

УДК 621.9.027.4:621.7.02

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.134-139>

С. В. Попов, доц., канд. техн. наук, **О. В. Канівець**, доц., канд. техн. наук
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
e-mail: stanislav.popov@pdau.edu.ua, oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua

Розширення сфери застосування різців із надтвердих матеріалів у механоскладальних цехах машинобудівних заводів та на дільницях підприємств сервісу

Розглянуто розширення застосування різців із НТМ у машинобудуванні та на підприємствах сервісу. Обґрунтовано актуальність підвищення ефективності фінішної обробки за обмежених технологічних можливостей. Особливу увагу приділено вигладжуванню як альтернативі чистовій обробці. Запропоновано повторне використання зношених різців із гексаніту-Р для вигладжування. Обробка сталі 40Х засвідчила зменшення шорсткості до Ra 0,16 мкм, підвищення твердості на 2...4 HRC. Найкращі результати при радіусі крайки 4...6 мм та пружному контакті інструмента.
вигладжування, гексаніт-Р, чистова обробка, шорсткість, твердість, сталь, надтверді матеріали, технології ремонту

Постановка проблеми. Сучасні машинобудівні заводи та підприємства сервісу, що займаються виготовленням, складанням, реалізацією, технічним обслуговуванням і ремонтом обладнання, складно уявити без застосування різального інструменту. Він використовується під час широкого спектру технологічних операцій. До них можна віднести як відновлення зношених поверхонь деталей внаслідок негативного впливу тертя, так і обробку нових. Сама якість різального інструменту має безпосередній вплив на точність обробки, довговічність під час експлуатації, а також рівень економічної ефективності робіт, що були виконані. За умов жорсткої конкуренції, високих вимог до обладнання та якості робіт, суб'єкти господарювання намагаються впровадити передові матеріали, а також технології обробки [1, 2]. Звичним явищем стало застосування твердосплавного інструменту, кераміки, кубічного нітриду бору, синтетичного алмазу тощо. Це дозволяє суттєво розширити технологічні можливості з одночасним підвищенням продуктивності праці.

На відміну від механоскладальних цехів машинобудівних заводів, ремонтні дільниці сервісних підприємств володіють обмеженою кількістю верстатного обладнання. Переважають верстати токарної та свердлильної груп, окрім того, обмежене фінансування визначає певну відсутність спеціалізованого різального інструменту. Незважаючи на це, під час ремонтно-відновлювальних операцій доволі часто виникає необхідність у чистових операціях механічної обробки деталей машин, у тому числі й валів. Доволі перспективним є застосування алмазного вигладжування, що можливо практично реалізувати на токарному верстаті. Такий вид механічної обробки дозволяє суттєво покращити точність, шорсткість обробленої поверхні без використання шліфування, а також додаткових операцій зміцнення. Якщо вести мову про виготовлення, ремонт або відновлення деталей типу валів, то доволі частим явищем є доведення однієї або кількох поверхонь. Доволі проблематичною є повторна токарна обробка для несуттєвої зміни розмірів за діаметром із застосуванням операцій повторного базування. Що стосується алмазного вигладжування, то для його реалізації

цілком достатньо такого ж основного й допоміжного інструменту та схем базування, що й при токарній обробці. Матеріалами для виготовлення наконечників різців, що застосовуються при вигладжуванні, слугують здебільшого штучні алмази. Їх вартість доволі висока. Якщо ж вести мову про загартовані сталі та чавуни високої твердості, то їх обробка можлива надтвердими матеріалами, а саме, гексаніт-Р, ельбор, боразон, кубоніт, кіборит та ін. Найбільш поширеним є саме гексаніт-Р. Він забезпечує високопродуктивну обробку. Саме це обумовлює наявність різців із гексагоніту-Р не тільки в цехах, але й на дільницях, в майстернях.

Специфіка використання різців із гексагоніту-Р полягає у тому, що відновити їх різальні властивості алмазним кругом можливо у середньому не більше 4–5 разів. Як наслідок, ми маємо вже зношений інструмент, але такий що має осердя із надтвердого матеріалу. Осердям є циліндричне тіло в межах 5 мм за розмірами. Для формування кута різання потрібно мати більші розміри, водночас, при використанні осердя для вигладжування, таких розмірів цілком достатньо.

