

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

Як матеріали для вузлів тертя в сучасному машинобудуванні широкого застосування набувають порошкові антифрикційні матеріали. Головною особливістю спечених порошкових матеріалів є наявність пористої структури, що забезпечує самозмащування при роботі вузлів тертя.

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

У 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 урахуванням 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, коли технології порошкової металургії вийшли за межі експериментальних досліджень. Останніми роками проведені дослідження процесів механічної обробки пористих спечених матеріалів, спрямовані 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, що супроводжують процес різання, істотно впливають на якість оброблених поверхонь. Теплофізичним аспектам процесу різання присвячена значна кількість праць вітчизняних і зарубіжних дослідників. У цих працях розглядаються різноманітні моделі теплових джерел і їх поєднання, застосовуються різні методи вирішення завдань.

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

Метою роботи є дослідження впливу режимів різання та пористості оброблюваного матеріалу на температуру різання при точінні пористих спечених матеріалів; 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 1А616. Застосовувався спроєктований та виготовлений прохідний відігнутий різець, до якого кріпилася твёрдосплавна пластинка SNUM-120404, згідно з рекомендаціями [1] був використаний твёрдий сплав марки Т15К6. При вимірюванні температури застосовувався метод штучної термопари. Термопара кріпилася під різальною твёрдосплавною пластиною (рис. 1).

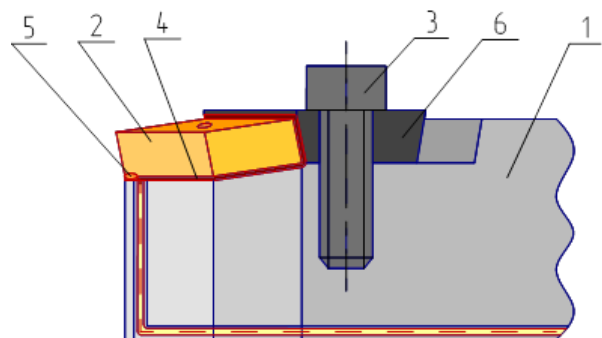


Рис. 1. Схема кріплення термопари до різця зі змінною пластиною: 1 – тіло різця; 2 – твёрдосплавна пластинка; 3 – фіксуєчий болт; 4 – діелектрична пластинка; 5 – термопара; 6 – упорна пластинка

А

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

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

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

Проведені дослідження виконувалися на зразках, які були виготовлені методом ізостатичного формування, із порошків заліза марки ПЖР-3.315 ГОСТ 9849-86. На відміну від інших виробів порошковим пористим матеріалам властива об'ємно розподілена пористість, яка є чи не найважливішою технічною характеристикою, що визначає 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], та враховуючи можливості обладнання й граничні режими обробки, було вибрано такі режими різання: $V=11 - 27,5$ м/хв, $S=0,13 - 0,26$ мм/об; $t=0,5 - 1,0$ 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 кодів змінних x_1, x_2, x_3, x_4 , наведено в табл. 1.

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

Враховуючи те, що метою цієї роботи є визначення впливу пористості оброблюваного матеріалу на температуру різання, було прийняте рішення скористатися півреплікою типу 2⁴-1 із генеруючим співвідношенням

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

Визначальною константою для цієї репліки буде співвідношення

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

Сумісні оцінки тут будуть визначатися співвідношеннями

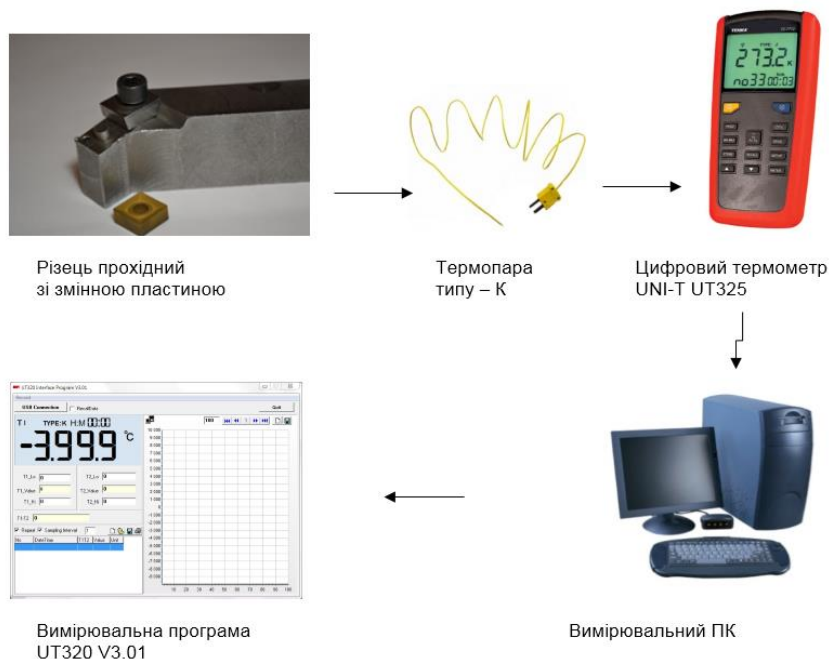


Рис. 2. Піктограма вимірювальної схеми температури різання

Таблиця 1 – Інтервали варіювання незалежних змінних

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

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

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

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

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

У табл. 2 наведені матриця планування та результати розрахунків. Із таблиці 2 бачимо 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.

