

ЛУЦІВ ІГОР

<https://orcid.org/0000-0002-3980-428X>kmi_liv@ztu.edu.ua

РАДКЕВИЧ СВІТЛАНА

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

КОВАЛЬ ЮРІЙ

<https://orcid.org/0009-0001-4885-860X>kmi_kyuo@ztu.edu.ua

ГОЛУБОВСЬКИЙ АНДРІЙ

<https://orcid.org/0009-0002-9868-5441>phd131232_gav@student.ztu.edu.ua

Державний університет «Житомирська політехніка»

ІНСТРУМЕНТ ІЗ КНБ ДЛЯ ВИСОКОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ: КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Обробка плоских поверхонь деталей із високоміцних матеріалів здійснюється переважно торцевими фрезами, конструктивні рішення яких можуть істотно відрізнятися між собою. Значну роль при виборі інструменту відіграють фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу: залежно від способу термічної обробки, хімічного складу, вмісту вуглецю, а також наявності легованих елементів, де показники твердості й зносостійкості можуть суттєво варіюватися. У статті сформовано сучасний підхід до фрезерування високоміцних матеріалів за допомогою застосування ріжучого інструменту, що оснащений КНБ. Цей матеріал відомий своєю високою твердістю та термостійкістю, що робить його універсальним для різання різних сплавів, зокрема і чавунів, загартованих сталей високої твердості, високоміцних матеріалів, що працюють в умовах високого навантаження. В межах роботи розглянуто конструкції сучасних торцевих фрез та змінних ріжучих пластин від провідних виробників, а також раціональні режими різання, що забезпечують ефективну обробку інструментами із КНБ. Порівняно пропозиції міжнародного ринку ріжучого інструменту для обробки важкооброблюваних матеріалів. На основі вивчення наукових публікацій вітчизняних та зарубіжних науковців по тематиці зносостійкості різальних пластин з'ясовано, що застосування круглої форми пластин у більшості випадків забезпечує кращу стійкість до зношування, ніж інших форм, зокрема трикутної, квадратної тощо. Розглянуто передові розробки провідних виробників ріжучого інструменту – Sandvik Coromant і Seco Tools, фокусуючись на особливостях конструкції та геометрії інструменту. Основну увагу в роботі приділено аналізу ефективності різних модельних рішень фрез та змінних пластин під час обробки високоміцних сталей (HRC 45+). Поряд із теоретичним обґрунтуванням переваг КНБ (висока твердість, хімічна інертність, жаростійкість), наводяться результати експериментів і випробувань у реальних виробничих умовах. Сформовано рекомендації щодо підбору параметрів різання для різних типів фрез і пластин від Sandvik Coromant і Seco Tools.

Ключові слова: важкооброблюваний матеріал, торцеве фрезерування, конструкція фрези, інструментальний матеріал, кубічний нітрид бору, різальні пластини.

LUTSIV IGOR, RADKEYVYCH SVITLANA,

KOVAL YURI, GOLUBOVSKYI ANDRII

Zhytomyr Polytechnic State University

CBN TOOLS FOR HIGH-STRENGTH MATERIALS: SELECTION CRITERIA AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS

Machining flat surfaces on parts made from high-strength materials is predominantly carried out using face mills, whose design solutions can differ significantly from one another. A key factor in selecting the tool is the physical and mechanical characteristics of the workpiece material: depending on the method of heat treatment, chemical composition, carbon content, and the presence of alloying elements, hardness and wear resistance can vary considerably. This article presents a modern approach to milling high-strength materials by using cutting tools equipped with cubic boron nitride (CBN). This material is known for its high hardness and thermal stability, making it versatile for cutting various alloys, including cast irons, hardened steels with high hardness, and other high-strength materials subjected to heavy loads. Within the scope of this work, the designs of contemporary face mills and replaceable cutting inserts from leading manufacturers are examined, alongside the optimal cutting parameters that ensure efficient machining with CBN tools. The paper compares offerings from the global cutting-tool market for processing hard-to-machine materials. A review of both domestic and international scientific publications on the wear resistance of cutting inserts revealed that round inserts often exhibit better wear resistance compared to other shapes (such as triangular or square). Advanced developments by major cutting-tool manufacturers - Sandvik Coromant and Seco Tools - are discussed, focusing on the distinctive features of tool design and geometry. The primary emphasis is placed on assessing the efficiency of various face mill and insert configurations when machining high-strength steels (HRC 45+). Alongside theoretical explanations of the advantages of CBN (high hardness, chemical inertness, and heat resistance), the article presents experimental data and test results from real manufacturing conditions. Recommendations are provided for selecting cutting speeds, feeds, and depths of cut for different types of face mills and inserts from Sandvik Coromant and Seco Tools.

