

УДК 622.24.05: 621.921.34–413

В. З. Туркевич, академік НАН України, **А. П. Загора**, **Ю. О. Мельничук**, **М. В. Супрун**,
Л. П. Стасюк, **Д. А. Стратійчук**, кандидати технічних наук, **Є. О. Загора**

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ,
вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, e-mail: apz146@ism.kiev.ua*

МЕТОД ОЦІНКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АТП ДЛЯ БУРОВОГО ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Метою цієї роботи була розробка методу експрес-оцінки та детальне дослідження працездатності АТП з активуючими добавками під час руйнування твердої гірської породи. Експериментальні дослідження проводились за поздовжнього різання з заданою глибиною впровадження поверхні керна граніту Х категорії за буримістю. Кінетику зношування пластин АТП при різанні в режимі реального часу вивчали з урахуванням зміни складників сили різання. Пластини АТП з активуючою добавкою кремнію показали більшу на 42% зносостійкість різальної крайки при руйнуванні твердої гірської породи порівняно з роботою пластини АТП серійного виробництва ІНМ, а також вищі в 1,14 рази середні показники вертикального складника сили різання P_y . Питома енергоємність руйнування породи γ при роботі пластиною з активуючою добавкою була в 1,45 разів меншою, ніж під час роботи серійною пластиною за рахунок більшого (в 1,64 рази) об'єму зруйнованої породи, що свідчить про більшу працездатність пластини з активуючою добавкою, яка забезпечується більшою зносостійкістю її різальної крайки. Використання пластин АТП з активуючою добавкою кремнію у геологорозвідувальних бурових коронках може бути ефективним для розширення діапазону твердих гірських порід, що буряться, за рахунок більшої зносостійкості їх різальних крайок.

Ключові слова: працездатність, АТП, активуючі добавки, тверда гірська порода, зношування, зносостійкість, сили різання, різуча кромка, бурова коронка.

Вступ

Буріння геологорозвідувальних свердловин під час розвідки родовищ корисних копалин як сфера застосування алмазного породоруйнівного інструмента підвищеної працездатності є однією з найбільш потрібних, але й найбільш складних з огляду на умови його роботи. При цьому частка витрат на інструмент у загальній вартості геологорозвідувальних робіт з буріння свердловин тим вища, чим більш важкоруйнівними та абразивнішими є гірські породи. Тому у споживачів цього інструменту існує постійний інтерес до підвищення його працездатності, основним критерієм якої є його зносостійкість.

Одним з основних напрямів технічного прогресу в процесі пошуку та розвідки родовищ корисних копалин має бути зниження матеріальних і трудових витрат на одиницю розвіданих запасів. Досягається це передусім за рахунок створення і застосування нових марок надтвердих матеріалів в буровому інструменті. Підвищення фізико-механічних характеристик алмазних композиційних матеріалів може буде досягнуто за рахунок оптимізації хімічного складу матричної композиції шляхом поєднання різних за розміром зерен алмазних порошоків з оптимальним відсотковим співвідношенням розміру та формою зерен зносостійкого композитного наповнювача, а також удосконалення технологічних процесів виготовлення породоруйнівних елементів та інструменту загалом [1].

Як відомо, під час буріння в твердих породах зносостійкість інструменту, оснащеного алмазно-твердосплавними пластинами (АТП), знижується та поступається у продуктивності алмазним буровим коронкам. Тому більшість розробників АТП активно працюють над створенням термостійких елементів, здатних бурити свердловини не тільки у м'яких

породах, а й у твердих та середньої твердості, де показники буріння алмазними коронками істотно перевищують показники буріння коронками, оснащеними твердосплавними різальними елементами [2].

Різальна крайка «традиційної» пластини АТП у процесі роботи в твердих породах притуплюється, енергоємність руйнування гірської породи поступово підвищується, оскільки збільшується площа контакту із забоем гірської породи. При цьому істотно знижується механічна швидкість буріння. Для підтримання постійної механічної швидкості буріння на практиці зазвичай інтенсивніше підвищують осьове навантаження на породоруйнівний інструмент, що, зі свого боку, призводить до швидшого зношування пластин АТП. Зазвичай для зменшення зносу різальної крайки АТП збільшують її висоту і підвищують термостабільність пластини. Крім того, для використання в умовах буріння свердловин в твердих і тріщинуватих породах на поверхню АТП наносять демпфуюче двошарове покриття [3]. Зазначені технічні рішення певною мірою зменшують зношування пластин АТП, але це не призводить до відчутного підвищення працездатності буріння.

