

УДК 622.24.051. 622:156

**А. Л. Майстренко**, член-кор. НАН України, **А. П. Закора**, **Р. С. Шмегера**, **М. В. Супрун**,  
**О. П. Виноградова**, кандидати технічних наук, **А. С. Беляєв**, **Г. А. Петасюк**, д-р техн. наук,  
**І. Ю. Ростоцький**, **А. М. Панова**, кандидати технічних наук, **С. Д. Заболотний**

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України*

### **ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ ПОРОДОРУЙНІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ ЗАЛЕЖНО ВІД ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА СПОСОБУ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА АЛМАЗНІ ЗЕРНА**

*Досліджено інтенсивність зношування робочої поверхні породоруйнівних елементів з композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) при руйнуванні пісковика Торезького родовища. Як зразки використано КАМ на основі матриці NiSn (6%) з алмазами марки АС 300Т зернистістю 400/315 мкм без покриття та з покриттями гідридом титану та хрому, нанесеними механічним способом; на основі матриці NiSn (6%) з алмазами марки АС160Т зернистістю 400/315 мкм з покриттям корбідом титану TiC, нанесеним іонно-плазмовим способом, а також матеріал «Славутич» на зв'язці WC+Co з природними алмазами зернистістю 600/530 мкм. У результаті експериментальних досліджень інтенсивності зношування зразків з КАМ та мікроскопічного дослідження їх робочої поверхні зроблено висновок про найнижчу інтенсивність зношування зразка зі «Славутича» та елемента з механічно вкритими Cr алмазами.*

**Ключові слова:** інтенсивність зношування, породоруйнівний інструмент, покриття, алмаз, шлам.

#### **Вступ**

Ступінь відповідності зносостійкості матриці абразивним властивостям гірської породи один з основних критеріїв при виборі хімічного складу алмазовмісної матриці породоруйнівного інструменту.

Матриця породоруйнівного інструменту зношується або контртілом (гірською породою), або третім розташованим між ними елементом (частинками шламу). [1] При цьому невідомо, як саме гірська порода руйнує матрицю, адже для цього потрібно знати, як заглиблення алмазів у породу залежить від висоти виступання їх з матриці.

Зносостійкість робочої поверхні матриці бурового алмазного інструменту досліджував О.М. Ісонкін за допомогою електронного растрового мікроскопу «САМСКАН-4DV» [2]. Він встановив [3] можливість управління рельєфом робочої поверхні породоруйнівного інструмента при бурінні граніту Коростишівського родовища імпрегнованими буровими коронками типу БС-01 діаметром 46 мм, оснащеними синтетичними алмазами різної міцності марок АС 65, АС 80, АС 100, АС 125, зернистістю 250/200 мкм та 315/250 мкм. Як параметр, що оцінює мікрогеометрію робочої поверхні коронки було взято висоту виступання алмазів. Зносостійкість коронок оцінювали за інтенсивністю зношування – відношенням лінійного зношування алмазоносного шару матриці до заглиблення свердловини. У результаті зроблено висновок, що до різкого підвищення зносу матриці бурових імпрегнованих коронок та створення передумов погіршення рельєфу поверхні коронки призводить зниження висоти виступання алмазних зерен з матриці, а за раціонального співвідношення параметрів режиму буріння і підвищення міцнісних характеристик алмазів знижуються витрати енергії на руйнування гірської породи та інтенсивність зношування матриці.

Інтенсивність зношування зразків бурових коронок визначали [4,5] як відношення маси зношених зразків до об'єму зруйнованої гірської породи.

Оскільки при бурінні на КАМ значно впливають термосилові навантаження, здатність матеріалу відводити теплоту від робочої зони інструменту є важливою експлуатаційною характеристикою КАМ, що впливає на його зносостійкість. Утримувати алмазне зерно в матриці можливо шляхом його механічного охоплювання чи адгезійним зчепленням його поверхні з матеріалом матриці. Адгезійне зчеплення завдяки високій міцності зв'язку суттєво покращує працездатність та довговічність алмазного інструменту [6], а також істотно підвищує його теплопровідність [7]. З метою забезпечення такого типу зв'язку між алмазом та зв'язкою на поверхню алмазів наносили адгезійно активні хімічні елементи, зокрема хром (Cr) та титан (Ti).

Мета цієї роботи полягала в дослідженні інтенсивності зношування та теплопровідності породоруйнівних елементів з КАМ залежно від способу їх виготовлення та технології нанесення адгезійно активних покриттів на поверхню алмазу.

### Методика досліджень

Зразки КАМ на зв'язці NiSn (6%) виготовили методом інтенсивного електроспінання [8, 9]. Для виготовлення зразків використали порошки нікелю ПНЕ-1, олова ПО-1 та синтетичні алмази зернистістю 400/315 мкм. Вихідні металеві порошки змішували в барабанному млині з кулями з твердого сплаву ВК6 у режимі сухого розмелювання протягом 8 год. Брикети суміші формували методом двобічного холодного пресування в закритій сталевій прес-формі за тиску 300 МПа. Інтенсивне електроспінання зразків здійснювали прямим пропусканням струму промислової частоти щільністю до 25 А/мм<sup>2</sup> через зразок за одночасного тиску на нього 150

МПа. Спікали зразки протягом 20 с, при цьому температура спікання не перевищувала 850 °С, що забезпечувало збереження вихідної якості алмазів у складі КАМ.

Коефіцієнт теплопровідності зразків КАМ вимірювали на комп'ютеризованій установці [10].

Експериментальні бурові елементи випробували на зносостійкість при руйнуванні пісковика Торезького родовища ІХ категорії буримості на спеціальному стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДІП-200 (рис. 1).

