

Особливості оброблення сталей високої твердості при торцевому фрезеруванні інструментом з твердосплавними вставками та з КНБ

У сучасній машинобудівній галузі торцеве фрезерування сталей високої твердості є важливим процесом, що дозволяє досягти високих показників точності та якості поверхні оброблюваних деталей машин, що виготовляються. Твердосплавні різальні вставки та вставки із кубічного нітриду бору (КНБ) використовуються як основні матеріали для різальних елементів інструменту завдяки їх високим механічним властивостям і здатності витримувати великі навантаження. У статті досліджуються особливості оброблення сталей високої твердості за допомогою цих інструментів, зокрема їх зносостійкість та вплив умов оброблення на зношування різальних пластин. Твердосплавні пластини мають високу твердість і стійкість до теплового навантаження, що робить їх придатними для оброблення сталей високої твердості. Проте зношування таких пластин може бути значним у разі недотримання оптимальних умов оброблення.

Кубічний нітрид бору відомий своєю високою твердістю та зносостійкістю, що робить його ідеальним матеріалом для оброблення твердих сталей. Пластини із КНБ забезпечують тривалий термін служби інструменту і високу якість поверхні оброблюваних деталей. Дослідження показують, що правильний вибір та оптимізація параметрів оброблення є ключовими для досягнення найкращих результатів при торцевому фрезеруванні сталей високої твердості. Твердосплавні пластини та КНБ мають свої унікальні переваги, що пов'язані з їх зношуванням. Визначення оптимальних умов для кожного типу різального інструменту дозволяє мінімізувати зношування і покращити якість оброблення.

Ключові слова: торцеве фрезерування; сталь високої твердості; кубічний нітрид бору; зносостійкість; твердосплавні пластини.

Актуальність теми. У сучасній металообробці та машинобудуванні торцеве фрезерування сталей високої твердості набуває все більшої значущості під час виготовлення різних деталей машин і механізмів. З розвитком високотехнологічних галузей, таких як авіація, космонавтика, автомобільна промисловість, військове забезпечення, металургія і енергетика, зростає потреба в матеріалах з підвищеною міцністю та зносостійкістю. Сталі високої твердості володіють унікальними властивостями, що робить їх незамінними у виробництві критично важливих компонентів.

Інструменти з твердосплавними вставками та вставками із КНБ дозволяють досягати високих показників якості оброблення таких сталей, забезпечуючи тривалий термін служби інструменту та стабільність процесу різання. Проте висока твердість і абразивність сталей створюють значні виклики у вигляді зношування різальних кромок, що знижує продуктивність і підвищує витрати на інструментальне забезпечення. Дослідження зношування інструментів і пошук шляхів його мінімізації є критично важливими для підвищення ефективності виробничих процесів.

Розуміння впливу різних параметрів оброблення на зношування різальних пластин дозволяє оптимізувати технологічні процеси, знизити витрати на обслуговування та підвищити якість кінцевого продукту. Отже, ця тема є надзвичайно актуальною, оскільки надає можливість вирішувати практичні проблеми промислових виробництв, що виникають під час оброблення сталей високої твердості, та сприяє розвитку сучасних технологій металообробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спирається автор. Аналізуючи літературні джерела [1–5], встановлено, що застосування інструментів із КНБ при обробці сталей високої твердості (від 30 до 62 HRC) має низку переваг для отримання деталей високої точності і низької шорсткості поверхні після торцевого фрезерування. Автори [6] визначили вплив параметрів різання на механізми зношування різального інструменту і як це впливає на якість отриманої поверхні після торцевого фрезерування. В [7] досліджували механізми зношування інструменту при обробці сталі високої твердості, механізми утворення стружки, якість поверхні після обробки різанням.

Визначено [8] показники шорсткості поверхні сталі AISI D3 твердістю 62 HRC після торцевого фрезерування інструментом, що оснащений вставками з КНБ, і керамічні вставки, що виготовлені з оксиду алюмінію. Показники шорсткості були отримані в діапазоні R_a від 0,3 до 3 μm після оброблення інструментом із КНБ, а після обробки керамічним інструментом шорсткість поверхні була отримана R_a від 1,3 до 3 μm . У [9] проводили дослідження процесу торцевого фрезерування загартованої сталі AISI D6 (твердістю 58 HRC). Отримано шорсткість поверхні в діапазоні від 0,2 до 0,3 μm R_a . Автори [10] досліджували вплив мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) на обробку сталі високої твердості

(57 HRC) при торцевому фрезеруванні інструментом зі вставкою з КНБ. Застосування МОР призвело до катастрофічного руйнування інструменту через теплове навантаження, однак нанесення рідини на безпосередньо різальну кромку пластини призвело до збільшення терміну служби різального інструменту.