Одним з методів підвищення термостійкості та зносостійкості різальної крайки є додавання до алмазовмісного шару АТП активуючих добавок порошків кремнію або титану [4].

Для ефективного застосування в буровому інструменті породоруйнівних елементів з нових надтвердих матеріалів необхідно провести більш якісні і менш затратні дослідження з оцінювання працездатності їх у процесі руйнування твердої гірської породи.

Відомі на сьогодні методи оцінювання працездатності породоруйнівних елементів для бурового інструменту мають складність в обробці інформації на застарілому обладнанні або малу інформативність процесу і громіздкість програмного забезпечення, яке призводило до великих витрат робочого часу на розрахунки [5].

Мета пропонованої роботи – розробка методу експрес-оцінки та детальне дослідження працездатності АТП з активуючими добавками під час руйнування твердої гірської породи.

Матеріали та методи досліджень

Як матеріали для проведення порівняльних експериментальних досліджень працездатності породоруйнівних елементів для бурового інструменту було використано алмазно-твердосплавні пластини АТП серійного виробництва ІНМ та пластини з активуючою добавкою 2 мас.% Si, що показали відносно високу зносостійкість в попередніх дослідженнях [4].

Експериментальні дослідження проводились під час поздовжнього різання з заданою глибиною впровадження поверхні керн коростишівського граніту Х категорії за буримістю, що характеризується стабільними властивостями, високою твердістю і відносно високою абразивністю, на спеціальному стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата типу ФТ-11 (рис. 1).

Складові сили різання вимірювалися встановленим на спеціальному стенді універсальним динамометром УДМ-1200 конструкції ВНІ Інструмента. Тарування динамометру проводили у спеціальному пристрої зразковим динамометром ДОСМ-200. Дані вимірювань складових сили різання фіксувалися з використанням спеціально розробленого і виготовленого апаратно-програмного комплексу, що має модуль вимірювання, оснащений аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), і оброблювалися на персональному комп'ютері (ПК) за допомогою спеціальної програми «Tenzosation 2». Це дало змогу проводити запис і обробку інформації за допомогою ПК в режимі реального часу.



Рис. 1. Випробування на інтенсивність зношування на токарно-гвинторізному верстаті ФТ - 11

Кінетику зношування пластин АТП під час різання в режимі реального часу також вивчали з урахуванням зміни складових сили різання, які вимірювали універсальним динамометром УДМ-1200. Отримані дані фіксували в апаратно-програмному комплексі з модулем вимірювання з АЦП та опрацьовували на ПК. На випробуваннях використовувалося спеціальне пристосування для закріплення керна гірської породи у вигляді розрізного циліндра і склянки, а також спеціальний різець для закріплення зразка досліджуваного АТП.

Дослідний зразок АТП закріплювався в спеціальному різці і підводився до поверхні керна гірської породи, де і здійснювалося його поздовжнє різання з заданою глибиною впровадження. Геометричні параметри різальної частини спеціального різця: передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$.

Як гірську породу для випробувань працездатності пластин АТП вибрано коростишівський граніт Х категорії за буримістю, що характеризується стабільними властивостями, високою твердістю та малою абразивністю. Основні фізико-механічні властивості коростишівського граніту: твердість за штампом $P_{ш} = 237$ даН/мм²; абразивність – 43; об'єднаний показник буримості $\rho_m = 34,2 \div 51,2$.

Працездатність досліджуваних пластин АТП оцінювали за інтенсивністю зношування за масою і контрольним виміром висоти площадки зносу мікроскопом МБС-9 з похибкою вимірювань $\pm 0,03$ мм, а також за розрахованими показниками питомої енергоємності руйнування γ для кожного із зразків.

Інтенсивність зношування за масою I (мг/км) визначалась як співвідношення втрати маси породоруйнівної вставки $\Delta m = m_{п} - m_{к}$ до величини проходки на елемент L , де $m_{п}$ та $m_{к}$ (мг) – маса зразка, відповідно до і після тестування

$$I = \frac{\Delta m}{L},$$

де $L = \frac{\pi D n}{60} t$; (D – діаметр керну, м; n – частота обертання шпинделя станка, об/хв; t – час різання, хв).

