DOI 10.31891/2307-5732-2024-343-6-1
УДК 621.9.02

АНТОНЮК ВІКТОР
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
https://orcid.org/0000-0003-0690-2411
e-mail: vp@kpi.ua

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ СТАЛЕЙ ВИСОКОЇ ТВЕРДОСТІ КУБІЧНИМ НІТРИДОМ БОРУ

У статті представлено результати комплексного аналітичного дослідження впливу різних параметрів торцевого фрезерування на оброблюваність сталей високої твердості. Основна увага приділена використанню інструментів з полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) без покриттів та з покриттями,, які демонструють високу зносостійкість і стабільність при обробці твердих важкооброблюваних матеріалів. Аналітичні дослідження включають в себе аналіз впливу параметрів різання, таких як швидкість різання, глибина різання, подача, а також методів охолодження і змащення на якість оброблюваної поверхні та зносостійкість інструментів. Використання інструментів із ПКНБ різних груп з різною геометрією дозволяє значно покращити продуктивність процесу і знизити витрати на обслуговування, завдяки їх здатності витримувати високі температури і умови високих механічних навантажень. В рамках експерименту проведено порівняння ефективності інструментів із ПКНБ різних груп. Показано, що інструменти із ПКНБ забезпечують кращу якість обробленої поверхні та менше зношуються в умовах високошвидкісного фрезерування. Розглянуто різні методи охолодження, як вони впливають на зносостійкість інструментів і якість оброблюваної поверхні. Особлива увага приділена оптимізації параметрів торцевого фрезерування для досягнення максимальної ефективності процесу, зокрема зменшення показників шорсткості поверхні сталей високої твердості. Розроблено рекомендації щодо вибору оптимальних режимів різання, які дозволяють зменшити зношування інструментів і покращити показники шорсткості оброблюваної поверхні. Стаття також розглядає перспективи впровадження нових технологій і матеріалів у виробництво, що можуть суттєво вплинути на ефективність торцевого фрезерування сталей високої твердості. Представлені результати аналітичного дослідження можуть бути корисними для інженерів і технологів, які займаються розробкою та вдосконаленням процесів обробки твердих матеріалів для подальшого покращення показників шорсткості при торцевому фрезеруванні.

Ключові слова: торцеве фрезерування, сталі високої твердості, полікристалічний кубічний нітрид бору, зносостійкість, якість поверхні, оптимізація параметрів.

ANTONYUK VIKTOR
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

RESEARCH OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEAT AS AN OBJECT OF PROCESSING IN MEAT COMMINUTOR

The article presents the results of a comprehensive analytical study on the influence of various face milling parameters on the machinability of high-hardness steels. The focus is on the use of polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) tools, both uncoated and coated, which demonstrate high wear resistance and stability when machining hard-to-machine materials. The analytical studies include the analysis of the effects of cutting parameters, such as cutting speed, depth of cut, and feed rate, as well as cooling and lubrication methods on the quality of the machined surface and the wear resistance of the tools. The use of PCBN tools from different groups with varying geometries significantly improves process productivity and reduces maintenance costs due to their ability to withstand high temperatures and high mechanical loads. The experiment compares the effectiveness of PCBN tools from different groups. It has been shown that PCBN tools provide better surface quality and exhibit less wear under high-speed milling conditions. The study also considers various cooling methods and their impact on the wear resistance of the tools and the quality of the machined surface. Special attention is given to optimizing face milling parameters to achieve maximum process efficiency, particularly reducing surface roughness of high-hardness steels. Recommendations have been developed for selecting optimal cutting regimes that minimize tool wear and improve surface roughness. The article also explores the prospects of introducing new technologies and materials into production, which can significantly impact the efficiency of face milling high-hardness steels. The presented analytical research results can be valuable for engineers and technologists involved in the development and improvement of machining processes for hard materials to further enhance surface roughness in face milling.

