

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.23.054.7

С.І. Башинський, асист.

Житомирський державний технологічний університет

АНАЛІЗ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТА
В ПРОЦЕСІ АЛМАЗНО-КАНАТНОГО РІЗАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ ПОРІД

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

Проведено аналіз нерівномірного зносу сегментів алмазного каната при різанні каменю. Розглянута механічна модель алмазної втулки та сили, що на неї діють при взаємодії з каменем. За допомогою математичного апарата визначено залежність силових факторів алмазно-канатного різання від сили натягу на нерівномірності зносу. Результуючі вирази, отримані в ході розв'язку системи рівнянь рівноваги, дають змогу визначити силові параметри на кожній алмазній втулці каната. Враховуючи робочі параметри канатної установки та силові параметри, можна заздалегідь оцінити ступінь зношеності алмазного інструмента.

Вступ. Постановка проблеми. Технологія канатного різання природного каменю бере початок із цивілізації Древнього Єгипту за тисячі років до н.е. Проте процес алмазного канатного різання є досить новим. Уперше алмазний канат в умовах кар'єру природного каменю був застосований у 70-х роках ХХ ст. На кар'єрах природного облицювального каменю України технологія алмазного канатного різання широкого розповсюдження набула лише за останні 10 років. Дана технологія різання добре зарекомендувала себе та прийшла на заміну застарілим та малоефективним вибуховим технологіям видобування блочного облицювального каменю. На сьогоднішній день майже на кожному кар'єрі використовується алмазно-канатна установка. Не дивлячись на досить широке розповсюдження залишається невирішеним ряд питань з раціонального застосування, насамперед, це стосується режимів, за яких спостерігається нерівномірний знос робочого інструмента. За повний цикл роботи алмазно-канатної установки робочий орган зазнає різних режимів та параметрів роботи. При цьому у всіх випадках більшою або меншою мірою спостерігається нерівномірний (конічний) знос алмазного каната, що зменшує ресурс алмазних втулок.

Аналіз джерел. Загальним питанням досліджень з використання технології алмазно-канатного різання при видобуванні природного каменю присвячені роботи Ю.Г. Карасьова. Вивчення процесів роботи системи «алмазна втулка–порода», а також оптимізацію конструкції алмазної канатної установки виконав та у своїх роботах висвітлив К.Д. Давтян. Більш детальне вивчення роботи алмазного каната з точки зору енергоємності руйнування та дослідження впливу параметрів уступу на зношеність робочого органа проводили російські вчені Г.Д. Першин, М.Ю. Гуров та ін., але запропонована ними теорія ґрунтується на енергетичних параметрах різання та умовних коефіцієнтах, що не віддзеркалюють суті процесу. Ці коефіцієнти не є універсальними для узагальненої моделі процесу алмазно-канатного різання і потребують експериментального визначення для кожної породи окремо та в кожних конкретних та обмежених умовах [1, 2].

У загальному вигляді силовий розрахунок роботи алмазного каната із застосуванням апарата теоретичної механіки наведено у роботі хорватського вченого S.Dunda [3].

Явище конічного зношування алмазних втулок вперше вказано у своїх дослідженнях італійськими вченими, проте докладно не вивчалось [4].

Постановка завдання. Питання раціонального використання робочого інструмента та дослідження його зношування під час роботи до теперішнього часу повною мірою не розкрито. Мало вивченими залишаються такі явища, що виникають під час роботи алмазної канатної установки, як конічне зношування алмазних втулок каната, кривизна поверхні пропила внаслідок бічного уводу каната. Метою даних досліджень є виявлення залежностей між силовими факторами канатного різання та їх аналіз стосовно нерівномірного зношування алмазних втулок.

Виклад основного матеріалу. Робочий орган алмазної канатної установки представляє собою гнучкий сталевий трос, на який нанизані втулки (перлини) із алмазними зернами. Втулки виготовлені методом металокераміки або гальванічним осадженням металевої зв'язки. Для захисту несучого сталевих троса простір між втулками заповнюється поліуретаном або гумою.

