

З урахуванням виявлених недоліків обґрунтовано доцільність застосування молоткової дробарки з динамічними робочими органами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Марценюк О. С., Мельник Л. М. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник. Київ : НУХТ, 2011. 407 с.
2. Ковальчук В. П., Бандура В. М. Механічні процеси та обладнання агропромислового виробництва : навч. посіб. Харків : Факт, 2019. 295 с.
3. Олексієнко В. О., Петриченко С. В. Вплив зношування молотків зернової дробарки на ефективність процесу подрібнення // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (24 листоп. 2020 р.) / за ред. В. М. Кюрчева. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С.35–36. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wpcontent/uploads/sites/13/10.pdf>
4. Олексієнко В. О., Петриченко С. В. Аналіз параметрів ротора малогабаритної зернової молоткової дробарки // Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції : матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (21–22 черв. 2019 р.) / за ред. В. Т. Надикто. Мелітополь : ФОП Однорог Т. В., 2019. Ч. 1. С. 112–115. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/8409/1/СУЧАСНІ%20НАУКОВІ%20ДОСЛІДЖЕННЯ%20НА%20ШЛЯХУ%20ДО%20ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ%20-%20ч.%201-112-114.pdf>
5. Барабаш О. М., Гевко Б. М. Машини та обладнання для переробки зерна : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2012. 320 с.
6. Гевко Б. М., Рогатинський Р. М. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 256 с.
7. Wills B. A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 8th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2016. 498 p.

УДК 621.7+621.9:004.9

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ШВИДКІСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИРОБУ НА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ З ЧПК

В.А. Дербаба¹, С.Т. Пацера², Д.І. Луценко³

¹завідувач кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: 5762634@gmail.com

²професор кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com

³студент групи ПМХм-25н-1, , e-mail: Lutsenko.Dm.l@nmu.one

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядаються вирішення науково-технічної задачі, пов'язаної з вдосконаленням високошвидкісним фрезеруванням деталі з обраного матеріалу шляхом оптимізації та управління її оброблюваністю інструментом з твердих сплавів на сучасних верстатах з програмним керуванням.

Ключові слова: високошвидкісне фрезерування, верстати, ЧПК, частота обертання, заготовка, ріжуча кромка, оптимізація режимів різання.

IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR HIGH-SPEED MACHINING OF WORKPIECES ON MULTIFUNCTIONAL CNC MACHINING CENTERS

Vitalii Derbaba¹, Serhii Patsera², Dmytro Lutsenko³

¹Head of the Department of Mechanical Engineering Technology and Materials Science, Dnipro, Ukraine, e-mail: 5762634@gmail.com

²Prof. Department of Mechanical Engineering Technology and Materials Science, Dnipro, Ukraine, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com

³Student of group ПМХм-25н-1, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: Lutsenko.Dm.I@nmu.one

Abstract. This paper examines solutions to a scientific and technical problem related to improving the high-speed milling of parts made from a selected material by optimizing and controlling their machinability using carbide tools on modern CNC machines.

Keywords: high-speed milling, machine tools, CNC, rotation frequency, workpiece, cutting edge, optimization of cutting modes.

Вступ. Відомо, що високошвидкісна обробка (High Speed Machining або ВШО) - одна з сучасних технологій, яка, в порівнянні зі звичайним різанням, дозволяє збільшити ефективність, точність і якість механічної обробки. Її відмінна риса - висока швидкість різання, при якій значно збільшується температура в зоні утворення стружки, матеріал оброблюваної деталі стає м'якше, а сили різання зменшуються, що дозволяє інструменту рухатися з великою робочою подачею [1- 4]. У сучасному виробництві на процес різання покладено завдання підвищення продуктивності із забезпеченням необхідної точності розмірів деталі і заданих параметрів якості поверхневого шару. Існує два типи управління цією якістю: регулювання режимів різання в процесі механічної обробки і забезпеченням необхідних параметрів наступним впливом на деталь.

Мета роботи полягає у вирішенні науково-технічної задачі, пов'язаної з високошвидкісним фрезеруванням деталі з обраного матеріалу шляхом оптимізації та управління її оброблюваністю інструментом з твердих сплавів на сучасних верстатах з програмним керуванням.

