

УДК 621.922

В.Д. Рудь, І.Є. Ткачук, Т.Є. Божко*Луцький національний технічний університет***ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ СПЕЧЕНОГО ПОРИСТОГО МАТЕРІАЛУ ПЖР-3**

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

Ключові слова: точіння, режими різання, температура різання

В.Д. Рудь, И.Е. Ткачук, Т.Е. Божко**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ СПЕЧЕННОГО ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА ПЖР-3**

Приведена методика прогнозирования температуры резания при точении спеченных порошковых материалов. Установлена империческая зависимость для определения температуры резания с уточненными коэффициентами от параметров, что на нее влияют и построенные графически ее зависимости.

Ключевые слова: точение, режимы резания, температура резания

V.D. Ryd', I.E. Tkachyk, T.E. Bozhko**RESEARCH OF CUTTING TEMPERATURE AT SHARPENING OF THE SINTERED POROUS MATERIAL**

Methodology over of prognostication of cutting temperature is Brought at sharpening of the sintered powder-like materials. Dependence is set for determination of cutting temperature with the specified coefficients from parameters, that on her influence and the built graphic dependences.

Keywords: sharpening, cutting modes, cutting temperature

Постановка проблеми. Токарна обробка є основним із методів обробки деталей машин, яке забезпечує високі показники точності та шорсткості оброблюваних поверхонь. Разом з тим, точіння характеризується високою теплонапруженістю процесу, що негативно впливає на якість обробки. В науково-технічній літературі опублікована надзвичайно велика кількість робіт, присвячених вивченню температури різання як в експериментальному, так і в теоретичному плані. Проте, до цих пір відсутні прості інженерні, отримані аналітичним шляхом, формули для розрахунку температури різання при точінні спечених пористих матеріалів. Найвні 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.

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

Невирішені частини проблеми. В даний час накопичений великий досвід вивчення технологічних операцій обробки компактних матеріалів, але вплив режимів різання на температуру в зоні різання при обробці спечених порошкових матеріалів на теперішній час досліджено не в повному обсязі.

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

Основні результати дослідження. Заготовки-зразки виготовлялись методом гідростатичного формування у гідростатичній установці з використанням маслостійких гумових еластичних оболонок. Необхідне значення пористості зразків досягалось за допомогою зміни питомого зусилля формування. Проведені досліди виконувались на зразках, які були виготовлені з порошків заліза марки ПЖР-3 ГОСТ 9849-86. Виготовлення заготовки проводилось в два етапи: пресування і спікання. Пресування залізного порошку проводилось за допомогою гумової форми у камері високого тиску, створюючи тиск, необхідний для отримання зразка заданої пористості.

Спінання порошкових пресовок здійснювали в однокамерній печі під рідким затвором протягом двох годин. Температура спікання дорівнювала $T=1050^{\circ}\text{C}$.

Механічна обробка проводилася на токарно-гвинторізному верстаті 1А616, для охолодження зразків застосовувалося стиснене повітря. Застосовувався спроектований та виготовлений прохідний відігнутий різець, до якого кріпилася твёрдосплавна пластина SNUM-120404, марка твёрдого сплаву Т15К6. При вимірюванні температури застосовувався метод штучної термопари. Термопара кріпилася під ріжучою твёрдосплавною пластиною, яка була під'єднана до цифрового термометра UNI-TUT325, який був під'єднаний до вимірювального ПК (рис.1). Отримані результати фіксувалися програмним комплексом UT320 V3.01.



Рис. 1. Комплекс для вимірювання температури різання

Основні фактори, що впливають на температуру при точінні пористих спечених матеріалів, залежать від: швидкість різання V , м/хв.; подача S , мм/об; глибина різання t , мм; пористість θ , %.

$$T = f(S, V, \theta, t) \quad (1)$$

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

$$T = C \cdot S^a \cdot V^b \cdot \theta^c \cdot t^d, \text{ мкм.} \quad (2)$$

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

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

$$\ln Ry = \ln C + a \ln S + b \ln V + c \ln \theta + d \ln t \quad (3)$$

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

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 \quad (4)$$

Експерименти проводили використовуючи методику багатофакторного аналізу [2], тобто одночасного варіювання усіх змінних факторів, $x_1(S)$, $x_2(V)$, $x_3(\theta)$, $x_4(t)$. Кожна з цих змінних варіюється на двох рівнях (2^k), де k – число змінних. Визначили невідомі b_0 і коефіцієнти b_1 , b_2 , b_3 , b_4 .

Вибір режимів обробки проводився таким чином, щоб спростити кодування із врахуванням можливостей обладнання і граничних режимів обробки, як це показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Режими при точінні і кодові позначення

Рівень	Режими шліфування				Кодові позначення			
	S , мм/об	V , м/хв	θ , %	t , мм	x_1	x_2	x_3	x_4
Верхній	0,26	27	32	0,1	1	1	1	1
Середній	0,2	19	28	0,75	0	0	0	0
Нижній	0,13	11	24	0,5	-1	-1	-1	-1

Ці рівні закодовані таким чином, щоб верхній рівень відповідав +1, а нижній –1.

