

Світлана Іванівна Радкевич¹, Вільям Олександрович Залоза²

¹аспірантка кафедри механічної інженерії
Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)
E-mail: asp_rsi@student.ztu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8791-1653>

²професор кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)
E-mail: zalogav@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7444-485X>

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ**

У цій статті розглядаються теоретичні аспекти оброблюваності важкооброблюваних матеріалів при торцевому фрезеруванні з використанням інструментів, виготовлених на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Основна увага приділяється аналізу фізико-механічних властивостей інструментів із КНБ, що роблять цей матеріал ефективним для обробки твердих матеріалів, а також як впливають на шорсткість отриманої поверхні різні параметри різання. Інструменти з КНБ відзначаються високою твердістю і зносостійкістю, що дозволяє їм витримувати високі температури й механічні навантаження під час процесу фрезерування. Завдяки цим властивостям, вони можуть значно підвищити ефективність процесу обробки та забезпечити високу якість оброблюваної поверхні важкооброблюваних матеріалів. Теоретичний аналіз також включає в себе розгляд оптимальних параметрів різання, таких як швидкість різання, глибина різання і подача. Визначено, що раціональний вибір цих параметрів може значно знизити зношування інструментів і покращити якість обробки. Особливу увагу приділено таким параметрам різання як швидкість різання і подача, які можуть значно вплинути на температурний режим в зоні різання і, відповідно, на зносостійкість інструментів та якість оброблюваної поверхні. Загалом стаття підкреслює важливість використання інструментів із КНБ для торцевого фрезерування важкооброблюваних матеріалів, а також необхідність оптимізації технологічних параметрів для досягнення максимальної ефективності процесу.

Ключові слова: торцеве фрезерування; кубічний нітрид бору; фізико-механічні властивості; зносостійкість; оптимізація параметрів.

Рис.: 5. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Актуальність цієї роботи полягає в необхідності підвищення ефективності процесів обробки твердих матеріалів, таких як сталі високої твердості й чавуни, що використовуються в різних галузях промисловості, включаючи автомобілебудування, авіацію та машинобудування.

Використання інструментів з полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) дозволяє досягти високої якості обробки, зниження витрат на обслуговування і підвищення продуктивності завдяки їх винятковій зносостійкості та здатності витримувати високі температури. Наукове обґрунтування та теоретичний аналіз процесу торцевого фрезерування з використанням ПКНБ інструментів є важливими аспектами для розробки нових методів обробки, які можуть бути впроваджені у виробничі процеси для підвищення їхньої ефективності та економічності.

Особлива увага приділяється оптимізації параметрів різання, що дозволяє зменшити зношування інструментів і покращити якість оброблюваної поверхні, що є критично важливим для забезпечення конкурентоспроможності виробничих підприємств. Таким чином, дослідження теоретичних аспектів торцевого фрезерування сталей і чавунів високої твердості за допомогою інструментів із ПКНБ є актуальним і має значний практичний інтерес для інженерів, технологів та науковців, які працюють у сфері обробки важкооброблюваних матеріалів.

Постановка проблеми. Обробка важкооброблюваних матеріалів завжди була викликом для виробників через швидке зношування різальних елементів інструменту і недостатню якість оброблюваної поверхні. Інструменти з ПКНБ пропонують потенційне оптимізаційне рішення завдяки своїм відмінним фізико-механічним властивостям, проте їх ефективне використання вимагає детального розуміння оптимальних параметрів різання та умов обробки.

Проблема полягає в тому, щоб знизити зношування інструментів і покращити якість обробки, оптимізуючи технологічні параметри різання, що дозволить значно підвищити продуктивність процесу фрезерування. Це завдання є критично важливим для покращення економічної ефективності і конкурентоспроможності виробничих процесів, особливо в умовах сучасного машинобудування та металообробки. Успішне вирішення цієї проблеми сприятиме вдосконаленню технологій обробки та підвищенню якості продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Авторами досліджень [1–3] встановлено, що інструмент із ПКНБ групи VL має підвищену схильність до зношування по задній поверхні при важкому переривчастому різанні, у той час як інструменти із матеріалів групи VH менш сприятливі до високих динамічних навантажень, але швидше зношуються при високошвидкісному різанні.

