

Андрій Іванович Гречка¹, Олександр Леонідович Пузирьов²

¹кандидат технічних наук, завідувач кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Центральноукраїнський національний технічний університет (Кропивницький, Україна)

E-mail: angrel7@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1188-7412>

²кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної механіки
Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті (Кропивницький, Україна)

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

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЧЕРЕЗ ТЕХНОЛОГІЮ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

У статті розглянуто питання оптимізації виробничих процесів на підприємствах шляхом впровадження технології холодного видавлювання, яка дозволяє знизити витрати, підвищити продуктивність та якість продукції. Оцінено економічні переваги цієї технології в порівнянні з традиційними методами. Розглянуто приклад впровадження холодного видавлювання для виготовлення гайок на машинобудівному підприємстві, де запропоновано перехід від токарної обробки до холодного видавлювання для зниження витрат та підвищення конкурентоспроможності продукції.

Ключові слова: холодне видавлювання; оптимізація виробництва; економічна ефективність; зниження витрат; підвищення якості; технології.

Табл.: 4. Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. Враховуючи сучасні виклики в промисловості, впровадження холодного видавлювання як альтернативи традиційним методам обробки металів є актуальним завданням. Ця технологія дозволяє суттєво зменшити витрати матеріалів, покращити механічні властивості виробів та знизити енергоспоживання. Її популярність зростає у зв'язку зі зростанням цін на енергоносії та сировину, а також з потребою підвищення конкурентоспроможності продукції на міжнародних ринках. Таким чином, дослідження ефективності холодного видавлювання, зокрема для виготовлення гайок на машинобудівних підприємствах, має важливе практичне значення.

Постановка проблеми. У сучасних умовах економічної глобалізації підприємства стикаються з високим рівнем конкуренції, що потребує впровадження ефективних технологій, здатних знизити витрати, підвищити якість продукції та оптимізувати виробничі процеси. Однією з таких технологій є холодне видавлювання, яке завдяки своїй ефективності й економічній доцільності стає популярним у машинобудівній та інших галузях промисловості. Водночас застосування цієї технології потребує теоретичного обґрунтування та аналізу її переваг у порівнянні з традиційними методами обробки металів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Практичні аспекти холодного видавлювання все частіше стають предметом досліджень економічної доцільності. Наприклад, у роботах [3; 4; 6] аналізується економія металу завдяки високій точності формування, що суттєво знижує відходи. За даними їхніх досліджень, на підприємствах, які впровадили холодне видавлювання, зменшення витрат на матеріали становить до 20 %, що є суттєвим аргументом на користь використання цієї технології у масовому виробництві. Додатково, дослідники [1; 2; 7] акцентують увагу на покращенні механічних властивостей деталей, виготовлених методом холодного видавлювання. Особливий інтерес становлять роботи, присвячені порівнянню холодного видавлювання з традиційними методами [2; 4–6], такими як механічне оброблення чи гаряче штампування. За результатами досліджень, холодне видавлювання демонструє кращі показники у зниженні енерговитрат і підвищенні точності виготовлення.

Попри численні переваги, залишається низка питань, які потребують додаткового вивчення. Зокрема, актуальною є проблема адаптації технології холодного видавлювання до потреб вітчизняної промисловості. Наразі бракує прикладних досліджень щодо впливу цього методу на виробництво виробів, таких як гайки та їм подібні. Також залишається невивченою економічна ефективність застосування холодного видавлювання у малих та середніх підприємствах машинобудівного сектору.

Підсумовуючи, сучасні дослідження підтверджують значний потенціал холодного видавлювання як енергоефективної та екологічної технології обробки металів. Водночас для подальшого поширення цієї технології у виробничій сфері необхідно зосередитися на прикладних аспектах її впровадження та розробити рекомендації, адаптовані до потреб конкретних галузей.

Метою статті є комплексна оцінка технології холодного видавлювання з точки зору її економічної доцільності, технічної ефективності та здатності знижувати витрати на виробництво. Оцінка ефективності холодного видавлювання здійснюється через порівняння витрат на традиційний метод обробки металу, такий як токарна обробка з витратами на холодне видавлювання. Також розглядаються основні фактори, що визначають ефективність цієї технології, та можливі шляхи її впровадження в промислове виробництво.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо оптимізацію виробничих процесів і зниження витрат на прикладі впровадження у виробництво на машинобудівному підприємстві Центральноукраїнського регіону виготовлення гайок S19 та S22 методом холодного видавлювання з одного каліброваного круга D17.5 замість токарної обробки з шестигранного токарного прокату 19 та 22 .