Keywords: hard-to-machine material, face milling, milling cutter design, tool material, cubic boron nitride, cutting inserts.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасному машинобудуванні, авіаційній та космічній галузях, а також в інших високотехнологічних сферах значного поширення набули високоміцні матеріали, такі як титанові сплави, жароміцні сталі, нікелеві суперсплави та композити. Обробка цих матеріалів є складним технологічним завданням через їх високу твердість, зносостійкість та термічну стійкість, що ускладнює механічну обробку традиційними різальними інструментами. Одним із найефективніших рішень є використання інструментів із полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ), який характеризується високою термостійкістю, твердістю та стійкістю до зношування. Проте вибір оптимального інструменту, режимів його експлуатації та умов застосування є складним завданням, яке потребує комплексного підходу. Дана проблема має як наукове, так і практичне значення, оскільки правильний вибір інструменту із ПКНБ безпосередньо впливає на продуктивність обробки, економічну ефективність виробництва, якість кінцевого виробу та ресурс обладнання. Саме тому актуальним є визначення основних критеріїв вибору інструментів із ПКНБ для роботи з високоміцними матеріалами та формування практичних рекомендацій щодо їх застосування.

Аналіз досліджень та публікацій

Одним із пріоритетних рішень для підвищення зносостійкості та термостійкості інструмента є використання КНБ. Цей матеріал вирізняється високою твердістю (другою після алмазу), здатністю зберігати свої властивості за високих температур, а також хімічною інертністю щодо залізовмісних сплавів. Завдяки цьому інструменти з КНБ широко застосовують для обробки загартованих сталей, чавунів, нікелевих та титанових суперсплавів, а також інших важкооброблюваних високоміцних матеріалів, які потребують раціонального вибору режимів різання [1-3]. Однак правильний вибір інструменту із КНБ потребує врахування низки чинників: від геометрії ріжучих пластин до оптимальних параметрів різання. Недотримання рекомендацій може призвести до передчасного зношування інструменту, появи сколів, погіршення якості обробленої поверхні і навіть аварійних відмов. Саме тому визначення конкретних критеріїв вибору та розробка практичних рекомендацій щодо експлуатації інструментів із КНБ набувають актуальності.

Формулювання цілей статті

Метою роботи: надати комплексні рекомендації щодо вибору та застосування інструменту із КНБ для обробки високоміцних матеріалів, враховуючи їх фізико-механічні та теплові характеристики. Зокрема, визначити ключові критерії вибору форми і геометрії ріжучих пластин, а також раціональні режими різання, що забезпечують високу продуктивність та довговічність інструменту.

Виклад основного матеріалу

Найбільшим попитом серед торцевих фрез, що оброблюють плоскі поверхні, користуються збірні конструкції торцевих фрез з механічним кріпленням змінних непереточуваних ріжучих пластин. Їх перевагою є можливість встановлення в корпус ріжучих пластин різної форми з різних інструментальних матеріалів. Механічне кріплення позбавляє напруження в місці з'єднання, що дає можливість здійснювати швидку заміну в разі затуплення або руйнування. Ці пластини можуть бути двосторонніми і мати багато ріжучих кромок, що значно збільшує період їх експлуатації у виробничих умовах [16].

Провідна компанія Sandvik Coromant, яка є лідером серед виробників ріжучого інструменту для обробки високоміцних матеріалів, пропонує великий вибір змінних непереточуваних пластин та різних видів торцевих фрез. За допомогою такого ріжучого інструменту можна здійснювати як чорнову, так і фінішну обробку з високою швидкістю зняття шару металу. Вагому роль в процесах різання відіграє величина головного кута в плані (Рис.1), який встановлює напрям сили різання та визначає величину глибини різання. Переваги і недоліки застосування фрез з різними кутами в плані зображено в Табл.1. [17].

