case of insignificant workout some working bodies of machines lose their working capacity as they are exposed to the abrasive particles. The prospects of using composite ceramic-metal materials as wear-resistant coatings on soil-forming elements of working bodies of soil-tilling and seeding machines have been analyzed. The hardness of the matrix and the required difference in the microhardness of the reinforcing and coupling phases are indicated. Preconditions for conducting theoretical research have been formed.

On the basis of theoretical analysis, the values of normal and tangential stresses acting on the particles of ceramic filler at fast and slow cooling are determined and conditions for preventing their destruction are determined. The size of the ceramic filler and its volume content in the composite coating are substantiated, taking into account coefficients of thermal expansion of the matrix and ceramic filler, and the differences of heating and cooling temperatures.

It was established that the wear resistance of the obtained coating is characterized not only by the composition, metal matrix and the size of the ceramic filler, but also its volumetric content in the composite coating.

By solving analytical expressions, a graphical three-dimensional dependence is provided that allows the formation of the volumetric content of the ceramic filler, depending on the ratio of the size of its particles and the size of the abrasive particles of the soil.

Using the results of this study will increase the resource of working machines of agricultural machines working in the soil environment and gain a positive economic effect in real economy.

Key words: ***soil medium, composite material, composition coating, metal matrix, ceramic filler***

УДК 631.171.075.3

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ЗЕРЕН АЛМАЗОНОСНОГО ШАРУ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ

О. В. Сушко, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616
Таврійський державний агротехнологічний університет
e-mail: Olgasova1960@gmail.com

Анотація. *Проблема ефективності обробки синтетичних надтвердих матеріалів (НТМ) залишається на даний момент*

© О. В. Сушко, 2018

досить актуальною. З метою підвищення роботоздатності алмазних кругів було поставлено задачу виявити оптимальне поєднання марок, зернис-тостей, концентрацій алмазних порошків з типом металевої зв'язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів (з точки зору визначення умов максимального збереження цілісності зерен). У даній роботі наведена методика визначення динамічної міцності зерен алмазоносного шару шліфувальних кругів з метою вибору оптимальних складів зв'язок та підвищення ефективності алмазного шліфування.

Ключові слова: ***надтверді матеріали, шліфувальні круги, алмазні зерна, динамічна міцність, алмазно-металеві композиції***

Постановка проблеми. Процес лезвійної обробки загартованих сталей різцями з НТМ завдяки високій якості є конкурентоздатним абразив-ній обробці. Багатократні переваги утворюються за рахунок меншого технологічного часу, значного скорочення циклу обробки деталей при одночасному збільшенні швидкості обробки, зменшенні шорсткості поверхні та значному збільшенні зносостійкості інструменту [1].

Методологія вибору оптимального поєднання властивостей міцності алмазних зерен та металевих зв'язок стосовно до обробки конкретного матеріалу відсутня до цього часу. Рекомендації стосовно застосування тих чи інших алмазних зерен, що є в джерелах, носять дуже загальний характер та мають дуже великі діапазони. Такі рекомендації, з урахуванням високої вартості алмазних зерен приводять до низької ефективності їх використання і, як наслідок, високої собівартості процесу алмазного шліфування, що суттєво стримує його застосування в процесах обробки [2].

Традиційна концентрація алмазних зерен (25, 50, 100, 150, 200 %), яка застосовується в існуючих алмазних кругах, що випускаються, потребує значного уточнення. При цьому повинна вирішуватися задача оптимального поєднання властивостей міцності металевої зв'язки та алмазних зерен з точки зору збереження їх цілісності в процесі спікання алмазних кругів [3].

Тому з метою підвищення роботоздатності алмазних кругів необ-хідно виявити оптимальне поєднання марок, зернистостей, концентрацій алмазних порошків з типом металевої зв'язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів (з точки зору визначення умов максимального збереження цілісності зерен).

Для вирішення цієї проблеми було поставлено ряд задач:

– визначити методологію теоретичних досліджень впливу міцності елементів систем «алмазне зерно-металева зв’язка» на інтенсивність їх руйнування;

– на підставі моделювання напружено-деформованого стану спеченого алмазоносного шару круга виявити вплив властивостей міцності металевої зв’язки, алмазних зерен та їх концентрації на цілісність зерен в абразивному інструменті та надати рекомендації щодо оптимального складу спечених алмазно-металевих композицій, що забезпечило б мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів.

Аналіз останніх досліджень. У теперішній час з синтетичних алмазів у відповідності з ДСТУ 9206 виготовляють шліфпорошки, мікропорошки та субмікропорошки 14 марок. Це дозволяє використовувати алмази диференційовано [3].