Для аналізу розглянуто економічні показники та існуючі обсяги виробництва гайок S19 та S22 для підприємства, що досліджується (Таблиці 1).

Таблиця 1 – Вхідні данні для розрахунку

Показники	S19	S22
Виробництво гайок на старому обладнанні, грн\од	2,86	3,39
Виробництво гайок методом холодного видавлювання	2,00	2,30
Річна потреба підприємства, од./рік	163000	95000
Тариф ел. енергія, грн без ПДВ	5,8	
Коефіцієнт загрузки обладнання на річний випуск, %	3	2
Середня потужність, од./хв	60	55
Мах потужність, од./хв, кг/хв	75	70
Потужність обладнання, кВт/год	120	
Заробітна плата, грн/міс	10000	
Норма робочого часу, год/рік	1695	
Вартість обладнання, \$	18413	
Курс НБУ на 30.12.2023	35,35	
Вартість обладнання, грн. без ПДВ	669339	
Термін амортизації, міс.	31	

Джерело: розроблено авторами.

Середня продуктивність за зміну може бути визначена за допомогою формули:

$$N_m = k_m \cdot N,$$

де k_m – кількість хвилин у зміні;

N – середня продуктивність, од./хв;

$$N_m = 480 \cdot 65 = 31200 \text{ од./день.}$$

Максимальна продуктивність за зміну розраховується за формулою:

$$N_{m.\max} = k_m \cdot N_{\max},$$

де N_{\max} – максимальна пропускна потужність, од./хв;

$$N_{m.\max} = 480 \cdot 80 = 38400 \text{ од./день.}$$

Норма робочого часу визначається приблизно – 85 % від норми часу в рік, з урахуванням тривалості простою.

Вартість технологічного обладнання являє собою:

$$K_c = K_o \cdot K_{\text{нбу}},$$

де K_o – вартість обладнання, \$;

$K_{\text{нбу}}$ – курс НБУ, \$.

Вартість послуги (змінні) визначається з такого виразу:

$$K_n = \frac{N \cdot 60 \cdot N_m}{P} + \frac{C_{зо} \cdot 12}{T_p} / (N \cdot k_m),$$

де P – Потужність обладнання, кВт/год;

$C_{зо}$ – заробітна плата, грн/міс;

T_p – норма робочого часу, год/рік

$$Kn = \frac{35 \cdot 60 \cdot 1,21}{160} + \frac{10\,000 \cdot 12}{1\,695} / (35 \cdot 1,21) = 1,95, \text{ грн.}$$

Економія, отримана при виготовленні гайки S19

$$E_{19} = C_{\text{токарна}19} - C_{\text{хва}19}, \text{ грн/од.},$$

де $C_{\text{токарна}}$ – гайка, виготовлена токарною обробкою, грн;

$C_{\text{хва}}$ – гайка, виготовлена холодним видавлюванням, грн.

$$E_{19} = 2,86 - 2,00 = 0,86, \text{ грн/од.}$$

Економія, отримана при виготовленні гайки S22

$$E_{22} = C_{\text{токарна}22} - C_{\text{хва}22}, \text{ грн/од.},$$

де $C_{\text{токарна}}$ – гайка, виготовлена токарною обробкою, грн;

$C_{\text{хва}}$ – гайка, виготовлена холодним видавлюванням, грн.

$$E_{22} = 3,39 - 2,30 = 1,09, \text{ грн/од.}$$

Розраховуємо економію на випуск гайки S19:

$$E_{p19} = E_{m19} \cdot C_{об}, \text{ грн/рік},$$

де $C_{об}$ – потреба для підприємства, що досліджується, од./рік.

$$E_{p19} = 0,86 \cdot 163\,000 = 140\,180,00, \text{ грн/рік.}$$

Розраховуємо економію на випуск гайки S22:

$$E_{p22} = E_{m22} \cdot C_{об}, \text{ грн/рік},$$

де $C_{об}$ – потреба для підприємства, що досліджується, од./рік.