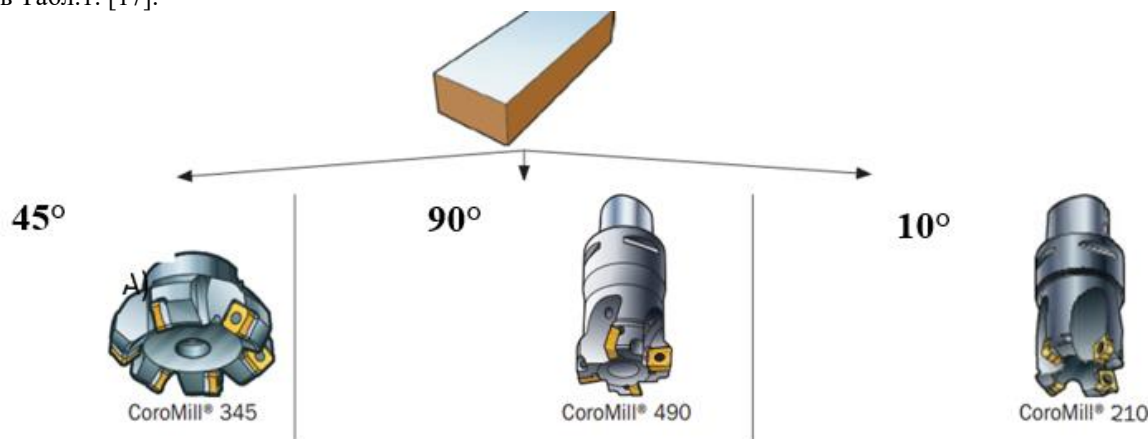


Рис. 1. Види головних кутів в плані

Головний кут в плані (45° , 90° , 10°) - кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину і напрямом подання. Головний кут в плані робить істотний вплив на стійкість різального інструменту і на шорсткість обробленої поверхні. Кут в плані вибирають в межах від 30 до 90 залежно від виду обробки, типу різця, жорсткості заготовки і різця і способу їх кріплення.

Таблиця 1

Фрези з різними кутами в плані

Головний кут в плані 45°	Головний кут в плані 90°	Головний кут в плані 10°
Основний вибір	Дрібносерійне виробництво	Альтернативний вибір
Переваги:		
- Висока продуктивність - Оптимізований інструмент для торцевого фрезерування	- Висока степінь універсальності - Невисокі осьові зусилля різання (для тонкостінних заготовок) - Відносно великі глибини різання по відношенню к розміру пластини	- Висока продуктивність - Великі подачі - Сприятливий напрям осьової сили різання – до шпинделя
Недоліки:		
Відносні значення глибини різання	_____	Невеликі глибини різання

На Рис.2. представлено найпоширеніші торцеві фрези компанії Sandvik Coromant, що застосовуються в сучасних виробничих умовах машинобудування та ріжучі пластини до фрези (Рис.3).