Отже, використання осердь із гексагоніту-Р, що залишаються після зношування різців, є доцільним та економічно вигідним рішенням для реалізації операцій алмазного вигладжування. Це дозволяє підвищити ефективність ремонтно-відновлювальних процесів, зменшити витрати на інструмент та забезпечити високу якість оброблених поверхонь навіть за умов обмежених ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесу вигладжування присвячено чимало наукових праць як вітчизняних, так і закордонних дослідників. Зокрема, автори [3] розглядають проблему обробки тонкостінних деталей, що широко застосовуються у машинобудуванні. Розглянуто технологічні особливості обробки проміжних гільз. Для них важливим є точність геометричних параметрів, якість поверхні. За рахунок малої товщини стінок традиційні методи фінішної обробки, зокрема, шліфування, хонінгування, не можуть бути використані, внаслідок можливості виникнення деформацій та зниження якості обробки. Запропоновано використання технології алмазного вигладжування за рахунок пластичної деформації поверхневого шару інструментом із алмазним елементом. Вони стверджують про досягнення кінцевої шорсткості $R_a = 0,08 \dots 0,63$ мкм, підвищену довговічність за рахунок зміцнення поверхневого шару, а також забезпечення калібрування із високою точністю розмірів. Незрозумілим є чому саме алмаз використаний для обробки гільз, бо, як відомо, він має хімічну спорідненість до сталей та чавунів.

Результати досліджень алмазного вигладжування деталей з некомпактних сплавів на основі алюмінідів титану представлено у роботі [4]. Основна увага приділена впливу режимних параметрів (подача, зусилля, радіус крайки) на величину залишкової шпаринності поверхневого шару. Встановлено, що оптимальні параметри вигладжування відповідають зусиллю 200...300 Н, подачі 0,1...0,15 мм/об та радіусу інструмента 2,5 мм.

У статті [5] досліджено вплив подачі та числа проходів при алмазному вигладжуванні на шорсткість будівельних сталей наступних марок: ВСтЗсп, 10Г2С1, 12ГН2МФАЮ, 15ХГ2СМФР. Встановлено, що мінімальна шорсткість досягається при значенні подачі 0,03...0,06 мм/об та одному-двох проходах. Подальше зменшення подачі або збільшення числа проходів тільки погіршує результат внаслідок перенаклепу. Метод підтвердив високу ефективність даного виду обробки.

Два підходи САД-моделювання та FEM-аналіз використано під час моделювання шорсткості поверхні після алмазного вигладжування [6]. Авторами визначено наскільки точно теоретичні моделі можуть відтворювати реальні параметри шорсткості після вигладжування, що базується на явищі пластичної деформації поверхневого шару. Вони довели, що моделювання у поєднанні із теорією Герца може

слугувати ефективним методом прогнозування шорсткості після обробки, а скінчено-елементний аналіз є доцільним для уточнення реальних досліджень.

Цим же авторським колективом досліджено залишкові напруження після вигладжування FEM-аналізом та експериментально. Процес обробки формує значні напруження стиску на глибині 10 мкм. Це позитивно впливає на значення втоми та довговічності. Отримана похибка не перевищила 13%, що цілком підтвердило придатність моделювання для прогнозування вигладжування.

Заслугує уваги робота [8], у якій було досліджено вплив радіуса інструмента, методів охолодження на параметри вигладжування сталі SS400. Порівнювалися три режими: сухий, рідинний, комбінований. Встановлено, що найнижчі силові характеристики, значення температури й шорсткість забезпечив саме комбінований режим охолодження (поєднання рідини із газом). Окрім того, інструмент із меншим радіусом формує менші зусилля та шорсткість поверхні.

Оцінка ефективності технологій охолодження та змащення наведена у роботі [9]. Як і в попередній роботі, доведено ефективність комбінованого змащення, яке зменшує осьове зусилля на 6%, покращує шорсткість поверхні на 50% та зменшує температуру на 68% у порівнянні із традиційними методами. Це забезпечує підвищення якості та екологічність процесу обробки.

Автори [10] дослідили вплив параметрів вигладжування на чистоту поверхні зразків, виготовлених із латуні. Експерименти проведено із застосуванням комбінованого інструменту та використанням різного змащення. Проведено серію дослідів у кількості 36 штук. Варіювалися наступні параметри: зусилля; швидкість; подача; діаметр заготовки; діаметр кульки. Встановлено, що максимальним фактором впливу буде зусилля. Оптимальним змащувальним та охолоджувальним середовищем виявилася олива SAE-30. Саме вона забезпечила зменшення шорсткості до 6 разів.