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

Ном. 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				

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

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

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:

$$x_1 = \frac{V - 19,24}{8,25} = 0,1212V - 2,3333;$$

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

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

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

Таким чином, математичною моделлю процесу, що досліджується, є таке 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 коефіцієнтів за критерієм Стюдента, а також довести

однорідність дисперсії у кожному досліді.

Перевіримо відтворюваність дослідів, тобто переконаємося, що і 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 від його допустимого табличного значення G :

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

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

Перевірка значущості коефіцієнтів визначається за допомогою критерію 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 до додатка 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 значущості для кожного коефіцієнта:

$$S_{b,t_k} = 0,143 \cdot 2,306 = 0,33;$$

$$0,33 < b_0 = 132,4; \quad 0,33 < b_1 = 17,525;$$

$$0,33 < b_2 = 1,65; \quad 0,33 < b_3 = 15,25;$$

$$0,33 > b_4 = -0,175; \quad 0,33 < b_5 = 0,475;$$

$$0,33 < b_6 = 2,125; \quad 0,33 < b_7 = 0,55.$$

Таким чином, усі коефіцієнти регресії значущі, крім b_4 .

Щоб впевнитися у правильності проведених розрахунків, в отримане рівняння підставимо 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

	Досл.1	Досл.2	Досл.3	Досл.4	Досл.5	Досл.6	Досл.7	Досл.8
v, м/хв	11	11	27,5	27,5	11	11	27,5	27,5
s, мм/об	0,13	0,26	0,13	0,26	0,13	0,26	0,13	0,26
t, мм	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5
θ, %	29,1	29,1	29,1	29,1	26,5	26,5	26,5	26,5
Тексп, °С	126,1	102,2	130,8	169,8	101,3	129,9	164,8	134,3
Трозр, °С	125,9	102	130,4	169,3	101,1	129,7	164,4	133,9
Тексп-Трозр, °С	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0,4	0,4
Похибка, %	0,16	0,19	0,3	0,29	0,2	0,15	0,24	0,3

Перевірка здійснюється за допомогою критерію Фішера F :

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

Обчислимо S_{ad}^2 – дисперсію адекватності за формулою:

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

де N – число дослідів; B – число коефіцієнтів регресії, включаючи і вільний член; y^0 , y^p – експериментальне і розрахункове значення функції \bar{y} .

Враховуючи, що

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

отримаємо

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

Із таблиці [4] $F_{кр} = 5,32$.

Враховуючи, що

$$F = 0,25 < F_{кр} = 5,32,$$

отримана модель процесу задовольняє умову 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 у 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 фактори, швидкість та глибина різання є основними чинниками, що впливають на температуру різання при обробці порошкових спечених сплавів, у програмному комплексі STATISTICA 10 побудовано поверхневий графік залежності T від режимів різання (рис. 4), що дозволить спрогнозувати температуру при заданих режимах роботи.

