



Сучасні розробки правлячого інструменту

ІЗ АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНИМ ШАРОМ З КОМБІНУВАННЯМ CVD- ТА HPHT-АЛМАЗІВ

У процесі правки абразивних кругів традиційним алмазним правлячим інструментом диспергований абразивний матеріал активно вимиває зв'язку в місцях закладання синтетичних монокристалічних алмазів, і останні випадають, не використавши свій ресурс. На машинобудівних підприємствах України для правки сучасних абразивних кругів (при шліфуванні поверхонь обертання складнофасонних виробів) нині починають використовуватися імпортовані правлячі ролики з CVD-алмазами (CVD — Chemical Vapour Deposition — одна з нових технологій лабораторного отримання алмазних продуктів шляхом хімічного осадження з парової фази). Витягнута форма CVD-алмазів і більша глибина закладання у зв'язці має стабілізувати їх утримання на робочій поверхні інструменту, а отже, збільшити ресурс правлячого інструменту.

 Автори статті:

М. М. Шейко, д-р техн. наук;

В. І. Лаврінченко, д-р техн. наук;

С. В. Рябченко, канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України,

В. Ю. Солод, канд. техн. наук

Дніпровський державний технічний
університет МОН України

Підприємствам машинобудування України, особливо для двигунобудування, агрегатних і гідроагрегатних заводів, авіаційних підприємств, потрібен прецизійний правлячий інструмент, і він є на ринку, але це імпортований правлячий інструмент таких фірм, як CORUS (Швейцарія), «Шаундт» і Reishauer (Німеччина), TYROLIT (Австрія).

Цей інструмент є високовартісним і вимагає наявності в підприємств валютних коштів. Разом із тим для задоволення потреб підприємств України у ньому, а також для виходу на іноземний ринок саме в Національній академії наук України (зокрема, в ІНМ ім. В. М. Бакуля) провадяться розробки та випускається ефективний правлячий інструмент. Проте з плином часу виникає необхідність у інноваційному вдосконаленні

цього інструменту, що і є метою написання даної статті.

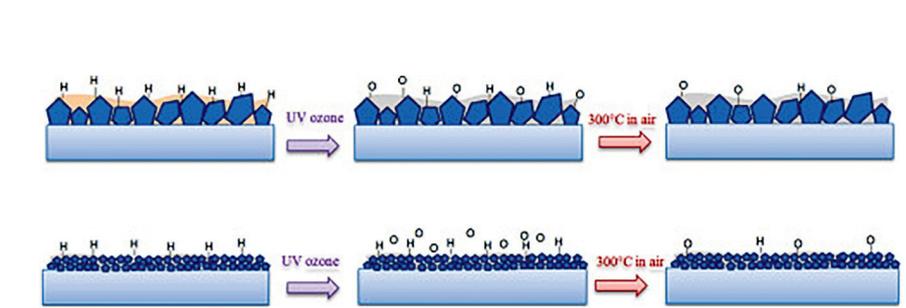
Прецизійний алмазний інструмент для машинобудування вимагає сучасних підходів до формування його поверхневого шару в поєднанні із застосуванням нових алмазних матеріалів, що є одним із чинників підвищення його експлуатаційних характеристик. Тому дослідниками постійно приділяється увага цьому питанню.

У даній статті ми зупинемося на найновіших сучасних розробках у формуванні методом гальванопластики алмазно-абразивного шару інструменту, а також на застосуванні суміші CVD- і HPHT-алмазів (синтетичні алмази, отримані за високих тисків та температур) у прецизійній правці складнопрофільних абразивних кругів.

CVD-алмази нині отримують певне застосування в алмазному інструменті, особливо правлячому. Згідно з Global CVD Diamond Sales Market Report, за прогнозами, до 2026 року обсяг світового ринку CVD-алмазів досягне 568,9 млн доларів США порівняно з 364,8 млн доларів США у 2020 році, при середньорічному темпі зростання 7,7% у період з 2021 по 2026 роки. Як наслідок, на машинобудівних підприємствах України для правки сучасних абразивних кругів (при шліфуванні поверхонь обертання складнофасонних виробів) нині починають використовуватися імпортовані правлячі ролики з CVD-алмазами. У процесі правки абразивних кругів традиційним алмазним інструментом диспергований абразивний матеріал активно впливає зв'язку в місцях закладання синтетичних монокристалічних алмазів, і останні випадають, не використавши свій ресурс. Витягнута форма CVD-елементів і більша глибина закладання у зв'язці має стабілізувати їх утримання на робочій поверхні інструменту, а отже, збільшити ресурс правлячого інструменту. З іншого боку, використання лише одних CVD-алмазів обумовлює їх велику кількість на периферії інструменту з кінематичних міркувань, інакше абразивний матеріал круга, що піддається правці, підмиватиме зв'язку вже в місцях закладання CVD-алмазів, і вже вони випадатимуть, не використавши свій ресурс. Тому аналіз сучасних розробок у виявленні особливостей формування гальванічного робочого шару, особливо із CVD-алмазами, є актуальним з точки зору розробок сучасного вітчизняного правлячого інструменту.

