

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.23.054.7

С.І. Башинський, асист.

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ СИЛОВИХ
ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ МЕХАНІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
ПРОЦЕСУ АЛМАЗНО-КАНАТНОГО РОЗПИЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

(Представлено д.геол.н. Підвисоцьким В.Т., к.т.н. Кальчуком С.В.)

Запропоновано спрощену механічну модель алмазного каната. Розглянувши його рівноважний стан було зроблено перехід від силових параметрів роботи алмазного каната до міцнісних характеристик каменю та технологічних параметрів. Ґрунтуючись на теорії алмазної обробки природного каменю, поєднано силові та кінематичні параметри процесу різання. На основі отриманих залежностей створено механіко-математичну модель процесу розпилювання природного облицювального каменю за допомогою алмазних канатних установок.

Вступ. Перші сліди технології канатного способу відокремлення природного каменю були знайдені ще у Стародавньому світі. Робочим органом був канат з волокон рослинного походження, а як різальний елемент застосовувався вільний абразив – кварцовий пісок. У XVIII ст. канат з рослинних волокон замінили на сталевий трос. Ця технологія проіснувала до XX століття, коли інженерами бельгійської фірми Diamant Boart було створено канат із алмазозносними втулками [1]. Сучасні технологічні комплекси видобувного обладнання на кар'єрах облицювального каменю все частіше комплектуються алмазними канатними установками. Причому, спостерігається тенденція до використання канатних каменерізних машин на кар'єрах каменю з більшою міцністю.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розвиток будь-якої технології та становлення її на принципово новий рівень потребує наукового підґрунтя, всебічного вивчення та аналізу. Питання силових взаємодій при канатному різанні вільним абразивом вивчали радянські вчені К.І. Русаков та Б.Н. Ісіченко. У їхніх працях розглядався принцип роботи стаціонарних установок для розпилювання блоків на заготовки за допомогою сталевого троса з вільним абразивом. Проте, отримані ними результати неможливо адаптувати для силової взаємодії у процесі відокремлення моноліту від масиву за допомогою алмазних канатних установок, оскільки, на відміну від стаціонарних умов, коли кривизна канатного вибою є постійною, в умовах кар'єрів форма канатного контуру в пропилі змінюється від прямокутної – на стадії запилювання, до круглої – на стадії допилювання [2].

Г.Д. Першин зробив великий вклад у вивчення теорії руйнування каменю середньої міцності гнучким різальним органом із використанням вільного абразиву, але отримані ним викладки не задовольняють умов роботи каната із алмазними втулками [3].

Таким чином, існує потреба у визначенні силової взаємодії процесу різання стосовно каната з алмазними втулками, оскільки даний спосіб впевнено витісняє решту способів відокремлення монолітів від масиву на кар'єрах блочного каменю.

Процес різання природного каменю за допомогою алмазного інструмента на рівні зерно–порода досить докладно висвітлений у працях В.А. Александрова. Для застосування результатів, отриманих В.А. Александровим необхідно визначити силове навантаження на одиничному алмазному зерні залежно від силових чинників процесу різання [4, 5].

З метою вирішення цього завдання розглянемо алмазний канат як систему матеріальних точок, що шарнірно з'єднані між собою абсолютно невагомими жорсткими стрижнями, знехтувавши жорсткістю каната, вагою та його поперечними розмірами.

Викладення основного матеріалу. Активні сили, що діють на втулку, зображені на рисунку 1.

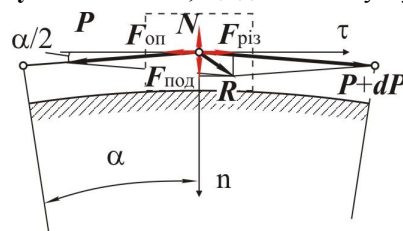


Рис. 1. Схема силового навантаження одиначної втулки

Через наявність сил опору породи руйнуванню, сила натягу в гілках каната по обидва боки алмазної втулки буде відрізняться на деяку величину dP . Введемо прямокутну систему координат з початковою точкою у шарнірі. Вісь n направлена по нормалі до поверхні пропилу, тоді вісь α – дотична. Спроекувавши активні сили на ці осі, отримуємо:

$$\begin{aligned} F_{\delta\zeta} &= dP \cdot \cos \frac{\alpha}{2}; \\ F_{\eta\alpha} &= (2P_0 + dP) \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Сила опору різанню має аналогічну природу, що й сила тертя і виражається:

$$F_{\eta} = N\mu = N(\mu_{\delta\delta} + \mu_{\tau} + \mu_s),$$

де μ_{τ} – коефіцієнт тертя алмазу по гірській породі; μ_{η} – коефіцієнт руйнування породи; μ_s – коефіцієнт руйнування інструмента, від якого залежить рівень зношування інструмента.

