УДК 621.793

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА РІЗАЛЬНУ ЧАСТИНУ ІНСТРУМЕНТУ МЕТОДАМИ ХІМІЧНОГО (CVD) ТА ФІЗИЧНОГО (PVD) ОСАДЖЕННЯ З ПАРОВОЇ ФАЗИ

М. Короленко, група ПМ 23-3
О. Лисенко, кандидат технічних наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет

Розвиток машинобудування призводить до появи нових конструкційних матеріалів з високими фізико-механічними властивостями, технологій обробки та металообробного обладнання [1]. Забезпечення процесу обробки таких матеріалів та реалізації технологій на металообробному обладнанні потребує відповідного інструментального забезпечення. Тенденції розвитку інструментального забезпечення [2] свідчать, що для забезпечення необхідних різальних властивостей велику роль відіграють покриття, нанесені на робочі поверхні [3], унормовані стандартом [4]. Для обробки деталей складного профілю з жароміцних сталей та сплавів застосовують нові інструментальні матеріали (тверді сплави з покращеними характеристикам, нітридна та SiAlON інструментальна кераміка і т.д.), але найбільш застосовуваними залишаються зносостійкі покриття на основі TiN, TiAlN, CrN та інших з'єднань елементів [5].

Нанесення зносостійких покриттів на різальну частину інструменту є одним із найбільш ефективних способів підвищення його працездатності в умовах сучасної механічної обробки. Покриття дають змогу цілеспрямовано змінювати фізико-механічні та трибологічні властивості поверхневого шару: мікротвердість, термостійкість, коефіцієнт тертя, хімічну інертність і стійкість до дифузійного та абразивного зношування. У результаті підвищуються допустимі режими різання, зростає ресурс інструменту та покращується стабільність процесу обробки.

Сучасна практика [6, 7] показує, що саме покриті інструменти є базою для високопродуктивного точіння, фрезерування та свердління в умовах сухого, напівсухого та інтенсивного різання.

Найбільш поширеними технологіями формування таких покриттів є хімічне осадження з парової фази (CVD) та фізичне осадження з парової фази (PVD). Обидва методи широко застосовуються для твердосплавного й швидкорізального інструменту, однак відрізняються температурним режимом процесу, механізмом утворення шару, товщиною покриття, характером залишкових напружень і, відповідно, сферою раціонального використання.

Метод CVD передбачає утворення твердого покриття внаслідок хімічних реакцій газоподібних прекурсорів на нагрітій поверхні інструментальної основи. Для покриттів різального інструменту процес, як правило, реалізується за високих температур, орієнтовно 900-1100°C, що сприяє формуванню порівняно товстих і добре зчеплених із підкладкою шарів. Типовими для CVD є багатошарові системи, в яких окремі шари виконують різні функції: забезпечують зносостійкість, термічний бар'єр, зниження інтенсивності дифузійних процесів та захист від окиснення [7, 8].

До основних переваг CVD-покриттів належить можливість формування відносно товстих шарів, які ефективно працюють за високих температур у зоні різання. Такі покриття добре проявляють себе в умовах безперервного різання, насамперед під час точіння сталей і чавунів, коли вирішальне значення мають теплостійкість і стійкість до кратерного зношування. Крім того, CVD-технологія зручна для створення багатошарових структур, а висока продуктивність процесу робить її економічно доцільною для серійного виробництва пластин.

Водночас CVD має і суттєві обмеження. Через високу температуру осадження та значну товщину покриття різальна кромка може втрачати початкову гостроту, що знижує ефективність застосування такого покриття для дрібнорозмірного, гострокромкового або чистового інструменту. Крім того, термічні напруження, які виникають у системі «покриття-підкладка» під час охолодження, можуть сприяти утворенню мікротріщин і погіршувати поведінку інструменту в умовах переривчастого різання або ударних навантажень. У роботі [8] серед недоліків CVD також відзначають ризик термічного розтріскування та охрупчування окремих систем покриття.

Метод PVD базується на переведенні матеріалу покриття у парову фазу фізичними способами – випаровуванням, іонно-плазмовим розпиленням, дуговим випаровуванням або магнетронним розпиленням – з подальшою конденсацією на поверхні інструменту [6, 7]. На відміну від CVD, PVD зазвичай відбувається за нижчих температур, близько 400-600 °C, що значно зменшує термічний вплив на інструментальну основу. Саме тому PVD особливо цінне для інструментів, чутливих до перегріву та зміни геометрії різальної кромки .

Головною перевагою PVD є можливість формування тонких покриттів, які добре відтворюють геометрію кромки й майже не погіршують її гостроти. Це надзвичайно важливо для кінцевих фрез, свердел, розгорток, мітчиків, протяжок, інструментів складного профілю та засобів чистової обробки.

Крім того, PVD-покриття часто характеризуються високою твердістю, сприятливим рівнем стискальних залишкових напружень, зниженим коефіцієнтом тертя та кращою опірністю до викришування кромки. Унаслідок цього вони добре працюють в умовах переривчастого різання, фрезерування та динамічних навантажень. Інформаційні джерела прямо пов’язують нанесення методом PVD з підвищенням міцності кромки та опору гребінчастим тріщинам [6, 9].

