

УДК 621.762

Експериментальне дослідження температури різання при точінні порошкових спечених матеріалів

І. Є. Ткачук¹⁾¹⁾ Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018**Article info:**

Paper received:

24 November 2014

The final version of the paper received:

19 December 2014

Paper accepted online:

08 January 2015

Correspondent Author's Address:¹⁾ tkachuk.igor.1975@ukr.net

В якості матеріалів для вузлів тертя в сучасному машинобудуванні широке застосування знаходять порошкові антифрикційні матеріали. Головною особливістю спечених порошкових матеріалів є наявність пористої структури, що забезпечує самозмащування при роботі вузлів тертя.

В процесі різання спечених матеріалів важливу роль відіграють теплові явища. Саме вони визначають температуру в зоні різання, що впливає на характер створення мікроструктуру поверхневого шару.

В цій роботі наведено методику проведення експериментальних досліджень температури різання при механічній обробці пористих спечених матеріалів. На підставі отриманих результатів розроблена математична модель для визначення температури різання з врахуванням факторів що на неї впливають: режимів різання та пористості оброблюваного матеріалу.

Ключові слова: порошкові антифрикційні матеріали, механічна обробка, температура різання

1. ВСТУП

Проблема підвищення ефективності та якості виробництва виробів із пористих спечених матеріалів стала актуальною, як тільки технології порошкової металургії вийшли за рамки експериментальних досліджень. В останні роки проведені дослідження процесів механічної обробки пористих спечених матеріалів, направлені на вибір матеріалів і геометрію різального інструменту, параметрів різання, вплив режимів механічної обробки на чистоту поверхні, температуру різання, структуру поверхневого шару, внутрішні напруження в ньому й антифрикційні властивості оброблених поверхонь.

Теплові явища, які супроводжують процес різання, роблять істотний вплив на якість оброблених поверхонь. Теплофізичним аспектам процесу різання присвячена значна кількість робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників. У цих роботах розглядаються різноманітні моделі теплових джерел і їх поєднання, застосовуються різні методи вирішення завдань.

На практиці прагнуть, щоб процес точіння не викликало значних структурно-фазових змін матеріалу поверхневого шару заготовки внаслідок її нагріву. Для призначення науково обґрунтованих режимів різання необхідно мати уявлення про температуру різання. Проте існуючі математичні моделі прогнозування температури не враховують вплив пористості матеріалу на температуру різання.

Метою роботи є дослідження впливу режимів різання та пористості оброблюваного матеріалу на температуру різання при точінні пористих спечених

ма

теріалів; на підставі отриманих результатів експерименту – розроблення математичної моделі, а також підтвердження адекватності отриманої математичної моделі.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Механічна обробка проводилася на токарно-гвинторізному верстаті 1A616. Застосовувався спроектований та виготовлений прохідний відігнутий різець, до якого кріпилася твердосплавна пластина SNUM-120404, згідно рекомендацій [1] був використаний твердий сплав марки T15K6. При вимірюванні температури застосовувався метод штучної термопари. Термопара кріпилася під ріжучою твердосплавною пластиною (рис. 1).

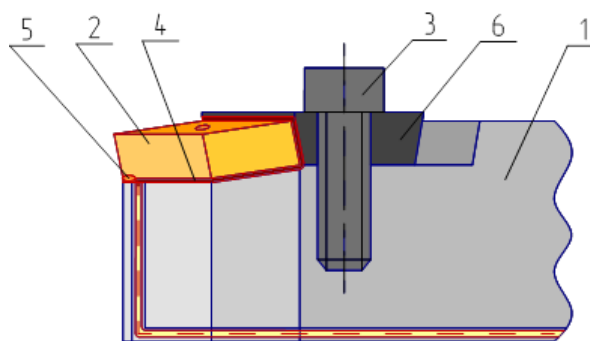


Рис. 1. Схема кріплення термопари до різця зі змінною

A

пластиною: 1 – тіло різця; 2 – твердосплавна пластина; 3 – фіксує болт; 4 – діелектрична пластина; 5 – термопара; 6 – упорна пластина

Використовувалася термопара К-типу, діапазон вимірювання від -200°C до $+1372^{\circ}\text{C}$ (від -328°F до $+2501^{\circ}\text{F}$), під час механічної обробки термопара передавала сигнал на цифровий термометр UNI-T UT325. Похибка вимірювання даною термопарою складає $0,2\% \pm 0,6^{\circ}\text{C}$. Для зменшення тепловіддачі від змінної пластини в різець, між твердосплавною пластиною та різцем була закріплена діелектрична термостійка пластина, а саме листовий мітаніт марки ГФС-ТТ.