Враховавши, що канат рухається вздовж пропилу рівномірно та розглянувши рівноважний стан окремої втулки, запишемо рівняння (1) у вигляді:

$$N \cdot \mu = dP \cdot \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$N = (2P_0 + dP) \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Об'єднавши обидва рівняння, отримуємо:

$$\mu(2P_0 + dP) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = dP \cdot \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Після ряду перетворень:

$$dP = \frac{2\mu P_0 \sin \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2} - \mu \sin \frac{\alpha}{2}}}.$$

Розміри втулки та проміжок між ними малі, порівняно з довжиною та кривизною пропилу, тому $\alpha \rightarrow 0$. Враховуючи, що при малих кутах $\sin \alpha = \alpha$ та $\alpha = l/\rho$, перепишемо останнє рівняння як:

$$dP = \frac{2\mu P_0 l}{\sqrt{4\rho^2 - l^2 - \mu \cdot l}}. \quad (2)$$

Для i -ої втулки, яка знаходиться у пропилі:

$$dP_i = P_{0i} + \frac{2\mu P_{0i} \cdot l}{\sqrt{4\rho^2 - l^2 - \mu \cdot l}}.$$

Для наступної втулки $P_{0i+1} = P_{0i}$ таким чином отримуємо рекурсивну залежність, що значно ускладнює аналітичні розрахунки. Застосування ЕОМ значно спрощує обрахунки рекурсії і дозволить швидко та точно обчислити сили натягу у вихідній гілці каната.

Підставивши (2) у (1), для i -ої втулки сила подачі та сила різання визначаються:

$$\begin{aligned} F_{\delta\zeta} &= \frac{2\mu P_{0i} \cdot l}{1 - \frac{\mu \cdot l}{\sqrt{4\rho^2 - l^2}}}; \\ F_{\eta\alpha} &= P_{0i} \cdot \left(\frac{l}{\rho_i} + \frac{\mu \cdot l^2}{\rho_i \sqrt{4\rho_i^2 - l^2 - \mu \rho_i l}} \right). \end{aligned}$$

На відміну від алмазної напайки дискових пил, алмазна втулка каната має циліндричну форму. Поперечний переріз втулки зображено на рисунку 2.

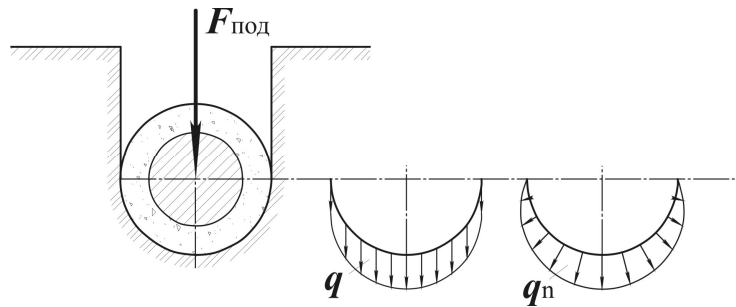


Рис. 2. Епюри розподілена сила (q) та нормальна складова розподіленого навантаження (q_n)

На даному етапі досліджень знехтуємо явищем авторотації каната у пропилі і не будемо приймати до уваги силові чинники, які пов'язані з даним явищем. Сила подачі розподіляється рівномірно по площі контакту. Нормальна складова розподіленого навантаження обчислюється:

$$q_n = q \cdot \cos \gamma = \frac{F_{\ddot{a}\ddot{a}}}{2\pi \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}}} \cdot \cos \gamma.$$

Сумарна нормальна сила чисельно рівна:

$$Q_n = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} q_n \cdot d\gamma = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{F_{\ddot{a}\ddot{a}}}{2\pi \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}}} \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma = \frac{F_{\ddot{a}\ddot{a}}}{\pi \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}}} \cdot \sin \gamma \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{F_{\ddot{a}\ddot{a}}}{\pi \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}}}.$$

