

В. І. Лавріненко, д-р техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, 04074, Київ, e-mail: lavrinenko@ism.kiev.ua*

CVD-АЛМАЗИ: ОСОБЛИВОСТІ ЇХ АЛМАЗНОЇ ОБРОБКИ ТА СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В ЦЬОМУ НАПРЯМКУ

В статті розглянуті сучасні дослідження по застосуванню CVD-алмазів в алмазних інструментах, насамперед, правлячих. Наведені розміри зразків полікристалічних CVD-алмазів для правлячого інструменту, які пропонуються на ринку, та показані умови їх застосування. Показані особливості абразивної обробки монокристалічних і полікристалічних CVD-алмазів та CVD-алмазних плівок. Розглянуті технологічні напрацювання у досягненні необхідної ефективності такої обробки. Наведено особливості отримання алмазних інструментів із робочим шаром з CVD-алмазів та застосування таких інструментів. Показані вимоги до зв'язуючого алмазного інструменту для обробки CVD-алмазів та до покриття алмазів в такому інструменті.

Ключові слова: *CVD-алмаз, монокристали, полікристали, алмазні плівки, алмазна обробка, алмазний інструмент, правлячий інструмент.*

Нині в Україні з'являються відомості із застосування нового класу правлячого інструменту з CVD-алмазів [1]. В роботі [2] наведені перші відомості з такої розробки в Україні. Авторами визначені певні особливості виготовлення правлячого інструменту з CVD-алмазу та правки абразивних кругів таким інструментом [2]. Між тим, імпортований інструмент з CVD-алмазу використовується на деяких машинобудівних підприємствах України для правки сучасних абразивних кругів, наприклад, при шліфуванні зубчастих коліс. Тобто, розробка технології виготовлення нових правлячих інструментів з CVD-алмазу є актуальною для прецизійної правки абразивних кругів.

CVD (*Chemical Vapour Deposition*) – одна з нових технологій лабораторного отримання алмазних продуктів шляхом хімічного осадження з парової фази. CVD-алмаз виготовляється методом газозафазного синтезу, при якому у вакуумній камері при температурі від 2000 до 3000 °С з робочої газоподібної суміші метану і водню алмаз осаджується на спеціально підготовленій підкладці із формуванням алмазної структури. CVD-алмаз є перспективним матеріалом для виготовлення алмазних інструментів завдяки своїм високим показникам твердості, модулю Юнга та ізотропності. Застосування CVD-алмазу у інструменті нині ще більше поширюється, тому в даній статті розглянуті сучасні напрацювання по застосуванню CVD-алмазів в інструментах, а також рішення по ефективній абразивній обробці CVD-алмазів.

Застосування CVD-алмазів у правлячому інструменті пов'язане з тим, що за даними [3] нині при прийнятних витратах можливо забезпечити теплопровідність CVD-алмаза в межах $\lambda=1000\text{--}1200$ Вт/(м·К) (для природного алмаза її значення складає $\lambda=900\text{--}2300$ Вт/(м·К)) [4]. Такі алмази практично не містять домішок. Як відомо [5], колір зразків CVD-алмаза визначається мірою їх чистоти і структурної довершеності, що залежать від умов отримання. Для правлячого інструменту можуть бути застосовані монокристалічні CVD-алмази (однокристалічний інструмент) або полікристалічні CVD-алмази (багатокристалічний інструмент). Так званий «чорний алмаз» є полікристалічним CVD-алмазом із високим вмістом структурних дефектів (мікродвійники, дислокації), що викликають у ньому сильне

оптичне поглинання. Вкажемо, що саме такі полікристалічні алмази у вигляді стовпчастих пластин і можливо застосовувати в алмазних правлячих роликах.

Фірма «*Hebei Plasma Diamond Technology Co., Ltd.*» постачає алмазні пластини у вигляді прямокутних пластин різної довжини та розмірів (товщина 0,3–1,5 мм, ширина 0,3–3,5 мм, довжина від 0,8–5,0 мм)¹.

На сайті фірми «ООО «ИНТЕХ ДИАМАНТ»² наведені відомості про нові полікристалічні алмазні матеріали *CVDITE*. Це серія *CVD*-алмазних продуктів, спеціально розроблених для застосування у різальних інструментах і виробках, що піддаються тертю. Дана серія була розроблена у додаток до існуючих серій *Syndite* та *Monodite* (таблиця).

Порівняння властивостей *CVDITE*, *Monodite* та *SYNDITE*

Властивість	<i>CVDITE</i>	<i>Monodite</i>	<i>Syndite</i>
Густина, 10 ³ кг/м ³	3,52	3,52	4,12
Твердість, ГПа	85–100	50–100	50
Міцність на руйнування, МПа/м ²	5,5–8,5	3,4	8,81
Модуль Юнга, ГПа	1000–1100	1000–1100	776
Коефіцієнт Пуасона	0,07	0,07	0,07
Межа міцності під час розтягу, МПа	450–1100	1050–3000 (за різної орієнтації)	1260
Поперечна міцність на розрив, ГПа	1,3	2,9	1,2
Міцність на стиск, ГПа	9,0	9,0	7,60
Теплопровідність при 20 °С, Вт/(м·К)	500–2200	600–2200	560
Теплопровідність при 200 °С, Вт/(м·К)	500–1100	600–1100	200
Термічна дифузія, см ² /с	2,8–11,6	5,5–11,6	2,7
Коефіцієнт теплового розширення			
При 300 К	1,21	1,21	4,2
При 500 К	3,84	3,84	–
При 1000 К	4,45	4,45	6,3

CVDRESS – це окрема марка *CVD*-алмазів, спеціально розроблена для правки шліфувальних кругів. Постачаються переважно у вигляді стрижнів (діаметрами 0,4–0,8 мм та довжиною 2–5 м). *CVD*-алмазні стрижні можуть кріпитися до корпусу інструмента за допомогою активного твердого припою в неокислювальному середовищі. Застосовуючи технологію шліфування *CVD*-алмазів, інструментам можливо придати необхідну форму.