Більшість дослідників схиляється до переваги використання для вивчення та описання процесів руйнування крихких неметалевих матеріалів (зокрема, і при абразивній обробці) кінетичної теорії руйнування. Причому, при фінішній обробці (полірування, доводка) превалюючим при руйнуванні буде термо-флуктуаційний механізм розриву зв’язків. У разі силового шліфування (чорнові та напівчистові операції обробки конструкційних матеріалів, що супроводжуються зняттям значного припуску) процес руйнування матеріалу при формоутворенні можна умовно вважати таким, який здійснюється за рахунок виникнення та розвитку магістральних тріщин під дією механічних сил (сил різання) [4]. Формування в обробленому матеріалі так званого дефектного шару є наслідком порушення суцільності матеріалу при різанні, розвитку та перетину мікротріщин. Виходячи з основних положень теорій руйнування, глибина поширення цих тріщин буде залежати від ступеня напружено-дефор-мованого стану в обробленому тілі та визначається енергетичними умовами процесу обробки [5].

При визначенні питомого зносу та коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен шліфувальних кругів досліджено рекуперацію алмазних зерен з алмазоносного шару круга. Визначено якість та розміри зерен з метою подальшого виявлення оптимального поєднання марок, зернистостей, концентрацій алмазних порошків з типом металевої зв’язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів [6]. Нами встановлено, що в експлуатацію потрапляють шліфувальні круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених у маркуванні. Тобто, круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених у маркуванні та не можуть реалізовувати необхідні показники алмазно-абразивної обробки. Виявлено, що

алмазні шліфувальні круги на металевих зв’язках мають вихідну дефектність у вигляді зруйнованих у процесі спікання алмазних зерен, у результаті чого кількість зерен основної і крупної фракцій зменшується на 19 % і 4 % відповідно [7, 8]. Отже, для визначення умов виго-товлення алмазних кругів з максимальною цілісністю зерен необхідно провести дослідження динамічної міцності зерен алмазоносного шару.

Мета досліджень. В роботі наведена методика визначення динамічної міцності зерен алмазоносного шару шліфувальних кругів з метою виявлення умов їх виготовлення з максимальною цілісністю зерен.

Результати досліджень. Показник динамічної міцності характеризує здатність алмазного порошку протистояти ударним, динамічним навантаженням, які зазнають алмази при роботі алмазного інструменту. Цей технологічний показник застосовується переважно для характеристики якості шліфпорошків марок АС50 та більше та зернистостей 200/160 та вище [1]. Динамічну міцність можна визначити різними методами, але найбільш поширеним є метод випробувань алмазів при вібраційному навантаженні на пристроях типу «Фрайтестер» (рис. 1) [2].

Пробу порошку масою 2 карати завантажують у вузький сталевий циліндр із сталевою кулькою, що вільно переміщається усередині циліндра. Циліндр встановлюють на вал електромотору в спеціальний пристрій. При його обертанні забезпечується зворотно-поступове переміщення шарика в капсулі вздовж її осі. Пристрій фіксує по кількості обертів кількість циклів навантаження проби кулькою. При випробуванні зерна трощаться. Після визначеної кількості циклів пробу вивантажують, просіюють на ситах та визначають відсотковий вміст зерен на контрольних ситах. В результаті випробувань визначають кількість ударів кульки по зернах, які необхідні для руйнування 50 % зерен проби порошку. Проводиться, як правило, не менше двох випробувань. Зафіксована кількість циклів характеризує динамічну міцність порошку (індекс по Фрайтестеру *Fi*).

Результати кореляційного співставлення показників *Fi* та міцності на розплющення зерен деяких марок вітчизняних синтетичних алмазів наведені в таблиці 1 та на рис. 2 [3].

У закордонній практиці динамічну міцність порошку після одиничного ударного навантаження в приладі Фрайтестер протягом заданого часу оцінюють показником, який дорівнює відсотковому вмісту зерен, які зберегли початковий розмір.

При проведенні контролю на установці "Friatester" необхідно враховувати наступне. Оскільки застосування частоти вібрацій капсули призводить до отримання різних результатів, то пристрій

сконструйований таким чином, щоб можна було забезпечувати постійність визначеної частоти вібрацій з точністю до 0,1 %. Маса кульки та форма капсули також дуже впливають на результати контролю. Все це зумовлює складність апаратного оформлення установки та її високу вартість. З врахуванням сказаного було розроблено експрес-метод визначення динамічної міцності зерен порошку на базі іншого, відмінного від описаного апарату, в якому руйнування зерен відбувалося б більшою кількістю тіл, що трощать. Можна очікувати, що в цьому випадку стабільність контролю буде вищою. Тому був вибраний вихровий апарат, сконструйований в ІНМ НАН України сумісно з НДІ «Емальхіммаш» для спеціальної обробки алмазних порошків.

