

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЦІНКИ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ «ГІРСЬКА ПОРОДА–ІНСТРУМЕНТ»

(Представлено д.геол.н. проф. В.Т. Підвисоцьким)

*Розглянуто і проаналізовано основні енергетичні параметри, що характеризують процес розпилювання гірської породи алмазно-канатною пилкою (АКП). Запропоновано методику визначення співвідношення даних параметрів, що визначає оптимальні умови експлуатації АКП.*

**Вступ.** Як показує досвід передових країн світу, що спеціалізуються на видобуванні блоків природного каменю, подальше вдосконалення способів відділення моноліту (блоку) від масиву лежить в області використання алмазно-канатного пиляння, що дозволяє отримувати великогабаритну сировину з рівними поверхнями, знижуючи витрати природного каменю.

Однак значні витрати на алмазно-канатне пиляння, особливо при видобуванні високоміцних порід, стримують впровадження цього способу на вітчизняних кар'єрах. Дослідження і обґрунтування критеріїв алмазозберігаючих режимів розпилювання міцних порід є актуальним завданням, вирішення якого забезпечить ширше впровадження даної технології на кар'єрах України.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженням в області видобування блоків природного каменю за допомогою машин алмазно-канатного пиляння присвятили свої роботи Г.Д. Першин, М.Т. Бакка, М.Ю. Гуров, Л.В. Кокунина, К.Д. Давтян, Р.В. Акопян, В.В. Коробийчук та ін..

Здебільшого, в наведених роботах авторами зосереджено увагу на технологічних параметрах розпилювання за допомогою АКП, а власне енергетичним параметрам приділено менше уваги. Проте комплекс даних параметрів відіграє важливу роль у забезпеченні оптимального застосування машин алмазно-канатного пиляння.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** При видобуванні блочного каменю за допомогою алмазно-канатних установок процес руйнування гірської породи необхідно розглядати у взаємодії системи «порода–алмазно-абразивне зерно–інструмент», в якій на мікрорівні одночасно шляхом багаторазового повторювання актів взаємодії відбувається руйнування як породи, так і інструменту. Залежно від умов контактування, в даній системі можливим є пружна або пружно-пластична взаємодія з наступним відділенням мікрооб'ємів матеріалу гірської породи у вигляді сколювання (крихке руйнування) або різання (в'язке руйнування).

Момент руйнування матеріалу породи (інструменту) настає при досягненні граничної питомої енергії, що здатна поглинути кристалічна решітка. У цьому випадку можна констатувати, що руйнування відбувається тоді, коли кристалічна решітка перестає поглинати підведену ззовні енергію. Тому, з точки зору енергетичної теорії [1], механізм алмазно-абразивного руйнування з якісної сторони носить загальний характер і відрізняється тільки кількісними показниками, що залежать від фізико-механічних властивостей породи, інструменту та технологічних особливостей процесу, з яких слід виділити умови виносу шламу із зони різання (руйнування) і умови охолодження інструменту.

Об'ємна продуктивність алмазно-абразивного руйнування [2], визначається так:

$$Q = \frac{\mu_o^I}{A_I} \cdot E_n \cdot V_p, \quad (1)$$

де  $\mu_o^I$  – коефіцієнт алмазно-абразивного різання породи;  $A_I$  – енергоємність руйнування гірської породи, тобто її константа, що характеризує фізико-механічні властивості гірської породи [3, 4], Дж/м<sup>3</sup>;  $E_n$  – нормальна сила розпилювання, Н;  $V_p$  – швидкість різання, м/с.

Одним із критеріїв ефективності взаємодії системи «порода–ріжучий інструмент» є питома витрата інструменту, що представляє собою відношення інтенсивності зносу інструменту до показника продуктивності процесу, що найбільш повно (якісно) характеризує даний спосіб руйнування:

$$R_{\text{інс.}} = \frac{A_I^2 \cdot \mu_o^I}{A_o^2 \cdot \mu_o^2}, \quad (2)$$

де  $A_o$  – енергоємність руйнування матеріалу інструменту, Дж/м<sup>3</sup>;  $\mu_o^2$  – коефіцієнт руйнування інструменту.