Під час використання алмазного каната спостерігається нерівномірне зношування втулок, в результаті чого вони набувають конічної форми (рис. 1).

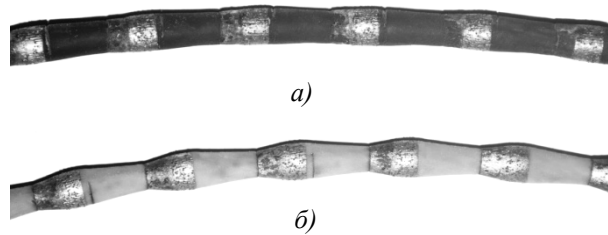


Рис. 1. Спрацьований канат із втулками, що отримали конічну форму:
 а) при статичному натягу каната біля 2,2 кН;
 б) при статичному натягу каната 2,0 кН

На рисунку 1 наведено приклад того, як відбувся процес зносу алмазного каната, втулки якого все ще містять алмазні зерна. Проте ці зразки канатів вже вичерпали свій ресурс і не підлягають подальшому використанню. Таким чином, втрачається близько 10–20 % алмазних зерен, що містяться у втулках алмазного каната. Зважаючи на досить високу вартість робочого органу канатної установки, постає потреба у докладному вивченні причин нерівномірного зношування алмазних втулок.

До теперішнього часу в дослідженнях алмазний канат з точки зору теоретичної механіки розглядався як суцільний трос, однак при визначенні закономірностей процесу зношування втулок така модель не є адекватною. Тому в даному дослідженні алмазний канат апроксимується до механічної моделі, як сукупність послідовних гнучко з'єднаних втулок, на які діють однакові за векторами та величинами сили, тобто усі втулки та сили, що на них діють, є ідентичними.

В усталеному режимі алмазні втулки каната рухаються рівномірно вздовж лінії пропилу. Згідно з аксіомами класичної механіки, рівномірний рух еквівалентний стану спокою. Тому рівноважний стан окремої втулки алмазного каната із врахуванням усіх сил буде мати вигляд, як це показано на рисунку 2.

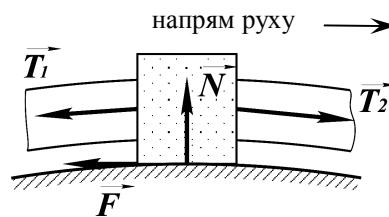


Рис. 2. Сили, що діють на алмазну втулку під час її руху в протилі

До сил, що діють на алмазну втулку відносяться: реакція опори (поверхня пропилу) N , сила опору F , що складається із сили різання та сили тертя, сили викликані дією сусідніх ділянок каната (сила натягу) T_1 та T . Причому повинна виконуватися умова:

$$T_2 = T_1 + \Delta T.$$

Враховуючи те, що траєкторія руху каната є криволінійною, в модель одиначної алмазної втулки введемо криволінійну систему координат та спроектуємо на осі за правилом паралелограма сили T_1 та T_2 (рис. 3).

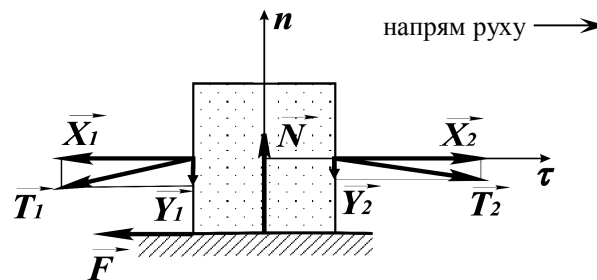


Рис. 3. Розрахункова схема навантаження циліндричної втулки

Як видно зі схеми (рис. 3), сила опору F викликає невірноважений момент, що спричиняє більше навантаження переднього краю втулки. Це, у свою чергу, викликає більший ступінь зношення передньої кромки, що надає втулці конічну форму.

