

УДК 621.9

**В.В. Смоквина**, канд. техн. наук

*Институт надтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины, м. Київ*

### **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З НТМ ЗА РАХУНОК ЗМІНИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ**

*Розглянуто фізико-механічні характеристики синтетичних алмазів марки АС6, синтезованих у системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C. Показано, що алмази, які синтезовано в системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, різняться магнітними властивостями, механічними характеристиками, а також за вмістом у зернах алмазу домішок і внутрішніх кристалічних включень. Встановлено, що характеристики міцності синтетичних алмазів магнітних фракцій з більшим вмістом внутрішніх кристалічних домішок і включень перевищують аналогічні характеристики немагнітних фракцій. Показано взаємозв'язок морфометричних характеристик синтетичних алмазів, що відповідають за форму зерен, розвиненість їх поверхні, а також кількісний вміст різальних кромки на поверхні зерен порошку алмазу, з експлуатаційними показниками шліфувального інструменту.*

**Ключові слова:** синтетичний алмаз, магнітні властивості, морфометричні характеристики, алмазне шліфування, зносостійкість.

#### **Вступ**

У машинобудуванні при обробленні твердого сплаву, кераміки, скла та інших матеріалів широко застосовують порошки синтетичного алмазу марки АС6. Синтез таких алмазів, як правило нетривалий і відбувається за високої швидкості росту. Для зниження необхідних високих параметрів ( $p$ ,  $T$ ) синтезу застосовують сплави-розчинники вуглецю. При цьому зазвичай кристал алмазу при зростанні захоплює присутні в реакційній камері домішки і включення сплаву-розчинника, які впливають на експлуатаційні характеристики порошоків алмазу. Численні дослідження синтезу алмазів, в основному виконано із застосуванням сплавів-розчинників системи Ni–Mn. Властивості алмазних порошоків, отриманих при синтезі із застосуванням розчинника вуглецю у вигляді сплаву Ni–Mn, широко і різнобічно досліджені. Останніми роками посилюється інтерес до використання при синтезі алмазу марки АС6 сплаву-розчинника Fe–Si [1; 2].

В інструментальному виробництві на оброблення матеріалів істотно впливають фізико-механічні характеристики абразивних порошоків. Для алмазно-абразивного оброблення велике значення мають характеристики алмазоутримання зерен у зв'язці, рельєфу контуру проекції алмазу, зокрема виступи, які інтерпретують як різальні кромки. Як правило, різальні кромки абразивних порошоків характеризуються кількістю, кутами загострення і радіусами заокруглення. Як засвідчують результати експериментальних досліджень, кути загострення різальних кромки впливають на товщину і глибину зрізу при обробленні алмазним інструментом твердих і крихких матеріалів [3], різальні властивості та міцність зерен алмазних і абразивних порошоків [4; 5].

Мета роботи – дослідити фізико-механічні характеристики алмазів марки АС6, синтезованих у системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, та їх вплив на зносостійкість шліфувальних кругів при алмазному шліфуванні важкооброблюваних матеріалів.

#### **Методика дослідження та вихідні матеріали**

Досліджували шліфпорошки алмазу марки АС6 зернистістю 160/125, синтезовані в системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C. Алмази поділяли в магнітному полі різної напруженості на магнітні фракції, що різнились питомою магнітною сприйнятливістю. Міцність ( $P$ , Н) отриманих порошоків визначали за руйнівним навантаженням при статичному стисненні зерен [6], однорідність за міцністю [7]. Магнітну сприйнятливість ( $\chi$ ,  $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг) вимірювали за методикою, розробленою в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України [8]. За допомогою растрової електронної мікроскопії (РЕМ) оцінювали вміст домішок і внутрішніх кристалічних включень ( $\beta$ ) в алмазах з різною магнітною сприйнятливістю [9]. Автоматизовану діагностику морфометричних характеристик порошоків алмазу виконували за

допомогою приладу «DiaInspect.OSM». Кількість різальних кромок зерен і середнє значення кутів їх загострення, а також інші геометричні параметри рельєфу визначали розрахунково [10].