Разом із тим PVD також не є універсальним рішенням. Через меншу товщину покриття його теплозахисна дія, як правило, слабша, ніж у CVD, тому за дуже високих теплових навантажень і безперервного різання CVD-системи нерідко демонструють кращу стійкість. Крім того, ефективність PVD-покриття істотно залежить від підготовки поверхні, адгезії, архітектури шарів, наявності фінішної обробки після нанесення та правильного вибору складу покриття під конкретний матеріал заготовки.

Отже, порівняння CVD і PVD доцільно проводити не в категоріях «краще–гірше», а за критеріями технологічної доцільності. CVD-покриття є переважно вибором для умов, де визначальними є теплостійкість, товстий функціональний шар і стабільність при безперервному різанні. PVD-покриття більш придатні там, де критичними є гостра різальна кромка, точність геометрії, низьке термічне навантаження на основу та висока стійкість до сколювання під час змінних навантажень. Сучасний розвиток інструментальних матеріалів іде в напрямі наношарових, багатошарових та гібридних систем, включно з поєднанням переваг CVD і PVD для досягнення балансу між адгезією, мікротвердістю, зносостійкістю та термічною стабільністю [10].

Отже у підсумку можна зазначити, що нанесення покриттів методами CVD і PVD є ефективним засобом підвищення працездатності різального інструменту завдяки керованій зміні властивостей поверхневого шару. CVD-покриття доцільно застосовувати в умовах високих теплових навантажень і безперервного різання, оскільки вони забезпечують формування товстих шарів із високою теплостійкістю та доброю адгезією. PVD-покриття є більш придатними для інструментів зі складною або тонкою геометрією різальної кромки, а також для переривчастого різання, де важливі висока твердість, низький коефіцієнт тертя та опір сколюванню. Вибір типу покриття має здійснюватися з урахуванням матеріалу інструментальної основи, виду обробки, режимів різання та характеру навантаження. Перспективним напрямом є розроблення гібридних і багатошарових покриттів, що поєднують переваги CVD і PVD та забезпечують комплексне підвищення зносостійкості й термічної стабільності інструменту.

Список літератури

1. Пестунов, В. М. Нові технології та металообробний інструмент / В. М. Пестунов, О. В. Лисенко, В. М. Лисенко // Машинобудування та металообробка – 2003 : тези доповідей Першої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Кіровоград, 17-19 квіт. 2003 р. Кіровоград : КДТУ, 2003. - С. 177-179. - URL: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/16450

2. Ігнатьєв, Е. С. Основні тенденції розвитку сучасного ріжучого інструменту / Е. С. Ігнатьєв, О. В. Лисенко // Наукові записки : зб. наук. пр. - Кіровоград : КНТУ, 2011. - Вип. 11, ч. 1. - С. 221-225. - URL: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/4836

3. Великий, Д. Покращення експлуатаційних властивостей твердосплавних різальних інструментів при обробці спеціальних конструкційних сталей / Д. Великий, О. Лисенко // «Наука - виробництву, 2021 = Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку»: зб. тез доп. здобув. вищ. освіти LV наук.-техн. конф. за підсумками проведення «Дня науки – 2021» (14 травн. 2021 р.). - Кропивницький: ЦНТУ, 2021. - С. 258-260. - URL: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12058

4. ДСТУ 2491-94. Покриття металеві та неметалеві неорганічні. Терміни та визначення. – [чинний від 1995-07-01]. – Вид. офіц. – Київ : Держстандарт України, 1995. - 41 с.

5. Лисенко, О. Забезпечення високих різальних властивостей інструментального оснащення високошвидкісних обробних центрів / О. Лисенко // Збірник тез доповідей викладачів, аспірантів та співробітників LVI науково-технічної конференції «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2025» 24-25 квітня 2025 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2025. - С. 75-76

6. Cutting tool materials: Advantages & recommendations for best use // Sandvik Coromant : вебсайт. URL: https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/materials/cutting-tool-materials (дата звернення: 20.04.2026).

7. A Guide to Milling Grades, Materials and Solutions // Seco Tools : вебсайт. URL: https://www.secotools.com/article/a_guide_to_milling_grades__materials_and_solutions (дата звернення: 20.04.2026).

8. Bobzin K., Möbius M. P., Aghdam Tönnißen P. Cutting performance of Al_2O_3 coatings deposited by High Speed PVD // Surface and Coatings Technology. 2026. Vol. 520. Art. 132997. DOI: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2025.132997.

9. Yaqoob S., Ghani J. A., Jouini N., Juri A. Z. Performance Evaluation of PVD and CVD Multilayer-Coated Tools in Machining High-Strength Steel // Coatings. 2024. Vol. 14, no. 7. Art. 865. DOI: https://doi.org/10.3390/coatings14070865.

10. Codau T.-C., Ferreira J., Girão A. V., Codau E., Figueiredo D., Fernandes C. M., Guimarães B., Oliveira F. J. Advanced ceramic multilayer coatings for increasing the tool life of cutting inserts: A hybrid CVD-PVD approach // Materials Chemistry and Physics. 2026. Vol. 349, Part 1. Art. 131768. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.131768.