

7. Пашченко Є. О., Рябченко С. В., Шатохін В. В., Кухаренко С. А. Правлячі інструменти з CVD-алмазу для абразивного шліфування зубчастих коліс. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 19-го Международного научно-технического семинара, Кошице, 18–22 февраля 2019 г.* Киев: АТМ України, 2019. С. 145–147.

Надійшла 09.10.24

## References

1. Nezhebovskiy V. V., Riabchenko S. V. (2021). Profilne shlifuvannya zubchatykh kolis vuhledobuvnykh kombayniv [Profilne shlifuvannya zubchatykh kolis vuhledobuvnykh kombainiv]. *Suchasni pytannya vyrobnytstva ta remontu v promyslovosti i transporti*. (s. 139–141). АТМ Ukraine [in Ukrainian].
2. Kalashnikov, A. S. (2009). Sovremennye metody chistovoi obrabotki zubev tsilindricheskikh koles [Modern methods of finishing machining of spur wheel teeth]. *Metalloobrabotka – Metalworking*, 6, 38–42. [in Russian].
3. Riabchenko, S. V., & Sereda, G.V. (2011). Abrazivnye kruhi dlia shlifovaniia zubchatykh koles [Abrasive wheels for grinding gears]. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov – Equipment and tools for professionals*, 6 (142), 54–56. [in Russian].
4. Riabchenko, S. V. (2014). Shlifovanie zubchatykh koles tarelchatymi kruhami iz STM [Gear grinding with SHM disc wheels]. *Sverkhtverdye materialy – Super hard materials*. 6. 81–89. [in Russian].
5. Starkov, V. K. (2007). *Shlifovanie vysokoporistymi kruhami [Grinding with high porosity wheels]*. Mashinostroenie. [in Russian].
6. Larshin, V. P., Lishchenko, N. V., & Riabchenko, S. V., et al. (2016). Profilnoe shlifovanie zubchatykh koles vysokoporistymi abrazivnymi kruhami [Profile grinding of gears with highly porous abrasive wheels]. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov – Equipment and tools for professionals*, 5 (190), 20–23. [in Russian].
7. Pashchenko, E. O., Riabchenko, S. V., Shatokhin, V. V., & Kukhareno, S. A. (2019). Pravliachi instrumenty z CVD-almazu dlia abrazivnogo shlifuvannya zubchastykh kolis. *Sovremennye voprosy proizvodstva i remonta v promyshlennosti i na transporte*. (s. 145–147). АТМ Ukraine [in Ukrainian].

УДК 621.62-4

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-342-346

**А. О. Лямцева**

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

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛМАЗНОГО ПОЛІКРИСТАЛІЧНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ. ОГЛЯД

*В статті розглянуто застосування різальних інструментів з полікристалічного алмазу. Проаналізовано літературні джерела, в яких описано дослідження їхнього використання для різання важкооброблюваних матеріалів. Описано напрямки досліджень та тенденції застосування різальних інструментів, виготовлених з полікристалічних алмазних матеріалів.*

**Ключові слова:** полікристалічний алмаз, титанові сплави, нітридні покриття.

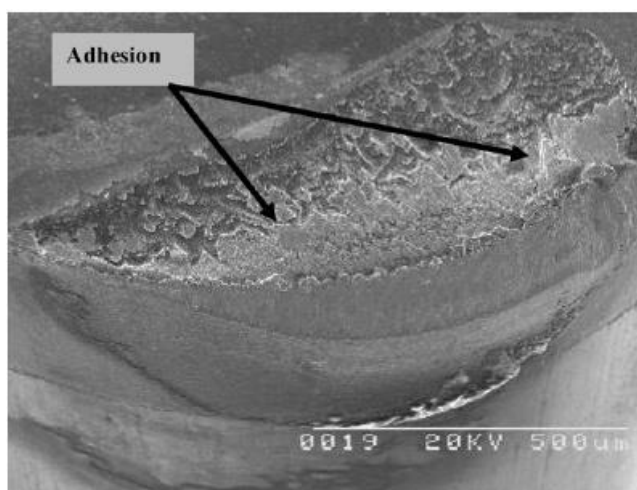
За останні два десятиліття застосування інструментів з робочими елементами, виготовленими з полікристалічного алмазу (polycrystal diamond – PCD, англ.) мало великий вплив на аерокосмічну, автомобільну, біомедичну галузі та на матеріалознавство в цілому [1, 2]. Спеціально для галузі виробництва інструментів всесвітні виробники інструментів, такі як Sandvik Coromant і ENWA, розширили свою лінійку продуктів і більше зосередилися на високоефективних інструментах з полікристалічного алмазу [3].