Алмази обох систем після поділу в магнітному полі, що різняється питомою магнітною сприйнятливістю, та кількістю різальних кромок, використовували для виготовлення шліфувальних кругів. У процесі випробування кругів за методикою, наведеною [11], досліджували експлуатаційні показники працездатності у вигляді відносної витрати алмазів ( $q_p$ ). При цьому відносну витрату алмазів вважали критерієм зносостійкості кругів.

#### Результати експерименту та їх обговорення

Алмази, синтезовані в системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, поділили в магнітному полі різної напруженості на чотири фракції, що різнились питомою магнітною сприйнятливістю. З алмазів цих фракцій виготовили зразки 1 – 4. Визначали питому магнітну сприйнятливість цих зразків. За допомогою растрової електронної мікроскопії (РЕМ) оцінювали вміст включень, а також їх елементний склад в алмазах зразків 1 та 4, синтезованих в обох ростових системах. Результати вимірювання наведено в табл. 1.

Як впливає з даних табл. 1, алмази, синтезовані в системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, різняться магнітними властивостями. Алмази зразків 1 і 4 обох систем різняться за питомою магнітною сприйнятливістю приблизно в 10 разів.

У результаті дослідження встановлено, що алмази, отримані в системі Fe–Si–C, мають добре виражені магнітні властивості, що відображено в питомій магнітній сприйнятливості ( $\chi = 1327 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) алмазів зразка 1.

Таблиця 1. Характеристики магнітних властивостей алмазів зернистістю 160/125, синтезованих у системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C

Фракція розподілу	Номер зразка	$\chi, \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\beta, \text{ мас.}\%$	
			сумарна	сплаву-розчинника
Ni–Mn–C				
1 – магнітна	1	90,3	3,427	3,337
2 – магнітна	2	60,5	2,870	2,806
3 – магнітна	3	22,1	2,643	2,340
Немагнітна	4	8,8	2,014	1,569
Fe–Si–C				
1 – магнітна	1	1327,0	6,866	6,828
2 – магнітна	2	871,0	2,513	2,470
3 – магнітна	3	425,0	2,074	2,007
Немагнітна	4	132,0	1,794	1,733

За допомогою РЕМ оцінили вміст включень та їх елементний склад в алмазах зразків 1 та 4, синтезованих в обох ростових системах. Як впливає з даних табл. 1, елементи сплаву-розчинника у включеннях переважають і становлять 77,9–84,0% загального вмісту включень у порошках алмазу зразків 4, а зразків 1 дещо перевищують і становлять 94,5–93,1% для алмазів обох ростових систем.

Експериментально встановлено, що вміст елементів сплаву-розчинника у включеннях Ni та Mn для алмазів, синтезованих у системі Ni–Mn–C, і Fe для алмазів, отриманих у системі Fe–Si–C, зразків 1 більший ніж зразків 4. Це забезпечується поділом зерен алмазу в магнітному полі за змістом в алмазі внутрішніх кристалічних включень елементів сплаву-розчинника.

Криві зміни міцності зразків алмазу зернистістю 160/125, синтезованих у системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, показано на рис. 1.

Як впливає з рис. 1, міцність алмазів зразків 1 обох систем перевищує міцність зразків 4. Так, міцність алмазів, отриманих у системі Ni-Mn-C (зразок 1), в 1,2 раза перевищує міцність зразка 4. Міцність алмазів, синтезованих у системі Fe-Si-C зразка 1, збільшується в 3,1 раза порівняно з міцністю зразка 4. При цьому після поділу порошоків алмазу в магнітному полі на фракції з різною питомою

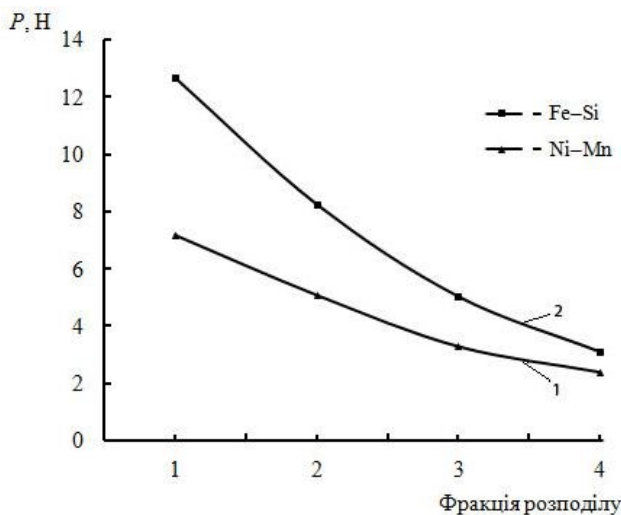


Рис. 1. Криві зміни міцності зразків алмазу за фракціями розподілу для зернистості 160/125, синтезованих у системі: 1 – Ni-Mn-C; 2 – Fe-Si-C