У глобальному звіті «*CVD Diamond Market*»³ показано, що світовий ринок *CVD*-алмазів поділений на монокристалічні і полікристалічні сегменти. Сегмент монокристалічних *CVD*-алмазів зайняв найбільшу частку ринку – 66,42 %. За прогнозами до 2026 р. обсяг світового ринку *CVD*-алмазів досягне 568,9 млн. доларів США, у порівнянні із 364,8 млн. доларів США у 2020 році. Наведене вище вказує на те, що ринок *CVD*-алмазів

¹ *CVD Diamond for dressing tools* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hediamond.cn/en/product/25.html>.

² *CVD алмаз* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.intech-diamond.com/cvd-almaz.html>.

³ *CVD Diamond Market* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.industryresearch.co/enquiry/request-sample/16690639>.

буде істотно зростати протягом наступних років, а CVD-алмази розділяються на три основних групи: монокристалічні, алмазні покриття та полікристалічні.

Монокристалічний CVD-алмаз тепер доступний для різних областей застосування від електроніки до різальних інструментів. CVD метод дозволяє мати точний контроль щільності точкових дефектів у зростаючому кристалі та, як наслідок, отримувати високу чистоту алмазу, легованого бором [6].

В роботі [7] проведено вимірювання твердості та в'язкості для алмазу, легованого бором (рис. 1). Без легування бором монокристалічний CVD-алмаз, вирощений в суміші $H_2/CH_4/N_2$, має досить високу в'язкість руйнування $15,2 \pm 4,8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, порівняно з $8 \pm 4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для природного Ia, IIa та кольорового CVD

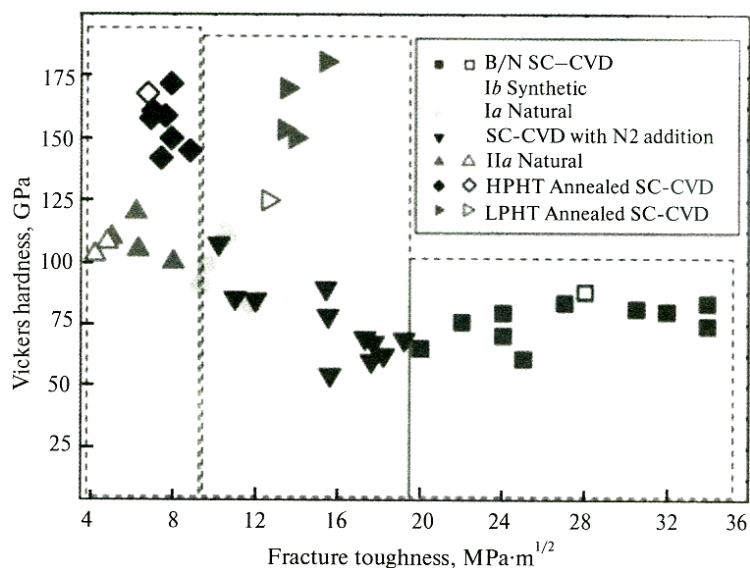


Рис. 1. Твердість і в'язкість за руйнуванням по Віккерсу на гранях $\{100\}$ різних алмазів у напрямку $\langle 100 \rangle$. Визначено три зони: ліворуч подані та виміряні значення для природного алмазу типу Ia та IIa; центральна зона: тип Ib та алмаз CVD; права зона включає легований бором CVD-алмаз [7]

монокристалічного алмазу, вирощеного без додавання N_2 до вихідного газу, та $10 \pm 2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для синтетичного жовтого алмазу Ib. В'язкості руйнування монокристалічного CVD-алмазу, легованого бором, складають від 22 до 34 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Тобто, легування бором монокристалічного CVD-алмазу може до 2 раз збільшити в'язкість, не погіршуючи твердість $-78 \pm 12 \text{ ГПа}$.

На рис. 1 показано, що всі алмази, леговані бором, мають трохи більшу твердість порівняно з нелегованими CVD-алмазами. Відмічається [7], що термообробка при високому тиску ($p=6,5-7,0 \text{ ГПа}$, $T=1900-2200 \text{ }^\circ\text{C}$) дозволяє поліпшити

оптичні властивості та підвищити твердість моно-CVD-алмаза. Всі сліди від твердості на легованому бором монокристалічному алмазі CVD мають квадратні візерунки тріщин у м'якших напрямках $\langle 110 \rangle$ і $\langle 111 \rangle$, але матеріал не має ліній тріщин уздовж $\langle 100 \rangle$. Тобто, малюнок руйнування на цих кристалах є більш передбачуваним і може бути врахований при пошуку підвищення стійкості до руйнування при абразивному застосуванні.

В роботі [8] досліджували твердість моно-CVD-алмаза в оболонці з алмазного композиційного термостійкого матеріалу (АКТМ), сформованій в HPHT-умовах. Вихідна твердість моно-CVD-алмаза була $92,7 \pm 1,5 \text{ ГПа}$. Твердість моно-CVD-алмаза в оболонці складала від 120 до 135 ГПа. Тобто, твердість моно-CVD-алмаза в оболонці збільшується на 30–45 % вже при температурі $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ (тоді як термобарична обробка складає $1900-2200 \text{ }^\circ\text{C}$).

За даними *Diamond Coatings Market by Technology*⁴, обсяг ринку CVD-алмазних покриттів до 2022 року прогнозується на рівні 2,56 млрд. доларів США при середньорічному темпі зростання у 7,8%.

⁴ Market Research Report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.market-sandmarkets.com/Market-Reports/diamond-coating-market-255400901.html>

В роботі [9] плівки висококристалічного алмаза отримували за допомогою лазера (довжина хвилі: 532 нм) мікрохвильового плазмохімічного осадження з парової фази (*Laser MPCVD*) (рис. 2). Лазер посилює процес реакції прекурсору, який зменшує кількість неалмазних компонентів, таких як графіт і аморфний вуглець. Значення твердості (H) і модуля Юнга (M) досягали максимальних значень $H_{\max} = 91$ ГПа і $M_{\max} = 721$ ГПа відповідно [9].