Метою статті є аналіз процесів торцевого фрезерування сталей високої твердості із застосуванням інструментів з твердосплавними вставками та з кубічним нітридом бору. Стаття ставить за мету визначити оптимальні умови оброблення, зокрема параметри різання, що мінімізують зношування різальних інструментів та забезпечують високу якість оброблюваної поверхні. Важливим завданням є також порівняння ефективності різних типів інструментів і їх впливу на продуктивність та економічну доцільність процесу оброблення сталі.

Викладення основного матеріалу. Розглянуто чотири аспекти результатів дослідження: показники шорсткості отриманої поверхні після торцевого фрезерування; геометрія різальної кромки; механізми зношування інструменту і топографія обробленої поверхні.

Досліджено [11] зношування інструменту при торцевому фрезеруванні сталі високої твердості. На рисунку 1 зображено різальну кромку, бічну поверхню пластини і шкалу, яка використовувалася для вимірювання параметра V_B . Виділяються дві зони бічного зношування, область вздовж різальної кромки, де кут різання максимальний і де мінімальний, що формує оброблену поверхню.

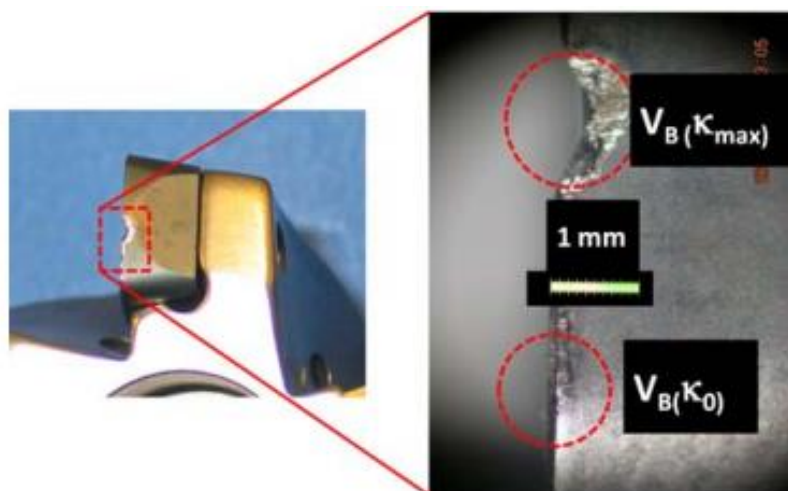


Рис. 1. Зображення бічного зносу різальної пластини зі збільшенням 70x [11]

На рисунках 2–4 показано графіки зношування пластин при різних швидкостях різання, подачі. Варто зауважити, що для швидкості різання $V = 50$ м/хв (рис. 2) термін служби інструменту демонструє тривале плато перед прискоренням зношування при останньому проході.