Так, у роботі [Kee Han Lee, Won Kyung Seong, Rodney S. Ruoff. CVD diamond growth: Replacing the hot metallic filament with a hot graphite plate. Carbon. 2022. Vol. 187. P. 396–403.] описано, як CVD-алмазні плівки (від нанокристалічних до полікристалічних) були синтезовані методом хімічного осадження з парової фази, де гаряча графітова пластина застосовувалася для термічної активації метану та водню. При цьому тиск складав від 40 до 100 Торр, концентрація метану у водні — від 0,5 до 2 об.%, а температура підкладки — від 1020 до 1140 °C. Максимальна швидкість росту складала 0,8 мкм/ч, а якість була зіставна із алмазними плівками, синтезованими методом хімічного осадження з газової фази на гарячій металічній нитці. Отримані алмазні плівки не містять металевих домішок [Kee Han Lee, Won Kyung Seong, Rodney S. Ruoff. CVD diamond growth: Replacing the hot metallic filament with a hot graphite plate. Carbon. 2022. Vol. 187. P. 396–403.].

Робота [The effect of UV and thermally induced oxidation on the surface and structural properties of CVD diamond layers with different grain sizes / Anna Dychalska, Marek Trzcinski, Kazimierz Fabisiak, Kazimierz Paprocki, Wojciech Koczorowski, Szymon Łoś, Mirosław Szybowicz. Diamond and Related Materials. 2022. Vol. 121. Art. 108739.] є продовженням раніше опублікованих досліджень щодо впливу об-



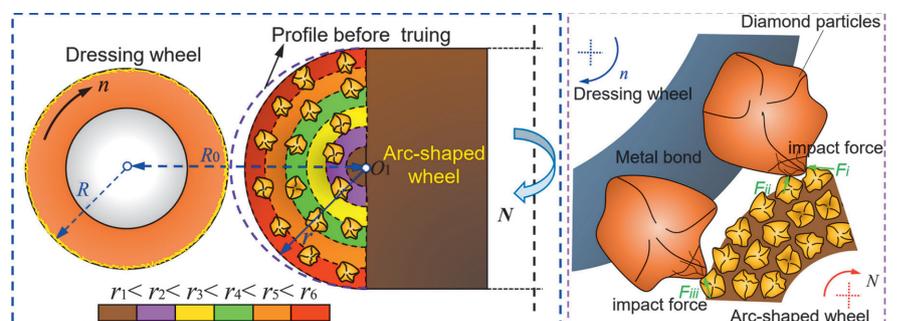
робки воднем на структурні властивості полікристалічних CVD-алмазних шарів з різним розміром зерна. Досліджено гідрогенізовані алмазні шари, які були окислені у два етапи: спочатку УФ-опроміненням у повітрі, а в подальшому — відпалом при 300 °C у повітрі. Встановлено, що мікрокристалічні та нанокристалічні шари алмаза по-різному поведуть себе при окисленні (рис. 1). Загалом мікрокристалічні зразки легше окислювалися при УФ-обробці.

Стаття [Sheng Wang, Qingliang Zhao, Bing Guo. Wear characteristics of electroplated diamond dressing wheels used for on-machine precision truing of arc-shaped diamond wheels. Diamond and Related Materials. 2022. Vol. 129. Art. 109372.] вже безпосередньо стосується технології правлення. У ній детально досліджено характеристики зносу алмазних правлячих кругів з гальванічним покриттям, які застосовуються для прецизійної правки дугоподібних пошарових (arc-shaped) алмазних кругів (рис. 2). Досліджувалася топографія зносу, висота виступання алмазів, а також механізм зношування металічної матриці. Встановлено, що точність правки алмазних arc-shaped шліфувальних кругів можна значно підвищити шляхом зменшення зносу алмазних частинок гальванічного правлячого інструменту. У правлячому крузі з великою зернистістю алмазних частинок з'являється графітизація, і швидкість зносу алмаза буде прискорена. Як приклад, правлячий круг з розміром зерна D213 мкм успішно знижує похибку радіального биття arc-shaped алмазного круга з гібридною зв'язкою від 35 мкм до 1,9 мкм.

