

# Інструмент, порошки, пасти

---

УДК 622.24.05: 621.921.34-419

**О. П. Виноградова, А. П. Загора\*, О. О. Шульженко,  
В. Г. Гаргін, О. М. Соколов, Д. В. Ефросінін, Є. О. Загора**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

\*apz146@gmail.com

## **Порівняльна оцінка працездатності бурових коронок з алмазовмісною матрицею і вставками з алмазовмісних композитів**

*Виконано порівняльну оцінку працездатності бурових коронок з алмазовмісною комбінованою матрицею, оснащених вставками з алмазовмісного композиційного термостійкого матеріалу АКТМ і вставками з отриманого активованим НРНТ-спіканням порошків алмазу з добавкою п-шарового графену марки N002-PDR, що не містить вільного кремнію і має високу міцність і зносостійкість, нового композиційного зносостійкого матеріалу АКЗМ. Проведений після буріння блоку коростишівського граніту Х-категорії на спеціальному стенді комплекс досліджень, що включає вивчення робочої поверхні комбінованої алмазовмісної матриці бурових коронок мікроскопічним методом і контактним методом вимірювання шорсткості, дослідження мікропрофілю поверхні вибою, сформованого при бурінні, дозволив зробити висновок про більш високу працездатність роботи коронок, оснащених вставками АКЗМ, в порівнянні з коронками, оснащеними вставками АКТМ.*

**Ключові слова:** бурова коронка, порошки алмазу, комбінована алмазовмісна матриця, породоруйнівна вставка, працездатність, ефективність руйнування гірських порід, зносостійкість, шорсткість мікропрофілю робочої поверхні вставок і вибою.

Працездатність алмазного бурового породоруйнівного інструменту визначається багатьма факторами, до основних з яких відносяться зносостійкість, що характеризується відносною витратою надтвердих матеріалів (НТМ) до пройденого шляху (мг/км) або ж відносною висотою зносу алмазовмісної матриці до пройденого шляху (мм/м), і ефективність руйнування гірської породи. За ефективність руйнування гірських порід приймають поєднання високої механічної швидкості буріння алмазним інструментом і максимальної шорсткості мікропрофілю вибою свердловини для конкретних гірничо-геологічних умов [1].

© О. П. ВІНОГРАДОВА, А. П. ЗАГОРА, О. О. ШУЛЬЖЕНКО, В. Г. ГАРГІН, О. М. СОКОЛОВ, Д. В. ЕФРОСІНІН,  
Є. О. ЗАГОРА, 2022

Як відомо, в практиці алмазного геологорозвідувального буріння найбільш широкого поширення набули одношарові та імпрегновані алмазні коронки, що відрізняються схемою розміщення в матриці коронки, насиченістю і зернистістю застосовуваних порошків природного або синтетичного алмазу (СА). Для першого типу інструменту застосовують кристали алмазу розміром > 1000 мкм, а для другого – 250/200–800/630 мкм. Одношарові коронки застосовують при бурінні порід м'яких і середньої міцності, імпрегновані – для міцних порід [2].

Починаючи з 80-х років минулого століття в Інституті надтвердих матеріалів України ім. В. М. Бакуля НАН України (ІНМ) виконано комплекс досліджень з вивчення впливу властивостей і конструктивних особливостей породоруйнівних елементів з композиційних алмазовмісних матеріалів в буровому інструменті на його працездатність. В результаті проведеної роботи практично було доведено ефективність застосування імпрегнованих бурових коронок типу БС, об'ємний шар алмазовмісної матриці яких додатково оснащували елементами з твесалу. Надалі така конструкція алмазовмісної матриці отримала назву комбінованої [3].

З розробкою нових полікристалічних матеріалів на основі СА, зокрема алмазного композиційного термостійкого матеріалу (АКТМ) і гібридного полікристалічного композиційного ультратвердого матеріалу (гібридайт), з'явилася можливість створення в ІНМ нових типів вискоефективного породоруйнівного інструменту з комбінованою алмазовмісною матрицею для буріння свердловин в породах середньої твердості і твердих [4, 5].

У даній роботі досліджено відомий композиційний термостійкий матеріал (АКТМ) і створений в ІНМ за допомогою активованого НРНТ-спікання порошків алмазу з добавкою *n*-шарового графена марки N002-PDR, який не містить вільного кремнію і має високу міцність і зносостійкість, новий композиційний зносостійкий матеріал (АКЗМ) [6].

Мета цієї роботи – порівняльна оцінка працездатності бурових коронок з алмазовмісною комбінованою матрицею, оснащених вставками з композиційного термостійкого матеріалу (АКТМ) і вставками нового композиційного зносостійкого матеріалу (АКЗМ).