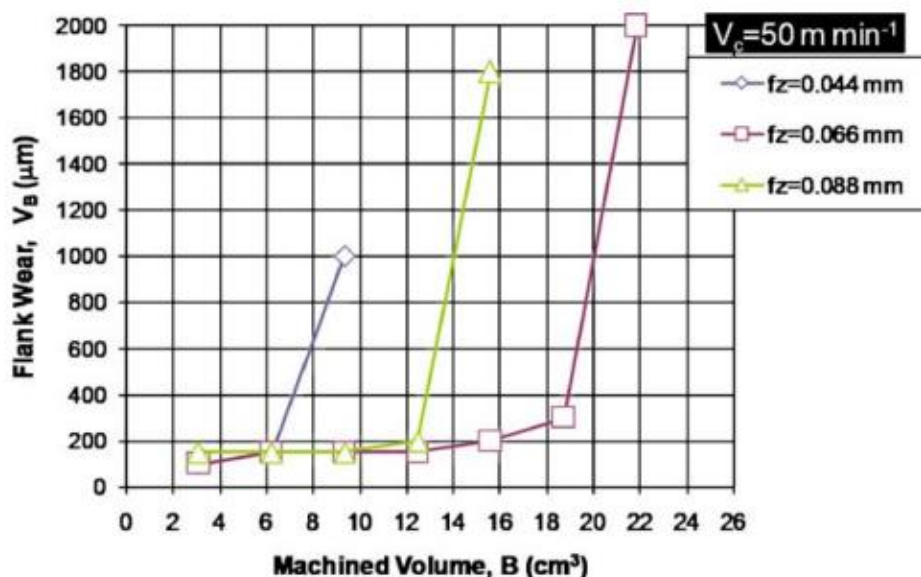


Рис. 2. Зношування інструменту при швидкості різання $V = 50$ м/хв [11]

На рисунку 3, де зображено швидкість різання $V = 75$ м/хв при найнижчій подачі інструмент показував прискорене зношування, а при більших подачах зношування інструменту було більш поступовим.

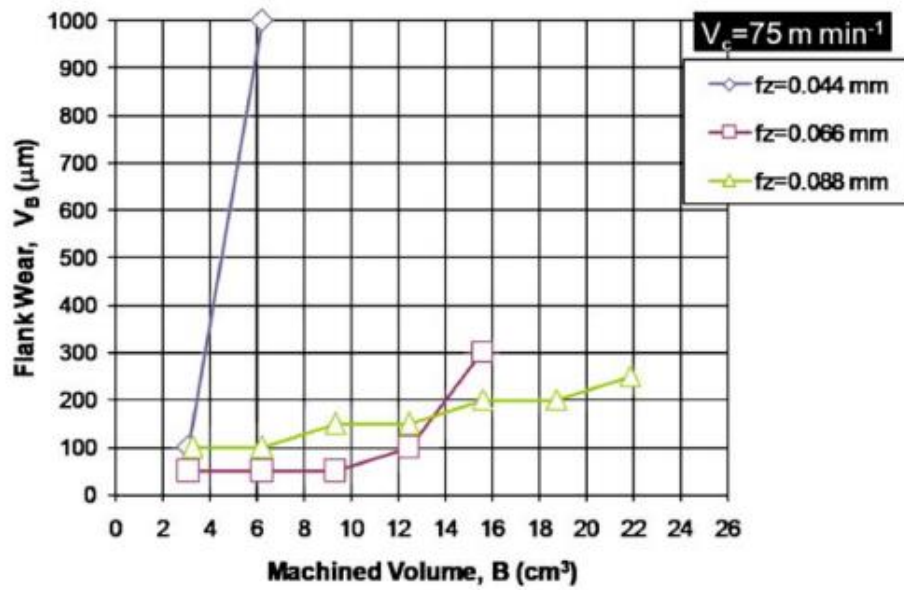


Рис. 3. Зношування інструменту при швидкості різання $V = 75$ м/хв [11]

При швидкості різання $V = 100$ м/хв (рис. 4) зношування майже не відбувалося. При порівнянні всіх параметрів різання стає зрозуміло, що для найменшої подачі різання економічно не вигідне, оскільки зношування починається майже одразу.

