

В.І. Лавріненко, Є.О. Пашенко, доктори технічних наук¹;
В.В. Скрябін¹, В.Ю. Солод², Л.А. Проць³, кандидати технічних наук

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, 04074, м. Київ, e-mail: lavrinen52@gmail.com

²Дніпровський державний технічний університет МОН України,
вул. Дніпробудівська, 2, Дніпропетровська обл., 51918, м. Кам'янське

³Ужгородський національний університет МОН України,
пл. Народна, 2, 88000, м. Ужгород

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В ОТРИМАННІ ТА ЗАСТОСУВАННІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ОТРИМАНОВОГО ЗА РАХУНОК АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (ОГЛЯД)

Алмазно-абразивний інструмент широко застосовується у промисловості у процесах алмазно-абразивної обробки і нині стає актуальним можливість застосування адитивних технологій для його виготовлення. В статті зупинена переважна увага на сучасних публікаціях, пов'язаних із технологіями 3D-друку робочого шару шліфувальних кругів на металічних зв'язках, в т. ч. технологією селективної лазерної плавки (SLM). Встановлено, що висока об'ємна концентрація і дрібна зернистість алмазних частинок з більшою ймовірністю викликають агломераційну поведінку, яка призводить до більшої кількості пор і тріщин, тим самим знижуючи відносну густину шліфувального круга і міцність матриці, але це сприяє оголенню алмазних частинок, тобто кращому самозаточуванню 3D-круга. Показано, що між цифровими моделями і зразками, надрукованими SLM, зберігається гарна відповідність морфології пор. Для технології SLM шляхом моделювання і експериментальних результатів були виявлені міграція і маргіналізація алмазних частинок під час утворення зони розплаву. Ці результати мають потенційну цінність для розуміння і оптимізації процесу виготовлення алмазних інструментів з металічною зв'язкою методом SLM. Проаналізовано вплив параметрів кульового дроблення на підготовку частинок композитного порошку алмазу з покриттям Ni-Ti, а також вплив параметрів обробки при лазерній плавці порошкового шару на ущільнення і дефектність виготовлених зразків. Наведена низка шліфувальних кругів, виготовлених 3D-друком.

Ключові слова: алмазно-абразивний інструмент, адитивні технології, металічні зв'язки, селективна лазерна плавка, алмазні зерна.

Вступ

Високопродуктивні шліфувальні круги є критично важливими інструментами для створення прецизійної поверхні. В процесах прецизійного шліфування подача охолоджувальної рідини на межі круга і заготовки має вирішальне значення для зниження температури шліфування і шкідливого тертя. Для кращого змашування і продуктивності видалення стружки порожнини або пори повинні бути створені по усьому шліфувальному кругу. Традиційні методи проектування і виготовлення шліфувальних кругів можуть тільки пасивно створювати закриті круглі пори із застосуванням пороутворюючих агентів. Збільшення процента пор таким чином, як правило, призводить до неконтрольованого зниження механічної міцності, в той час як закриті пори недостатні для ефективності охолодження. У статті висвітлено сучасні розробки у створенні шліфувального інструменту

методами 3D-друку, а саме – проектування та виготовлення шліфувальних кругів із періодичною структурою робочого шару.

Для вирішення конкретних питань продуктивної та якісної обробки сучасних інструментальних та композиційних матеріалів дослідники у багатьох випадках застосовують розробку спеціальних абразивних кругів. Метою статті є зупинення уваги на сучасних (переважно 2024 р.) публікаціях, пов'язаних із новими конструкціями кругів, їх функціональним робочим шаром та новітніми адитивними технологіями їх отримання.

Аналіз сучасних досліджень

Свого часу ми звернули увагу на позитивні аспекти наявності внутрішнього пористого простору як в робочому шарі алмазних шліфувальних кругів [1], так і в алмазних зернах [2]. Особливе значення це має саме для шліфувального інструменту, на що зроблено акцент і у невеликому огляді [3]. Сучасні дослідники також приділяють цьому увагу. Так, в статті [4] були розроблені рейкошліфувальні круги з різною пористістю. Результати показують, що структура пор може зменшити тепловий вплив, спричинений шліфуванням. Важливо, що ефективність подрібнення покращується, а зусилля/тепло подрібнення зменшується зі збільшенням пористості (рис. 1). Тобто такі пористі круги значно зменшують тертя і температуру в зоні шліфування.

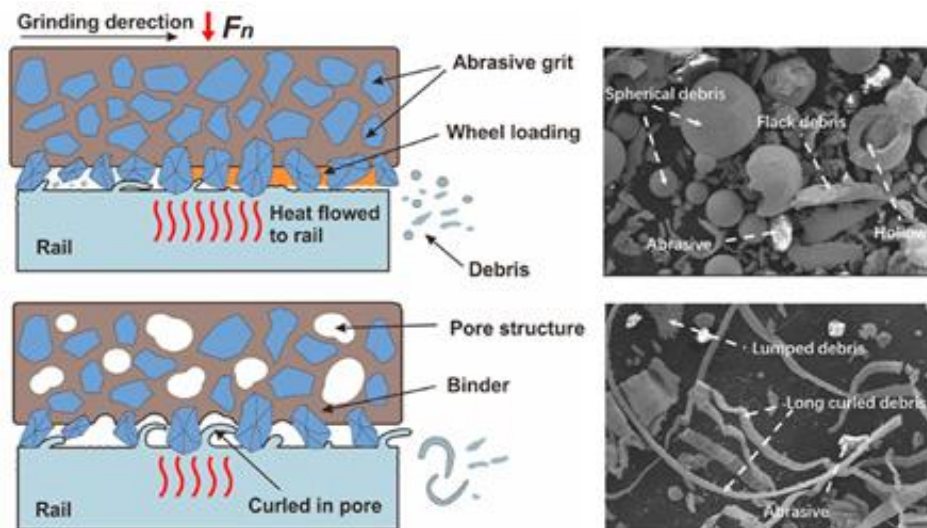


Рис. 1. Порівняння структури та відмінності стружки при застосуванні суцільних і пористих кругів для шліфування рейок [4]

У роботі [5] запропоновано нову стратегію використання інтерметалідної сполуки Cu_6Sn_5 у якості металічної зв'язки для алмазних шліфувальних кругів, призначених для обробки пластин SiC . Запропоноване рішення забезпечує значне підвищення довговічності інструменту та дозволяє здійснювати обробку з низьким рівнем пошкоджень оброблюваної поверхні. Кульовий млин для порошку Cu_6Sn_5 застосували для ефективного зменшення розміру частинок, збільшення вмісту кисню і реалізації поверхневої керамізації інтерметалічного порошку. Крихкість спеченого блока Cu_6Sn_5 підвищується за рахунок утворення хімічних зв'язків Sn-O на поверхні порошку. Застосування дробленого в кульовому млині порошку Cu_6Sn_5 як зв'язки для підготовки алмазних шліфувальних кругів для шліфування пластин SiC дозволило досягти гарних показників шліфування (рис. 2).