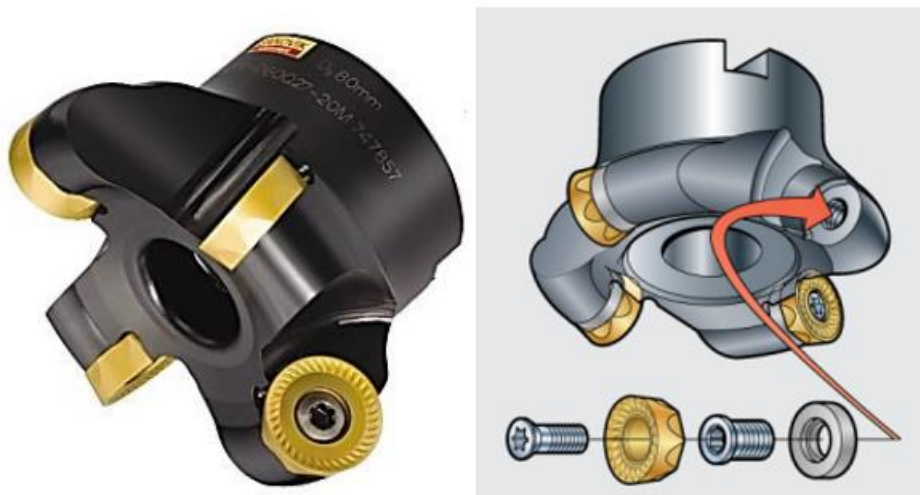


Рис. 2. Торцеві фрези CoroMill 300

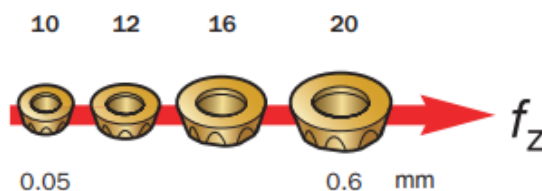


Рис.3. Різальні пластини до торцевої фрези CoroMill 300

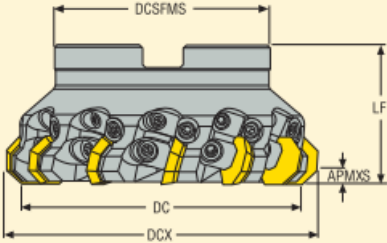
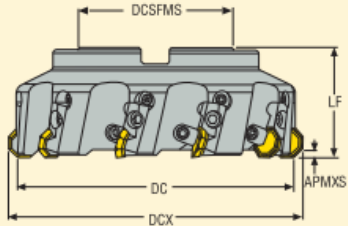
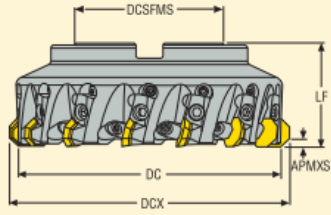
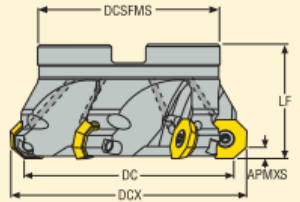
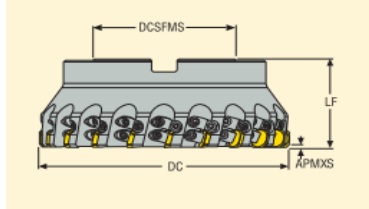
Ріжучий інструмент шведської фірми SECOTOOLS є сучасним, якісним та високоефективним. У ньому знайшли своє втілення всі передові технології різання та створення нових твердосплавних матеріалів для різальних вставок, а також інструмент із кубічного нітриду бору. В таблиці 2. зображено торцеві фрези фірми SECOTOOLS.

Провідні компанії виробників ріжучого інструменту розробили пластини з Wiper -геометрією, за допомогою яких можна значно покращити якість обробленої поверхні за рахунок збільшення подачі (Рис.4). Така пластини монтується в корпус інструмента, дещо виступаючи (на 0,05 мм) по відношенню до інших стандартних пластин і завдяки своїй геометрії зачищає оброблювальну поверхню [17]. Їх

ефективність досягається за рахунок високої подачі на один оберт фрези великого діаметра з дрібним кроком розташування ножів.

Таблиця 2

Торцеві фрези фірми SECOTOOLS

Найменування	Загальний вигляд	
Octomill R220.43-07T		
Octomill R220.43-07C/CG		
Octomill R220.43-07T		
Octomill R220.43-07S		
220.30-12ST		

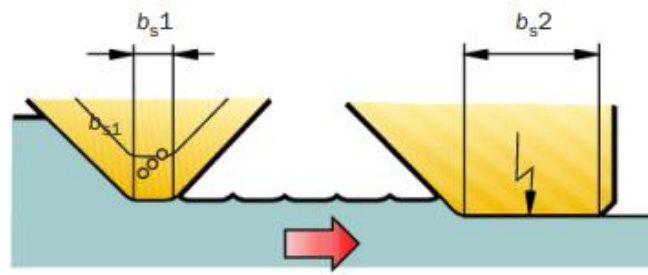


Рис.4. Пластини з Wiper геометрією для зачистки поверхні

Вони можуть компенсувати хвилястість, яка виникає внаслідок осьового биття ножів фрези, яке залежить від точності налаштування та її закріплення. Глибини різання при цьому складають 0,5 – 1 мм у порівнянні зі стандартними ріжучими пластинами (Рис.5).