Зокрема, у роботі [4] авторами був проведений статистичний аналіз напружено-деформованого стану моделей різальних інструментів зі змінними різальними пластинами круглої та квадратної форм. За його результатами пластини круглої форми мають значні переваги, і їх використання може значно підвищити стійкість оснащеного ними різального інструменту.

Результати досліджень [5] з визначення характеру зношування інструментів із ПКНБ з різним вмістом нітриду бору при обробці з ударом важкооброблюваного матеріалу з різними швидкостями різання свідчать, що стійкість інструментів із ПКНБ зменшується зі збільшенням швидкості різання. При швидкості різання до 120 м/хв найкращу стійкість показували інструменти, що оснащені різальними елементами із ПКНБ групи VH, при збільшенні швидкості різання до 240 м/хв найкращу працездатність показували інструменти з різальними пластинами із ПКНБ групи VL.

Метою статті є теоретичне обґрунтування та розробка рекомендацій з оптимізації процесу торцевого фрезерування сталей із застосуванням інструментів з ПКНБ. Аналітичне дослідження спрямоване на вивчення впливу різних технологічних параметрів на якість оброблюваної поверхні та зносостійкість інструментів, а також на визначення оптимальних умов різання для підвищення продуктивності та економічної ефективності процесу. Важливим аспектом роботи є аналіз впливу параметрів різання на шорсткість поверхні, що сприяє поліпшенню умов різання та продовженню терміну служби інструментів.

Виклад основного матеріалу. Висвітлено такі параметри різання як швидкість різання, подача на зуб, глибина різання при різних режимах різання. Проаналізовано вплив параметрів різання на шорсткість поверхні, отриманої в процесі обробки. Проаналізовані параметри шорсткості включали R_a , R_q , R_z , R_t , які, розглянуті в сукупності, дають комплексну картину загальної якості поверхні [6].

При аналітичному дослідженні впливу швидкості різання на шорсткість поверхні решта параметрів мали постійні значення і були задані на рівні: подача на зуб: 0,15 мм/зуб, осьова глибина різання: 1 мм, радіальна глибина різання: 25 мм.

Значення параметрів шорсткості, виміряні для різних швидкостей різання, показані на гістограмі (рис. 1). Лінії тренду також включені, щоб показати наближення для чотирьох параметрів шорсткості, разом з поліномами, які найкраще їх описують. Найвища шорсткість була зареєстрована для швидкості різання 260 м/хв, тоді як найнижча шорсткість була зареєстрована для цього параметра, встановленому при швидкості 200 м/хв.

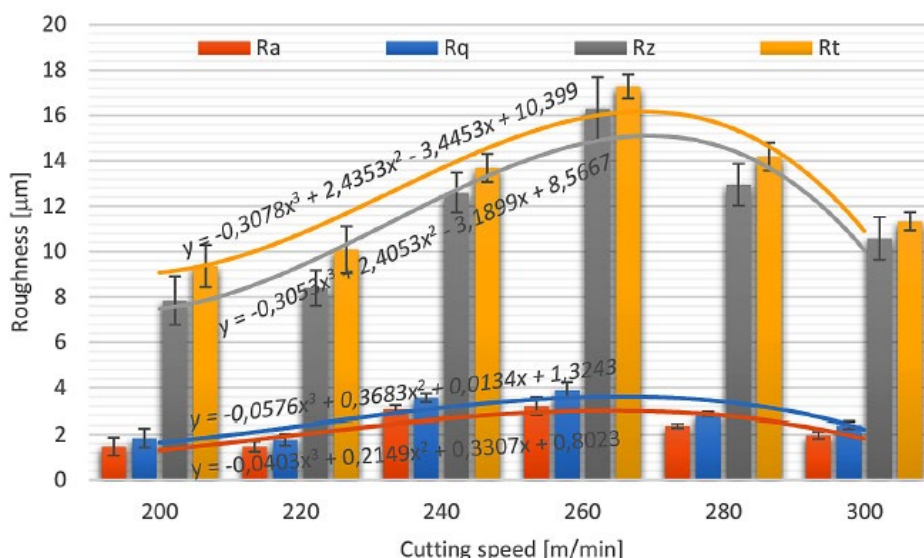


Рис. 1. Кореляція між швидкістю різання та шорсткістю аналізованої поверхні [6]