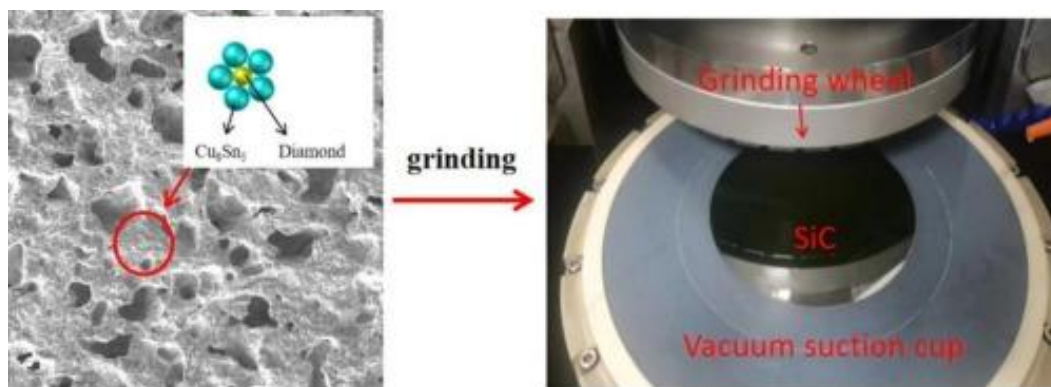


Рис. 2. Структура ріжучої поверхні круга з інтерметалічною сполукою Cu_6Sn_5 для якісного шліфування пластин SiC [5].

Для нас такі дослідження є цікавими з точки зору застосування новітніх технологій 3D-друку шліфувального інструменту із збільшеною пористістю, особливо для металічних зв'язуючих. Саме тому, в даному огляді основна увага і приділена викладенню сучасних розробок, пов'язаних із вказаними вище питаннями.

Виклад основного матеріалу

Алмазні шліфувальні круги на металічній зв'язці викликають велику увагу завдяки своїм характеристикам з точки зору міцності зв'язки, зносостійкості і збереження форми. У порівнянні із алмазними шліфувальними кругами на полімерній і керамічній зв'язці, для кругів на металічній зв'язці складніше створювати пори із застосуванням традиційного процесу пресування-спікання. В дослідженні [6] селективна лазерна плавка (SLM) прийнята у якості процесу формування для реалізації виготовлення алмазних шліфувальних кругів на металічній зв'язці із решітчастими структурами на основі потрібної періодичної мінімальної поверхні (triplly periodic minimal surface – TPMS). Сировина для шліфувальних кругів, надрукованих методом SLM, складається з порошку AlSi10Mg (розмір частинок: 15–53 мкм) і алмазних абразивних зерен (розмір зерна: 26–36 мкм), а об'ємне співвідношення зв'язуючого AlSi10Mg до алмазного абразиву складає 85:15 %. В процесі виготовлення шліфувального круга, надрукованого методом SLM, порошок AlSi10Mg селективно розплавляється шар за шаром відповідно до попередньо розробленої цифрової моделі, а надалі розплавлений порошок утворює численні розплавлені ванни для інкапсуляції алмазних частинок, сприяючи ефективному зв'язуванню між порошком сплаву і алмазними частинками. Вихідні цифрові моделі мають розмір елементарної комірки 1 мм, пористість 0,6 і загальний розмір $\varnothing 12 \times 12 \times 6$ мм. Між цифровими моделями і зразками, надрукованими SLM, зберігається гарна відповідність морфології пор. Для оцінки формуваності трьох типів TPMS-решіток виготовляються кубічні пористі структури. Їхній розмір елементарної комірки та пористість відповідають параметрам зразків, виконаних у формі шліфувальних кругів. Рис. 3 а–в та рис. 3 г–е ілюструють макро- і мікроморфологію пористих структур на основі TPMS. Встановлено, що кубічні структури на основі TPMS гарно сформовані з чітко видимими елементарними комірками [6].

