

УДК 621.93.026.001.5

Технологія виготовлення абразивних армованих кругів для різання кам'яних матеріалів

Юрій Абрашкевич¹, Григорій Мачишин², Тетяна Щербина³, Олександр Марченко⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03680,

¹abrashkevych.iud@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8396-7812

²machyshyn.gm@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8230-0060

³scherbyna.tf@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-4268-5963

⁴marchenko.oa@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2136-6071

Отримано 10.11.2018; прийнято 20.12.2018

DOI: 10.31493/gbdmm1892.0303

Анотація. На сьогоднішній день ринок абразивних армованих кругів представлений широкою номенклатурою та великою кількістю виробників. Круги масово застосовуються при виконанні будівельно-монтажних робіт для різання металевої продукції.

Різання високоабразивних вогнетривів та штучних і природних гірських порід міцністю до 60 МПа на будівельному майданчику виконується переважно машинами з дисковим алмазним робочим органом. Отже, дослідження механізму роботи абразивного армованого круга при різанні кам'яних матеріалів в залежності від умов його роботи з обезпиленням водою є актуальним питанням.

В ході досліджень встановлено, що абразивний армований круг в процесі різання без охолодження має термомеханічне зношування. Це підтверджується вирішенням диференційного рівняння та визначенням глибини проникнення температури в круг. Встановлено необхідність введення в полімерну матрицю круга модифікаторів, які дозволять підвищити теплостійкість круга і, відповідно, зменшити його термомеханічне зношування. Підвищення робочої температури руйнування зв'язки круга дозволяє абразивним зернам довше утримуватися в матриці круга. Обезпилення водою дозволяє не тільки прибрати із робочої зони пил, а й додатково охолодити круг, що також збільшує його ресурс.

Розроблена технологія виготовлення абразивних армованих кругів, де як модифікатор використовується водний розчин полівінілового спирту у кількості 13,7%.

Подальші експериментальні дослідження виготовлених кругів при різанні високоабрази-

вних вогнетривів та штучних і природних гірських порід міцністю до 60 МПа підтвердили правильність отриманих результатів досліджень. Ресурс круга зріс за рахунок покращення самозаточування. Зменшилася потужність привідного двигуна, що дозволило зменшити масу машини. Екологічні умови оператора поліпшилися за рахунок зменшення пилу.

Ключові слова: абразивний армований круг, модифікатор, різання, гірські породи, вогнетривкі матеріали.

ВСТУП

Абразивні армовані круги мають масове застосування при виконанні будівельно-монтажних робіт. Вітчизняні та закордонні виробники абразивного інструменту пропонують продукцію для виконання відрізних і зачисних операцій з різними фізико-механічними властивостями, зокрема, для обробки металу, каменя, пластмас. Оптимальний вибір абразивного інструменту дозволяє не тільки забезпечити високу якість робіт, що виконуються, але і зекономити значні кошти [1-3].

МЕТА РОБОТИ

Дослідження механізму роботи абразивного армованого круга в залежності від умов його роботи з обезпиленням водою при різанні природних та штучних кам'яних матеріалів є актуальним питанням, що дозволить значно поліпшити еко-

логічні умови їх експлуатації та зменшити масу переносних машин для їх приводу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В даний час для різання високоабразивних кам'яних матеріалів в більшості випадків використовуються мобільні машини з алмазними робочими органами, що не завжди економічно доцільно [4]. У зв'язку з цим у КНУБА розроблювалися круги для різання вогнетривів та гірських порід міцністю до 60 МПа.

Відомо, що круг складається з абразивних зерен, зволжених рідким бакелітом, та нанесених на цю поверхню порошкоподібних компонентів, а його експлуатаційні показники визначаються теплостійкістю бакелітової зв'язки, яка руйнується при температурі більш 580К [5, 6, 11].