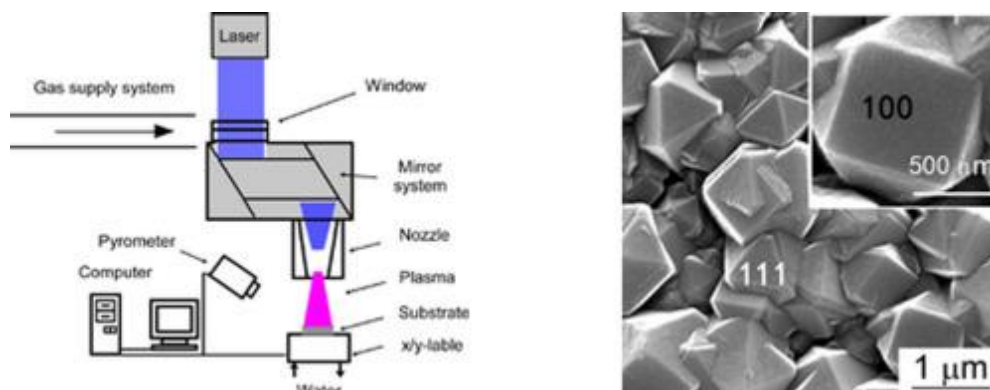


Рис. 2. Алмазні плівки, нанесені методом лазерно-мікрохвильового плазмохімічного осадження з газової фази [9]

У [10] досліджені трибологічні властивості нанокристалічних (*NCD*), мікрокристалічних (*MCD*) та легованих бором *CVD*-алмазних плівок, нанесених на титановий сплав (Ti-6Al-4V). Легований бором зразок диску з *NCD*-покриттям мав найнижчий середній коефіцієнт тертя $\sim 0,0804$, тоді як нелеговані диски з покриттям *NCD* і *MCD* мали середні коефіцієнти тертя $\sim 0,143$ і $\sim 0,253$ відповідно.

Коефіцієнт тертя і характер зносу *CVD*-алмазних плівок, нанесених на різальний інструмент з твердого сплаву *YT14*, досліджено високотемпературним трибOMETром. Результати засвідчили [11], що алмазна плівка повністю окислюється при 700 °С. Площина (220) алмазної плівки окислюється при 500 °С, а площина (110) – при 700 °С. Середні коефіцієнти тертя алмазної плівки при 500, 600 і 700 °С становлять 0,55, 0,49 і 0,48 відповідно. Механізмом зносу при 700 °С є переважно окислення і абразивний знос [11].

Пластини полікристалічного *CVD*-алмаза діаметром до 100 мм в роботі [12] синтезувалися у плазмово-хімічному реакторі на основі НВЧ розряду. Фізико-механічні характеристики такого *CVD*-алмаза при 300 К: твердість за Кнупом – 30–110 ГПа, теплопровідність – 600–2100 Вт/(м·К), питомий електроопір – 10^9 – 10^{14} Ом·см, модуль Юнга – 900–1100 ГПа, міцність на злом – 400–1200 МПа, швидкість звуку – 17,5–18,0 км/с. Полікристалічні алмазні пластини після синтезу мають на поверхні низку хаотично орієнтованих кристалітів розмірами біля 20 мкм, і необхідною є їх наступна обробка.

Враховуючи наведене, розглянемо далі питання особливостей **ефективної абразивної обробки *CVD*-алмазів**.

Особливості алмазної обробки ПАП (полікристалічних алмазних пластин) були розглянуті в роботі [13]. Мікрошліфування ПАП виконувалося алмазними кругами форми 12A2-45° діаметром 250 мм із зернистістю алмазів 7/5 на полімерній зв'язці та із зернистістю 20/14 на керамічній зв'язці. Встановлено, що при подачах на врізання 0,030–0,005 мкм мінімальна шорсткість по *Ra* складала 2,4 нм. Враховуючи, що значну частку контакту круга з поверхнею ПАП займає зв'язка, від властивостей якої залежать сила різання і температура в зоні обробки, використовували зв'язки з меншим коефіцієнтом тертя і максимальною теплопровідністю, щоб зменшити потік теплової енергії в ПАП. Механохімічне полірування із застосуванням окислювача складу KMnO_4 дозволяє отримувати *Ra* до 20 нм [13].

Недоліком при механічному поліруванні ПАП (які є ізотропними і там немає «м'якого» напрямку) на чавунному диску є різке зменшення швидкості зйому при розмірах оброблюваної ПАП більше за 10 мм. Шорсткість по Ra тут може бути знижена до 30 нм. При використанні чавунного диску застосовували алмази АСМ 28/20. Типова шорсткість поверхні, виміряна на достатньо великій площі, що вміщує багато кристалітів, складає при такій обробці 7–15 нм. Цікаво, що у межах окремого кристаліту з розміром біля 100 мкм величина Ra склала менше 1 нм (мінімальне Ra – 0,18 нм) незалежно від його орієнтації [13].

В роботі [14] також досліджені особливості полірування алмазу. Встановлено, що Товщина зйому алмазу спочатку збільшується нелінійно на стадії припрацювання, а потім лінійно на наступній стадії стабільного зносу. Для розрахунків розроблена модель, яка враховує аморфізацію вуглецю алмаза та товщину зйому. Збільшення швидкості контактування підвищує швидкість аморфізації алмазу вуглецю і частоту дряпання алмазними зернами.

