УДК 621.86

Б.М. Гевко, І.І. Стойко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТІЙКОСТІ СВЕРЛА-МІТЧИКА М7-7Н

Досліджено стійкість сверла-мітчика М8*125 при свердлінні отворів і нарізанні різі на вертикально-свердлильному верстаті ЧПК2Р135Ф2. Матеріал листовий прокат товщиною 8мм, Сталь 08КП, Сталь20 і Ст45.

Ключові слова:*міцність, стійкість інструменту, різання матеріалів, режими різання.*

Б.М. Гевко, И.И. Стойко, В.М. Клендий, Н.М. Марчук

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СВЕРЛА-МЕТЧИКОВ М7-7Н

Исследована устойчивость сверла-метчика М8 * 125 при сверления отверстий и нарезании резьбы на вертикально-сверлильном станке ЧПК2Р135Ф2. Материал листовой прокат толщиной 8мм, Сталь 08КП, Сталь20 и Ст45.

Ключевые слова: *прочность, стойкость инструмента, резки материалов, режимы резания.*

B.M. Gevko, I.I. Stoyko, V.M. Klendii, N.M. Marchuk

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDY STUDY OF SQURLA MITCHIC M7-7H

The stability of the M8 * 125 drill bit is explored when drilling holes and cutting a cut on a vertical drilling machine CHPK2P135F2. The material is flat-rolled 8mm thick, Steel 08KP, Steel20 and St45.

Key words: *strength, tool stability, cutting materials, cutting modes.*

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].

Постановка питання. 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 верстата – все це у великій степені впливає на стійкість інструменту, а в кінцевому результаті – на продуктивність.

Метою. Метою експериментальних досліджень є дослідження стійкості мітчика у комбінованому інструменті свердло-мітчик, що у першу чергу дозволить обґрунтувати параметри обох інструментів у комбінації свердло-мітчик, оскільки стійкість комбінованого інструменту залежить якраз від стійкості мітчика, оскільки у свердлі можлива необмежена кількість переточок.

Експеримент проводимо за методикою, розробленою проф. Боксом при вивченні оптимізації процесів хімічної технології і в 1964 році застосований для випробування стійкості різального інструменту [3]. Він носить назву «метод оптимального планування». Для експериментального визначення стійкості свердла-мітчика створюється математична модель, яка описує поведінку даної організованої системи. Вона дає представлення про поведінку даної системи із зміною ряду факторів і створюється на основі досліджень. Комбінований інструмент свердло-мітчик зображено на рис. 1.

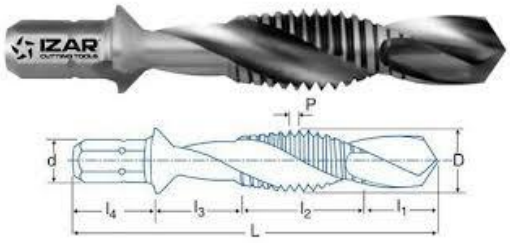

Рис. 1. **Комбінований інструмент свердло-мітчик**

© Б.М. Гевко, І.І. Стойко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук

Матеріал інструменту HSSG-E має наступний хімічний склад: C – 0,93%, Cr – 4,2%, Mo – 6,4%, W – 6,4%, V – 1,8%, Co – 5%.

Дослідження стійкості свердла-мітчика М8×1,25 проводимо на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК 2Р135Ф2. Матеріал – листовий прокат товщиною 8 мм із сталі 08кп, сталь 20 і сталь 45.

Для визначення стійкості інструменту «свердло-мітчик» використовуємо математичну модель зміни стійкості.

Зміна стійкості інструменту T залежно від швидкості різання v, подачі на зуб s_z (визначається кількістю західних зубів мітчика) і твердістю оброблювального матеріалу НВ визначається математичною моделлю [3]:

$$T^m = C v s_z^p HB^q. \quad (1)$$

У даній залежності приймаємо T – залежна і v, s_z, HB – незалежні змінні.

Треба обмовитися: математична модель не описує систему в цілому, а лише окремий комплекс факторів, які нас інтересують.