Одночасне руйнування породи та інструменту супроводжується поглинанням зовнішньої енергії. Показником енергетичного балансу процесу, що досліджується, є потужність розпилювання  $N_{роз.}$ , що представляє собою потужність безпосереднього руйнування породи і потужність, пов'язану з непродуктивними витратами енергії на тертя, а також зношення інструменту:

$$N_{\delta\dot{\epsilon}} = \mu \cdot P_n \cdot V_p = (\mu_{\delta}^2 + \mu_{\delta}^I + \mu_{\delta\dot{\delta}}) \cdot P_n \cdot V_p, \quad (3)$$

де  $\mu_{\delta\dot{\delta}}$  – коефіцієнт тертя.

Однак найбільш показово енергетичні витрати при взаємодії системи «гірська порода–інструмент» відображає питома робота процесу, що визначається як відношення потужності розпилювання до об'ємної продуктивності:

$$A_{\dot{\epsilon}\delta} = \frac{N_{\delta\dot{\epsilon}}}{Q}. \quad (4)$$

Даний критерій встановлює взаємозв'язок між інтенсивністю (теплом) зміни потужності та продуктивністю процесу і тому є контрольним показником енергетичної ефективності процесу та його режимів. Так само, як і потужність, питома робота процесу включає в себе продуктивні і непродуктивні витрати енергії, що можуть бути виражені таким чином:

$$\dot{A}_{\dot{\epsilon}\delta} = \dot{A}_I \cdot \left(1 + \frac{\mu_{\delta}^2 + \mu_{\delta\dot{\delta}}}{\mu_{\delta}}\right). \quad (5)$$

В нормальних умовах різання при достатній крихкій та пластичній міцності різальної частини основною причиною затуплення алмазного зерна є знос контактних поверхонь.

В даний час можна вважати встановленим [5], що різальний інструмент піддається різним за своєю природою видам зносу – адгезійному, абразивному і дифузійному, причому абразивний знос складає 90–95 % сумарного зносу зерна. Таким чином, мінімальний абразивний знос досягається при  $\mu_{\delta}^I \rightarrow \min$ , також абразивному зносу піддається зв'язка, що утримує алмазне зерно в матриці інструменту, недостатній її знос, викликаний невисокими силами тертя взаємодії інструменту з породою, призводить до неповного розкриття алмазоносних шарів, так званого «засалювання», при якому нові алмазні зерна не розкриваються своєчасно, тим самим погіршуючи роботоздатність інструменту. Надмірне збільшення сил тертя призводить до інтенсивного зносу зв'язки і випадінню з матриці ще не зношеного зерна.

Таким чином, з (5) видно, що  $A_{num}$  визначається співвідношенням сил тертя, сил різання породи і сил руйнування інструменту таким чином, що мініальному значенню питомої роботи процесу відповідає мінімум відношення непродуктивних сил до сил різання породи:

$$\dot{A}_{\dot{\epsilon}\delta} \rightarrow \min \text{ при } \frac{\mu_{\delta}^2 + \mu_{\delta\dot{\delta}}}{\mu_{\delta}} \rightarrow \min. \quad (6)$$

При цьому питома відносна робота процесу обробки природного каменю  $a_{пит.}$ , що визначається як відношення питомої роботи процесу  $A_{num}$  до енергоємності руйнування матеріалу гірської породи  $E_n$ :

$$a_{\dot{\epsilon}\delta} = \frac{A_{\dot{\epsilon}\delta}}{\dot{A}_I} = \frac{\mu}{\mu_{\delta}}, \quad (7)$$

може бути прийнята в якості енергетичного коефіцієнта корисної дії (ККД) технологічного процесу і його режимів:

$$\eta = \frac{1}{a_{\dot{\epsilon}\delta}} = \frac{\mu_{\delta}^I}{\mu} < 1, \quad (8)$$

оскільки оцінює енергетичний рівень в порівнянні з енергоємністю руйнування гірської породи.