Перед початком випробувань буровою короною діаметром 112 мм вибурили kern пісковика Торезького родовища діаметром 93 мм та довжиною



Рис. 1. Загальний вигляд спеціального стенда для досліджень: 1 – циліндричний блок пісковика Торезького родовища, 2 – циліндричний породоруйнівний елемент, 3 – система охолодження породоруйнівного елемента, 4 – динамометричний пристрій

400 мм.

Досліджуваний зразок породоруйнівного елемента закріплювали у спеціальному пристосуванні та підводили до поверхні керна гірської породи, де й здійснювали його поздовжнє руйнування із заданою глибиною впровадження. Методику експериментальних досліджень у спеціальному оснащенні на токарно-гвинторізному верстаті описано в [11].

Зношування за масою породоруйнівних елементів вимірювали електронними вагами типу AXIS з точністю до 0,001 г.

Параметри режиму різання були такі: швидкість обертання –  $355 \text{ хв}^{-1}$ , глибина впровадження –  $0,5\text{--}1,0 \text{ мм}$ . Швидкість, шлях та тривалість різання розраховували за довжиною та діаметром керна гірської породи.

Як контрольні параметри брали глибину впровадження (з точністю до  $0,05 \text{ мм}$ ) і тривалість руйнування гірської породи (з точністю до  $1 \text{ с}$ ).

Як гірську породу для випробування зносостійкості зразків породоруйнівних елементів з КАМ вибрали пісковик Торезького родовища IX категорії буримості (твердість по штампу  $P_{\text{ш}} = 2,90 \text{ ГПа}$ ), що характеризується стабільними фізико-механічними властивостями, високою твердістю і високою абразивністю –  $35 \text{ мг}$ .

Для визначення інтенсивності зношування експериментальних зразків досліджували вплив оброблення алмазних порошоків перед електроспіканням на адгезійну здатність матричного матеріалу утримувати алмазні зерна в породоруйнівних елементах, оснащених синтетичними алмазами зернистістю  $400/315 \text{ мкм}$ : негранульованими АС 300Т (№ 1), механічно вкритими гідридом титану синтетичними алмазами АС 300Т (№ 2), обробленими іоноплазмовим покриттям титаном АС160Т (№ 3) та механічно вкритими хромом АС 300Т (рис. 2) порівняно зі зносостійкістю породоруйнівного елемента зі «Славутича» з відносною концентрацією алмазів  $100\%$  за зернистістю  $600/530 \text{ мкм}$ .

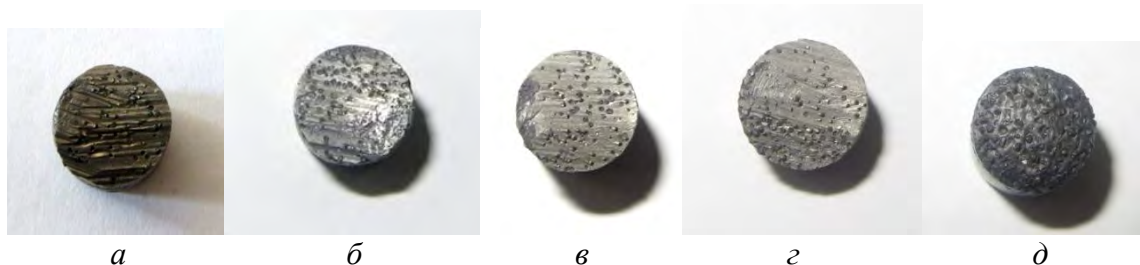


Рис. 2. Загальний вигляд експериментальних породоруйнівних елементів (вид згори), оснащених алмазами зернистістю : а –  $400/315 \text{ мкм}$  не гранульованими АС 300Т (№ 1); б –  $400/315 \text{ мкм}$  механічно вкритими гідридом титану АС 300Т (№ 2); в –  $400/315 \text{ мкм}$ , обробленими іоноплазмовим покриттям титаном АС 160Т (№ 3); г –  $400/315 \text{ мкм}$  механічно покритими хромом АС 300Т; д –  $600/530 \text{ мкм}$

Породоруйнівні елементи, робочу поверхню яких показано на рис. 4, закріплювали на гвинтах до державки з хвостовиком довжиною  $25 \text{ мм}$  для встановлення в динамометричний пристрій (рис. 3).

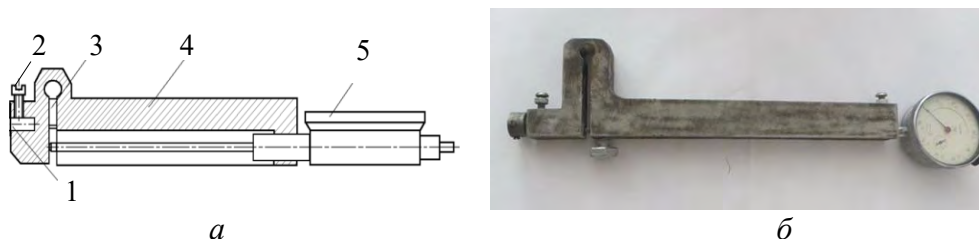


Рис. 3. Динамометричний пристрій для вимірювання сили руйнування гірської породи експериментальними елементами: а – схема, 1 – отвір для встановлення хвостовика державки породоруйнівного елемента, 2 – гвинт для закріплення породоруйнівного елемента у корпусі динамометричного пристрою, 3 – демпфер, 4 – корпус динамометричного пристрою, 5 – індикатор; б – фото разом з оправкою

Динамометричний пристрій піддавали тарюванню безпосередньо перед початком експериментальних досліджень з використанням еталонного динамометра. Руйнували гірську

породу породоруйнівним елементом, встановленим хвостовиком державки в отвір 1 і закріпленим гвинтом 2 у корпус пружного динамометричного пристрою (рис. 3а) за кінематичною схемою поздовжнього точіння. Значення нормальної складової зусилля руйнування гірської породи експериментальним породоруйнівним елементом показував індикатор 5, який фіксував пружні переміщення динамометричного пристрою при контакті породоруйнівного елемента з блоком гірської породи. До та після відпрацювання експериментальні зразки зважували на електронних вагах.