магнітною сприйнятливостю збільшується однорідність порошоків за міцністю порівняно з однорідністю вихідних порошоків до їх поділу. Однорідність алмазів, синтезованих у системі Ni-Mn-C, зростає в 1,2–1,5 раза, синтезованих у системі Fe-Si-C – в 1,9–2,3 раза.

Відмінності міцності порошоків алмазу обох систем відображено в їх морфометричних характеристиках. Для отриманих зразків визначили такі характеристики рельєфу контуру проекції зерен: кількість  $n$  і середнє значення кутів загострення  $\varphi$ , град., різальних кромок, їх висоту  $h_n$ , мкм і ширину основи  $\Delta_n$ , мкм. Результати визначення зазначених морфометричних характеристик усіх зразків алмазів марки АС6, синтезованих у системах Ni-Mn-C і Fe-Si-C, наведено в табл. 2.

Таблица 2. Результаты визначення характеристик різальних кромок алмазних порошоків марки АС6, синтезованих у системах Ni-Mn-C і Fe-Si-C

Номер зразка	$n$	$\varphi$	$h_n$	$\Delta_n$
Ni-Mn-C				
1	9	96,812	46,940	52,880
2	9	95,293	48,520	53,223
3	9	95,084	49,053	53,611
4	9	97,331	47,341	53,821
Fe-Si-C				
1	11	102,8	39,800	49,876
2	10	101,4	41,609	50,860
3	10	99,8	43,972	52,234
4	9	96,9	47,039	53,056

Як впливає з даних табл. 2, зерна алмазу у зразках, синтезованих в обох системах, різняться характеристиками різальних кромок. Алмази, синтезовані в системі Fe-Si-C магнітних фракцій, з найміцнішими зернами алмазу мають більше різальних кромок за меншої їх висоти і ширини основи. Спостерігається тенденція до зменшення кількості різальних кромок і кута їх загострення в міру зниження міцності порошку і його питомої магнітної сприйнятливості. Для алмазів, синтезованих у системі Ni-Mn-C, такої закономірності не виявлено.

Порошки алмазу марки АС6 зернистістю 160/125, синтезовані в обох системах зразків 1 та 4 і отримані після поділу в магнітному полі різної напруженості, використали для виготовлення експериментальних шліфувальних кругів на металевій зв'язці марки М1-10 форми 12А2-45° та розміром

100x5x3x32. Випробовували ці круги на базі модернізованого універсального заточувального верстата моделі 3В642 при алмазному шліфуванні зразків твердого сплаву марки ВК8 розміром 63×15×7.

Продуктивність оброблення становила 200 та 300 мм<sup>3</sup>/хв. Досліджували зносостійкість експериментальних кругів за відносними витратами алмазів ( $q_p$ ). Зміну відносних витрат алмазів для зразків 1 і 4, синтезованих у системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, показано на рис. 2.