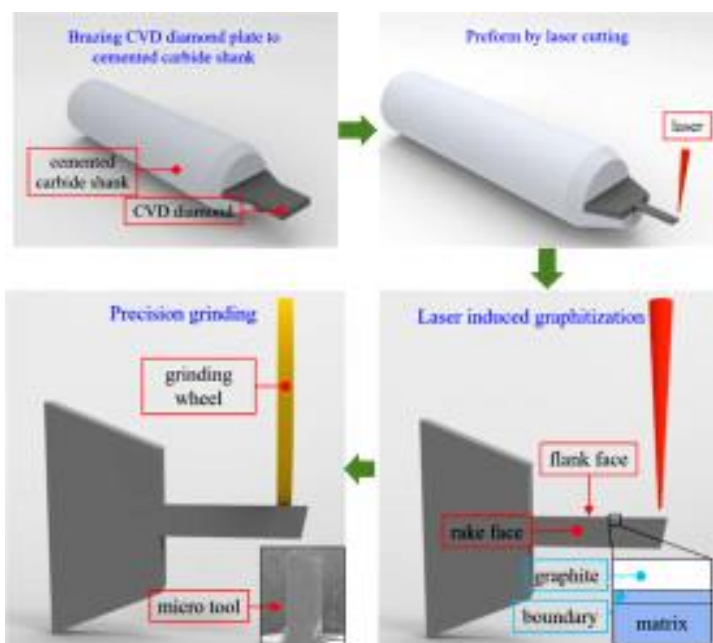


Рис. 3. Процес лазерно-індукованої графітизації у сполученні із прецизійним шліфуванням для виготовлення CVD-алмазного інструменту [16]

Діаметр, радіус різальної кромки і радіус при вершині виготовленого інструмента для мікрофрезерування склали 0,4 мм, 2,3 мкм і 2,5 мкм відповідно.

Поверхня великих пластин CVD-алмазів є досить шорсткою, і її необхідно згладжувати, тобто видалити хвилястість і розгладити для поліпшення поверхні. Найбільш прийнятним тут може бути метод планування та згладжування – механічне полірування з використанням алмазно-абразивних матеріалів. В роботі [17] застосовували метод плазмової випарувальної обробки ($NC-PCVM$) та плазмового допоміжного полірування PAP до плануризації та згладжування CVD-алмазної пластини SCD (100). На рис. 4 показана концептуальна схема обробки. Аг мікрохвильова плазма генерується в атмосфері і відбувається чисельно контрольоване сканування струменем плазми поверхні нагрітої пластини SCD до 400 °С.

В статті [15] описане дослідження високошвидкісної обробки (300 м/с) CVD-алмазних покриттів алмазними (зернистістю 70/80 меш, природними і синтетичними) частинками. Встановлено, що у покриттях при взаємодії із алмазними частинками утворюються радіальні і бокові тріщини і матеріал видаляється після перетину цих тріщин. Показано, що синтетичний алмаз проємонстрував більшу ефективність у руйнуванні CVD-алмазного покриття.

В роботі [16] був запропонований новий комплексний процес лазерно-індукованої графітизації у сполученні із прецизійним шліфуванням для виготовлення CVD-алмазного інструменту для мікрофрезерування (рис. 3).

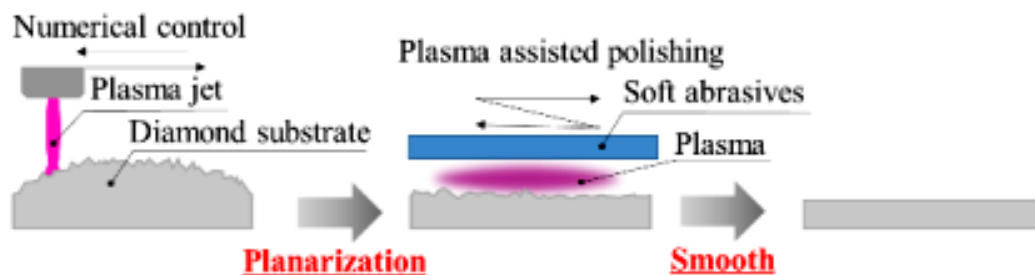


Рис. 4. Концептуальна схема плануризації та згладжування на основі плазми при атмосферному тиску [17]

PAP поєднує в собі модифікацію поверхні методом опромінення плазмою та полірування за допомогою абразивів для згладжування поверхні пластини *SCD(100)*. Шліфувальний круг застосовувався на основі бакелітового зв'язуючого. Діаметр шліфувального круга становив 5,0 мм, а зернистість використовуваного абразиву SiO_2 становила близько 0,3 мкм [17].

В роботі [18] наведений круг для шліфування *CVD*-алмазної плівки шляхом додавання заліза і церію в шліфувальний круг з корунду. Встановлено, що при цьому досягнута висока швидкість видалення матеріалу (11,60–190,77 мг/год.) при швидкості обертання 200–500 об/хв. Показано, що ця збільшена швидкість видалення відбувається за рахунок трибохімічних реакцій. Тобто, механізм видалення матеріалу – це хімічна реакція між алмазом і залізом та фазове перетворення алмаз–графіт в процесі шліфування (рис. 5).

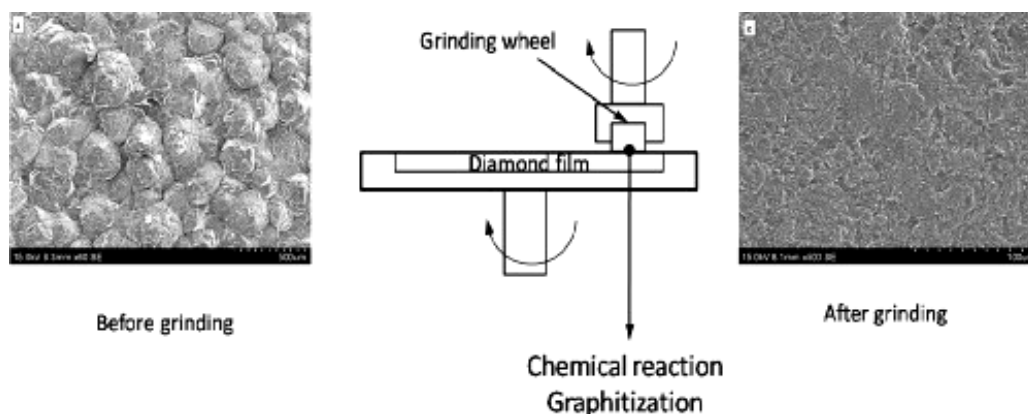


Рис. 5. Поверхня *CVD*-алмазу до і після шліфування [18]

