

УДК 621.762

**В.Д. Рудь, І.Є. Ткачук**  
**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ**  
**ОБРОБЛЮВАНОЇ ДЕТАЛІ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ СПЕЧЕНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Проведено теоретичний аналіз дослідження теплових потоків в зоні різання при механічній обробці спечених матеріалів. Наведено математичну модель для визначення температури в зоні різання при точінні спечених пористих матеріалів. Виявлено плив режимів механічної обробки та пористості матеріалу на температуру різання.*

*Ключові слова: теплові потоки, механічна обробка, спечені матеріали, пористість.*  
 Форм. 5. Табл. 1. Літ. 5.

**В.Д. Рудь, И.Е.Ткачук**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**  
**ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СПЕЧЕННЫХ**  
**МАТЕРИАЛОВ**

*Проведено теоретический анализ исследования тепловых потоков в зоне резания при механической обработке спеченных материалов. Приведена математическая модель для определения температуры в зоне резания при точении пористых спеченных материалов. Выведено влияние режимов механической обработки и пористости материала на температуру резания.*

*Ключевые слова: тепловые потоки, механическая обработка, испеченные материалы, пористость.*

**V. Rud, I. Tkachuk**  
**THEORETICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE OF SUPERFICIAL LAYER OF**  
**WORKPART IS AT TOOLING OF THE SINTERED MATERIALS**

*Theoretical analysis of the temperature of the surface layer of the workpiece when machining sintered materials. The theoretical analysis of the heat flow in the cutting zone when machining sintered materials. A mathematical model for determining the temperature in the cutting zone in turning sintered porous materials. Found sintered modes machining and porosity of the material to the temperature cutting*

*Keywords: heat flow, tooling, sintered materials porosity.*

На даному етапі досліджень ставилася задача – визначити вплив режимів механічної обробки та пористості матеріалу на температуру різання при точінні пористих спечених матеріалів, та розробити математичну модель.

Залежність температури  $T$  від режимів різання виражається формулою:

$$T = C \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^z \quad (1)$$

де:  $v$  - швидкість різання;  $s$  - подача;  $t$  - глибина різання;  $C$  - стала для даних умов механічної обробки.

Звичайний метод визначення  $C$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  полягає в почерговій зміні одного параметра при сталості всіх інших. По результатам серії таких експериментів знаходять залежність (1) і конкретні значення всіх, що входять в формулу сталих складових.

Основні фактори, що впливають на температуру різання при точінні пористих спечених матеріалів залежать від  $v$  - швидкості різання;  $s$  - подачі;  $t$  - глибини різання; та  $\theta$  - пористості матеріалу. Враховуючи вище наведені фактори формулу (1) представимо у наступному вигляді:

$$T = C \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^z \cdot \theta^n \quad (2)$$

Даний метод отримання залежності (2), заснований на застосуванні повного факторного експерименту – одного із методів математичної статистики. Суть цього методу полягає в наступному. Логарифмуємо вираз (2):

$$\lg T = \lg C + x \lg t + y \lg s + z \lg v + n \lg \theta \quad (3)$$

При переході до безрозмірних величин у загальний вигляд рівняння (3) запишемо:

$$\lg T = b_0 + b_1 t_1 + b_2 t_2 + b_3 t_3 + b_4 t_4 \quad (4)$$

$$\text{де: } t_1 = \frac{\lg t - \lg t_{\text{cep}}}{0,5(\lg t_{\text{max}} - \lg t_{\text{min}})};$$

$$t_2 = \frac{\lg s - \lg s_{\text{cep}}}{0,5(\lg s_{\text{max}} - \lg s_{\text{min}})};$$

$$t_3 = \frac{\lg v - \lg v_{\text{cep}}}{0,5(\lg v_{\text{max}} - \lg v_{\text{min}})};$$

$$t_4 = \frac{\lg \theta - \lg \theta_{\text{cep}}}{0,5(\lg \theta_{\text{max}} - \lg \theta_{\text{min}})};$$

Для визначення коефіцієнтів регресії  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  необхідно провести дві серії досліджень по шістьнадцять експериментів в кожній серії.

Коефіцієнти можемо вирахувати так:

$$b_0 = \frac{1}{16} \cdot (\lg T_1 + \lg T_2 + \lg T_3 + \lg T_4 + \lg T_5 + \lg T_6 + \lg T_7 + \lg T_8 + \lg T_9 + \lg T_{10} + \lg T_{11} + \lg T_{12} + \\ + \lg T_{13} + \lg T_{14} + \lg T_{15} + \lg T_{16});$$

$$b_1 = \frac{1}{16} \cdot (-\lg T_1 + \lg T_2 - \lg T_3 + \lg T_4 - \lg T_5 + \lg T_6 - \lg T_7 + \lg T_8 - \lg T_9 + \lg T_{10} - \lg T_{11} + \lg T_{12} + \\ - \lg T_{13} + \lg T_{14} - \lg T_{15} + \lg T_{16});$$