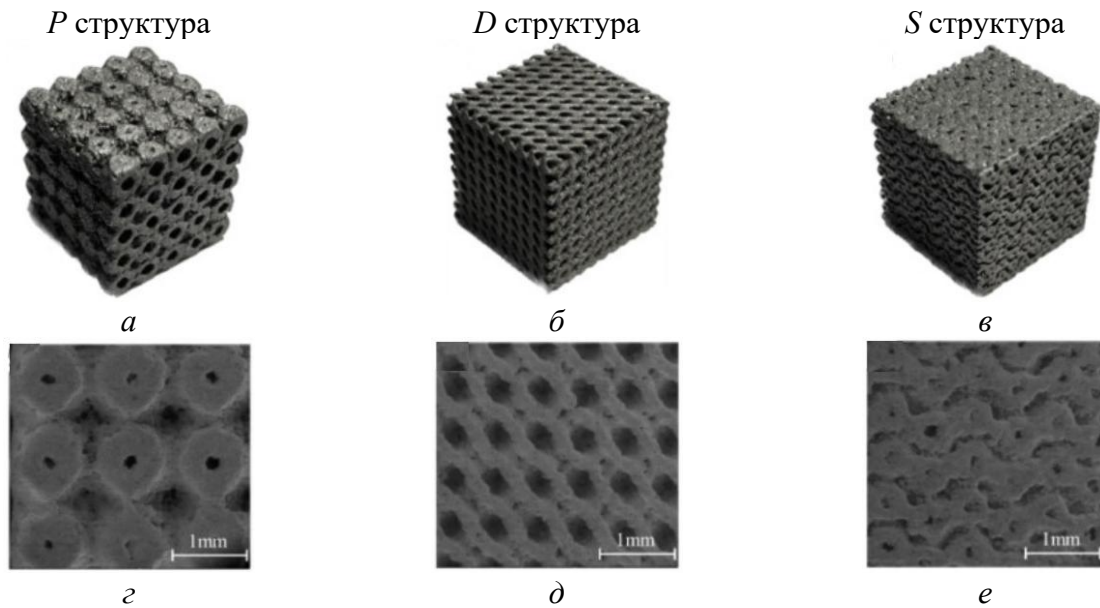


Рис. 3. Макро- і мікроморфологія кубічних пористих структур на основі TPMS [6]

В статті [7] представлено іншу стратегію виготовлення 3D-друком шліфувальних інструментів з умовно кристалічною структурою із застосуванням технології багатоструменевого синтезу (*multi jet fusion – MJF*), і п'ять структур були вибрані для оцінки її здійсності та досягнення продуктивності шліфування. Аналіз результатів свідчить, що кристалічна структура забезпечує однакову макроскопічну жорсткість інструментів і сприяє мікроскопічній анізотропії податливості (рис. 4).

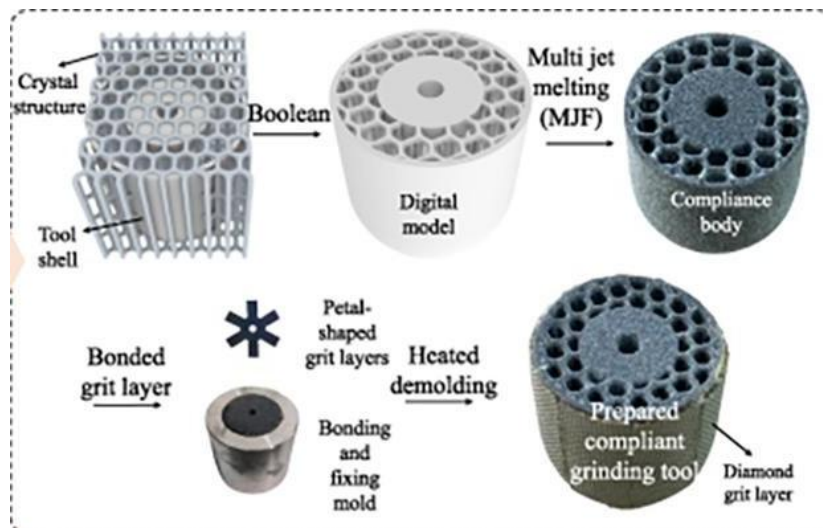


Рис. 4. Схематична послідовність отримання алмазного інструменту кристалічної структури методом 3D-друку [7]

Кристалічна структура посприяла зменшенню коефіцієнта виривання зерна більш ніж на 82,60 %, а також полегшила адгезію і запобігла відшаруванню абразивного шару, що привело до подовження терміну служби інструменту. Крім того, шліфувальні інструменти з

кристалічною структурою дозволяють досягати: кращої здатності видалення матеріалу, меншої шорсткості поверхні та вищої енергоефективності. Крім того, вони використовували лише від 29,06 % до 36,22 % матеріалів, на відміну від інструмента із щільною структурою. Показово, що швидкість видалення матеріалу інструмента із зірчастою структурою може досягати 94,72% інструмента із щільною структурою. Інструмент з алмазною структурою продемонстрував найнижчий рівень Ra , що супроводжувалося зниженням температури шліфування на 19,4 °С [7].

Для вирішення проблем алмазного шліфувального круга на металічній зв'язці при шліфуванні деталей з твердих і крихких матеріалів, таких як незадовільна охолоджувальна здатність і недостатнє самозаточування, запропоновано [8] алмазний шліфувальний круг з лінійними охолоджувальними каналами (GWLCC), надрукований на 3D-принтері (рис. 5).

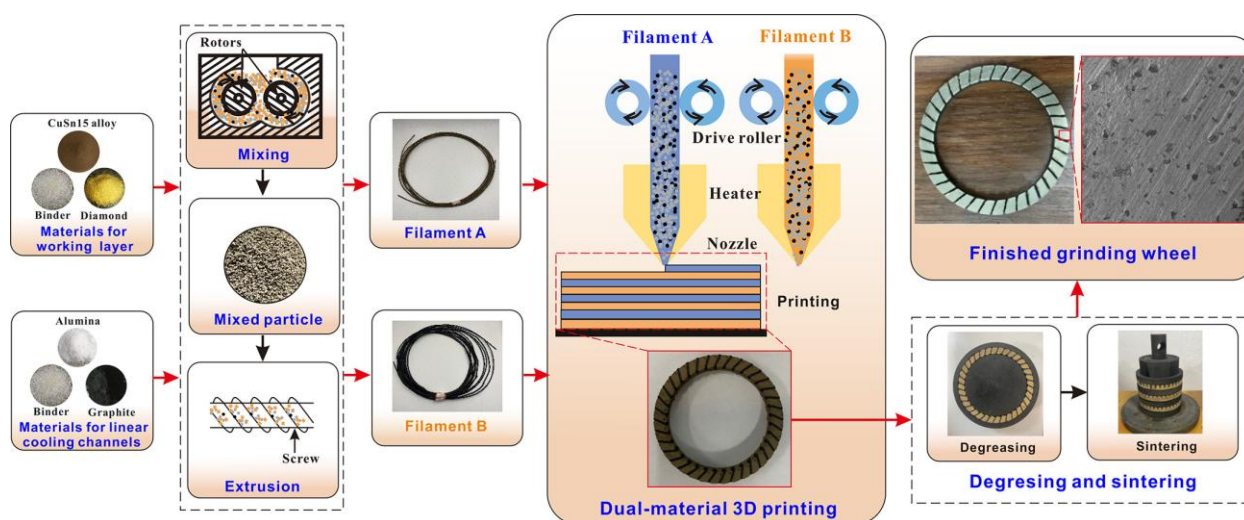


Рис. 5. Схематична послідовність отримання алмазного інструменту кристалічної структури методом 3D-друку [8].

