

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-4\(42\)-55-62](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-4(42)-55-62)

УДК 621.7

Андрій Іванович Гречка¹, Олександр Леонідович Пузирьов²¹кандидат технічних наук, завідувач кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Центральноукраїнського національного технічного університету (Кропивницький, Україна)E-mail: angre17@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1188-7412>²кандидат технічних наук, завідувач кафедри прикладної механіки
Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті (Кропивницький, Україна)E-mail: alpu@i.ua, ORCID: ID <https://orcid.org/0000-0002-2158-3714>

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

У статті представлено інноваційну технологію механічної обробки деталей, спрямовану на підвищення ефективності виробництва та раціональне використання інструментальних ресурсів. Проведено порівняльний аналіз традиційної і вдосконаленої схеми токарної обробки деталей із сірого чавуну. У процесі однієї операції застосовуються дві державки різних типів, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження та підвищення стабільності різання. Запропоновано використання державки типу «TCBNL 2525 M12», що дозволяє знизити динамічні навантаження й продовжити ресурс ріжучих пластин. Визначено економічну доцільність і технологічну ефективність запропонованої технології, яка забезпечує комплексний технічний, організаційний та економічний ефект.

Ключові слова: інноваційна технологія; механічна обробка; ріжучий інструмент; державка; ефективність виробництва; економічна доцільність.

Рис.: 6. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Розвиток машинобудівної галузі України на сучасному етапі вимагає від підприємств впровадження високоефективних та інноваційних технологій механічної обробки, що будуть спрямовані на зниження рівня собівартості продукції та підвищення рівня надійності та точності технологічних процесів. Особливого значення, в умовах жорсткої ринкової конкуренції, набуває оптимізація технологічних процесів токарної обробки, що є основною операцією виготовлення більшості деталей машин. Складність форм заготовок, висока інтенсивність процесу різання, властивості сировини та матеріалів, зокрема чавуну, зумовлюють необхідність ефективного та раціонального використання металоріжучого інструменту. Тому доцільним є впровадження раціональних інноваційних технологій токарної обробки, які своєю чергою будуть забезпечувати підвищення рівня ефективності виробництва та тривалості використання ріжучого інструменту.

Постановка проблеми. Попри чисельні досягнення у сфері оптимізації та вдосконалення інструментальних систем, у процесі токарної обробки залишаються недостатньо вирішеними питання, що пов'язані з нерівномірним розподілом навантажень саме на ріжучі елементи, нестабільністю процесу різання та підвищеними динамічними коливаннями тощо. Це, у свою чергу, призводить до втрати точності обробки, передчасного зношування пластин та зниження рівня продуктивності обладнання. Так, зокрема, при обробці деталей із сірого чавуну складної конфігурації спостерігається інтенсивне навантаження на окремі грані пластин, що значно обмежує їхній ресурс. Тому виникає необхідність знайти оптимальні технологічні рішення, що дозволять зменшити вібрації, рівномірно розподілити навантаження та забезпечити стабільність процесу обробки деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми, що пов'язані з вдосконаленням інструментального оснащення та підвищенням ефективності токарної обробки широко відображені у працях Ю. М. Кузнєцова [1], В. В. Солохи [2], Ю. Є. Паливоди [3], Б. М. Гевка [4], Б. Д. Буца, Ю. В. Ткачова [5; 6] тощо. Видатні науковці та дослідники [7–11] розглядали різні методики оптимізації режимів різання, займалися моделюванням процесів механічної обробки деталей та приділяли увагу питанням підвищення довговічності ріжучого інструменту.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз наукової літератури [1–11] показав, що більшість досліджень зосереджується тільки на загальних аспектах вибору необхідних параметрів різання. Питання застосування саме комбінованого використання державок різних типів у межах однієї токарної операції та оцінка їхнього впливу на стабільність процесу обробки й ресурс використання інструменту залишається недостатньо вивченими.