$$b_2 = \frac{1}{16} \cdot (-\lg T_1 - \lg T_2 + \lg T_3 + \lg T_4 - \lg T_5 - \lg T_6 + \lg T_7 + \lg T_8 - \lg T_9 - \lg T_{10} + \lg T_{11} + \lg T_{12} - \\ - \lg T_{13} - \lg T_{14} + \lg T_{15} + \lg T_{16});$$

$$b_3 = \frac{1}{16} \cdot (-\lg T_1 - \lg T_2 - \lg T_3 - \lg T_4 + \lg T_5 + \lg T_6 + \lg T_7 + \lg T_8 - \lg T_9 - \lg T_{10} - \lg T_{11} - \lg T_{12} + \\ + \lg T_{13} + \lg T_{14} + \lg T_{15} + \lg T_{16});$$

$$b_4 = \frac{1}{16} \cdot (-\lg T_1 - \lg T_2 - \lg T_3 - \lg T_4 - \lg T_5 - \lg T_6 - \lg T_7 - \lg T_8 + \lg T_9 + \lg T_{10} + \lg T_{11} + \lg T_{12} + \\ + \lg T_{13} + \lg T_{14} + \lg T_{15} + \lg T_{16}).$$

Таблиця 1. Вплив режимів на температуру при точінні пористих спечених матеріалів

№ експеримента	Глибина, мм	Подача, мм/об	Швидкість, м/хв	Пористість, %	Температура, °C		
					I серія досл.	II серія досл.	середнє
1	0,5	0,08	63	24	473	466	469,5
2	1,2	0,08	63	24	501	505	503
3	0,5	0,12	63	24	484	492	488
4	1,2	0,12	63	24	553	544	548,5
5	0,5	0,08	125	24	639	648	643,5
6	1,2	0,08	125	24	659	655	657
7	0,5	0,12	125	24	653	646	649,5
8	1,2	0,12	125	24	682	691	686,5
9	0,5	0,08	63	32	464	461	462,5
10	1,2	0,08	63	32	498	495	496,5
11	0,5	0,12	63	32	476	481	478,5
12	1,2	0,12	63	32	544	547	545,5
13	0,5	0,08	125	32	628	633	630,5
14	1,2	0,08	125	32	647	651	649
15	0,5	0,12	125	32	648	645	646,5
16	1,2	0,12	125	32	679	675	677

Експерименти проводилися на токарно-гвиторізному верстаті моделі 16К20. В якості оброблюваного матеріалу примінялися зразки із спечених порошкових матеріалів марки ПЖР-3 з пористістю 20% та 30%. Механічна обробка проводилася без охолодження.

Режими різання змінювалися в наступних межах  $v=63 \div 125 \text{ м/хв}$ ;  $s=0,08 \div 0,1 \text{ мм/об}$ ;  $t=0,5 \div 1,0 \text{ мм}$ .

Результати проведених досліджень при точінні зразків із спечених порошкових матеріалів марки ПЖР-3 наведені в табл.1.

Математична обробка результатів експеримента проводилася наступним чином:

$$b_0 = \frac{1}{16} \cdot (2,6716 + 2,7016 + 2,6884 + 2,7392 + 2,8085 + 2,8176 + 2,8126 + 2,8366 + 2,6651 + 2,6959 + \\ + 2,6799 + 2,7368 + 2,7997 + 2,8122 + 2,8106 + 2,8306) = 2,7567;$$

$$b_1 = \frac{1}{16} \cdot (-2,6716 + 2,7016 - 2,6884 + 2,7392 - 2,8085 + 2,8176 - 2,8126 + 2,8366 - 2,6651 + 2,6959 - \\ - 2,6799 + 2,7368 - 2,7997 + 2,8122 - 2,8106 + 2,8306) = 0,0146;$$

$$b_2 = \frac{1}{16} \cdot (-2,6716 - 2,7016 + 2,6884 + 2,7392 - 2,8085 - 2,8176 + 2,8126 + 2,8366 - 2,6651 - 2,6959 + \\ + 2,6799 + 2,7368 - 2,7997 - 2,8122 + 2,8106 + 2,8306) = 0,0102;$$

$$b_3 = \frac{1}{16} \cdot (-2,6716 - 2,7016 - 2,6884 - 2,7392 + 2,8085 + 2,8176 + 2,8126 + 2,8366 - 2,6651 - 2,6959 - \\ - 2,6799 - 2,7368 + 2,7997 + 2,8122 + 2,8106 + 2,8306) = 0,0594;$$

$$b_4 = \frac{1}{16} \cdot (-2,6716 - 2,7016 - 2,6884 - 2,7392 - 2,8085 - 2,8176 - 2,8126 - 2,8366 + 2,6651 + 2,6959 + \\ + 2,6799 + 2,7368 + 2,7997 + 2,8122 + 2,8106 + 2,8306) = -0,0028;$$