Надзвичайно висока твердість робить полікристалічний алмаз більш стійким до абразивного зношування, а висока теплопровідність зменшує кількість тепла, накопиченого на межі «інструмент–стружка» та «інструмент–деталь» [4].

Застосування інструментів з полікристалічного алмазу у високошвидкісних процесах безперервного точіння було успішним, проте існують застереження, що робочий елемент інструменту може бути не в змозі витримати переривчасті сили різання в процесах фрезерування через свою крихкість. Однак у дослідженнях [5] було показано, що інструменти з полікристалічного алмазу мають більший термін служби в процесах фрезерування, порівняно із інструментами з твердого сплаву, через кращу стійкість до сколів на ріжучій кромці та стирання на бічній поверхні.

Багато авторів [3, 6, 7] оцінюють інструмент з полікристалічного алмазу як перспективний матеріал для полегшення процесу оброблювання титанових сплавів, що на сьогоднішній день залишається актуальною проблемою.

Використання інструментів зі сталі або твердого сплаву для оброблювання титанових сплавів обмежене швидким утворенням кратерів на передній поверхні та деформацією на носі. Встановлено, що основний механізм зношування під час обробки титанових сплавів



*Зношена пластина після обробки під тиском охолоджуючої рідини 11 МПа зі швидкістю 200 м/хв [6]*

композитними інструментами – це процес дифузії та розчинення [8]. Автори роботи [9] зазначили, що при використанні інструментів з полікристалічного алмазу утворення зміцнювального шару на поверхні заготовки, спричинене фазовим перетворенням титану, було менш інтенсивним і це збільшувало термін служби алмазного інструменту в порівнянні з інструментом із карбиду вольфраму.

Також у роботі [5] було виявлено, що безпрецедентно висока швидкість різання титанових сплавів стає можливою за допомогою алмазного інструменту із застосуванням охолоджувальної рідини під високим тиском. Автори [9] досліджували механізм зносу інструменту

з полікристалічного алмазу під час механічного оброблювання титанового сплаву Ti–6Al–4V. Експеримент також проводився із застосуванням охолоджувальної рідини під високим тиском. Було визначено, що домінуючими механізмами зносу інструменту є адгезія та стирання матеріалу (рисунок).

Для вирішення проблеми зносу матеріалу під час оброблювання титанових сплавів доцільним може стати використання захисних покриттів з нітридів титану або вольфраму на робочому елементі алмазного різального інструменту. Використання захисного покриття

може привести до перерозподілу напруження на поверхнях різального інструмента, змінити коефіцієнт тертя [10]. Покриття з нітридів титану (TiN) або вольфраму (TiW) є найбільш часто використовуваними, оскільки вони поєднують у собі такі властивості як висока міцність зв'язку з підкладкою [11-12] і висока стійкість до зношування, ерозії та корозії [13].

Зокрема, нітриди перехідних металів широко використовуються через їхні чудові властивості, такі як: хороша провідність, твердість, висока температура плавлення, хімічна стабільність і зносостійкість. З цих причин нітриди перехідних металів використовуються як дифузійні бар'єри, а також у твердих, зносостійких та антикорозійних покриттях [14-15].

### Висновки

1. Робочий елемент різального інструменту з полікристалічного алмазу є перспективним матеріалом для оброблювання титанових сплавів, оскільки за певних умов використання може досягати характеристик різання титанових сплавів, перевищуючи характеристики, отримані за допомогою твердосплавних інструментів.

2. Дослідження процесів механічної взаємодії інструменту із заготовкою та дослідження зносу матеріалів може суттєво розширити галузі використання алмазного різального інструменту.

**A. O. Lyamtseva**

*V.N. Bakul Institute for Super hard Materials NAS of Ukraine*

### THE PROSPECTS OF USING A DIAMOND POLYCRYSTALLINE CUTTING TOOL FOR PROCESSING TITANIUM ALLOYS. REVIEW

*This article discusses the use of cutting tools made of diamond polycrystal. Literary sources were analyzed in which research was conducted on the use of cutting difficult-to-process materials. Research directions and trends in the use of cutting tools made of diamond polycrystal are introduced.*