Інтенсивність зношування  $I$  (мг/м) визначалась згідно методики [11].

Рельєф робочої поверхні (виступи алмазних зерен та глибину лунок від алмазів, що випали) матриці зазначених породоруйнівних елементів ретельно досліджували за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою Digital КОСОМ, з'єданого з ПЕОМ [12]. Необхідною складовою експериментальних досліджень є мікроскопічне дослідження геометричних параметрів частинок шламу, отриманих після руйнування пісковика всіма породоруйнівними елементами, а саме обчислення еквівалентного діаметра одиничних частинок продуктів руйнування (діаметра круга, площа якого дорівнює площі проекції фрагменту шламу) за допомогою приладу DiaInspect OSM.

#### Результати випробувань та їх обговорення

#### *Дослідження теплопровідності зразків та інтенсивності їх зношування за втратою маси в результаті відпрацювання за пісковиком Торезького родовища*

У результаті експериментальних досліджень згідно з їх методикою, значення вимірної теплопровідності, втрати маси, інтенсивності зношування породоруйнівних елементів, контактного напруження зведено в таблицю.

#### Порівняльні випробування породоруйнівних елементів із КАМ на зносостійкість при руйнуванні пісковика (ІХ категорії по буримості) при заглибленні 0,5 мм

Номер породоруйнівного елемента з КАМ	Діаметр елемента, мм	Зусилля притискання вставки $q$ , Н	Контактне напруження, МПа	Втрата маси елемента, мг	Теплопровідність зразка, Вт/м·К	Інтенсивність зношування по масі, $I$ , мг/км
1	2	3	4	5	6	7
1 – елемент з не гранульованими АС 300Т	9,6	200	2,76	69,0	71,07	70,8
2 – елемент з механічно вкритими АС 300Т гідридом титану	9,6	200	2,76	87,0	79,19	94,2
3 – елемент з обробленими іоноплазмовим покриттям титаном АС 160Т	9,6	200	2,76	77,0	80,61	91,1

*Закінчення таблиці*

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

4 – елемент з механічно покритими хромом АС 300Т	9,6	200	2,76	45,0	83,64	56,3
5 – елемент зі «Славутича»	10	350	4,45	11,0	115,8*	14,3

\* – експериментальне значення коефіцієнта теплопровідності породоруйнівного елемента зі «Славутича» [13].

### **Виступ алмазних зерен**

За допомогою ультразвукового приладу Transsonic ТІН очистили робочу поверхню експериментальних породоруйнівних елементів від залишків гірської породи за такого режиму: інтенсивність – 35 кГц, температура води  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , режим 1 – normal, режим 2 – degas двічі протягом 15 хв. Робочі поверхні досліджуваних елементів (рис. 4) досліджували за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного ССD відеокамерою Digital КОСОМ, з'єданого з ПЕОМ.

Мікроскопічним дослідженням підлягали величина виступу кожного алмазного зерна матриці (рис. 4, а), глибина кожної лунки (рис. 4, б), утвореної після випадіння відпрацьованих алмазів на поверхні матриці, та рельєф поверхні матриці досліджуваних породоруйнівних елементів.

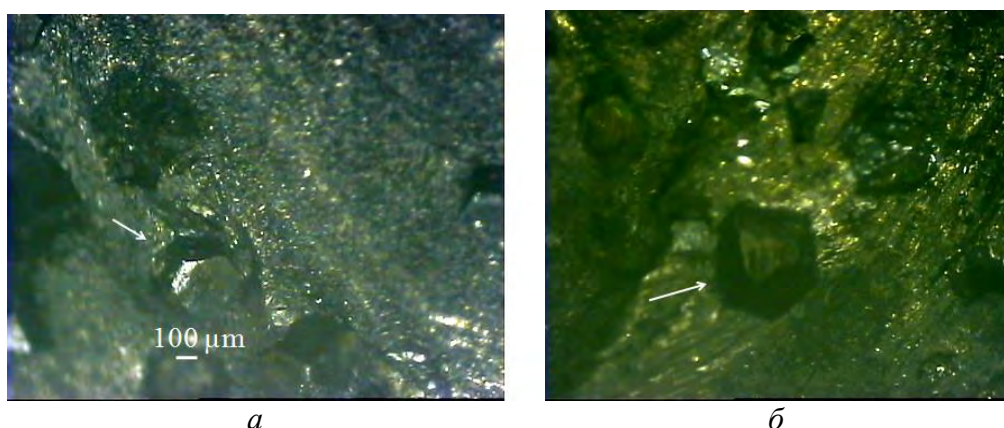


Рис. 4. Загальний вигляд робочої поверхні породоруйнівного елемента: а – алмазного зерна; б – лунки на робочій поверхні матриці після відпрацювання алмазного зерна глибиною 200 мкм

Зміну показників виступу алмазних зерен та утворення лунок після їх випадіння до відпрацювання та після в породоруйнівному елементі № 1 показано на рис. 5. На обох графіках найбільша кількість алмазних зерен має виступ 100 мкм з тенденцією до збільшення у 2,2 раза (відповідно 18 та 40). Спостерігали різке зменшення кількості алмазів з виступом 200 мкм до повної їх відсутності. Кількість лунок, утворених у результаті випадіння алмазів, до роботи та після неї незначна і зменшилась з 21 до 17. Різниця кількості алмазних зерен з виступом 100 та понад 100 мкм та кількості алмазів з виступом до 99 мкм після відпрацювання елемента становить 34.