В процесі дослідження механізму роботи абразивного круга в залежності від умов його експлуатації встановлено, що при роботі без охолодження зношування інструменту відбувається переважно внаслідок термомеханічного руйнування полімерної матриці, тобто круг може виконувати різання матеріалів різної твердості. При різанні з водяним охолодженням температура матриці зменшується, що принципово змінює механізм зношування круга. В цьому випадку переважає механічне викришування з його матриці затуплених абразивних зерен в результаті їх ударної взаємодії з матеріалом, що оброблюється. Абразивний армований круг, що працює за цією схемою, постійно самозаточується тільки при різанні матеріалів, міцність яких не перевищує 25 МПа. З її збільшенням зерно затуплюється при меншій кількості ударних навантажень, що негативно позначається на самозаточуванні та, як наслідок, стійкості (стабільності) абразивного армованого круга. Таким чином, склад полімерних матриць [7] повинен відрізнятися між собою не тільки для кругів, що працюють з охолодженням та без нього, але й для тих, що використовуються при різанні з обезпиленням гірських порід та вогнетривів різної міцності.

Самозаточування круга відбувається в тому випадку, якщо затуплені абразивні зерна викришуються із полімерної матриці за умови

$$\sigma = \frac{P_y}{b^2} + \frac{6P_z(3x-h)}{3b^3+0,6h^3} > \sigma^{kp}, \quad (1)$$

де σ – максимальне напруження, яке виникає в основі зерна, МПа; P_y, P_z – нормальна та тангенціальна складові зусилля різання; b, x – параметри, що характеризують розміри зерна, м; h – глибина закладання зерна, м; σ^{kp} – твердість зв'язки круга, МПа.

В процесі роботи в міру затуплення абразивних зерен створюються площадки зерен зносу, що призводить до зростання зусиль, які діють на круг, та потужності, що використовується для руйнування гірської породи. При цьому круг самозаточується, якщо зусилля достатні для викришування абразивних зерен із полімерної матриці. В протилежному випадку різання припиняється, а в результаті дії зусилля подачі відбувається деформація інструмента та його руйнування.

На Рис. 1 показані залежності зміни потужності, яка використовується на різання при роботі із самозаточуванням без охолодження. Круг працює стабільно, тобто різання відбувається тільки гострими зернами. Одночасно з механічним руйнуванням полімерної матриці круга відбувається також її термічне зношування в тому випадку, коли температура на межі «зерно-зв'язка» перевищує 580К.

У зв'язку з цим при розробці складу полімерної матриці необхідно враховувати вплив теплових процесів, які відбуваються в зоні контакту та на межі «зерно-зв'язка».

Розповсюдження тепла в абразивному інструменті визначалось з рішення диференційного рівняння [8]

$$\frac{d^2 f}{d^2 \phi^2} + 2\phi \frac{df}{d\phi} - 1,2f = 0, \quad (2)$$

де $f(\phi) = \frac{\theta'}{T_s}$ – універсальне розподілення

температур в крузі [8]; θ' – точне розподілення температур в крузі, К [8, 9]; T_s – температура в зоні контакту, К;

$\phi = \frac{y}{2\sqrt{a\tau}}$ – змінна подоби для розподілення температур в крузі; a – коефіцієнт теплопроводності матеріалу круга, м²/с;

τ – час відрізання, с; y – довжина на яку розповсюджується температура θ' , м.

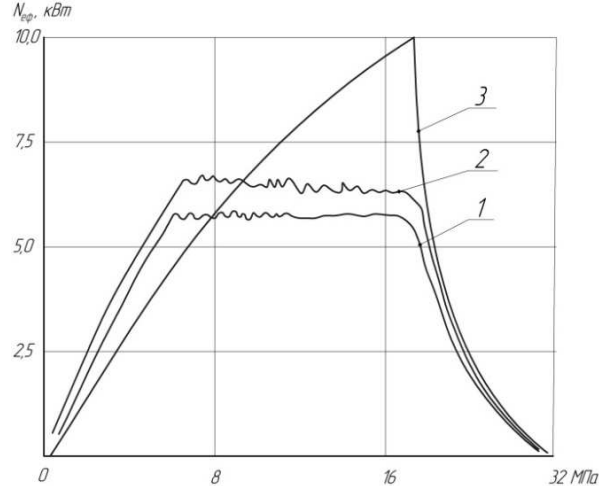


Рис. 1. Зміна ефективної потужності при різанні динасової вогнетривкої цегли марки ЕД-2:

1 – різання без знепилення; 2 – різання зі знепиленням при постійному самозаточуванні (абразивні зерна оброблені модифікатором); 3 – різання зі знепиленням при відсутності самозаточування (модифікатор добавлений у зв'язку)

Fig. 1. Changing the effective power when cutting dinasovafirerefractory bricks of grade ED-2:

1 - cutting without abrasion; 2 - cutting with degradation at constant self-sharpening (abrasive grains treated with a modifier); 3 - cutting with degradation by the percentage of self-law (modifier of addition in communication)

Термічне зношення має місце за умови, що температура на межі «зерно-зв'язка» досягла або перевищила температуру руйнування зв'язки круга T_o .

Виходячи з цього

$$\Delta T_o > g, \quad (3)$$

де ΔT_o – глибина проникнення температури

ри T_o в круг; g – максимальний розмір зерна.

Глибина проникнення температури T_o в круг ΔT_o оцінювалася із наступної залежності [2]:

$$\Delta T_o = 2\sqrt{a\tau} \cdot f^{-1}\left(\frac{T_o - T_a}{T_s - T_a}\right), \quad (4)$$

де f^{-1} – функція, зворотна $f(\phi)$; T_o – теплостійкість зв'язки круга, К; T_a – температура оточуючого середовища, К.

Визначено, що величини температур на межі «зерно-зв'язка», які забезпечують термомеханічне зношення круга, повинні становити 400...500К. Виходячи з цього, як модифікатори полімерної матриці вибирались речовини, теплостійкість яких не перевищувала вказаних температур: полівінілацеталь (ПВА) – 304К, полівініловий спирт (ПВС) – 413К, полівінілформаль (ПВФ) – 365К, полівінілбутираль (ПВБ) – 325К [10].

На першому етапі модифікатори вводились безпосередньо в склад абразивної маси після зволоження зерна рідким бекелітом. Виготовлені за цією технологією круги досліджувалися при різанні динасової вогнетривкої цегли марки ЕД-2. Такі круги працюють нестабільно, оскільки не самозаточуються в процесі різання (див. Рис. 1).

У зв'язку з цим був розроблений спосіб виготовлення абразивних армованих кругів, який полягає в тому, що абразивні зерна попередньо покривалися водним розчином полівінілового спирту у кількості 13,7%, який рівномірно розподілявся на поверхні зерен. При різанні кругами, які виготовлені відповідно до розробленої технології, одночасно з механічним викришуванням абразивних зерен із полімерної матриці відбувається також її термічне руйнування, тобто механізм зношення був термомеханічний.

Встановлено (Табл. 1), що кращий результат досягається при використанні як модифікатора полівінілового спирту.

Таблиця 1. Результати порівняних випробувань ($V_p = 70-80$ м/с, $V_n = 0,004$ м/с)**Table 1.** Results of comparative tests ($V_p = 70-80$ m/s, $V_n = 0,004$ m/s)

Склад круга, вага, %	Матеріал, що розрізається	Межа міцності на одновісний стиск, МПа	Коефіцієнт шліфування	Відхилення від прямолінійності різку, мм	Примітка
Абразивне зерно (карбід кремнію чорний марки 54С)	Динасова вогнетривка цегла ЕД-2	40,0	-	3,0	Круг засалюється, зміщення в осьовому напрямку
Рідкий бакеліт Кріоліт ЗФП (зв'язуюче фенольне порошкоподібне)	Шамотна вогнетривка цегла ША-I-5	20,0	27,0	-	Круг зміщується в осьовому напрямку
	Мармур Коелгінський	50,0	-	3,5	
Абразивне зерно ПВС Рідкий бакеліт Кріоліт ЗФП	Динасова вогнетривка цегла ЕД-2	40,0	20,0	-	
	Шамотна вогнетривка цегла ША-I-5	20,0	43,2	-	
	Мармур Коелгінський	50,0	27,5	-	
Абразивне зерно ПВС Рідкий бакеліт Кріоліт ЗФП	Динасова вогнетривка цегла ЕД-2	40,0	5,0	-	
Абразивне зерно ПВС Рідкий бакеліт Кріоліт ЗФП	Шамотна вогнетривка цегла ША-I-5	20,0	17,0	-	
	Мармур Коелгінський	50,0	6,0	-	
Абразивне зерно ПВС Рідкий бакеліт Кріоліт ЗФП	Динасова вогнетривка цегла ЕД-2	40,0	13,5	-	
	Шамотна вогнетривка цегла ША-I-5	20,0	27,0	-	
	Мармур Коелгінський	50,0	16,0	-	
Абразивне зерно ПВС Рідкий бакеліт Кріоліт ЗФП	Динасова вогнетривка цегла ЕД-2	40,0	9,8	-	
	Шамотна вогнетривка цегла ША-I-5	20,0	22,0	-	
	Мармур Коелгінський	50,0	10,5	-	