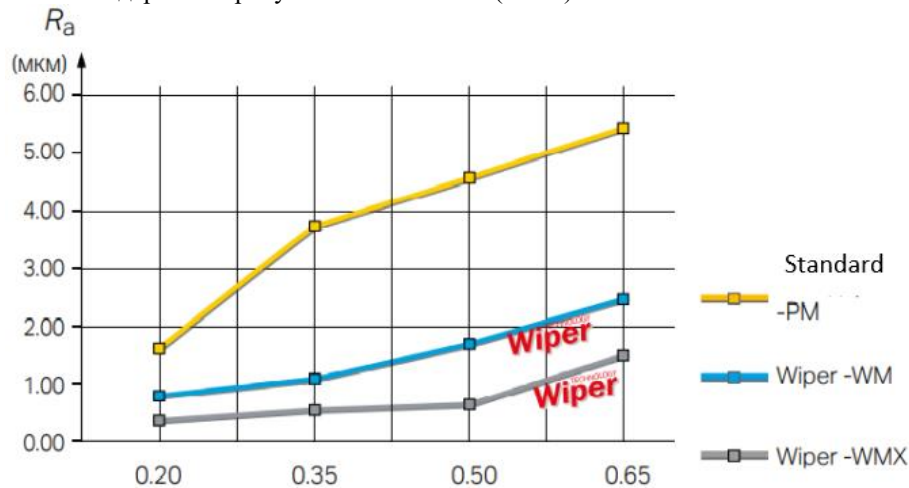


Рис. 5. Графік залежності шорсткості поверхні і подачі для пластин зі стандартною та геометрією Wiper

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Аналіз даних, наданих провідними світовими виробниками ріжучого інструменту (зокрема, Sandvik Coromant, SecoTools), вказує на підвищення продуктивності та терміну експлуатації інструменту при використанні змінних пластин із надтвердих матеріалів (КНБ). У більшості порівняльних тестів, проведених цими компаніями, показники зносостійкості інструменту з КНБ виявляються у 2–4 рази вищими, ніж у традиційних пластин з твердого сплаву. Такий результат зумовлений поєднанням високої твердості, хімічної інертності та жаростійкості кубічного нітриду бору.

Одним із ключових чинників, що визначає ефективність обробки надтвердими пластинами, є правильно підібрана геометрія кромки та оптимальне розташування ріжучих ділянок на фрезерній оправці. Практика показала, що навіть при однаковому базовому матеріалі (КНБ) різні виробники можуть досягати різних результатів зносостійкості. Додатково відзначено важливість застосування раціональних режимів різання. Закордонні виробники в своїх технічних рекомендаціях наголошують на значущості ретельного підбору швидкості різання та подачі залежно від конкретного матеріалу. У ряді випадків застосування вищих швидкостей різання (на 20–30%) із надтвердими пластинами не лише не знижує якість обробки, а й дозволяє скоротити загальний час механічної обробки. Отримані результати вказують на значний потенціал використання інструментів із КНБ у промислових умовах. Покращені показники стійкості дозволяють знизити витрати на заміну та переточування пластин, а підвищена продуктивність сприяє скороченню виробничого циклу. У перспективі подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення механізмів зношування інструменту з надтвердих матеріалів при складних умовах різання (переривчасте різання, різнофазні сплави), а також на удосконалення конструкцій фрез і ріжучих пластин з урахуванням специфіки кожного виду важкооброблюваного матеріалу.

Застосування надтвердих матеріалів, зокрема кубічного нітриду бору, у складі ріжучих пластин торцевих фрез підтверджує високу ефективність обробки важкооброблюваних і високоміцних матеріалів. Порівняно з традиційними інструментами з твердих сплавів, інструменти із КНБ у кілька разів перевищують їх показники стійкості. Значний вплив на результат обробки має форма і геометрія ріжучих пластин, а також вибрані режими різання. Аналіз інструменту міжнародних виробників (Sandvik Coromant, Seco Tools), свідчить про широкий вибір інструментів, адаптованих під різні типи матеріалів та умови різання. Висока продуктивність досягається за рахунок раціонально підібраних режимів обробки (швидкість, подача, глибина різання). Круглі ріжучі пластини часто забезпечують

більш рівномірне навантаження й, відповідно, менший знос. Водночас остаточний вибір конструкції залежить від жорсткості технологічної системи, умов різання та властивостей оброблюваного матеріалу. Економічний ефект від використання інструментів із КНБ полягає в скороченні часу простоїв, зменшенні кількості замін пластин і підвищенні якості обробленої поверхні торцевим фрезеруванням, що робить цей підхід надзвичайно перспективним для галузей, які потребують високотехнологічних рішень.