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення досліджень було виготовлено зразки дослідних коронок типу БТ22 діаметром 76 мм з різним оснащенням об'ємного шару робочого торця комбінованої алмазовмісної матриці: вставки АКТМ діаметром 3,5 мм і висотою 4 мм встановлювали в центральній частині сектора (через 2 сектори) в коронці 1, а вставки АКЗМ таких же розмірів і встановлювали таким же способом в коронці 2. Для оснащення об'ємного шару коронки застосовували порошок синтетичного алмазу марки АС160Т зернистістю 400/315.

Порівняльні випробування працездатності бурових коронок з алмазовмісною комбінованою матрицею відповідно до методики [7] проводили на спеціальному буровому стенді, а в якості гірської породи для випробування було обрано коростишівський граніт Х категорії за буримістю.

Мікроскопічне дослідження профілю робочої поверхні бурових коронок за допомогою мікроскопа Ломо Метап Р-1, оснащеного ССD відеокамерою Digital КОСОМ, підключеної до ПЕОМ, відповідно до методики [8], полягало у вимірі висоти виступу над матрицею експериментальних вставок, дослідженні стану границі експериментальної вставки і матриці інструменту, вимірі висоти виступу зерен алмаза над матрицею.

Крім того, вивчали експлуатаційну шорсткість – шорсткість, яку набула поверхня вставок АКТМ і АКЗМ у процесі буріння. Для дослідження шорсткості використовували портативний профілометр RT-10 Plus. Основні висотні параметри шорсткості мікропрофілю поверхні вставок визначали згідно ISO 4287/15B0601. Для побудови профілограм і розрахунку параметрів вимірювання застосовували спеціальне програмне забезпечення.

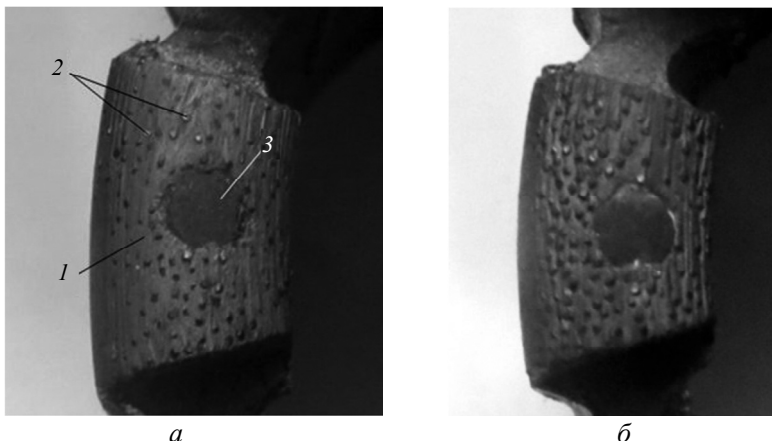
Паралельно вивченню експлуатаційної шорсткості породоруйнівних вставок, для дослідження зносостійкості комбінованої матриці бурових коронок проводили оцінку ефективності руйнування гірської породи за методикою вивчення мікропрофілю поверхні вибою, сформованого при алмазному бурінні [9]. Всі основні і додаткові висотні параметри шорсткості мікропрофілю поверхні вибою, а також, статистичні параметри профілю розраховували згідно ГОСТ 2789–82. Знос коронок по висоті вимірювали після буріння індикаторною голівкою DIGICO 10, закріпленої на вимірювальній стійці, з точністю до 1 мкм.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### Висота виступу породоруйнівних вставок над рівнем матриці секторів експериментальних бурових коронок

За мікроскопічними дослідженнями зниження висоти виступу породоруйнівних вставок з АКТМ і АКЗМ над рівнем матриці найбільш виражено в задній частині секторів обох експериментальних бурових коронок, причому площина всіх вставок нахилена в сторону збігаючої частини сектора.

Вищезазначене ілюструє рисунок, на якому представлено сектори обох видів коронок, що складаються з матричного матеріалу, армованого алмазними зернами і експериментальними породоруйнівними вставками. Візуально чітка відмінність висот обох вставок в задній частині сектора відносно рівня поверхні матриці, що спостерігали, відповідає зниженню рівнів вставок АКТМ і АКЗМ на 200 мкм (див. рисунок, *а*) і 20 мкм (див. рисунок, *б*) відповідно. Середній виступ вставок з АКЗМ в задній частині секторів експериментальної коронки відносно рівня матриці в 25 разів вище середнього виступу вставок АКТМ над поверхнею матриці.