Ще одним варіантом шліфувального круга є круг на основі *CVD*-алмазу, який може бути застосований для ефективного обробки *PCD* інструменту [19]. Відсутність зв'язуючого і малий рівень домішок у кристалах приводить до того, що *CVD*-алмаз є більш абразивним за звичайний *PCD*. На рис. 6 показано *CVD*-алмазний диск діаметром 15 мм для мікрошліфування *PCD* інструменту, з розміром алмазних зерен від 40 до 50 мкм. На диску є напрямна напівсферична канавка із зворотним профілем (шорсткість поверхні вздовж периферійного напрямку $R_z=0,5$ мкм), яка утворювалася на диску методом лазерної обробки та притирання (рис. 6).

В роботі [20] показано, як можливо отримати шліфувальні круги з *CVD*-алмазами. Після осадження на корпусі інструменту маленькі, гострі краї кінчиків *CVD*-алмазів виконують роль ріжучих кромки. Вони складаються з безлічі кристалітів, що ростуть поруч і мають гострокінцеві кінчики. Формування *CVD*-алмазу починається з фази зростання, коли

кристали, які закріплені на поверхні на окремій стадії до процесу нанесення покриття, ростуть у всі боки (рис. 7, зліва).

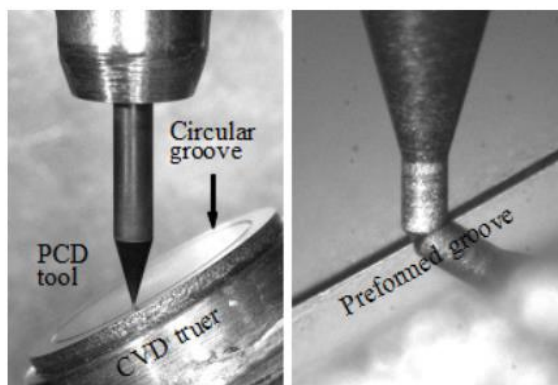


Рис. 6. Процедура шліфування, що включає контакт між інструментом PCD та попередньо сформованою канавкою в CVD-алмазному крузі [19]

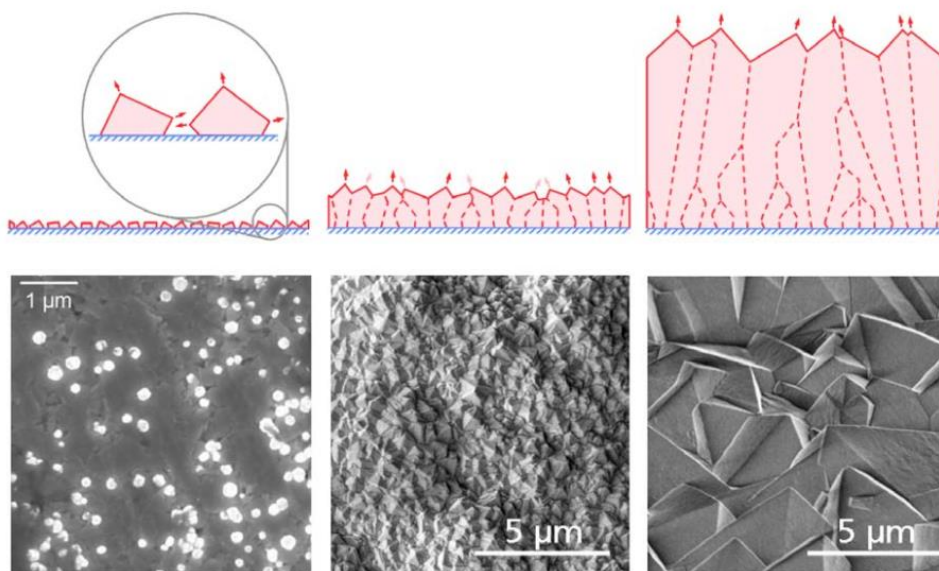


Рис. 7. Формування CVD-алмазних шліфувальних шарів: початок (ліворуч), низька зернистість (посередині), велика зернистість (праворуч); схематичний переріз (вгорі) та вигляд зверху SEM (внизу) [20]

Коли кристали вирости до розміру, коли торкаються один одного, зростання відбувається переважно у напрямку, вертикальному до поверхні. Таким чином, колоноподібні кристаліти утворюють полікристалічний, пористий і CVD-алмазний шар без зв'язуючого. Його поверхня утворена кінчиками кристалітів, які мають пірамідальну або тетраедричну форму (рис. 7, в середині). Коли осадження триває, деякі кристаліти ростуть швидше, ніж інші, заростаючи своїх сусідів. Внаслідок цього кількість кристалітів на поверхні зменшується зі збільшенням товщини шару. Розмір наконечників кристалітів на поверхні відповідно збільшується (рис. 7, праворуч) [20].

Хімічне осадження відбувається у вакуумній камері, забезпеченій газовою сумішшю водню і 0,5–2,0 % метану при тиску 100 ГПа та загальній витраті газу у 1 літр на хвилину. Активація газової фази була досягнута за допомогою танталових дрітків (ниток), нагрітих

електричним струмом. Температура інструментів під час нанесення покриття становила близько 800 °С. Це обмежує для інструменту основні матеріали корпусу – кераміка і цементований карбід. Кераміка

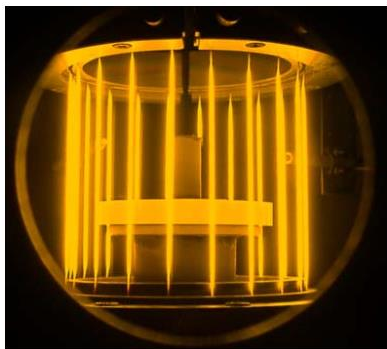


Рис. 8. CVD-алмазний шліфувальний круг форми 1A1 діаметром 80 міліметрів, ліворуч: під час нанесення покриття методом HFCVD, і праворуч: після нанесення покриття [20]

зарекомендувала себе найкращим матеріалом для шліфувальних кругів (особливо нітрид кремнію), а цементований карбід для абразивних олівців (бори, наконечники), через вищу міцність, необхідну для цих інструментів. Відшаровування шару CVD-алмазу не спостерігалось [20].

