

УДК 631.171.075.3

DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-130-139

**АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА УМОВ СПІКАННЯ
АЛМАЗНО-МЕТАЛЕВИХ КОМПОЗИЦІЙ
З УРАХУВАННЯМ ОПТИМАЛЬНОГО ПОЄДНАННЯ
КОМПОНЕНТІВ В АЛМАЗОНОСНОМУ
ШАРІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ**

Сушко О. В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

Тел. (061) 42-13-54

Анотація – в статті наведений аналіз структури та умов спікання алмазно-металевих композицій з урахуванням оптимального поєднання компонентів в алмазноносному шарі спечених шліфувальних кругів.

Показано, що найважливішим фактором, що забезпечує працездатність алмазних шліфувальних кругів, є цілісність зерен, що їх складають. Доведено, що в експлуатацію потрапляють шліфувальні круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених в маркуванні. Тобто, такі круги не можуть реалізовувати очікувані показники алмазної абразивної обробки. З метою визначення умов, які забезпечують мінімальне руйнування алмазних зерен в процесі спікання кругів, досліджений процес виготовлення алмазних шліфувальних кругів на металевій зв'язці методом порошкової металургії. Визначені основні характеристики алмазноносного шару, які визначають його експлуатаційні властивості: марка алмазу, зернистість алмазного порошку, концентрація, марка зв'язки, її фізико-механічні та хімічні властивості. Розглянуті особливості етапів отримання інструменту: брикетування, спікання та гарячої допресовки з урахуванням оптимального вибору температури, що дозволяє знизити вихідну дефектність алмазних зерен та підвищити міцність та зносостійкість металеві композиції в цілому.

Ключові слова – синтетичні надтверді матеріали, абразивний інструмент, шліфувальні круги, алмазні зерна, шліфувальні порошки, металева зв'язка, алмазно-металеві композиції.

Постановка проблеми. Застосування синтетичних надтвердих матеріалів (НТМ) у різноманітних галузях народного господарства є

визначальним фактором вдосконалення вже існуючих та створення нових інструментів та інструментальних матеріалів, а також технологічних процесів, зниження собівартості продукції, покращення її якості, підвищення довговічності та надійності інструментів, деталей машин та приладів. Однак, залишається актуальною проблема ефективності обробки цих матеріалів.

Алмазне шліфування як традиційний процес обробки НТМ є дорогим та низькопродуктивним, часто характеризується нестабільною якістю оброблюваних виробів. Окрім того, інструмент, який при цьому застосовується, відрізняється високою витратою високо-вартісних алмазних зерен в процесі експлуатації. Існуючі марки зв'язок, які застосовуються в алмазних кругах, суттєво розрізняються за своїми властивостями міцності. Наприклад, тільки металеві зв'язки мають доволі широкий діапазон міцності від алюмінієвих до твердо-сплавних. Таким же широким діапазоном міцності характеризуються властивості алмазних шліфувальних порошоків [1, 2].

Методологія вибору оптимального поєднання властивостей міцності алмазних зерен та металеві зв'язки стосовно обробки конкретного оброблюваного матеріалу практично відсутня. Існуючі в літературі рекомендації щодо застосування тих чи інших алмазних зерен та металевих зв'язок носять доволі загальний характер та мають дуже великі діапазони. Такі рекомендації, з урахуванням високої вартості алмазних зерен (які можуть відрізнятися у сотні разів у залежності від марки зерна), призводять до низької ефективності їх використання та високої собівартості процесу алмазного шліфування, що суттєво стримує його застосування в процесах обробки [3].

Аналіз останніх досліджень. У даний час в Україні є декілька сотень марок зв'язок, які застосовуються в алмазних кругах. Ці зв'язки суттєво відрізняються за своїми властивостями міцності. Наприклад, лише металеві зв'язки мають доволі широкий діапазон міцності від алюмінієвих (ПМ12) до твердо-сплавних (ВК8). Таким же широким діапазоном характеризуються властивості міцності алмазних шліфпорошків від АС2 до АС160.

Як показують дослідження, не завжди обґрунтоване призначення рівня концентрації алмазних зерен в алмазних кругах призводить до нераціонального їх використання. 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 металеві зв'язки та алмазних зерен з точки зору збереження їх цілісності в процесі спікання алмазних кругів.