Значення шорсткості зростають зі збільшенням швидкості різання, поки не досягнуть 260 м/хв, а після цього порогу, при таких самих умовах різання, починають зменшуватися. Зростання швидкості різання в діапазоні від 200 до 220 м/хв не змінило значення параметра Ra. У випадку з іншими параметрами спостерігається певна зміна значення, однак слід пам'ятати, що ці параметри дуже чутливі до індивідуальних екстремальних відхилень. Збільшення швидкості різання до 240 і 260 м/хв призводить до значного збільшення значення всіх отриманих параметрів шорсткості. Дослідження впливу швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні дозволило зробити наступний висновок, що спочатку збільшення швидкості різання призводить до збільшення або відсутності зміни значень параметрів, що описують показники шорсткості.

Результати вимірювань шорсткості для зростаючого значення подачі на зуб представлені графічно на гістограмі (рис. 2).

Найвища шорсткість була зареєстрована при подачі на зуб 0,13 мм/зуб (за нею слідує 0,15 мм/зуб), тоді як найнижча шорсткість була зареєстрована при подачі 0,07 мм/зуб.

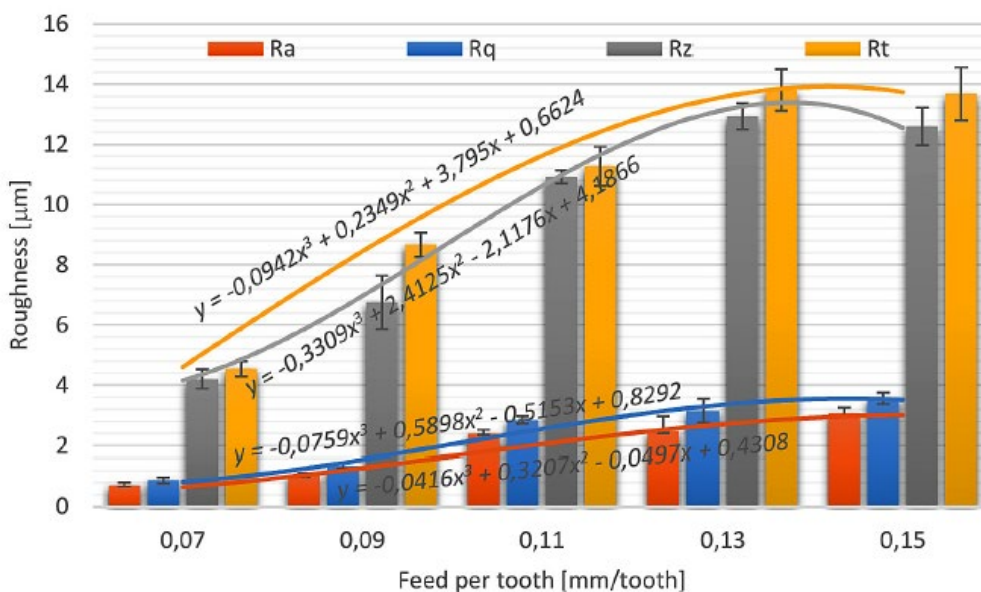


Рис. 2. Кореляція між подачею на зуб і шорсткістю аналізованої поверхні [6]

Крім того, цікавіші профілі шорсткості показані на рис. 3. Масштаб залишається однаковим для кожного з них, тому їх легше порівнювати. З попереднього графіка ми бачили, що значення шорсткості зростають зі збільшенням величини подачі, і відмінності досить помітні, за винятком двох останніх зразків, де результати дуже схожі, хоча самі профілі шорсткості досить різні.