Нові шліфувальні круги з різними параметрами алмаза були виготовлені із застосуванням технології двониткового FDM 3D-друку. Експерименти засвідчили, що висока об'ємна концентрація і дрібна зернистість алмазних частинок з більшою ймовірністю викликають агломераційну поведінку, яка призводить до більшої кількості пор і тріщин, тим самим знижуючи відносну щільність шліфувального круга і міцність матриці, але це сприяє оголенню алмазних частинок. Ефективність шліфування таким алмазним кругом позитивно корелює з об'ємною концентрацією і розміром зерна алмаза [8].

Деякі дефекти, такі як дрібні пори, термічне пошкодження алмазних частинок і мікротріщини між алмазом та металічною матрицею є присутні в алмазних інструментах, виготовлених методом SLM. В статті [9] розроблена модель чисельного моделювання мультифізичного поля, основана на обчислювальній гідродинаміці, для дослідження еволюції розплавленої ванни і механізму утворення дефектів в алмазних композитах CuSn20, виготовлених методом SLM. За результатами моделювання, металічні частинки плавляться і течуть вперед під дією лазера (рис. 6).

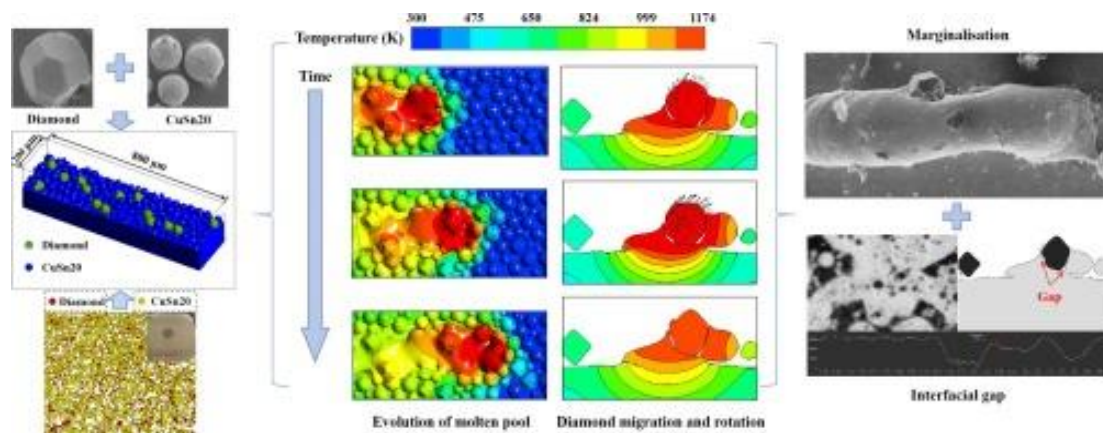


Рис. 6. Особливості поведінки алмазних зерен як за результатами моделювання, так і в реальних експериментах [9]

Також наявність алмазних частинок може перешкоджати нормальній текучості розплавленої зв'язки CuSn20. Збільшення потужності лазера може розширити і стабілізувати ванну розплаву, але усугубить термічне пошкодження алмазних частинок. Так, шляхом моделювання і експериментальних результатів були виявлені міграція і маргіналізація алмазних частинок під час утворення зони розплаву. При цьому в області міжфазного шару між алмазом і сполукою Cu–Sn20 неминуче виникають розриви. Їхня поява зумовлена впливом температурного градієнта, відмінностями теплофізичних властивостей матеріалів, а також неперервною міграцією та обертальним рухом алмазних частинок. Отримані результати є цінними для розуміння та подальшої оптимізації процесу селективного лазерного спікання (SLM) для виготовлення алмазних інструментів з металічною зв'язкою.

В статті [10] проаналізовані характеристики і величина зносу абразивного інструмента, надрукованого методом селективного лазерного спікання (SLS) (рис. 7) і призначеного для одностороннього доведення технічної кераміки Al₂O₃.

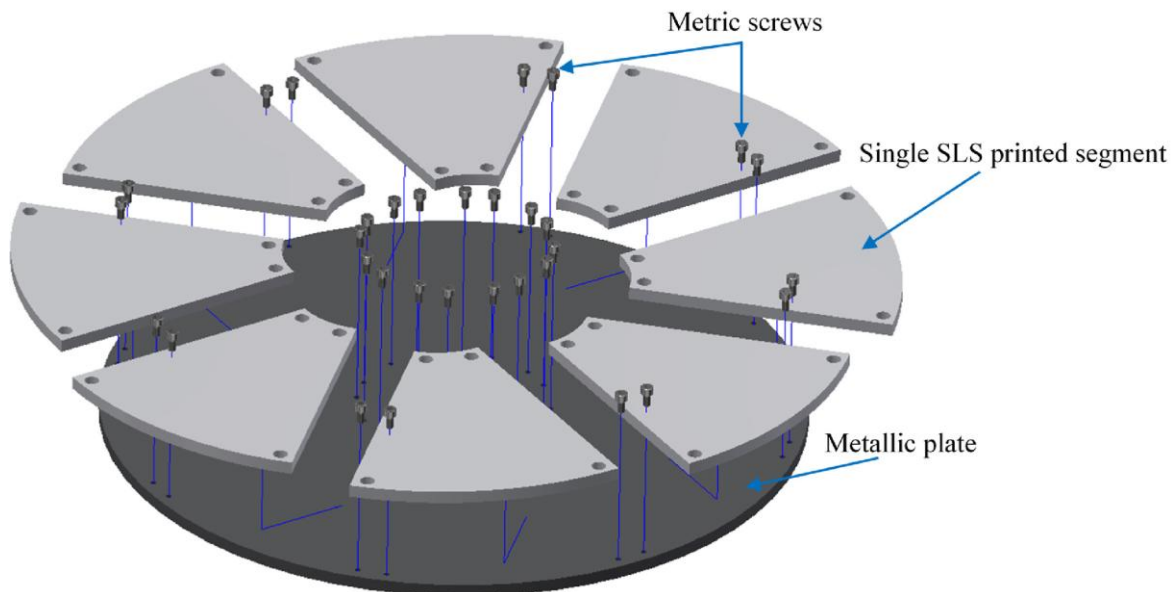


Рис. 7. Збірний абразивний інструмент, сегменти якого надруковані методом SLS [10]