Матеріал і результат досліджень. Теоретичним обґрунтуванням високошвидкісної обробки є так звані криві Соломона, які показують зниження сил різання в деякому діапазоні швидкостей (рис. 1).

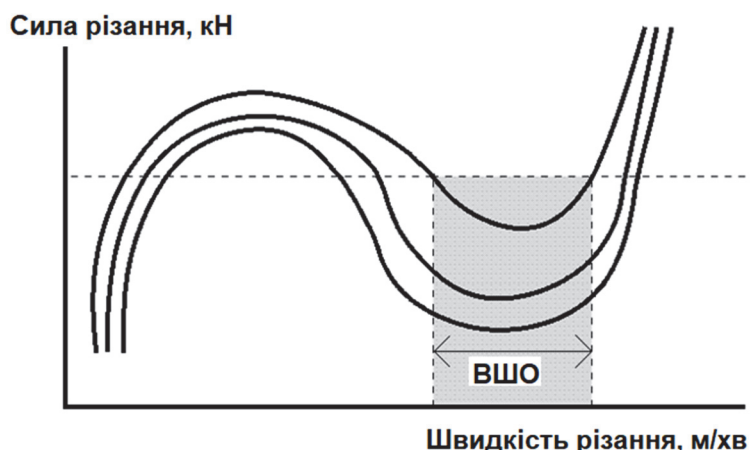


Рис. 1. – Криві Соломона, залежність сил різання від швидкості різання

Верстати для ВШО повинні дозволяти проводити обробку на високих частотах обертання (до 40000 об/хв), великих робочих подач (до 20 м/хв) на досить маленьких глибинах і ширині різання, що призводить до збільшення обсягу видаляється металу в кілька разів у порівнянні з звичайною обробкою (рис.2).

При проведенні ВШО, під час формування стружки, 80% тепла утворюється в зоні механічної деформації матеріалу, 18% - в зоні контакту стружка-інструмент, і 2% - в зоні тертя ріжучої кромки-матеріал.

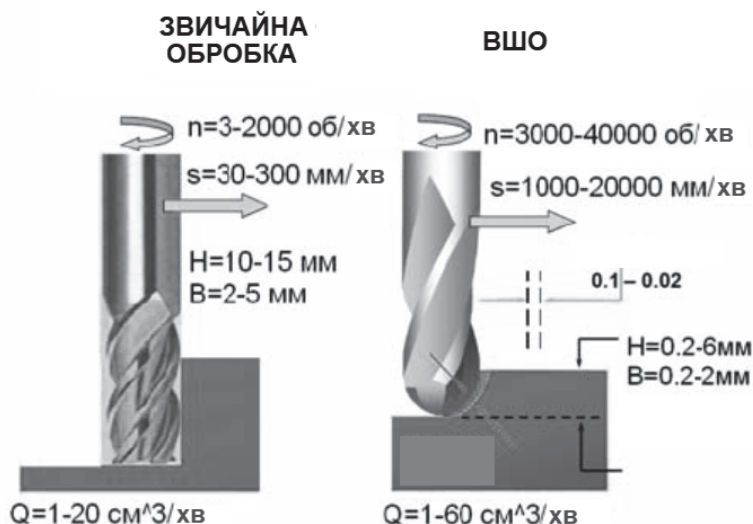


Рис. 2. – Режимні параметри ВШО в порівнянні зі звичайною обробкою

Дослідження, проведені під час ВШО обробки з правильно підібраними параметрами, показали, що 75% виробленого тепла відводиться зі стружкою, 20% - через інструмент, і 5% - через оброблювану деталь. Температура стружки в зоні різання може досягати 600°C [4].

Дослідження в області високошвидкісного різання показали ряд його переваг у порівнянні з традиційною обробкою. Дослідженнями Соломона в

1931 році було доведено, що залежність температури від швидкості різання практично для всіх матеріалів має екстремальний характер (рис. 3) [5].