Метою статті є обґрунтування ефективності застосування інноваційної технології токарної обробки деталей із сірого чавуну, у якій реалізовано раціональні підходи до використання інструментального оснащення. Для досягнення зазначеної мети передбачено проведення порівняльного аналізу традиційної та запропонованої вдосконаленої технологічних схем, а також визначення економічної доцільності впровадження у виробничу практику розробленої технології.

Виклад основного матеріалу. У процесі аналізу діючої технології було виявлено, що технологічний процес токарної обробки відзначався нестабільністю параметрів різання та нераціональним використанням ріжучого інструменту. Запропоноване технічне рішення, що передбачає комбіноване застосування двох типів державок, забезпечило стабілізацію процесу різання, зменшення зношування пластин і підвищення точності оброблених поверхонь.

Заготовки виготовляються методом лиття із сірого чавуну, тому на їхніх поверхнях зазвичай спостерігаються залишки ливарної форми, нерівності та поверхневі напливи. Форма заготовки прямокутна, а її габарити є досить великими (рис. 1), що є нетиповим для токарної обробки. Саме через це, під час процесу точіння торцевої поверхні заготовки, відбуваються багаторазові удари ріжучої частини інструменту об матеріал, що збільшує ризик поломки і зменшує ресурс його використання.

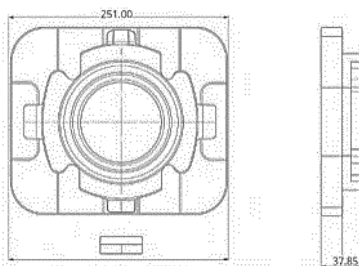


Рис. 1. Габаритні розміри заготовки

Джерело: розроблено авторами.

Зазначмо, що у процесі чорнової обробки цієї деталі використовуються змінні твердосплавні пластини типу «CNMG» (рис. 2). Саме вони призначені для зняття значних припусків при обробці поверхонь чавуну і зазвичай працюють у важких умовах навантаження. Основні схеми чорнової обробки передбачають обточування зовнішніх поверхонь, торців і внутрішніх отворів (рис. 3), що вимагає високої стійкості ріжучого інструменту.

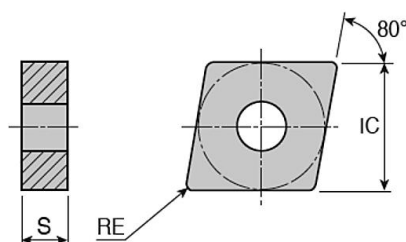


Рис. 2. Змінна твердосплавна пластина типу «CNMG»

Джерело: розроблено авторами.

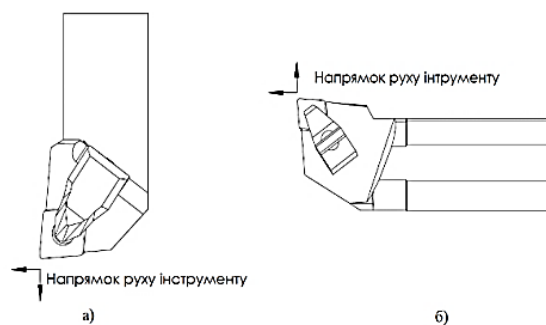


Рис. 3. Схеми обробки:

а – обробка торців і зовнішніх поверхонь; б – обробка отворів

Джерело: розроблено авторами.

Особливістю верстата, що використовується в цій технологічній операції є те, що обробка прямокутної торцевої поверхні, що має велику площу, здійснюється саме розточним різцем (рис. 4). При цьому виникають значні коливання навантажень, що, у свою чергу, знижують стабільність процесу обробки й можуть призвести до пошкодження ріжучої частини інструменту. У попередній класичній схемі при цьому в ріжучій пластині задіяними є лише дві грані 1 і 2, у той час коли грані 3 і 4 залишаються невикористаними (рис. 5). Таким чином, можна зазначити, що повний потенціал інструменту не реалізується.

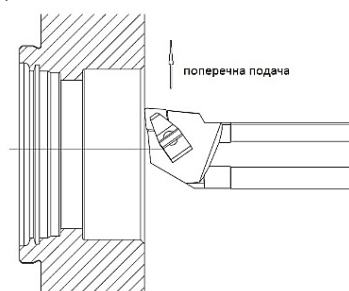


Рис. 4. Діюча схема обробки

Джерело: розроблено авторами.

