

УДК 621

© І.Б.Гевко, д.т.н., Р.Я.Лещук, к.т.н., І.І.Стойко, к.т.н.,  
Н.М. Марчук, М.Д. Сіправська  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

### **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО СВЕРДЛА-МІТЧИКА**

*Широке використання різьбових з'єднань у машинобудуванні обумовлене їхньою простотою, високою несучою здатністю з'єднання та роз'єднання деталей, застосування різноманітних різьбових з'єднань сприяють також наявність значної номенклатури спеціальних різьбових деталей пристосованих до різних варіантів з'єднань, їхня широка стандартизація та мала вартість в умовах масового виробництва.*

*Тому вирішення наукового завдання, яке полягає у розробленні та практичній реалізації раціональних технологічних процесів виготовлення різьбових з'єднань є актуальною задачею у машинобудуванні.*

#### **МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, РІЗЬБОВІ З'ЄДННЯ, КОМБІНОВАНИЙ ІНСТРУМЕНТ СВЕРДЛО-МІТЧИК.**

**Постановка проблеми.** Процес різання дуже складний. Результати його визначаються багатьма параметрами, іноді скритого характеру. Нерівномірність фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, його анізотропія, велика глибина фрезерування, деформування і нагрів, зміна різальної крайки зуба фрези, різні фізико-хімічні ефекти (налипання, окисні плівки тощо) появляються і зникають в процесі різання, і інші

візуально непомітні фактори значно відбиваються на стійкості різального інструменту – нестабільність матеріалу інструменту, термічної обробки і заточки інструменту, його неконтрольовані параметри (мікрогеометрія різальної крайки, радіус її заокруглення), зміна зони жорсткості у зв'язку з режимами роботи верстака – все це у великій степені впливає на стійкість інструменту, а в кінцевому результаті – на продуктивність.

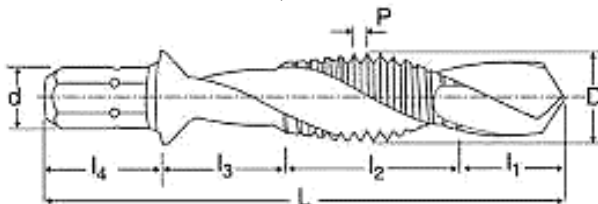
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями дослідження міцності і стійкості різальних інструментів присвячені праці Вульфа А.М. [1], Костецький Б.І. [2], Крагельский І.В. [3], Макаров А.Д. [4], Ординарцев І.А. [5], Семенченко І.А. [6], Четвериков С.С. [7], Шагалова З.Ю. [8], Аршинов В.А. [9], Гевко І.Б. [10], та інші.

**Мета дослідження.** Порівняння критеріїв варіантів механічної обробки комбінованого свердла-мітчика.

Розроблено і досліджено конструкцію нового комбінованого інструменту – свердла-мітчика (рис. 1), який дозволяє удосконалити процес нарізання наскрізної різі в елементах деталей машин. Слід відзначити, що товщина цих елементів може орієнтовно коливатися в межах від декількох міліметрів до більш ніж 10 см., що визначається діаметром отвору під різь, конфігурацією та кроком різі. Проте раціональна товщина оброблюваного свердлом-мітчиком елемента при нарізанні у ньому різі повинна бути визначатись конфігурацією інструменту.



а)



б)

Рис. 1 – Комбінований інструмент свердло-мітчик:  
а) загальний вигляд; б) конструктивна схема

Процес механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика (матеріал інструменту має наступний хімічний склад: С – 0,93%, Сг – 4,2%, Мо – 6,4%, W – 6,4%, V – 1,8%, Со – 5%) полягає в наступному. Оброблювану деталь закріплюють затискному пристрої на столі верстата, а інструмент в патроні шпинделя верстата, далі включають головний рух і рух подачі. При цьому відбувається на початковій стадії процес свердління отвору в деталі з подальшим нарізанням різі. Проте при завершенні нарізання різі комбінованим свердлом-мітчиком декілька останніх калібруючих зубів повинні залишатись у нарізаній різі деталі. Далі включають реверс і свердло-мітчик вигвинчується з нарізаної різі і відводиться в початкове положення.