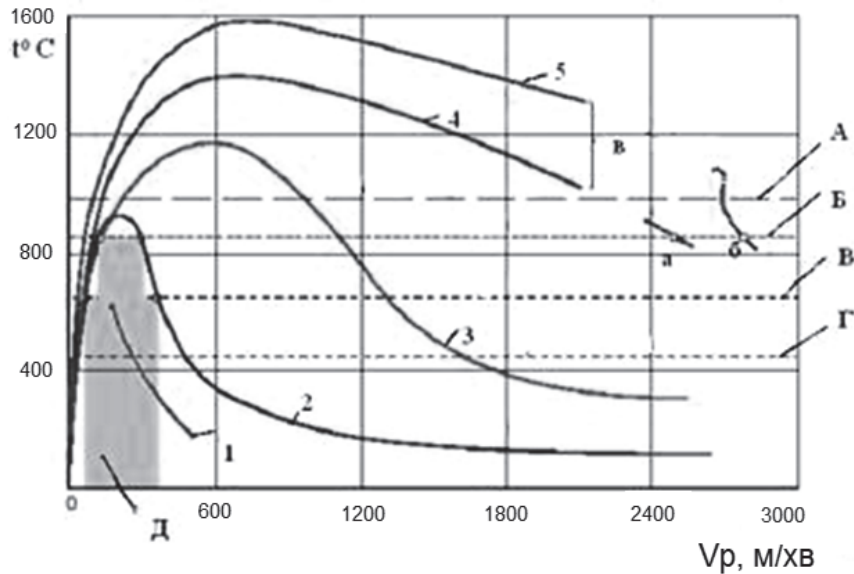


Рис. 3. – Залежність температури від швидкості різання:

1 - алюміній; 2 - кольорові метали; 3 - бронза; 4 - ливарні чавуни; 5 - сталі. Інструмент: А - карбід вольфраму: 980 °С; Б - вольфрамо-кобальтові сплави: 850 °С; В - вольфрамові сталі: 650 °С; Г - вуглецева сталь: 450 °С; Д - не рекомендується обробка; а - 39000 м/хв; б-вище 45000 м/хв; в - сплави залізо-вуглець.

У порівнянні з традиційною обробкою високошвидкісне фрезерування забезпечує [8]:

- зниження сил різання на 30% і більше, що зменшує деформацію оброблюваної деталі і дозволяє обробляти тонкостінні деталі до точності, форми яких пред'являються високі вимоги;
- зменшення температури оброблюваної деталі;
- отримання шорсткості оброблюваної поверхні за якістю аналогічної абразивної обробки;
- збереження точності обробки протягом тривалого часу в результаті зниження напруги в верстаті і інструменті за рахунок зменшення сил різання;
- збільшення подачі в 5-10 разів;
- зростання продуктивності знімання металу в 3-5 разів;
- зменшення вібрацій інструменту та деталі;
- зниження вартості інструмента;
- зниження часу обробки на 40-70% і вартості на 20-50%.

Порівняння параметрів традиційного і високошвидкісного фрезерування пальцевою фрезою зі сферичною формою різальних крайок (таблиця 1) показує незаперечну перевагу останнього.

Таблиця 1. – Порівняння параметрів фрезерування

Параметрів фрезерування	Традиційна обробка	Високошвидкісне фрезерування
Частота обертання, $n \text{ хв}^{-1}$	2000	15-40000
Подача, $f \text{ м/хв}$	0,2-0,8	1,5-5
Глибина різання, $t \text{ мм}$	1-5	0,02-0,5
Твердість HRC	< 36	< 62
Сила різання	висока	низька
Тепловиділення	високе	низьке

Керуючі програми для поверхонь вільної форми створюються, як правило, в САМ-системі і складаються з простих прямолінійних відрізків. Системи управління HEIDENHAIN автоматично згладжують переходи між відрізками, завдяки чому інструмент безперервно переміщається по поверхні заготовки. Автоматичним згладжуванням управляє внутрішня функція контролю похибок контуру. Ця функція (Цикл 32) дає оператору можливість довільно встановлювати допустимі похибки контуру. Встановленим є значення, яке виробник верстата закладає в машинних параметрах системи ЧПУ (типове значення від 0,01 до 0,02 мм). Додатково допуск діє також при переміщеннях по запрограмованим дуг окружності [4-5].