Література

1. Melnychuk, P. P., Vygovskiy, H. M., & Hromovyi, O. A. (2017). *Pidvyshchennia efektyvnosti obrobky ploskykh poverkhon' tortsevim frezeruvanniam* [Monograph]. Zhytomyr: ZhDTU. (elartu.tntu.edu.ua)
2. Klimenko, S. A., Kopeikina, M. Yu., & Chumak, A. O. (2017). Tekhnologicheskie vozmozhnosti instrumentov, osnashchennykh kompozitami na osnove kubicheskogo nitrída bora. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni*, (12), 54–60.
3. Anastasenko, S. M., Budurov, V. L., & Hryhurko, I. O. (2016). Vplyv rezhymiv rizannia na zberezhenia stiiakosti instrumenta: problemy ta shliakhy yikh vyrishennia. *Konstruvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, (46), 312–321.
4. Dziadyura, K. O., Yunak, A. S., Pohrebniak, A. D., & Okhrimenko, V. O. (2015). Mekhanizm znoshuvannia rizalnykh instrumentiv na osnovi cBN pry tocheni znosostiikykh vysokokhromystykh chavniv. *Fizychna inzheneriia poverkhni*, 13(2), 225–234.
5. Vygovskiy, H. M., Hromovyi, O. A., & Kyrylovych, V. A. (2015). Zabezpechennia yakisnoi obrobky ploskykh poverkhon' detaley pry hlybinnomu tortsevomu frezeruvanni instrumentamy, osnashchenymy polikrystalichnymy nadtverdymy materialamy. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, (2), 12–26. (elartu.tntu.edu.ua)
6. Vygovskiy, H. M., & Bushlia, V. M. (2012). Vyznachennia rezhymiv obrobky tortsevimy frezamy, osnashchenymy nadtverdymy materialamy, pry chornovii obrobtii siroho chavunu. *Protsesi mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, (13), 28–38. ([Zenodo](http://zenodo.org))
7. Suiieieva, N. B. (n.d.). Analiz optimizatsii protsessov mekhanicheskoi obrabotki detaley instrumentami i sverkhтвердыkh materialov v sovremennom mashinostroenii. Retrieved from <http://www.rusnauka.com/pdf/247702>
8. Kolomiets, V. V., Ridnyi, R. V., & Antoshchenkov, R. V. (2018). Optimizatsiia rezhymiv rizannia detalei mashyn retsiamy iz el'bora-R i heksanyta-R. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*, (11), 295–300.
9. Hlembotska, L., Melnychuk, P., Balytska, N., & Melnyk, O. (2018). Modelling the loading of the nose-free cutting edges of face mill with a spiral-stepped arrangement of inserts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(1(91)), 46–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121712>
10. Kushnirov, P. V. (2014). Obrabotka ploskostei tortsovoi frezoi. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov*, (4), 4–5.
11. Tasdelen, B., Escursell, M., Grenmyr, G., & Nyborg, L. (2007). Machining of gray cast irons and compacted graphite iron. In *Swedish Production Symposium*.
12. da Silva, L. R. R., Souza, F. C. R., Guesser, W. L., & et al. (2020). Critical assessment of compacted graphite cast iron machinability in the milling process. *Journal of Manufacturing Processes*, 63–74.
13. Araki, T., & Yamamoto, S. (1975). Influence of Metallurgy on Machinability. In *Proceedings of the International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability* (Vol. 7, pp. 159–173).
14. Kropyvnyi, V. M., Kuzyk, O. V., Kropyvna, A. V., & Zasinets, H. M. (2019). Chavun z vermykuliarnym hrafitom: navchalno-metodychnyi kompleks dlia studentiv dennoi i zaochnoi form navchannia. Kropyvnyi: Vydavets V. F. Lysenko.
15. Dawson, S., & Hollinger, I. (2014). The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron. Retrieved from <https://sintercast.com/media/1571/sintercast-the-effect-of-metallurgical-variables-on-the-machinability-of-compacted-graphite-iron-1.pdf>
16. Radkevych, S. I., Hlembotska, L. Y., Melnychuk, P. P., & Kyrylovych, V. A. (2022). Design solutions of face milling cutters with indexable inserts for machining flat surfaces of cast iron parts. In *Proceedings of the Conference* (pp. 45–54).
17. Sandvik Coromant. (2017). *Katalog vrashaiushchiesia instrumenty*. Retrieved from <https://docs.steelcam.org/sandvik/katalogvrashayushiesya-instrumenty-2017>

References

1. Melnychuk, P. P., Vygovskiy, H. M., & Hromovyi, O. A. (2017). *Pidvyshchennia efektyvnosti obrobky ploskykh poverkhon' tortsevim frezeruvanniam* [Monograph]. Zhytomyr: ZhDTU. (elartu.tntu.edu.ua)
2. Klimenko, S. A., Kopeikina, M. Yu., & Chumak, A. O. (2017). Tekhnologicheskie vozmozhnosti instrumentov, osnashchennykh kompozitami na osnove kubicheskogo nitrída bora. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni*, (12), 54–60.