Для точних та надточних завдань шліфування отримані [20] різні шліфувальні круги, покриті мікрокристалічними CVD-алмазними шарами різних розмірів кристалів 0,5–25 мікрометрів. На рис. 8 показано шліфувальний круг форми 1A1 діаметром 80 міліметрів під час осадження та після покриття. Корпус інструменту був виготовлений з нітриду кремнію.

Для точних та надточних завдань шліфування отримані [20] різні шліфувальні круги,

Також для механічної обробки скла розроблені торцеві шліфувальні круги (приклад показаний на рис. 9, ліворуч) [20]. Найтонший з них мав товщину алмазного покриття 0,5 мікрметра (рис. 9, праворуч). За допомогою цього шліфувального круга можна досягти шорсткості заготовки Ra до 5 нанометрів при торцевому шліфуванні скла.

[20] різні шліфувальні круги,

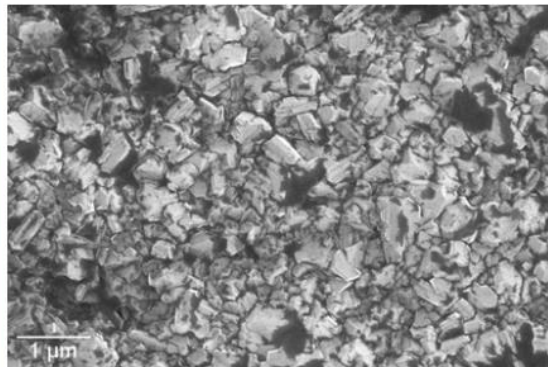
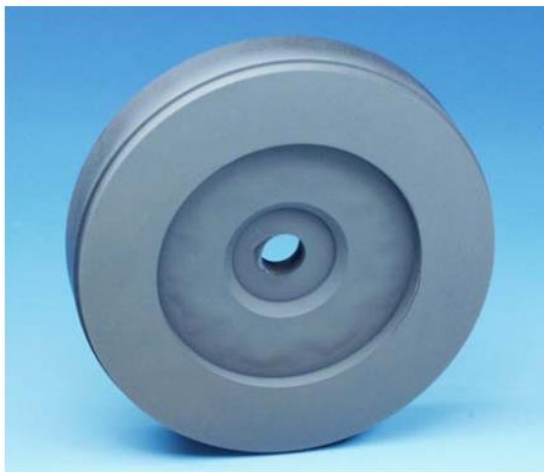


Рис. 9. Алмазний торцевий шліфувальний круг, зліва: діаметр 125 мм, корпус з графітової основи, праворуч: нанесений шар CVD-алмазів [20]

З CVD-алмазного шару можливо виготовити невеликі абразивні олівці (корпус твердосплавні стрижні). Найменший CVD-алмазний абразивний олівець мав діаметр 50 мкм (рис. 10). Абразивний олівець показав хорошу ефективність при шліфуванні кремнієвих канавок для мікромеханіки [20].

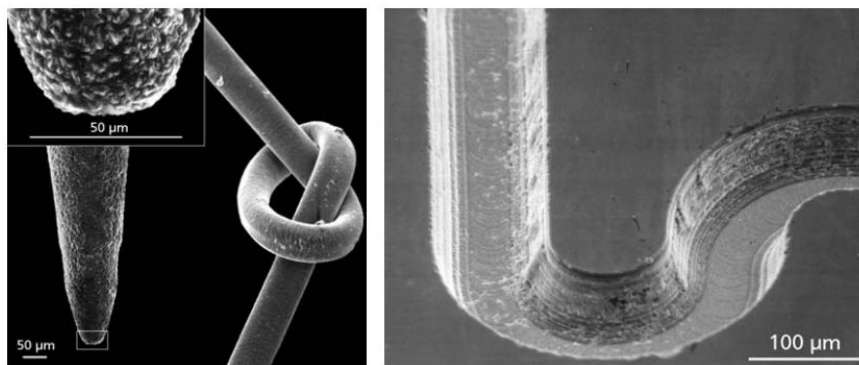


Рис. 10. CVD-алмазний абразивний олівець, діаметр кінчика 50 мікрометрів, ліворуч: наконечник інструменту з деталями та людським волоссям для порівняння розміру, праворуч: паз, шліфований у кремнії [20]

Вище нами було показано, як можливо застосовувати CVD-алмази для шліфування полікристалічних алмазів. В роботі [21] проведений теоретичний аналіз процесів обробки PCD-алмаза алмазними мікропорошками з покриттям, який засвідчив, що таке покриття повинно відповідати наступним вимогам: прискорити процес графітизації поверхні оброблюваного алмазу, зменшити роботу руйнування CVD-алмазу та захистити його від графітизації. Покриття з металів підвищують міцність алмаза з-за впливу пластичності металу, що є у складі покриття. У якості металу, що інгібує графітизацію алмазних мікропорошків, був вибраний кремній, який утворює з вуглецем міцний у термодинамічному відношенні карбід кремнію, а з киснем – міцний оксид. Наприклад, присутність карбиду кремнію і незначної кількості нікеля і олова на міжфазній межі алмаз-покриття оберігає його від графітизації [21].