Кількість алмазних зерен з виступом 100 мкм у породоруйнівному елементі № 2 після роботи – 30, що в 1,33 раза менше від відповідного показника попереднього елемента. Звертає

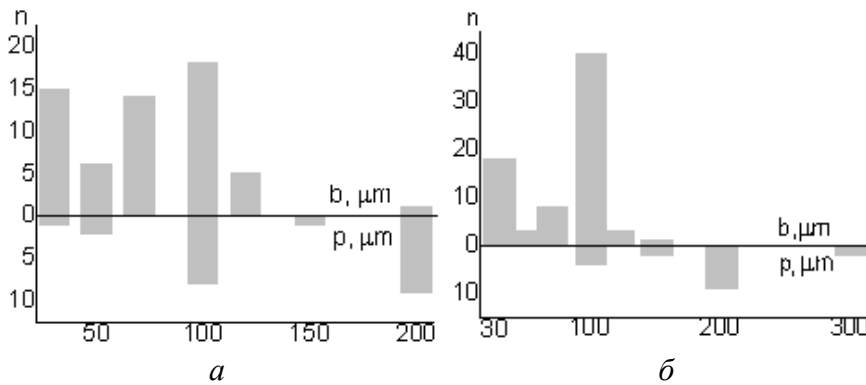


Рис. 5. Частотограма розподілу вильоту алмазних зерен з матриці (b) породоруйнівного елемента, оснащеного алмазами АС 300Т, та розподілу заглиблень (лунок) на робочій поверхні (p); n – кількість алмазів або заглиблень: а – базове вимірювання, б – після відпрацювання

відбувається через інтенсивне зношування матричного матеріалу та утворення великої кількості лунок на поверхні матриці.

Збільшення кількості алмазних зерен з виступом 100 мкм після відпрацювання в 3,7

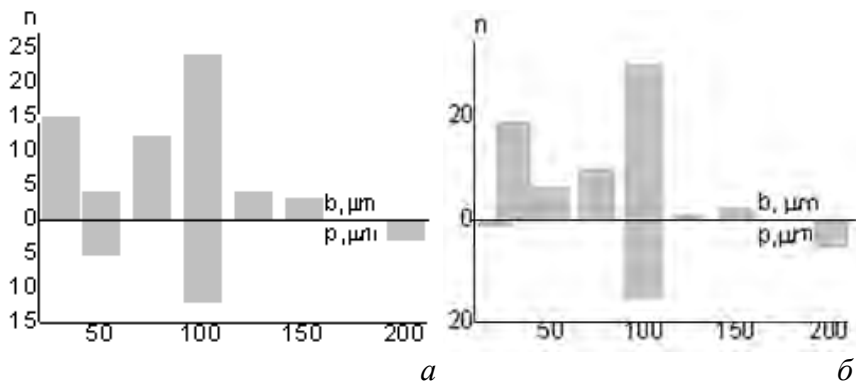


Рис. 6. Частотограма розподілу величину виступу алмазних зерен з матриці (b) породоруйнівного елемента, оснащеного алмазами АС 300Т, механічно вкритих гідридом титану, та розподілу заглиблень (лунок) на робочій поверхні (p); n – кількість алмазів або заглиблень: а – базове вимірювання, б – після відпрацювання

кількість лунок глибиною 100 мкм – з 8 до 26. Вірогідно, масу втрачає елемент (див. таблицю) через втрату активно працюючих алмазних зерен, а також інтенсивного зношування матричного матеріалу.

увагу велика кількість алмазних зерен після роботи з виступом до 99 мкм – 35 (рис. 6, б). Наявність незначної кількості алмазних зерен з виступом 100 мкм на робочій поверхні елемента № 2 і, навпаки, переважаючої ( в 1,16 раза) кількості алмазів з виступом до 99 мкм уможливорює припущення, що найінтенсивніша з усіх зразків втрата маси елемента (див. таблицю)

заздалегідь збільшення кількості алмазів з виступом до 99 мкм незначна після відпрацювання елемента – 16. Порівнявши ці величини (48 та 16) дійшли висновку про інтенсивне руйнування гірської породи, позаяк саме алмази з великим виступом здатні відколювати великогабаритні частинки продуктів руйнування. Проте збільшується також

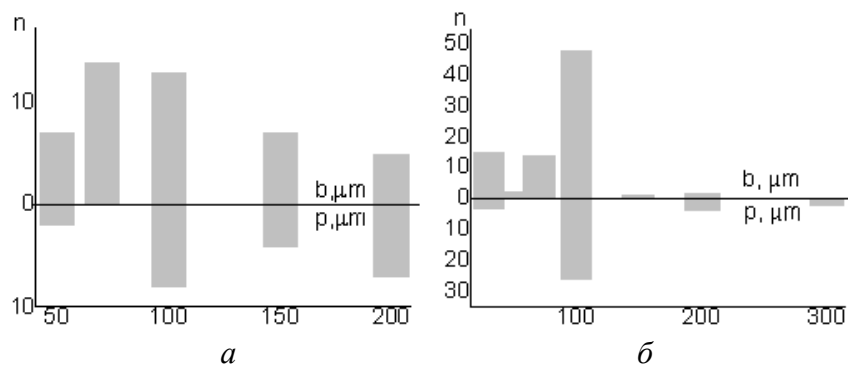


Рис. 7. Частотограма розподілу виступу алмазних зерен з матриці (b) породоруйнівного елемента, оснащеного алмазами АС 160Т з іоноплазмовим покриттям (Ti) та розподілу заглиблень (лунок) на робочій поверхні (p); n – кількість алмазів або заглиблень: а – базове вимірювання, б – після відпрацювання

Робочу поверхню породоруйнівного елемента № 4 показано на рис. 8.