В логарифмічному масштабі рівняння буде поліномом першого степеню:

$$\ln T = \frac{\ln C}{m} + \frac{1}{m}\ln v + \frac{q}{m}\ln s_z + \frac{q}{m}\ln HB$$

або, враховуючи помилки експерименту ε,

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \varepsilon. \quad (2)$$

Експеримент плануємо на основі багатофакторного аналізу, тобто одночасно варіюємо усі змінні фактори, $x_1(v)$, $x_2(s_z)$, $x_3(HB)$. Необхідно визначити постійну b_0 і коефіцієнти b_1, b_2, b_3. Кожна із цих змінних варіюється на двох рівнях (2^k), де k – число змінних.

Швидкість різання досліджуємо для 3, 5, 8 м/хв., що відповідає обертам фрези 120, 200, 320 об/хв. відповідно; подачу на зуб мітчика використовуємо 0,18 (7 західних зубів), 0,25 (5 західних зубів) 0,38 (3 західні зуби) мм/зуб; твердість матеріалу сталі НВ – 126 (сталь 08кп), 159 (сталь 20), 193 (сталь 45).

План дванадцяти дослідів передбачає дві серії по шість дослідів у кожній – шість основних і шість додаткових. Вибір режимів обробки проводиться таким чином, щоб спростити кодування із врахуванням можливостей обладнання і граничних режимів обробки, як це показано у табл.1.

Таблиця 1

Режими різання і кодові позначення

Рівень	Режими дослідження			Кодові позначення		
	v м/хв.	s_z мм/зуб	HB	x_1	x_2	x_3
Верхній	8	0,38	193	1	1	1
Середній	5	0,25	159	0	0	0
Нижній	3	0,18	126	-1	-1	-1

Ці рівні закодовані за допомогою рівнів перетворення таким чином, щоб верхній рівень відповідав +1, а нижній -1.

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln v - \ln 8)}{(\ln 8 - \ln 3)} + 1 \\ x_2 &= \frac{2(\ln s_z - \ln 0{,}38)}{(\ln 0{,}38 - \ln 0{,}18)} + 1 \\ x_3 &= \frac{2(\ln HB - \ln 193)}{(\ln 193 - \ln 126)} + 1 \end{aligned}\right| \quad (3)$$

Тут, в плані експерименту, наприклад, за одиницю швидкості нарізання різі прийнята величина $\frac{\ln 8 - \ln 3}{2}$. Таким чином швидкість нарізання різі v перетворюється шляхом ділення її

на прийняту одиницю.

Аналогічно поступаємо з подачею s_z і твердістю *НВ*. Для спрощення розрахунків композиційний план будується згідно так званого "італійського куба" [3], побудованого на трьох ортогональних координатах з початком в центрі куба (рис. 2). На вершинах куба позначені номери дослідів, режимів нарізання різі і твердості матеріалу заготовки згідно табл. 2.

Дослідні точки позначені темними кружками згідно перших чотирьох дослідів; додатково два досліди ставляться в центрі куба для перевірки гіпотези адекватності (досліди 9 і 10). Якщо гіпотеза адекватності не проходить, виконуємо ще шість дослідів: добудовуються ще вершини куба (позначені кружками) і ще два досліди в центрі.