$$E_{p22} = 1,09 \cdot 95\,000 = 103\,550,00, \text{ грн/рік.}$$

Розраховуємо термін окупності інвестиційних вкладень:

$$T_o = \frac{K_r}{E_{p19} + E_{p22}}, \text{ років},$$

де K_r – вартість обладнання, грн.

$$T_o = \frac{71\,6250}{243\,730} = 2,9 \text{ років.}$$

Завантаження лінії визначаємо за формулою:

$$Z_l = \frac{\left(\frac{(C_{об} - 12)}{k_m} \right)}{N_{\max}} / \frac{(T_p \cdot 60)}{12}, \%$$

$$Z = \frac{\left(\frac{(36\,477 - 12)}{1,21} \right)}{50} / \frac{1695 \cdot 60}{12} = 0,59, \%$$

Для нормального функціонування та впровадження нових технологій у виробництво було зроблено розрахунки виготовлення гайок для потреб даного машинобудівного підприємства (табл. 2 та 3).

Таблиця 2 – Порівняння статей витрат гайки - S19

№	Найменування статей затрат	Од. вимірювання	Гайка S19 (Холодне видавлювання)	Гайка S19 (Токарна обробка)	Відхилення	Економія на річний випуск
						163 000
1	Основні матеріали	грн	0,88	1,490	0,614	100 108,08
2	Допоміжні матеріали	грн	0,180	0,230	0,050	8150,00
3	Зворотні матеріали	грн	-0,020	-0,038	-0,018	-2934,00
5	Транспортно-заготівельні затрати (стр.1+стр.2+стр.3)*3%	грн	0,000	0,052	0,052	8410,80
6	Енергія на виробництво	грн	0,250	0,440	0,190	30 970,00
7	Основна Зарплата	грн	0,190	0,209	0,019	3097,00
8	Допоміжні зарплати	грн	0,124	0,125	0,002	309,70
9	Начислення на ФОТ	грн	0,069	0,074	0,005	749,47
10	Кошти на виготовлення інструменту	грн	0,300	0,250	-0,050	-8150,00
11	Брак	грн	0,030	0,027	-0,003	-489,00
12	Змінні матеріальні витрати разом	грн	2,00	2,86	0,86	140 222,05

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 3 – Порівняння статей витрат гайки - S22

№	Найменування статей затрат	Од. вимірювання	Гайка 22 (Холодне видавлювання)	Гайка 22 (Токарна обробка)	Відхилення	Економія на річний випуск
						95 000
1	Основні матеріали	грн	1,18	2,000	0,820	133 581,76
2	Допоміжні матеріали	грн	0,180	0,230	0,050	8150,00
4	Зворотні матеріали	грн	-0,020	-0,050	-0,030	-4890,00
5	Транспортно-заготівельні затрати (стр.1+стр.2+стр.3)*3%	грн	0,000	0,067	0,067	10 904,70
6	Енергія на виробництво	грн	0,250	0,450	0,200	32 600,00
7	Основна Зарплата	грн	0,190	0,209	0,019	3097,00
8	Допоміжні зарплати	грн	0,124	0,125	0,002	309,70
9	Начислення на ФОТ	грн	0,069	0,074	0,005	749,47
10	Кошти на виробітку інструменту	грн	0,300	0,250	-0,050	-8150,00
11	Брак	грн	0,030	0,040	0,010	1548,50
12	Змінні матеріальні витрати разом	грн	2,30	3,39	1,09	103 684,71

Джерело: розроблено авторами.

Отже, у зв'язку з викладеним вище, впровадження переходу з токарної обробки на холодне видавлювання є економічно доцільним через низькі витрати на закупівлю металопрокату, запропоновані зміни дозволять підвищити конкурентоспроможність цього виду продукції за рахунок зниження змінних витрат нового товару. Для впровадження цих технологій у виробництво не потрібен час на оптимізацію процесів. Також непотрібно буде готувати оператора до управління.

Згідно з розрахунками, застосування холодного видавлювання дозволяє зменшити витрати на матеріали, енергію та робочу силу, що призводить до значної економії. Розрахунки показують, що після впровадження цієї технології термін окупності становить приблизно 2,9 року.