З аналізу залежностей (7) і (8) випливає фізичний зміст коефіцієнта  $\mu_{\delta}^I$ , як частини енергії, що витрачається на руйнування одиниці об'єму породи по відношенню до сумарної питомої енергії, що характеризує взаємозв'язок системи «порода–інструмент». Аналогічно визначається і коефіцієнт руйнування інструменту. Таким чином, питома енергія, яка витрачається на руйнування породи,

інструменту та взаємне тертя, розподіляється в загальному її балансі відповідно до значень відповідних коефіцієнтів:  $\mu_{\delta}^I$ ,  $\mu_{\delta}^I$ ,  $\mu_{\delta\delta}^I$ .

Розглянуті критерії є інтегральними показниками, які достатньо оцінюють кількісно і якісно процес взаємодії алмазно-абразивного інструменту з породою. В основу єдиного методологічного підходу при розрахунку критеріїв покладена енергетична теорія, згідно з якою алмазно-абразивне руйнування характеризується енергоємністю матеріалу  $E$  і коефіцієнтом руйнування  $\mu_p$ . Проте незважаючи на очевидну простоту отриманих показників продуктивності, вони не знайшли застосування по причині відсутності даних щодо критеріїв енергоємності руйнування різних гірських порід. При цьому невизначеним залишається і коефіцієнт алмазно-абразивного різання породи  $\mu_{\delta}^I$ . Параметри  $E_{II}$  і  $\mu_{\delta}^I$  не вдається отримати безпосередньо з експериментальних даних шляхом моделювання процесу розпилювання, тому що на практиці не вдається зруйнувати породу, не затративши при цьому непродуктивну частину енергії, пов'язану з тертям. Однак, не дивлячись на зазначене вище, все-таки можливий повністю експериментальний метод знаходження  $E_n$  і  $\mu_{\delta}^I$  за показниками продуктивності руйнування породи, стійкості інструменту і витраченої при цьому енергії. Проте у цьому випадку визначається не кожна окрема величина  $E$  і  $\mu_p$ , а їх співвідношення:

$$\frac{\mu_{\delta}^I}{A_I} = \frac{\mu}{A_{i\delta\delta}}, \quad (9)$$

для цього необхідно мати, отримані також експериментальним шляхом залежності питомої роботи руйнування  $A_{num}$  і коефіцієнта  $\mu$  від режимних параметрів процесу для кожної конкретної пари «порода–інструмент». Отримані в результаті досліджень і обробки експериментальних даних кореляційні залежності:  $A_{num}(\sigma_n; Vp)$  і  $\mu(\sigma_n; Vp)$ , де  $\sigma_n$  – питомий контактний тиск на породу, МПа, дозволяють встановити узагальнюючі закономірності алмазно-абразивного руйнування гірської породи, на основі яких можливий точний розрахунок і прогноз ефективності застосування існуючих і розроблювальних способів розпилювання за допомогою алмазно-канатних пилок у гірничому виробництві.

**Висновки.** Встановлено, що мінімум значення питомої роботи взаємодії системи «гірська порода–різальний інструмент»  $A_{num}$ , відповідає раціональним режимам розпилювання, при яких спостерігається мінімальна витрата алмазного інструменту й енергії на процес розпилювання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Першин Г.Д.* Энергетические критерии оценки эффективности обработки / *Г.Д. Першин* // Империя камня. – 2001. – № 1. – С. 40–41.
2. *Першин Т.Д.* Основные критерии процесса обработки природного камня алмазно-абразивным инструментом / *Т.Д. Першин, В.В. Сердюков, М.Ю. Гуров* // Добыча, обработка, применение природного камня : сб. науч. трудов. – Магнитогорск, 2001. – С. 109–119.
3. *Першин Г.Д.* Энергетический принцип расчета поверхностного разрушения горных пород алмазно-абразивным инструментом / *Г.Д. Першин* // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 6. – С. 69–76.
4. *Першин Т.Д.* Обоснование технологических параметров добычи блоков мрамора канатными пилами : дис. ... д-ра техн. Наук / *Т.Д. Першин*. – М., 1992. – 349 с.
5. *Лоладзе Т.Н.* Износ алмазов и алмазных кругов / *Т.Н. Лоладзе, Г.В. Бокучаева*. – М. : Машиностроение, 1967. – 113 с.

МАМРАЙ Василь Васильович – старший викладач кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- технології видобування блочного каменю.

Подано 28.12.2010