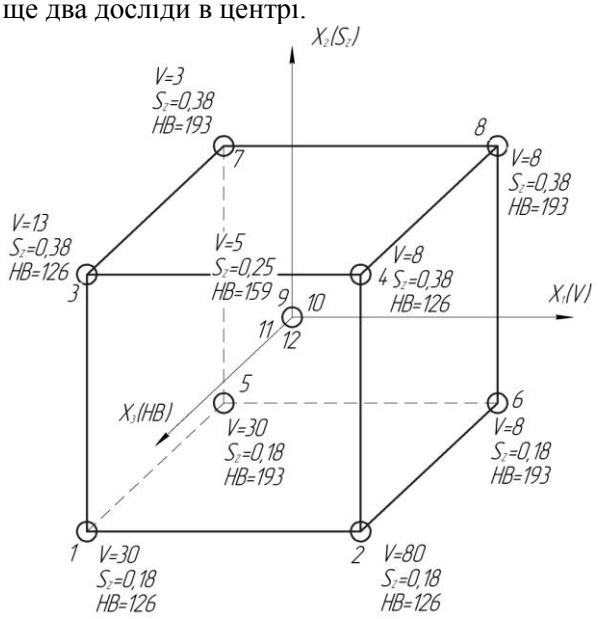

Рис 2. **Композиційний план дослідження згідно "італійського куба"**

Таблиця 2

Режими різання, твердість матеріалу, кодові значення і стійкість інструменту

№ з/п	№ серії	Режими різання			Кодові позначення			*T*, хв.	$y=lnT$
		v, м/хв.	s_z, *мм/зуб*	*НВ*	x_1	x_2	x_3		
1	2	3	0,18	126	-1	-1	-1	90	4,49
2	1	8	0,18	126	1	-1	-1	60	4,09
3	1	3	0,38	126	-1	1	-1	70	4,24
4	2	8	0,38	126	1	1	-1	45	3,81
5	1	3	0,18	193	-1	-1	1	35	3,55
6	2	8	0,18	193	1	-1	1	25	3,21
7	2	3	0,38	193	-1	1	1	20	2,99
8	1	8	0,38	193	1	1	1	12,5	2,52
9	1	5	0,25	159	0	0	0	40	3,68
10	1	5	0,25	159	0	0	0	45	3,8
11	2	5	0,25	159	0	0	0	40	3,68
12	2	5	0,25	159	0	0	0	45	3,8

Оцінка параметрів.

На основі результатів серії №1 із шести дослідів зручно оцінити чотири коефіцієнти в емпіричній формулі

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3,$$

використовуючи метод найменших квадратів і властивості скалярного добутку основних векторів.

Згідно способу найменших квадратів необхідно, щоб сума квадратів відхилень фактичних значень *y* від формальних, отриманих за рівнянням (3) y_{x1x2x3}, була найменшою, тобто:

$$\Sigma(y-y_{x1x2x3})^2=min \qquad (4)$$

Ліву частину виразу (4) позначимо буквою f (f – функція від невідомих параметрів b_0, b_1, b_2, b_3).

Мінімум цієї функції знайдемо із рівнянь:

$$\frac{df}{db_0}=0;\quad \frac{df}{db_0}=0;\quad \frac{df}{db_0}=0;\quad \frac{df}{db_0}=0. \tag{5}$$

Продиференціювавши, напишемо систему цих рівнянь у кінцевому вигляді:

$$\begin{gathered}\sum y = nb_0 + b_1\sum x_2 + b_2\sum x_2 + b_3\sum x_3;\\ \sum yx_1 = b_0\sum x_1 + b_1\sum x_1^2 + b_2\sum x_1x_2 + b_3\sum x_1x_3;\\ \sum yx_2 = b_0\sum x_2 + b_1\sum x_2x_1 + b_2\sum x_2^2 + b_3\sum x_2x_3;\\ \sum yx_3 = b_0\sum x_3 + b_1\sum x_3x_1 + b_2\sum x_3x_2 + b_3\sum x_3^2.\end{gathered} \tag{6}$$

Рівняння (6) дають можливість визначити $b_0=\dfrac{\sum y}{n}$, де n – число дослідів; n = 6.

$$b_1=\frac{\sum yx_1}{\sum x_1^2}=\frac{\sum yx_1}{4};\qquad b_2=\frac{\sum yx_2}{\sum x_2^2}=\frac{\sum yx_2}{4};\qquad b_3=\frac{\sum yx_3}{\sum x_3^2}=\frac{\sum yx_3}{4}. \tag{7}$$

Необхідно добавити, що інші члени рівнянь (6) будуть рівні нулю, оскільки вектори x_1, x_2, x_3 є ортогональними і $\sum x_i = 0$.

Очевидно, було б простіше не вирішувати рівнянь (4)–(6), а використати матриці $(x'x)$ і $(x'x)^{-1}$:

$$x'x=\begin{vmatrix}6&0&0&0\\0&4&0&0\\0&0&4&0\\0&0&0&4\end{vmatrix},\qquad \left(x'x\right)^{-1}=\begin{vmatrix}\frac{1}{6}&0&0&0\\0&\frac{1}{4}&0&0\\0&0&\frac{1}{4}&0\\0&0&0&\frac{1}{4}\end{vmatrix}.$$

Залежності для визначення коефіцієнтів $b_0 \ldots b_3$ згідно рівнянь (7) будуть мати вигляд:

$$\left.\begin{aligned}b_0 &= 1/6\left(y_2+y_3+y_5+y_8+y_9+y_{10}\right)\\ b_1 &= 1/4\left(y_2-y_3-y_5+y_8\right)\\ b_2 &= 1/4\left(-y_2+y_3-y_5+y_8\right)\\ b_3 &= 1/4\left(-y_2-y_3+y_5+y_8\right)\end{aligned}\right\}. \tag{8}$$

Тут індекси при y визначають номери дослідів (табл. 2).