Підсумуємо наведене вище. Для абразивного застосування краще застосовувати монокристалічні CVD-алмази, леговані бором, які мають найвищу твердість і абразивність. Разом з тим, полікристалічні CVD-алмази мають найвищий модуль пружності. Вивчення особливостей абразивної обробки CVD-алмазів засвідчило наступне. Зв'язуюче алмазних кругів повинно бути з максимальною антифрикційністю та теплопровідністю. Синтетичні алмази є більш ефективними в кругах, аніж природні. При обробці необхідно прискорювати процес графітизації оброблюваного алмазу (лазерний, плазмовий, тепловий впливи) і, разом з тим, зменшувати знос алмазів в крузі та захищати їх від графітизації, наприклад, застосуванням покриття алмазів в крузі.

V. I. Lavrinenko

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

CVD-DIAMONDS: FEATURES OF THEIR DIAMOND PROCESSING AND MODERN DEVELOPMENTS IN THIS DIRECTION

The article considers modern research on the use of CVD-diamonds in diamond tools, first of all, the dressing ones. The sizes of samples of polycrystalline CVD-diamonds for the dressing tool offered in the market and the conditions of their application are shown. Features of diamond-abrasive processing of monocrystalline and polycrystalline CVD-diamonds and CVD-diamond films are shown. Technological developments in achievement of necessary efficiency of such processing are considered. Peculiarities of obtaining diamond tools with a working layer from CVD-diamonds and application of such tools are given. The requirements for the binding diamond tool for processing CVD-diamonds and for the coating of diamonds in such a tool are shown.

Key words: CVD-diamond, single crystals, polycrystals, diamond films, properties of CVD-diamonds, diamond tool, dressing tool.

Література

1. Некоторые подходы к повышению ресурса работы алмазных карандашей / И.Н. Пыжов, В.А. Федорович, Н.В. Рязанова-Хитровская Н.В. и др. // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2014. – Вып. 9. – С. 134–141.
2. Пащенко Є.О., Рябченко С.В., Кухаренко С.А. Виготовленняправлячих роликів з CVD-алмазу // Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 20-го Международного научно-технического семинара, 23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси. – Киев : АТМ України, 2020. – С. 133–135.
3. P. K. Sen. Synthetische Diamant-Abriechrohlinge für den zukunfftigen Industriebedarf [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm.
4. Uhlmann E., Wörner E., Brücher M. Leistungsfähigere Zerspanprozesse durch die wärmespreizende Wirkung von CVD-Diamant [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002_2/07_art/art07_2_02.htm.
5. Structure and properties of high-temperature annealed CVD diamond / V. Ralchenko, L. Nistor, E. Pleuler, at al. // Diamond Relat. Mater. – 2003. – 12, N 10-11. – P. 1964–1970.
6. Ray Spits. Review of recent large single crystal HPHT & CVD diamond synthesis developments // 2nd International Industrial Diamond Conference: 19–20 April, 2007, Rome, Italy [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.diamondatwork.com.
7. Development in synthesis, characterization, and application of large, high-quality CVD single crystal diamond / Q. Liang, Y.F. Meng, C.-S. Yan, at al // Сверхтвердые материалы. – 2013. – № 4. – С. 3–25.
8. Твердость монокристаллического CVD-алмаза и фазовые превращения в нем при индентировании / А.А. Шульженко, Е.Е. Ашкинази, В.Г. Ральченко и др. // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 5. – С. 3–10.
9. Mechanical properties of high-crystalline diamond films grown via laser MPCVD / Meijun Yang, Sunan Bai, Qingfang Xu, at al. // Diamond and Related Materials. – 2020. – V. 109. – 108094.
10. Din S.H., Shah M.A., Sheikh N.A. Tribological performance of titanium alloy Ti-6Al-4V via CVD-diamond coatings // Сверхтвердые материалы. – 2018. – № 1. – С. 37–52.
11. Kong Dejun, Zhao Wen, Zhang Ling. Friction-wear behaviors of chemical vapor deposited diamond films at high temperatures // Надтверді матеріали. – 2019. – № 2. – С. 39–48.
12. Ральченко В.Г., Ашкинази Е.Е. Условия синтеза, абразивная и лазерная обработка поликристаллического CVD-алмаза // Інструментальний світ. – 2005. – № 3. – С. 14–18.
13. Meng D., Yue W., Lin F., Wang C., Wu Z. Thermal stability of ultrahard polycrystalline diamond composite materials // Сверхтвердые материалы. – 2015. – № 2. – С. 3–10.
14. Yang N., Zong W., Li Z., Sun T. Wear process of single crystal diamond affected by sliding velocity and contact pressure in mechanical polishing // Diamond and Related Materials. – 2015, – V. 58. – P. 46–53.
15. Wheeler D.W., Wood R.J.K. High velocity erosion of CVD diamond coatings by diamond particles // Diamond and Related Materials. – 2018. – V. 84. – P. 32–40.
16. Zhao G., Li Z., Hu M., He N., Jamil M. Fabrication and performance of CVD diamond cutting tool in micro milling of oxygen-free copper // Diamond and Related Materials. – 2019, – V. 100. – 107589.

17. Planarization and smoothing of CVD grown diamond wafer by atmospheric pressure plasma based process / H. Dojo, T. Tabata, K. Endo, et al. // The 6th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2015) 15–20 August, 2015, Harbin, China.
18. High-efficiency grinding CVD diamond films by Fe–Ce containing corundum grinding wheels / H. Xu, J. Zang, G. Yang, et al. // *Diamond and Related Materials*. – 2017. – V. 80. – P. 5–13.
19. Semba T., Amamoto Y., Fujiyama H. Reactive ion etching of microgrinding tool made of polycrystalline diamond // The 6th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2015) 15–20 August 2015, Harbin, China
20. CVD diamond layers with a controlled roughness enable high-precision and micro grinding tools // J. Gäbler, S. Pleger, L. Schäfer // 2nd International Industrial Diamond Conference: 19–20 April, 2007, Rome, Italy [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.diamondatwork.com.
21. Механическая обработка алмазных монокристаллов алмазными порошками с покрытием / А.В. Ножкина, В.И. Костиков, В.Г. Ральченко и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 21. — Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2018. – С. 315–324.

