

**А.Л. Майстренко¹, Г.А.Петасюк¹, Г.Д. Ільницька¹, Н.О Олійник¹, О.І.Закутевський²,
А.П.Закора¹, О.П.Виноградова¹, О.С.Васильчук¹, Г.А.Базалій¹**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України¹

e-mail: oleyunik_nonna@ukr.net, ottdel9m@ism.kiev.ua

Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України²

ВПЛИВ СТУПЕНЯ АРМУВАННЯ ПОРОШКОМ АЛМАЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ

Виконано дослідження впливу структури композиційного алмазовмісного матеріалу (КАМ) на металевій зв'язці, отриманого методом резистивного електроспінання під тиском до 400 МПа на інтенсивність його зношування при точінні пісковика Торезького родовища. На експериментальному стенді виконано випробування елементів КАМ на зносостійкість алмазовмісних функціональних елементів з різним ступенем армування порошком алмазу. Представлено результати гранулометричного аналізу, хімічного гравіметричного методу, магнітно-фракційного аналізу, системно-аналогового методу, аналізу елементного складу продуктів руйнування гірської породи; інтенсивності зношування алмазовмісного композиту. Результати дослідження шлама і інтенсивності зношування елементів дають більш повне уявлення про механізм зношування КАМ, дозволяють кількісно оцінювати їх зносостійкість.

Ключові слова: функціональні елементи з КАМ, інтенсивність зношування, шлам, питома магнітна сприйнятливості

**А.Л. Майстренко, Г.А.Петасюк, Г.Д. Ильницкая, Н.А. Олейник, О.И.Закутевский,
А.П.Закора, Е.П.Виноградова, А.С.Васильчук, Г.А.Базалий**

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ АРМИРОВАНИЯ ПОРОШКОМ АЛМАЗА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КАМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Выполнено исследование влияния структуры композиционного алмазосодержащего материала (КАМ) на металлической связке, полученного методом резистивного электроспекания под давлением до 400 МПа, на интенсивность его изнашивания при точении песчаника Торезского месторождения. На экспериментальном стенде выполнены испытания элементов КАМ на износостойкость алмазосодержащих функциональных элементов с различной степенью армирования порошком алмаза. Представлены результаты гранулометрического анализа, химического гравиметрического метода, магнитно-фракционного анализа, системно-аналогового метода, анализа элементного состава продуктов разрушения горной породы; интенсивности изнашивания алмазосодержащего композита. Результаты исследования шлама и интенсивности изнашивания элементов дают более полное представление о механизме изнашивания КАМ, позволяют количественно оценивать их износостойкость.

Ключевые слова: функциональные элементы из КАМ, интенсивность изнашивания, шлам, удельная магнитная восприимчивость

**A.L. Maystrenko, G.A. Petasyuk, G.D. Ilnitska, N.O. Oliinyk, O.I. Zakutevskyi, O.P.
Vynogradova, A.P. Zakora, O.S. Vasylychuk, G.A. Bazaliy**

INFLUENCE OF THE DEGREE OF REINFORCEMENT OF DIAMOND POWDER OF FUNCTIONAL ELEMENTS WITH KAM FOR CHARACTERISTICS OF ROLL DESTRUCTION PRODUCTS

The results of studying the effect of the structure of a composite diamond-containing material (KAM) on a metal bond, obtained by the method of resistive electric sintering under a pressure of up to 400 MPa, on the intensity of its wear when turning sandstone from the Torez deposit are presented. Tests of KAM elements for wear resistance of diamond-containing functional elements with different degrees of reinforcement with diamond powder were carried out on an experimental stand. The sludge was investigated by particle size analysis, chemical gravimetric method, magnetic fractional analysis, system-analogue method. The elemental composition of the products of destruction of rocks has been determined. It has been established that a decrease in grain size and concentration leads to a decrease in the average size of sludge particles; sludge element composition - Si, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Zn, Sn, Zr. The total content of Ni and Sn varies in the range from 0.048 to 0.741 vol.%. The specific magnetic susceptibility of the cuttings varies in the range (1.81–72.57) · 10⁻⁸ m³ / kg. The influence of changes in the concentration and grain size of the reinforcing component correlates with changes in the magnetofractional and elemental composition and the intensity of bond wear. The results of the study of sludge and the intensity of wear of elements gives a more complete picture of the mechanism of wear of the KAM, allows one to quantitatively evaluate their wear resistance.