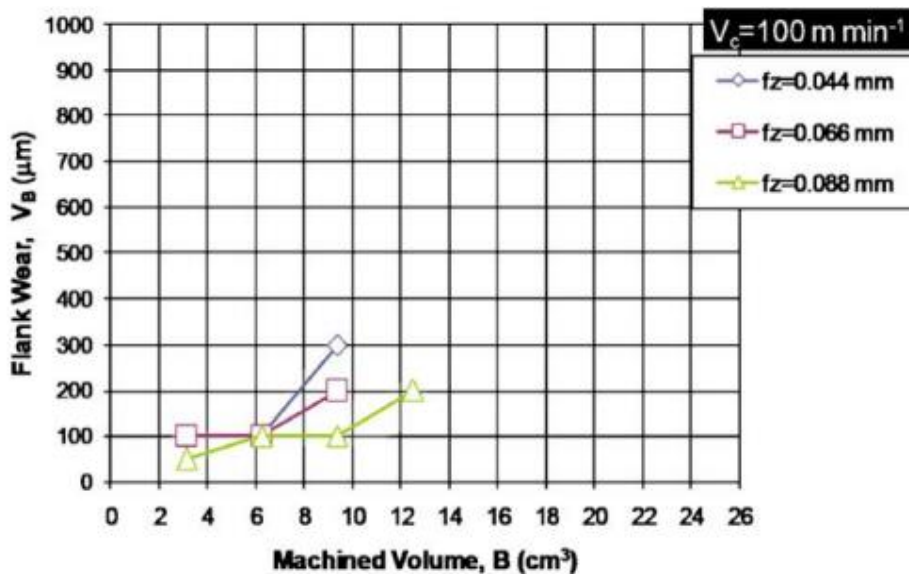


Рис. 4. Зношування інструменту при швидкості різання $V = 100$ м/хв [11]

Встановлено [11] взаємозв'язок між морфологією зношування інструменту та шорсткості поверхні. Запропоновано застосування гістограм частотного розподілу значень R_a при різних параметрах різання (рис. 5–7).

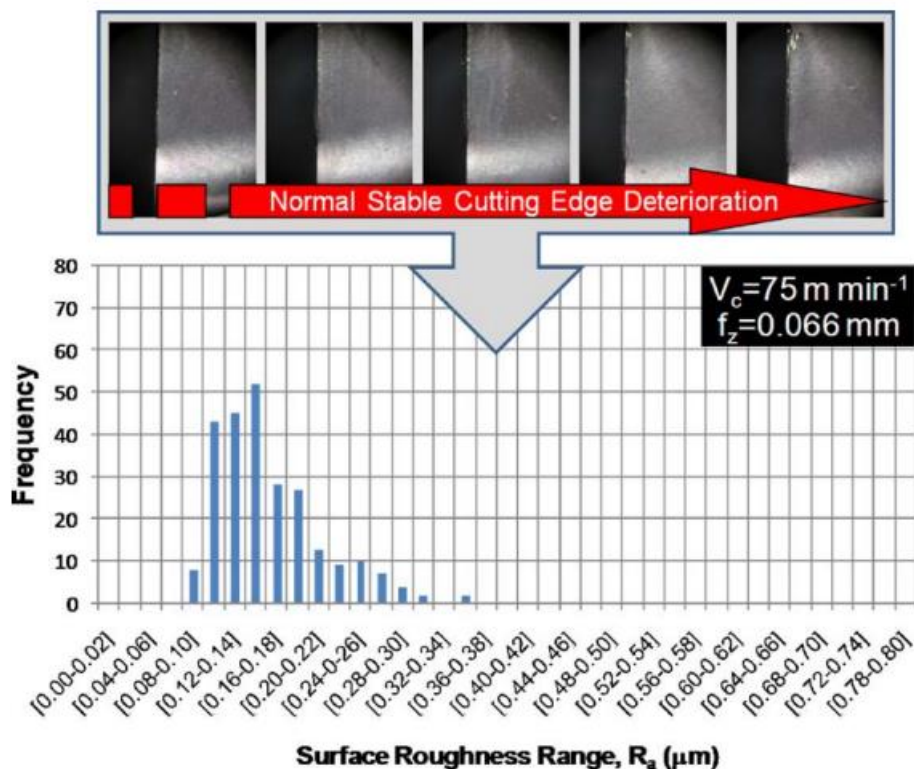


Рис. 5. Зв'язок морфології зносу інструменту з гістограмою частоти R_a за нормальних умов [11]

На рисунку 5 видно, що у випадку нормального стабільного зношування різальної кромки зношування інструменту залишається далеко від області 0, це може відобразитися у асиметричному розподілі частот R_a в менших значеннях.