Показаний на рисунку 6 кут заготовки вимагає кругової траєкторії центру кульової фрези (TCP = Tool Center Point - точка центру інструменту). Без згладжування заданих характеристик траєкторії вісь Y верстата повинна була б різко прискоритися в перехідній крапці. До того ж звичайні приводи не можуть генерувати нескінченний ривок, що обумовлено межами їх фізичних властивостей. Тому без додаткових заходів управління траєкторією переміщення неминує виникати похибки траєкторії, які, в залежності від змін кривизни траєкторії і швидкості руху по траєкторії, можуть досягати значних величин.

На рисунку 7 показана збільшена похибка переміщення інструменту в порівнянні з запрограмованим контуром. Похибки відносяться до ідеального переходу пряма-окружність, в той час як керуюча програма складається з лінійних відрізків з хордовою похибкою 3 мкм щодо моделі. Хордові похибка діє тільки в зонах вигинів і перекриває заданий в системі ЧПУ допуск контуру. Системи управління HEIDENHAIN досягають дуже високої повторюваності рухів рядкового фрезерування з реверсом напрямки (рис.8). Похибки контуру між прямими і зворотними траєкторіями практично відсутні, завдяки чому можна добитися дуже високої якості обробленої поверхні.

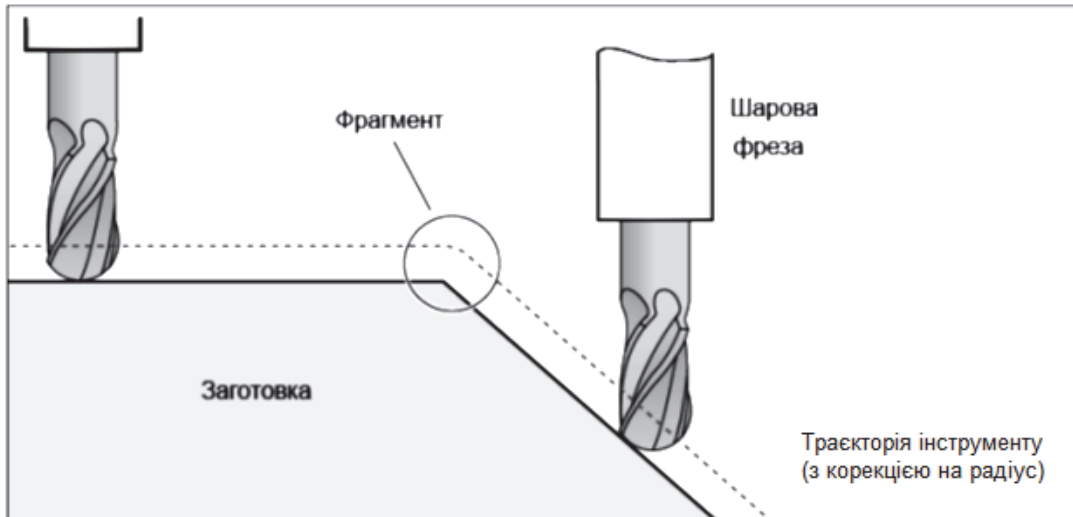


Рис.6. – Траекторія ТСП (точка центру інструменту) кульової фрези

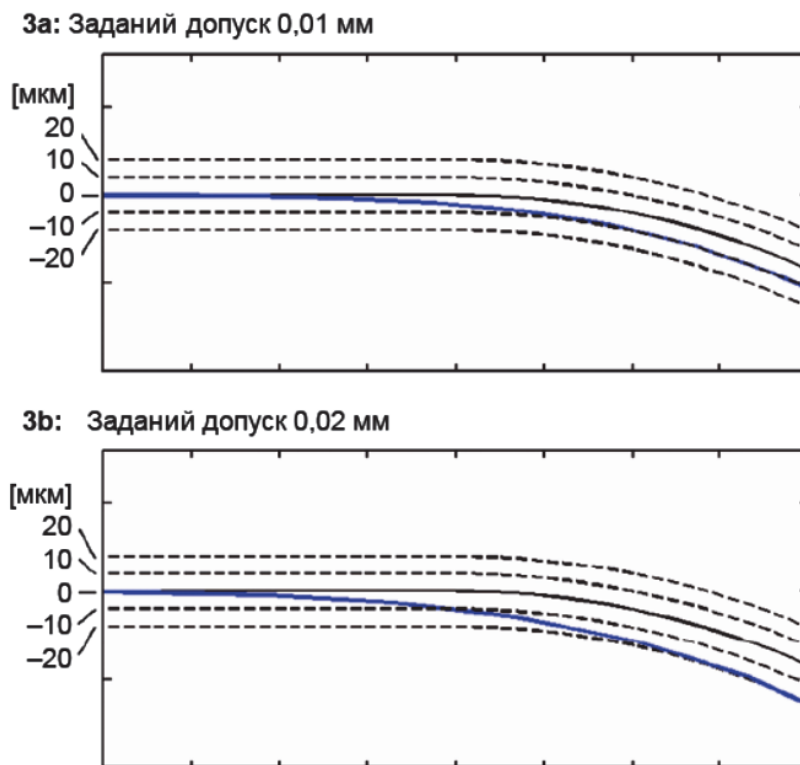


Рис.7. – Збільшене зображення заданої траекторії ТСП по контрольованому контуру

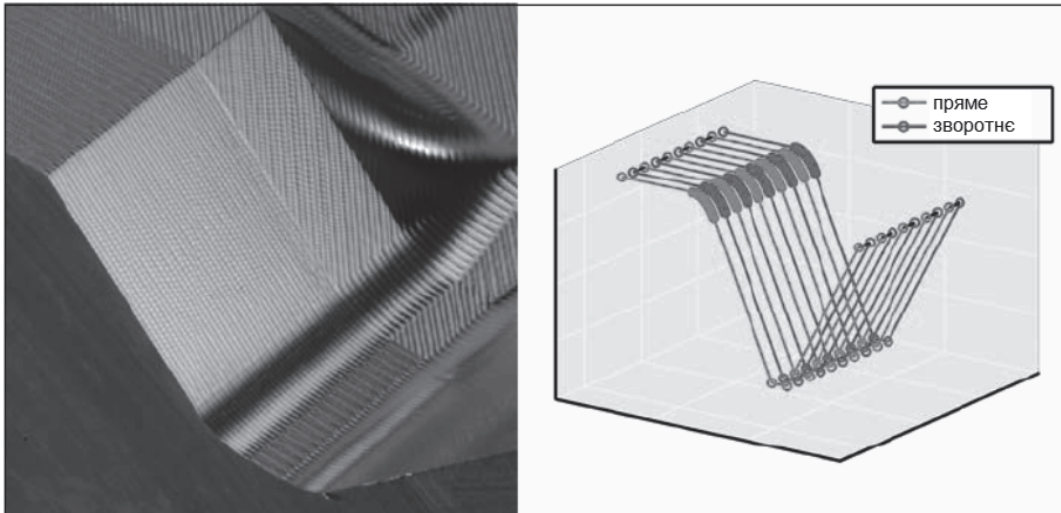


Рис.8. – Контур заготовки і відповідні лінійні відрізки з прямим і реверсивним переміщенням

На фото заготовки на рисунку 9 показані відмінності, що досягаються за допомогою оптимізованого управління траєкторією переміщення. Показання поверхні вільної форми отримані шляхом сатиричного фрезерування з реверсом переміщень (запрограмована подача 10 м / хв, припуск на чистову обробку 0,1 мм).

