

Т. О. Прихна, член-кор. НАН України; **Г. Д. Ільницька**, канд. техн. наук;
В. І. Лавріненко, д-р техн. наук; **О. Б. Логінова**, д-р хім. наук;
В. В. Гаращенко, канд. фіз.-мат. наук; **О. М. Соколов**, **І. М. Зайцева**,
В. В. Смоквина, кандидати технічних наук; **Т. О. Косенчук**

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

ПОЛПШЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ ДЛЯ ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Представлені результати досліджень впливу термічної обробки на фізико-механічні характеристики шліфпорошків алмазу зернистостей 500/400 і 250/200 після їх розділення в магнітному полі різної напруженості. Показано, що для обох зернистостей розділення в магнітному полі сприяє отриманню фракцій алмазу, що розрізняються між собою за вмістом в них внутрішньокристалічних включень і зміною їх фізико-механічних характеристик: міцності, однорідності за міцністю і термостійкості. У порошках алмазу з більш високим вмістом внутрішньокристалічних включень після обробки в інертному середовищі для обох зернистостей спостерігається зменшення міцності кристалів як за температури 800 °С, так і при 1100 °С. У порошках алмазу з меншим вмістом внутрішньокристалічних включень після обробки за температури 800 °С за рахунок зниження внутрішніх напружень відбувається незначне, не більше ніж на 5 %, підвищення міцності. Термостабільність обох зернистостей для всіх досліджуваних фракцій алмазу зі збільшенням вмісту в них внутрішньокристалічних включень знижується.

Ключові слова: синтетичні алмази, питома магнітна сприйнятливність, руйнівне навантаження при статичному стисненні, термостабільність, однорідність за міцністю.

Вступ

На сучасному етапі розвитку прогресивних технологій обробки деталей машин широко застосовуються правлячі ролики, оснащені шліфпорошками алмазу. В інструментальному виробництві на ефективність роботи правлячого інструменту великий вплив мають фізико-механічні характеристики шліфпорошків, що застосовуються при оснащенні правлячих роликів [1]. В свою чергу, властивості порошків алмазу обумовлюються технологіями їх синтезу, вилучення, обробки, класифікації за розмірами і формою, сортування за фізико-хімічними властивостями, що забезпечує отримання порошків із заданими властивостями [2]. Від якості застосовуваних алмазів залежить працездатність правлячого інструменту, тому, на загал, для виготовлення правлячих інструментів використовуються порошки природних алмазів підвищеної міцності і зернистості, що обумовлено необхідністю забезпечення правлячому інструменту максимально можливої стійкості.

З кінця 60-х років попереднього століття, вперше у світовій практиці в Інституті надтвердих матеріалів НАН України для виготовлення правлячих роликів почали використовувати порошки синтетичних алмазів. В роботах співробітників Інституту показано, що мінімальна витрата алмазів правлячого ролика залежить від усього комплексу факторів процесу правки, і перш за все, від зернистості і якості кристалів в ролику. Дослідження працездатності правлячих інструментів, оснащених синтетичними алмазами однакової зернистості, показали, що з підвищенням міцності алмазів від АС50 до максимально високої на той момент АС100, різко знижується їх відносна витрата [3].

В результаті вдосконалення процесу синтезу провідними зарубіжними фірмами були отримані високоміцні порошки синтетичного алмазу марок АС200 – АС400, які привели до

розширення областей їх застосування для нових видів правлячого інструменту [2, 4]. Однак міцність алмазів для правлячих роликів необхідна, але не єдина характеристика, що впливає на ефективність роботи інструменту. Як правило, основним показником якості синтетичних алмазів під час використання їх в правлячому інструменті, є вміст домішок і включень в кристалах, які впливають на їх термостійкість.

Метою даної роботи було поліпшення фізико-механічних характеристик шліфпорошків алмазу для правлячого інструменту шляхом вивчення впливу термічної обробки на фізико-механічні характеристики порошків зернистостей 500/400 і 250/200 після їх розділення в магнітному полі різної напруженості.