Цей метод показав не тільки ефективну продуктивність обробки кераміки, але і відносно низький абразивний знос. Топографія поверхні доводочного інструмента залежить від інтенсивності зносу інструмента і, як наслідок, від погрішності його форми. Прийнятий комплекс технологічних параметрів дозволив добитися суттєвого згладження обробленої поверхні кераміки і зниження значень параметрів шорсткості з вихідного рівня $Sa= 1,84$ мкм, $Sq= 2,24$ мкм до значень $Sa= 0,64$ мкм, $Sq= 0,96$ мкм після 600 хв. доведення.

В статті [11] представлено інноваційний метод проектування складного рисунка для фіксованих абразивних накладок (рис. 8), що дозволяють усунути неоднорідність обробки і пасиваційне блокування, що виникає через нерівномірний потік притирки, тиску і полів швидкості при притирці.

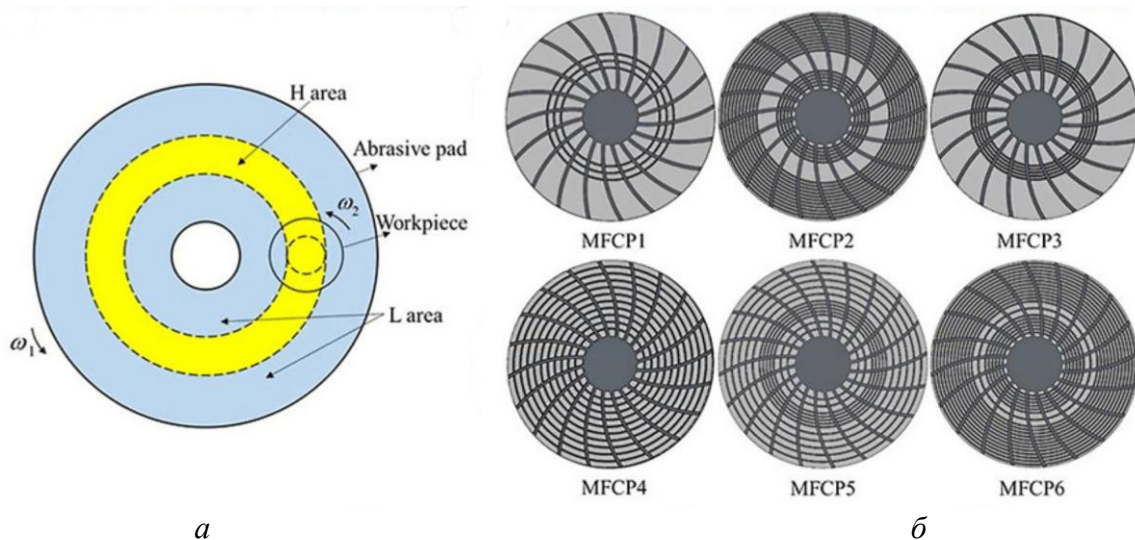


Рис. 8. Розроблені складні абразивні накладки, поєднані зі спіральною канавкою і концентричною мікроканавкою [11]

На основі моделі розроблена складна абразивна накладка, поєднана зі спіральною канавкою і концентричною мікроканавкою. Проведено порівняльні експерименти із сітчастою абразивною накладкою. Результати свідчать, що ефект уникнення зашламлення і пасивації складної абразивної накладки поліпшується, а розподіл тиску оптимізується. У порівнянні з абразивною подушкою у вигляді сітки, в діапазоні тисків 20–70 Н шорсткість поверхні Ra сапфіра знижується на 6,4–25,42 %, зменшуються такі дефекти, як ямки крихкого руйнування і подряпини на поверхні заготовки, і якість поверхні заготовки значно поліпшується [11].

Заключними у нашому невеликому огляді є дві публікації, присвячені розробці металічних порошків для отримання алмазних інструментів технологією 3D-друку.

Для такої технології важливо звертати увагу на вихідний порошок для лазерного спікання. Лазерне сплавлення порошкового шару (L-PBF) дозволяє отримувати індивідуальні структури шляхом пошарового сплавлення металічних порошків. Вплив на сипучість і якість шару порошку контролювався за допомогою спеціально розроблених експериментів і тестів на зсув порошку. Окиснення порошку покращило технологічність L-PBF шляхом покращення однорідності розподілу порошку та формування стабільних лазерних кульок (рис. 9).