Круги, які ним модифіковані, працюють з самозаточуванням та дозволяють виконувати різання гірських порід і вогнетривів міцністю до 60 МПа.

На основі проведених досліджень розроблено технологічний процес виготовлення абразивних армованих кругів. Випробування дослідних зразків кругів проводилось при різанні шамотних, динасових, високоглиноземних, кислототривких

та інших типів вогнетривких будівельних матеріалів, а також гірських порід, що використовуються для виготовлення облицювальних плит. Результати випробувань наведені в Табл. 2.

В процесі виробничої перевірки встановлено, що абразивні армовані круги надійні та безпечні в роботі, а також забезпечують необхідну якість поверхні, що оброблюється.

Таблиця 2. Експлуатаційні показники кругів Д 400x4x32 мм при різанні зі знепилюванням водою

Table 2. Performance indices of circles Д 400x4x32 mm at cutting with discharging water

Параметри матеріалу, що розрізується		Швидкість подачі, м/с	Ресурс круга, м ² , не менше
Назва	Міцність на одновісний стиск, МПа		
Туф Арктикський	23,8	0,0133	5,8
Мармур Коелгінський	50,0	0,01	14,0
Ракушняк Жетибайського родовища	16,6	0,0167	11,6
Травертин Марашанський	60,0	0,005	2,7
Динасова вогнетривка цегла марки ЕД-2	37,3	0,0083	2,9
Шамотна вогнетривка цегла марки ША-1-5	17,8	0,0133	5,2

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень розроблено технологію виготовлення і проведено виробничу перевірку абразивних армованих кругів для різання високоабразивних гірських порід і вогнетривів міцністю до 60 МПа з водою. Встановлено:

- ресурс круга зростає за рахунок покращення самозаточування;
- зменшується потужність привідного двигуна, що дозволяє зменшити масу машини;
- екологічні умови роботи оператора поліпшуються за рахунок зменшення кількості пилу.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Абрашкевич Ю.Д.** Механізація трудомістких процесів / Ю.Д. Абрашкевич, В.М. Смірнов, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський. – К.: КНУБА, – 2006. – 180 с.
2. **Абрашкевич Ю.Д.** Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів / Ю.Д. Абрашкевич, Г.М. Мачишин, В.П. Тишковець // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2015. – №85. – С. 54-59.
3. **Абрашкевич Ю.Д.** Експлуатація абразивних армованих кругів / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, Г.Н. Мачишин // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2016. – №4. – С. 30-32.
4. Кінематичні та силові параметри машин з абразивними армованими кругами / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський, Д.А. Соловей. // Гірничі, будівельні,

дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №78. – С. 59-65.

5. <http://ukrabraziv.com.ua/novosti/29-gost-abrazivnykh-krugov>
6. <https://elmisto.com.ua/p500607344-otreznoj-disk-metallu.html>
7. **Бондалетова Л.И.** Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2013. – 118 с.
8. **Эшги С.** Тепловые явления при абразивной отрезке. Часть 2. Труды американского общества инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения, – №3, – 1967. – С. 162.
9. **Карслоу К., Эгер Д.** Теплопроводность твердых тел / К. Карслоу, Д. Эгер. – М.: Наука, – 1964. – 487 с.
10. <http://booksonchemistry.com/index.php?id1=3&category=other&author=nikolskiy-bp&book=1966sprt1>
11. **Bogdanov V.** Impact a circular cylinder with a flat on an elastic layer / V. Bogdanov // Transfer of Innovative Technologies. – 2018. – Vol.1(2). – P. 68-74.