Keywords: *face milling, high-hardness steels, polycrystalline cubic boron nitride, wear resistance, surface quality, parameter optimization.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Постановка проблеми торцевого фрезерування сталей високої твердості кубічним нітридом бору (КНБ) є ключовим аспектом сучасної машинобудівної науки та практики. Обробка сталей високої твердості, таких як інструментальні та штампувальні сталі, є надзвичайно важливою для забезпечення високої точності та якості виробів, які використовуються в критично важливих галузях, включаючи авіацію, автомобілебудування та виробництво енергетичного обладнання. Основна проблема полягає в досягненні стабільної та високоякісної обробки цих матеріалів, зниженні зносу ріжучих інструментів та оптимізації параметрів різання для підвищення продуктивності та економічної ефективності процесу. Використання інструментів із КНБ відкриває нові можливості для підвищення продуктивності та зменшення витрат на виробництво завдяки їх високій твердості і зносостійкості, але вимагає детального дослідження впливу різних технологічних параметрів на кінцевий результат. Дослідження проблеми важливо для розробки нових методів і матеріалів, що підвищують ефективність обробки, зменшують витрати на обслуговування та підвищують якість готової продукції. Важливим завданням є визначення оптимальних режимів різання, вибір відповідних інструментів та методів охолодження, що дозволяє досягти найкращих результатів у виробничих умовах.

Таким чином, дослідження технологічних аспектів торцевого фрезерування сталей високої твердості кубічним нітридом бору спрямоване на вирішення важливих наукових і практичних завдань, що мають велике значення для сучасної промисловості.

Аналіз досліджень та публікацій

Вітчизняними та зарубіжними дослідниками підтверджується значна ефективність при застосуванні такого матеріалу, як ПКНБ різних груп, що базується в області застосування важкооброблюваної чистової та напівчистової обробки сталей високої твердості при високошвидкісних процесах різання [1-5]. В деяких випадках чистова обробка таких матеріалів може давати можливість відмовитися від операцій шліфування.

Автори [6] отримали значення контактних навантажень на ріжучі елементи інструментів із ПКНБ групи BL, де відображаються середні нормальні та дотичні контактні напруги при обробці сталей високої твердості, та досягають значень до 2500 і 1100 МПа. Автори визначили, що зниження величин буде при навантаженнях, якщо конструкція покриття буде включати верхній шар, що виконує функції припрацювання. Основною вимогою до такого прошарку є поєднання пластичності і міцності, при тому, що твердість його може бути істотно нижче, ніж твердість основного масиву матеріалу покриття. У дослідженнях розроблено різні методи підвищення стійкості ріжучих інструментів з ПКНБ, які полягають у зниженні температури в контактній зоні різання за допомогою покриттів, що зменшують коефіцієнт тертя. Одним з таких покриттів є плівка з BN. Головною особливістю цього покриття є його аморфно-кристалічна структура і близькість хімічного складу до основного матеріалу інструменту.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: обґрунтування теоретичних основ торцевого фрезерування сталей високої твердості з використанням інструментів з полікристалічного кубічного нітриду бору. Дослідження спрямоване на аналіз механізмів взаємодії ріжучого інструменту з матеріалом заготовки, вивчення впливу різних технологічних параметрів на процес різання, а також визначення оптимальних умов для забезпечення високої якості обробки та зниження зношування інструментів.

Виклад основного матеріалу

Широке застосування сталей високої твердості перш за все у виробництві прес-форм і штампів. Обробка деталей відбувається інструментами з різним вмістом ПКНБ без покриттів та з покриттями, різних форм та з різною геометрією ріжучої кромки. Проведені дослідження [7] показали вплив різної швидкості різання і радіальної глибини різання на шорсткість поверхні загартованої сталі твердістю 60 HRC.

Вплив радіальної глибини різання на рельєф обробленої поверхні зображено на Рис.1.