Keywords: functional elements made of KAM, wear rate, sludge, specific magnetic susceptibility

© А.Л. Майстренко, Г.А.Петасюк, Г.Д. Ільницька, Н.О Олійник, О.І.Закутевський,
А.П.Закора, О.П.Виноградова, О.С.Васильчук, Г.А.Базалій

Ефективність роботи та інтенсивність зношування породоруйнівного алмазовмісного інструменту з вставками з КАМ забезпечується використанням високоміцних термостійких порошоків алмазу та відповідних зв'язок і залежить від ступеню армування робочої поверхні (САРП) вставки порошком алмазу [1]. САРП вставки – це відношення площі поверхні вскритих кристалів алмазу до площі робочої поверхні вставки, яка була у трибологічному контакті з оброблюваною поверхнею гірської породи. Визначена таким чином САРП враховує вплив концентрації, розмірних, фізико-механічних, фізико-хімічних характеристик абразивної, армівної складової (АС) і матричного матеріалу вставки та створює умови для оцінки зносостійкості КАМ.

Мета роботи – встановити залежність впливу САРП в елементах з КАМ на металічній зв'язці на характеристики продуктів руйнування гірської породи.

Методика та методи дослідження.

Досліджували шлам, який було отримано в результаті точіння циліндричного блоку пісковіку Торезького родовища експериментальними вставками на основі металічної зв'язки Ni(94%) – Sn(6%) армованими порошком алмазу марки АС 300, зернистістю від 630/500 до 200/160 та концентрацією від 25 до 100 умов.%. Вставки виготовлено методом резистивного електроспінання прямим пропусканням струму 1,2–1,4 кА промислової частоти під тиском 300–400 МПа при температурі до 700–850°C. Час спікання 10–20 с[2,3]. Після точіння керну досліджували топографію робочих поверхонь вставок, гранулометрію частинок зібраного шламу та розраховували САРП вставки. Виміри і обробку даних проводили за допомогою цифрового мікроскопу Levenhuk DTX 50 з програмним забезпеченням Adobe AutoCAD.

Шлам досліджували хімічним гравіметричним методом, магнітно-фракційним аналізом [4], системно-аналоговим методом з застосуванням приладу DiaInspect.OSM (фірма VOLLSTÄDT DIAMANT GmbH) [5]. Аналіз елементного складу, в тому числі сумарний вміст Ni та Sn в шламі, визначали з використанням приладу "X-Ray Fluorescence Spectrometr Elvax", Сер-01 (Україна). Інтенсивність зношування вставок з КАМ визначали трьома способами: 1) як відношення втрати маси функціонального алмазного елемента до довжини шляху точіння гірської породи [6]; 2) як відношення втрати маси вставки до маси утвореного шламу; 3) як відношення маси металічних частинок зв'язки в шламі до його загальної маси.

Результати та їх обговорення

Результати досліджень і випробувань наведено в табл. 1, рис.1, 2.

Як впливає з результатів, представлених в табл.1, зниження зернистості та концентрації АС призводить до зниження середнього розміру частинок шламу, що підтверджується результатами дослідження їх розподілу за розмірами шламу [7–9].

Як правило, утворені металічні частинки мають форму трикутника і трапеції, а величина еквівалентного діаметра описаного кола проекцій частинок в середньому дорівнює 35 мкм.

Дослідження хімічного складу шламу виконане з використанням суміші кислот HCl та HNO₃; розплав NaOH, кислоти HF, суміші кислот HCl, HNO₃ та H₂SO₄ показало, що вміст розчинних складових в шламі наближається до їх вмісту в пісковіку 19,85 мас.% при характеристиках АС: зернистості 630/500, концентрації 100 умов.%, та збільшується до 21,7 мас.% при зменшенні зернистості і концентрації АС.

Визначення елементного складу шламу показало, що у його складі містяться наступні хімічні елементи: Si, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Zn, Zr. Сумарний вміст Ni та Sn змінюється від 0,048 до 0,741 об.% та залежить від характеристик АС. Використання порошку постійної зернистості при зменшенні концентрації від 100 до 25 умов.% призводить до збільшення вмісту Ni та Sn в шламі від 2,5 до 6,2 разів. Використання постійної концентрації при зменшенні зернистості АС від 630/500 до 400/315 призводить до зменшення вмісту Ni та Sn в шламі від 3 до 8,6 разів.

Дослідження магнітофракційного складу шламу показало, що величина питомої магнітної сприйнятливості шламу варіюється в інтервалі $(1,81–72,57) \cdot 10^{-8}$ м³/кг та залежить від характеристик АС вставок. При постійній концентрації порошку 50 умов.% та зниженні зернистості від 630/500 до 400/315 питома магнітна сприйнятливості шламу зростає в 2 рази, а при концентрації порошку 100 умов.% і зниженні зернистості від 630/500 до 200/160 питома магнітна сприйнятливості шламу зростає в 6 разів. Застосування однакової зернистості, але зниження її концентрації призводить до зростання величини питомої магнітної сприйнятливості шламу, що корелює з підвищеним зношуванням зв'язки.

Таблиця 1.

Характеристики армівної складової, топографії робочої поверхні вставок з КАМ, характеристики шламу

Характеристики							
АС вставок з КАМ		Робочої поверхні вставок		Шламу			
Порошок алмазу марки АС 300							
Зернистість	Концентрація, умов. %	Площа поверхні розкритих зерен алмазу, мм ²	Площа різальної поверхні вставки, мм ²	Маса шламу, г	Питома магнітна сприйнятливості шламу, χ , $\times 10^{-8}$, м ³ /кг	Середній діаметр частинок шламу, мкм	Вміст Ni+Sn в шламі, мас. %
630/500	100	7,639	60,18	88,53	2,75	57,181	0,120
	50	4,246	40,69	61,48	9,02	43,669	0,413
	25	2,442	54,66	62,67	27,13	53,976	0,741
500/400	100	7,215	29,78	47,94	1,81	17,348	0,118
	50	4,799	63,60	35,40	6,70	16,047	0,219
	25	2,497	55,96	52,85	16,78	56,624	0,300
400/315	50	3,959	46,42	56,38	19,40	40,853	0,048
	25	2,502	45,90	36,24	72,57	49,064	0,243
200/160	100	10,244	53,90	51,33	16,30	57,292	0,140

Цю закономірність можна пояснити тим, що в процесі стирання пари "вставка-піщаник" одночасно зі зменшенням середнього діаметру частинок шламу змінюється вміст феромагнітних елементів інтегрального елементного складу. У шламу потрапляє два феромагнітних метали: Fe та Ni.

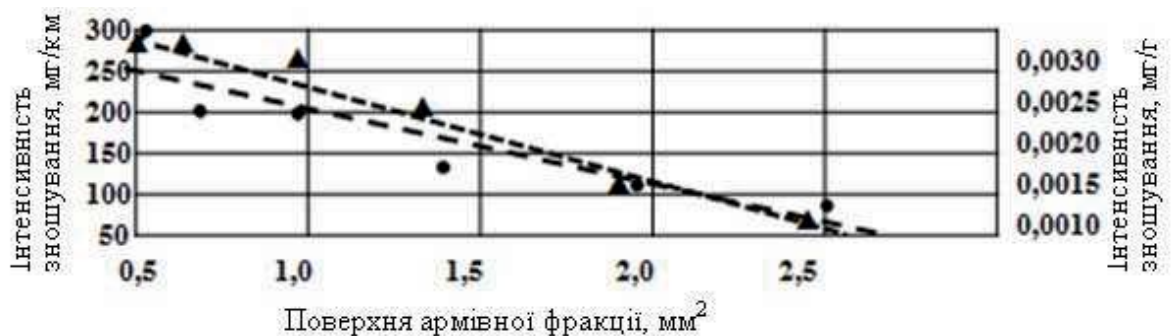


Рис.1. Залежності інтенсивності зношування вставок від величини площі поверхні розкритої армівної складової на робочій поверхні вставки: (●) – інтенсивність зношування визначена як співвідношення втрати маси вставки щодо довжини пройденого ним шляху; (▲) – інтенсивність зношування визначена як співвідношення втрати маси вставки до маси утвореного шламу

Вміст Fe в шламі при використанні зернистості 630/500 складає 9,358–9,782 мас.%; а при використанні зернистості 400/315 вміст Fe зростає до 12,508 мас.%. Розділення шламу в магнітному полі дозволяє отримати фракції матеріалу, які істотно відрізняються між собою (більш ніж в 150 разів) за величиною питомої магнітної сприйнятливості до 365 разів у порівнянні з вихідним піщаником. В результаті магнітофракціонного аналізу шламу було встановлено, що магнітна фракція шламу становить від 0,12 до 1%

Дослідження топографії робочих поверхонь вставок після трибологічних випробувань, а також гранулометрії частинок зібраного шламу показали, що обробка піщанику вставками з КАМ і з великою концентрацією абразивної складової призводить до меншої інтенсивності зношування

елемента. Причому, шлам характеризується найменшою величиною питомої магнітної сприйнятливості. Одиначні кристали алмазу, виявлені в складі шламу, практично не впливають на її величину.

Результати визначення інтенсивності зношування вставок з КАМ в залежності від площі поверхні розкритої армівної складової робочої поверхні (мм^2), яка об'єднує зернистість і концентрацію порошку алмазу, подано на рис.1

Як видно з рис.1, в разі, коли інтенсивність зношування вставок визначена як співвідношення втрати маси елемента до довжини пройденого ним шляху (рейсу) (км) в залежності площі поверхні розкритої армівної складової робочої поверхні, можна зробити висновок про те, що зі збільшенням площі поверхні армівної складової, інтенсивність зношування падає. З лінійної апроксимації залежності слідує, що інтенсивність зношування може бути нульовою при площі поверхні армівної складової $2,705 \text{ мм}^2$

Якщо інтенсивність зношування визначати як співвідношення втрати маси вставки до маси утвореного шламу (г), поверхня армівної фракції (мм^2) характеризує ступінь армування об'єму вставки з КАМ.

Виділені в магнітному полі металеві частинки зношування зв'язки КАМ, дозволили визначити зносостійкість як співвідношення вмісту «Ni+Sn» до маси шламу (рис.2). При цьому вплив САРП вставок на інтенсивність зношування КАМ проявляється в зміні вмісту металевих частинок зношування зв'язки КАМ в шламі (об.%) , яке, скорочується в міру збільшення САРП вставок (рис.2).

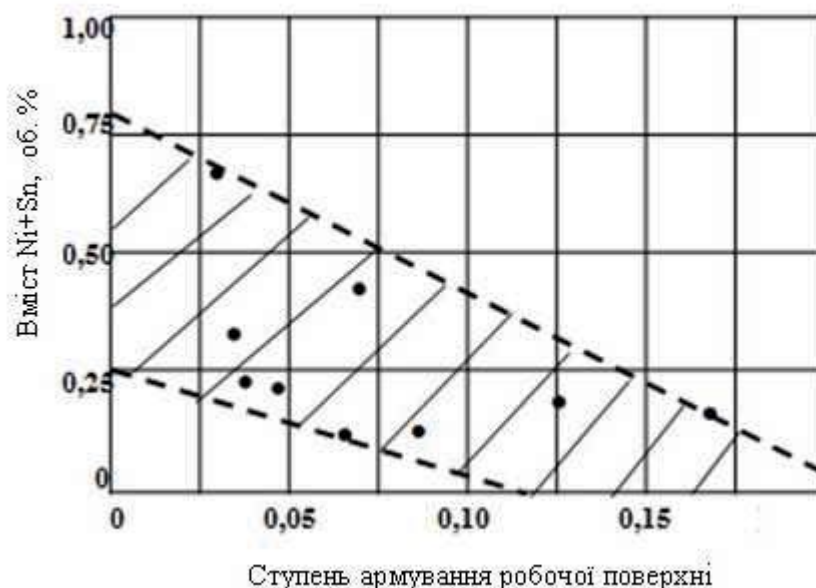


Рис.2. Вплив САРП вставок на вміст металевих частинок зносу зв'язки КАМ в шламі

Як випливає з рис.2 вміст металевих частинок зв'язки в шламі майже відсутній при САРП більше за 0,21, , що відповідає зернистості алмазів 500/400 мкм і концентрації $\geq 175\%$ умов. % (43,75 об.%). У цьому випадку на робочій поверхні формується суцільний каркас алмазів без наявності каналів необхідних для транспортування утвореного шламу.

Висновки

Проведені дослідження дозволили отримати залежності впливу ступеню армування порошком алмазу функціональних елементів з КАМ інструменту на зміну інтенсивності їх зношування, при використанні критеріїв інтенсивності зношування як відношення втрати маси функціонального алмазного елемента до довжини шляху точіння гірської породи або як відношення втрати маси елемента до маси утвореного шламу в процесі точіння гірської породи, які дуже схожі.

Встановлено, що вплив зміни концентрації і зернистості армуючої складової корелює зі зміною магнітофракційного і елементного складу і інтенсивності зносу зв'язки; інтенсивність зношування КАМ можна визначати не тільки за відношенням втрати маси вставки до довжини шляху різання, але і за співвідношенням вмісту часток зв'язки до маси утвореного шламу. Такий

© А.Л. Майстренко, Г.А.Петасюк, Г.Д. Ільницька, Н.О Олійник, О.І.Закутевський,
А.П.Закора, О.П.Виноградова, О.С.Васильчук, Г.А.Базалій

спосіб дає можливість оцінювати зносостійкість не вставки, а композиційного алмазовмісного матеріалу з різним ступенем армування його робочої поверхні.

Список використаних джерел:

1. Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах. – К: Наукова думка, 2014. – 342 с.
2. Shmegeera R. S., Kushch V. I., and Maistrenko A. L. Metal binder based on nickel for an intensive electrosintering of diamond-containing composites // Journal of Superhard Materials. – №6.-2014. – p. 44–53.
3. Інтенсивне електроспінання алмазних бурових коронок та результати їх тендових досліджень /Р.С.Шмегера, В.М.Сердюк, М.В.Супрун// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.18, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2015, с.109–113.
- 4 М 23.9–339:2020 Методика оцінки магнітофракційного складу продуктів руйнування гірської породи та алмазовмісного композиційного матеріалу на металевих з'язках в магнітному полі. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2020. – 9 с.
5. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. – 2014. – V. 264. – P. 78–85.
6. Шульженко А.А. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, Р. К. Богданов и др. // 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. 214–223.
7. Виноградова О.П. Геометричні параметри частинок продуктів зношування матричного матеріалу у породоруйнівних елементах із композиційного алмазовмісного матеріалу, вилучених методом магнітної сепарації зі шламу / О.П. Виноградова, О.У.Стельмах, А.С.Манохін, Г.А. Петасюк, О.С. Васильчук, А.Л. Майстренко // Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», 29–31 травня 2019 року. – КПІ ім. Ігоря Сікорського.
8. Майстренко А.Л. Вплив абразивної складової КАМ на формування характеристики крупності шламу, який отримують при обробці гірської породи / А.Л. Майстренко, Н.О. Олійник, О.П.Виноградова, Г.А. Петасюк, Г.Д. Ільницька, О.С. Васильчук, Г.А.Базалій. – Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали Міжнародного науково-технічного семінару, 15–19 березня 2021 р., м. Львів. – Київ: АТМ України, 2021. – С. 76–78.
9. Виноградова О.П. Аналіз продуктів зношування композиційного алмазовмісного матеріалу /О.П. Виноградова, А.Л. Майстренко, Р.С. Шмегера, А.С. Манохін, Г.Д.Ільницька, Н.О. Олійник, Г.А. Петасюк, В.М. Ткач, О.С. Васильчук, Л.М. Бологова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019. – Вып. 22. – С.93–102.