5. ВИСНОВКИ

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

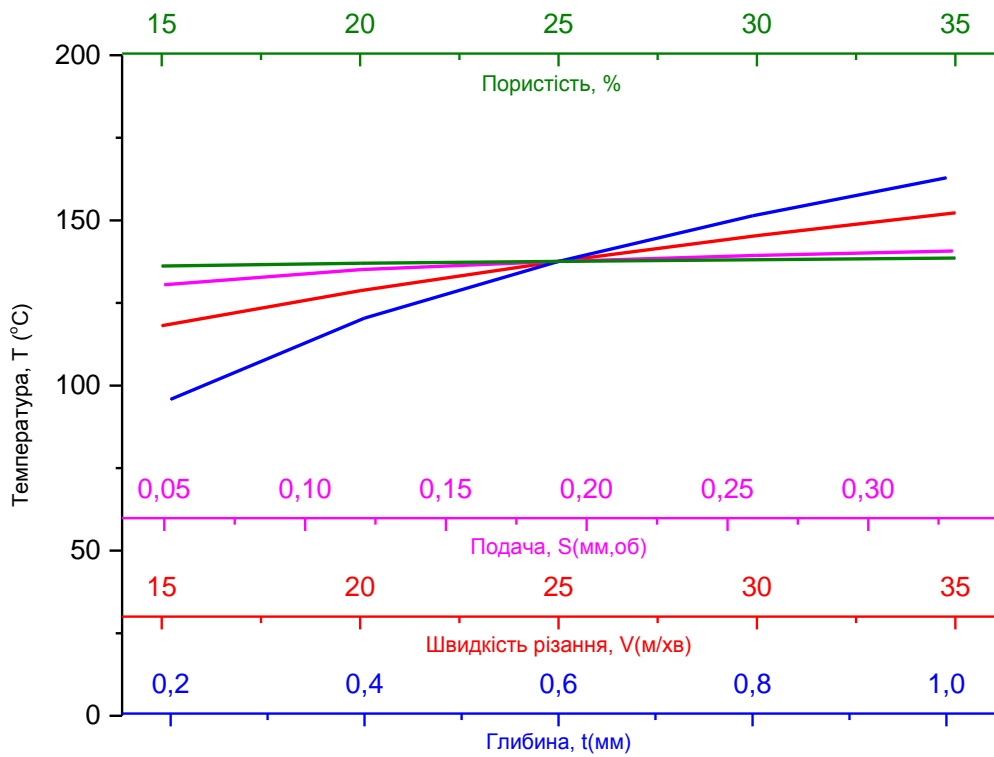


Рис. 3. Графік залежності температури T , °C, від режимів різання та пористості матеріалу

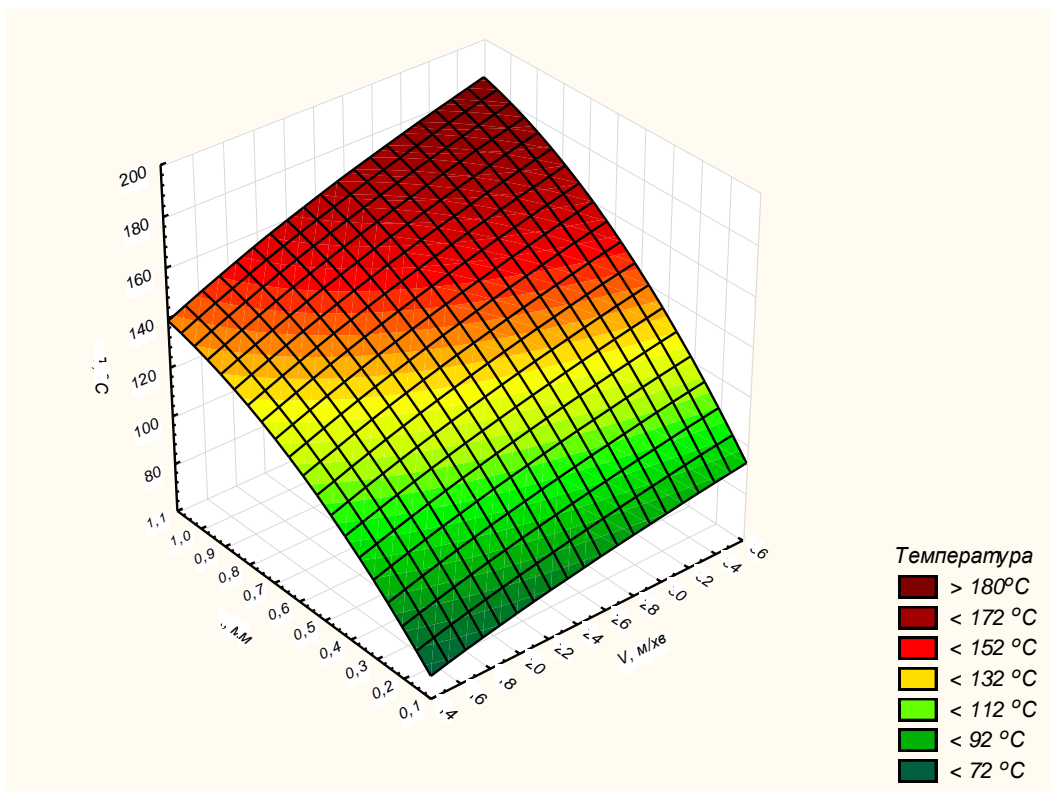


Рис. 4. Графік залежності температури T , °C, від глибини t , мм та швидкості різання V , м/хв

Experimental investigation of cutting temperature in turning of sintered powder materials

I. Y. Tkachuk¹⁾

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

In modern engineering powder antifriction materials are widely used in friction units. The main feature of sintered powder materials is the presence of the porous structure, which provides self-lubrication when using the friction units.

The thermal phenomena are important when machining of the sintered materials. They determine the temperature in the cutting zone, which influences the nature of the microstructure of the surface layer.

In this paper, the technique of experimental studies of cutting temperature in the machining of porous sintered materials is described. Based on these results, a mathematical model of effect cutting conditions and the porosity of the material on the cutting temperature is represented.

Key words: powder antifriction materials, machining, cutting temperature.

Экспериментальное исследование температуры резания при точении порошковых спеченных материалов

И. Е. Ткачук¹⁾

¹⁾ *Лугцкий национальный технический университет, ул. Львовская, 75, г. Луцк, Украина, 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 резания спеченных материалов важную роль играют тепловые явления. Именно они определяют температуру в зоне резания, которая влияет на характер формирования микроструктуры 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 влияющих на нее факторов: режимов резания и пористости обрабатываемого материала.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ 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. 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. – Луцк: 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). Staticheskie 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].