З метою збільшення тепловіддачі від ріжучої кромки твердосплавної пластини до термопари, пластина була шліфувана до максимально-можливої товщини. Після проведеної механічної обробки товщина змінилася з 4,16 мм на 3,00 мм.

Отриманні результати під час проведених експериментів від цифрового термометра передавалися за допомогою USB-кабелю до ПК де фіксувалися кожну секунду програмним комплексом UT320 V3.01 (рис. 2).

Проведені досліді виконувались на зразках, які були виготовлені методом ізостатичного формування, з порошків заліза марки ПЖР-3.315 ГОСТ 9849-86. На відміну від інших виробів порошковим пористим матеріалам характерна об'ємно-розподілена пористість, яка є чи не найважливішою технічною характеристикою, що визначає саму можливість

застосування таких матеріалів у різних галузях техніки.

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Основні фактори, що впливають на температуру при механічній обробці пористих спечених матеріалів, залежать від швидкості різання V , м/хв.; подачі S , мм/об; глибини різання t , мм та пористості θ , %.

Враховуючи рекомендації [1], враховуючи можливість обладнання та граничні режими обробки, було вибрано наступні режими різання: $V=11 \div 27,5$ м/хв, $S=0,13 \div 0,26$ мм/об; $t=0,5 \div 1,0$ мм. Пористість оброблюваних зразків була в межах 26,5% та 29,1%. Відповідно інтервали варіювання, за допомогою яких задається перехід від натуральних змінних V, S, t, θ до кодівих змінних x_1, x_2, x_3, x_4 наведено в табл. 1.

Експерименти проводили використовуючи методу повного факторного експерименту та дроблення реплік до нього [2].

Враховуючи те, що метою даної роботи є визначення впливу пористості оброблюваного матеріалу на температуру різання, було прийняте рішення скористатися полу реплікою типу 24-1 з генеруючим співвідношенням:

$$x_4 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Визначальними константою для цієї репліки буде

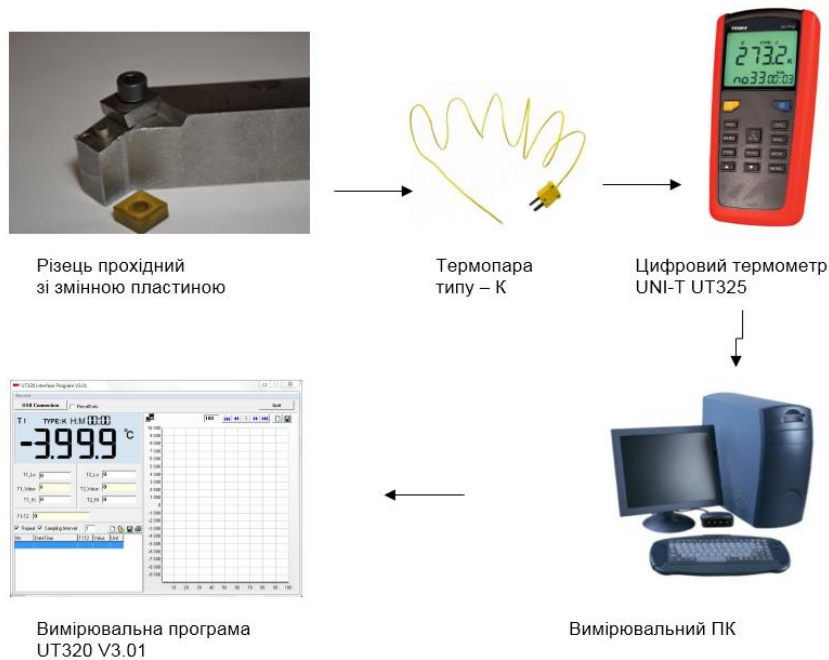


Рис. 2. Піктограма вимірювальної схеми температури різання

Таблиця 1 – Інтервали варіювання незалежних перемінних

Змінні фактори	Кодові позначення	Основний рівень ($x_i = 0$)	Інтервал варіювання	Рівні варіювання	
				Нижній рівень ($x_i = -1$)	Верхній рівень ($x_i = +1$)
Швидкість різання V (м/хв)	x_1	19,25	8,25	11	27,5
Подача, S (мм/об)	x_2	0,195	0,065	0,13	0,26
Глибина різання, t (мм)	x_3	0,75	0,25	0,5	1,0
Пористість, θ (%)	x_4	27,8	1,3	26,5	29,1