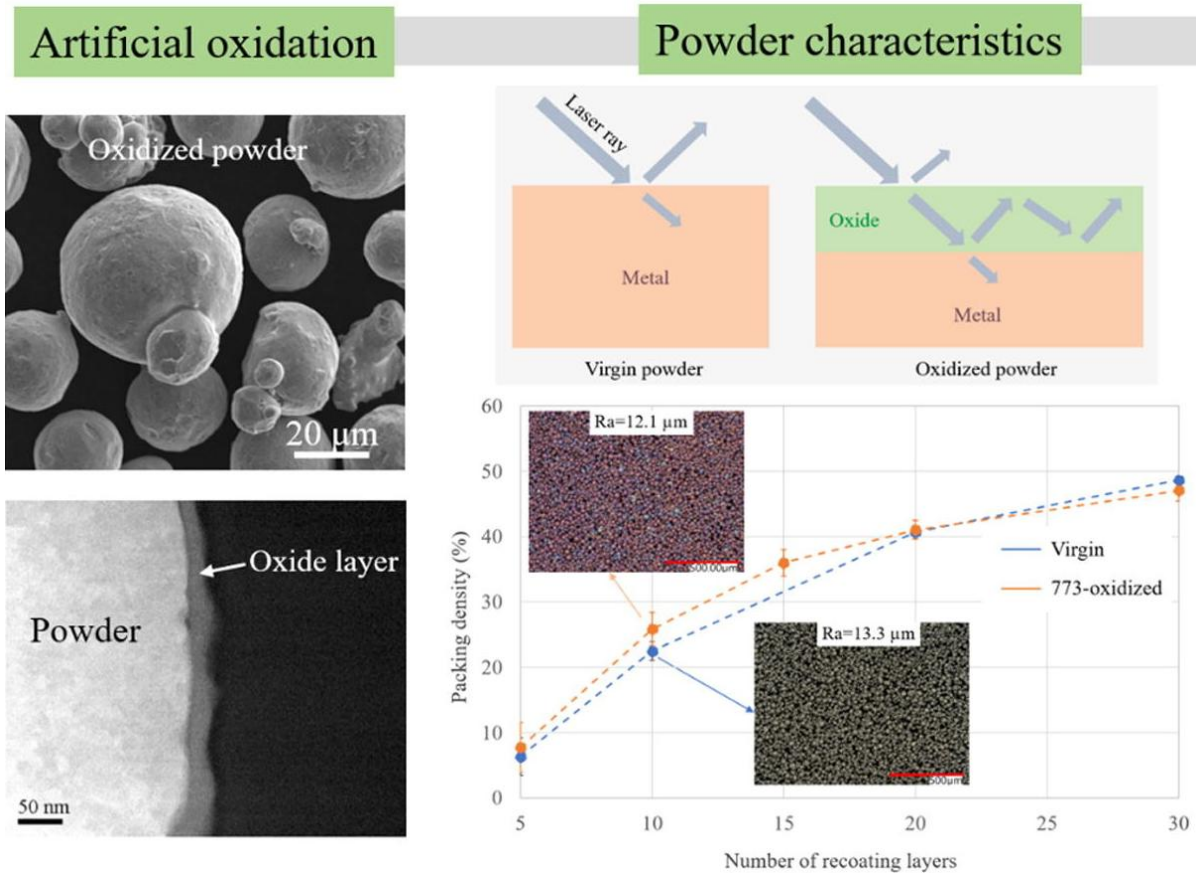


Рис. 9. Особливості впливу окисненого шару на металевих порошках на їх властивості для лазерного сплавлення порошкового шару (L-PBF) [12]

Застосуванням при L-PBF сильно окиснених порошків був синтезований сплав нержавіючої сталі з керамічним покриттям, армований однорідними оксидами на основі (Si, Mn). Встановлено, що механічна міцність цього сплаву подібна до того, що був отриманий з використанням первинних порошків [12].

Як було нами показано вище, композитам з металічною матрицею (ММК) приділяється все більше уваги, особливо стосовно умов адитивного виробництва. В дослідженні [13] частинки алмазу (рис. 10) спочатку вкривали тонкими шарами титану і нікелю, щоби забезпечити щільне поєднання з нікелевою матрицею. Проаналізовано вплив параметрів кульового дроблення на підготовку частинок композитного порошку алмаз/N6 з покриттям Ni-Ti, а також вплив параметрів обробки при лазерній плавці порошкового шару на ущільнення і дефектність виготовлених зразків. Із застосуванням оптимізованого композитного порошку комплект алмазних ММК з покриттям Ni-Ti/N6 виготовляється при потужності лазера 150, 160 і 170 Вт та швидкості сканування 250 мм/с і зразки ММК мають відносну щільність більше 99 % [13].

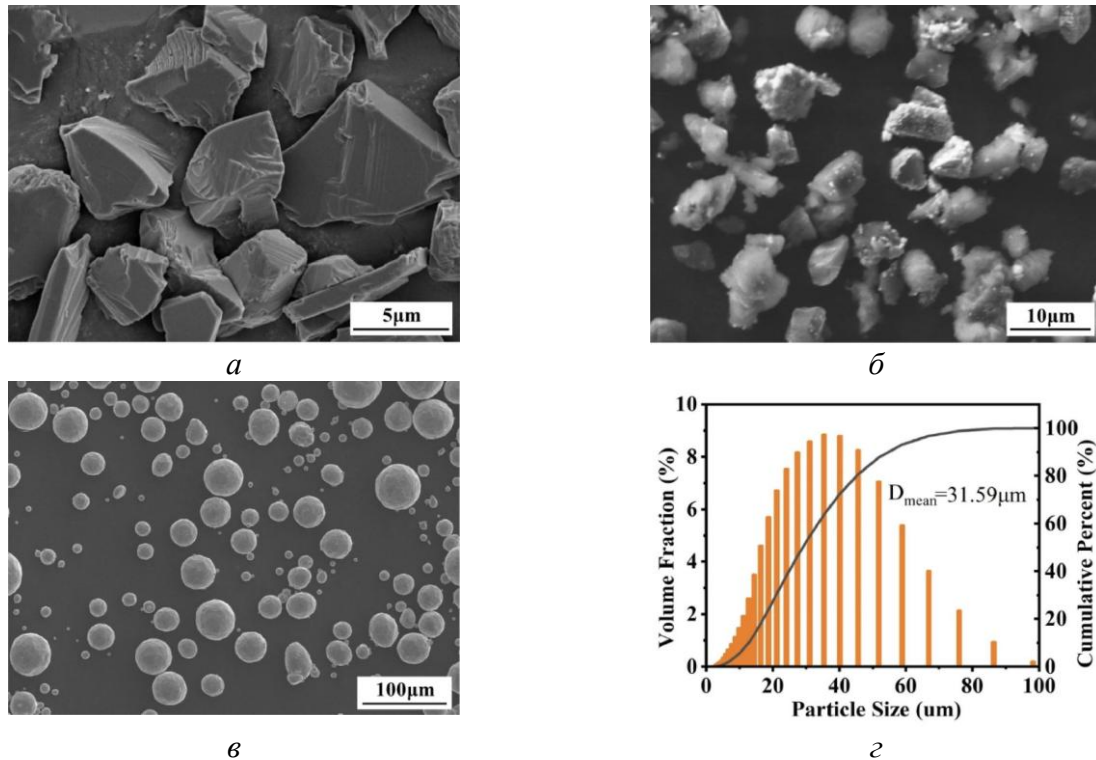


Рис. 10. Вихідна сировина: (а) полігональні алмазні частинки, (б) алмазні частинки з покриттям Ni–Ti, (в) частинки порошку Nb і (г) розподіл частинок за розміром Nb [13]