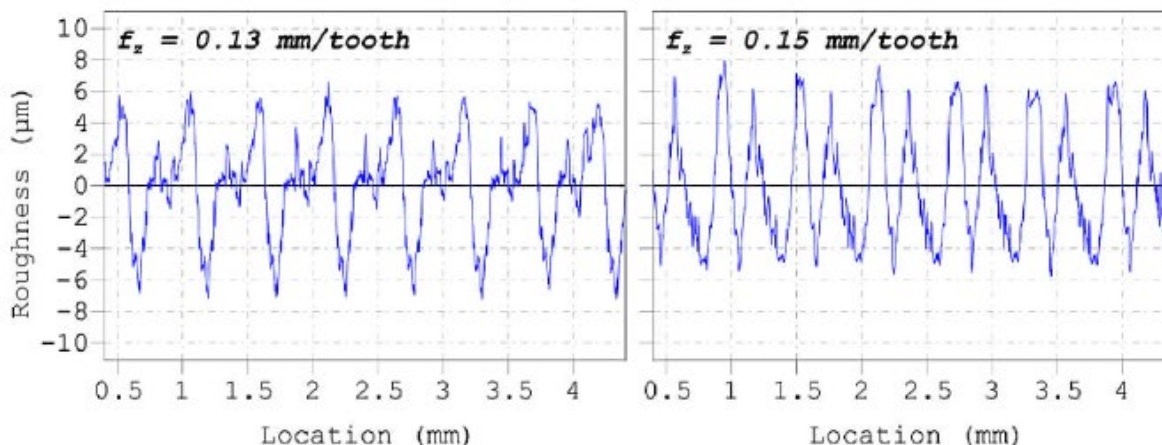


Рис. 3. Порівняння профілів шорсткості, отриманих для значень подачі на зуб 0,13 і 0,15 мм/зуб [6]

При дослідженні зв'язку між осьюою глибиною різання та шорсткістю поверхні решта параметрів мали постійні значення і були наступними: швидкість різання: 240 м/хв, подача на зуб: 0,07 мм/зуб, радіальна глибина різання: 25 мм.

Значення шорсткості поверхні, отримані для різної осьової глибини різання, зображені на гістограмі на рис. 4. Найвища шорсткість була зареєстрована для осьової глибини різання 0,75 мм, тоді як найнижча шорсткість була зареєстрована для параметра, встановленого на 0,5 мм.

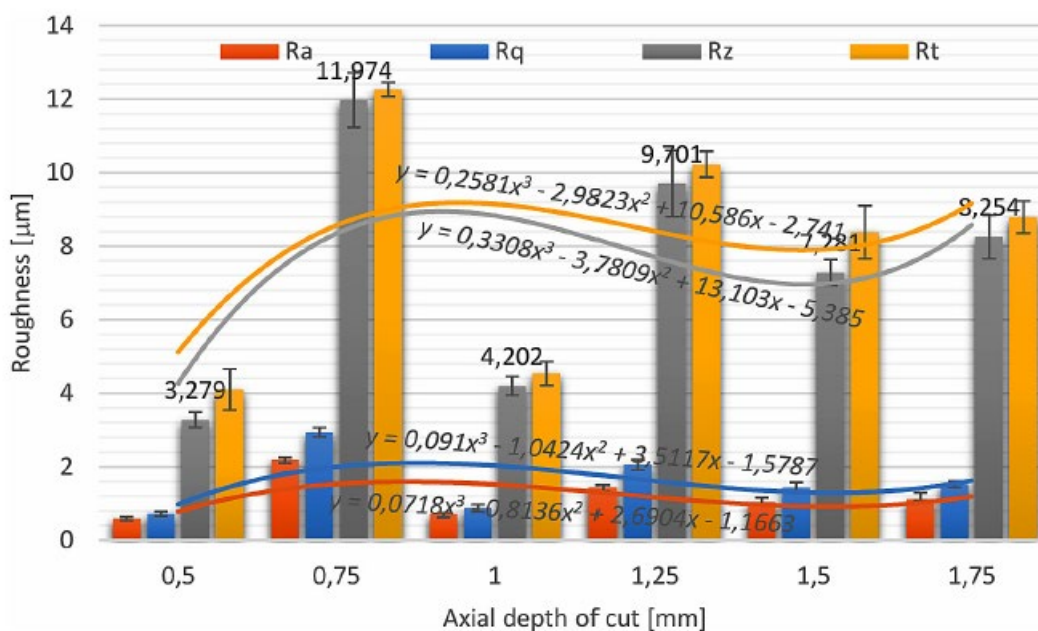


Рис. 4. Кореляція між осьовою глибиною різання і шорсткістю аналізованої поверхні [6]

Особливо цікаві профілі шорсткості, отримані для різної осьової глибини різання, показані на рис. 5. Масштаб однаковий для всіх ділянок. Найвищі піки припадають на значення 0,75 мм, і картина шорсткості помітно відрізняється від решти.