Як бачимо, алмазне вигладжування є ефективним методом фінішної обробки. Воно дозволяє підвищити точність та якість поверхонь деталей, уникаючи шліфування. Використання оптимальних режимів та змащувально-охолоджувальних середовищ забезпечує високу продуктивність та екологічність. Але для вигладжування дослідниками використовувалися саме алмази, а не модифікації нітриду бору.

Постановка завдання. Аналіз особливостей застосування різального інструменту у механічних цехах машинобудівних заводів та на дільницях підприємств сервісу є актуальною задачею. Її вирішення дозволить визначити напрямки підвищення якості обслуговування, оптимізації витрат, впровадження інновацій у напрямку виготовлення, обслуговування, ремонту та відновлення різноманітного обладнання. Мета роботи полягає у дослідженні можливості подальшого використання зношених після токарної обробки різців із різальною крайкою із гексагоніту-Р на основі нітриду бору у якості інструменту для вигладжування за умов попередньої підготовки.

Виклад основного матеріалу. Дослідження виконувалися на циліндричних зразках діаметром 30 мм, виготовлених зі сталі 40Х (конструкційна легована вуглецева сталь із вмістом вуглецю близько 0,4%, домішками хрому в межах 0,8...1,1%). Для закріплення інструмента на токарному верстаті було виготовлено спеціальний допоміжний інструмент. Він являє собою оправку, що дозволяє створити пружний контакт інструмента із заготовкою (за рахунок пружини). На токарному верстаті встановлення оправки відбувається у різцетримачеві. Центр осердя наконечника різця для вигладжування повинен співпадати з віссю оброблюваної заготовки. Таке налаштування забезпечується за рахунок попереднього встановлення у трикулачковий патрон спеціального шаблону. Він надає можливість точно визначити вісь обертання заготовки, яку плануємо обробляти. Також можливий контроль і за допомогою заднього центру, що обертається. Для визначення зусилля притискання інструменту до

оброблюваної заготовки використовували динамометр. Поступово підводили різець до заготовки та фіксували поперечне зусилля притискання у Ньютонах від 300 до 700 Н.

Стосовно радіуса заокруглення робочої крайки маємо наступне. Малий радіус заокруглення (1...3 мм) дає високе значення тиску, зміцнення наявне, але зона неглибока, існує високий ризик виникнення подряпин; середній радіус заокруглення (4...6 мм) дає максимальне збільшення твердості зміцненої поверхні за рахунок достатнього тиску, а також стабільної зони контакту, шорсткість достатня; великий радіус заокруглення (7...10 мм) призводить до зменшення величини тиску, внаслідок збільшення площі контакту, поверхня має найкращий показник шорсткості, але зміцнення менше, ніж у попередньому випадку. Величина подачі становила 0,05 мм/об, а частота обертання заготовки 630 об/хв. Шорсткість поверхні, яка була підготовлена під вигладжування, становила $R_a = 2,5$ мкм (чистове точіння). У якості змащення була використана індустріальна олива I-20A. Число проходів 3. Твердість вимірювали твердоміром за шкалою HRC, а шорсткість профілометром (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення параметрів вигладжування сталі 40X різцем із гексаніту-Р

Зусилля притискання, Н	Частота обертання заготовки, об/хв	Радіус крайки, мм	Подача, мм/об	Шорсткість деталі, мкм	Твердість деталі, HRC
300	630	2	0,05	0,32	51
500					52
700					53
300		5		0,20	52
500					53
700					54
300		8		0,16	51
500					52
700					53

Джерело: розроблено автором

Під час вигладжування контакт інструмента із заготовкою використовувався двох типів, а саме, пружний та жорсткий. У випадку останнього пружина в оправці замінювалася на жорсткий стрижень. Результати експериментів засвідчили, що жорсткий контакт є небажаним під час даної обробки. Новоутворена поверхня мала дефекти у вигляді виривання металу певними фрагментами внаслідок наявного биття, недостатньої жорсткості системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь». Потрібне зусилля притискання не було досягнуто, тому подальші експерименти було продовжено за умов лише пружного контакту інструменту із заготовкою. За його рахунок вдалося уникнути недоліків жорсткого контакту, що були описані вище. Пружний контакт також дозволив реалізувати процес вигладжування при повторному базуванні заготовки – можливо зменшити діаметральний розмір заготовки несуттєво, коли обробка різанням зі зняттям стружки вже не передбачається можливою.