Сектор комбінованої алмазовмісної матриці коронки, оснащеної вставками з АКТМ (*а*) і АКЗМ (*б*): 1 – матриця; 2 – алмазні зерна; 3 – вставка.

У більшості секторів коронки, оснащеної вставками з АКТМ, спостерігали збіг рівнів вставки і матриці в передній частині сектора, а середнє значення

виступу їх над поверхнею матриці становило не більше 25 мкм, тоді як середня висота вставок АКЗМ дорівнювала 82,5 мкм. Слід відзначити, що ні в одному з секторів коронки, оснащеної вставками з АКЗМ, рівень вставки в передній частині сектора був не нижче 50 мкм щодо рівня поверхні матриці, а максимальна різниця в рівнях вставок АКЗМ і АКТМ в передній частині секторів обох коронок щодо поверхні матриці досягала 200 мкм. Рівні поверхонь матричного матеріалу в передній і задній частинах секторів в коронці, оснащеної вставками АКЗМ, збігаються, тоді як рівень поверхні матричного матеріалу в передній частині секторів в коронці, оснащеної вставками з АКТМ, вище рівня поверхні матричного матеріалу в задній частині сектора в середньому на 100 мкм.

Рівень вставок з АКЗМ в керноутворюючій частині сектора відносно рівня матриці в середньому в 1,75 разів вище рівня вставок з АКТМ у відповідній частині сектора. Крім того, спостерігається незначне (в 1,13 рази) перевищення значення рівня вставки з АКТМ над поверхнею матриці в свердловиноутворюючій частині інструменту в порівнянні зі вставкою з АКЗМ.

Середня висота виступу вставки з АКЗМ відносно поверхні матриці в напрямку руху інструменту становила 40 мкм, в той час як середня висота виступу вставки з АКТМ – лише 10 мкм.

У радіальному напрямку середні виступи вставки над поверхнею матриці мають такі значення: вставка АКЗМ – 275 мкм, АКТМ – 212,5 мкм (відрізняються в 1,29 рази).

Наведені вище дані дозволяють припустити, що породоруйнівні вставки з АКЗМ, які розміщені в комбінованій алмазовмісній матриці коронки, в процесі буріння поведуться як великі різці у вигляді виступу сферичної форми і тому працюють в режимі самозаточування на відміну від вставок АКТМ, які працюють в режимі шліфування.

### **Висота виступу алмазних зерен над рівнем матриці експериментальних бурових коронок**

Важливою умовою ефективної роботи бурового інструменту є виступ зерен алмаза над рівнем матриці.

Вимірювання висоти виступу (вильоту) випадково вибраних з матриці бурових коронок 30 зерен алмазу проводили у всіх секторах в площинах, найбільш наближених до площини робочої поверхні породоруйнівних вставок. Згідно з графіком зміни кількості зерен алмазу в залежності від їх вильоту [10] найбільша кількість зерен алмазу на робочій поверхні матриці коронки зі вставками АКЗМ має виліт 100 мкм, тоді як відповідне значення вильоту для коронки зі вставками АКТМ становить 60 мкм.

Невелика кількість зерен алмазу з вильотом 80–120 мкм в коронці зі вставками АКТМ створює менш ефективні умови роботи бурового інструменту в порівнянні з умовами роботи коронкою зі вставками АКЗМ. Висока твердість і зносостійкість матеріалу вставки з АКЗМ забезпечує виступ її над тілом комбінованої матриці і захист оточуючих її зерен алмазу в процесі буріння, а також сприяє високоефективному руйнуванню гірської породи коронкою, що працює в більш енергозберігаючому режимі, ніж коронка зі вставками АКТМ.

### **Шорсткість мікропрофілю робочої поверхні експериментальних вставок**

В результаті дослідження шорсткості робочої поверхні експериментальних вставок було побудовано криві шорсткості в напрямку руху коронки по вибою і в напрямку, перпендикулярному йому, тобто, в поперечному напрямку.

ку від зони, зверненої до зовнішнього діаметру частини сектора, до зони, зверненої до внутрішнього діаметра частини сектора.

Результати отриманих вимірів параметрів шорсткості на поверхні вставок АКТМ і АКЗМ представлено в табл. 1.