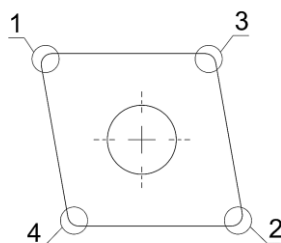


Рис. 5. Використання ресурсу ріжучої пластини

Джерело: розроблено авторами.

Для вирішення виявленої проблеми нами запропоновано використання державки «TCBNL 2525M12» (рис. 6). Її конструкція саме забезпечує зміну положення ріжучої пластини під кутом 75° , що своєю чергою дозволяє під час обробки задіяти всі грані інструменту. Саме завдяки цьому покращується якість обробленої поверхні, зменшуються вібраційні навантаження, підвищується точність геометричних параметрів деталей та збільшується стійкість ріжучої частини інструменту. Крім того, запропонована державка за нестабільних умов забезпечує плавніше різання, характерне для прямокутних поверхонь із литва. Також необхідно зазначити, що в результаті використання запропонованого інноваційного рішення вдалося оптимізувати процес різання без суттєвих змін у технологічному маршруті виробництва.



Рис. 6. Застосування державки «TCBNL 2525 M12»

Джерело: розроблено авторами.

Для підтвердження ефективності запропонованої інноваційної технології проведено порівняльний аналіз витрат інструменту за чотири місяці (червень – вересень): два місяці до впровадження і два після. Узагальнені результати дослідження представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні техніко-економічні показники токарної обробки до та після удосконалення технології

Місяць	Вартість інструменту, грн	Кількість використаного інструменту, од.	Кількість оброблених деталей, од.
Червень 2025 р.	14 000	28	670
Липень 2025 р.	14 000	30	610
Всього до впровадження	28 000	58	1 280
Серпень 2025 р.	2000	4	160
Вересень 2025 р.	2500	5	180
Всього після впровадження	4500	9	340

Джерело: розроблено авторами.

Кількість виготовлених деталей однією ріжучою пластиною:

$$N_{д.пл.} = N_{д.} / N_{ін} \quad (1)$$

де $N_{д.}$ – загальна кількість оброблених деталей за період, од.;

$N_{ін}$ – кількість використаного інструменту за звітний період, од.

До впровадження технології:

$$N_{д.}^{до} = 1280 \text{ од.}; N_{ін}^{до} = 58 \text{ од.}$$

$$N_{д.пл.}^{до} = 1280 / 58 \approx 22,07 \text{ од. (на одну пластину).}$$

Після впровадження технології:

$$N_{д.}^{після} = 340 \text{ од.}; N_{ін}^{після} = 9 \text{ од.}$$

$$N_{д.пл.}^{після} = 340 / 9 \approx 37,78 \text{ од. (на одну пластину).}$$

Визначення відсоткового збільшення використання ресурсу ріжучої пластини:

$$N_{в.ін} = \frac{(N_{д.пл.}^{після} - N_{д.пл.}^{до})}{N_{д.пл.}^{після}} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$N_{\text{в.ін}} = \frac{(37,7777... - 22,06897...)}{37,7777...} \cdot 100\% \approx 41,59\%.$$

Ресурс однієї ріжучої пластини зріс на 41,59 % відносно показників, отриманих до впровадження вдосконаленої технології.