**Key words:** polycrystal diamond (PCD), titanium alloys, nitride coatings.

### Література

1. Guangxian L., Mohammad Z., Wencheng P., Cuie W., Songlin D. The manufacturing and the application of polycrystalline diamond tools - A comprehensive review. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020. Vol. 56. – P. 400 – 416.
2. Xian Wu, Liang Li, Ning He, Guolong Zhao, Feng Jiang, Jianyun Shen Study on the tool wear and its effect of PCD tool in micro milling of tungsten carbide. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2018. Vol. 77. P. 61 – 67.
3. Michiko O., Junya O., Takashi H., Naohiro T., Hitoshi S. High speed cutting of titanium alloy with PCD tools. *Key Engineering Materials*. 2009. Vol. 389-390. P. 157– 62.
4. Sadik M., Coronel E., Lattermann M. Influence of characteristic properties of PCD grades on the wear development in turning of  $\beta$ -titanium alloy (Ti5Al5V5Mo3Cr). *Wear*. 2019. Vol. 426-427. P. 1594 – 1602.
5. Jianxin D., Aihua L. Dry sliding wear behavior of PVD TiN, Ti55Al45N, and Ti35Al65N coatings at temperatures up to 600°C. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2013. Vol. 41. P. 241–249.
6. Bhaumik S., Divakar C., Singh A. Machining Ti–6Al–4V alloy with a wBN–cBN composite tool. *Materials & Design*. 1995. Vol. 16, N 4. P. 221–226.
7. Rosemar B., Machado A., Ezugwu E., Bonney J., Sales W. Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti–6Al–4V alloy with PCD tools under various coolant pressures.

- Journal of Materials Processing Technology*. 2013. Vol. 213, N 8. P. 1459–1464.
8. Різальний інструмент з тришаровим покриттям: пат. 89923 Україна. МПК С23С 14; опубл. 2010, Бюл. № 5.
  9. Jianxin D., Fengfang W., Yunsong L., Youqiang X., Shipeng L. Erosion wear of CrN, TiN, CrAlN, and Ti–Al–N PVD nitride coatings. *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.* 2012. Vol. 35. P. 10–16.
  10. Santecchia E., Hamouda A., Musharavati F., Cabibbo M., Spigarelli S. Wear resistance investigation of titanium nitride-based coatings. *Ceramics International*. 2015. Vol. 41, N 9. P. 10349–10379.
  11. Pelleg J., Zevin L., Lungo S., Coritoru N. Reactive-sputter-deposited TiN films on glass substrates. *Thin Solid Films*. 1991. Vol. 197, N 1–2. P. 117–128.
  12. Liang C., Cheng G., Zheng R., Liu H. Fabrication and performance of TiN/TiAlN nanometer modulated coatings. *Thin Solid Films*. 2011. Vol. 520, N 2. P. 813–817.
  13. Bars J.-P., Etchessahar E., Debuigne J. Étude cinétique, diffusionnelle et morphologique de la nitruration du titane par l'azote à haute température: Propriétés mécaniques et structurales des solutions solides Ti $\alpha$ -azote // *Journal of the Less Common Metals*. 1977. Vol. 52, N 1. P. 51–76.

Надійшла 05.07.24

## References

1. Guangxian, L., Mohammad, Z., Wencheng, P., et al. (2020). The manufacturing and the application of polycrystalline diamond tools – A comprehensive review. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 400–416.
2. Wu, X., Li, L., He, N., et al. (2018) Study on the tool wear and its effect of PCD tool in micro milling of tungsten carbide. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 77, 61–67.
3. Michiko, O., Junya, O., Takashi, H., et al. (2009) High speed cutting of titanium alloy with PCD tools. *Key Engineering Materials*, 389, 390, 157–162.
4. Sadik, M., Coronel, E., & Lattermann, M. (2019). Influence of characteristic properties of PCD grades on the wear development in turning of  $\beta$ -titanium alloy (Ti5Al5V5Mo3Cr). *Wear*, 426-427, 1594–1602.
5. Jianxin, D., & Aihua, L. (2013). Dry sliding wear behavior of PVD TiN, Ti55Al45N, and Ti35Al65N coatings at temperatures up to 600°C. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41, 241–249.
6. Bhaumik, S., Divakar, C., & Singh, A. (1995). Machining Ti–6Al–4V alloy with a wBN–cBN composite tool. *Materials & Design*, 16(4), 221–226.
7. Rosemar, B., Machado, A., Ezugwu, E., et al. (2013). Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti–6Al–4V alloy with PCD tools under various coolant pressures. *Journal of Materials Processing Technology*, 213(8), 1459–1464.
8. Azaryenkov M. O., Beresnev V. M., Klymenko S. A., et al. (2010). *Patent of Ukraine № 89923. MPK C23C 14/06. Riznyy instrument z trysharovym pokryttyam [Cutting tool with three-layer coating]* (Patent Ukraine №89923).
9. Jianxin D., Fengfang W., Yunsong L., et al. (2012) Erosion wear of CrN, TiN, CrAlN, and Ti–Al–N PVD nitride coatings. *Int. J. Refract. Metals Hard Mater*, 35, 10 – 16.
10. Santecchia, E., Hamouda, A., Musharavati, F., et al. (2015). Wear resistance investigation of titanium nitride-based coatings. *Ceramics International*, 41(9), 10349–10379.
11. Pelleg, J., Zevin, L., Lungo, S., et al. (1991). Reactive-sputter-deposited TiN films on glass