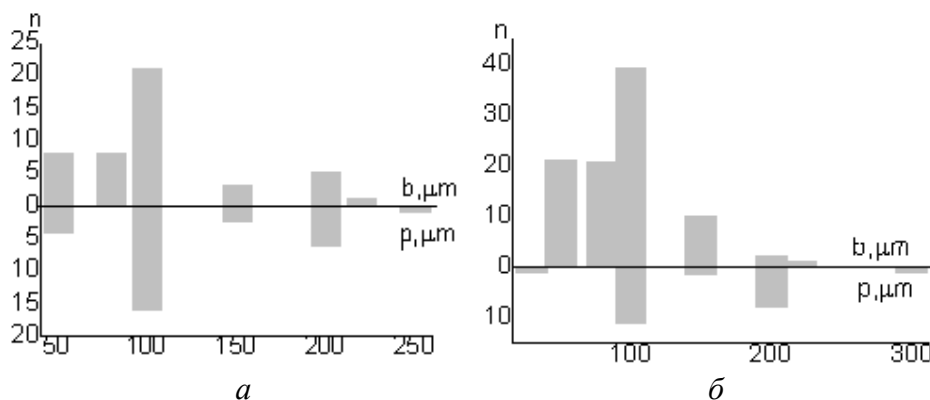


Рис. 8. Частотограма розподілу виступів алмазних зерен з матриці (b) породоруйнівного елемента, оснащеного алмазами АС 300Т з механічним покриттям хромом та розподілу заглиблень (лунок) на робочій поверхні (p); n – кількість алмазів або заглиблень: а – базове вимірювання, б – після відпрацювання

Аналогічно до перших трьох випадків збільшується кількість алмазів удвічі з виступом 100 мкм перед роботою та після відпрацювання породоруйнівного елемента. Найбільше алмазних зерен, як і в попередніх випадках з виступом 100 мкм. Проте з огляду на однакову кількість алмазних зерен з виступом 100 та до 99 мкм робимо припущення про зниження ефективності руйнування гірської породи порівняно з відповідним показником попереднього породоруйнівного елемента. Кількість лунок глибиною 100 мкм значно зменшилась – до 11. Загальна кількість лунок після відпрацювання елемента (22) найменша з розглянутих породоруйнівних елементів, що може свідчити про вищу адгезійну здатність матричного матеріалу. Інтенсивність зношування елемента № 4 (див. таблицю) серед розглянутих елементів найнижча за найвищої теплопровідності зразка серед елементів № 1–4.

У породоруйнівному елементі зі «Славутича», аналогічно розглянутим зразкам у результаті відпрацювання елемента збільшується кількість алмазних зерен в 1,68 раза, а з виступом 100 мкм з 25 до 42 (рис. 9). Різниця між кількістю алмазів з виступом 100 мкм та

вище і кількістю алмазів з виступом до 99 мкм після відпрацювання елемента – 62 свідчить про інтенсивне руйнування гірської породи. Незначна кількість лунок – 7 у результаті відпрацювання елемента свідчить про високу адгезійну здатність матеріалу матриці.

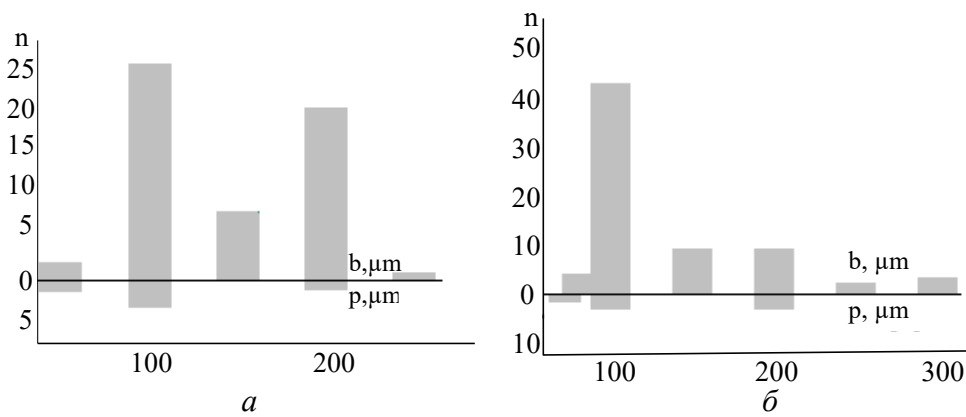


Рис. 9. Частотограма розподілу виступу алмазних зерен з матриці (b) породоруйнівного елемента зі «Славутича», оснащеного природними алмазами зернистості 600/530 мкм та розподілу заглиблень (лунок) на робочій поверхні (p); n – кількість алмазів або заглиблень: а – базове вимірювання, б – після відпрацювання

У результаті аналізу отриманих експериментальних даних побудували залежності (рис. 10) кількості лунок, що припадає на одне алмазне зерно на робочій поверхні експериментальних породоруйнівних елементів, та співвідношення кількості алмазних зерен, виступ яких з матриці дорівнює та перевищує 100 мкм, і кількості алмазних зерен, виступ яких з матриці не перевищує 99 мкм.