Методика експерименту і вихідні матеріали

Дослідження проводили на алмазах марки AC200 зернистості 500/400 і 250/200. Алмазні порошки розділяли в магнітному полі різної напруженості (від 0 до 20 кА/м²) з отриманням фракцій, що відрізняються між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості. Після розділення отримані порошки піддавали обробці в інертному середовищі за температур 800 °С і 1100 °С. Перед початком термообробки всі зразки піддавали хімічній обробці для видалення з поверхні зерен алмазу поверхневих домішок.

Для отриманих вихідних фракцій порошків визначали фізико-механічні характеристики [2, 5]. Міцність у вигляді руйнівного навантаження під час статичного стиснення за кімнатної температури до і після термічної обробки при 800 °С і 1100 °С вимірювали за методиками ДСТУ 3292-95 [6], розраховували термостійкість за коефіцієнтом термостабільності [7] і коефіцієнт однорідності за міцністю [8], вимірювали також питому магнітну сприйнятливості [9, 10]. Елементний склад включень на поверхні магнітних і немагнітних фракцій порошків алмазу після обробки при 800 °С визначали за допомогою растрового електронного мікроскопу ZEISS EVO 50XVP. Мікроскоп укомплектовано енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів INCAPenteFETx3 для елементного аналізу з похибкою ~ 0,1 % і системою HKL CHANNEL 5 для дифракції електронів з локальної ділянки більше 10 нм фірми OXFORD [11].

Результати дослідження та їх обговорення

Результати розділення в магнітному полі різної напруженості алмазних шліфпорошків марки AC200 зернистості 500/400 і 250/200 після термічної обробки при 800 °С показано на рис. 1.

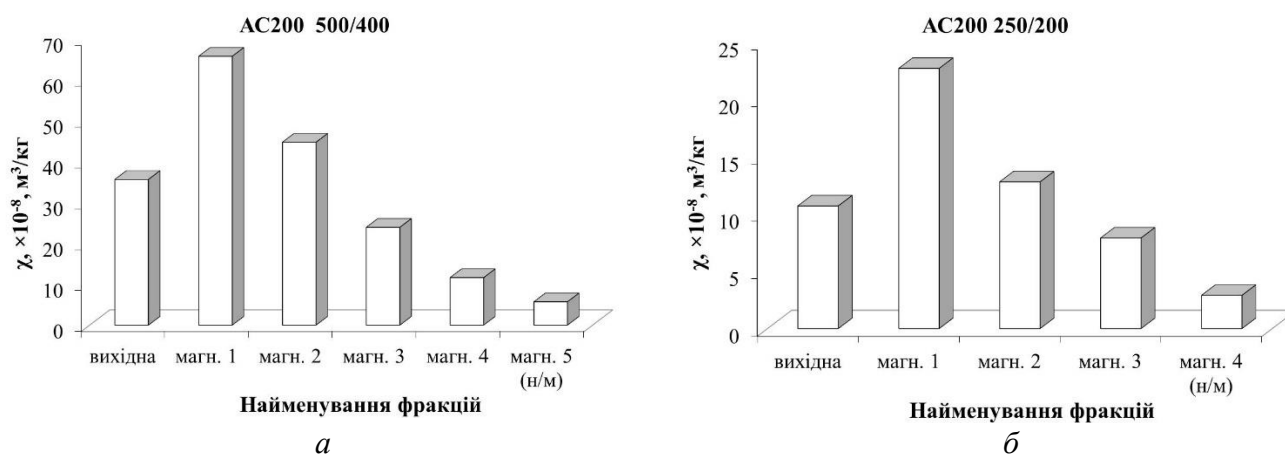


Рис. 1. Результати розділення в магнітному полі алмазів марки AC200 зернистості 500/400 (а) і 250/200 (б)

Як впливає з рис. 1, алмазні шліфпорошки марки АС200 зернистостей 500/400 і 250/200, що розділені в магнітному полі на кілька фракцій, розрізняються між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості. Алмази магнітних фракцій з високою величиною питомої магнітної сприйнятливості (фракції 1–3) і немагнітних (фракції 4, 5) розрізняються для зернистостей 500/400 – в 11,5 разів, а для 250/200 – в 7,8 разів.