Масу дослідних пластин АТП вимірювали на електронних вагах типу Sartorius з точністю до 0,0001 г.

Контрольованими параметрами під час різання були глибина впровадження (з точністю до 0,05 мм) і час різання (з точністю до 1 с).

Порівняльні випробування зразків пластин АТП серійного виробництва та пластин з активуючою добавкою 2 мас.% Si проводили при наступних параметрах режиму різання: частота обертання – 500 об/хв, глибина впровадження – 0,5 мм. При цьому розрахункові

параметри становили: швидкість різання – 1,82 м/с, шлях точіння – 1120 м, час точіння – 1000 с.

Слід зазначити, що дослідження працездатності породоруйнівних елементів з АТП при різанні керну граніту проводили при примусовому охолодженні зони різання проточною водою, що імітує процес промивання і охолодження бурового інструменту на вибої свердловини.

Результати дослідження та їх обговорення

Судячи з результатів порівняльних випробувань алмазно-твердосплавних пластин, отримані показники інтенсивності зношування відповідно для пластин АТП серійного виробництва та пластин з активуючою добавкою 2 мас.% Si близькі до попередніх, а саме 1,82 мг/км та 1,06 мг/км (табл.1). Тобто очевидне зниження інтенсивності зношування на 42% у пластин з активуючою добавкою 2 мас.% Si порівняно з пластинами АТП серійного виробництва ІНМ.

Таблиця 1. Порівняльні випробування пластин АТП серійного виробництва та пластин з активуючою добавкою 2 мас.% Si при різанні коростишівського граніту X категорії за буримістю

Характеристика пластини АТП	Маса пластини, мг		Знос по масі, мг	Інтенсивність зношування по масі, I, мг/км	Висота площадки зносу, h, мм
	Начальна	Кінцева			
серійна	3803,0	3801,0	2,00	1,82	1,0
з активуючою добавкою	4410,2	4409,0	1,20	1,06	0,3

Крім того, вимірювання висоти площадки зносу h у обох зразків пластин АТП та характер зношення ріжучої кромки (рис.4) теж показало перевагу в працездатності пластин АТП з активуючою добавкою 2 мас.% Si відносно пластин серійного виробництва.

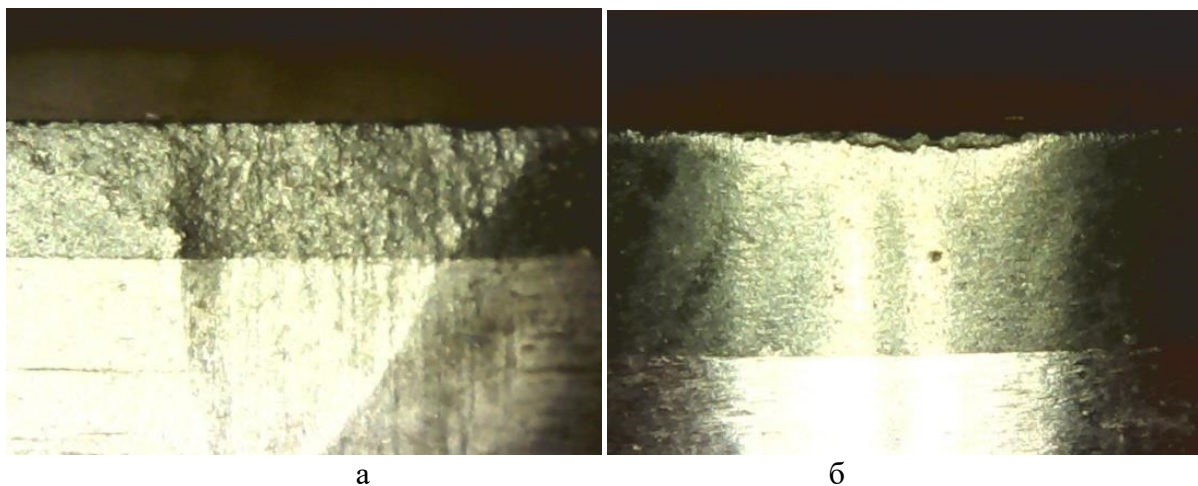


Рис. 2. Вигляд площадки зносу пластин АТП: а – серійного виробництва; б – з активуючою добавкою

У процесі проведення досліджень отримано дані вимірювання основних складових сили різання (P_z та P_y), які дають змогу детальніше провести оцінку працездатності пластин АТП, що досліджувались (табл. 2).