Висновки. Таким чином, за результатами проведеного аналізу та серії експериментальних досліджень можна зазначити, що різальний інструмент визначає якість та довговічність обладнання, що виготовляється в механоскладальних цехах машинобудівних підприємств. В умовах дільниць підприємств сервісу застосування вигладжування на токарних верстатах створює ефективну альтернативу шліфуванню. Цим самим забезпечується підвищення точності, зміцнення оброблених поверхонь деталей із загартованих сталей і чавунів високої твердості. Подальше використання

зношених різців із гексаніту-Р у якості інструменту для вигладжування є економічно доцільним та технологічно ефективним рішенням. Воно дозволяє оптимізувати витрати, підвищити ефективність ремонтних робіт, сприяти впровадженню інноваційних технологій у машинобудуванні й сервісному обслуговуванні. Було експериментально доведено практичну ефективність процесу вигладжування зразків циліндричної форми, виготовлених зі сталі 40Х, що зазнали термічної обробки, для підвищення якості поверхні та зміцнення поверхневого шару. Оптимальним варіантом є використання пружного контакту інструмента із заготовкою. Це дозволяє компенсувати похибки базування, зменшити ризик дефектів поверхні та забезпечити стабільність процесу обробки. Діапазон зусилля притискання від 300 до 700 Н забезпечує зменшення шорсткості із початкового значення $Ra = 2,5$ мкм до $Ra = 0,16$ мкм залежно від радіуса заокруглення робочої крайки інструмента. Найкраще співвідношення між зменшенням шорсткості та підвищенням твердості поверхневого шару спостерігалось при застосуванні середнього радіуса заокруглення (4...6 мм), що забезпечило підвищення твердості на 2...4 HRC, а також формування стабільної зони зміцнення. Використання великого радіуса (7...10 мм) сприяє досягненню мінімальної шорсткості поверхні, однак інтенсивність зміцнення дещо нижча, ніж при середньому радіусі. Кількість проходів, рівна трьом, є цілком достатньою для забезпечення стабільних результатів як за параметрами шорсткості, так і за твердістю зміцненого шару.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні оптимальних режимних параметрів вигладжування надтвердим матеріалом гексаніт-Р на основі нітриду бору сталей різних марок, а також моделюванні впливу зусилля притискання, подачі та радіуса різальної крайки на кінцеву шорсткість та твердість поверхневого шару. Саме це дозволить збільшити точність прогнозування параметрів якості обробки.

Список літератури

1. Попов С.В. Дослідження точності оброблення циліндра різцем із твердого сплаву. *Науковий вісник*. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 15; Т. 1. С. 105–113. URL: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-25-1-12> (дата звернення 30.09.2025).
2. Фролов Є. А., Кравченко С. І., Попов С. В., Гнітько С. М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава : НУПП, 2019. 204 с.
3. Рязанцев А.О., Реброва С.В., Коломієць Д.А. Застосування технології алмазного вигладжування для тонкостінних деталей. *Розвиток промисловості та суспільства*. 2020. Вип. 104. С. 173–182.
4. Вишнепольський Е.В., Павленко Д.В. Алмазне вигладжування деталей з некомпактних сплавів на основі алюмінідів титану. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2020. №3 (163). С. 43–52. <https://doi.org/10.32620/aktt.2020.3.05> (дата звернення 30.09.2025).
5. Гамзаєва Г.Р. Вплив подачі та кількості проходів при алмазному вигладжуванні на шорсткість. *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій*. 2022. Вип. 34. С. 16–21. <https://doi.org/10.15421/4222102> (дата звернення 30.09.2025).
6. Felhő C., Varga G. CAD and FEM modelling of theoretical roughness in diamond burnishing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2022. Vol. 23. P. 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s12541-022-00622-5> (дата звернення 30.09.2025).
7. Felhő C., Varga G. 2D FEM investigation of residual stress in diamond burnishing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2022. Vol. 6, 123. <https://doi.org/10.3390/jmmp6050123> (дата звернення 30.09.2025).
8. Rachmat H., Rahim E.A., Mohid Z., Mahalil K., Feisal Kasah A.A.K., Nadzri A. Effect of burnishing tool radius and coolant technique on burnishing performance. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1150. 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1150/1/012047> (дата звернення 30.09.2025).
9. Mahalil K., Abd Rahim E., Mohid Z. Performance evaluation of sustainable coolant techniques on burnishing process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 494. P. 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012001> (дата звернення 30.09.2025).
10. Shirsat U., Ahuja B., Dhuttargaon M. Effect of burnishing parameters on surface finish. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*. 2016. <https://doi.org/10.1007/s40032-016-0320-3> (дата звернення 30.09.2025).