REFERENCES

1. **Abrashkevich Yu.D., Smirnov V.N., Pelevin L.E., Rashkovsky V.P., 2006.** Mechanization of labor-intensive processes. Kyiv, KNUBA Publ., 180. (in Ukraine).
2. **Abrashkevich Ju.D., Machishin H.N., Tishkovec V.P., 2015.** Effect of reinforcement on the safety of the operation of abrasive wheels. Mining, construction, road and reclamation machines, Nr. 85.54-59. (in Ukraine).
3. **Abrashkevich Ju.D., Pelevin L.E., Machishin H.N., 2016.** Operation of abrasive reinforced wheels. Assembly and special works

- in construction. Monthly scientific, technical and production magazine, Nr. 4, 30-32. (in Russian).
4. **Abrashkevich Yu.D., Pelevin L.E., Rashkovsky V.P., Solovey D.A., 2011.** Kinematical and power parameters of machines with abrasive reinforced circles. Mining, construction, road and reclamation machines, Nr. 78.59-65. (in Ukraine).
 5. <http://ukrabraziv.com.ua/novosti/29-gost-abrazivnykh-krugov>
 6. <https://elmisto.com.ua/p500607344-otreznoj-disk-metallu.html>
 7. **Bondaletova L.I., Bondaletov V.G., 2013.** Polymer composite materials (part 1): study guide. Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 118. (in Russian).
 8. **Eshgi S., 1967.** Thermal phenomena in the abrasive segment. Part 2. Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers. Design and technology of machine building, No. 3, 7., 162. (in USA).
 9. **Karslow K., Eger D., 1964.** Thermal conductivity of solids. Moscow, Science, 487. (in Russian).
 10. <http://booksonchemistry.com/index.php?id1=3&category=other&author=nikolskiy-bp&book=1966sprt1>
 11. **Bogdanov V., 2018.** Impact a circular cylinder with a flat on an elastic layer. Transfer of Innovative Technologies, Vol. 1(2), 68-74.

Technologies of manufacture of abrasive armed circuits for cutting of stone materials

*Yury Abrashkevich, Hrigoriy Machyshyn,
Tetyana Scherbina, Oleksandr Marchenko*

Abstract. The market of abrasive reinforced circles is represented by a wide range of products and a large number of manufacturers. Circles are

used massively when performing construction and installation work for cutting metal products.

The cutting of high-abrasive refractories and artificial and natural rocks with a strength of up to 60 MPa at the construction site is performed mainly by machines with a diamond working organ. The study of the mechanism of the work of the abrasive reinforced circle when cutting stone materials, depending on the conditions of its work with waterproofing is an actual question.

In the course of the research it was established that the abrasive reinforced circle in the process of cutting without cooling has thermomechanical wear. This is confirmed by the solution of the differential equation and the definition of the depth of penetration of the temperature in a circle. The necessity of introducing into the polymer matrix a circle of modifiers, which will increase the heat resistance of the circle and reduce its thermomechanical wear accordingly, is established. Increasing the operating temperature of the destruction of the circle binder allows abrasive grains to be kept longer in the matrix of the circle. Debrisation with water allows not only to remove dust from the working zone, but also to cool the circle, which also collects its resource.

The technology of manufacturing abrasive reinforced circles has been developed where the 13.7% aqueous solution of polyvinyl alcohol was used as a modifier.

Further experimental studies of the circles made, when cutting high abrasive refractories and artificial and natural rocks with a strength of up to 60 MPa, confirmed the correctness of the performed research. The resource of the circle has grown due to improved self-sharpening. The power of the drive motor has decreased, which has reduced the weight of the machine. The environmental conditions of the operator have improved due to the reduction of dust.

Key words: abrasive reinforced circle, modifier, cutting, rocks, refractory materials.