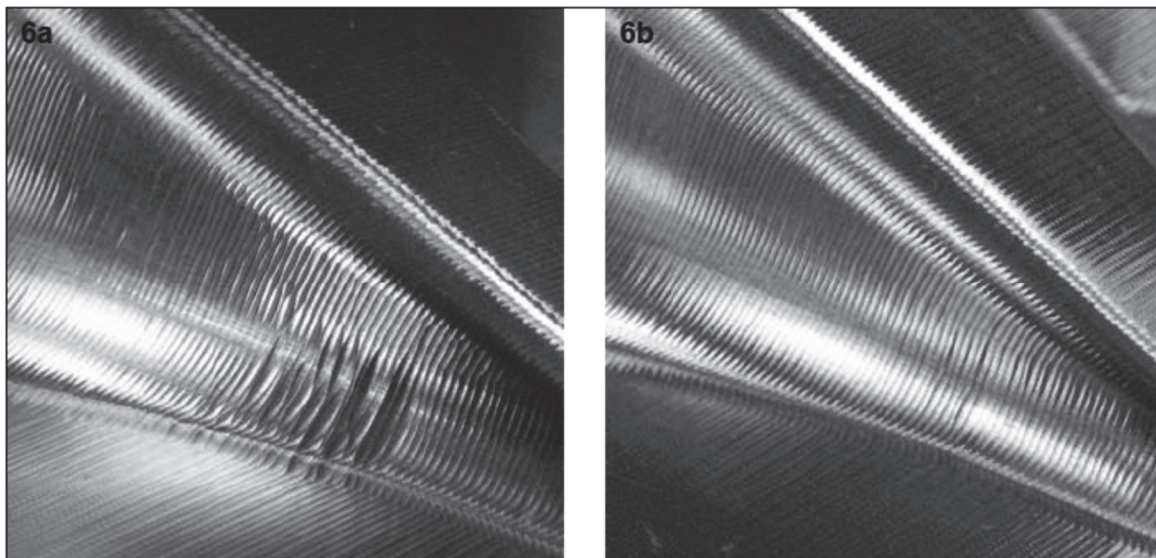


Рис. 9. – Процес рядкового фрезерування з реверсом: повторюваність сусідніх траєкторій фрезерування 6а: Відмінності між сусідніми траєкторіями призводять до поганої якості обробленої Поверхні 6б: Результат фрезерування за допомогою iTNC 530: рівномірنا поверхня при прямих і реверсивних переміщеннях

Висновки. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтована можливість отримання поверхневого шару деталі з заданими величинами залишкових напруг, шорсткості, мікро-твердості, структурно-фазового складу і неоднорідності властивостей.

Визначено область допустимих режимів високошвидкісного торцевого фрезерування і знайдені їх оптимальні значення режимних параметрів.

Виконана програмна реалізація технологічних операцій фрезерування за допомогою САМ-системи, що дало змогу графічно візуалізувати процес високошвидкісної обробки, задіяв оптимізовані режимні параметри обробки.

Складені практичні рекомендації щодо оптимального використання сучасних CAD-CAM систем, коригування результатів технології та режимних параметрів для отримання оптимальних результатів на стадії підготовки виробництва.

Проведене дослідження дозволяє моделювати абсолютно всі механічні операції за рахунок застосування комп'ютерних програм в умовах дефіциту виробництва натурних експериментів та дистанційного навчання; індивідуалізувати процес навчання та підвищити ефективність самостійної роботи учня або студента; надає змогу проводити дослідження в таких областях змінення параметрів, які неможливо або небезпечно реалізувати на реальному кошовному обладнанні.

ЛІТЕРАТУРА

1. V. Ruban, V., Derbaba, O., Bohdanov, & Y. Shcherbyna. (2023). Optimization of product processing modes in modeling and programming of machining on machine tools with program control. Collection of Research Papers of the National Mining University, (72), 222-238. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.222>

2. Дербабa, В.А., Григоренко, В.У. & Рубан, В.М. (2023). Розвиток елементів комп'ютерного програмування у складових наскрізних технологіях виготовлення механічного обладнання в машинобудуванні. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», (72), 212-221.* <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.212>

3. Дербабa, В.А., Богданов, О.О. & Рубан, В.Н. (2023) Дослідження температурних явищ при механічній обробці сталей та чавунів. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», (72), 202-211.* <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.202>

4. Проців В.В. Сучасні полімерні матеріали та технології в 3D-прінтингу / В.В. Проців, В.А. Козечко, В.А. Дербабa, О.О. Богданов// *Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2021 – № 65 – С.107-117.* <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.107>

5. В.А. Дербабa, В.А. Козечко, С.Т. Пацера, О.Л. Войчишен & В.І. Козечко (2023). Експлуатаційні показники різальних інструментів з надтвердих матеріалів. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», (74), 133-142.* <https://doi.org/10.33271/crpnmu/74.133> .