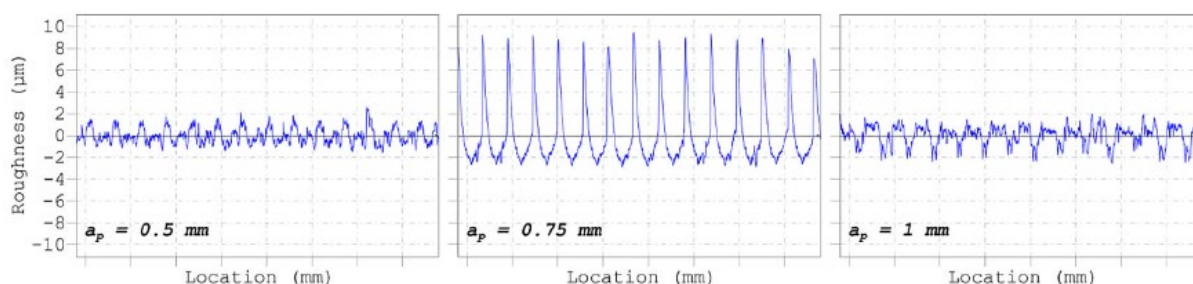


Рис. 5. Порівняння інших профілів шорсткості, отриманих для значень осьової глибини різання від 0,5 до 1 мм [6]

Висновки. Як свідчать аналітичні результати досліджень, більша подача на зуб призводить до більш шорсткої обробки поверхні, тоді як менша подача на зуб забезпечує більш гладку обробку поверхні. Це пояснюється тим, що більша подача на зуб означає, що інструменту доводиться знімати більше матеріалу з кожним проходом, що може призвести до появи більшої кількості слідів від інструменту та нерівностей на поверхні.

І навпаки, менша подача на зуб означає, що інструмент знімає менше матеріалу за кожен прохід, що призводить до більш гладкої поверхні.

Однак оптимальна подача на зуб залежить також від інших факторів, таких як оброблюваний матеріал, геометрія різального інструменту та швидкість різання. Вища швидкість різання та гостріший різальний інструмент можуть забезпечити більшу подачу на зуб без збільшення шорсткості поверхні. Тому важливо враховувати всі ці фактори разом при виборі відповідної подачі на зуб для досягнення бажаної шорсткості поверхні.

Список використаних джерел

1. Chou, Y. K. Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting / Y. K. Chou // *Wear*. – 2003. – № 255. – Pp. 1388-1394.
2. Chou, Y. K. Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting / Y. K. Chou, C. J. Evans // *Wear*. – 1999. – № 225-229. – Pp. 234-245.
3. Diniz, A. E. Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting / A. E. Diniz, D. M. Gomes, A. Jr. Braghini // *Mater. Processing Technol.* – 2004. – Vol. 129, № 2. – Pp. 240-248.
4. Збірні торцеві фрези з регульованими ріжучими вставками / П. В. Кушніров, І. М. Дегтярьов, А. В. Євтухов, О. Б. Руденко // *Компресорне і енергетичне машинобудування*. – 2019. – № 4 (58). – С. 6-10.
5. Diniz, A. E. Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools / A. E. Diniz, A. J. Oliveira // *J. Mater. Proc. Technol.* – 2008. – № 195. – Pp. 275-281.
6. Investigation of the Impact of Selected Face Milling Parameters on the Roughness of the Machined Surface for 1.4301 Steel / M. Bembenek, D. Dzienniak, A. Dzindziora, M. Sułowski, L. Ropyak // *Advances in Science and Technology Research Journal*. – 2023. – № 17(4). – Pp. 299-312. <https://doi.org/10.12913/22998624/170422>.
7. Rahman, A. M. Modeling and optimization of process parameters in face milling of Ti6Al4V alloy using Taguchi and grey relational analysis / A. M. Rahman, S. A. Rob, A. K. Srivastava // *Procedia Manufacturing*. – 2021. – Vol. 53. – Pp. 204-212.
8. Study on grinding mode effect on external conical thread quality / L. Y. Ropyak, V. Vytvytskyi, A. Velychkovych, T. Pryhorovska, M. Shovkoplias // In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. – 2021. – P. 012014.
9. Siller H. Study of face milling of hardened AISI D3 steel with a special design of carbide tools / H. Siller, C. Vila, C. Rodríguez, J. Abellán // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2009. – 40. – Pp.12-25.