Рис. 1. Зміна поверхні мікрокристалічного та нанокристалічного CVD-алмаза при окисленні, індукованому УФ-озоном

Враховуючи наведене вище, перейдемо безпосередньо до викладення наших досліджень, пов'язаних із застосуванням CVD-алмазів в правлячому інструменті. Нас у даному випадку зацікавили полікристалічні CVD-алмази для зміцнення проблемних ділянок алмазного прецизійного правлячого інструменту. Вставки CVD-алмазів 0,8 × 0,8 × 1,5 мм були проаналізовані на електронному мікроскопі. Зразки було досліджено методом сканувальної електронної мікроскопії при різному збільшенні на мікроскопі ZEISS EVO 50XVP, укомплектованому енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів INCA450 з детектором INCAPentaFETx3 та системою HKL CHANNEL-5 для дифракції відбитих електронів (виробництва фірми OXFORD). Аналізу піддалися дві поверхні на одному зразку: вихідна (рис. 3а) і шліфована (рис. 3б). Елементний склад (% за масою) поверхонь, наведених на рис. 3: вихідна — карбон (C) — 84,8, кисень (O) — 12,1, алюміній — 3,1; шліфована — карбон (C) — 97,6, алюміній — 2,4.

Рис. 2. Схема правлення arc-shaped алмазних кругів



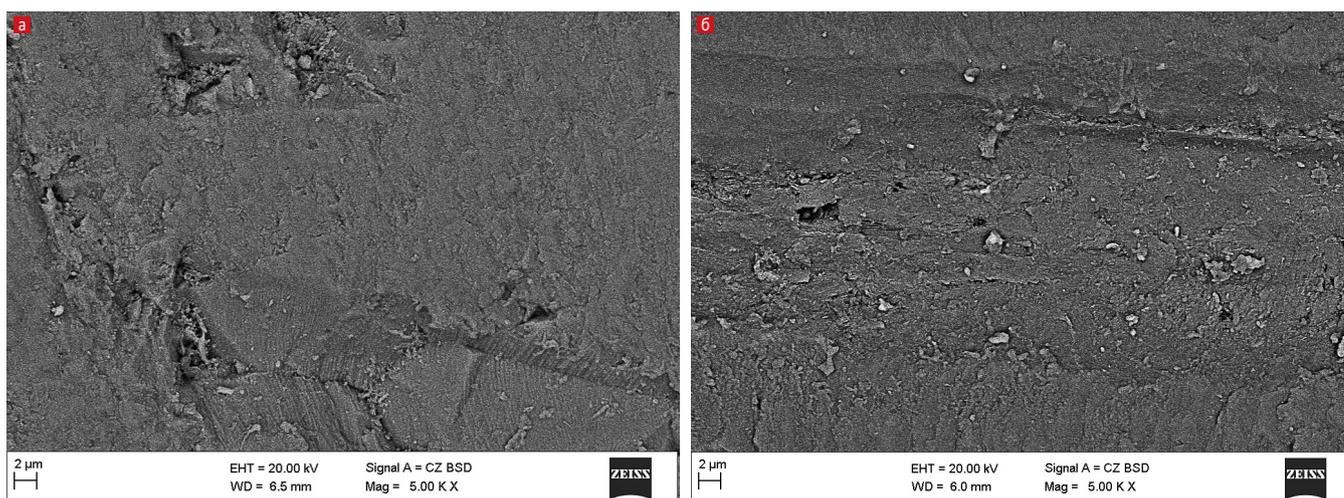


Рис. 3. Загальний вигляд поверхонь CVD-алмаза:
а) вихідна; б) шліфувана

З фотографій поверхонь CVD-алмазів (див. рис. 3) і з даних сканувальної мікроскопії можна зробити такі висновки:

- На вихідній поверхні спостерігається її полікристалічний характер, і навіть можна побачити певні межі зерен, з яких складається сам полікристал.

- На вихідній поверхні CVD-алмаза спостерігається підвищена кількість кисню, чого немає на шліфований поверхні. Тобто саме вихідна поверхня CVD-алмаза, через підвищену дефектність, має і просоченість киснем. У випадку шліфованої поверхні маємо зглажену поверхню (див. рис. 3б) і повну відсутність на ній кисню.