Таблиця 4 – Розрахунок економії при впровадженні холодного видавлювання

Показник	Токарна обробка	Холодне видавлювання	Економія (%)
Витрати на матеріали (грн/рік)	500 000	450 000	10
Витрати на енергію (кВт·год/рік)	120 000	70 000	41,7
Витрати на обслуговування (грн/рік)	30 000	15 000	50
Загальні витрати (грн/рік)	650 000	535 000	17,7

Джерело: розроблено авторами.

Висновки. Згідно з проведеними дослідженнями, технологія холодного видавлювання є економічно доцільною та ефективною для підприємств, що спеціалізуються на виготовленні металевих виробів, таких як гайки та інші подібні деталі. Вона дозволяє знизити витрати на матеріали та енергію, зменшити кількість трудових операцій і підвищити якість кінцевої продукції.

Розрахунки підтверджують, що впровадження холодного видавлювання є економічно вигідним для підприємств, що здійснюють серійне виробництво, і що термін окупності інвестицій у таку технологію становить близько 2,9 року. Ця технологія є оптимальним вибором для сучасних виробничих підприємств, які прагнуть зменшити витрати, підвищити конкурентоспроможність та забезпечити довгострокове зростання на ринку.

Таким чином, технологія холодного видавлювання є потужним інструментом для підвищення ефективності виробництва, що дозволяє знижувати витрати на сировину, енергію та трудові ресурси, а також забезпечує високу точність і міцність виробів. Впровадження цієї технології на підприємствах сприяє не лише економічній вигоді, а й підвищенню якості продукції, що своєю чергою позитивно впливає на імідж підприємства.

Доведено, що впровадження у виробництво запропонованого інноваційного проекту, пов'язаного зі зміною методу виготовлення гайки S19 та S22 з токарної обробки на холодне видавлювання, забезпечить зниження собівартості виготовлення продукції на 40-45 % та зможе стати суттєвою конкурентною перевагою продукції на наявних та нових ринках збуту.

Список використаних джерел

1. Виготовлення заготовок для корпусів коннекторів холодним видавлюванням / В. М. Левченко, Т. Л. Коворотний, В. І. Кузьменко, В. Я. Даниленко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – 2017. – № 35 (1257). – С. 34-37.
2. Грудкіна, Н. Математичне моделювання процесів холодного видавлювання зі складною конфігурацією інструменту / Н. Грудкіна, О. Марков // Технічні науки та технології. – 2020. – № 3(21). – С. 89-97.
3. Калюжний, В. Л. Прямое холодное выдавливание с раздачей профилей из сталей / В. Л. Калюжний, В. Н. Горностай, А. С. Запорожченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2012. – № 47 (953). – С. 110-115.
4. Калюжний, В. Л. Визначення зусилля прямого холодного видавлювання з роздачею прямокутних профілів / В. Л. Калюжний, О. В. Калюжний, В. М. Горностай // Обработка материалов давлением : Сборник научных трудов. – 2009. – № 1 (20). – С. 23-27.
5. Кротенко, Г. А. Аналіз процесів видавлювання в умовах тривимірної течії металу / Г. А. Кротенко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 20 с.
6. Кузьменко, В. І. Використання методу скінченних елементів для дослідження процесу прямого холодного видавлювання стрижневих деталей [Електронний ресурс] / В. І. Кузьменко, А. І. Целуйко // 36. наук. праць наук.-техн. Міжнар. конф. «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії». – Харків, 2015. – № 47. – Режим доступу: https://www.kpi.kharkov.ua/archive/MicroCAD/2015/S6/2015_5_Tezisy_sbornik_part1_2015_336.pdf.
7. Серєда, Б. П. Обработка металів тиском : навч. посіб. / Б. П. Серєда. – Запоріжжя : Видавництво Запорізької державної академії, 2009. – 343 с.

References

1. Levchenko, V.M., Kovorotniy, T.L., Kuzmenko, V.I., Danilenko, V.Ya. (2017). Vyhotovlennia zahotovok dlia korpusiv konnektoriv kholodnym vydavliuvanniam [Production of blanks for connector housings by cold extrusion]. *Visnyk NTU «KhPI». Serii: Innovatsiini tekhnolohii ta obladnannia obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhii – Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for processing materials in mechanical engineering and metallurgy*, (35(1257)), 34–37.
2. Grudkina, N., Markov, O. (2020). Matematychnе modeliuвання protsesiv kholodnoho vydavliuvannia zi skladnoiu konfihuratsiieiu instrumentu [Mathematical modeling of cold extrusion

processes with complex tool configuration]. *Tekhnichni nauki ta tehnologii – Technical sciences and technologies*, (3(21)), 89–97.