Аналіз результатів вимірювання основних складників сили різання пластин АТП та питомої енергоємності наведених в табл. 2 показав, що в процесі руйнування граніту у обох зразків пластин АТП горизонтальна складова сили різання P_z майже не відрізнялась на відміну від вертикальної складової сили різання P_y , середній показник якої у пластини з активуючою добавкою був в 1,14 рази більшим.

Таблиця 2. Середні показники основних складових сили різання пластин АТП та питомої енергоємності при руйнуванні коростишівського граніту Х категорії за буримістю

Характеристика АТП	Швидкість різання, м/с	Глибина впровадження, мм	P_z , Н	P_y , Н	Об'єм зруйнованої породи, V , мм ³	Питома енергоємність руйнування, γ , Нм/мм ³
серійна	1,82	0,5	50,0	180,0	10,2	17,8
з активуючою добавкою	1,82	0,5	55,0	205,0	16,7	12,3

При цьому питома енергоємність руйнування породи γ при роботі пластиною з активуючою добавкою була в 1,45 разів меншою, ніж при роботі серійною пластиною за рахунок більшого (в 1,64 рази) об'єму зруйнованої породи. Це свідчить про більшу працездатність пластини з активуючою добавкою, що забезпечується більшою зносостійкістю її ріжучої кромки порівняно з роботою пластини АТП серійного виробництва ІНМ при руйнуванні монолітної твердої гірської породи. Дані вимірювання основних складових сили різання пластин АТП дещо збігаються з проведеними раніше в ІНМ дослідженнями [6].

Висновки

Розроблений метод експрес-оцінки дає змогу детальніше досліджувати працездатність нових АТП в лабораторних умовах.

За результатами виконаних досліджень, доходимо висновку, що пластини АТП з активуючою добавкою кремнію продемонстрували більшу на 42% зносостійкість ріжучої кромки під час руйнування монолітної твердої гірської породи порівняно з роботою пластини АТП серійного виробництва ІНМ, а також вищі в 1,14 рази середні показники вертикального складника сили різання P_y .

Питома енергоємність руйнування породи γ при роботі пластиною з активуючою добавкою була в 1,45 разів меншою, ніж при роботі серійною пластиною за рахунок більшого (в 1,64 рази) об'єму зруйнованої породи. Це свідчить про більшу працездатність пластини з активуючою добавкою, що забезпечується більшою зносостійкістю її ріжучої кромки порівняно з роботою пластини АТП серійного виробництва ІНМ при руйнуванні монолітної твердої гірської породи.

На підставі вищесказаного доходимо висновку, що використання пластин АТП з активуючою добавкою кремнію у геологорозвідувальних бурових коронках може бути ефективним для розширення діапазону твердих гірських порід, що буряться, за рахунок більшої зносостійкості її ріжучої кромки.

Целью данной работы была разработка метода экспресс оценки и детальное исследование работоспособности АТП с активизирующими добавками при разрушении твердой горной породы.

Экспериментальные исследования проводились при продольном резании с заданной глубиной внедрения поверхности керна гранита X категории по буримости. Кинетика изнашивания пластин АТП при резании в режиме реального времени изучали с учетом изменения составляющих силы резания. Пластины АТП с активирующей добавкой кремния показали большую на 42% износостойкость режущей кромки при разрушении твердой горной породы по сравнению с работой пластины АТП серийного производства ИСМ, а также выше в 1,14 раза средние показатели вертикальной составляющей силы резания P_y . Удельная энергоемкость разрушения породы γ при работе пластиной с активирующей добавкой была в 1,45 раз меньше, чем при работе серийной пластиной за счет большего (в 1,64 раза) объема разрушенной породы, что свидетельствует о большей работоспособности пластины с активирующей добавкой, которая обеспечивается большей износостойкостью ее режущей кромки. Использование пластин АТП с активирующей добавкой кремния в геологоразведочных буровых коронках может быть эффективным для расширения диапазона буримых твердых горных пород за счет большей износостойкости ее режущей кромки.

Ключевые слова: работоспособность, АТП, активирующие добавки, твердая горная порода, износ, износостойкость, силы резания, режущая кромка, буровая коронка.

