

621.922

Т.Є.Божко

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ СПЕЧЕНИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведено методику прогнозування температури різання при шліфуванні спечених порошкових матеріалів. Встановлено імперичну залежність для визначення температури різання з уточненими коефіцієнтами від параметрів, що на неї впливають та побудовані графічні залежності.

Шліфування є основним із методів фінішної обробки деталей машин, яке забезпечує високі показники точності та шорсткості оброблюваних поверхонь. Разом з тим, шліфування характеризується високою теплонапруженістю процесу, що негативно впливає на якість обробки. В науково-технічній літературі опублікована надзвичайно велика кількість робіт, присвячених вивченню температури шліфування як в експериментальному, так і в теоретичному плані [2,3,4]. Проте, до цих пір відсутні прості інженерні, отримані аналітичним шляхом, формули для розрахунку температури різання. Наявні рішення, як правило, зводяться до розрахунку складних температурних полів на основі диференціального рівняння Лапласа, що не дозволяє просто і зрозуміло прослідкувати хід формування температури різання і оцінити вплив на неї різних технологічних чинників: режимів різання, характеристик інструменту і так далі.

Белькевич Б.А. [1] розглянув питання лезвийної обробки спечених порошкових матеріалів, механічна обробка яких відрізняється від компактних матеріалів. Однак, визначення температури різання при шліфуванні порошкових матеріалів з пористістю 20-40% на теперішній час мало вивчені.

**Метою роботи** є експериментальне обґрунтування математичної моделі для визначення температури різання при шліфуванні пористих порошкових матеріалів, а також підтвердження адекватності отриманої математичної моделі реальному технологічному процесу.

Основні фактори, що впливають на температуру різання при шліфуванні пористого матеріалу, залежать від глибини різання  $t$ , швидкості шліфування  $V_{\dot{a}}$ , пористості матеріалу  $\theta$ :

$$T = f(t, V_{\dot{a}}, \theta) \quad (1)$$

У першому наближенні функцію (1) можна представити у слідуючому вигляді:

$$T = C \cdot t^a \cdot V_{\dot{a}}^b \cdot \theta^c \quad (2)$$

Необхідно зазначити, що математична модель не описує систему в цілому, а лише окремих комплекс факторів, які є визначальними при шліфуванні пористих порошкових матеріалів.

В логарифмічному представленні рівняння (2) буде поліномом першого степеня:

$$\ln T = \ln C + a \ln t + b \ln V_{\dot{a}} + c \ln \theta \quad (3)$$

При переході до безрозмірних величин у загальному вигляді рівняння (3) запишемо:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (4)$$

Експерименти проводили використовуючи методику багатофакторного аналізу [4], тобто одночасного варіювання усіх змінних факторів,  $x_1(t)$ ,  $x_2(V)$ ,  $x_3(\theta)$ . Визначили невідомі  $b_0$  і коефіцієнти  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ . Кожна з цих змінних варіюється на двох рівнях ( $2^k$ ), де  $k$  – число змінних. Експерименти проводились на зразках із порошоків заліза марки ПЖР-3. Для дослідів використовувались зразки пористістю 24%, 28% та 32%, які виготовлялись методом гідростатичного формування та спікалися при температурі 1050 С° в захисному середовищі. Шліфування зразків проводилося без охолодження на універсальному плоскошліфувальному верстаті марки ЗГ71. Застосовувався шліфувальний круг марки 24А20СМ2К. Для визначення температури в зоні різання використовувався метод штучної термопари.

План дванадцяти дослідів передбачав дві серії по шість дослідів в кожній – шість основних і шість додаткових. Вибір режимів обробки проводився таким чином, щоб спростити кодування [4] із врахуванням можливостей обладнання і граничних режимів обробки, як це показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Режими шліфування і кодові позначення

Рівень	Режими шліфування			Кодові позначення		
	$t$ , мм	$V_a$ , м/хв	$\theta$ , %	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхній	0,04	15	32	1	1	1
Середній	0,03	10	28	0	0	0
Нижній	0,02	5	24	-1	-1	-1

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

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln t - \ln 0,04)}{(\ln 0,04 - \ln 0,02)} + 1 \\ x_2 &= \frac{2(\ln V_a - \ln 15)}{(\ln 15 - \ln 5)} + 1 \\ x_3 &= \frac{2(\ln \theta - \ln 32)}{(\ln 32 - \ln 24)} + 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В таблиці 2 наводяться результати 12 дослідів по шліфуванню зразків із порошків заліза марки ПЖР-3. По кожній серії проводилося по 3 досліди і у таблиці 2 наведені їх середнє значення.