**Таблиця 1. Результати шорсткості мікропрофілю робочої поверхні експериментальних вставок**

Коронка	Породоруйнівна вставка	Напрямок сканування мікропрофілю вставок	$Ra$ , мкм	$Rz$ , мкм	$S_m$ , мкм	$R_{max}$ , мкм
1	АКТМ	вздовж руху коронки	0,912	6,351	47,410	8,226
		перпендикулярно руху коронки	1,404	6,800	62,562	9,534
2	АКЗМ	вздовж руху коронки	2,278	13,349	42,901	22,927
		перпендикулярно руху коронки	2,776	14,405	65,812	16,148

Як видно з табл. 1, значення всіх основних параметрів шорсткості робочої поверхні породоруйнівних вставок АКЗМ мають більш високі показники як в напрямку руху коронки (в 2,10–2,79 разів вище), так і перпендикулярно йому (в 1,05–2,12 разів вище), ніж у породоруйнівних вставок АКТМ. Водночас майже ідентичним є значення середнього кроку нерівностей  $S_m$  на поверхні обох видів вставок в перпендикулярних один одному напрямках.

Більш високу шорсткість поверхні ріжучого елемента з АКЗМ в порівнянні з АКТМ обумовлюють його більш високі фізико-механічними властивості. В процесі взаємодії різальних крайок композита з породою відбувається поступове його затуплення внаслідок руйнування крайок, що призводить до згладжування робочої поверхні композита (відповідно шорсткість знижується) і зниженню його працездатності. Завдяки більш високій міцності на стиск вставки АКЗМ, яка на 35 % вище, ніж у вставок АКТМ [6], затуплення крайок відбувається не так інтенсивно, як у випадку АКТМ, відповідно параметри шорсткості вищі, що в кінцевому підсумку обумовлює більш високу працездатність АКЗМ в порівнянні з АКТМ.

#### Дослідження працездатності інструменту з комбінованою матрицею

Параметри шорсткості поверхні вибою гірської породи і середньої механічної швидкості буріння, наведено в табл. 2.

**Таблиця 2. Результати дослідження працездатності інструменту з комбінованою матрицею**

Коронка	Варіант оснащення робочого торця комбінованої матриці коронки зі вставками	$Ra$ , мкм	$Rz$ , мкм	$R_{max}$ , мкм	$S_m$ , мкм	$v_{ср.мех.}$ , м/ч	Знос матриці по висоті, $\Delta h_{ср.}$ , мкм
1	АКТМ	1,977	6,599	11,277	503,64	2,4	25
2	АКЗМ	2,860	8,345	16,488	750,30	3,0	12

Аналіз представлених в табл. 2 даних показує, що використання вставок з АКЗМ в комбінованій матриці бурової коронки в порівнянні з використанням вставок з АКТМ сприяє підвищенню параметрів шорсткості мікропрофілю

поверхні вибою в 1,3–1,5 рази і зниженню зносу комбінованої матриці коронки по висоті в 2,1 рази. Водночас середня механічна швидкість буріння коронками, оснащеними вставками з АКЗМ ( $v_{\text{мех}} = 3,0$  м/г), перевищує аналогічний показник у коронок, оснащених вставками АКТМ ( $v_{\text{мех}} = 2,4$  м/г) в 1,25 рази, що свідчить про більшу руйнуючу здатність бурової коронки, оснащеної вставками з АКЗМ, в порівнянні з буровою коронкою, оснащеною вставками АКТМ.

## ВИСНОВКИ

Породоруйнівні вставки з АКЗМ, що було розміщено в комбінованій алмазовмісній матриці коронки, в процесі буріння поведуться як великі різці і працюють в режимі самозаточування на відміну від вставок АКТМ, які працюють в режимі шліфування.

Встановлено, більш висока твердість і зносостійкість матеріалу вставок АКЗМ в порівнянні з АКТМ забезпечує переважний виступ вставок цього типу над рівнем комбінованої алмазовмісної матриці, що дозволяє підтримувати в процесі буріння відповідний виліт зерен алмазу з матриці й забезпечує високо-ефективну роботу коронки в цілому, а також відзначається на середній механічній швидкості буріння коронками зі вставками з АКЗМ, яка перевищує в 1,25 рази аналогічний показник коронок, оснащених вставками з АКТМ.

Показники основних параметрів шорсткості поверхні вставок АКЗМ в середньому в 2,10–2,79 рази вище аналогічних показників у вставок АКТМ в напрямку руху коронки по вибою і в 1,05–2,12 рази в радіальному напрямку щодо руху коронки.

Велику шорсткість поверхні ріжучого елемента з АКЗМ в порівнянні з АКТМ обумовлюють його більш високі фізико-механічні властивості. В процесі взаємодії різальних крайок алмазного композита з породою відбувається поступове його затуплення внаслідок руйнування крайок, що призводить до згладжування робочої поверхні композита (відповідно шорсткість знижується) і зниженню його працездатності. Завдяки більш високій міцності на стиск вставки АКЗМ, що на 35 % вища, ніж у вставок АКТМ, затуплення ріжучих крайок відбувається не так інтенсивно, як у випадку з АКТМ, відповідно рівень шорсткості поверхні вибою вище, що, в кінцевому підсумку обумовлює більш високу працездатність вставок АКЗМ у порівнянні з АКТМ.