Висновки

Аналіз літературних даних свідчить про те, що нині стає актуальним для алмазно-абразивного інструменту можливість застосування адитивних технологій для його виготовлення. Сучасні дослідники приділяють переважну увагу розробкам, пов'язаним із технологіями 3D-друку робочого шару шліфувальних кругів на металічних зв'язках, в т. ч. технологією селективної лазерної плавки (SLM). Встановлено, що висока об'ємна концентрація та дрібна зернистість алмазних частинок сприяють їх агломерації. Це явище призводить до утворення пор і тріщин, що знижує відносну густину шліфувального круга та міцність матриці. Однак воно ж сприяє кращому оголенню алмазних зерен і, як наслідок, підвищує ефективність самозаточування круга, виготовленого методом 3D-друку. Методами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень технології SLM виявлено міграцію та маргіналізацію (виштовхування) алмазних частинок у зоні розплаву. Отримані результати є цінними для розуміння механізмів формування структури та оптимізації режимів виготовлення алмазних інструментів з металічною зв'язкою методом SLM.

В роботі також проаналізовано вплив:

- параметрів кульового подрібнення на якість підготовки композитного порошку алмаз–Ni–Ti;
- режимів лазерного спікання на ущільнення та дефектність одержаних зразків.

V. Lavrinenko, E. Pashchenko, V. Skryabin¹, V. Solod², L. Prots³

¹V. N. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine

²Dniprovsk State Technical University, Ukraine

³Uzhgorod National University, Ukraine

MODERN DEVELOPMENTS IN RECEIVING AND USING DIAMOND ABRASIVE TOOLS OBTAINED THROUGH ADDITIVE TECHNOLOGIES (REVIEW)

Diamond-abrasive tools are widely used in industry in the processes of diamond-abrasive processing, and now the possibility of using additive technologies for its production is becoming relevant for them. The article focuses mainly on modern publications related to 3D printing technologies of the working layer of grinding wheels on metal connections, including selective laser melting (SLM) technology. It was established that the high-volume concentration and small grain size of diamond particles are more likely to cause agglomeration behavior, which leads to more pores and cracks, thus reducing the relative density of the grinding wheel and the strength of the matrix, but this contributes to the exposure of diamond particles, that is, better self-sharpening of the 3D wheel. It is shown that between the digital models and the samples printed by SLM, a good correspondence of the pore morphology is maintained. For the SLM technology, the migration and marginalization of diamond particles during the formation of the melt zone were revealed through modeling and experimental results. These results have a potential value for understanding and optimizing the process of manufacturing diamond tools with metal bonding by the SLM method. The influence of ball forging parameters on the preparation of particles of composite diamond powder with Ni-Ti coating, as well as the influence of processing parameters during laser melting of the powder layer on compaction and defectiveness of the manufactured samples, was analyzed. Here is a series of 3D printed grinding wheels.

Key words: diamond abrasive tool, additive technologies, metal connections, selective laser melting, diamond grains.

Література

1. Lavrinenko V.I.. Porosity and water absorbability of tool composite materials as factors of improving wear resistance of superabrasive grinding wheels. Part 2. Water freezing in porous space of superabrasive composites. *Journal of Superhard Materials*. 2019. Vol. 41, N 3. P. 185–188.
2. Lavrinenko V.I. Recent developments in diamond processing and surface modification techniques for tailoring properties of diamond grains: a review. *Journal of Superhard Materials*. 2024. Vol. 46, N 6. P. 462–461.
3. Лаврінєнко В.І., Смоквіна В.В., Бологов П.І., Солод В.Ю., Кашинський І.С. Сучасні напрацювання в розробках спеціальних абразивних та алмазних кругів. *Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матер. 24-ї Міжн. наук.-практ. конф.* Київ, 24–26 вересня 2024 р. АТМ України. Київ, 2024. С. 77–81.
4. Yuan Y., Zhang W., Zhang P., Fan X., Zhu M. Porous grinding wheels toward alleviating the pre-fatigue and increasing the material removal efficiency for rail grinding. *Tribology International*. 2021. Vol. 154. P. 106692.
5. Chen S., Li H., Kang X., Jiang Y., Ma W., Yan X., He Y. Preparation and properties of Cu₆Sn₅ intermetallic-bonded diamond grinding wheel for thinning SiC wafer. *Diamond and Related Materials*. 2025. Vol. 152. P. 111874.
6. Ye M., Wang D., Wang L., Zhang Y., Xuekun L. Optimal design and performance evaluation of grinding wheels with triply periodic minimal surface lattice structure. *Journal of Materials Research and Technology*. 2024. Vol. 32. P. 3181–3193.

7. Li M., Huang Y., Wang W., Yan S., Liu Y., Zou L. A novel 3D printed compliant ball-end grinding tool with crystal structure: Feasibility and performance analysis. 2024. *Materials & Design*. Vol. 237. P. 112591.
8. Zhang W. Q., Li Y., Zhang S., Kong X., Rong L., Xiao Y., Li H., Ding Z. Diamond parameter design and assessment of a novel 3D printed diamond grinding wheel with linear cooling channels. *Diamond and Related Materials*. 2024. Vol. 150. P. 111760.
9. Xu Y., He Y., Huang G., Sun Y., Li T., Xu X. Numerical simulation and experimental investigation of the molten pool evolution and defects formation mechanism of Selective laser melted CuSn20/Diamond composites. *Materials & Design*. 2024. Vol. 243. P. 113082.
10. Deja M., Zieliński D., Agebo S. W. Study on the wear characteristics of a 3D printed tool in flat lapping of Al₂O₃ ceramic materials. *Wear*. 2024. Vol. 556–557. P. 205515.
11. Bao Z., Fang C., Hu Z., Yan Z. Research on composite pattern design and lapping performance of fixed abrasive pads controlled by multi-physical fields. *Precision Engineering*. 2024. Vol. 91. P. 14–26.
12. Zhou W., Takase N., Dong M., Watanabe N., Guo S., Zhou Z., Nomura N. Elucidating the impact of severe oxidation on the powder properties and laser melting behaviors. *Materials & Design*. 2022. Vol. 221. P. 110959.
13. Zhang S., Ding M., Wang L., Ge W., Yan W. Laser powder bed fusion of diamond/N6 MMCs enabled by Ni-Ti coated diamond particles. *Materials & Design*. 2022. Vol. 217. P. 110635.