Надійшла 16.04.21

References

1. Puszov, I.N., Fedorovich, V.A., Razanova-Chitrovskaja, N.V., et al. (2014). Nekotore podhodu k povusheniju resursa rabotu almaznuh karandashej [Some going near the increase of resource of work of diamond pencils]. *Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni – Modern technologies in mechanical engineering*, 9, 134–141 [in Russian].
2. Paschenko, E.O., Rjabchenko, S.V., & Kuharenko, S.A. (2020). Vuhotovlennia pravliachykh rolikov z CVD-almazu [Production of dressing rollers from CVD-diamond]. Proceedings from Modern issues of production and repair in industry and transport'20: XX *Mezhdunarodnyi nauchno-tehnicheskii seminar (23–28 marta 2020 roku) –20th International Scientific and Technical Seminar*. (pp. 133–135). Tbilisi [in Ukrainian].
3. Sen, P. K. (2002). Synthetische Diamant-Abriechrohlinge für den zukunfftigen Industriebedarf. www.idronline.com. Retrieved from http://www.idronline.com/german/pages/archive/_2/16_art/art16_2_02.htm.
4. Uhlmann, E., Wörner, E., & Brücher, M. (2002). Leistungsfähigere Zerspanprozesse durch die wärmespreizende Wirkung von CVD-Diamant. www.idronline.com. Retrieved from http://www.idronline.com/german/pages/archive/_2/07_art/art07_2_02.htm.
5. Ralchenko, V., Nistor, L., Pleuler, E. et al. (2003). Structure and properties of high-temperature annealed CVD diamond. *Diamond Relat. Mater.*, 12, 10-11, 1964–1970.
6. Spits, R. (2007). Review of recent large single crystal HPHT & CVD diamond synthesis developments. Proceedings from 2nd International Industrial Diamond Conference (19–20 April 2007). Rome, Italy. Retrieved from www.diamondatwork.com.
7. Liang, Q., Meng, Y.F., Yan, C.-S., et al. (2013) Development in synthesis, characterization, and application of large, high-quality CVD single crystal diamond. *Sverhtverdue materialy – Superhard materials*, 4, 3–25.
8. Shulzsenko, A.A., Ashkinazi, E.E., Ralchenko, V.G., et al. (2014) Tverdost monokristallichesko CVD-almaz i fazovue prevrascheniia v nem [Hardness of single-crystal cvd-diamond and phase transformations in him at dimpling]. *Sverhtverdue materialy – Superhard materials*, 5, 3–10 [in Russian].

9. Meijun Yang, Sunan Bai, Qingfang Xu, et al. (2020) Mechanical properties of high-crystalline diamond films grown via laser MPCVD. *Diamond and Related Materials*, 109, 108094.
10. Din, S.H., Shah, M.A., & Sheikh, N.A. (2018). Tribological performance of titanium alloy Ti-6Al-4V via CVD-diamond coatings. *Sverhtverdye materialy – Superhard materials*, 1, 37–52.
11. Dejun, K., Wen, Z., Ling, Z. (2019). Friction-wear behaviors of chemical vapor deposited diamond films at high temperatures. *Nadverdi materialy – Superhard materials*, 2, 39–48.
12. Ralchenko, V.G., & Ashkinazi, E.E. (2005) Uslovia sinteza, abrazivnaia i lazernaia obrabotka polikristallicheskoho CVD-almazna [Terms of synthesis, abrasive and laser treatment of polycrystalline CVD-diamond]. *Instrumentalni svit – Instrumental world*, 3, 14–18 [in Russian].
13. Meng, D., Yue, W., Lin, F., et al. (2015). Thermal stability of ultrahard polycrystalline diamond composite materials. *Sverhtverdye materialy – Superhard materials*, 2, 3–10.
14. Yang, N., Zong, W., Li, Z., & Sun, T. (2015). Wear process of single crystal diamond affected by sliding velocity and contact pressure in mechanical polishing. *Diamond and Related Materials*, 58, 46–53.
15. Wheeler, D.W., & Wood, R.J.K. (2018). High velocity erosion of CVD diamond coatings by diamond particles. *Diamond and Related Materials*, 84, 32–40.
16. Zhao, G., Li, Z., Hu, M., et al. (2019). Fabrication and performance of CVD diamond cutting tool in micromilling of oxygen-free copper. *Diamond and Related Materials*, 100, 107589.
17. Dojo, H., Tabata, T., Endo, K., et al. (2015). Planarization and smoothing of CVD grown diamond wafer by atmospheric pressure plasma based process. Proceedings from Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2015): 6th International Conference of Asian Society (15–20 August 2015). Harbin, China.
18. Xu, H., Zang, J., Yang, G., et al. (2017). High-efficiency grinding CVD diamond films by Fe-Ce containing corundum grinding wheels. *Diamond and Related Materials*, 80, 5–13.
19. Semba, T., Amamoto, Y., & Fujiyama, H. (2015). Reactive ion etching of microgrinding tool made of polycrystalline diamond. Proceedings from Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2015): 6th International Conference of Asian Society (15–20 August 2015). Harbin, China.
20. Gäbler, J., Pleger, S., & Schäfer, L. (2007). CVD diamond layers with a controlled roughness enable high-precision and microgrinding tools. Proceedings from 2nd International Industrial Diamond Conference (19–20 April 2007). Rome, Italy. Retrieved from www.diamondatwork.com.
21. Nozhkina, A.V., Kostikov, V.I., Ralchenko, V.G., et al. (2018). Mehanicheskaja obrabotka almaznuh monokristallov almaznumi poroshkavu s pokrutiem [Tooling of diamond single-crystals by diamond powders with coverage]. *Porodorazrushaiushchii i metallobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 21, 315–324. [in Russian].