Витрати на ріжучий інструмент для виготовлення однієї деталі:

$$K_{\text{ін.дет.}} = K_{\text{ін}} / N_{\text{д}} \quad (3)$$

де $K_{\text{ін}}$ – вартість ріжучого інструменту за звітний період, грн;

До впровадження технології:

$$K_{\text{ін}}^{\text{до}} = 28000 \text{ грн}; N_{\text{д}}^{\text{до}} = 1280 \text{ од.}$$

$$K_{\text{ін.дет.}}^{\text{до}} = 28000 / 1280 = 21,875 \text{ грн / од.} \approx 21,88 \text{ грн / од.}$$

Після впровадження технології:

$$K_{\text{ін}}^{\text{після}} = 4500 \text{ грн}; N_{\text{д}}^{\text{після}} = 340 \text{ од.}$$

$$K_{\text{ін.дет.}}^{\text{після}} = 4500 / 340 \approx 13,2353 \text{ грн / од.} \approx 13,24 \text{ грн / од.}$$

Економія витрат на інструмент при виготовленні однієї деталі:

$$E_{\text{ін}} = K_{\text{ін.дет.}}^{\text{до}} - K_{\text{ін.дет.}}^{\text{після}} \quad (4)$$

$$E_{\text{ін}} = 21,875 - 13,2353 \approx 8,6397 \text{ грн / од.} \approx 8,64 \text{ грн / од.}$$

Розрахункова кількість деталей, необхідна для окупності вартості державки:

$$N_{\text{ок}} = K_{\text{дер}} / E_{\text{ін}}. \quad (5)$$

де $K_{\text{дер}}$ – вартість державки, грн.

Вартість державки: $K_{\text{дер}} = 3200 \text{ грн.}$

$$N_{\text{ок}} = 3200 / 8,6397 \approx 371 \text{ деталь};$$

Прогнозна річна економія витрат на ріжучий інструмент:

$$E_{\text{ін.р.}} = (E_{\text{ін.}} \cdot N_{\text{д.м.}}) \cdot 12, \quad (6)$$

де $N_{\text{д.м.}}$ – місячний обсяг виробництва (прогноз), од.

Для $N_{\text{д.м.}} = 1400 \text{ од./міс.}$

Економія за місяць: $8,6397 \cdot 1400 \approx 12095,6 \text{ грн / міс.}$

Економія на рік: $12095,6 \cdot 12 \approx 145,1 \text{ тис. грн / рік.}$

Таблиця 2 – Підсумкові результати розрахунків ефективності удосконаленої технології токарної обробки

Показник	Значення
$N_{\text{д.пл}}^{\text{до}}$, дет./пласт.	22,07
$N_{\text{д.пл}}^{\text{після}}$, дет./пласт.	37,78
Зростання ресурсу, %	41,59
Витрати на інструмент до впровадження технології, грн/дет.	21,88
Витрати після впровадження технології, грн/дет.	13,24
Економія, грн/дет.	8,64
Окупність, дет.	≈ 371
Річна економія, грн	$\approx 145\ 147$

Джерело: розроблено авторами.

Отримані в результаті дані свідчать про те, що застосування запропонованої технології дало змогу збільшити ресурс інструменту майже на 42 %. Витрати на інструмент для однієї деталі забезпечують економію 8,7 грн на одиницю продукції. Визначено, що при вартості державки на рівні 3200 грн окупність буде досягтися вже після виготовлення приблизно 371 деталі. Враховуючи прогнозний обсяг 1400 деталей на місяць річна економія буде становити близько 145 тис. грн, що підтверджує високу ефективність запропонованої технології. Зменшення частоти заміни інструменту буде сприяти скороченню простоїв обладнання, підвищить продуктивність праці та стабільність процесу різання.

Висновки. Результати, отримані в процесі дослідження, підтвердили ефективність застосування у процесі токарної обробки деталей складної конфігурації із сірого чавуну державки типу «TCBNL 2525 M12». Саме використання двох державок різних типів у межах однієї операції дозволило більш рівномірно розподілити навантаження між інструментами, знизити динамічні впливи та підвищити стабільність процесу різання. У результаті зношеність ріжучих пластин зменшилась майже вдвічі, а ресурс їх використання збільшився на 42 %. Своєю чергою, зменшення частоти заміни ріжучого інструменту скоротило простої обладнання та позитивно вплинуло на рівень продуктивності праці. Саме поліпшення якості оброблених поверхонь складної конфігурації і зниження рівня їх браку забезпечили зменшення обсягів доведення деталей. Економічний ефект від впровадження запропонованої технології становить близько 145 тис. грн на рік. Отримані результати підтверджують, що запропонована вдосконалена технологія забезпечує комплексний технічний, економічний та організаційний ефект, сприяє більш раціональному використанню інструментальних ресурсів підприємства і підвищує ефективність виробництва у машинобудуванні.