Надійшла 11.02.25

References

1. Lavrinenko, V. (2019). Porosity and water absorbability of tool composite materials as factors of improving wear resistance of superabrasive grinding wheels. Part 2. Water freezing in porous space of superabrasive composites. *Journal of Superhard Materials*, 41(3), 185–188.
2. Lavrinenko, V. (2024). Recent developments in diamond processing and surface modification techniques for tailoring properties of diamond grains: a review. *Journal of Superhard Materials*, 46(6), 462–461.
3. Lavrinenko, V.I., Smokvyna, V.V., Bologov, P.I., et al. (2024). Suchasni napratsiuвання v rozrobkakh specialnykh abrazivnykh ta almaznykh kruhiv [Modern developments in the development of special abrasive and diamond wheels]. *Jakist, standartyzatsia, kontrol: teoria ta praktyka – Quality, standardization, control: theory and practice* (s.77–81). ATM Ukraine [in Ukrainian].
4. Yuan, Y., Zhang, W., Zhang, P., et al. (2021). Porous grinding wheels toward alleviating the pre-fatigue and increasing the material removal efficiency for rail grinding. *Tribology International*. Volume 154, February, 106692.
5. Chen, S., Li, H., Kang, X., Jiang, Y., et al. (2025). Preparation and properties of Cu₆Sn₅ intermetallic-bonded diamond grinding wheel for thinning SiC wafer. *Diamond and Related Materials*, 152, 111874.
6. Ye, M., Wang, D., Wang, L., et al. (2024). Optimal design and performance evaluation of grinding wheels with triply periodic minimal surface lattice structure. *Journal of Materials Research and Technology*, 32, 3181–3193.
7. Li M., Huang Y., Wang W., et al. (2024). A novel 3D printed compliant ball-end grinding tool with crystal structure: Feasibility and performance analysis. *Materials & Design*, 237, 112591.

8. Zhang W. Q., Li Y., Zhang S., et al. (2024). Diamond parameter design and assessment of a novel 3D printed diamond grinding wheel with linear cooling channels. *Diamond and Related Materials*, 150, 111760.
9. Xu Y., He Y., Huang G., et al. (2024). Numerical simulation and experimental investigation of the molten pool evolution and defects formation mechanism of Selective laser melted CuSn20/Diamond composites. *Materials & Design*, 243, 113082.
10. Deja M., Zieliński D., Agebo S. W. (2024). Study on the wear characteristics of a 3D printed tool in flat lapping of Al₂O₃ ceramic materials. *Wear*, 556–557, 205515.
11. Bao Z., Fang C., Hu Z., Yan Z. (2024). Research on composite pattern design and lapping performance of fixed abrasive pads controlled by multi-physical fields. *Precision Engineering*, 91, 14–26.
12. Zhou W., Takase N., Dong M., et al. (2022). Elucidating the impact of severe oxidation on the powder properties and laser melting behaviors. *Materials & Design*, 221, 110959.
13. Zhang S., Ding M., Wang L., et al. (2022). Laser powder bed fusion of diamond/N6 MMCs enabled by Ni-Ti coated diamond particles. *Materials & Design*, 217, 110635.

УДК 621.923:621.715.2

DOI: 10.33839/2708-731X-28-1-314-329

В.І. Лавріненко, доктор технічних наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, 04074, м. Київ, e-mail: lavrinen52@gmail.com*

СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В НАПРЯМКУ ЕФЕКТИВНОЇ ОБРОБКИ PCD, SCD ТА CVD АЛМАЗІВ ДЛЯ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОМУ РОБОЧОМУ ШАРІ ПРЕЦИЗІЙНОГО ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ (ОГЛЯД)

В статті зупинена переважна увага на сучасних публікаціях, присвячених ефективній обробці поверхонь PCD, SCD та CVD алмазів стосовно умов їх застосування в прецизійному алмазному правлячому інструменті. В сучасній літературі досліджено спрямовані впливи на поверхню алмазів для покращення їх оброблюваності і показано, що до трьох найбільш відомих: теплового, лазерного та хімічного, останнім часом додаються дослідження з таких впливів, як плазмового, УФ-опромінення, оточуючого середовища та впливу наявної підкладки до алмазного шару. Для PCD з видаленим кобальтом встановлено, що процес попереднього видалення кобальту може ефективно інгібувати графітизацію алмаза при високій температурі. Підтверджено, що мікроструктура підкладки WC-Co, навіть при невеликих змінах в розмірі зерна WC, суттєво впливає на морфологію CVD-алмазного покриття, якість кристалів і міцність зчеплення. Перехідний метал перетворює зерна полікристалічних алмазних пластин в аморфний вуглець, що забезпечує їх швидке видалення. Для обробки полікристалічного алмазу в алмазні круги на основі смол додають Fe, Ti та Ni, причому Fe показав найкращі результати. В середовищі азоту коефіцієнт тертя між Fe та алмазом є нижчим, аніж на повітрі. Коефіцієнт тертя між алмазом та нітридом кремнію є низьким в повітрі і набагато вищим у вакуумному середовищі. Дослідження показали, що при обробці алмазного матеріалу методом зворотно-поступального ковзання видалення матеріалу відбувається у вигляді графіту, а не механічного сколювання у вигляді фрагментів алмазу. Було встановлено, що високої швидкості зносу вдається досягти за умови опромінення ультрафіолетовим (УФ) світлом, яке, імовірно, каталізує цей фазовий перехід.

Для досягнення високоякісної поверхні алмазу шляхом його перетворення в графіт також був розроблений комбінований метод. Він поєднує травлення індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-