Дослідження стійкості свердла-мітчика М8\*1,25 проводимо на вертикально-свердильному верстаті з ЧПК 2Р135Ф2. Матеріал – листовий прокат товщиною 8 мм із сталі 08кп, сталь 20 і сталь 45. На рис. 2 зображена конструкція пристрою для дослідження стійкості свердла-мітчика.

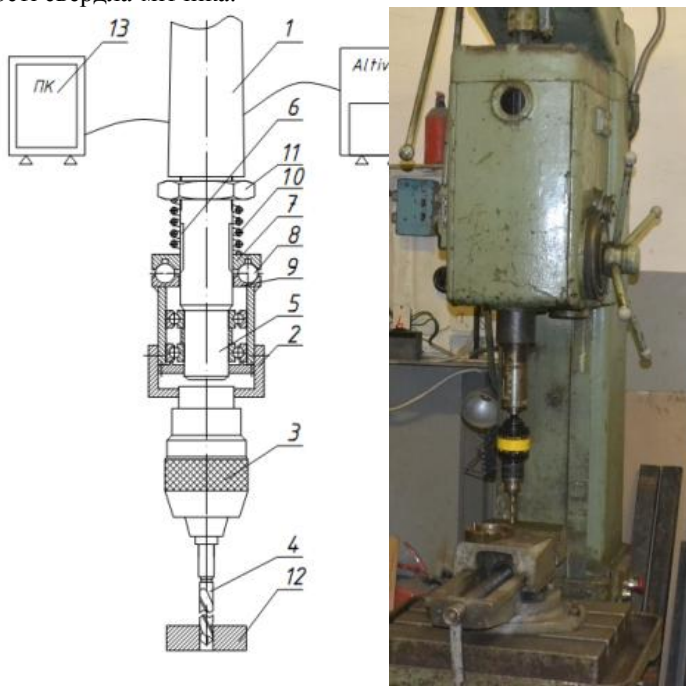


Рис. 2 – Конструкція пристрою для дослідження стійкості свердла-мітчика: а) конструктивна схема; б) загальний вигляд

Ї виконано у вигляді хвостовика 1, що кріпиться у шпинделі свердлильного чи іншого верстату, різьбовий кінець якого є у взаємодії з корпусом 2 до якого жорстко прикріплено патрон 3 для кріплення свердла-мітчика 4. Ділянка між кінцевою частиною хвостовика 1 і різьбовою кінцевою частиною 5 виконана у вигляді шліцьової поверхні 6, яка є у взаємодії з шліцьовою втулкою 7 з можливістю осьового переміщення. На торці шліцьової втулки виконані півсферичні виїмки 8, які є у взаємодії з кульками 9, В період перевантаження виходить з зачеплення і переміщуються по торцю фланця 10 корпусу 2. Шліцьова втулка 7 підтиснута пружиною стиснення 10 за допомогою регульовальної гайки 11, яка накручена на різі на шліцьовій поверхні. Для відновлення процесу нарізання різі усувають причину перевантаження мітчика 4 і при цьому встановлюється можливість відновлення технологічного процесу.