V. Z. Turkevich, A. P. Zakora, I. A. Melniichuk, M. V. Suprun, L. F. Stasiuk,
D. A. Stratiichuk, I. A. Zakora

METHOD FOR ASSESSING THE PERFORMANCE OF PDC FOR A DRILLING EXPLORATION TOOLS

The purpose of this work was to develop a rapid assessment method and a detailed study of the performance of PDC with activating additives in the destruction of solid rock. Experimental studies were carried out with longitudinal cutting with a given depth of penetration of the core surface of granite X of the category by drillability. The wear kinetics of PDC during cutting in real time were studied taking into account the change in the components of the cutting force. The PDC with an activating silicon additive showed a 42% higher wear resistance of the cutting edge in the destruction of solid rock compared to the work of the PDC of the serial production of the ISM, and also 1.14 times higher than the average value of the vertical component of the cutting force P_y . Specific energy consumption of rock destruction γ when working with a plate with an activating additive was 1.45 times lower than when operated by a serial plate due to a larger (in 1.64 times) volume of the destroyed rock, which indicates a more efficient plate with activating additive, which is provided greater wear resistance of its cutting edge. The use of PDC with an activating silicon additive in exploratory drill bits can be effective in extending the range of solid rock to be drilled due to greater wear resistance of its cutting edge.

Key words: working capacity, PDC, activating additives, hard rock, wear, wear resistance, cutting forces, cutting edge, drill bit.

Література

1. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. П. Исонкин. – Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2007.–244 с.
2. Загора А. П., Стасюк Л. Ф., Богданов Р. К. и др. Исследование работоспособности буровой коронки, оснащенной гибридными алмазно-твердосплавными пластинами // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сб. науч. тр. – Вып.18, – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, – 2015, С. 3–7.
3. Пат. № 2066729 РФ, МПК E21 B10/46. Долото для вращательного бурения / Красник В. Г., Дабижа Е. В., Свешников И. А. и др. – Заявл. 04.07.91; Опубл. 20.09.1996, Бюл. № 26.
4. Туркевич В. З., Стасюк Л. П., Стратійчук Д. А. та ін. Дослідження процесів фазоутворення при спіканні АТП з активуючими добавками // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и

- применения / Сб. науч. тр. – Вып.20, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2017, с.352–358.
5. СТП 28.5 05417377 100 2003. Метод оценки износостойкости алмазно-твердосплавных пластин. Стандарт предприятия. – К., 2003. – 10 с.
 6. Свешников И. А., Драганчук О. Г., Заболотный С. Д. и др. Экспериментальное моделирование работы инструмента по забою прочной трещиноватой породы // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сб. науч. тр. – Вып.8, – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, – 2005, с. 39–44.

Надійшла 21.05.18

References

1. Zybinskii, P. V., Bogdanov, R. K., Zakora, A. P., & Isonkin, A.M. (2007). *Sverhtverdye materialy v geologorazvedochnom burenii [Superhard materials in exploration drilling]*. NORD-PRESS [inRussian].
2. Zakora, A. P., Stasiuk, L. F., Bogdanov, R. K. et al. (2015). *Issledovaniie rabotosposobnosti burovoi koronki, osnashchennoi gibridnymi almazno-tverdosplavnymi plastinami [Research performance drill bitequipped with a hybrid plates PDC]. Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 18, 3–7.* [in Ukrainian].
3. Krasnik, V. G., Dabizha, E. V., Sveshnikov, I. A. Et al. (1996). Patent of Russian Federation 2066729
4. Turkevych, V. Z., Stasiuk L. F., Stratiichuk D. A. et al. (2017). *Doslidzhennia procesiv fazoutvorennia pri spikanni ATP z aktivuiuchimi dobavkami [Investigation of the formation during sintering diamond-carbide plates with activation additions]. Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 20, 352–358.* [in Ukrainian].
5. СТП 28.5 05417377 100 2003. Метод оtsenки износостоикости алмазно-твердосплавных пластин [Method for evaluating the wear resistance of diamond-carbide plates]. (2003). *СТП 28.5 05417377 1002003. Kiev: V. Bakul Institute for Superhard materials* [in Russian].
6. Sveshnikov, I. A., Draganchuk, O. G., Zabolotnyi, S. D. et al. *Eksperimentalnoie modelirovaniie raboty instrumenta po zaboju prochnoi treshchinovatoi porody [Experimental modeling of the work of the tool for the slaughter of a strong fractured rock]. Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 8,39–44.* [in Russian].