

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПІД ДІЄЮ ГІДРОАБРАЗИВНОГО СТРУМЕНЯ

О. Ю. Уроженко, В. С. Юрепіна, магістри, К. К. Ткачук, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Выполнен анализ процесса разрушения горных пород и резки блочного камня под действием гидроабразивной струи. Определена зависимость скорости разрушения поверхности горных пород от их механических свойств и параметров гидроабразивной струи.

Ключевые слова: гидроабразивная струя, блочный камень, скорость разрушения, захват абразива, прочность материала.

Виконано аналіз процесу руйнування гірських порід та різання блочного каменю під дією гідроабразивного струменя. Визначено залежність швидкості руйнування поверхні гірських порід від їх механічних властивостей і параметрів гідроабразивного струменя.

Ключові слова: гідроабразивний струмінь, блочний камінь, швидкість руйнування, захоплення абразиву, міцність матеріалу.

Rock destruction and cutting of block stone under the action of hydroabrasive stream is analyzed. Dependence of rock destruction speed on rock mechanical properties and parameters of hydroabrasive stream is determined.

Key words: hydroabrasive stream, block stone, destruction speed, capture of abrasive, strength of material.

Вступ. Руйнування гірських порід і обробка каменю виконуються різноманітними методами, при застосуванні яких не руйнується структура порід. Вибір конкретного способу видобутку залежить головним чином від твердості та щільності породи, що відпрацьовується. Відомі такі методи: видобуток за допомогою каменерізальних машин, дискових, ланцюгових, алмазних та канатних пил; буроклиновий спосіб; лазерне різання; гідроабразивне різання та ін.

У більшості випадків кращим, а іноді й єдиним можливим методом є гідроабразивне різання. Адже різання проводиться струменем води, оброблюваний матеріал не нагрівається, не деформується, немає необхідності виконувати великі обсяги підготовчих робіт. При цьому точність різання настільки висока, що в основному дозволяє обійтись без фінальної обробки.

Актуальність дослідження. Успіхи в області створення установок для гідроабразивного різання й вивчення закономірностей процесу взаємодії таких струменів з гірською породою, досягнуті в останні роки в Україні та інших країнах, доводять, що гідроабразивний струмінь є одним із ефективних і екологічно безпечних інструментів для руйнування гірських порід будь-якої міцності, який може також використовуватись для різання блочного каменю.

Мета роботи – обґрунтування залежності швидкості руйнування гірських порід від їх механічних властивостей і параметрів гідроабразивного струменя.

Викладення основного матеріалу. Аналіз досвіду застосування гідроабразивних струменів у різних галузях техніки [1] показує, що для руйнування гірських порід найдоцільніше використовувати гідроабразивний інструмент, принцип дії якого ґрунтується на так званому способі захоплення абразиву. Тверді абразивні частинки (рис. 1), що надходять по каналу підведення абразиву 2, захоплюються високошвидкісним потоком води, що витікає із струменеформуючої насадки 1, у змішувальну камеру 3 гідроабразивного інструмента. Суміш, що утворилася, спрямовується потім через конфузур 4 у колиматор 5, де абразивні частинки одержують необхідне прискорення від потоку води, в результаті чого утворюється високошвидкісний гідроабразивний струмінь 6, який переміщується з певною швидкістю відносно породного масиву 7 і взаємодіє з ним. У результаті такої взаємодії в породному масиві утворюється щілина глибиною h .

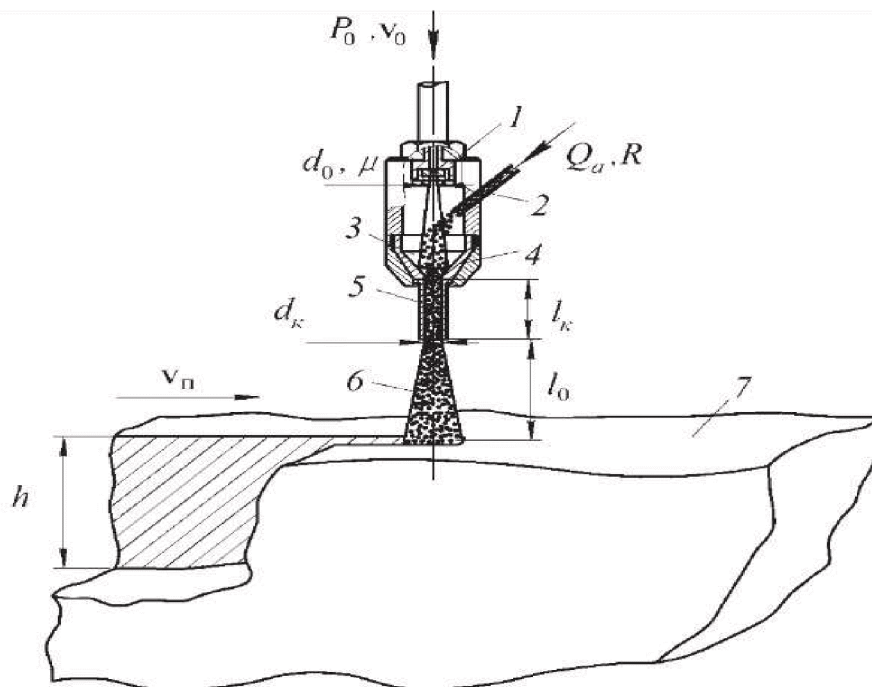


Рис. 1. Схема гідроабразивного різання гірських порід способом захоплення абразиву: 1 – струменеформуюча насадка; 2 – канал підводу абразиву; 3 – змішувальна камера; 4 – конфузур; 5 – колиматор; 6 – гідроабразивний струмінь; 7 – породний масив

Руйнування породного масиву при застосуванні гідроабразивного способу носить ерозійний характер і полягає у послідовному і безперервному видаленні об'єму (маси) матеріалу гідроабразивним струменем в одиницю часу [2].