Рис. 1. Прилад для визначення динамічної міцності алмазних порошків типу Фрайтестер.

1. Діапазон зміни показника міцності Fi порошків різних марок, встановлений на приладі Фрайтестер (данні ІНМ).

Марка алмазу	Показник *Fi*, відносн. один.	Зернистість порошку		
		400/315	315/250	250/200
АС50	*Fi min*	22	35	45
	Fi max	65	77	81
	Fi cp	35	47	54
АС65	*Fi min*	26	45	59
	Fi max	48	76	97
	Fi cp	39	58	73
АС80	*Fi min*	31	44	63
	Fi max	70	88	104
	Fi cp	50	64	81

Вихровий апарат призначений для процесів диспергування багатокомпонентних систем, змішування сухих сипучих матеріалів,

вибіркового дроблення, корегування форми та овалізації зерен порошкових матеріалів, включаючи мікропорошки у сухому повітрі або в рідині. Матеріал в апараті обробляється шляхом впливу змінного магнітного поля на суміш оброблю-ваного матеріалу та феромагнітних часточок. Робоча камера апарату являє собою ємність у виді циліндру, виготовленого з міцного немагнітного матеріалу (ситалу). Камера встановлюється у пристрій, який створює магнітне поле, що обертається, з величиною магнітної індукції 0,15 Тл. До неї одночасно завантажуються нерівновісні феромагнітні частинки та навіска оброблюваного матеріалу в співвідношенні не більше 1:10. Під впливом електромагнітного поля феромагнітні частинки набувають обертального руху з частотою обертання 3000 об/хв. та частотою коливань 1000 Гц відносно вектору магнітної індукції. Суміш феромагнітних частинок та часточок оброблюваного матеріалу знаходяться у зваженому стані з утворенням великої кількості зустрічних потоків. Оброблювані частинки на великих швидкостях співударяються між собою, а також із феромагнітними частинками та стінками робочої камери, в результаті чого відбувається інтенсивне подрібнення продукту.

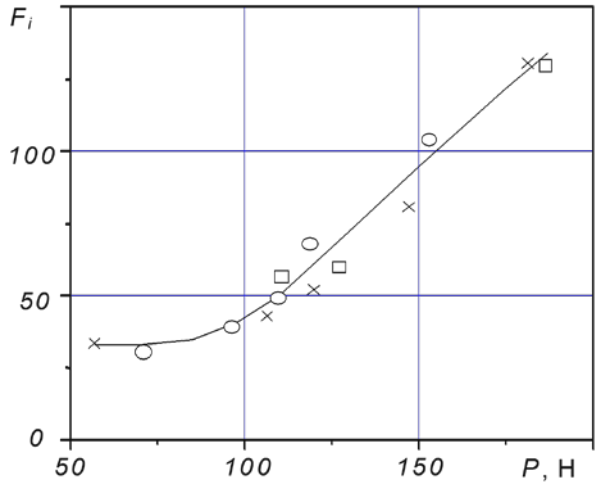

Рис. 2. Залежність між показниками, отриманими на приладах Фрайтестер та ДА-2М для шліфпорошку алмазу зернистістю 315/250: ○ – АС50; × – АС65; □ – АС80.

Для рівномірного подрібнення матеріалу на протязі всієї довжини робочої камери конструкцією апарату передбачено її зворотно-поступове переміщення у напрямку, паралельному її вісі. Робочими тілами є шматки сталевого дроту діаметром 2–2,1 мм та довжиною 18–20 мм, які рухаються хаотично під дією магнітного поля, що обертається. Робоча камера складається з набору п’яти циліндричних ячійок діаметром 80 та довжиною 30 мм, у кожній з яких можна проводити одночасно незалежні випробування. Ступінь

руйнування зерен порошку контролюється за допомогою аналізу на 120-міліметрових ситах. Цим же визначалася й вага навіски порошку – 50 карат, яка є оптимальною для сит такого діаметру. Зменшення об'єму проби можливо тільки при зменшенні перерізу полотна сита та підвищенні стабільності віброапарату. При виборі навіски робочих тіл виходили з того, що інтенсивність обробки зерен порошку повинна бути досить високою, щоб зменшити час контролю динамічної міцності. З іншого боку, руйнування повинно йти не дуже інтенсивно, для того, щоб можна було проводити вивчення кінетики цього процесу. Попередні випробування показали, що найбільш оптимальною для цих цілей є навіска робочих тіл масою 15г. Випробування проводилися з п'ятьма марками алмазних шліфувальних порошків (АС2 – АС20) зернистістю 125/100 та з сьома марками (АС15 – АС100) зернистістю 315/250.