Нормальна сила розподіляється по алмазним зернам втулки. Таким чином, силові параметри роботи кожного окремого зерна i -ої втулки будуть мати вигляд:

$$f_r = \frac{F_{\partial\zeta}}{N_\zeta} = \frac{P_{0i}}{N_\zeta} \cdot \frac{2\mu l}{1 - \frac{\mu l}{\sqrt{4\rho^2 - l^2}}};$$

$$f_n = \frac{Q_n}{N_\zeta} = \frac{F_{\ddot{a}\ddot{a}}}{N_\zeta \pi \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}}} = \frac{P_{0i}}{N_\zeta \pi \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}}} \cdot \left(\frac{l}{\rho_i} + \frac{\mu l^2}{\rho_i \sqrt{4\rho_i^2 - l^2} - \mu \rho_i \cdot l} \right).$$
(3)

Згідно з теорією руйнування гірської породи алмазним різальним інструментом, яку запропонував В.А. Александров, нормальна силова складова одиничного алмазного зерна обраховується як:

$$f_n = \frac{\pi H}{K_n} \cdot \left[a' \left(r + \sqrt{r^2 - \frac{\Delta^2}{4}} \right) + \frac{\Delta^2 - a'^2}{2} \right],$$
(4)

де H – показник твердості породи; K_n – коефіцієнт, що враховує перекриття ліній різання різних алмазних зерен та порушення цілісності поверхневого шару («стружки») роботою попередніх алмазних зерен; a' – товщина шару породи, що знімається одиничним зерном; r – середній радіус алмазного зерна; Δ – розмір площинки зношування алмазного зерна.

Виразимо товщину «стружки» з рівняння (4):

$$a'^2 - 2a' \left(r + \sqrt{r^2 - \frac{\Delta^2}{4}} \right) - \left(\Delta^2 - \frac{f_n K_n}{\pi H} \right) = 0.$$
(5)

Для спрощення обрахунків введемо числові значення деяких величин. Так, при виготовленні алмазного різального інструмента використовуються алмази зернистістю 315–630, тому прийнемо середнє значення $r = 480$ мкм. Розміри площинки зношування алмазних зерен не залежать від концентрації алмазів, проте існує прямо пропорційна залежність цих розмірів від зернистості. Для зернистості 315–630 середній розмір площинки зношування $\Delta = 240$ мкм.

Тоді рівняння (4) набуде такого вигляду:

$$a'^2 - 0,032a' \left(0,058 - \frac{f_n K_n}{\pi H} \right) = 0.$$

Розв'язок даного рівняння відносно a' дає:

$$a' = 0,016 + \sqrt{0,058256 - \frac{f_n K_n}{\pi H}}.$$
(6)

Із врахуванням рівняння (3):

$$a' = 0,016 + \sqrt{0,058256 - \frac{P_{0i} \cdot K_n}{N_\varphi \pi^2 \cdot H \cdot l_{\dot{a}\dot{a}}} \cdot \left(\frac{l}{\rho_i} + \frac{\mu l^2}{\rho_i \sqrt{4\rho_i^2 - l^2} - \mu\rho_i \cdot l} \right)} \quad (6)$$

Висновок. Таким чином, було здійснено перехід від загальних технологічних параметрів процесу різання канатними пилами до силових показників, що діють на окрему втулку у канатному вибої. Також отримано залежність товщини шару породи, що знімається одиничним зерном, від силових навантажень алмазної втулки. Це дає змогу в подальшому вирахувати показники та кінематичні залежності процесу руйнування природного каменю за допомогою алмазних гнучких робочих інструментів. Окрім цього, отримані залежності дозволяють точно моделювати процес різання алмазними канатними пилами за допомогою програмних засобів ЕОМ у реальному часі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Першин Г.Д.* Канатные пилы. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы : монография / *Г.Д. Першин, М.Ю. Гуров, Г.И. Чеботарев.* – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. – 126 с.
2. *Русаков К.И.* Аналитическое исследование работы канатных пил / *К.И. Русаков, Б.И. Исиченко* // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1971. – № 9. – С. 95–101.
3. *Першин Г.Д.* Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами : учеб. пособие / *Г.Д. Першин, Г.А. Караулов, Н.Г. Караулов.* – Магнитогорск : МГТУ, 2003. – 103 с.
4. *Александров В.А.* Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом / *В.А. Александров.* – К. : Наук. думка, 1979. – 240 с.
5. *Александров В.А.* Силовые и энергетические параметры при царапании гранита единичным алмазным зерном / *В.А. Александров, Д.М. Мифлинг, В.А. Мельник* // Сверхтвердые материалы. – 1985. – № 3. – С. 53–58.

БАШИНСЬКИЙ Сергій Іванович – асистент кафедри геотехнологій ім. проф. М.Т. Бакка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- сучасні методи видобутку та обробки каменю;
- алмазні технології.

Подано 16.05.2011