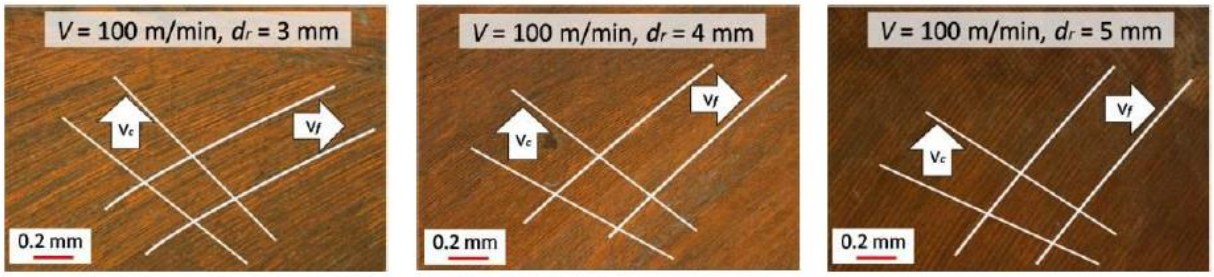

Рис.1. Вплив радіальної глибини різання на рельєф оброблюваної поверхні

На рисунку видно, що поверхня стає більш шорсткішою при збільшенні радіальної глибини різання через збільшення перекриття мід траєкторіями різання. Отримані показники шорсткості поверхні показано на Рис.2. і Рис.3.

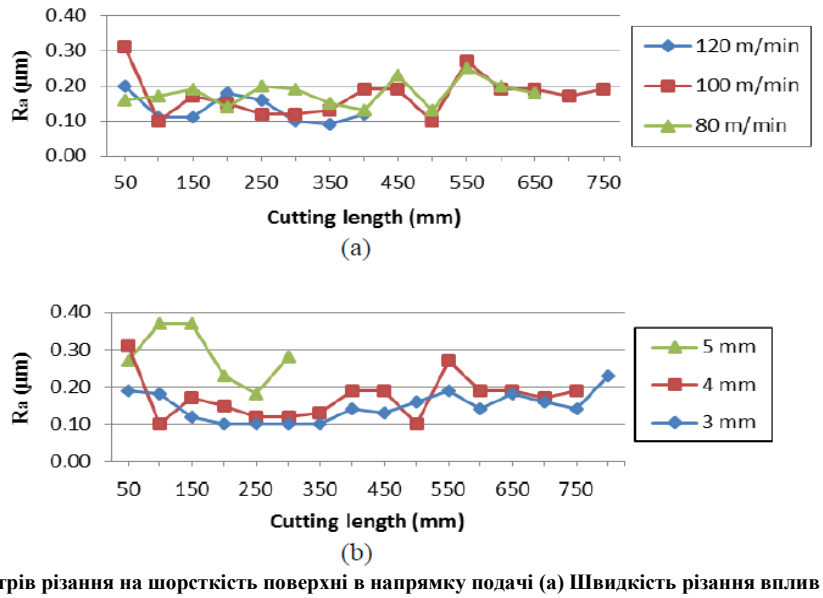

Рис.2. Вплив параметрів різання на шорсткість поверхні в напрямку подачі (a) Швидкість різання вплив (dr = 4 мм) (b) Вплив радіальної глибини різання (v = 100 м/хв)

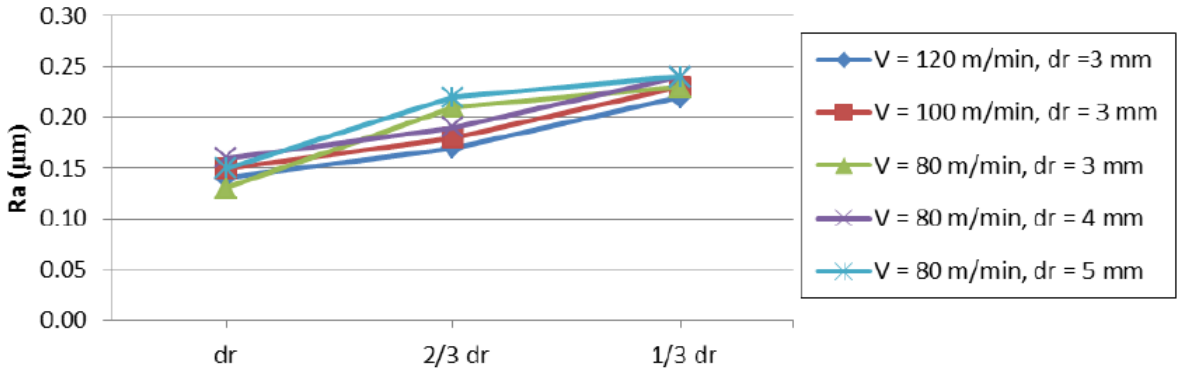

Рис.3. Вплив параметрів різання на шорсткість поверхні в напрямку швидкості різання

Видно, що зі збільшенням радіальної глибини різання шорсткість поверхні зростає. Радіальна глибина різання 5 мм має найвищу шорсткість поверхні в діапазоні 0,17-0,38 мкм, за якою слідують радіальні глибини різання 4 мм (010-0,27 мкм) і 3 мм (0,10-0,22 мкм) відповідно.