співвідношення:

$$I = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Сумісні оцінки тут будуть визначатися співвідношеннями:

$$x_1 = x_2 \cdot x_3 \cdot x_4;$$

$$x_2 = x_1 \cdot x_3 \cdot x_4;$$

$$x_3 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_4;$$

$$x_4 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3;$$

$$x_1 \cdot x_2 = x_3 \cdot x_4;$$

$$x_1 \cdot x_3 = x_2 \cdot x_4;$$

$$x_1 \cdot x_4 = x_2 \cdot x_3.$$

Таким чином, математичною моделлю процесу, що досліджується, є наступне інтерполяційне рівняння:

$$T = 90,186 - 0,25V + 8,338S + 41,168t - 1,122\theta + 0,877VS + 1,028Vt + 0,051V\theta$$

4. АНАЛІЗ АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ

Щоб перевірити правильність отриманої формули, необхідно провести оцінку адекватності моделі за критерієм Фішера, а також оцінку значущості коефі-

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

№ досл.	Кодові позначення								Температура, Т (°C)			S
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_4$	y_1	y_2	\bar{y}	
1	+	-	-	+	+	+	-	-	126,4	125,8	126,1	0,18
2	+	-	+	-	+	-	+	-	101,8	102,6	102,2	0,32
3	+	+	-	-	+	-	-	+	130,3	131,3	130,8	0,5
4	+	+	+	+	+	+	+	+	170,2	169,4	169,8	0,32
5	+	-	-	-	-	+	+	+	100,9	101,7	101,3	0,32
6	+	-	+	+	-	-	-	+	129,6	130,2	129,9	0,18
7	+	+	-	+	-	-	+	-	165,3	164,3	164,8	0,5
8	+	+	+	-	-	+	-	-	133,9	134,7	134,3	0,32
b_i	132,4	17,525	1,65	15,25	-0,175	0,475	2,125	0,55				

В табл. 2 наведена матриця планування та результати розрахунків. Із таблиці видно про велику роль ефектів взаємодії $x_1 \cdot x_3$, тобто підтверджується припущення про значну роль впливу швидкості різання та глибини на температуру різання під час обробки пористих спечених матеріалів.

Знаходимо коефіцієнти регресії для побудови математичної моделі процесу. Модель шукаємо у вигляді простого лінійного полінома. Результати розрахунків зведено до табл. 2.

$$b_i = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^N x_i y_i$$

Таким чином, математичною моделлю процесу, що досліджується, є рівняння:

$$T = 132,4 + 17,525x_1 + 1,65x_2 + 15,25x_3 - 0,175x_4 + 0,475x_1x_2 + 2,125x_1x_3 + 0,55x_1x_4$$

Переходячи від кодованих змінних до натуральних отримаємо:

$$x_1 = \frac{V-8,25}{8,25} = 0,1212V - 2,3333;$$

$$x_2 = \frac{S-0,195}{0,065} = 15,3846S - 3;$$

$$x_3 = \frac{t-0,75}{0,25} = 4t - 3;$$

$$x_4 = \frac{\theta-27,8}{1,3} = 0,7692\theta - 21,3846.$$

цінтів за критерієм Стюдента, а також довести однорідність дисперсії у кожному опиті.

Перевіримо відтворюваність дослідів, тобто переконаємося, що і те ж поєднання рівнів факторів забезпечує отримання близьких результатів. Для цього було проведено два паралельні досліді, отримавши значення y_1 та y_2 . Для кожної серії паралельних дослідів обчислено середнє арифметичне \bar{y} .

Дисперсію кожної серії паралельних дослідів обчислено за формулою:

$$S_i^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (y_i - \bar{y})^2.$$

де i - номер серії паралельних дослідів;

K - число паралельних дослідів.

Досліді вважаються відтворюваними, а оцінки дисперсії однорідними, якщо критерій Кохрана менше його допустимого табличного значення $G_{табл}$.

$$G = \frac{S_{jmax}^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} = \frac{0,5}{2,64} = 0,189 < G_{табл} = 0,515.$$

Для заданих умов значення $G=0,189$, табличне значення $G_{табл}=0,515$ [4]. Відповідно гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Перевірка значущості коефіцієнтів визначається за допомогою критерія Стюдента за умови:

$$S_b t_k < |b_i|.$$

Величина t_k визначається для $P=0,05$ і кількості ступенів вільності [4]

$$f = N(K - 1) = 8(2 - 1) = 8.$$

Відповідно додатку 2 [4] для $f=8$ $t_k=2,306$.

