

**Г. Д. Ільницька**, канд. техн. наук; **В. І. Лавріненко**, д-р техн. наук;  
**О. Б. Логінова**, д-р хім. наук, **В. В. Смоквина**, **С. П. Старик**, **І. М. Зайцева**,  
**В. В. Тимошенко**, кандидати технічних наук;  
**Л. Й. Котинська**, **Т. О. Косенчук**<sup>1</sup>; **Д. С. Чернецький**, магістр<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2,  
04074, м. Київ, e-mail: izaitseva@ukr.net

Криворізький Національний Університет, вул. Віталія Матусевича, 11,  
50027 м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: dmitry.x2001@gmail.com

## ВПЛИВ ТЕРМОХІМІЧНИХ ОБРОБОК НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ

*Розглянуто фізико-хімічні та фізико-механічні характеристики шліфпорошків алмазу марки АС20 зернистості 200/160, отриманих в ростовій системі Ni-Mn-C. Показано, що ІЧ спектри вихідного порошку містять сильно виражену смугу поглинання в широкому частотному діапазоні 3000-3800 см<sup>-1</sup>. Вона відповідає валентним коливанням О-Н зв'язку, що свідчить про наявність гідроксильних функціональних груп на поверхні алмазу та значно послаблюється після їх термохімічної обробки.*

*Показано, що для вихідних шліфпорошків до та після термохімічної обробки спостерігаються залежність показників гідрофільності від кількісного вмісту в них включень та домішок та зміна магнітних властивостей у вигляді питомої магнітної сприйнятливості. Поверхня алмазів магнітної фракції з більшим вмістом домішок і включень та з більш високими магнітними властивостями є більш гідрофільною.*

*Таким чином, гідрофільність поверхні алмазів є одним із показників оцінки дефектності їх поверхні і може використовуватись як критерій якості шліфпорошків, тому що пов'язана з їх фізико-механічними властивостями.*

**Ключові слова:** фізико-механічні та фізико-хімічні характеристики шліфпорошків алмазу, термохімічна обробка, гідрофільність поверхні, питома магнітна сприйнятливість.

### Вступ

Для розвитку машинобудівної галузі важливим напрямком є застосування ефективних абразивних інструментів на основі порошків алмазу. При алмазно-абразивній обробці поверхні деталей на зносостійкість та ефективність роботи шліфувального інструменту впливають характеристики алмазних порошків, які формуються в процесі їх отримання, сортування та класифікації. В інструментальному виробництві при обробці твердого сплаву, кераміки, скла та інших крихких матеріалів широко застосовуються шліфпорошки алмазу марок АС6-АС20. Відомо, що працездатність будь-якого алмазовмісного інструменту значною мірою визначається властивостями алмазів [1, 2].

В свою чергу, отримання порошків із заданими властивостями обумовлюється технологіями їх отримання, вилучення, обробки, класифікації за розмірами і формою, сортуванням за фізико-хімічними властивостями, модифікуванням поверхні [3]. Розвиток існуючих конструкцій алмазного інструменту обумовлений рядом чинників: вимогами підвищення експлуатаційної надійності деталей машин, появою нових матеріалів для зв'язок, покращенням якості алмазних шліфпорошків, а саме їх фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей.

Кристали алмазу мають високу поверхневу енергію і певну адсорбційну активність. При цьому більш дефектна поверхня має більшу кількість центрів адсорбції [4, 5]. Дія окиснювачів (кислот, лугів) сприяє адсорбції кисню на поверхні кристалів алмазу, насичена

киснем поверхня виявляє гідрофільні властивості та може суттєво впливати на фізико-механічні властивості кристалів.

Метою цієї роботи було оцінка гідрофільності поверхні шліфпорошків алмазу та встановлення зв'язку показника гідрофільності з їх фізико-механічними властивостями.

### Вихідні матеріали та експериментальні методи

Дослідження проводили на алмазних шліфпорошках марки АС20 зернистості 200/160, отриманих в системі Ni–Mn–C, до та після їх термохімічної обробки у лужному розплаві при температурі 650 °С протягом 20 хвилин. Порошки попередньо розділяли у магнітному полі з виділенням магнітної та немагнітної фракцій.

Для одержаних фракцій порошоків визначали фізико-механічні характеристики: міцність, як показник міцності при статичному стисненні при кімнатній температурі (Р, Н) і після термічної обробки при 1100 °С [6], розраховували термостійкість у вигляді коефіцієнта термостабільності (К<sub>ТС</sub>) [7]. Методом Фарадея оцінювали питому магнітну сприйнятливості  $\chi$  (м<sup>3</sup>/кг) [8, 9], загальний вміст включень та домішок  $\beta$  (% за масою) визначали у вигляді неспаленого залишку (н/з), отриманого після тривалої високотемпературної обробки до сталої маси [6]. Гідрофільність оцінювали за величиною вільної енергії насичення водою 1 г шліфпорошку алмазу ( $\Delta C_s$ ) в Дж/г×моль [10].

Для реєстрації інфрачервоних (ІЧ) спектрів дифузного відбиття (*DRIFT*) від зразків порошку у вихідному стані та після їх термохімічної обробки використали Фур'є спектрометр Nicolet 6700 (Thermo Fisher, США).

### Результати експериментів та їх обговорення

ІЧ спектри дифузного відбивання зразків шліфпорошків алмазу у вихідному стані та після їх термохімічної обробки представлені на рис. 1. У спектрах дифузного відбивання спостерігаються смуги поглинання 1700-2700 см<sup>-1</sup>, притаманні коливанням вуглецевої ґратки алмазу, які не змінюються після температурної обробки. Наявність смуг поглинання азоту, наприклад, 1136 см<sup>-1</sup> і 1344 см<sup>-1</sup>, є типовими для дисперсного одноатомного азоту в алмазі типу Ib. Спектр вихідного порошку (1) містить сильно виражену смугу поглинання в широкому частотному діапазоні 3000-3800 см<sup>-1</sup>, яка відповідає коливанням розтягу (або валентним коливанням) О–Н зв'язку та свідчить про наявність гідроксильних функціональних груп на поверхні алмазу, яка значно послаблюється після термохімічної обробки алмазного порошку (2). Це свідчить про видалення води з поверхні алмазу, тобто, після термохімічної обробки відбувається процес дегідратації алмазу.

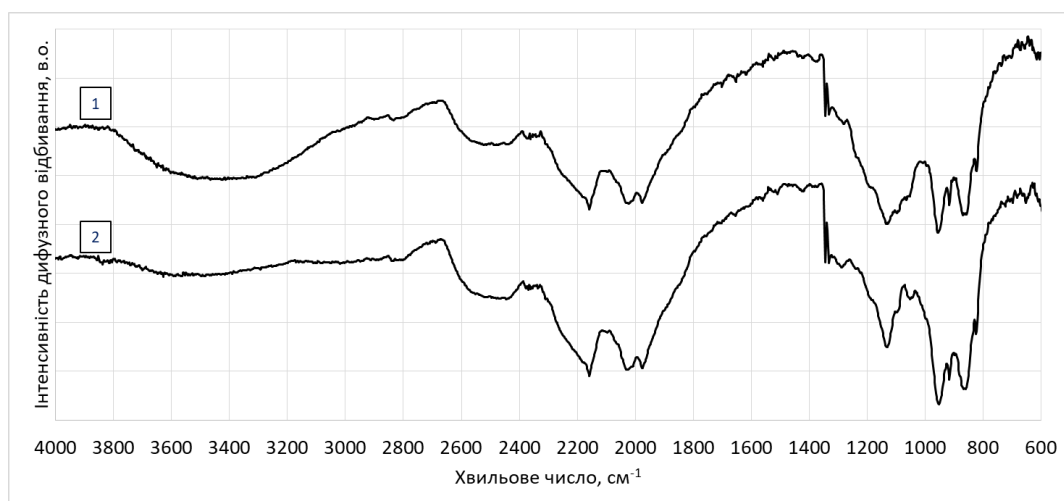


Рис. 1. ІЧ спектри дифузного відбивання зразків шліфпорошків алмазу у вихідному стані (1) та після їх термохімічної обробки (2)

Результати фізико-механічних та фізико-хімічних досліджень алмазних шліфпорошків марки АС20 зернистості 200/160 вихідних, магнітних та немагнітних фракцій до термічної обробки наведено у табл. 1.

Таблиця 1. **Фізико-механічні та фізико-хімічні властивості алмазних шліфпорошків марки АС20 зернистості 200/160 вихідних, магнітних та немагнітних фракцій до термічної обробки**

Найменування фракції	$\chi$ , $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	н/з, $\beta$ , % (за масою)	Р, Н	К <sub>ТС</sub> , %	$\Delta C_s$ , Дж/г×моль
Магнітна	31,4	4,25	33,5	25	2,1419
Немагнітна	5,9	1,57	30,7	43	1,4351
Вихідна	19,5	3,35	25,7	36	2,0508

Як випливає з табл. 1, після поділу в магнітному полі алмазні шліфпорошки магнітної та немагнітної фракції розрізняються між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості у 5,3 рази, за вмістом у них включень та домішок у 2,7 рази. Гідрофільність алмазних шліфпорошків магнітної фракцій у 1,5 разів вища, ніж гідрофільність алмазів немагнітної фракції. Міцність при кімнатній температурі незначно відрізняється для алмазів всіх фракцій, але після термічної обробки при 1100 °С для алмазів магнітної фракції спостерігається зниження міцності та зменшення термостійкості у вигляді коефіцієнта термостабільності у 1,7 рази.

Результати фізико-механічних та фізико-хімічних досліджень алмазних шліфпорошків марки АС20 зернистості 200/160 вихідних, магнітних та немагнітних фракцій після термохімічної обробки наведено у таблиці 2. З табл. 2 видно, що термохімічна обробка шліфпорошків алмазу магнітних та немагнітних фракцій призводить до незначного зниження їх характеристик міцності. За рахунок розчинення деякої частини включень та домішок в алмазах немагнітної фракції відбувається зменшення їх кількісного вмісту у порівнянні з кількісним вмістом включень та домішок у магнітній фракції приблизно у 2,8 разів та послаблення магнітних властивостей у 5,8 разів. Гідрофільність алмазних шліфпорошків магнітної фракції знижується у 3,4 рази у порівнянні із гідрофільністю немагнітної фракції.

Таблиця 2. **Фізико-механічні та фізико-хімічні властивості алмазних шліфпорошків марки АС20 зернистості 200/160 вихідних, магнітних та немагнітних фракцій після термохімічної обробки**

Найменування фракції	$\chi$ , $\times 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	н/з, $\beta$ , % (за масою)	Р, Н	$\Delta C_s$ , Дж/г×моль
Магнітна	16,9	3,018	30,6	1,0130
Немагнітна	2,9	1,070	25,8	0,3002
Вихідна	10,3	2,450	23,4	0,5733

Як випливає з табл. 1 та 2, алмазні порошки магнітної фракції з більшим вмістом домішок і включень та з більш високими магнітними властивостями є більш гідрофільними. Ймовірно, їх поверхня має більшу кількість центрів адсорбції, здатних до утворення водневого зв'язку.

Для вихідних шліфпорошків до та після термохімічної обробки також спостерігаються залежність гідрофільності від кількісного вмісту в них включень та домішок та зміна їх магнітних властивостей у вигляді питомої магнітної сприйнятливості. Залежність

гідрофільності вихідних шліфпорошків алмазу до та після термохімічної обробки від кількісного вмісту в них включень та домішок приведена на рис. 2, від зміни їх магнітних властивостей у вигляді питомої магнітної сприйнятливості алмазу – на рис. 3.

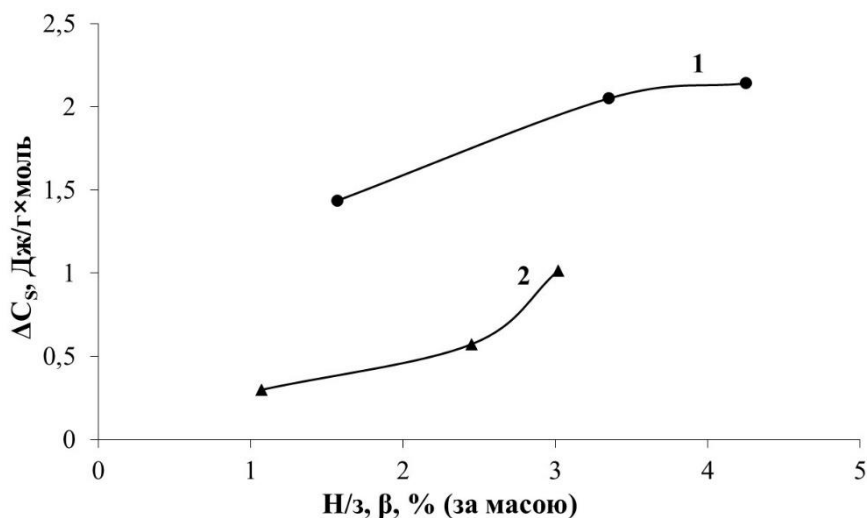


Рис. 2. Залежність гідрофільності шліфпорошків алмазу від кількісного вмісту в них включень та домішок для досліджених шліфпорошків алмазу: вихідних до термохімічної обробки (1) та після термохімічної обробки (2)

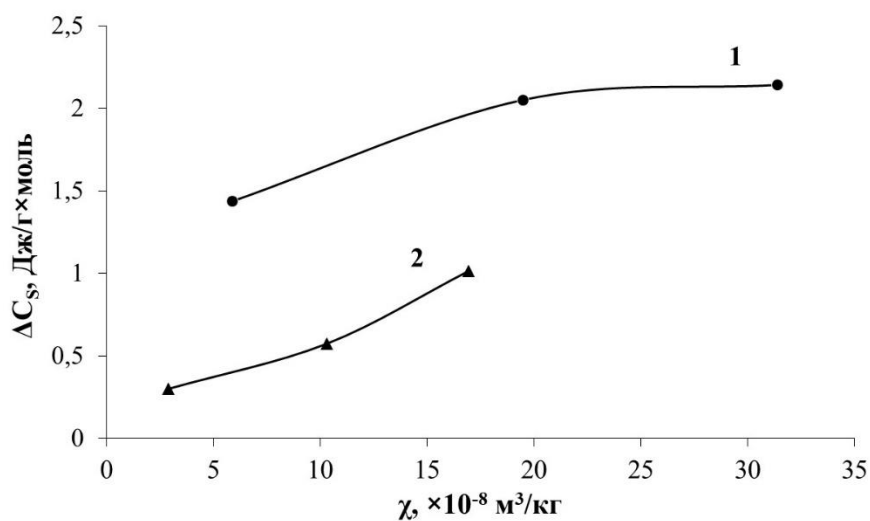


Рис. 3. Залежність гідрофільності шліфпорошків алмазу від зміни їх питомої магнітної сприйнятливості для досліджених шліфпорошків алмазу: вихідних до термохімічної обробки (1) та після термохімічної обробки (2)

Таким чином, гідрофільність поверхні алмазів є одним із показників оцінки дефектності їх поверхні і може використовуватись як критерій якості шліфпорошків, тому що пов'язана з їх фізико-механічними властивостями.

### Висновки

1. Показано, що ІЧ спектри вихідного шліфпорошку алмазу марки АС20 зернистості 200/160 містять сильно виражену смугу поглинання в широкому частотному діапазоні 3000-3800 см<sup>-1</sup>, яка відповідає валентним коливанням О-Н зв'язку, що свідчить про наявність

гідроксильних функціональних груп на поверхні алмазу та значно послаблюється після їх термохімічної обробки.

2. Показано, що після поділу в магнітному полі алмазні шліфпорошки магнітної та немагнітної фракції розрізняються між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості у 5,3 рази, за вмістом у них включень та домішок у 2,7 рази. Зміна міцності при кімнатній температурі незначна для алмазів обох фракцій, але зниження міцності після термічної обробки при 1100 °С шліфпорошків алмазу магнітної фракції у порівнянні з алмазами немагнітної фракції призводить до зменшення їх термостійкості у 1,7 рази. Гідрофільність алмазних шліфпорошків магнітної та немагнітної фракцій у 1,5 разів вище, ніж гідрофільність алмазів немагнітної фракції.

3. Встановлено, що термохімічна обробка шліфпорошків алмазу магнітних та немагнітних фракцій призводить до незначного зниження їх характеристик міцності. За рахунок розчинення деякої частини включень та домішок в алмазах обох фракцій відбувається зменшення їх кількісного вмісту включень та домішок у шліфпорошках алмазу немагнітної фракції в порівнянні з кількісним вмістом включень та домішок у алмазах магнітної фракції приблизно у 2,8 разів та послаблення їх магнітних властивостей у 5,8 разів. Ступінь гідрофільності алмазних шліфпорошків магнітної фракції знижується у 3,4 рази у порівнянні зі ступенем гідрофільності немагнітної фракції.