References

1. Chou, Y.K. (2003). Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting. *Wear*, 255, 1388–1394.
2. Chou, Y.K., Evans, C.J. (1999). Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting. *Wear*, 225–229, 234–245.
3. Diniz, A.E., Gomes, D.M., Braghini, A.Jr. (2004). Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting. *Mater. Processing Technol.*, 129(2), 240–248.
4. Kushnirov, P.V., Dehtiarov, I.M., Yevtukhov, A.V., Rudenko, O.B. (2019). Zbirni tortsevi frezy z reholovanyimi rizhuchymy vstavkamy [Prefab end mills with adjustable cutting inserts]. *Kompresorne i enerhetychne mashynobuvannia – Compressor and power engineering*, 4(58), 6–10.
5. Diniz, A.E., Oliveira, A.J. (2008). Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools. *J. Mater. Proc. Technol*, 195, 275–281.
6. Bembenek, M., Dzienniak, D., Dzindziora, A., Sułowski, M., & Ropyak, L. (2023). Investigation of the Impact of Selected Face Milling Parameters on the Roughness of the Machined Surface for 1.4301 Steel. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 17(4), 299–312. <https://doi.org/10.12913/22998624/170422>.
7. Rahman, A.M., Rob, S.A., Srivastava, A.K. (2021). Modeling and optimization of process parameters in face milling of Ti6Al4V alloy using Taguchi and grey relational analysis. *Procedia Manufacturing*, 53, 204–212.
8. Ropyak, L.Y., Vytvytskyi, V., Velychkovych, A., Pryhorovska, T., Shovkoplias, M. (2021). Study on grinding mode effect on external conical thread quality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 012014.
9. Siller, H., Vila, C., Rodríguez, C., Abellán, J. (2009). Study of face milling of hardened AISI D3 steel with a special design of carbide tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40, 12–25.

Отримано 11.11.2024

UDC 621.9

Svitlana Radkevych¹, William Zaloga²

¹PhD student at the Department of Mechanical Engineering
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: asp_rsi@student.ztu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8791-1653>

²Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Machine Tools and Instruments
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: zalogav@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7444-485X>

FEATURES OF THE FACE MILLING PROCESS USING CUBIC BORON NITRIDE TOOLS

This article discusses the theoretical aspects of machinability of hard-to-machine materials during face milling using tools made from cubic boron nitride (CBN). The main focus is on analyzing the physical and mechanical properties of CBN tools, which make this material effective for machining hard materials, as well as how different cutting parameters affect the roughness of the machined surface. CBN tools are characterized by high hardness and wear resistance, allowing them to withstand high temperatures and mechanical loads during the milling process. Thanks to these properties, they can significantly improve the machining efficiency and ensure the high quality of the machined surface of hard-to-machine materials.

The theoretical analysis also includes considering optimal cutting parameters, such as cutting speed, depth of cut, and feed rate. It is determined that a rational choice of these parameters can significantly reduce tool wear and improve machining quality. Special attention is paid to cutting parameters such as cutting speed and feed rate, which can significantly influence the temperature regime in the cutting zone and, consequently, the tool wear resistance and the quality of the machined surface. Overall, the article emphasizes the importance of using CBN tools for face milling of hard-to-machine materials and the need for optimization of technological parameters to achieve maximum process efficiency.

Keywords: face milling; cubic boron nitride; physical and mechanical properties; wear resistance; parameter optimization.

Fig.: 5. References: 9.