Величина помилки визначення коефіцієнтів регресії

$$S_b = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{K}} = \frac{1}{8} \sqrt{\frac{2,64}{2}} = 0,143.$$

Тоді умови значимості для кожного коефіцієнта:

- $S_b t_k = 0,143 \cdot 2,306 = 0,33;$
- $0,33 < b_0 = 132,4;$
- $0,33 < b_1 = 17,525;$
- $0,33 < b_2 = 1,65;$
- $0,33 < b_3 = 15,25;$
- $0,33 > b_4 = -0,175;$
- $0,33 < b_1 b_2 = 0,475;$
- $0,33 < b_1 b_3 = 2,125;$
- $0,33 < b_1 b_4 = 0,55.$

Таким чином всі коефіцієнти регресії значущі крім b_4 .

Щоб впевнитися у вірності проведених розрахунків, підставимо в отримане рівняння дані режимів різання при яких оброблялися зразки, та порівняємо розрахункові результати з експериментальними див. табл. 3.

Отримавши рівняння процесу, перевіримо здатність досить точно описати процес, тобто ми визначимо, наскільки розрахункові значення параметра оптимізації, близькі до дійсних значень, отриманих при проведенні експерименту.

Таблиця 3 – Результати теоретичних та експериментальних досліджень

	До-сл.1	До-сл.2	До-сл.3	До-сл.4	До-сл.5	До-сл.6	До-сл.7	До-сл.8
$v, \frac{\text{м}}{\text{хв}}$	11	11	27,5	27,5	11	11	27,5	27,5
$s, \frac{\text{мм}}{\text{об}}$	0,13	0,26	0,13	0,26	0,13	0,26	0,13	0,26
$t, \text{мм}$	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5
$\theta, \%$	29,1	29,1	29,1	29,1	26,5	26,5	26,5	26,5
Тексл, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	126,1	102,2	130,8	169,8	101,3	129,9	164,8	134,3
Трозр, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	125,9	102	130,4	169,3	101,1	129,7	164,4	133,9
Тексл-Трозр, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0,4	0,4

Похибка, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	0,16	0,19	0,3	0,29	0,2	0,15	0,24	0,3
---------------------------------------	------	------	-----	------	-----	------	------	-----

Перевірка здійснюється за допомогою критерію Фішера F .

$$F = \frac{\max(S_{ad}^2 \cdot S_{\bar{y}}^2)}{\min(S_{ad}^2 \cdot S_{\bar{y}}^2)}.$$

Виразуємо S_{ad}^2 - дисперсію адекватності по формулі:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{N - B} \sum_{j=1}^N (y_j^0 - y_j^p)^2 = 0,89.$$

де N – число дослідів;

B – число коефіцієнтів регресії, включаючи і вільний член;

y^0, y^p – експериментальне і розрахункове значення функції y .

Враховуючи, що

$$S_{\bar{y}}^2 = \sum_{i=1}^N S_i / N = 0,229.$$

Отримаємо

$$F = 0,228 / 0,89 = 0,25.$$

З таблиці [4] $F_{кр} = 5,32$

Враховуючи, що

$$F = 0,25 < F_{кр} = 5,32.$$

то отримана модель процесу задовольняє умові адекватності і може бути застосована для опису процесу визначення температури:

$$T = 90,186 - 0,251V + 8,338S + 41,168t - 1,122\theta + 0,877VS + 1,028Vt + 0,051V\theta$$

Для візуалізації отриманих результатів, в програмному комплексі Origin Pro 9 побудовано графік залежності температури від режимів різання та пористості оброблюваного матеріалу (рис. 3). При розрахунку бралися середні параметри, і кожний параметр варіювався від меншого до більшого.

Аналізуючи отримані результати, можна передбачити, що на температуру різання при обробці пористих спечених матеріалів, в основному впливають швидкість та глибина різання. Оскільки дані факторами, швидкість та глибина різання, є основними чинниками які впливають на температуру різання при обробці порошкових спечених сплавів, в програмному комплексі STATISTICA 10 побудовано поверхневий графік залежності T від режимів різання (рис. 4), який дозволить спрогнозувати температуру при заданих режимах роботи.