При виготовленні деталей з крихких неметалевих матеріалів основними процесами для отримання якісних поверхонь є шліфування

та полірування за допомогою абразивних порошоків у вільному та зв'язаному станах. Забезпечення ефективності про-цесу формоутворення виробів в кожному конкретному випадку можливе, якщо з'ясовані фізичні аспекти процесу руйнування крихких матеріалів при абразивній обробці [4]. Процес лезвійної обробки загартованих сталей різцями з НТМ завдяки високій якості є конкурентоздатним абразивній 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 [5].

Більшість дослідників схиляється до переваги використан-ня для вивчення та описання процесів руйнування крихких неметалевих матеріалів (зокрема, і при абразивній обробці) кінетичної теорії руйнування. Руйнування тіла є складним про-цесом, розвиток якого залежить від температури, швидкості навантаження, характеру напруженого стану, структури тіла, навколишнього середовища і т. ін. [6, 7].

Так, при фінішній обробці (полірування, доводка) переважаючим при руйнуванні буде термофлуктуаційний механізм розриву зв'язків. У разі силового шліфування (чорнові та напівчистові операції обробки конструкційних матеріалів, що супроводжуються зняттям значного припуску) процес руйнування матеріалу при формоутво-ренні можна умовно вважати таким, який здійснюється за рахунок виникнення та розвитку магістральних тріщин під дією механічних сил (сил різання). 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-деформованого стану в обробленому тілі та визначається енергетичними умовами процесу обробки [8].

Раніше в роботах [9,10,11] нами проаналізовано основні властивості та галузі використання існуючих шліфувальних порошоків та металевих зв'язок, що застосовуються для виготовлення алмазних кругів; розглянуті основні теорії руйнування крихких матеріалів; досліджена рекуперация алмазних зерен з алмазоносного шару круга та обрана раціональна методика вимірювання їх якості та розмірів. Однією з необхідних умов вирішення цієї проблеми слід вважати також дослідження процесу спікання алмазно-металевих композицій (з точки зору визначення умов максимального збереження цілісності зерен та можливості виявлення оптимального поєднання марок, зернистостей, концентрацій алмазних порошоків з типом металевої зв'язки), яке забезпечило б мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Робота присвячена аналізу структури та умов спікання алмазно-металевих композицій з урахуванням оптимального поєднання компонентів в алмазоносному шарі спечених шліфувальних кругів.

Основна частина. Якість роботи алмазного абразивного інструменту може змінюватися в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу, режимів експлуатації, але вирішальне значення має його конструкція, склад та якість алмазного порошку. Причому, технологічний спосіб формування структури алмазоносного шару істотно впливає на властивості готового інструменту, порівняно з властивостями компонентів, які використовуються при його виготовленні.

Одним з найважливіших показників, які забезпечують працездатність алмазних шліфувальних кругів, є цілісність зерен, що їх складають. Якщо зерна руйнуються, то в експлуатацію потрапляють шліфувальні круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених в маркуванні. Фактичний розмір зерен після спікання може у даному випадку бути у два або навіть більше разів менший розміру, який відповідає зернистості, що вказана на крузі [9]. Тоді й об'єм зішліфованого одиничним зерном матеріалу, і критична величина впровадження зерен у зв'язці, й умови їх утримання в ній будуть відрізнятися від аналогічних параметрів для кругів зі стандартними характеристиками. Тобто, такі круги не можуть реалізовувати очікувані показники алмазної абразивної обробки.

Параметрами, що значною мірою впливають на цілісність алмазних зерен, є технологічні особливості виготовлення кругів, а також вибір оптимального складу композиції, що підлягає спіканню. З метою визначення умов, які забезпечують мінімальне руйнування алмазних зерен в процесі спікання кругів, були проведені дослідження процесу виготовлення алмазних шліфувальних кругів на металевій зв'язці.

Алмазно-металеві композиції, з яких складається робочий шар шліфувальних кіл на металевих зв'язках, є різновидом композиційних матеріалів, які являють собою поєднання різнорідних компонентів з чіткою границею розділу: частинки алмазного порошку рівномірно розподілені та міцно закріплені в суцільній металевій матриці (зв'язці).