Обробка даних за методом найменших квадратів дає наступну апроксимацію залежності між статичною міцністю $P_{ст}$, динамічною міцністю $P_{ф}$, отриманою на установці "Friatester", та коефіцієнтом k. Отриманим на вихровому апараті конструкції ІНМ:

$$P_{ст} = 4069 + 11144/K; \quad (1)$$

$$P_{ф} = 23,05 + 75,14/K. \quad (2)$$

Причому, коефіцієнт кореляції між $P_{ст}$ и k'^{1}, $P_{ф}$ и k'^{1} відповідно дорівнює 0,987 й 0,988. Ступінь відхилення експериментальних значень від розрахованих за формулою 2 для $P_{ст}$ не перевищує 9 %, а для $P_{ф}$ – 6 %. Значення статичної міцності $P_{ст}$, динамічної міцності $P_{ф}$, отриманої на установці «Friatester», та коефіцієнта k, отриманого на вихровому апараті для алмазних порошків АС50 – АС100 зернистістю 315/250, наведені в таблиці 2.

2. Значення статичної $P_{ст}$, динамічної $P_{ф}$ міцностей та коефіцієнту k.

Марка порошку	$P_{ст}$, Н	$P_{ф}$, число циклів	$k \times 10^3$, 1/с
АС100	11110	70	1,56
АС80	9300	60	2,44
АС65	8360	50	3,17
АС50	6460	40	3,00

Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновок, що міцність алмазних шліфпорошків можна контролювати на основі вимірювання коефіцієнту k, який визначається за формулою (2). У якості апарату, який використовується для механічної обробки порошків, може слугувати вихровий апарат ІНМ, а також типу АВС.

Для отримання високоміцних алмазів використана ростова система Ni-Mn-C [2]. При оптимальних значеннях тиску та температури в ній утворюються правильні, гарно огранені кристали, середній вміст яких в продукті синтезу досягає 25–30%, а

максимальний – 40%. Відомо, що в алмазній сировині, яка вилучена з продуктів синтезу, звичайно містяться зерна, які відрізняються за геометричними параметрами, а також зростки [4]. Для виділення високоякісних кристалів застосовується технологічна схема, яка включає вибіркове (механічне та ультразвукове) дроблення алмазної сировини, розділення її за розмірами та формою зерен, а також сепарацію за шорсткістю їх поверхні. Механічне дроблення здійснюється в роторній дробарці безперервної дії, яка забезпечує вибірковий процес руйнування зростків та дефектних зерен. Для класифікації за розмірами зерен застосовуються вібросита конструкції ІНМ з вібруючою нахиленою декою, яка оснащена спеціальним покриттям. При цьому досягається вміст частинок основної фракції в порошку кожної зернистості не менше 80 %.

Динамічна міцність шліфпорошків нових марок наведена в таблиці 3.

3. Динамічна міцність шлифпорошков нових марок.

Зернистість порошку	АС50	А С 65	АС80
500/400	15	20	25
400/315	25	30	35
315/250	40	45	70
250/200	45	60	80
200/160	50	70	90
160/125	60	80	100
125/100	70	90	110
100/80	80	100	120

З урахуванням вказаних властивостей алмазним шліфпорошкам АС50, АС80 присвоєна вища категорія якості. Ці порошки призначені для виготовлення інструментів на металевих зв’язках, які застосовуються при обробці будівельних матеріалів, кераміки, кварцового скла, виробництва геологорозвідницьких коронок. Порошки вказаних марок можуть бути рекомендовані для виготовлення виправного інструменту різноманітних видів, а також для використання при виготовленні високоефективних композиційних матеріалів.

Висновки

Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновок, що міцність алмазних шліфпорошків можна контролювати на основі вимірювання коефіцієнту *k*, який визначається за формулою 2. У якості апарату, який використовується для механічної обробки порошків, може слугувати вихровий апарат ІНМ, а також типу АВС.

Особливості порошків АС50, АС80 (тобто, підвищена міцність, висока ізометричність, переважно гладкі грані кристалів та ін.) обумовлюють необхідність створення нових зв’язок, які забезпечили

б надійне утримання зерен в інструменті, а також проведення досліджень з вибору оптимальних складів зв'язок для кожної з вказаних марок.