Результати експериментальних досліджень комбінованого свердла-мітчика наведено нижче. Послідовність проведення експериментів із визначення зусилля різання  $Pf_{(P)}(n;d;\nu)$  та стійкості інструмента виходу із зони свердління в зону нарізання різі  $Tf_{(T)}(\nu;s_z;HB)$  встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці експерименту типу ПФЕ  $3^3$  і некомпозиційної план-матриці Бокса-Бенкіна, а характеристику визначених змінних факторів і значення їх рівнів варіювання – згідно з результатами проведених теоретичних досліджень. Після перевірки адекватності апроксимуючої моделі та оцінки значущості коефіцієнтів рівняння регресії згідно з критерієм Фішера та Ст'юдента, одержано рівняння регресії у вигляді функціоналу  $P = f_{(P)}(n;d;\nu)$ , яке описує характер зміни зусилля різання інструмента (рис. 1) у таких межах зміни вхідних факторів: частоти обертання шнека  $108 \leq n \leq 216$  об/хв.; діаметра свердла-мітчик  $0,0042 \leq d \leq 0,007$  м; швидкість різання  $8 \leq \nu \leq 3$  м/хв.:

$$P(n,d,\nu) = 224,35 - 1,26n - 7,9\nu + 0,0024n^2 - 0,0298nd + 0,0299d\nu + 1,0071d^2 \quad (1)$$

У заданих межах варіювання змінними факторами зміна зусилля різання  $P$ , визначена експериментальним шляхом, знаходиться в діапазоні – від 47,65 до 133,42 Н (рис. 3). За збільшення діаметра сердла-мітчика від 0,0042 до 0,007 м зусилля різання  $P$  збільшується в середньому на 53...100 Н (рис. 3.а та рис. 3.б), а за збільшення частоти обертання інструмента  $n$  від 108 до 216 об/хв. зусилля різання  $P$  зменшується. Приріст зусилля різання

$P$  в межах зменшення діаметра сердла-мітчика  $d$  від 0,0042 до 0,007 м та при збільшенні швидкості  $v$  від 3 до 8 м/хв. зусилля досягає 57,1 Н (рис. 3.б та рис. 3.в).

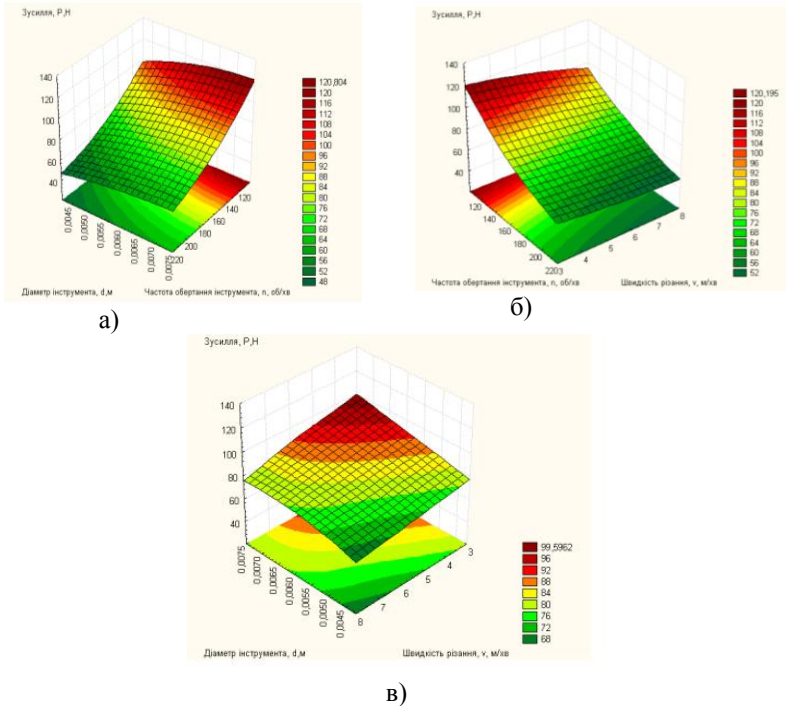


Рис. 3 – Поверхня відгуку зміни зусилля різання  $P$  як функціонал:

а)  $P = f_{(P)}(n; d)$ ; б)  $P = f_{(P)}(n; v)$ ; в)  $P = f_{(P)}(d, v)$

На основі графо-аналітичного аналізу побудованої діаграми зміни зусилля в часі та встановлено, що характер функціональної зміни зменшення проходить внаслідок виходу сведла із зони різання і входу шийки мітчика в зону нарізання різі (рис. 4).