Застосування вставок з АКЗМ в буровій коронці в порівнянні з використанням вставок з АКТМ підвищує шорсткість мікропрофілю поверхні вибою свердловини в 1,3–1,5 рази і знижує знос комбінованої матриці коронки по висоті в 2,1 рази завдяки високій зносостійкості матеріалу АКЗМ, тому буріння коронкою, оснащеною вставками з АКЗМ є більш ефективним в порівнянні з роботою коронкою, оснащеною вставками з АКТМ.

O. P. Vynohradova, A. P. Zakora, A. A. Shul'zhenko,  
V. G. Gargin, A. N. Sokolov, D. V. Efrosinin, I. A. Zakora  
Bakul Institute for Superhard Materials,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
Comparative estimation of the performance of drilling bits  
with diamond-containing matrix and inserts from diamond-  
containing composites

*The aim of this work was to compare the performance of drill bits with a diamond-containing combined matrix equipped with inserts made of a diamond-containing compos-*

ite heat-resistant material DCTM and inserts made of diamond powders obtained by activated HPHT sintering with the addition of n-layer graphene grade N002-PDR, which does not contain free silicon and has a high strength and wear resistance, a new composite wear-resistant material DCWM. A complex of studies carried out after drilling a block of Korostyshevsky granite X category on a special stand, including: study of the working surface of the combined diamond-containing matrix of drill bits by the microscopic method and the contact method of measuring the roughness, the study of the micro-profile of the face surface formed during drilling made it possible to conclude that the work of the crowns is higher, equipped with DCWM inserts, compared to crowns equipped with DCWM inserts.

**Keywords:** drill bit, diamond powders, combined diamond-containing matrix, rock-breaking insert, operability, efficiency of the rocks destruction, wear resistance, roughness of the micro-profile of the working surface of the inserts and the bottom.

1. Загора А.П., Богданов Р.К., Исонкин А.М., Шульженко А.А., Гаргин В.Г. Оценка эффективности разрушения горных пород алмазными поликристаллическими композиционными материалами при бурении. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр.* 2008. Вып. 11. С. 79–84.
2. Справочник по бурению геологоразведочных скважин / под ред. Е.А. Козловского. СПб.: ООО “Недра”, 2000. 712 с.
3. Загора А. П. Исследование работоспособности и результаты применения импрегнированных коронок с комбинированной матрицей. Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. Киев: ИСМ АН УССР, 1987. С. 86–91.
4. Шульженко А.А., Ашкинази Е.Е., Соколов А.Н., Гаргин В.Г., Ральченко В.Г., Конов В.И., Александрова Л.И., Богданов Р.К., Загора А.П., Ткач В.Н., Заика Н.И., Власов И.И., Артюков И.А., Петрунок Ю.С. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр.* 2009. Вып. 12. С. 143–154.
5. Yan G., Yue W., Meng D., Lin F., Wu Z., Wang C. Wear performances and mechanisms of ultrahard polycrystalline diamond composite material grinded against granite. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2015. Vol. 54. P. 46–53.
6. Шульженко А.А., Яворска Л., Соколов А.Н., Романко Л.А., Гаргин В.Г., Белявина Н.Н., Ткач В.Н., Загора А.П. Структура и электрофизические свойства композита алмаз-графен-карбид кремния. *Сверхтв. материалы.* 2018. № 6. С. 92–96.
7. Супрун М.В. Підвищення роботоздатності алмазних бурових коронок в твердих породах: дис. робота на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук: 05.15.10. Івано-Франківськ, 2016. 141 с.
8. Виноградова О.П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2015. 195 с.
9. Загора А.П., Фадеев В.Ф., Новожилов Б.А., Зновяк В.П. Методика изучения микропрофиля поверхности забоя, сформированного при алмазном бурении. *Изв. ВУЗов. Геол. и разв. (Москва).* 1989. № 2. С. 140–141.
10. Загора А.П., Виноградова Е.П., Шульженко А.А., Гаргин В.Г., Соколов А.Н., Загора Е.А. Оценка эффективности разрушения твердых горных пород буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами и вставками АПКМ+. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* 2018. Вып. 21. С. 18–25.

Надійшла до редакції 19.11.20

Після доопрацювання 29.07.21

Прийнята до опублікування 05.08.21