Результати визначення фізико-механічних характеристик алмазних шліфпорошків вихідних магнітних і немагнітних фракцій зернистості 500/400 і 250/200 після їх обробки при 800 і 1100 °С представлені в таблиці.

Фізико-механічні характеристики алмазів зернистостей 500/400 і 250/200

Фракції розділення	$\chi \times 10^8$, м ³ /кг	Загальний вміст включень на поверхні кристалів після термообробки, мас. %	Руйнівне навантаження під час статичноо стиснення за різного температурного (°С) впливу, Н			Ктс, %	Кодн.міц., %
			20	800	1100		
500/400							
магнітна 1	65,7	0,839	318,9	300,8	239,2	65	72
магнітна 2	44,7	–	356,7	341,5	281,8	79	79
магнітна 3	23,9	–	379,9	380,9	341,9	90	88
магнітна 4	11,6	–	427,8	431,5	397,5	93	88
немагнітна 5	5,7	0,334	467,2	475,9	444,5	95	89
вихідна	35,6	0,445	408,9	–	341,3	83	69
250/200							
магнітна 1	22,7	0,568	174,3	171,3	148,8	76	79
магнітна 2	12,8	–	195,8	194,4	187,5	94	84
магнітна 3	7,9	–	228,9	230,8	217,5	95	89
немагнітна 4	2,9	0,235	250,7	265,7	240,7	96	90
вихідна	10,7	0,356	225,7	–	198,6	88	74

Дані таблиці свідчать, що після розділення в магнітному полі алмазів обох зернистостей отримані фракції порошоків розрізняються між собою не тільки за величиною питомої магнітної сприйнятливості, але і за кількістю в них внутрішньокристалічних включень.

Для обох зернистостей на поверхні кристалів алмазу магнітних фракцій (фракції 1) ідентифікується в 2 рази більше включень у вигляді сплавів-розчинників відповідних ростових систем, ніж на поверхні немагнітних фракцій (фракції 4, 5). Зі збільшенням вмісту в кристалах внутрішньокристалічних металевих включень посилюються магнітні властивості кристалів алмазу. При цьому, в кристалах більшого розміру (зернистість 500/400) міститься більше внутрішньокристалічних металевих включень, що визначає більш високі значення питомої магнітної сприйнятливості.

Збільшення вмісту внутрішньокристалічних металевих включень в кристалах алмазу всіх досліджуваних фракцій призводить до зниження характеристик міцності після проведення обробки як при 800 °С, так і 1100 °С. Однак, для кристалів алмазу з більш низьким вмістом внутрішньокристалічних включень (фракції 3 і нижче) після обробки при 800 °С відбувається незначне, приблизно не більше 5 %, підвищення міцності. Підвищення міцності

для таких фракцій можна пояснити зниженням внутрішніх напружень в кристалах алмазу під час термообробки.

Також, для обох зернистостей із збільшенням вмісту в порошках алмазу внутрішньокристалічних включень спостерігається зниження термостабільності кристалів для

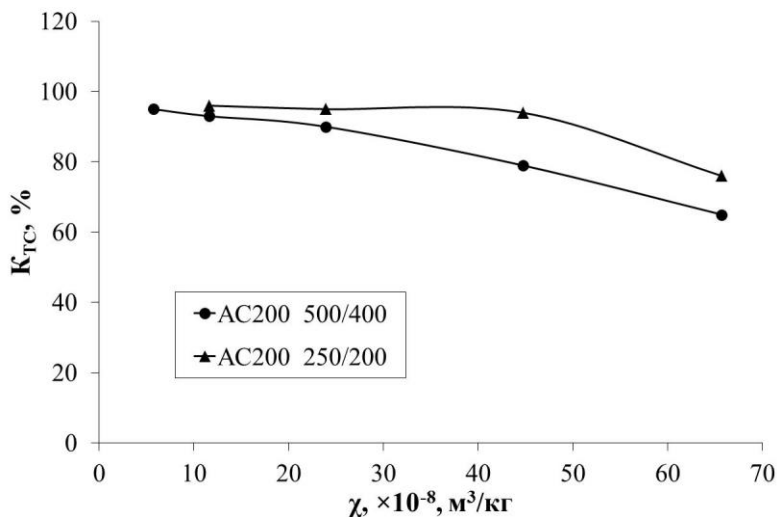


Рис. 2. Зміна термостабільності алмазних шліфпорошків зернистості 500/400 і 250/200 в залежності від їх питомої магнітної сприйнятливості