Заява про використання генеративного ШІ та технологій на основі ШІ у процесі написання текстів

Ми, Олександр Леонідович Пузирьов та Андрій Іванович Гречка, підтверджуємо, що під час підготовки наукової статті «Інноваційні підходи до підвищення ефективності процесів механічної обробки деталей» було використано інструменти генеративного ШІ (ChatGPT (OpenAI)) виключно як допоміжний засіб для перевірки граматики тексту статті та стилістичного опрацювання тексту анотації.

Використання зазначених технологій мало суто технічний та мовний характер і не впливало на зміст наукових результатів, логіку викладення матеріалу, обґрунтованість висновків чи інтерпретацію отриманих даних.

Підтверджуємо, що використання генеративного ШІ відповідає принципам академічної доброчесності та не порушує авторського права. Автори повністю несуть відповідальність за достовірність, новизну та наукову коректність поданих матеріалів.

Список використаних джерел

1. Кузнєцов, Ю. М., Луців, І. В., Шевченко, О. В., & Волошин, В. Н. (2011). *Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія*. Тернопіль: Терно-граф.
2. Солоха, В. В., Іщенко, Л. Й., Бойко, І. А., Коцюба, В. Ю., & Карнаух, В. Л. (2020). *Обладнання для новітніх технологій: навчальний посібник*. ПАТ «Мотор Січ».
3. Паливода, Ю. Є., Дячун, А. Є., & Лещук, Р. Я. (2019). *Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник*. ТНТУ ім. І. Пулюя.

4. Гевко, Б. М., та ін. (2014). *Технологія обробки на верстатах з ЧПК : навчальний посібник*. Крок.
5. Буц, Б. Д., Приходько, В. Є., & Ткачов, Ю. В. (2005). *Розрахунок режимів різання металів : навчальний посібник*. РВВ ДНУ.
6. Дідик, Р. П., Ткачов, Ю. В., Олейниченко, В. Г., та ін. (2005). *Методологія визначення параметрів і умов механічної обробки матеріалів : навчальний посібник для машинобудівних спеціальностей вузів*. НГУ.
7. Іванов, В. А., & Петренко, О. М. (2019). *Оптимізація режимів різання у металообробці*. Наукова думка.
8. Федоров, Ю. М. (2021). *Технологія механічної обробки металів*. ДНУ.
9. Карпусь, В. Є., Котляр, О. В., & Іванов, В. О. (2012). *Оптимізація механічної обробки тіл обертання* (В. Є. Карпусь, Ред.). НТМТ.
10. Кравець, Р. М. (2018). *Моделювання процесів різання для підвищення ефективності металообробки*. Львівська політехніка.
11. Новіков, Ф. В. (2014). *Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки: Монографія*. ХНЕУ ім. С. Кузнеця.