Процес руйнування при гідроабразивному різанні гірських порід з урахуванням притаманних йому особливостей (див. рис. 1) визначається такими основними факторами: геометричними параметрами інструмента – діаметром отвору d_k і довжиною колиматора l_k ; гідравлічними параметрами інструмента, які включають тиск води перед струменеформуючою насадкою P_0

і швидкість води v_0 , діаметр отвору струменеформуючої насадки d_0 і коефіцієнт витрати насадки μ , що визначають масову витрату води в одиницю часу Q_n ; режимними параметрами процесу, а саме масовою витратою абразиву в одиницю часу Q_a , швидкістю переміщення інструмента над поверхнею породи v_n , відстанню між зрізом колиматора та поверхнею породи l_0 ; характеристиками використовуваного абразиву та механічними властивостями гірської породи.

Як основний критерій оцінки ефективності процесу гідроабразивного різання гірських порід може бути прийнятий показник швидкості ерозії W , тобто швидкості збільшення об'єму матеріалу за одиницю часу.

Більшість відомих теорій, що описують ерозійне руйнування, ґрунтується на аналітичному або на емпіричному методах досліджень. При ерозійному різанні гірських порід гідроабразивним струменем треба враховувати лише ерозійну дію абразивних часток, а ерозійною дією води можна знехтувати. У цьому випадку функція потоку води полягає у прискоренні часток абразиву, а також у забезпеченні видалення частинок руйнованої гірської породи і відпрацьованого абразиву з оброблюваної області.

Подальше поліпшення процесу ґрунтується на тому експериментально встановленому факті, що взаємодія між тріщинами, що виникають від сусідніх ударів частинок абразиву, дуже мала. При цьому швидкість ерозії визначається просто підсумовуванням видалення об'єму матеріалу при окремих ударах. Таким чином, задача визначення швидкості ерозії розпадається на дві: задачу визначення об'єму відколотої породи при одиничному ударі абразивної частинки та задачу підсумовування цих об'ємів за часом.

Питома зміна об'єму зруйнованого матеріалу при ударі однієї частинки w визначається за формулою [2]:

$$\frac{w}{w_0} = f\left(\frac{J_c}{R\rho v^2}\right), \quad (1)$$

де R , ρ , v – відповідно радіус, щільність і швидкість частинки абразиву; J_c – критичне значення J -інтеграла; w_0 – об'єм частини сфери, заглибленої в масив.

Ця функція монотонно зменшується (чим вища міцність матеріалу, тим менший зруйнований об'єм). При деякому критичному значенні аргумента функція обертається в нуль (руйнування не відбувається). У протилежному випадку, коли аргумент прямує до нуля, зруйнований об'єм необмежено зростає – функція прямує до нескінченності [3].

Якісний характер залежності (1) представлений на рис. 2, з якого випливає припущення про те, що ця функція являється степеневою і має такий вигляд:

$$\frac{w}{w_0} = A\left(\frac{J_c}{R \cdot \rho v^2}\right)^{-\beta}, \quad (2)$$

де A , β – константи, які визначаються експериментально.

При визначенні швидкості ерозії поверхні гірських порід під дією безлічі абразивних частинок процес руйнування розглядається як безперервний [3].

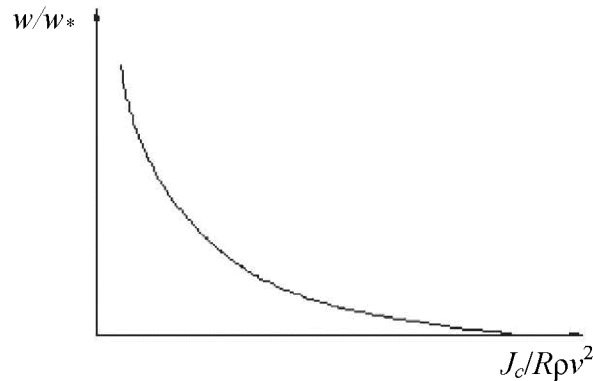


Рис. 2. Залежність зруйнованого об'єму від міцності матеріалу

$$W = \frac{3}{16} \cdot w \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \cdot \frac{d_k^2}{R^3} \cdot v. \quad (3)$$

Ця залежність показує, що об'єм зруйнованого матеріалу та швидкість частинки абразиву прямо пропорційні, а щільність та радіус частинки абразиву обернено пропорційні швидкості руйнування поверхні гірських порід.

Параметри ρ і v , що входять у вираз (3), залежать від геометричних, гідравлічних і режимних параметрів гідроабразивного інструмента і типу струменеформуючої насадки.

Висновки

1. Аналіз дослідження застосування гідроабразивних струменів для руйнування гірських порід свідчить про доцільність використання гідроабразивного інструмента, принцип дії якого ґрунтується на захопленні абразиву.

2. Формула (3) дозволяє визначити залежність швидкості руйнування поверхні гірських порід від їхніх механічних властивостей і параметрів гідроабразивного струменя.

3. Описаний спосіб руйнування гірських порід є екологічно чистим і дозволяє уникнути додаткового руйнування, спрямованого вглиб масиву.

1. *Бреннер В. А.* Гидроабразивное резание горных пород – М.: Изд-во МГТУ, 2003.
2. *Хотт Д. Ф.* Основы механики разрушения – М.: Металлургия, 1978. –132 с.
3. *Жабин А. Б., Лавит И. М., Григорьева Е. Н.* Разработка метода расчета эрозии поверхности горных пород под действием гидроабразивной струи – М.: Мир, 2005. – С. 353–357.