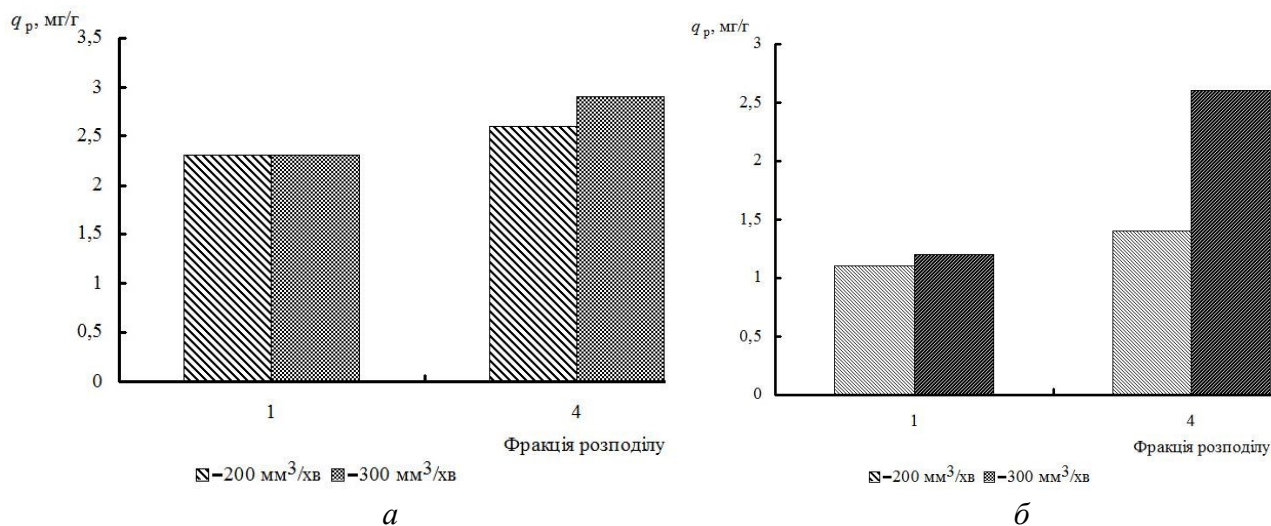


Рис. 2. Відносні витрати алмазів у кругах при шліфуванні твердого сплаву ВК8 з охолодженням з продуктивністю оброблення 200 та 300 мм<sup>3</sup>/хв.: а – система Fe–Si–C; б – система Ni–Mn–C

Як впливає з даних рис. 2, відносні витрати алмазів марки АС6, синтезованих у системі Fe–Si–C зразка 1, при обробленні твердого сплаву марки ВК8 приблизно на 25% нижча порівняно з питомою витратою алмазів АС6 зразка 4 (рис. 2, б). Відносні витрати алмазів марки АС6, синтезованих у системі Ni–Mn–C, значно вищі. Так, відносна витрата зразка 1 при обробленні твердого сплаву марки ВК8  $q_p = 2,25$  мг/г, для зразка 4 –  $q_p = 2,33$  мг/г (рис. 2, а).

З аналізу роботи шліфувальних кругів випливає, що зі збільшенням різальних кромки зерен алмаза  $n$  втрати алмазів при обробленні зразків твердого сплаву ВК8 зменшуються. Окрім цього, на нашу думку, вихід металевих включень на поверхню алмазу забезпечує підвищення алмазоутримання таких зерен у зв'язці, що сприяє підвищенню зносостійкості інструменту.

Таким чином, виконані дослідження є перспективні, тому що сприяють узгодженню різальної здатності синтетичних алмазів їх міцністю, морфометричними характеристиками і якістю виготовлених з них порошку.

### Висновки

Встановлено, що алмази магнітних і немагнітних фракцій, синтезовані в системах Ni–Mn–C і Fe–Si–C, різняться магнітними властивостями. Алмази магнітної та немагнітної фракцій обох систем різняться за питомою магнітною сприйнятливістю приблизно в 10 разів.

Для алмазів обох систем показано, що елементи сплаву-розчинника у включеннях переважають і становлять 77,9–84,0% загального вмісту включень у порошках алмазу немагнітною фракції, а в магнітній фракції дещо вищі і становлять 94,5–93,1%.

Визначено, що міцність синтетичних алмазів магнітних фракцій з більшим вмістом включень перевищує міцність цих алмазів немагнітних фракцій.

Встановлено взаємозв'язок морфометричних характеристик синтетичних алмазів, що відповідають за форму зерен і розвиненість їх поверхні, а також кількісний вміст різальних кромки на поверхні зерен порошку алмазу з експлуатаційними показниками шліфувального інструменту.

На прикладі алмазів марки АС6, синтезованих у системі Fe–Si–C, показано, що за рахунок використання в інструменті алмазних порошків з оптимальними значеннями зазначених характеристик можна знизити відносні витрати алмазів при роботі шліфувального круга, що сприяє підвищенню його зносостійкості. Для висновків на рівні нормативно-практичних рекомендацій потребує більше інформації

про показники роботи інструменту, виготовленого з алмазних порошків з попередньо встановленими морфометричними характеристиками і характеристиками рельєфу контуру проекції зерен.