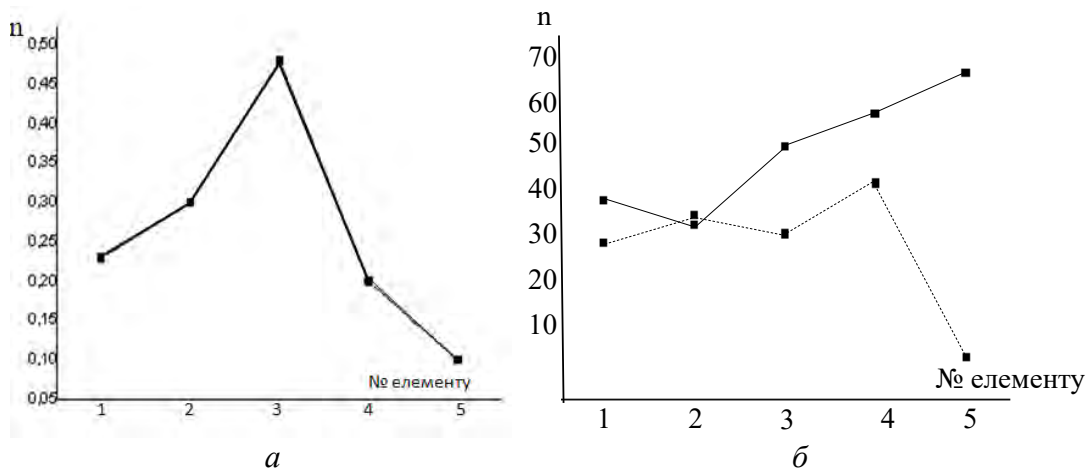


Рис.10. Залежності: а – кількість лунок, що припадає на одне алмазне зерно у породоруйнівних елементах № 1–5 (n – кількість лунок); б – ———— – кількість алмазних зерен, виступ яких з матриці дорівнює та перевищує 100 мкм у породоруйнівних елементах № 1–5; ..... – кількість алмазних зерен, виступ яких з матриці не перевищує 99 мкм у породоруйнівних елементах № 1–5 (n – кількість алмазних зерен)



Найбільша кількість лунок, що припадає на одне алмазне зерно, належить породоруйнівному елементу № 3 з іоноплазмовим покриттям алмазних зерен титаном, найменша – елементу № 5 зі «Славутича». Породоруйнівний елемент № 4 з механічним покриттям хромом за здатністю утримувати алмазні зерна перебуває на першому місці серед зразків, оснащених синтетичними алмазами.

Характерна особливість робочої поверхні всіх експериментальних породоруйнівних елементів полягає в переважанні кількості алмазних зерен з виступом 100 мкм над усіма зернами з іншим виступом, незалежно від хімічного складу їх матриці або способу нанесення покриттів на алмазні зерна.

Високі значення різниці кількості алмазних зерен з виступом 100 мкм і вище та кількості алмазів з виступом до 99 мкм на робочій поверхні породоруйнівних елементів № 3–5 уможливають прогнозування високоефективного руйнування гірської породи, адже від величини виступу алмазного зерна з матриці залежать геометричні параметри одиничної частинки шламу.

#### ***Продукти руйнування пісковику експериментальними елементами***

Після відбору кількох проб продуктів руйнування пісковику Торезького родовища в результаті відпрацювання кожного експериментального породоруйнівного елемента за застосування приладу Dia Inspect OSM обчислювали еквівалентний діаметр частинок шламу. За результатами побудованих співвідношень кількості частинок шламу з однаковим еквівалентним діаметром дійшли висновку, що шлам з най великогабаритними розмірами утворюється в результаті руйнування пісковику породоруйнівними елементами зі «Славутича» та елементом, алмази якого оброблені іоноплазмовим покриттям титаном (найбільша кількість частинок шламу у пробах має еквівалентний діаметр відповідно 500 та 460 мкм (рис. 11). Продукти руйнування елементом де алмази вкриті гідридом титану, найменших розмірів. Найбільше частинок у пробі мають еквівалентний діаметр 8 мкм. Породоруйнівний елемент № 4, алмази якого вкриті іоноплазмовим покриттям хромом, руйнував пісковик з утворенням найбільшої кількості частинок шламу з еквівалентним діаметром 250 мкм.

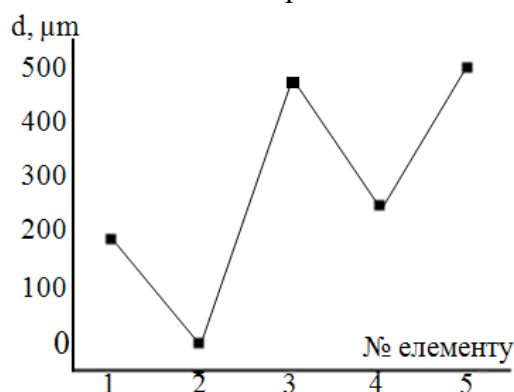


Рис. 11. Еквівалентний діаметр найбільшої кількості частинок шламу у пробі, отриманого в результаті руйнування пісковику Торезького родовища породоруйнівними елементами № 1–5

Проби продуктів руйнування, отримані в результаті руйнування пісковику Торезького родовища експериментальними елементами, при застосуванні приладу Dia Inspect OSM показано на рис. 12.