Таблиця 2

Умови різання, кодові позначення і температура різання

№ п/п	№ серії	Умови і режими шліфування			Кодові позначення			$T$ , °C	$y = \ln T$
		$t$ , мм	$V_a$ , м/хв	$\theta$ , %	$x_1$	$x_2$	$x_3$		
1	2	0,02	5	24	-1	-1	-1	380	5,94
2	1	0,04	5	24	1	-1	-1	500	6,21
3	1	0,02	15	24	-1	1	-1	360	5,89
4	2	0,04	15	24	1	1	-1	460	6,13
5	1	0,02	5	32	-1	-1	1	420	6,04
6	2	0,04	5	32	1	-1	1	550	6,3
7	2	0,02	15	32	-1	1	1	400	5,99
8	1	0,04	15	32	1	1	1	510	6,23
9	1	0,03	10	28	0	0	0	430	6,06
10	1	0,03	10	28	0	0	0	430	6,06
11	2	0,03	10	28	0	0	0	430	6,06
12	2	0,03	10	28	0	0	0	430	6,06

**Оцінка параметрів.**

На основі результатів дослідів оцінювали чотири коефіцієнти в емпіричній формулі (4) 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 (5)  $y_{x_1, x_2, x_3}$ , була найменшою, тобто:

$$\sum (y - y_{x_1 x_2 x_3})^2 = \min. \quad (6)$$

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

Мінімум цієї функції знаходили із рівнянь:

$$\frac{df}{db_0} = 0; \frac{df}{db_1} = 0; \frac{df}{db_2} = 0; \frac{df}{db_3} = 0. \quad (7)$$

Продиференціювавши, запишемо систему цих рівнянь, в кінцевому вигляді отримали:

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + b_3 \sum x_3; \\ \sum yx_1 &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 + b_3 \sum x_1 x_3; \\ \sum yx_2 &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_2 x_1 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_2 x_3; \\ \sum yx_3 &= b_0 \sum x_3 + b_1 \sum x_3 x_1 + b_2 \sum x_3 x_2 + b_3 \sum x_3^2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Рівняння (6) дають можливість визначити

$$b_0 = \frac{\sum y}{n} \quad (9)$$

де  $n$  – число дослідів;  $n=6$ .

$$b_1 = \frac{\sum yx_1}{\sum x_1^2} = \frac{\sum yx_1}{4}; b_2 = \frac{\sum yx_2}{\sum x_2^2}; b_3 = \frac{\sum yx_3}{\sum x_3^2} = \frac{\sum yx_3}{4} \quad (10)$$

Необхідно додати, що інші члени рівнянь (8) були рівні нулю, оскільки вектори  $x_1, x_2, x_3$  є ортогональними і  $\sum x_i = 0$ .

З другого боку, для визначення коефіцієнтів  $b_0 \dots b_3$  можливо використати матриці  $(x'x)$  і  $(x'x)^{-1}$ :

$$x'x = \begin{vmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{vmatrix} \quad (x'x)^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} \end{vmatrix}. \quad (11)$$

Залежності для визначення коефіцієнтів  $b_0 \dots b_3$  згідно рівнянь (11) будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= 1/6(y_2 + y_3 + y_5 + y_8 + y_9 + y_{10}) \\ b_1 &= 1/4(y_2 - y_3 - y_5 + y_8) \\ b_2 &= 1/4(-y_2 + y_3 - y_5 + y_8) \\ b_3 &= 1/4(-y_2 - y_3 + y_5 + y_8) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

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

Підставляючи в останні рівняння (12) результати дослідів із таблиці 2, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \frac{1}{6}(6,21 + 5,89 + 6,04 + 6,23 + 6,06 + 6,06) = 6,081 \\
 b_1 &= \frac{1}{4}(6,21 - 5,89 - 6,04 + 6,23) = 0,127 \\
 b_2 &= \frac{1}{4}(-6,21 + 5,89 - 6,04 + 6,23) = -0,032 \\
 b_3 &= \frac{1}{4}(-6,21 - 5,89 + 6,04 + 6,23) = 0,042
 \end{aligned} \tag{13}$$