- substrates. *Thin Solid Films*, 197(1–2), 117–128.
12. Liang, C., Cheng G., Zheng, R., et al. (2011). Fabrication and performance of TiN/TiAlN nanometer modulated coatings. *Thin Solid Films*, 520(2), 813–817.
13. Bars, J.-P., Etchessahar, E., & Debuigne, J. (1977). Étude cinétique, diffusionnelle et morphologique de la nitruration du titane par l'azote à haute température: Propriétés mécaniques et structurales des solutions solides Ti $\alpha$ -azote. *Journal of the Less Common Metals*, 52(1), 51–76.

УДК 621.371

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-346-354

**Ю.Д. Філатов<sup>1</sup>, А.Ю. Бояринцев<sup>2</sup>, В.І. Сідорко<sup>1</sup>**, доктори технічних наук;  
**І.А. Рибалка<sup>2</sup>, С.В. Ковальов<sup>1</sup>, В.А. Ковальов<sup>3</sup>, О.Я. Юрчишин<sup>3</sup>**, кандидати технічних наук;  
**О.О. Сосницька<sup>2</sup>, О.І. Пилипенко<sup>2</sup>**, інженери

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, e-mail: [filatov@ism.kiev.ua](mailto:filatov@ism.kiev.ua)

<sup>2</sup>Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, пр. Науки 60, 61072 м. Харків,  
e-mail: [boyarintsev@isma.kharkov.ua](mailto:boyarintsev@isma.kharkov.ua)

<sup>3</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», пр. Перемоги 37, 03056 м. Київ, e-mail: [urchyshynoks@ukr.net](mailto:urchyshynoks@ukr.net)

## ПОЛІРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ОПТОТЕХНІКИ З НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Метою даної роботи є дослідження механізму полірування деталей оптотехніки з напівпровідникових матеріалів за допомогою дисперсних систем з мікро- і нанопорошків та вивчення закономірностей видалення оброблюваного матеріалу і формування нанопрофілю полірованої поверхні. В результаті дослідження закономірностей впливу фізичних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування встановлено, що утворення і видалення з оброблюваної поверхні наночастинок шламу є наслідком ферстерівського резонансного перенесення енергії, опосередкованого квантовими точками (QD-FRET), яке відбувається у відкритому мікрорезонаторі, утвореному поверхнями оброблюваного матеріалу і частинки полірувального порошку. Показано, що під час полірування оптичних деталей з напівпровідникових матеріалів швидкість знімання оброблюваного матеріалу зростає за збільшення розміру наночастинок шламу і спадає за зростання ефективної ширини забороненої зони квантової точки (КТ). Параметри шорсткості полірованих поверхонь  $R_a$ ,  $R_q$  і  $R_{tmax}$  зростають за збільшення розміру наночастинок шламу і зменшуються за зростання ефективної ширини забороненої зони КТ. Встановлено, що результати теоретичного розрахунку швидкості знімання оброблюваного матеріалу під час полірування плоских поверхонь деталей оптотехніки з напівпровідникових матеріалів добре узгоджується з даними експериментального визначення продуктивності полірування антимоніду індію, карбїду кремнію, германію і кремнію за відхилення до 5%. Показано, що швидкість зняття оброблюваного матеріалу і шорсткість полірованих поверхонь задовольняють вимогам, що висуваються до процесу полірування оптичних поверхонь. Результати дослідження доцільно використовувати при розробці технологічних процесів полірування деталей оптотехніки з напівпровідникових матеріалів.

**Ключові слова:** полірування, дисперсна система, напівпровідники, наночастинки, швидкість зняття матеріалу, шорсткість.