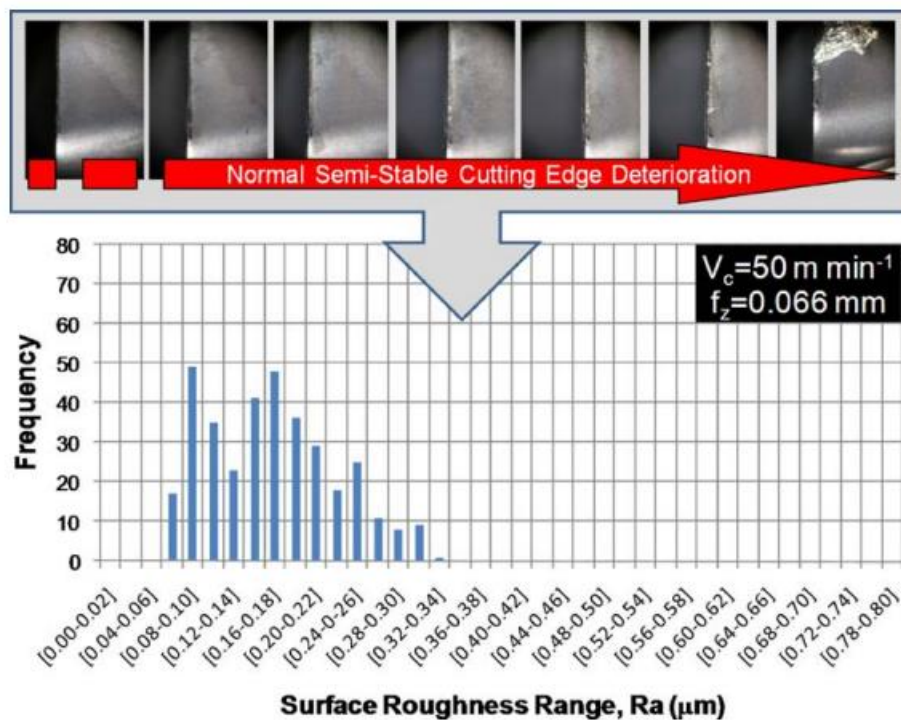


Рис. 6. Зв'язок морфології зносу інструменту з гістограмою частоти R_a в напівстабільних умовах [11]

На рисунку 6 частоти R_a виглядають більш зношеними через бічне зношування області 0. Очевидно, що розподіл є більш дисперсним, ніж попередній, і він зміщений до більших значень R_a .

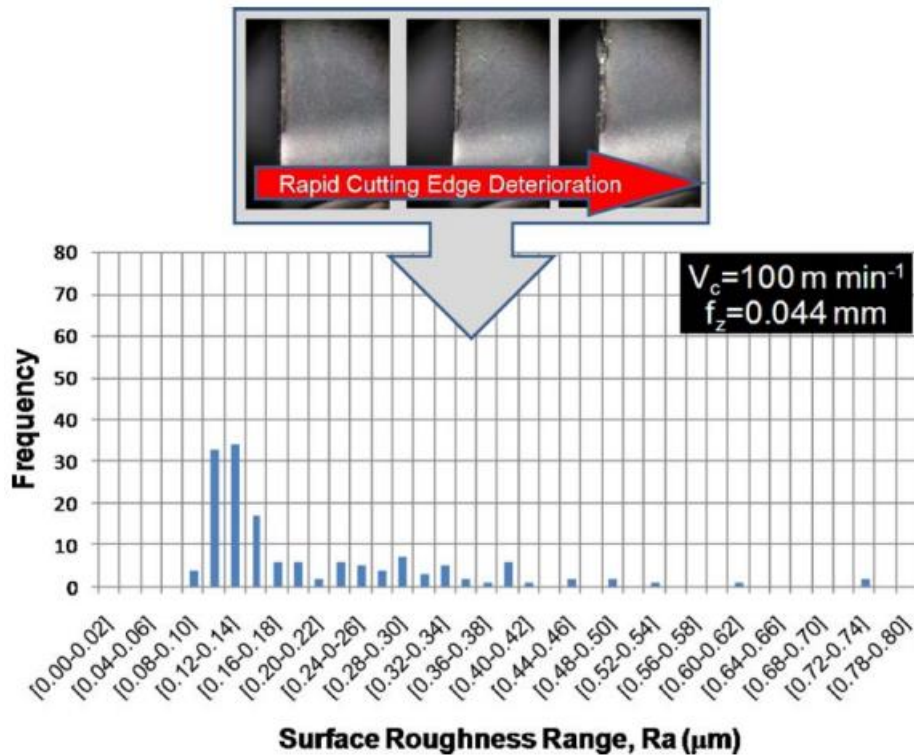


Рис. 7. Зв'язок морфології зносу інструменту з гістограмою частоти R_a при найбільших параметрах різання [11]