- Звернемо увагу і на те, що полікристалічні CVD-алмази містять невелику (в межах 2–3% за масою) кількість алюмінію.

Подальшу роботу було присвячено розмірній стійкості правлячих роликів, виготовлених методом гальванопластики з використанням CVD-алмазів для процесів абразивного формоутворення поверхонь складнофасонних виробів. У процесі правки абразивних кругів традиційним алмазним інструментом диспергований абразивний матеріал активно підмиває зв'язку в місцях закладання синтетичних монокристалічних алмазів, і останні випадають, не використавши свій ресурс. Витягнута форма CVD-вставок і більша глибина закладання у зв'язці має стабілізувати їх утримання на робочій поверхні інструменту, особливо на ділянках робочого профілю великої кривизни, а отже, збільшити ресурс правлячого інструменту. Використання CVD-вставок в правлячому інструменті, робочий шар якого сформовано методом гальванопластики, мінімізує подальшу доводку CVD-вставок до відповідного робочого профілю інструменту. Випробування на стійкість роликів з CVD-ал-

мазами проводилося на спеціальному стенді на базі круглошліфувального верстата 3Б151 з автономним приводом правлячого ролика та шляхом правки абразивних кругів за схемою шліфування з осьовою подачею. Для забезпечення таких умов роботи алмазного шару ролика, як при врізній правці, осьова подача S , відповідно до [Шейко М. Н., Пасичный О. О., Скок В. Н., Бологов П. И. Квазиврезная правка абразивных кругов как экспресс-метод испытания алмазных фасонных роликов. Сообщение 1. Регистрация сил правки. Сверхтвердые материалы. 2009. № 4. С. 65–75.], дорівнювала довжині L ділянки з протекцією CVD-вставками. Швидкість абразивного круга (29 м/с) і ролика (14,6 м/с) відповідали режимам правки, застосовуваним у виробничих умовах. Заправлялися абразивні круги $\varnothing 600 \times 63 \times 305$ марки від 25A F60 J 7V (25M3) до 25A F60 N 7V (25CT1) при осьовій подачі $S = 1,0$ мм/об ($U = 18,3$ мм/с) і подачі на глибину $t_0 = 0,10$ мм.

Випробування проводилося за планом однофакторного експерименту, а фактори, що варіювалися, — це число CVD-вставок на робочій поверхні правлячого інструменту та характеристики абразивного круга, що заправляється, — твердість, номер структури та зернистість. З метою інтенсифікації експериментів лабораторні ролики спроектовано з двома рядами CVD-вставок по окружностях на робочій поверхні, що лежать на краях прямого профілю (8 мм) інструменту й утворюють відповідно дві вершини з радіусами закруглення RL і RR (рис. 4). У цьому випадку одному ролику відповідали одразу два значення числа CVD-вставок. Профіль містив занижену (у нашому випадку на 1 мм) частину, що служила базою та не контактувала з абразивним кругом у процесі основної роботи, а отже, не була піддана зносу. Стосовно цієї бази вимірювався лінійний знос (заниження δ вершини) ділянок з протекцією CVD-вставками. У силу дискретності робочої поверхні

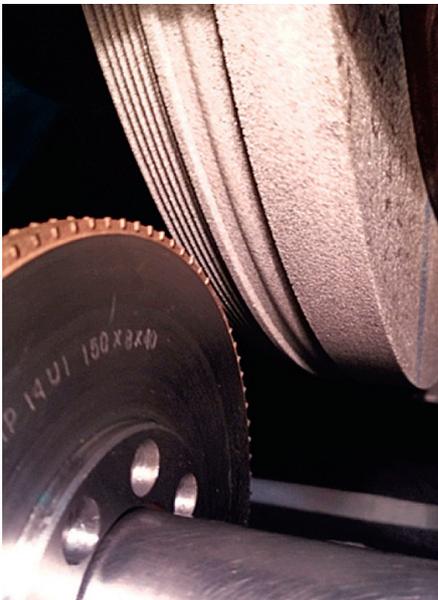


Рис. 4. Робоча поверхня алмазного правлячого ролика в плані: середня частина з протекцією CVD-алмазами та дві зовнішні із НРПТ-алмазами (зерна порошку АС200Т 400/315 розподілені рівномірно) занижені як базові

алмазного ролика лінійний знос вимірювався опосередковано, за пластинчастим свідком на мікроскопі ДИП-3 з точністю ± 2 мкм. Доречно було фіксувати не абсолютні поточні значення RL і RR , а відносні до початкових RLO і RRO відповідно. Вимірювання абсолютних величин заниження δ і радіусів проводилося при обробці (узгодження масштабів та інше) фотографій (в електронному вигляді) відповідних профілів, зроблених з мікроскопа ДИП-3.