Головними характеристиками алмазоносного шару, які визначають його експлуатаційні властивості, які необхідно враховувати та задавати при виборі інструменту в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу та умов обробки, є марка алмазу, зернистість алмазного порошку, концентрація, марка зв'язки, її фізико-механічні та хімічні властивості.

Марка алмазного порошку визначається його працездатністю та ефективністю при виконанні того чи іншого виду обробки. Так як різальні властивості алмазно-абразивного інструменту покращуються зі збільшенням їх розміру, а чистота обробки покращується зі зменшенням їх розмірів, зернистість алмазного порошку є важливою характеристикою інструменту, правильність вибору якої визначає ефективність застосування інструменту [8].

Основним призначенням зв'язки є забезпечення необхідної міцності закріплення зерен алмазу в інструменті. Її властивості значною мірою визначають працездатність алмазного шліфувального круга (кола), її вибір залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, вимог до продуктивності та якості обробки, а також до стійкості круга. Кола на металевих зв'язках володіють найбільш високими міцністю та зносостійкістю, які можуть доволі у широких межах регулюватися властивостями компонентів, які входять у зв'язку. Склад металевих зв'язок різноманітний, та в залежності від нього, забезпечується відповідна ступінь міцності закріплення зерен в алмазоносному шарі.

Концентрація алмазного порошку в інструменті з-за високих абразивних якостей алмазу у середньому складає 25 % об'єму. Її визначають у залежності від властивостей оброблюваного матеріалу та вимог щодо продуктивності та якості обробки, але також вона залежить від зернистості круга, виду зв'язки та режиму роботи.

Усі перераховані характеристики алмазного шліфувального кола взаємопов'язані та в комплексі обумовлюють працездатність та властивості інструменту, в зв'язку з чим їх вибір є складною задачею: призначаючи кожен з них, необхідно враховувати їх вплив один на одного та на властивості інструменту в цілому.

Отримують алмазно-металеві композиції в основному методом порошкової металургії. Алмази змішують з шихтою зв'язки, яка виготовлена з порошоків металів, твердих сплавів, тугоплавких з'єднань та інших речовин. Технологія виготовлення алмазних шліфувальних кругів на металевих зв'язках включає брикетування алмазоносного шару, його спікання при температурі $T = (0,7 \div 0,8) \cdot T_{nz}$ основного компонента зв'язки та ущільнення при тієї ж температурі до безшпаристого стану [8,10], в результаті чого здійснюються фізичні та структурні зміни, підвищується міцність композицій.

Температури (500-850 °С), при яких здійснюється спікання, як правило, обмежуються термостійкістю алмазу та жароміцністю матеріалу прес-форм, тому при нагріванні протягом 1 години (звичайне нагрівання) окислення алмазів в брикеті невелике. Однак, композиції, що містять більш тугоплавкі з'єднання, для отримання високоякісного інструменту спікаються в спеціальних печах у вакуумі або в захисному

інертному середовищі чи середовищі водню. Тиск брикетування, при якому отримують міцні брикети зі шпаристістю не вище 15-20 %, для більшості металевих зв'язок складає 200-400 МПа [8]. Для зниження тиску брикетування та спікання у деяких випадках виконують в одній прес-формі. У цьому випадку тиск пресування може бути знижено до 50-150 МПа [2]; однак, це може ускладнити конструкцію прес-форм, знизити їх стійкість, підвищити металоємність та трудомісткість виготовлення. Тому за такою схемою виготовляють малими партіями тільки фасонні та спеціальні інструменти.

Гарячу допресовку проводять після спікання з метою ущільнення алмазоносного шару до необхідних розмірів, це дозволяє також підвищити міцність закріплення алмазів та зносостійкість композиції в цілому. Вибір температури допресовки враховує можливість появи рідкої фази, окислення зв'язки та алмазів, стійкість матеріалу прес-форм. Так, температура ущільнення зв'язок на основі мідь-алюміній-цинк знаходиться в інтервалі 750-870 °К, на основі мідь-олово-цинк – в межах 820-1020 °К, на основі залізо-кобальт-нікель – до 1100°К. Тиск гарячої допресовки складає 70-300 МПа [6].