всіх досліджуваних фракцій, яка знижується тим інтенсивніше, чим більше в них включень, рис. 2.

Таким чином, проведення розділення порошків алмазу в магнітному полі і виділення шліфпорошків з високим вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень в кристалах алмазу зернистостей 500/400 і 250/200, які мають знижений коефіцієнт термостабільності, сприяє, в цілому, підвищенню термостійкості шліфпорошків алмазу обох зернистостей. Найбільш термостійкими шліфпорошками зернистостей 500/400 і 250/200 є високоміцні

порошки з меншим вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень.

Розділення шліфпорошків алмазу зернистості 500/400 і 250/200 в магнітному полі на фракції з різною питомою магнітною сприйнятливістю, а відповідно, з різним вмістом внутрішньокристалічних металевих включень, сприяє розділенню порошків алмазу за міцністю. За такого розділення виділяються порошки, що розрізняються між собою за міцністю при кімнатній температурі від 10 до 30 % і з більш високою однорідністю за міцністю та більш високою термостабільністю в порівнянні з вихідною (не менше ніж на 25 %) для обох зернистостей.

Висновки

1. Термостабільність і міцність шліфпорошків алмазу зернистостей 500/400 і 250/200 після обробки в інертному середовищі за температур 800 і 1100 °С знижується зі збільшенням вмісту внутрішньокристалічних включень.

2. Розділення в магнітному полі шліфпорошків алмазу обох зернистостей на фракції з різною питомою магнітною сприйнятливістю, а відповідно, з різним вмістом внутрішньокристалічних металевих включень, дозволяє виділяти фракції порошків з більш високою однорідністю за міцністю, на 10–30 % з більш високою міцністю і термостабільністю (не менше ніж на 20–25 %) у порівнянні з вихідною.

3. Для шліфпорошків алмазу обох зернистостей, що містять кристали з невеликим вмістом внутрішньокристалічних включень, за рахунок зниження внутрішніх напружень обробка при 800 °С сприяє незначному, не більше ніж на 5 %, підвищенню міцності кристалів.

**T. Prikhna, H. Ilnytska, V. Lavrinenko, O. Loginova, V. Garashchenko,
O. Sokolov, I. Zaitseva, V. Smokvyna, T. Kosenchuk**

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine

IMPROVEMENT OF PHYSICOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF SYNTHETIC DIAMONDS FOR THE RULING TOOL

The results of studies of the influence of heat treatment on the physicomachanical characteristics of 500/400 and 250/200 grit diamond grinding powders after their separation in a magnetic field of different strengths are presented. It is shown that for both grit sizes, separation in a magnetic field facilitates the production of diamond fractions that differ in the content of intracrystalline inclusions in them and the change in their physical and mechanical characteristics: strength, uniformity in strength, and heat resistance. In diamond powders with a higher content of intracrystalline inclusions, after heat treatment in an inert medium, a decrease in the strength of crystals is observed for both grit sizes both at a temperature of 800 °C and at 1100 °C. In diamond powders with a lower content of intracrystalline inclusions after processing at a temperature of 800 °C, due to a decrease in internal stresses, an insignificant (not more than 5 %) increase in strength occurs. The thermal stability of both grit sizes for all studied diamond fractions, decreases with an increase in the content of intracrystalline inclusions in them.

Key words: synthetic diamonds, a specific magnetic susceptibility, an ultimate load at static compression of grains, thermostability, uniformity on strength.