Таким чином, отримаємо формулу для визначення температури різання при шліфуванні пористих порошкових матеріалів:

$$\ln \dot{O} = 6,081 + 0,12x_1 - 0,03x_2 + 0,042x_3 \tag{14}$$

Формулу (14) необхідно записати згідно рівнянь (5), тобто:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{2(\ln t - \ln 0,04)}{(\ln 0,04 - \ln 0,02)} + 1 = \frac{2(\ln t + 3,21)}{(-3,21 + 3,91)} + 1 = 2,85 \ln t + 10,17 \\
 x_2 &= \frac{2(\ln V_{\dot{a}} - \ln 12)}{(\ln 12 - \ln 6)} + 1 = \frac{2(\ln V_{\dot{a}} - 2,48)}{(2,48 - 1,79)} + 1 = 1,82 \ln V_{\dot{a}} - 3,9 \\
 x_3 &= \frac{2(\ln \theta - \ln 32)}{(\ln 32 - \ln 24)} + 1 = \frac{2(\ln \theta - 3,46)}{(3,46 - 3,17)} + 1 = 6,89 \ln \theta - 22,86
 \end{aligned} \tag{15}$$

Підставляючи значення  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  в рівняння (15), отримали уточнену формулу для визначення логарифма температури різання при шліфуванні:

$$\begin{aligned}
 \ln \dot{O} &= 6,081 + 0,12(2,85 \ln t + 10,17) - 0,03(1,82 \ln V_{\dot{a}} - 3,9) + 0,042(6,89 \ln \theta - 22,86) = \\
 &= 6,46 + 0,34 \ln t - 0,05 \ln V_{\dot{a}} + 0,28 \ln \theta
 \end{aligned}$$

Отже, кінцева формула для визначення температури різання в процесі шліфування набуде вигляду:

$$T = e^{6,46} \cdot t^{0,34} \cdot V_{\dot{a}}^{-0,05} \cdot \theta^{0,28} = 611,8 \cdot t^{0,34} \cdot V_{\dot{a}}^{-0,05} \cdot \theta^{0,28} \tag{16}$$

На рис. 1 наведено співставлення розрахункових даних по формулі (16) і експериментальних результатів в залежності від глибини різання.

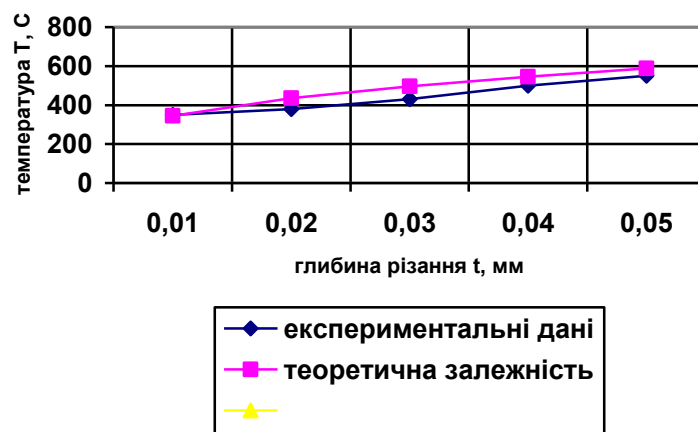


Рисунок 1 - Вплив глибини різання на температуру при  $V_{\dot{a}}=5\text{м/хв}$ ,  $V_{кр}=35\text{м/с}$ ,  $\theta=24\%$ .

Експериментальні дані показують (рисунок 1), що при збільшенні глибини різання збільшується температура різання. Отримана теоретична залежність підтверджує експериментальні результати.

**Висновки.** В результаті проведених серії із 12 дослідів було виведено математичну модель для визначення температури різання при шліфуванні пористих порошкових матеріалів з уточненими коефіцієнтами при параметрах, що на неї впливають та побудовані графічні залежності, а також підтверджено адекватність отриманої математичної моделі реальному

технологічному процесу.

1. Белькевич Б.А. Обработка металлокерамических материалов резанием. – Мн: Наука и техника, 1965. – 100 с.
2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320с.
3. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. проф. А.Н.Резникова.-М: Машиностроение,1977.-390с.
4. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования.-М: Машиностроение,1975.-175с.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971.