Розглянута модель є адекватною лише на початковому етапі роботи алмазного каната, коли втулки ще мають циліндричну форму. Тому надалі будемо розглядати конічну модель втулки з врахуванням векторів сил, що на неї діють.

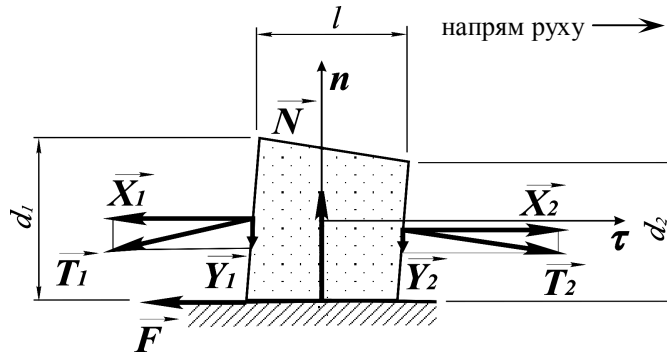


Рис. 4. Конічна алмазна втулка та сили, що на неї діють

Розглянемо рівновагу алмазної втулки, що має конічну форму (рис. 4). Вона перебуває у стані рівномірного руху під дією довільної плоскої системи сил. Складемо систему рівнянь рівноваги i -ої втулки, приймаючи до уваги малу величину кутів нахилу, тобто не враховуючи їх:

$$\left. \begin{aligned} \tau: -X_i - F_i + X_{i+1} &= 0 \\ n: N_i - Y_i - Y_{i+1} &= 0 \\ M_C: X_i \cdot \frac{d_1 - d_2}{4} + Y_i \cdot \frac{l}{2} + X_{i+1} \cdot \frac{d_1 - d_2}{4} - Y_{i+1} \cdot \frac{l}{2} - F_i \cdot \left(d_1 - \frac{d_1 - d_2}{4} \right) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Припустимо, що алмазний канат складається із k втулок, n – перебувають у контакті з породою у пропилі. Просумуємо n рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} -\sum X_i - \sum F_i + \sum X_{i+1} &= 0 \\ \sum N_i - \sum Y_i - \sum Y_{i+1} &= 0 \\ \frac{d_1 - d_2}{4} \cdot \sum X_i + \frac{l}{2} \cdot \sum Y_i + \frac{d_1 - d_2}{4} \cdot \sum X_{i+1} - \frac{l}{2} \cdot \sum Y_{i+1} - \left(d_1 - \frac{d_1 - d_2}{4} \right) \cdot \sum F_i &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Сила натягу каната між двома втулками однакова, тобто $T_i = -T_{i+1}$, таким чином:

$$\left. \begin{aligned} -X_1 - F + X_{n+1} &= 0 \\ N - Y_1 - Y_{n+1} - 2 \sum_{i=2}^n Y_i &= 0 \\ \frac{d_1 - d_2}{4} \cdot (X_1 + X_{n+1}) + \frac{l}{2} \cdot Y_1 - \frac{l}{2} \cdot Y_{n+1} - \left(d_1 - \frac{d_1 - d_2}{4} \right) \cdot F &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Із першого рівняння системи (1) виразимо:

$$X_{n+1} = X_1 + F \Rightarrow F = X_{n+1} - X_1 = \frac{M}{R}, \quad (2)$$

де M – момент на головному шківу канатної алмазної установки; R – радіус головного шківа.

Із третього рівняння системи (1), врахувавши (2), виразимо:

$$Y_{n+1} = Y_1 + X_1 \cdot \frac{d_1 - d_2}{l} - F \cdot \frac{d_1}{l}.$$

Оскільки натяг у вихідній гілці має у своєму складі силу натягу вхідної гілки, то можна його вважати статичним натягом каната, що виникає під дією виключно зусилля механізму переміщення канатної установки від вибою. Із другого рівняння системи (1) виразимо:

$$N = 2 \sum Y_i + X_1 \cdot \frac{d_1 - d_2}{l} - F \cdot \frac{d_1}{l}. \quad (3)$$