Т. А. Прихна, член-корр. НАН України; **Г. Д. Ильницкая**, канд. техн. наук;
В. И. Лавриненко, д-р техн. наук; **О. Б. Логинова**, д-р хим. наук;
В. В. Гарашенко, канд. физ.-мат. наук; **А. Н. Соколов**, **И. Н. Зайцева**,
В. В. Смоквина, кандидаты технических наук; **Т. О. Косенчук**

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины

УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ДЛЯ ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Представлены результаты исследований влияния термической обработки на физико-механические характеристики шлифпорошков алмаза зернистостей 500/400 и 250/200 после их разделения в магнитном поле разной напряженности. Показано, что для обеих зернистостей разделение в магнитном поле способствует получению фракций алмаза, различающихся между собой по содержанию в них внутрикристаллических включений и изменением их физико-механических характеристик: прочности, однородности по прочности и термостойкости. В порошках алмаза с более высоким содержанием внутрикристаллических включений после обработки в инертной среде для обеих зернистостей наблюдается уменьшение прочности кристаллов как при температуре 800 °C, так и при 1100 °C. В порошках алмаза с меньшим содержанием внутрикристаллических включений после обработки при температуре 800 °C за счет снижения внутренних напряжений происходит незначительное, не более чем на 5 %, повышение прочности. Термостабильность обеих зернистостей для всех исследуемых фракций алмаза с увеличением содержания в них внутрикристаллических включений снижается.

Ключевые слова: синтетические алмазы, удельная магнитная восприимчивость, разрушающая нагрузка при статическом сжатии, термостабильность, однородность по прочности.

Література

1. Лавріненко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.

2. Ильницкая Г. Д., Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 63–71.
3. Коломиец В. В., Полупан Б. И., Химач О. В. Алмазный инструмент фасонного профиля. – К.: Наукова думка, 1992. – 176 с.
4. ТУУ 28.4-05417344-2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
5. Новиков Н. В., Невструев Г. Ф., Ильницкая Г. Д. и др. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Часть 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 5. – С. 74–83. и Часть 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 6. – С. 58–67.
6. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 71 с.
7. М 26.8-299:2010. Методика определения коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов. – К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.
8. М 28.5-272:2008. Методика аналитической оценки прочностных характеристик шлифпорошков синтетического алмаза. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 14 с.
9. М 88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ НАН Украины, 2004. – 9 с.
10. Физические свойства алмаза. Справочник. – К.: Наукова думка, 1987. – С. 85–89.
11. List E., Frenzel J., Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industrial diamond review. – 2006. – № 1. – P. 42–47.

Надійшла 29.05.20

References

1. Lavrinenko, V. I., & Novikov, M. V. (2013). *Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanooobrotsi [Superhard abrasive materials in machining]*. Kyiv: INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
2. Il'nitskaia, G.D., Bogatyreva, G. P., & Nevstruev, G.F. (2005). Poluchenie vysokokachestvennykhalmaznyhshlifporoshkov [Obtaining high-quality diamond grinding powders]. *Sintez, spekanie i svoistva sverhtverdyh materialov. – Synthesis, sintering and properties of superhard materials*. (pp. 63–71). K.: Izd-vo ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
3. Kolomiets, V.V., Polupan, B.I., & Himach O.V. (1992). *Almaznyi instrument fasonnogo profilia [Diamond tool shaped profile]*. – K.: Naukova dumka [in Russian].
4. Shlifporoshki sinteticheskikhalmazov marok AS200, AS250, AS300, AS350, AS400. Tekhnicheskies usloviia [Grinding powders of synthetic diamonds of grades AS200, AS250, AS300, AS350, AS400. Technical conditions]. (2003). TUU 28.4-05417344-2003. – K.: Hosstandart Ukrainy [in Russian].
5. Novikov, N.V., Nevstruev, G.F., Il'nitskaia, G.D., et al. (2006). Otsenka kachestva poroshkov sverhtverdyh materialov [Evaluation of the quality of powders of superhard materials]. Part 1. Teoreticheskies osnovy metoda otsenki harakteristik kachestva – Theoretical foundations of the method for evaluating quality characteristics // *Sverhtverdye materialy – Superhard materials*, 5, 74–83. Part 2. Prakticheskoe primenenie novogo metoda ocenki harakteristik kachestva – Practical application of a new method for evaluating quality characteristics // *Sverhtverdye materialy – Superhard materials*, 6, 58–67 [in Russian].