References

1. Kuznietsov, Yu. M., Lutsiv, I. V., Shevchenko, O. V., & Voloshyn, V. N. (2011). *Tekhnologichne osnashchennia dlia vysokoeфекtyvnoi obrobky detalei na tokarnykh verstatakh: monohrafiia* [Technological equipment for high-efficiency machining of parts on lathes: monograph]. Terno-Hraf.
2. Solokha, V. V., Ivshchenko, L. Y., Boiko, I. A., Kotsiuba, V. Yu., & Karnaukh, V. L. (2020). *Obladnannia dlia novitnikh tekhnologii: navchalnyi posibnyk* [Equipment for advanced technologies: textbook]. PJSC "Motor Sich".
3. Palyvoda, Yu. Ye., Diachun, A. Ye., & Leshchuk, R. Ya. (2019). *Instrumentalni materialy, rezhymy rizannia, tekhnichne normuvannia mekhanichnoi obrobky: navchalno-metodychnyi posibnyk* [Tool materials, cutting modes, and technical standardization of machining: study guide]. TNTU named after Ivan Puluji.
4. Hevko, B. M., et al. (2014). *Tekhnologhiia obrobky na verstatakh z ChPK* [Technology of machining on CNC machines]. Krok.
5. Buts, B. D., Prykhodko, V. Ye., & Tkachov, Yu. V. (2005). *Rozrakhunok rezhymiv rizannia metaliv: navchalnyi posibnyk* [Calculation of metal cutting modes: study guide]. RVV DNU.
6. Didyk, R. P., Tkachov, Yu. V., Oleinychenko, V. H., et al. (2005). *Metodologhiia vyznachennia parametriv i umov mekhanichnoi obrobky materialiv: navchalnyi posibnyk dlia mashynobudivnykh spetsialnostei vuziv* [Methodology for determining parameters and conditions of material machining: textbook for mechanical engineering specialties]. NGU.
7. Ivanov, V. A., & Petrenko, O. M. (2019). *Optimizatsiia rezhymiv rizannia u metaloobrobtsi* [Optimization of cutting modes in metalworking]. Kyiv: Naukova Dumka.
8. Fedorov, Yu. M. (2021). *Tekhnologhiia mekhanichnoi obrobky metaliv* [Technology of mechanical metalworking]. DNU.
9. Karpus, V. Ye., Kotliar, O. V., & Ivanov, V. O. (2012). *Optimizatsiia mekhanichnoi obrobky til obertannia* [Optimization of machining of rotational bodies] (V. Ye. Karpus, Ed.). NTMT.
10. Kravets, R. M. (2018). *Modeliuvannia protsesiv rizannia dlia pidvyshchennia efektyvnosti metaloobrobky* [Modeling of cutting processes to increase metalworking efficiency]. Lviv Polytechnic.
11. Novikov, F. V. (2014). *Matematychnе modeliuvannia ta optymizatsiia protsesiv metaloobrobky* [Mathematical modeling and optimization of metalworking processes]. KhNEU named after S. Kuznets.

Дата першого надходження статті до видання: 10.11.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.11.2025

Andrii Hrechka¹, Oleksandr Puzyrov²

¹PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the department of Mechanical Engineering, Mechatronics and Robotics
Central Ukrainian National Technical University (Kropyvnytskyi, Ukraine)

E-mail: angre17@ukr.net, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1188-7412>

²PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Applied Mechanics Department
Robert Elvorti Economics and Technology Institute (Kropyvnytskyi, Ukraine)

E-mail: alpu@i.ua, **ORCID:** ID <https://orcid.org/0000-0002-2158-3714>

**INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING
THE EFFICIENCY OF MECHANICAL PROCESSES**

The article presents an innovative technology for machining components aimed at increasing production efficiency and ensuring the rational use of tooling resources. A comparative analysis of conventional and improved technological schemes of turning operations for gray cast iron parts was carried out, identifying key factors that influence productivity and tool wear. During a single technological operation, two tool holders of different types are used, providing a balanced distribution of cutting loads, improved process stability, and extended tool life. The implementation of a tool holder of the "TCBNL 2525 M12" type allows for more complete utilization of cutting insert edges, reduction of dynamic loads, and improvement of machining accuracy under variable cutting conditions. Experimental results demonstrated that the application of the improved machining technology increased tool life by 42%, reduced tooling costs, and decreased overall processing time. The economic analysis confirmed the feasibility of the proposed solution: the cost of cutting tools per part decreased by almost 40%, and the payback period is achieved after producing approximately 370 parts. Moreover, the integration of the improved tool holder contributed to reducing tool replacement downtime, lowering defect rates, and enhancing surface quality. It is determined that the proposed innovative approach to machining and rational use of cutting tools provides a comprehensive technical, organizational, and economic effect. The obtained results confirm that the implementation of such solutions increases labor productivity, improves production reliability, reduces resource consumption, and contributes to the sustainable development and competitiveness of machine-building enterprises.

Keywords: innovative technology; machining; cutting tool; tool holder; production efficiency; economic feasibility.

Fig.: 6. **References:** 11.