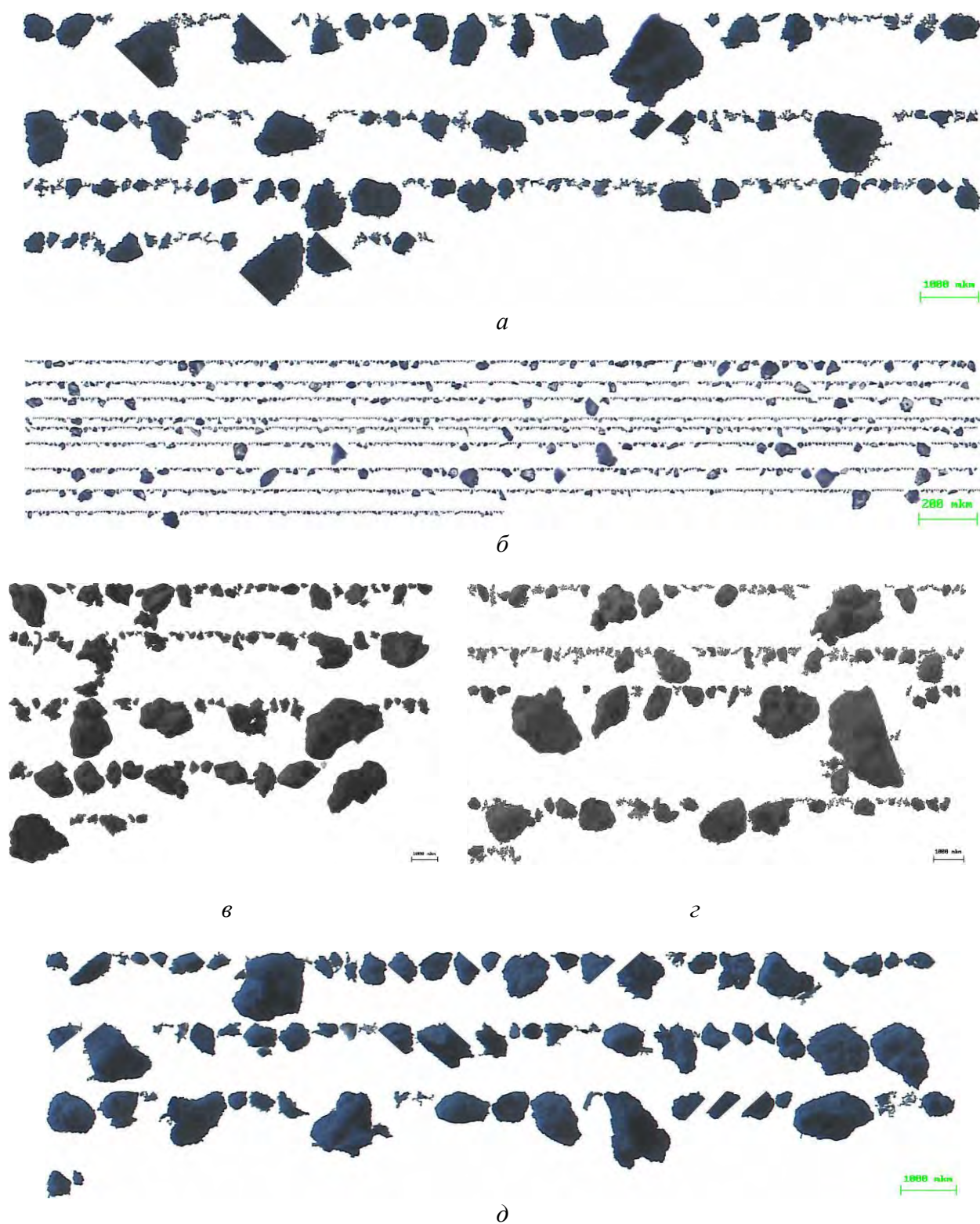


Рис. 12. Пробы продуктів руйнування експериментальними елементами: а – № 1, мітка – 1000 мкм; б – № 2, мітка, мітка – 200 мкм; в – № 3, мітка – 1000 мкм; г – № 4, мітка – 1000 мкм; д – № 5, мітка – 1000 мкм

### Висновки

1. За розробленою методикою дослідження інтенсивності зношування породоруйнівних елементів з КАМ з різним хімічним складом матричного матеріалу на спеціальному стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДПП-200, можливо з високою достовірністю оцінювати ресурс інструменту та ефективність його використання в різних геолого-технічних умовах.

2. Використання динамометричного пристрою, який фіксував осьове навантаження на експериментальні породоруйнівні елементи забезпечило виконання умови чистоти експерименту, адже саме за однакового контактного напруження (2,76 МПа) на елементи (№ 1–4) інтенсивність зношування породоруйнівних елементів, їх робоча поверхня та геометричні параметри частинок продуктів руйнування пісковика Торезького родовища значно відрізнялись.

3. Значення різниці кількості алмазних зерен на робочій поверхні породоруйнівних елементів, виступ яких 100 мкм та вище та кількістю алмазів, виступ яких не перевищує 99 мкм, можна вважати важливою характеристикою робочої поверхні породоруйнівних елементів, за якою можливо оцінювати ефективність руйнування гірської породи, позаяк це повністю відповідає результатам аналізу геометричних параметрів частинок продуктів руйнування за допомогою приладу Dia Inspect OSM, адже найбільшим значенням різниці зазначених величин відповідають найбільші розміри частинок продуктів руйнування елементами № 3–5.

4. Втрата маси породоруйнівних елементів насамперед пов'язана з кількістю лунок, утворених у результаті випадіння алмазних зерен, а тому напряму пов'язана з функцією алмазоутримання матриці. Три породоруйнівні елементи (№ 1–3), кількість лунок на робочій поверхні яких є найбільшою серед дослідних зразків, зношувались найінтенсивніше.

5. Усі зразки з КАМ на зв'язці NiSn (6%), алмази яких мали покриття, демонстрували теплопровідність на 11–18% вищу, ніж у аналогічного зразка без покриття. Це свідчить про ймовірне утворення карбідної фази на межі "алмазне зерно–зв'язка" у процесі спікання, що покращує контакт між алмазом та зв'язкою.

6. У зразка з КАМ з алмазами, механічним способом вкритими хромом, коефіцієнт теплопровідності становить 83,64 Вт/м·К, тобто найбільший серед усіх досліджених КАМ, інтенсивність зношування за масою становила 56,3 мг/км, що найбільше з досліджених КАМ на зв'язці NiSn (6%). Отже, механічне нанесення хрому на алмазні зерна в породоруйнівному елементі № 4 найефективніше з позицій як зносостійкості, так і ефективності використання.

7. Зважаючи на комплексне використання наведених методів, можливо підвищувати ресурс породоруйнівного інструмента з КАМ та ефективність його роботи.