5. ВИСНОВКИ

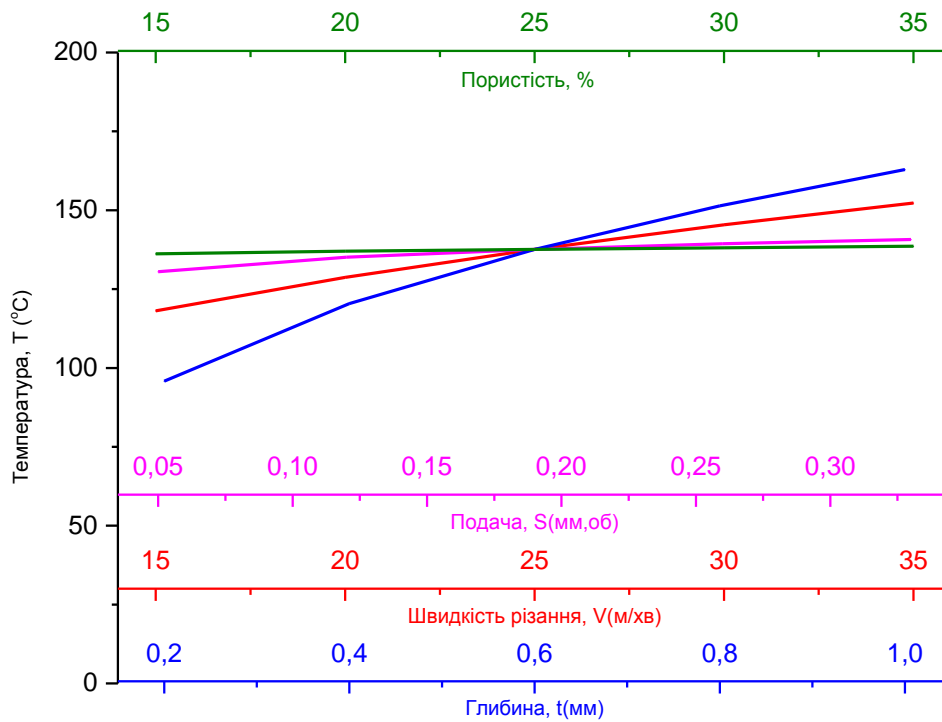


Рис. 3. Графік залежності температури T ($^{\circ}\text{C}$) від режимів різання та пористості матеріалу

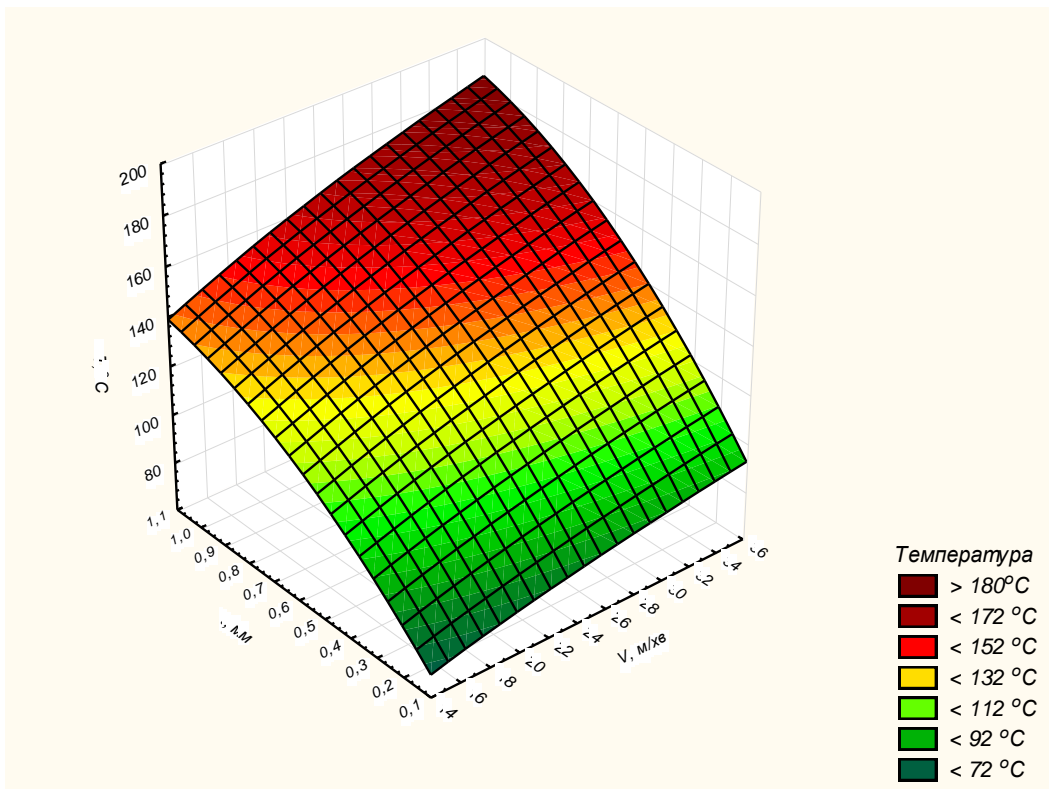
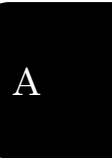