3. Anastasenko, S. M., Budurov, V. L., & Hryhurko, I. O. (2016). Vplyv rezhymiv rizання na zberezhennia stiikosti instrumenta: problemy ta shliakhy yikh vyrishennia. *Konstruivannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, (46), 312–321.
4. Dziadyura, K. O., Yunak, A. S., Pohrebniak, A. D., & Okhrimenko, V. O. (2015). Mekhanizm znoshuvannia rizalnykh instrumentiv na osnovi cBN pry tocheni znosostiikykh vysokokhromystykh chavniv. *Fizychna inzheneriia poverkhni*, 13(2), 225–234.
5. Vygovskiy, H. M., Hromovyi, O. A., & Kyrilovych, V. A. (2015). Zabezpechennia yakisnoi obrobky ploskykh poverkhon detaley pry hlybynomu tortsevomu frezeruvanni instrumentamy, osnashchenymy polikrystalichnymy nadtverdymy materialamy. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, (2), 12–26. (elartu.tntu.edu.ua)
6. Vygovskiy, H. M., & Bushlia, V. M. (2012). Vyznachennia rezhymiv obrobky tortsevymy frezamy, osnashchenymy nadtverdymy materialamy, pry chornovii obrobtsi siroho chavunu. *Protsesy mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni*, (13), 28–38. ([Zenodo](https://zenodo.org/record/121712))
7. Suieieva, N. B. (n.d.). Analiz optimizatsii protsessov mekhanicheskoi obrabotki detalei instrumentami i sverkhverdnykh materialov v sovremennom mashinostroenii. Retrieved from <http://www.rusnauka.com/pdf/247702>
8. Kolomiets, V. V., Ridnyi, R. V., & Antoshchenkov, R. V. (2018). Optimizatsiia rezhymiv rizання detalei mashyn retsiamy iz el'bora-R i heksanyta-R. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*, (11), 295–300.
9. Hlembotska, L., Melnychuk, P., Balytska, N., & Melnyk, O. (2018). Modelling the loading of the nose-free cutting edges of face mill with a spiral-stepped arrangement of inserts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(191), 46–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121712>
10. Kushnirov, P. V. (2014). Obrabotka ploskostei tortsovoi frezoi. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov*, (4), 4–5.
11. Tasdelen, B., Escursell, M., Grenmyr, G., & Nyborg, L. (2007). Machining of gray cast irons and compacted graphite iron. In *Swedish Production Symposium*.
12. da Silva, L. R. R., Souza, F. C. R., Guesser, W. L., & et al. (2020). Critical assessment of compacted graphite cast iron machinability in the milling process. *Journal of Manufacturing Processes*, 63–74.
13. Araki, T., & Yamamoto, S. (1975). Influence of Metallurgy on Machinability. In *Proceedings of the International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability* (Vol. 7, pp. 159–173).
14. Kropyvnyi, V. M., Kuzyk, O. V., Kropyvna, A. V., & Zasinets, H. M. (2019). *Chavun z vermykuliarnym hraitom: navchalno-metodychnyi kompleks dlia studentiv dennoi i zaachnoi form navchannia*. Kropyvnytskyi: Vydavets V. F. Lysenko.
15. Dawson, S., & Hollinger, I. (2014). The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron. Retrieved from <https://sintercast.com/media/1571/sintercast-the-effect-of-metallurgical-variables-on-the-machinability-of-compacted-graphite-iron-1.pdf>
16. Radkevych, S. I., Hlembotska, L. Y., Melnychuk, P. P., & Kyrilovych, V. A. (2022). Design solutions of face milling cutters with indexable inserts for machining flat surfaces of cast iron parts. In *Proceedings of the Conference* (pp. 45–54).
17. Sandvik Coromant. (2017). *Katalog vrashaiushchiesia instrumenty*. Retrieved from <https://docs.steelcam.org/sandvik/katalogvrashayushiesia-instrumenty-2017>