**Н. Пнытська, В. Лаврінєнко, О. Логінова, В. Смоквюна,  
С. Старьк, І. Зайтєва, В. Тимосєнко, Л. Котынська,  
Т. Косєнчук<sup>1</sup>, Д. Чернетський<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine*

<sup>2</sup>*Kyryvi Rih National University*

## **INFLUENCE OF THERMOCHEMICAL TREATMENTS ON THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF DIAMOND GRINDING POWDER**

*The physico-chemical and physico-mechanical characteristics of diamond grinding powders of the AS20 grade of 200/160 grit obtained in the Ni-Mn-C growth system were considered. It is shown that the IR spectra of the original powder contain a strongly pronounced absorption band in a wide frequency range of 3000-3800 cm<sup>-1</sup>. It corresponds to the valence vibrations of the O-H bond, indicates the presence of hydroxyl functional groups on the diamond surface, and is significantly weakened after their thermochemical treatment.*

*It is shown that for the initial grinding powders before and after thermochemical treatment, there is a dependence of hydrophilicity indicators on the quantitative content of inclusions and impurities in them, as well as changes in magnetic properties in the form of specific magnetic susceptibility. The surface of diamonds of the magnetic fraction with a higher content of impurities and inclusions and with higher magnetic properties is more hydrophilic.*

*Thus, the hydrophilicity of the surface of diamonds is one of the indicators for assessing the defects of their surface and can be used as a criterion for the quality of grinding powders, because it is related to their physical and mechanical properties.*

**Key words:** *physico-mechanical and physico-chemical characteristics of diamond grinding powders, thermochemical treatment, surface hydrophilicity, specific magnetic susceptibility.*

### **Література**

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: Монография в 6 томах / Под общей ред. Н. В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. (полное издание, ИПЦ «АЛКОН»). Т.6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки/ Под ред. А. А. Шепелева. К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. 340 с.
2. Лаврінєнко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник. К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. 456 с.

3. A. A. Shulzhenko, T. O. Prikhna, H. D. Ilnytska, V. I. Lavrinenko, O. I. Borymskii, A. N. Sokolov, V. N. Tkach, V. V. Smokvyna, I. N. Zaitseva, V. V. Tymoshenko. Comparison of the Dimensional, Physical, Mechanical, and Operational Characteristics of AS6 and AS20 Synthetic Diamond Powders Synthesized in the Ni-Mn-C and Fe-Si-C Systems. *Journal of Superhard Materials*, 2021, Vol. 43, No. 1, P. 1–14.
4. Алешин В. Г., Смахнов А. А., Богатырева Г. П., Крук В. Б. Химия поверхности. Киев: Наук. думка, 1990. 200 с.
5. Фізична та колоїдна хімія. Навч. пос. / за ред. А. І. Костржицького. 2008. К.: Центр учбової літератури: Поверхневі явища та адсорбційні рівноваги, с. 270-287 та Агрегативна стійкість та коагуляція дисперсних систем, с. 371-387.
6. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. К.: Госстандарт Украины, 1995. 71 с.
7. М 26.8-299:2010. Определение коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов. Методика; Введ. 01.01.10. К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.
8. Физические свойства алмаза. Справочник / под ред. Н.В. Новикова. К.: Наукова думка, 1987. С. 85–89.
9. М 88 Украины 90.256-2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). К.: ИСМ НАН Украины, 2004. 9 с.
10. М 23.9-313:2014 Методика определения показателя гидрофильности порошков сверхтвердых материалов. К.: ИСМ НАН Украины, 2014. 7 с.

Надійшла 29.07.24

## References

1. N. V. Novikova (Ed.). (2007). *Sverkhtverdyie materialy. Polucheniiie i primeneniie* [Superhard materials. Obtaining and applying]. T.6: *Almazno-abrazivnyie instrument v tekhnologiiakh mekhanooobrobki* [Diamond abrasive tools in machining technologies]. ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy. IPTs «ALKON» [in Russian].
2. Lavrinenko, V. I., & Novikov, M. V. (2013). *Nadtverdi abrazyvni materialy v mekhanooobrobtsi* [Superhard abrasive materials in machining]. INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
3. Shulzhenko, A.A., Prikhna, T.O., Ilnytska, H.D., et al. (2021). Comparison of the Dimensional, Physical, Mechanical, and Operational Characteristics of AS6 and AS20 Synthetic Diamond Powders Synthesized in the Ni–Mn–C and Fe–Si–C Systems. *Journal of Superhard Materials*, 43(1), 1–14.
4. Aleshin, V. G., Smehnov, A. A., Bogatyreva, G. P., & Kruk, V. B. (1990). *Khimiia poverkhnosti almaza* [Diamond Surface Chemistry]. Nauk. dumka [in Russian].
5. Kostrzhitskyi, A. I. (Ed.) (2008). *Fizychna ta koloidna khimiia* [Physical and colloidal chemistry]. *Tsentr uchbovoi literatury* [in Ukrainian].
6. *Poroshki almaznye sinteticheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviia* [Synthetic diamond powders. General specifications]. (DSTU 3292-95). (1995). *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]. (M 26.8-299:2010). (2010). K: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
8. Novikov N.V. (Ed.). (1987). *Fizicheskiiie svoistva Almaza* [Physical properties of diamond. Directory]. Naukova dumka [in Russian].
9. *Metodika opredeleniia udel'noi magnitnoi vospriimchivosti poroshkov sverhtverdyh materialov (STM)* [Method for determining the specific magnetic susceptibility of powders of superhard materials (SHM)]. (M88 Ukrainy 90.256-2004). (2004). ISM NAN Ukrainy [in Russian].