Високотемпературні композиції на основі хрому, карбиду вольфраму, боридів та інших тугоплавких матеріалів, які володіють дуже малою пластичністю при 20°С, пресують гарячим способом у графітових прес-формах при одночасному спіканні. Високі температури (до 1500-1800 °К), які близькі до температур плавлення основного компоненту зв'язки, дозволяють при невеликих значеннях тиску (125-50 МПа) отримувати безшпаристі композиції. Висока продуктивність та стабільність властивостей, які отримують гарячим пресуванням обмежуються необхідністю використання разових графітових прес-форм, низькою точністю та високими температурами нагрівання.

Як показує виробничий досвід, у прес-формі не забезпечуються умови гідростатичності, що при тиску 300-400 МПа призводить до механічного дроблення алмазних зерен, вміст основної фракції порошку може зменшитися на 10-17 %. Температури спікання також негативно впливають на цілісність алмазних зерен, оскільки деякі з них є температурами початку окислення алмазу. Процес окислення в залежності від часу витримки може значно знизити міцність алмазних зерен та полегшити появу в них тріщин чи безпосередньо дроблення. Нагрівання до температур спікання призводить до розширення включень металу-розчинника, які зберігаються в алмазі після синтезу; внутрішній тиск, який при цьому створюється в зерні, викликає їх руйнування. В залежності від будь-якого способу спікання незруйнованими залишаються 10-40 % зерен композиційних алмазовмістких матеріалів [11].

Таким чином, на відміну від існуючих уявлень про структуру алмазоносного шару шліфувальних кругів як досконалу, можна стверджувати, що вона містить вихідну дефектність у вигляді ушкоджених алмазних зерен. З метою визначення умов, які б знизили цю дефектність, були проведені теоретичні дослідження процесу спікання алмазоносного шару.

Висновки.

Таким чином, на відміну від існуючих уявлень про структуру алмазоносного шару шліфувальних кругів як досконалу, можна стверджувати, що вона містить вихідну дефектність у вигляді ушкоджених алмазних зерен. В експлуатацію потрапляють шліфувальні круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених у маркуванні. Особливості порошків (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. Аналіз структури та умов брикетування, спікання та допресовки є основою подальших досліджень напружено-деформованого стану процесу спікання з метою підвищення ефективності процесу алмазного шліфування.

Література:

1. Ардамацкий А.Л. Алмазная обработка оптических деталей / А.Л. Ардамацкий. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1978. – 232 с.
2. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – 2007. – 17 с.
3. Механика разрушения и прочность материалов. Спр. пособ. в 4-х томах (под ред. В.В. Панасюка). – Киев: Наукова думка, 1988, т.3.
4. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids / A.A. Griffith // Phil. Trans. Roy. Soc., ser. A. – 2000, V.221. – P.163-198.
5. Си Г. Математическая теория хрупкого разрушения / Г.Си, Г. Либовиц // Разрушение. – М.: Мир, т. 2, 1975. – с. 13-82.
6. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел (Термофлуктуационный механизм разрушения) / С.Н. Журков // Вестник АН СССР. – М. – 1978, 3№. – с. 46-52.
7. Новиков Н.В. Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов / Н.В Новиков, А.Л. Майстренко, В.Н. Кулаковский. – Киев: Наук. думка, 2003. – 220 с.
8. Лоладзе Т.Н, Износ алмазов и алмазных кругов / Т.Н. Лоладзе, Г.В. Бокучава – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с. Сушко О.В. Аналіз властивостей алмазних зерен в абразивних інструментах / О.В. Сушко // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, ТДАТУ, 2017. – Вип. 17, Т. 2. – с. 177-181.

9. Тарасенко В.В., Сушко О.В. Аналіз існуючих теорій руйнування крихких матеріалів / В.В. Тарасенко, О.В. Сушко // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016. – Вип. 16, Т. 2. – с.131-139.

10. Сушко О.В. Методика рекуперації алмазного порошку з алмазоносного шару шліфувальних кругів. / О.В. Сушко // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, ТДАТУ, 2017. – Вип. 18, Т. 3. – с. 117-124.