Висновки з даного дослідження
і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Теоретичний аналіз та експериментальні результати показали, що інструменти з полікристалічного кубічного нітриду бору є високоефективними для торцевого фрезерування сталей високої твердості. Вони забезпечують високу якість оброблюваної поверхні та мають підвищену зносостійкість. Оптимізація параметрів різання, таких як швидкість різання, подача і глибина різання, значно впливає на кінцеву якість поверхні та зношування інструментів. Зниження швидкості різання і збільшення подачі дозволяє зменшити зношування інструментів та покращити якість оброблюваної поверхні. Значення шорсткості поверхні в напрямку швидкості подачі не має чіткої залежності від швидкості різання, в той час як зі збільшенням радіальної глибини різання вона зростає в межах 0,13-0,24 μкм. У напрямку швидкості різання значення шорсткості поверхні зменшується в діапазоні високих швидкостей, в той час як воно збільшується при великій радіальній глибині різання.

Література

1. Клименко С.А., Копєйкина М.Ю., Чумак А.Ю. Технологічні можливості інструментів, оснащених композитами на основі кубічного нітриду бора // С.А. Клименко, М.Ю. Копєйкина, А.Ю. Чумак // Киев. – 2017. – С. 54.

2. Клименко С.А., Механічна обробка інструментами з надтвердих матеріалів: стан і перспективи. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2020/12/IP-2020_Matters_TextOnline.pdf

3. Faga, M. G. Microstructural and mechanical characteristics of recycled hard metals for cutting tools. CIRP Annals-Manufacturing Technology. 2010. P. 133–136.

4. Slipchenko K. Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr3C2 binder phase / K. Slipchenko, I. Petrusha, V. Turkevich, J. Johansson, V. Bushlya, Jan-Eric Ståhlb// Procedia CIRP. – 2018. – Vol. 72. – pp. 1433-1438.

5. Sumiya H. Mechanical properties of nano-polycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPHT / Sumiya H., Harano K., Ishida Y. // Diamond and Related Materials . – 2014. – vol. 41. – pp. 14-19.

6. Клименко С.А., Клименко С.Ан., Копєйкіна М.Ю, Манохін А.С. Покриття для різальних інструментів з полікристалічних надтвердих композитів на основі кубічного нітриду бору, / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, М.Ю. Копєйкіна, А.С. Манохін [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/11/13.pdf

References

1. Klimenko, S.A., Kopeykina, M.Y., Chumak, A.Y. (2017). Technological Capabilities of Tools Equipped with Cubic Boron Nitride-Based Composites. Kyiv, p. 54.

2. Klimenko, S.A. (2020). Mechanical Processing with Superhard Material Tools: State and Prospects. [Electronic resource]. Available at: http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2020/12/IP-2020_Matters_TextOnline.pdf

3. Faga, M. G. (2010). Microstructural and Mechanical Characteristics of Recycled Hard Metals for Cutting Tools. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59(1), 133–136.

4. Slipchenko, K., Petrusha, I., Turkevich, V., Johansson, J., Bushlya, V., Ståhl, J.-E. (2018). Investigation of the Mechanical Properties and Cutting Performance of cBN-Based Cutting Tools with Cr3C2 Binder Phase. *Procedia CIRP*, 72, 1433-1438.

5. Sumiya, H., Harano, K., Ishida, Y. (2014). Mechanical Properties of Nano-Polycrystalline cBN Synthesized by Direct Conversion Sintering under HPHT. *Diamond and Related Materials*, 41, 14-19.

6. Klimenko, S.A., Klimenko, S.An., Kopeykina, M.Y., Manokhin, A.S. (2019). Coatings for Cutting Tools Made of Polycrystalline Superhard Composites Based on Cubic Boron Nitride. [Electronic resource]. Available at: https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/11/13.pdf