Оскільки втулка не здійснює руху вздовж осі n , то сила притиску втулки до вибою чисельно рівна реакції опори N . При нерухомому канаті загальна реакція опори:

$$N_i = 2 \sum Y_i.$$

Таким чином, при різанні алмазним канатом сила опору викликає дисбаланс силових параметрів, що призводить до нерівномірного зношування інструмента. Величину дисбалансу можна виразити з рівняння (3):

$$\Delta N = X_1 \cdot \frac{d_1 - d_2}{l} - F \cdot \frac{d_1}{l}.$$

Очевидно, що для раціонального використання інструмента ($d_2 \rightarrow d_1$) повинна виконуватися рівність:

$$\Delta N = X_1 \cdot \frac{d_1 - d_2}{l} - F \cdot \frac{d_1}{l} = 0 \Rightarrow d_1 - d_2 = \frac{F \cdot d_1}{X_1}. \quad (4)$$

Враховавши рівняння (3), можна переписати (4) у вигляді:

$$d_1 - d_2 = \frac{M \cdot d_1}{R \cdot X_1}, \quad (5)$$

де M – силовий момент головного шківів установки; R – радіус головного шківів канатної установки; d_1 – діаметр алмазного каната; X_1 – статичний натяг каната.

Зношування каната обернено пропорційне до статичного натягу і зростає при зменшенні натягу каната. При ($d_2 \rightarrow d_1$) статичний натяг $X_1 \rightarrow \infty$, що неможливо досягти на практиці при кінцевій границі міцності робочого органу. Залежність (5) дозволяє оцінити ступінь кінцевого зношування алмазососних втулок гнучкого робочого органу канатних установок. Усі параметри, що входять до виразу (5) є паспортними даними процесу алмазного канатного різання, це дозволяє заздалегідь визначити ступінь зношування робочого інструмента.

Наприклад, для канатної установки NF-01.30 «Надія» (виробництва «Експериментальный завод» м. Р'єж, Росія) очікувана різниця діаметрів, згідно з (5), становитиме:

$$d_1 - d_2 = \frac{1960 \cdot 0,012}{1,020 \cdot 2200} = 0,0104 = 10,4 \text{ мкм}, \quad (6)$$

де $M = 1960 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $R = 1,020 \text{ м}$; $d_1 = 0,012 \text{ м}$; $X_1 = 2200 \text{ Н}$.

Для середніх значень паспортних даних установок, що застосовуються на кар'єрах України, значення очікуваної конусності згідно з (5) становить 1:2,8.

Висновки. Взагалі, отримані результати дозволяють уточнити модель процесу роботи алмазного каната, що описана у роботах [5, 6].

На параметр X_1 при використанні установок із ручним регулюванням натягу каната чинить значний вплив «людський фактор». Таким чином, значення конусності може змінюватися у досить значних межах. При відомих геометричних розмірах заготовки та готової втулки з виразу (5) можна визначити оптимальні значення силових параметрів процесу алмазного канатного різання.

Використання алмазних канатних установок із ручним керуванням переміщення установки від вибою погіршує показники ресурсозбереження алмазного інструмента, оскільки не дає змоги підтримувати натяг робочого органу установки на постійному рівні. Для рівномірного зношування втулок слід застосовувати установки із можливістю підтримувати постійну силу натягу каната.

Отримані результати дозволяють оцінити силове навантаження кожної окремої втулки і можуть слугувати основою для подальшого вивчення кінематики та динаміки гнучкого робочого органу алмазних канатних установок. При дослідженні цих питань слід враховувати механічні та міцнісні властивості гірських порід.

При виготовленні алмазної втулки використовують циліндричні заготовки, до яких кріпиться шар металевій зв'язки із алмазними зернами. Оскільки на практиці буде присутнє нерівномірне зношування, то для раціонального використання алмазної сировини існує два варіанти вирішення цієї проблеми. Перший – це використання конічних основ втулок (рис. 5).