На рисунку 7 зображено зношування з гістограмою частот R_a при найбільших параметрах різання. На ньому видно, що нерівномірний розподіл значень R_a відображає хаотичність, яка спричинена появою задилок в області 0 [11].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Торцеве фрезерування сталей високої твердості інструментами, оснащеними твердосплавними вставками та зі вставками з КНБ, дозволяє досягти високих показників якості та продуктивності технологічних процесів. Оптимізація параметрів різання є ключовою для мінімізації зношування інструментів та забезпечення економічної складової процесу різання. Представлений метод взаємозв'язку між морфологією зношування інструменту та шорсткістю поверхні може слугувати основою для подальшого розвитку систем моніторингу стану інструменту та заготовки. Надійність процесу можна забезпечити за рахунок попереднього калібрування параметрів різання, що враховує декілька тестів і вимірювання шорсткості поверхні. Досягнута шорсткість поверхні заготовки та обсяг матеріалу, що можна видалити при збереженні цієї якості, підтверджують життєздатність процесу порівняно з результатами інших досліджень. Вартість видалення 1 см³ матеріалу з використанням досліджуваного інструменту є економічно вигіднішою.

References:

1. Altan, T., Lilly, B. and Yen, Y.C. (2001), «Manufacturing of dies and moulds», *Ann CIRP*, Vol. 50, pp. 405–423.
2. López De Lacalle, L.N., Lamikiz, A., Salgado, M.A. et al. (2002), «Process planning for reliable high-speed machining of moulds», *Intl J Prod Res*, Vol. 40, pp. 2789–2809.
3. Fallböhrer, P., Rodriguez, C.A., Ozel, T. and Altan, T. (2000), «High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing», *J Mater Process Technol*, Vol. 98, pp. 104–115.
4. Krajnik, P. and Kopac, J. (2004), «Modern machining of die and mold tools», *J Mater Process Technol*, Vol. 157–158, pp. 543–552.
5. Toh, C.K. (2006), «Cutter path orientations when high-speed finish milling inclined hardened steel», *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 27, pp. 473–480.
6. Kalpakjian, S. and Schmid, S.R. (2001), *Manufacturing engineering and technology*, 4 ed., Prentice Hall.
7. Kopac, J. (2002), «Chip formation process and some particularities of high speed milling of steel materials», *Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 6th International Research/Expert Conference.

8. Aslan, E. (2005), «Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC)», *Materials & Design*, Vol. 26, pp. 21–27.
9. Braghini, A. and Coelho, R.T. (2001), «An investigation of the wear mechanisms of polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) tools when end milling hardened steels at low/medium cutting speeds», *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 17, pp. 244–251.
10. Nakagawa, T., Ikeda, T. and Matsuoka, T. (1995), «High speed milling of steel and tool life», *Proceedings of the 8th International Conference of the Tool, Die and Mould Industry*, Barcelona, pp. 57–62.
11. Siller, H.R., Vila, C., Rodríguez, C.A. and Abellán, J.V. (2009), «Study of face milling of hardened AISI D3 steel with a special design of carbide tools», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 40, pp. 12–25.

Залого Вільям Олександрович – доктор технічних наук, професор Сумського державного університету.

<https://orcid.org/0000-0001-7444-485X>.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- теорія різання;
- моделювання робочих процесів високих технологій.

Zaloga V.O.

Characteristics of machining high hardness steels with face milling using carbide inserts and CBN

In modern mechanical engineering, face milling of high-hardness steels is a crucial process that enables high accuracy and surface quality of machined components. Carbide cutting inserts and cubic boron nitride (CBN) inserts are used as the main materials for cutting tool elements due to their high mechanical properties and ability to withstand significant loads. This article explores the characteristics of machining high-hardness steels using these tools, particularly their wear resistance and the impact of machining conditions on the wear of cutting plates. Carbide inserts have high hardness and resistance to thermal loads, making them suitable for machining high-hardness steels. However, the wear on such inserts can be significant if optimal machining conditions are not maintained. Cubic boron nitride (CBN) is known for its high hardness and wear resistance, making it an ideal material for machining hard steels. CBN plates provide a long tool life and high surface quality of machined parts. Research shows that the correct selection and optimization of machining parameters are the key to achieving the best results in face milling of high-hardness steels. Both carbide inserts and CBN have their unique advantages and challenges related to wear. Determining the optimal conditions for each type of cutting tool allows for minimizing wear and improving machining quality.

Keywords: face milling; high-hardness steel; cubic boron nitride; wear resistance; carbide inserts.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024.