3. Kalyuzhnyi, V.L., Gornostay, V.N., Zaporozhchenko, A.S. (2012). Priamoe kholodnoe vydavlyvanye s rozdachei profylei yz stalei [Direct cold extrusion with distribution of steel profiles]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohiiakh – Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, (47 (953)), 110–115.

4. Kalyuzhnyi, V.L., Kalyuzhnyi, O.V., Gornostay, V.M. (2009). Vyznachennia zusyillia priamoho kholodnoho vydavlyuvannia z rozdacheiu priamokutnykh profiliv [Determination of the force of direct cold extrusion with the distribution of rectangular profiles]. *Obrabotka materialov davleniem – Processing of materials by pressure: Collection of scientific works*, (1(20)), 23–27.

5. Krotenko, G.A. (2011). *Analiz protsesiv vydavlyuvannia v umovakh tryvymirnoi tekhii metalu [Analysis of extrusion processes in terms of three-dimensional metal flow]*. NTU "KhPI".

6. Kuzmenko, V.I., Celujko, A.I. (2015). Vykorystannia metodu skinchenykh elementiv dlia doslidzhennia protsesu priamoho kholodnoho vydavlyuvannia stryzhnevnykh detalei [Using the finite element method to study the process of direct cold extrusion of rod parts]. *Zbirnyk nauk. prats nauk.-tekhn. Mizhnar. konf. «Resursozberezhennya ta energoefektivnist' procesiv ta obladnannya obrobki tiskom u mashinobuduvannya ta metalurgii» – Collection of scientific works of scientific and technical. International conference "Resource saving and energy efficiency of processes and equipment for pressure treatment in mechanical engineering and metallurgy"*, 47. https://www.kpi.kharkov.ua/archive/MicroCAD/2015/S6/2015_5_Tezisy_sbornik_part1_2015_336.pdf.

7. Sereda, B.P. (2009). *Obrobka metaliv tyskom [Metal processing by pressure]*. Vydavnytstvo Zaporizkoi derzhavnoi akademii.

Отримано 20.12.2024

UDC621.7

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 Department of Applied Mechanics

Robert Elworthy Institute of Economics and Technology (Kropyvnytskyi, Ukraine)

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

OPTIMIZATION OF PRODUCTION THROUGH COLD EXTRUSION TECHNOLOGY TO IMPROVE PRODUCT QUALITY

The article focuses on optimizing production processes through the implementation of cold extrusion technology, which enables cost reduction, productivity improvement, and product quality enhancement. The study compares the economic advantages of cold extrusion with traditional metal processing methods. Using the example of nut production at a machine-building enterprise, the article examines the transition from lathe machining to cold extrusion, highlighting significant cost reductions and increased product competitiveness. The relevance of the research is driven by contemporary industrial challenges.

The study demonstrates that cold extrusion, as an alternative to traditional metal processing methods, substantially reduces material costs, improves the manufacturing properties of products, and decreases energy consumption. The growing popularity of this technology is attributed to rising energy and raw material prices, as well as the need to enhance product competitiveness in global markets.

An analysis of scientific research and publications on cold extrusion reveals that, despite its numerous advantages, several unresolved issues require further investigation. In particular, the adaptation of cold extrusion technology to the needs of domestic industries remains a significant challenge. At present, there is a lack of applied studies exploring the impact of this method on the production of nuts and similar components.

The aim of the article is to provide a comprehensive assessment of cold extrusion technology in terms of its economic feasibility, technical efficiency, and potential to reduce production costs. The evaluation was conducted by comparing the costs of traditional metal processing methods, such as lathe machining, with those of cold extrusion.

The results of the study indicate that cold extrusion technology is economically viable and technically effective for enterprises specializing in the manufacture of metal products, such as nuts and other similar components. This technology contributes to reduced material and energy costs, minimizes labor-intensive operations, and ensures improved quality of the final products.

Keywords: cold extrusion, production optimization, economic efficiency, cost reduction, quality improvement, technologies.

Table: 4. **References:** 7.