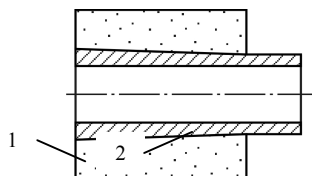


Рис. 5. Алмазна втулка на основі конічної заготовки:
1 – шар металевій зв'язки із алмазними зернами; 2 – основа втулки

Другий варіант – при кожному використанні змінювати напрям руху каната на протилежний. Для цього слід застосовувати втулки з двома обжимними торцями (рис. 6).

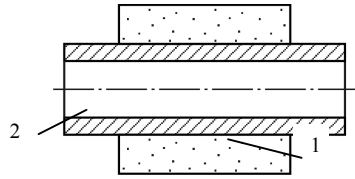


Рис. 6. Алмазна втулка з двома обжимними торцями:
1 – шар металевій зв'язки із алмазними зернами; 2 – основа втулки

У цьому випадку, використання алмазного шару інструмента також буде повне, але підвищиться швидкість зношування таких втулок, оскільки швидкість зношування обернено пропорційна площі контакту. Тобто, кожного разу втулки будуть орієнтовані гострими кромками вперед – по руху каната.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Першин Г.Д.* Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами : уч. пособ. / *Г.Д. Першин, Г.А. Караулов, Н.Г. Караулов.* – Магнитогорск : МГТУ, 2003. – 103 с.
2. *Першин Г.Д.* Канатные пилы. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы : моногр. / *Г.Д. Першин, М.Ю. Гуров, Г.И. Чеботарев.* – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. – 152 с.
3. *Dunda S.* Theoretical development of estimate of diamond wire saving plant [Електронний ресурс] / *S.Dunda* // Rudarsko-geološko-naftni zbornik. – Zagreb, 1996. – Vol. 8. – p. 103–109. – Режим доступу : www/hrcak.srce.hr/file/20844.
4. *Cardu M.* Experimental research on the wear on diamond impregnated beads in hard rock cutting / *M.Cardu, E.Michelotti* // IDR – Industrial diamond review/ – 2008. – № 1. – P. 34–39.
5. *Башинський С.І.* Геометричне моделювання контуру алмазного каната / *С.І. Башинський, С.В. Кальчук* // Тези XXXVI міжвуз. наук.-практ. конф. – 2009. – Т. 1. – С. 96–97.

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 05.11.2010

Башинський М.І. Аналіз силових параметрів зношування робочого інструмента в процесі алмазно-канатного різання високоміцних порід

Башинский С.И. Анализ силовых параметров износа рабочего инструмента в процессе алмазно-канатного резания высокопрочного пород

Bashinsky S.I. Analysis power parameters wearing tools during diamond wire cutting high-strength rock

УДК 622.23.054.7

Анализ силовых параметров износа рабочего инструмента в процессе алмазно-канатного резания высокопрочного пород/ С.И. Башинский

Проведен анализ неравномерного износа сегментов алмазного каната при резке камня. Рассмотрена механическая модель алмазной втулки и силы, действующие при взаимодействии с камнем. С помощью математического аппарата определена зависимость силовых факторов алмазно-канатного резания от силы натяжения на неравномерности износа. Результирующие выражения, полученные в ходе решения системы уравнений равновесия, дают возможность определить силовые параметры на каждой алмазной втулке каната. Учитывая рабочие параметры канатной установки и силовые параметры, возможно заранее оценить степень изношенности алмазного инструмента.

УДК 622.23.054.7

Analysis power parameters wearing tools during diamond wire cutting high-strength rock / S.I. Bashinsky

There are analysis of irregular wear segments of diamond wire for cutting stone. A mechanical model of the diamond segment and the forces on it are considere in contact zone. Using the mathematical apparatus defined tension force dependence of the force factors of diamond wire on the irregular wear. The obtained by solving the equations of equilibrium resulting expression given the opportunity to define power parameters at each of the diamond segment of the wire. Using the operating parameters of the wire saw installation and force parameters may assess the level of diamond tools wearing in advance .