10. Metodika opredeleniia pokazatelia gidrofilnosti poroshkov sverkhтверdykh materialov [Methodology for determination of hydrophilicity index of powders of superhard materials]. (М 23.9-313:2014). (2014). ISM NAN Ukrainy [in Russian].

УДК 539.893.621.317.451

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-170-178

**Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька**, кандидати технічних наук;  
**Г. А. Базалій**, наук. співр.; **С. Д. Заболотний**, заст. зав. від.

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

### **ВПЛИВ ХІМІЧНИХ І ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ НА ФЛОТАЦІЙНЕ РОЗДІЛЕННЯ ПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ЗА МІЦНІСТЮ**

*Робота присвячена встановленню та порівняльному аналізу показнику міцності при статичному стиску та однорідності за міцністю вихідного шліфпорошку, шліфпорошку після попереднього хімічного оброблення та продуктів флотаційного розділення цих порошків. Увагу приділено порошкам марки АС20 зернистості 100/80. Дослідження проведено за допомогою методик, розроблених в ІНМ ім. В.М. Бакуля.*

*Встановлено, що в результаті застосування підготовки поверхні порошку хімічними та фізичними методами, спеціальної підготовки та флотаційного розділення відбувається зміна складу порошку синтетичного алмазу, що відображається на диференціальному та інтегральному розподілі шліфпорошку за показником міцності при статичному стиску. Відбувається підвищення максимуму розподілення порошку в інтервалі 3,6–21,0 Н (до 83% у пінного продукту в порівнянні до вихідного порошку (70%), або камерного продукту (71%)).*

*Застосування флотаційного розділення дозволяє отримати порошки синтетичного алмазу із зміненим складом вихідного шліфпорошку та шліфпорошку після хімічного очищення та порошків, які можна отримувати в результаті флотаційного розділення. З пінних продуктів можна отримувати порошки з суттєво покращеними показниками однорідності за міцністю на рівні 20-30 %, що набагато вище в порівнянні з вихідним порошком (16–18%) та показниками однорідності за міцністю камерних продуктів (12–15 %). З камерних продуктів можна отримувати порошки із зниженими показниками однорідності за міцністю (12–15 %) в порівнянні з вихідним порошком (16-18%). Показник міцності при статичному стиску таких порошків становить 13,0–12,3 Н.*

*Отримані результати апроксимації кривих інтегрального розподілу за показником міцності при статичному стиску зерен свідчать про підвищену однорідність за показником міцності порошків з пінних продуктів та знижену однорідність порошків з камерних продуктів з достовірністю 0,87–0,98.*

*Ключові слова: шліфпорошок синтетичного алмазу, флотаційне розділення, показник міцності при статичному стиску, однорідність порошку за міцністю*

#### **Вступ**

Застосування абразивних інструментів, які містять порошки синтетичного алмазу, є важливим напрямком для розвитку машинобудівної галузі. Фізико-хімічні та фізико-механічні властивості порошку синтетичного алмазу формуються в процесі його синтезу, екстракції та сортування. Характеристики шліфпорошку алмазу впливають на міцність закріплення зерен порошку в матриці робочого шару інструменту та на ефективність роботи інструменту [1].

Однією із перших робіт, спрямованих на дослідження впливу флотаційного розділення порошків синтетичного алмазу на міцність продуктів розділення (пінного та камерного), була робота д.т.н. Богатирьової Г.П. [2]. Встановлено, що міцність камерного продукту на 25–35%