Відносні величини радіусів скруглення вершин було представлено як функцію об'єму диспергованого абразивного матеріалу кругів, причому для наочності об'єм вимірявся в умовних одиницях: одна умовна одиниця — об'єм циліндра Ø 600 та висотою 1 міліметр. Для цього було проаналізовано й оброблено первинні матеріали, фотографії CVD-вставок на робочій поверхні правлячих роликів на різних стадіях зносу, побудовано зведені таблиці зносу вершин. Обробка експериментальних даних засвідчила, що: по-перше, застосування CVD-вставок у навантажених ділянках правлячого інструмента суттєво підвищує розмірну стійкість робочого профілю, по-друге, знос CVD-алмазів, як і кристалів НРНТ, в умовах правки абразивних кругів на керамічній зв'язці має характер абразивного зносу.

Для проведення виробничих випробувань правлячого інструменту з CVD-алмаза розроблено та виготовлено зразки правлячих роликів діаметром 150 мм для правки зубшліфувальних кругів. З двох сторін правлячого ролика було розміщено по 90 штук кристалів CVD-алмаза розміром 0,8*0,8*1,5 мм (0,01 карата) через чотири градуси один від одного (рис. 5).



↑ Рис. 5. Ролик з CVD-алмаза при правці шліфувального круга

Як і в умовах лабораторії, результати виробничих випробувань засвідчили, що: по-перше, застосування CVD-вставок у навантажених ділянках правлячого інструмента суттєво підвищує розмірну стійкість робочого профілю; по-друге, знос CVD-алмазів, як і кристалів НРНТ, в умовах правки абразивних кругів на керамічній зв'язці має характер абразивного зносу. Застосування в інструменті таких складнопрофільних ділянок, спрямовано поліпшених сумішшю CVD- і НРНТ-алмазів, дозволяє підвищити ефективність алмазного правлячого інструменту.

Результати випробувань дозволяють зробити позитивний висновок щодо перспективи імпортозаміщення такого інструменту для потреб машинобудівних підприємств України.

З питань виготовлення спеціального прецизійного правлячого інструмента та впровадження ефективних процесів алмазно-абразивного правлення, а також для отримання більш детальної інформації можна звертатися до ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, у відділ алмазно-абразивної та фізико-технічної обробки.

Тел.: (044) 432-95-15;
lavrinenko@ism.kiev.ua



АТА АБРАЗИВ



Шліфувальні
головки
ГОСТ 2447-82



Шліфувальні
круги
ГОСТ 2424-83



Шліфувальні
бруски
ГОСТ 2456-82

ТУ У 23.9 - 37611883 - 001:2016

Правильно підібраний абразивний інструмент – необхідна складова виробничого процесу на підприємствах машинобудування. Інструментальне виробництво, підшипникова промисловість, верстатобудування, автомобільна промисловість і нафтогазове машинобудування, авіабудування та суднобудування, виробництво обладнання для легкої та харчової промисловості – це лише деякі з галузей машинобудування, для яких необхідний якісний абразивний інструмент.

ТОВ «АТА АБРАЗИВ» з 1991 року виробляє шліфувальні головки, круги та бруски в Україні

Шліфувальні головки
від 3 до 40 мм

Шліфувальні круги
від 3 до 150 мм

Шліфувальні бруски
до 200 мм

А також інші види дрібнорозмірних абразивних виробів за кресленнями замовника

Абразивний інструмент з:



Електрокорунд
нормальний



Електрокорунд
білий



Електрокорунд
хромистий



Електрокорунд
хромтитанистий



Монокорунд



Сферокорунд



Карбід кремнію
чорний



Карбід кремнію
зелений

Застосування в технології виробництва абразивних матеріалів від кращих виробників, спеціальних керамічних зв'язок і наповнювачів, контроль на кожному етапі виробництва забезпечують високу стійкість абразивного інструменту, високу точність та відмінну якість обробленої поверхні. Можливе виготовлення інструменту, що має зернистість від F24 до F1000, твердість від М до Т, а також імпрегнування сіркою та іншими речовинами.