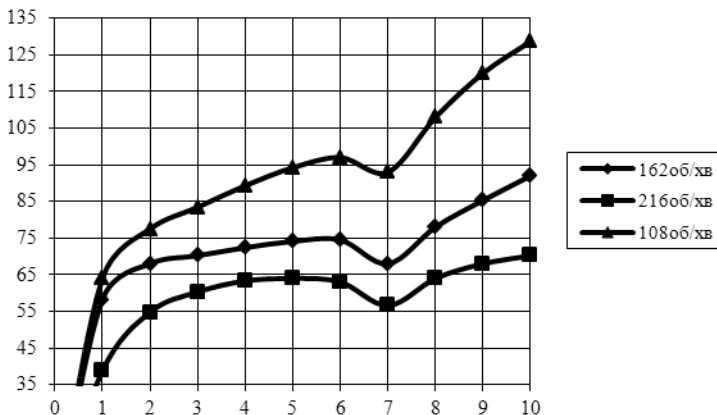


Рис. 4 – Залежність зміни величини зусилля в часі при свердлінні та нарізанні різі (1...6 с – свердління; 6...7с – перехід; 7...10 с – нарізання різі)

Обґрунтування економічної ефективності використання свердла-мітчика проведемо на прикладі механічної обробки з використанням досліджуваного інструменту  $M8 \times 1,25$  на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК 2P135Ф2. Матеріал – листовий прокат товщиною 8 мм із сталі 08кп. З експериментальних даних (діаграми рис. 4.16) час витрачений на свердлінні становить 6 с, а нарізання різі – 3 с).

Запропонований нами процес механічної обробки передбачає виконання двох операцій за один установ з двома переходами: свердління та нарізання різі з автоматичною зміною швидкості головного руху верстату між ними. При використанні класичного процесу для виконання даної роботи виконуються дві окремі операції з двома установами. При цьому при обробці партії деталей може проводитись окрема операція над усією партією деталей – свердління, а далі над усією парією деталей інша операція – нарізка різі. В іншому варіанті, при використанні верстата ЧПК, можливе виконання спочатку однієї, а потім іншої операції при автоматичній заміні інструменту з використанням інструментальної головки.

Використання лише однієї операцій з двома переходами в даній механічній обробці дозволяє спростити процес нарізання наскрізної різі в елементах деталей машин, значно зменшити його тривалість та скоротити різні види витрат (часові, енергетичні,

трудові). Порівняння варіантів відмінних операцій у процесах виготовлення нарізання наскрізної різі в елементах деталей машин по окремих критеріях представлено в табл. 1. Дані, які представлено в табл. 1, є порівняльними і можуть змінюватись в залежності від зміни товщини деталі, в якій нарізується різь, величини оплати праці працівників, вартості електроенергії тощо.

Таблиця 1 – Порівняння окремих критеріїв різних варіантів механічної обробки нарізання наскрізної різі в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням окремих інструментів та комбінованого свердла-мітчика

Базовий варіант 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів)	Базовий варіант 2 (оброблення подетально усієї партії виробів)	Проектний варіант
Обладнання: 2с132	Обладнання: ЧПК 2Р135Ф2	Обладнання: ЧПК 2Р135Ф2
Вартість б/у обладнання - 33 тис. грн.	Вартість б/у обладнання - 53 тис. грн.	Вартість б/у обладнання - 53 тис. грн.
Потужність: - головний рух: 4 кВт	Потужність: - головний рух: 4 кВт; - рух подачі: 2,2 кВт; - рух повороту револь- верної головки: 0,75 кВт	Потужність: - головний рух: 4 кВт; - рух подачі: 2,2 кВт
Розряд робітника - 4	Розряд робітника - 5	Розряд робітника - 5
Тривалість операції: - свердління: 6 с; - нарізання різі - 3 с	Тривалість операції: - свердління: 6 с; - нарізання різі - 3 с	Тривалість операції: - свердління: 6 с; - нарізання різі - 3 с
Тривалість міжопераційного переходу: 12 с.	Тривалість міжопераційного переходу: 4 с.	Тривалість міжопераційного переходу: 1 с.