References

1. Popov, S. V. (2025). Study of the accuracy of cylinder machining with a carbide tool. *Naukovyi visnyk*, 15(1), 105–113 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-25-1-12>
2. Frolov, Ye. A., Kravchenko, S. I., Popov, S. V., & Hnitko, S. M. (2019). *Technological support of product quality in mechanical engineering*. Poltava: NUPP [in Ukrainian].
3. Riazantsev, A. O., Rebrova, S. V., & Kolomiets, D. A. (2020). Application of diamond burnishing technology for thin-walled parts. *Rozvytok Promyslovosti ta Suspilstva*, (104), 173–182 [in Ukrainian].
4. Vyshnepolskyi, E. V., & Pavlenko, D. V. (2020). Diamond burnishing of parts made of non-compact titanium aluminide alloys. *Aviatsiino-Kosmichna Tekhnika i Tekhnolohiia*, 3(163), 43–52 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32620/akt.2020.3.05>
5. Hamzaieva, H. R. (2022). Vplyv podachi ta kilkosti prokhodiv pry almaznomu vyhladzhuvanni na shorstkist [Effect of feed and number of passes in diamond burnishing on roughness]. *Problemy Obchysliuvalnoi Mekhaniky i Mitsnosti Konstruktsii*, (34), 16–21 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/4222102>
6. Felhő, C., & Varga, G. (2022). CAD and FEM modelling of theoretical roughness in diamond burnishing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 23, 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s12541-022-00622-5>
7. Felhő, C., & Varga, G. (2022). 2D FEM investigation of residual stress in diamond burnishing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6, 123. <https://doi.org/10.3390/jmmp6050123>
8. Rachmat, H., Rahim, E. A., Mohid, Z., Mahalil, K., Feisal Kasah, A. A. K., & Nadzri, A. (2019). Effect of burnishing tool radius and coolant technique on burnishing performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 1150, 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1150/1/012047>
9. Mahalil, K., Abd Rahim, E., & Mohid, Z. (2019). Performance evaluation of sustainable coolant techniques on burnishing process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012001>
10. Shirsat, U., Ahuja, B., & Dhuttargaon, M. (2016). Effect of burnishing parameters on surface finish. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*. <https://doi.org/10.1007/s40032-016-0320-3>

Stanislav Popov, Assoc. Prof., PhD tech. sci, Oleksandr Kanivets, Assoc. Prof., PhD tech. sci
Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Expanding the Scope of application of Super Hard Cutters in Mechanical Assembly Shops of Machine-building Plants and Service Enterprise Sections

The study investigates the application of burnishing as a cost-effective finishing method for machine parts. Aimed at replacing grinding in manufacturing and repair conditions. A special focus is placed on the reuse of worn cutting tools made of hexanit-R (cubic boron nitride), whose cores can serve as effective burnishing tools, reducing costs while maintaining quality.

Experimental research was carried out on cylindrical specimens of 40X steel (30 mm diameter). A special tool holder was designed to provide elastic tool-workpiece contact. Burnishing parameters included forces from 300 to 700 N, edge radii from 2 to 10 mm, feed of 0.05 mm/rev, three passes, spindle speed 630 rpm. Surface roughness was measured with a profilometer, while hardness was evaluated using the HRC scale.

Elastic contact ensured process stability and prevented surface defects observed under rigid contact. Results demonstrated a reduction of initial roughness from $R_a = 2.5 \mu\text{m}$ to $R_a = 0.16 \mu\text{m}$, depending on the tool edge radius, along with an increase in surface hardness by 2-4 HRC. The best balance between roughness reduction and hardening was achieved with an edge radius of 4-6 mm and three passes.

The study proposes the innovative reuse of worn hexanit-R cutting inserts as burnishing tools. This method prolongs the lifespan of costly superhard materials and creates a new opportunity for incorporating tool recycling into surface engineering. This approach extends the service life of expensive superhard materials and opens a new pathway for integration tool recycling into surface engineering.

The results offer a cost-efficient option for processing hardened steels and cast irons without grinding. Implementing this method in repair workshop with limited machine tools offers improved accuracy, enhanced durability of parts, reduced maintenance costs.

Burnishing using repurposed hexanit-R tools is a practical, economical, sustainable finishing solution. It ensures high surface quality and strengthening of machine parts, making it especially valuable for service enterprises. Further work will focus on modeling and optimizing burnishing parameters for steel of different grades.

burnishing, hexanit-R, finishing, roughness, hardness, steel, superhard materials, repair technologies

Одержано (Received) 30.09.2025

Прорецензовано (Reviewed) 30.10.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025