Алмазні зерна, що випускаються фірмою Де Бірс, за прийнятою в Україні класифікацією можуть досягати міцності порядку АС200-АС250. Такі міцні алмазні зерна разом із запропонованим способом формування на них різального субмікрорельєфу, можуть відкрити широкі перспективи підвищення ефективності алмазного шліфування надтвердих матеріалів.

Список літератури

1. *Семко М. Ф., Грабченко А. И., Раб А. Ф., Узунян М. Д., Пивоваров М. С.* Основы алмазного шлифования. Киев. Техника. 1978. 192 с.
2. *Федорович В. А.* Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспосабливаемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: Дисс. доктора технических наук. 05.03.01. Харьков. 2003. 394 с.
3. *Сушко О. В.* Аналіз властивостей алмазних зерен в абразивних інструментах. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2016. Вип. 17. Т. 2. С. 77–81.
4. *Новиков Н. В., Андросов И. М., Майстренко А. Л.* Методика определения прочности и трещиностойкости поликристаллических сверхтвердых материалов. Сверхтвердые материалы. 1982. № 2. С. 33–37.
5. *Тарасенко В. В., Сушко О. В.* Аналіз існуючих теорій руйнування крихких матеріалів. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 131–139.
6. *Сушко О. В.* Методика рекуперації алмазного порошку з алмазоносного шару шліфувальних кругів. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 117–124.
7. *Сушко О. В.* Визначення питомого зносу та коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен шліфувальних кругів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 21–23.
8. *Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л.* Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.

References

1. *Semko, N. F., Grabchenko, A. S., Rab, A. F., Uzunyan, N. D., Pivovarov, M. S.* (1978). Fundamentals of diamond grinding. Kiev. Technique. 192.
2. *Fedorovich, V. A.* (2001). Development of scientific bases and methods of practical implementation of control adaptability at diamond grinding of superhard materials]. doctor of technical Sciences. 05.03.01. Kharkov. 394.
3. *Sushko, O. V.* (2016). Analysis of the properties of the diamond grains in the abrasive tools. Labour TNATU. Melitopol. Vol. 17. Iss. 2. 77–81.
4. *Novikov, N. V., Androsov, S. M., Maystrenko, A. L.* (1982). Method of determining the strength and fracture toughness of polycrystalline superhard materials. Superhard materials. No 2. 33–37.
5. *Tarasenko, V. V., Sushko, O. V.* (2016). Analysis of the existing theories of the fracture of brittle materials. Labour TNATU. Melitopol. Vol. 16. Iss. 2. 131–139.

6. *Sushko, O. V.* (2017). Methodology of recuperation of diamond powder from diamond layer of the grinding wheels. Labour TNATU. Melitopol. Vol. 17. Iss. 3. 117–124.
7. *Sushko, O. V.* (2017). Determination of the specific wear and coefficient of utilization potential of cutting properties of the diamond grains on grinding wheels. Materials XI International scientific-practical conference "problems of design, production and operation of agricultural equipment". Kropyvnyts'ke: CSTS. 21–23.
8. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I.*, *Rogovskii, I. L.* (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЗЕРЕН АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

О. В. Сушко

Аннотация. *Проблема эффективности обработки синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) остается на данный момент достаточно актуальной. С целью повышения работоспособности алмазных кругов была поставлена задача выявить оптимальное сочетание марок, зернистостей, концентраций алмазных порошков с типом металлической связки, обеспечивающих минимальную дефектность спеченных шлифовальных кругов (с точки зрения определения условий максимального сохранения целостности зерен). В данной работе приведена методика определения динамической прочности зерен алмазоносного слоя шлифовальных кругов с целью выбора оптимального сочетания связок и повышения эффективности алмазного шлифования.*

Ключевые слова: ***сверхтвердые материалы, шлифовальные круги, алмазные зерна, динамическая прочность, алмазно-металлические композиции***

TECHNIQUE OF DEFINITION OF DYNAMIC STRENGTH GRAINS OF DIAMOND-BEARING LAYER

O. V. Sushko

Abstract. *The problem of the effectiveness of processing synthetic super hard materials remains to this day very relevant. In order to increase the robustness of diamond circles, the task was to find the optimal combination of grades, grains, concentrations of diamond powders with the type of metal bond, which ensure the minimum defect of sintered grinding wheels (in terms of determining the conditions for maximum preservation of the integrity of the grains). In this paper, the method of determining the dynamic strength of grains of the diamond-bearing layer of grinding wheels is given in order to select the optimal composition of the bond and increase the effectiveness of diamond grinding.*

Key words: ***superhard materials, grinding wheels, diamond grain, dynamic strength of diamond-metal compositions***