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln S - \ln 0,26)}{(\ln 0,26 - \ln 0,13)} + 1 \\ x_2 &= \frac{2(\ln V - \ln 27)}{(\ln 27 - \ln 11)} + 1 \\ x_3 &= \frac{2(\ln \theta - \ln 32)}{(\ln 32 - \ln 24)} + 1 \\ x_4 &= \frac{2(\ln t - \ln 1)}{(\ln 1 - \ln 0,5)} + 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

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 функції у від формальних, отриманих за рівнянням (5) y_{x_1, x_2, x_3, x_4} , була найменшою, тобто:

$$\sum (y - y_{x_1, x_2, x_3, x_4})^2 = \min. \quad (6)$$

Ліву частину виразу (4) позначимо буквою f (f – функція від невідомих параметрів b_0, b_1, b_2, b_3, b_4).

Мінімум цієї функції знаходили із рівнянь [4]:

$$\frac{df}{db_0} = 0; \frac{df}{db_1} = 0; \frac{df}{db_2} = 0; \frac{df}{db_3} = 0; \frac{df}{db_4} = 0. \quad (7)$$

Продиференціювавши, запишемо систему цих рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + b_3 \sum x_3 + b_4 \sum x_4 \\ \sum yx_1 &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 + b_3 \sum x_1x_3 + b_4 \sum x_1x_4 \\ \sum yx_2 &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_1x_2 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_2x_3 + b_4 \sum x_2x_4 \\ \sum yx_3 &= b_0 \sum x_3 + b_1 \sum x_1x_3 + b_2 \sum x_3x_2 + b_3 \sum x_3^2 + b_4 \sum x_3x_4 \\ \sum yx_4 &= b_0 \sum x_4 + b_1 \sum x_1x_4 + b_2 \sum x_4x_2 + b_3 \sum x_4x_3 + b_4 \sum x_4^2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Рівняння (6) дають можливість визначити

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

де n – число дослідів; $n = 16$.

$$b_1 = \frac{\sum yx_1}{\sum x_1^2} = \frac{\sum yx_1}{16} \quad b_2 = \frac{\sum yx_2}{\sum x_2^2} = \frac{\sum yx_2}{16} \quad b_3 = \frac{\sum yx_3}{\sum x_3^2} = \frac{\sum yx_3}{16}; \quad b_4 = \frac{\sum yx_4}{\sum x_4^2} = \frac{\sum yx_4}{16}. \quad (10)$$

Необхідно додати, що інші члени рівнянь (8) були рівні нулю, оскільки вектори x_1, x_2, x_3, x_4 є ортогональними і $\sum x_i = 0$.

З другого боку, для визначення коефіцієнтів $b_0 \dots b_4$ можливо використати матриці $(x'x)$ і $(x'y)'$:

$$x'x = \begin{vmatrix} 16 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 16 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 16 \end{vmatrix} \quad (x'x)^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{16} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{16} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{16} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \end{vmatrix} \quad (11)$$

Залежності для визначення коефіцієнтів $b_0 \dots b_4$ згідно рівнянь (11) будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= 1/16(y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{16}) \\ b_1 &= 1/16(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8 - y_9 + y_{10} - y_{11} + y_{12} - y_{13} + y_{14} - y_{15} + y_{16}) \\ b_2 &= 1/16(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8 - y_9 - y_{10} + y_{11} + y_{12} - y_{13} - y_{14} + y_{15} + y_{16}) \\ b_3 &= 1/16(-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 - y_9 - y_{10} - y_{11} - y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{16}) \\ b_4 &= 1/16(-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 - y_5 - y_6 - y_7 - y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{16}) \end{aligned} \right\} (12)$$

Підставляючи в останні рівняння (12) значення дослідів отримали:

$$b_0 = 2,1151; b_1 = 0,0578; b_2 = 0,0051; b_3 = 0,0502; b_4 = -0,0009; \quad (13)$$

Для конкретних умов точіння отримаємо формулу для визначення температури різання:

$$\lg T = 2,1151 + 0,0578x_1 + 0,0051x_2 + 0,0502x_3 - 0,0009x_4 + 0,001(x_1 + x_2) - (0,0003)(x_1 + x_3) + 0,0013(x_1 + x_4) \quad (14)$$

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

$$X_1 = 5,0264 \lg V - 6,2345;$$

$$X_2 = 6,6445 \lg S + 4,8873; \quad (15)$$

$$X_3 = 6,6445 \lg t + 1;$$

$$X_4 = 49,2611 \lg \vartheta - 71,1108;$$

Підставляємо значення x_1, x_2, x_3, x_4 в рівняння (15), отримали уточнену формулу для визначення логарифма температури різання:

$$\lg T = 1,79365 + 0,3005 \lg V + 0,0405 \lg S + 0,3315 \lg t + 0,0197 \lg \vartheta$$

Реалізація плану дозволила після потенціювання отримати наступну математичну модель, яка описує температуру різання під час точіння пористого спеченого матеріалу ПЖР-3:

$$T = 62,18 \cdot V^{0,3} \cdot S^{0,04} \cdot t^{0,33} \cdot \vartheta^{0,02} \quad (16)$$

Висновки. В результаті проведених серії із 12 дослідів було виведено математичну модель для визначення температури різання при точінні пористих порошкових матеріалів з уточненими коефіцієнтами при параметрах, що на неї впливають.

Список використаних джерел:

1. Белькевич Б.А. Обработка металлокерамических материалов резанием. – Мн: Наука и техника, 1965. – 100 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017