6. Poroshki almaznye sinteticheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviia [Synthetic diamond powders. General specifications]. (1995). DSTU 3292-95. К.: Hosstandart Ukrainy [in Russian].
7. Metodika opredeleniya koefficienta termostabil'nosti shlifporoshkov sinteticheskikh almazov [Method for determining the coefficient of thermal stability of synthetic diamond grinding powders]. (2010). М 26.8-299:2010 – К: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
8. Metodika analiticheskoi otsenki prochnostnykh harakteristik shlifporoshkov sinteticheskogo almaza [Method for the analytical evaluation of the strength characteristics of synthetic diamond grinding powders]. (2008). М 28.5-272:2008. – К.: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
9. Metodika opredeleniia udel'noi magnitnoi vospriimchivosti poroshkov sverhtverdykh materialov (STM) [Method for determining the specific magnetic susceptibility of powders of superhard materials (SHM)]. (2004). М88 Ukrainy 90.256-2004. К.: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
10. Fizicheskie svoistva almaza. Spravochnik. [Physical properties of diamond. Reference book]. (1987) (pp. 85–89). К.: Naukova dumka [in Russian].
11. List, E., Frenzel, J., & Vollstadt, H. (2006). A new system for single particle strength testing of grinding powders. *Industrial diamond review*, 1, 42–47.

УДК 620.22-621.921.34

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-234-242

В. А. Мечник, М. О. Бондаренко, доктори технічних наук,
В. М. Колодніцький, канд. фіз.-мат. наук, **О. М. Ісонкін**, канд. техн. наук,
Д. Л. Коростишевський, Н. Ф. Пошванюк, інженери

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

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ CrB₂ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТИВ Fe–Cu–Ni–Sn ДЛЯ КАМЕНЕОБРОБНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Досліджено вплив добавки порошку CrB₂ (в інтервалі від 0 до 8 % (за масою)) на механічні (мікротвердість H , модуль пружності E) і трибологічні (швидкість зношування) властивості композиційних матеріалів на основі заліза, міді, нікелю та олова, одержаних методом холодного пресування з подальшим вакуумним гарячим пресуванням за температури 1000 °C і тиску 30 МПа.

Вихідні порошки мали дисперсність 5–50 мкм. Встановлено, що найменші значення твердості (4,475 ГПа), модуля пружності (86,6 ГПа), стійкості матеріалу пружній деформації (0,0517), опору матеріалу пластичної деформації (0,0119 МПа) і найбільші значення швидкості зношування ($3,60 \times 10^5 \text{ мм}^3 \text{ Н}^{-1} \text{ м}^{-1}$) має композит, що не містить добавки CrB₂. Показано, що твердість і модуль пружності зростають лінійно зі збільшенням вмісту CrB₂ у складі вихідної шихти. Додавання CrB₂ в кількості 2 % (за масою) до складу вихідної шихти 51Fe–32Cu–9Ni–8Sn підвищує значення стійкості матеріалу пружній деформації від 0,0517 до 0,0735, опору матеріалу пластичній деформації від 0,0119 до 0,0427 МПа і зменшує швидкість зношування від $3,60 \times 10^5$ до $1,24 \times 10^5 \text{ мм}^3 \text{ Н}^{-1} \text{ м}^{-1}$. Обговорено причини зміни фізико-механічних характеристик спечених композиційних матеріалів. Спечені композити 49,98Fe–31,36Cu–8,82Ni–7,84Sn–2CrB₂ розглянуті як перспективні матеріали для створення нового покоління композиційних алмазовмісних матеріалів для камінеобробної промисловості.

Ключові слова: концентрація, добавка, склад, структура, температура, композит, мікротвердість, модуль пружності.