Підставляючи в останні рівняння (8) значення дослідів із табл. 2, отримаємо:

$$b_0=\frac{1}{6}\left(4{,}09+4{,}24+3{,}55+2{,}52+3{,}68+3{,}80\right)=3{,}65;$$

$$b_1=\frac{1}{4}\left(4{,}09-4{,}24-3{,}55+2{,}52\right)=-0{,}3;$$

$$b_2=\frac{1}{4}\left(-4{,}09+4{,}24-3{,}55+2{,}52\right)=-0{,}22;$$

$$b_3=\frac{1}{4}\left(-4{,}09-4{,}24+3{,}55+2{,}52\right)=-0{,}57.$$

У цьому випадку для серії дослідів №1 отримаємо формулу для визначення стійкості прорізних фрез:

$$\ln T \approx 3{,}65 - 0{,}3x_1 - 0{,}22x_2 - 0{,}57x_3. \quad (9)$$

Формулу (9) необхідно розшифрувати згідно рівнянь (3), тобто:

$$x_1 = \frac{2(\ln v - \ln 8)}{\ln 8 - \ln 3} + 1 \approx \frac{2(\ln v - 2{,}07)}{2{,}07 - 1{,}09} + 1 = 2{,}04\ln v - 4{,}22;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln s_z - \ln 0{,}38)}{\ln 0{,}38 - \ln 0{,}18} + 1 \approx \frac{2(\ln s_z + 0{,}96)}{-0{,}96 + 1{,}71} + 1 = 2{,}66\ln s_z + 3{,}55;$$

$$x_3 = \frac{2(\ln HB - \ln 193)}{\ln 193 - \ln 126} + 1 \approx \frac{2(\ln HB - 5{,}26)}{5{,}26 - 4{,}83} + 1 = 4{,}65\ln HB - 23{,}46.$$

Підставляємо значення x_1, x_2, x_3.в рівняння (9) і отримаємо уточнену формулу для визначення логарифма стійкості фрези:

$$\ln T = 3{,}65 - 0{,}3(2{,}04\ln v - 4{,}22) - 0{,}22(2{,}66\ln s_z + 3{,}55) -$$
$$- 0{,}57(4{,}65\ln HB - 23{,}46) = 14{,}98 - 0{,}61\ln v - 0{,}58\ln s_z - 2{,}65\ln HB.$$

Отже, кінцева формула для визначення стійкості комбінованого свердла-мітчика для оброблення стальних деталей прийме вигляд:

$$T = \frac{e^{14{,}98}}{v^{0{,}61}s_z^{0{,}58}HB^{2{,}65}} = \frac{3{,}06\times 10^6}{v^{0{,}61}s_z^{0{,}58}HB^{2{,}65}}, \text{ хв.} \quad (10)$$

Після статистичного аналізу результатів серії №1, коли виявилися сильно великі інтервали стійкості для 95% достовірності, були виконані ще шість дослідів серії №2 досліджень.

В результаті всіх 12 дослідів відповідно до вище наведених розрахунків і табл. 2, отримаємо уточнені коефіцієнти для визначення стійкості свердла-мітчика:

$$b_0 = \frac{1}{12}\left(\begin{matrix}4{,}49 + 4{,}09 + 4{,}24 + 3{,}81 + 3{,}55 + 3{,}21 + 2{,}99 + 2{,}52 + 3{,}68 + \\ + 3{,}80 + 3{,}68 + 3{,}80\end{matrix}\right) = 3{,}65;$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(-4{,}49 + 4{,}09 - 4{,}24 + 3{,}81 - 3{,}55 + 3{,}21 - 2{,}99 + 2{,}52) = -0{,}21;$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(-4{,}49 - 4{,}09 + 4{,}24 + 3{,}81 - 3{,}55 - 3{,}21 + 2{,}99 + 2{,}52) = -0{,}22;$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(-4{,}49 - 4{,}09 - 4{,}24 - 3{,}81 + 3{,}55 + 3{,}21 + 2{,}99 + 2{,}52) = -0{,}54.$$