11. O. Sushko, S. Kiurchev and oth. Grains Dynamic Strength Determination and the Optimal Combination of Components of a Diamondiferous Layer of Grinding Wheels / Sushko O // Modern Development Paths of Agricultural Production. Trend and Innovations. – Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, 2019. – p. 259-266.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И УСЛОВИЙ СПЕКАНИЯ АЛМАЗНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ С УЧЕТОМ ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В АЛМАЗОНОСНОМ СЛОЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

О. Сушко

Аннотация – в статье приведен анализ структуры и условий спекания алмазно-металлических композиций с учетом оптимального сочетания компонентов в алмазоносных слое спеченных шлифовальных кругов. Отмечено, что важнейшим фактором, обеспечивающим работоспособность алмазных шлифовальных кругов, является целостность входящих в них зерен. Показано, что в эксплуатацию попадают шлифовальные круги с характеристиками, которые существенно отличаются от приведенных в маркировке. То есть, такие круги не могут реализовывать ожидаемые показатели алмазной абразивной обработки.

С целью определения условий, обеспечивающих минимальное разрушение алмазных зерен в процессе спекания кругов, исследован процесс изготовления алмазных шлифовальных кругов на металлической связке методом порошковой металлургии. Определены основные характеристики алмазоносного слоя, определяющие его эксплуатационные свойства: марка алмаза, зернистость алмазного порошка, концентрация, марка связки, ее физико-механические и химические свойства. Рассмотрены особенности этапов получения инструмента: брикетирования, спекания и горячей допрессовки с учетом оптимального выбора температуры, что позволяет снизить

исходную дефектность алмазных зерен и повысить прочность и износостойкость металлической композиции в целом.

Ключевые слова - синтетические сверхтвердые материалы, абразивный инструмент, шлифовальные круги, алмазные зерна, шлифовальные порошки, металлическая связка, алмазно-металлические композиции.

ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND SINTERING CONDITIONS OF DIAMOND-METAL COMPOSITIONS, TAKING INTO ACCOUNT THE OPTIMAL COMBINATION OF COMPONENTS IN DIAMOND-CUTTING LAYERS OF GRINDING WHEELS

O. Sushko

Summary

The use of synthetic superhard materials (SHM) in various sectors of the economy is a determining factor for improving existing and creating new tools and instrumental materials, as well as technological processes, reducing production costs, improving their quality, and increasing the service life of machine parts and tools. However, there remains the problem of increasing the processing efficiency of these materials.

Diamond grinding as a traditional SHM machining process is expensive and low-productive, often characterized by the unstable quality of the products being machined. Existing brands of binder and diamond grinding powders used in diamond wheels differ significantly in their strength properties. The recommendations in the literature for the use of diamonds and metallic bonds are quite general and have very wide ranges. Such recommendations, given the high cost of diamond grains (which can vary hundreds of times depending on the brand of grain), lead to low efficiency of their use and high cost of the diamond grinding process, which significantly impedes its use in the processing process.

The article analyzes the structure and conditions of sintering of diamond-metal compositions, taking into account the optimal combination of components in the diamond layer of sintered grinding wheels. It is shown that the most important factor in ensuring the performance of diamond grinding wheels is the integrity of the grains that make them. It is proved that grinding wheels with characteristics that differ significantly from those given in the marking come into

operation. That is, such circles cannot meet the expected performance of diamond abrasive machining.

To determine the conditions that ensure the minimum destruction of diamond grains during sintering of the wheels, we studied the process of manufacturing diamond grinding wheels on a metal binder by powder metallurgy. The basic characteristics of the diamond-bearing layer are determined, which determine its performance properties: diamond brand, grain of diamond powder, concentration, bond brand, its physics-mechanical and chemical properties. The features of the stages of obtaining the tool are considered: briquetting, sintering and hot pressing, taking into account the optimal temperature choice, which allows reducing the initial defect of diamond grains, increase the strength and durability of the metal composition as a whole.

Keywords are synthetic superhard materials, abrasive tools, grinding wheels, diamond grains, grinding powders, metal bonding, diamond metal compositions.