Проведемо підрахунок певних витрат на виконання окремих операцій по базових та проектному варіантах процесів механічної обробки нарізання наскрізної різі в листовому прокаті. Розрахунок здійснювався на партію 60 одиниць.

Витрати на заробітну плату робітника, зайнятого виконанням операцій, з врахуванням єдиного соціального внеску

(0,22 згідно Закону України від 21 грудня 2016 року № 1801-VIII «Про Державний бюджет України на 2017 рік») визначатимуться за формулою [10]:

$$З = \sum T_i \cdot T_{cl} \cdot K_i \cdot K_n, \quad (2)$$

де  $Z$  - затрати на зарплату робітника;

$T_i$  - трудомісткість і-ї операції чи переходу, год.:

$T_{cl}$  - величина тарифної ставки І-го розряду (3723 / (21 · 8) = 22,16 грн.);

$K_i$  - тарифний коефіцієнт і-го розряду;

$K_n$  - коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22).

Витрати на заробітну плату по першому базовому варіанті (оброблення поопераційно усієї партії виробів) складуть:

$$Z_{1б} = ((6 + 3 + 12) / 60) \cdot 22,16 \cdot 1,35 \cdot 1,22 = 12,77 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату по другому базовому варіанті (оброблення подетально усієї партії виробів) складуть:

$$Z_{2б} = ((6 + 3 + 4) / 60) \cdot 22,16 \cdot 1,54 \cdot 1,22 = 9,02 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату по проектному варіанті виконання процесу складуть:

$$Z_n = ((6 + 3 + 1) / 60) \cdot 22,16 \cdot 1,54 \cdot 1,22 = 6,94 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при вказаних параметрах визначатимуться за формулою [1]:

$$E = \sum T_i \cdot C_{ел.ен} \cdot B_{кгод}, \quad (3)$$

де  $C_{ел.ен}$  – ціна 1 кВт/год. електроенергії (II клас – 1,96 грн. з 01.12.2017р. для промислових та прирівняні до них споживачі з приєднаною потужністю 750 кВА і більше);

$B_{кгод}$  – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням при виконанні операції чи переходу, кВт/год.

Витрати на електроенергію по першому базовому варіанті (оброблення поопераційно усієї партії виробів) складуть:

$$E_{1б} = ((6 + 3) / 60) \cdot 1,96 \cdot 4 = 1,18 \text{ грн.}$$



Витрати на електроенергію по другому базовому варіанті (оброблення подетально усієї партії виробів) складуть:

$$E_{2б} = ((6 + 3 + 4)/60) \cdot 1,96 \cdot (4 + 2,2) + (4 / 60) \cdot 1,96 \cdot 0,75 = 2,73 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію по проектному варіанті виконання процесу складуть:

$$E_n = ((6 + 3 + 1) / 60) \cdot 1,96 \cdot 4 = 1,31 \text{ грн.}$$

Затрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції, визначаємо з залежності [10]:

$$A = B_o \cdot K_a \cdot \Sigma T_i / T_o, \quad (4)$$

де  $B_o$  - вартість обладнання, яке використовується в процесі, грн.;

$K_a$  - коефіцієнт амортизації, 0,2;

$T_o$  - дійсний час роботи обладнання протягом року, 2070 год.

Витрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції по першому базовому варіанті (оброблення поопераційно усієї партії виробів) складуть:

$$A_{1б} = (((6 + 3 + 12) / 60)) / 2070) \cdot 33000 \cdot 0,2 = 1,12 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції по другому базовому варіанті (оброблення подетально усієї партії виробів) складуть:

$$A_{2б} = (((6 + 3 + 4) / 60)) / 2070) \cdot 53000 \cdot 0,2 = 1,11 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції по проектному варіанті виконання процесу складуть:

$$A_n = (((6 + 3 + 1) / 60)) / 2070) \cdot 53000 \cdot 0,2 = 0,85 \text{ грн.}$$

Провівши відповідні розрахунки за елементами витрат на виконання окремих операцій по базових та проектному варіантах процесів механічної обробки нарізання наскрізної різи в листовому прокаті, їх результати відобразимо в таб. 2.

Таблиця 2 – Підрахунок за елементами окремих витрат на виконання окремих операцій по базових та проектному варіантах процесів механічної обробки нарізання наскрізної різі в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням окремих інструментів та комбінованого свердла-мітчика

Елементи витрат	Базовий варіант 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів)	Базовий варіант 2 (оброблення подетально усієї партії виробів)	Проектний варіант
Затрати на зарплату	12,77	9,02	6,94
Витрати на електроенергію	1,18	2,73	1,31
Витрати на амортизацію обладнання	1,12	1,11	0,85
Разом витрат	15,07	12,86	9,1

Проведемо підрахунок річного економічного ефекту:

1. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів) на проектний:

$$E_{p1} = (60 \cdot 2070 / (6 + 3 + 1)) \cdot (15,07 - 9,1) = 74147,4 \text{ грн.};$$

2. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту 2 (оброблення подетально усієї партії виробів) на проектний:

$$E_{p2} = (60 \cdot 2070 / (6 + 3 + 1)) \cdot (12,86 - 9,1) = 46699,2 \text{ грн.}$$

Проведемо підрахунок відносної зайнятості обладнання при використанні базових по відношенні до проектного варіанту:

1. Зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенні до базового варіанта 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів):

$$BO_1 = ((6 + 3 + 1) / (6 + 3 + 12)) \cdot 100\% = 47,61\%;$$

2. Зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенні до базового варіанта 2 (оброблення подетально усієї партії виробів):

$$VO_2 = ((6 + 3 + 1) / (6 + 3 + 4)) \cdot 100\% = 76,92\%.$$

**Висновки.** Витрати при механічній обробці нарізання наскрізної різі в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням комбінованого свердла-мітчика будуть значно меншими, у порівнянні з базовими технологіями, що доводить значну ефективність розробленого інструменту. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту оброблення поопераційно усієї партії виробів на розроблений становитиме 74147,4 грн., а при заміні базового варіанту оброблення подетально усієї партії виробів - 46699,2 грн..

Як свідчать розрахунки, зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенню до базового варіанта оброблення поопераційно усієї партії виробів становитиме 47,61%, а по відношенні до базового варіанта оброблення подетально усієї партії виробів - 76,92%, що дозволить при використанні такого комбінованого інструменту значно ефективніше використовувати обладнання.

### Література

1. Вульф А.М. Резание металлов. Л.:Машиностроение. 1973, 495с.
2. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машиностроении. М.: Машиностроение. 1970, 396с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. М.:Машиностроение. 1968, 480с.
4. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов. М.:Машиностроение. 1966, 264с.
5. Ординарцев И.А. Справочник инструментальщика. Л.:Машиностроение. 1987, 848с.
6. Семенченко И.И. и др. Проектирование метало-режущих инструментов. М.:Машгиз, 1962, 950с.
7. Четвериков С.С. Металорежущие инструменты. М.:Висшая школа. 1965, 650с.
8. Шагалова З.Ю., Сиротенко Н.Г. Конструювання різального інструменту. Видавн. Вища школа. К. 1970, 266с.
9. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. М.:Машиностроение. 1976, 440с.
10. Гевко І. Б. Організація виробництва: теорія і практика: підручник / І. Б. Гевко, А. О. Оксентюк, М. П. Галушак. – К. : Кондор, 2008. – 178 с.