Встановлено, що для алмазних зерен, синтезованих як у системі Ni–Mn–C, так і системи Fe–Si–C, ефект підвищення міцності зерен спрацьовує лише за достатнього вмісту включень в алмазах, а відтак за підвищеної магнітної сприйнятливості.

*Рассмотрены физико-механические характеристики синтетических алмазов марки AC6, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C. Показано, что алмазы, синтезированные в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, различаются магнитными свойствами, механическими характеристиками, а также по содержанию в зернах алмаза примесей и внутренних кристаллических включений. Установлено, что характеристики прочности синтетических алмазов магнитных фракций, содержащих больше внутренних кристаллических примесей и включений, превышают аналогичные характеристики немагнитных фракций. Показана взаимосвязь морфометрических характеристик синтетических алмазов, отвечающих за форму зерен, развитость их поверхности, а также количественное содержание режущих кромок на поверхности зерен порошка алмаза, с эксплуатационными показателями шлифовального инструмента.*

**Ключевые слова:** синтетический алмаз, магнитные свойства, морфометрические характеристики, алмазное шлифование, износостойкость

*The physical and mechanical properties of synthetic diamond brand AC6 synthesized in the systems Ni–Mn–C and Fe–Si–C. It is shown that diamonds are synthesized in the systems Ni–Mn–C and Fe–Si–C, different magnetic properties, mechanical properties, as well as content in grains of diamond impurities and internal crystalline inclusions. Established that the strength characteristics of synthetic diamond magnetic fractions with more content internal crystal impurities and inclusions exceed similar characteristics of non-magnetic fractions. The correlation of morphometric characteristics of synthetic diamonds, which are responsible for the shape of the grains, development of the surface and the quantitative value of cutting edges on the surface of grains of diamond powder with performance indicators grinding tool.*

**Key words:** synthetic diamond, magnetic properties, morphometric characteristics, diamond grinding, wear resistance

### Література

1. Физико-химические проблемы синтеза сверхтвердых материалов // Г.А. Подзярей, Т.Н. Начальная, А.А. Шульженко и др. – К: ИСМ АН УССР, 1978. – С. 23–26.
2. Боримский А.И. Кинетика образования и роста алмазов в системе Fe–Si–C / А.И. Боримский, В.Г. Делеви, П.А. Нагорный // Сверхтвердые материалы. – 1999. – № 3. – С. 9–14.
3. Кузнецов А.М. Влияние геометрических параметров синтетических алмазных зерен на их режущие свойства // А.М. Кузнецов, И.П. Голосов / Станки и инструмент. – 1964. – № 12. – С. 28–29.
4. Низкопрочные синтетические алмазы на основе феррокремния в шлифовальном инструменте // В.И. Лавриненко, Г.Д. Ильницкая, А.И. Боримский и др. / Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. пр. – Донецьк : ДонНТУ, 2010. – Вип. 40. – С. 99–104.
5. Пивоваров М.С. Особенности геометрических параметров синтетических алмазов // М.С. Пивоваров / Алмазы. – 1971. – Вып. 7. – С. 8–9.
6. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазные синтетические. – К: Госстандарт Украины, 1996. – 70 с.
7. Новиков Н.В. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Ч.1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Н.В. Новиков, Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницкая и др. // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 5. – С. 74–83 ; Ч. 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества // Н.В. Новиков, Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницкая и др. // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 6. – С. 58–67.
8. М88 Украины 90.256-2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.
9. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ – М. : Мир, 1979. – 582 с.
10. Н.В. Новиков К вопросу повышения информативности морфологических характеристик порошков из сверхтвердых материалов, определяемых на видео- компьютерных диагностических комплексах // Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Г.А. Петасюк / Сверхтвердые материалы. – 2005. – № 3. – С. 73–85.
11. Бакуль В.Н. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. / под общ. ред. В.Н. Бакуля. – К.: Техніка, 1971. – 208 с.

Надійшла 10.07.2015