Таким чином,

$$\lg T = 2,7585 + 0,0146t_1 + 0,0102t_2 + 0,0594t_3 - 0,0028t_4$$

Де,

$$t_1 = \frac{\lg t - 0,5(\lg t_{\max} + \lg t_{\min})}{0,5(\lg t_{\max} - \lg t_{\min})} = \frac{\lg t - 0,5(\lg 1,2 + \lg 0,5)}{0,5(\lg 1,2 - \lg 0,5)} = 2 \frac{\lg t - \frac{1}{2} \lg 0,6}{\lg 2,4} = \\ = \frac{2 \lg t + 0,2218}{0,3802} = 5,26 \lg t + 0,5834;$$

$$t_2 = \frac{\lg s - 0,5(\lg s_{\max} + \lg s_{\min})}{0,5(\lg s_{\max} - \lg s_{\min})} = \frac{\lg s - 0,5(\lg 0,12 + \lg 0,08)}{0,5(\lg 0,12 - \lg 0,08)} = 2 \frac{\lg s - \frac{1}{2} \lg 0,0096}{\lg 1,5} = \\ = \frac{2 \lg s + 2,0177}{0,176} = 11,36 \lg s + 11,464;$$

$$t_3 = \frac{\lg v - 0,5(\lg v_{\max} + \lg v_{\min})}{0,5(\lg v_{\max} - \lg v_{\min})} = \frac{\lg v - 0,5(\lg 125 + \lg 63)}{0,5(\lg 125 - \lg 63)} = 2 \frac{\lg v - \frac{1}{2} \lg 7875}{\lg 1,9841} =$$

$$= \frac{2 \lg v - 3,8963}{0,2976} = 6,72 \lg v - 13,0922;$$

$$t_4 = \frac{\lg \theta - 0,5(\lg \theta_{\max} + \lg \theta_{\min})}{0,5(\lg \theta_{\max} - \lg \theta_{\min})} = \frac{\lg \theta - 0,5(\lg 32 + \lg 24)}{0,5(\lg 32 - \lg 24)} = 2 \frac{\lg \theta - \frac{1}{2} \lg 768}{\lg 1,3333} =$$

$$= \frac{2 \lg \theta - 2,8854}{0,1249} = 16,01 \lg \theta - 23,1017$$

Значення  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  підставляємо у рівняння (4)

$$\lg T = 2,7585 + 0,0146(5,26 \lg t + 0,5834) + 0,0102(11,36 \lg s + 11,464) + 0,0594(6,72 \lg v - 13,0922) -$$

$$- 0,0028(16,01 \lg \theta - 23,1017) = 2,7585 + 0,0768t + 0,008 + 0,116s + 0,117 + 0,399v - 0,778 - 0,045\theta + 0,065 =$$

$$= 2,1705 + 0,0768t + 0,116s + 0,399v - 0,045\theta$$

Отримаємо наступну формулу

$$T = 117 \cdot t^{0,08} \cdot s^{0,12} \cdot v^{0,39} \cdot \theta^{0,04} \quad (5)$$

Виразуємо температуру різання по отриманій формулі для максимальних та мінімальних режимів різання:

$$T_{\max} = 117 \cdot 1,2^{0,08} \cdot 0,12^{0,12} \cdot 125^{0,39} \cdot 32^{0,04} = 117 \cdot 1,014 \cdot 0,775 \cdot 6,573 \cdot 1,148 = 689^\circ \text{C}$$

$$T_{\min} = 117 \cdot 0,5^{0,08} \cdot 0,08^{0,12} \cdot 63^{0,39} \cdot 24^{0,04} = 117 \cdot 0,946 \cdot 0,738 \cdot 5,032 \cdot 1,135 = 466,5^\circ \text{C}$$

При експериментальних вимірюваннях на максимальних режимах різання температура була рівна  $677^\circ\text{C}$ , відповідно значення відрізняється від експериментальних на  $12^\circ\text{C}$ ; а при мінімальних –  $469,5^\circ\text{C}$ , відповідно значення відрізняється від експериментальних на  $3^\circ\text{C}$ .

Аналізуючи отримані результати прийдемо до висновку:

- розроблена методика повного факторного експерименту дозволяє значно скоротити об'єм досліджень, не знижуючи точності кінцевих результатів;

- при точінні пористих спечених матеріалів, з різною пористістю, основними факторами підвищення температури різання є режими різання, тобто, зі збільшенням подачі та глибини різання підвищується навантаження стружки на різець, а разом з тим і деформація, що впливає на температуру в зоні різання.

1. Грановсий Г.И. Резание металлов.- М.:Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Николаев В.А. Тонкое точение спеченных материалов. – М.: «Машиностроение», 1979, – 64 с.
3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: «Машиностроение», 1981. – 279 с.
5. Яцерицын П.И. Фельдштейн Е.Э. Корниевич М.А. Теория резания. – Минск ООО «Новое знание» Москва, 2006. – 512 с.

Стаття надійшла до редакції 26.05.2013.