Рис. 4. Графік залежності температури T ($^{\circ}\text{C}$) від глибини t (мм) та швидкості різання V (м/хв)

Основні чинники які впливають на температуру різання при точінні порошкових спечених матеріалів є швидкість та глибина різання. Так при збільшенні швидкості різання підвищується температура – це сприяє розм'якшенню поверхні заготовки, полегшує відносне ковзання, що сприяє зменшенню сили рі-

зання. Зі збільшенням подачі, температура різання суттєво не збільшується, це пояснюється тим, що значна частина тепла відводиться від поверхні тертя в стружку, при цьому спостерігалось руйнування поверхневого шару оброблюваних зразків.



Experimental investigation of cutting temperature in turning sintered powder materials

I. Y. Tkachuk¹⁾

¹⁾ *Lutsk national technical university, 75, Lvivska, st., Lutsk, Ukraine, 43018*

In modern engineering as materials for friction powder materials are used. The main feature of sintered powder materials is the presence of porous structure that provides the self-lubrication in work of friction.

Thermal phenomena is important in the process of cutting sintered materials. They determine the temperature in the cutting zone, affecting the character creation microstructure of the surface layer.

In this paper the methodology of experimental studies of temperature cutting during machining of sintered porous materials is showed. Based on the results obtained mathematical model for determining the temperature cutting, taking into account factors that affect it: the cutting and porosity of the material.

Key words: powder antifriction materials, machining, cutting temperature

Експериментальне дослідження температури різання при точенні порошкових спечених матеріалів

И. Е. Ткачук¹⁾

¹⁾ *Луцький національний технічний університет, ул. Львівська, 75, г. Луцьк, Україна, 43018*

В качестве материалов для узлов трения в современном машиностроении широкое применение находят порошковые антифрикционные материалы. Главной особенностью спеченных порошковых материалов является наличие пористой структуры, что обеспечивает самосмазывание при работе узлов трения.

В процессе резки спеченных материалов важную роль играют тепловые явления. Именно они определяют температуру в зоне резания, что влияет на характер создания микроструктуру поверхностного слоя.

В данной работе приведена методика проведения экспериментальных исследований температуры резания при механической обработке пористых спеченных материалов. На основании полученных результатов разработана математическая модель для определения температуры резания с учетом факторов на нее влияющих: режимов резания и пористости обрабатываемого материала.

Ключевые слова: порошковые антифрикционные материалы, механическая обработка, температура резания

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННИХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. – Киев: Наукова думка, 1980. – 404 с.
2. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – Москва: Наука, 1965. – 340 с.
3. Николаев В. А. Тонкое точение спеченных материалов / В. А. Николаев. – Москва: Машиностроение, 1976. – 64 с.
4. Рудь В. Д. Методологія наукових досліджень. Методичні вказівки до практичних занять / В. Д. Рудь. – Луцьк: Луцький НТУ, 2012. – 36 с.

REFERENCES

1. Fedorchenko I. M., Pugina L. I. (1980). Kompozitsionnyie spechennyie antifriktsionnyie materialy. Kiev. Naukova dumka. 404 p. [in Russian].
2. Nalimov V. V., Chernova N. A. (1965). Statische metody planirovaniya ekstremalnyih eksperimentov. Moskva. Nauka. 340 p. [in Russian].
3. Nikolaev V. A. (1976). Tonkoe tochenie spechennyih materialov. Moskva. Mashinostroenie, 64 p. [in Russian].
4. Rud V. D. (2012). Metodologiya naukovih doslidzhen. Metodichni vkazivki do praktichnih zanyat. Lutsk. Lutskiy NTU. 36 p. [in Ukrainian].