосіб набув великого застосування. Послідовність робіт при даному способі така:

- 1) легким пневматичним молотком, постаченим широким і гострим долотом, скампелом по поверхні граніту по лінії бажаного розколу надсікається борозна;
- 2) заміняючи скамп на короткий спис – «шпицю» роблять поглиблення отвору, при цьому спиця погойдується в сторони, що дозволяє додавати заглиблену клинчасту форму;
- 3) нарешті, у приготуванні в такий спосіб отвору вставляються короткі клини, що називається на кар'єрах «пунчетами».

Простий клин (пунчета) виготовляється з вуглеродистої сталі прямокутного перетину, його довжина 100–170 мм, кут загострення – близько 25° . Клин не мають стандартних розмірів, на практиці матеріалом для їхнього виготовлення часто слугують відпрацьовані шпунти. У цьому випадку клини можуть мати круглий перетин.

Незважаючи на застосування різноманітного інструмента, що входить у комплект для виготовлення клинових отворів, даний спосіб досить продуктивний.

Для блоків більшої потужності успішно застосовуються комплекти зубцюватих клинів з борознистою поверхнею щік, для чого використовуються більш важкі пневматичні молотки.

Комплект зубцюватих клинів звичайно складається з 3–4 клинів, розміри яких показані на рисунку. Незважаючи на достатню продуктивність, даний спосіб не одержав широкого застосування на гранітних

кар'єрах, що розуміється, головним чином, складністю і більш високою вартістю виготовлення і заправлення зубцюватих клинів.

Для порівняння описаних способів виготовлення клинових отворів на кар'єрах штучного каменю були організовані спостереження, результати яких – відносна продуктивність колія гранітних блоків (у %) зведені в таблицю.

Спосіб виготовлення клинових отворів	Характер масиву	
	Міцний дрібнийзернистий масив без слідів вивітрювання	Середньозернистий масив зі слідами вивітрювання, менш міцний
1. Буріння дрібних шпурів...	100	100
2. Виготовлення клинових отворів скапелем і спицею.	132	121
3. Виготовлення клинових отворів зубцюватими клинами.	137	129

З таблиці видно, що найбільш ефективним, особливо для міцних гранітів, є спосіб виготовлення клинових отворів зубцюватими клинами, але одержуваний виграв у продуктивності значною мірою губиться за рахунок збільшення витрат на виготовлення більш складного інструмента і відходу за ним. Тому зубцюваті клини на практиці не одержали широкого поширення.

Перевага ж способу виготовлення клинових отворів у порівнянні з бурінням дрібних шпурів зовсім очевидна, внаслідок чого цей спосіб можна рекомендувати для широкого застосування на гранітних кар'єрах.

Перевага клинових отворів перед шпурами круглого перетину розуміється не тільки більш швидким їхнім виготовленням, але також і тим, що вони сприяють концентрації напруг для розколу масиву в бажаному напрямку. Відомо, що при круглих отворах коефіцієнт концентрації напруг досягає $K = 3$, а для еліптичних отворів – $K = 4$.

Витягнута по лінії розколу форма перетину клинових отворів створює додаткову концентрацію напруг у площині розколу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 1997. – 428 с.
2. Рогатин Н.Н., Сиренко В.Н., Гайдуков Э.Э. Совершенствование техники и технологии добычи блоков природного камня // Экспресс-информация. Серия "Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов". – Вып.1. – М.: ВНИИЭСМ, 1982.

КАЛЮЖНА Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- фізичні процеси видобування блочного каменю;
- геотехнології.

СІЛАКОВА Тамара Тимофіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- фізичні процеси видобування блочного каменю.

Подано 12.10.2002

Исследование зависимости эффективности отбойки и раскалывания монолитов при добыче природного облицовочного камня /В.В. Калюжная, Т.Т. Саликова/

В основу исследований положены теоретические расчеты и экспериментальные наблюдения способов используемых для отделения монолитов из твердых изверженных пород Украинского кристаллического щита.

Research of dependence of efficiency of breaking and splitting of monoliths at natural facing stone production /V.V. Kalyuzna, T.T. Silakova/

In researches base are fixed theoretical computations and experimental supervisions of methods of monoliths used for compartment from hard igneous breeds of Ukrainian crystalline shield.