*Исследована интенсивность изнашивания рабочей поверхности породоразрушающих элементов из композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) при разрушении песчаника Торезского месторождения. В качестве образцов использованы КАМ на основе матрицы NiSn (6%) с алмазами марки АС 300Т зернистостью 400/315 мкм без покрытия и с покрытием гидридом титана и хрома, нанесенными механическим способом; на основе матрицы NiSn (6%) с алмазами марки АС160Т зернистостью 400/315 мкм с покрытием корбидом титана TiC, нанесенным ионно-плазменным способом, а также материал «Славутич» на связке WC+Co (6%) с природными алмазами зернистостью 600/530 мкм. В результате экспериментальных исследований интенсивности изнашивания образцов из КАМ и микроскопического исследования их рабочей поверхности пришли к выводу о наиболее низкой интенсивности изнашивания образца из «Славутича» и элемента с механически покрытыми Cr алмазами.*

**Ключевые слова:** интенсивность изнашивания, породоразрушающий инструмент, покрытие, алмаз, шлам.

**THE INTENSITY OF WEARING OF ROCK-BREAKING ELEMENTS FROM DIAMOND-  
CONTAINING MATERIALS IN DEPENDENS OF CHEMICAL COMPOSITION  
AND A METHOD OF DIAMOND COATING**

*In the paper, the intensity of wearing of the working surface of the rock-breaking elements from composite diamond- containing materials (CDM) with different chemical composition of the matrix material during the destruction of the sandstone of the Torez deposit was studied on a special stand, created on the basis of a lathe screw machine, model DIP-200. The following CDM were used as the samples: based on a NiSn (6%) matrix with DS 300T diamonds with a grain size of 400/315 mm, uncoated and coated titanium hydride and chromium, which were applied mechanically; based on the NiSn (6%) matrix with diamonds of the grade DS 160T with a grain size of 400/315 mm with Titanium carbide coating by ion-plasma method, as well as the material "Slavutich" on the WC + Co (6%) with natural diamond with a grain size of 600/530 mm. As a result of the carried out experimental studies of the intensity of wear of samples from CDM, microscopic study of their working surface of the rock-breaking elements (protrusion above the matrix surface of the diamond grains, the number of holes from spent diamonds) and microscopic studies of geometric parameters of sludge particles, it was concluded that the wear rate of the sample from Slavutich and the element with mechanically coated Cr diamonds is the lowest. In addition, all the elements from the CDM on a NiSn (6%) bond, whose diamonds have been coated, show thermal conductivities 11–18% higher, than a similar uncoated samples. This indicates the likely formation of a carbide phase at the diamond / bond interface during sintering, which improves contact between the diamond and the binder.*

**Key words:** wear rate, rock cutting tool, coating, diamond, sludge.

**Література**

1. Konstanty J. Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone // *Industrial Diamond Rev.* – 2000. – P. 55–65.
2. Исонкин А. М. Характер и степень воздействия частиц шлама разрушенной горной породы на матрицу алмазной буровой коронки // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 182–187.
3. Исонкин А. М. Формирование рельефа рабочей поверхности алмазной буровой коронки // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – С. 63–68.
4. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / под ред. В. Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1978. – 232 с.
5. Исонкин А. М., Ильницкая Г. Д., Цысар М. А. Влияние механоактивирования шихты WC+Co+Cu наноалмазами на структуру и свойства материала матрицы буровых коронок алмазной буровой коронки // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 103–109.
6. Найдич Ю. В., Уманский В. П., Лавриненко И. А. Прочность алмазо-металлического контакта и пайка алмазов. – К.: Наук. думка, 1988. – 136 с.,
7. Kidalov S. V., Shakhov F. M. Thermal Conductivity of Diamond Composites // *Mat.* – 2009. – 2. – P. 2467–2495.

8. Шмегера Р. С. Интенсивное электроспекания металлических матриц алмазосодержащих композитов в присутствии жидкой фазы // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2012. – № 15. – С. 507–510.
9. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов / А. Л. Майстренко, С. А. Иванов, В. П. Переяслов, М. Н. Волошин // Сверхтвердые матер. – 2000. – № 5. – С. 39–45.
10. Вплив контактної провідності міжфазної границі «алмаз-металева зв'язка» на теплопровідність алмазовмісних композитів / Р. С. Шмегера, Я. О. Подоба, В. І. Куш, А. С. Беляєв // Сверхтвердые матер. – 2015. – № 4. – С. 39–52.
11. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009.– Вып. 12.– С. 143–154.
12. Виноградова О. П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів: дис. канд. техн. наук: спец. 05.15.09. – К., 2015. – 196 с.
13. Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах.– К.: Наук. Думка, – 2014. – 342 с.

*Надійшла 11.07.17*

УДК 621.702.5

**Г. М. Григоренко**, академик НАН Украины<sup>1</sup>; **М. А. Полещук**, **В. И. Зеленин**, кандидаты технических наук<sup>1</sup>; **В. М. Теплюк**, **Е. В. Зеленин**, **И. В. Доценко**<sup>1</sup>;  
**М. П. Беженар**, д-р техн. наук<sup>2</sup>; **В. А. Лукаш**, **Н. М. Прокопів**, кандидаты технических наук<sup>2</sup>; **С. Д. Заболотный**<sup>2</sup>, **Ю. А. Никитюк**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев*

<sup>2</sup>*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

<sup>3</sup>*ООО «Научно-производственная фирма «Внедрение инженерных сварочных процессов», г. Киев, Украина*

## **НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ МЕДНЫХ ПЛИТ ОХЛАЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ**

*Рассмотрено применение метода сварки трением с перемешиванием для восстановления медных плит охлаждения кристаллизаторов непрерывного литья заготовок.*

**Ключевые слова:** *наплавка, трение с перемешиванием, плита, медь, кристаллизатор, инструмент.*