$$\ln T = 3{,}65 - 0{,}21(2{,}04\ln v - 4{,}22) - 0{,}22(2{,}66\ln s_z + 3{,}55) -$$
$$- 0{,}54(4{,}65\ln HB - 23{,}46) = 14{,}85 - 0{,}42\ln v - 0{,}58\ln s_z - 2{,}51\ln HB$$

$$T = \frac{e^{14{,}85}}{v^{0{,}42}s_z^{0{,}58}HB^{2{,}51}} = \frac{2{,}2\times 10^6}{v^{0{,}42}s_z^{0{,}58}HB^{2{,}51}}, \text{ хв.} \quad (11)$$

Аналіз формули (11) показує, що результат обчислення мало відрізняється від результату, отриманого за формулою (10), але 95-процентні довірчі інтервали значно покращилися завдяки більшій кількості дослідів.

Діаграма зміни стійкості від твердості оброблювального матеріалу зображена на рис. 3

© Б.М. Гевко, І.І. Стойко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук

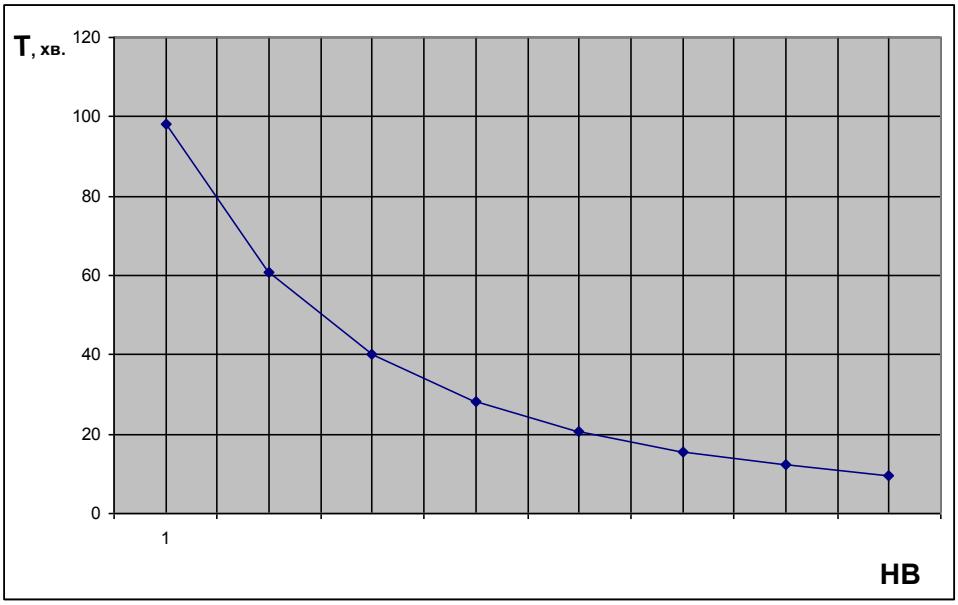

Рис. 3. **Діаграма зміни стійкості мітчика від твердості оброблювального матеріалу**

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1.Досліджено стійкість мітчика у комбінованому виконанні зі сверлом вертикально-свердлильному верстаті ЧПК2Р135Ф2. Матеріал – листовий прокат товщиною 8мм, Сталь 08КП, Сталь20 і Ст45. Для проведення досліджень використовували математичну модель зміни стійкість. Залежно від швидкості різання, подачі на зуб і твердості оброблюваного матеріалу.

2.Досліджено зміни стійкості від твердості оброблювального матеріалу.

Список використаних джерел:

1. Вульф А.М. Резание метал лов. Л.:Машиностроение. 1973, 495с.
2. Костецький Б.И. Трение, смазка и знос в машиностроении. М.: Машиностроение. 1970, 396с.
3. Крагельский И.В. Трение и знос. 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 металорежущих 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.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2018

© Б.М. Гевко, І.І. Стойко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук