ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ
Межвузовский сборник, вып. I, 1973 г.

УДК.621.923.1:536.5

П.Г.Петруха, В.В.Петрыкин

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ

В статье описана методика определения температуры в зоне резания при шлифовании с использованием основных положений теории подобия и размерностей.

Принималось, что температура при плоском шлифовании является функцией следующих величин:

$$\theta_к = f(q, \tau, t, \lambda, C, \rho), \qquad (1)$$

где $\theta_к$ – температура в зоне контакта круга и детали (контактная температура), ^0C; q – плотность теплового потока, идущего в деталь, то есть количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности контакта круга и детали, дж/м^2 · сек; τ – продолжительность действия теплового источника в каждой из точек площади шлифования, сек; t – глубина резания, м ; λ – коэффициент теплопроводности, дж/м · сек · сек ^0C; C – удельная теплоемкость, дж/кг · ^0C; ρ – плотность материала детали, кг/м^3.

Размерность любой из исследуемых величин P_i можно выразить через основные единицы измерения: массу $[M]$, длину $[L]$, время $[T]$ и температуру $[\theta]$, то есть размерность любой величины будет равна

$$P_i = [L]^{\xi}[M]^{\mu_i}[T]^{\tau_i}[\theta]^{d_i} \quad i = 1, 2, 3 \dots n . \qquad (2)$$

Следовательно, все параметры, входящие в зависимость (I), будут иметь размерности, указанные в таблице I.

Число величин, характеризующих процесс, $n = 7$, ранг матрицы (табл. I) равен 4, следовательно, можно получить только 3(7-4) безразмерных критерия [2], каждый из которых определяется по формуле

$$\Pi_1 = C[p_1]^{z_1}[p_2]^{z_2}\ldots[p_7]^{z_7}, \qquad (3)$$

где $z_1, z_2, z_3, \ldots z_7$ находятся решением системы уравнений, составленных на основе уравнений (2 и 3), причем их значения таковы, что размерность П равна нулю

$$\begin{cases} \xi_1 z_1 + \xi_2 z_2 + \ldots + \xi_7 z_7 = 0 \\ \mu_1 z_1 + \mu_2 z_2 + \ldots + \mu_7 z_7 = 0 \\ \eta_1 z_1 + \eta_2 z_2 + \ldots + \eta_7 z_7 = 0 \\ j_1 z_1 + j_2 z_2 + \ldots + j_7 z_7 = 0 \end{cases} \qquad (4)$$

Таким образом, предстоит решить систему уравнений (4). Степени размерностей $\xi_i, \mu_i, \eta_i, j_i$ для каждой величины указаны в таблице I.

Система уравнений для расчета коэффициентов $z_1, z_2, \ldots z_7$ для основных четырех размерностей примет вид

$$\begin{aligned} &[L]: \ z_3 + z_5 + 2z_6 - 3z_1 = 0 \\ &[M]: \ z_1 + z_5 + z_7 = 0 \\ &[T]: -3z_1 + z_2 - 3z_5 - 2z_6 = 0 \\ &[\theta]: -z_5 - z_6 + z_8 = 0 . \end{aligned} \qquad (5)$$

Система уравнений (5) имеет три линейно независимых решений. Для нахождения этих решений три величины z имеют произвольные значения I, остальные четыре величины находятся из уравнения (5), причем значения их такие, что критерий Π является безраз-

Таблица I

Наименование физической величины	Обозначение	Размерность в системе СИ	Степень основных размерностей			
			[L]	[M]	[T]	[θ]
Плотность теплового потока	q	$\frac{дж}{м^2 \cdot сек}$	0	+I	-3	0
Время действия источника	τ	сек	0	0	+I	0
Глубина резания	t	м	+I	0	0	0
Коэффициент теплопроводности детали	λ	дж/м·сек°C	+I	+I	-3	-I
Удельная теплоемкость детали	C	дж/кг°· C	+2	0	-2	-I
Плотность материала детали	ρ	кг/м^3	-3	+I	0	0
Температура в зоне контакта круга и детали	$\theta_к$	°C	0	0	0	+I

мерной величиной, то-есть остальные четыре значения "компенсируют" размерность, обусловленную выбором первых трех величин.

В таблице 2 приводится матрица для решения системы уравнений (5).

Таблица 2

Критерий	q	τ	θ	λ	c	ρ	t
	z_1	z_2	z_7	z_4	z_5	z_6	z_3
I	I	0	0	-3	+3	+2	+3
2	0	I	0	+I	-I	-I	-2
3	0	0	I	-2	+3	+2	+2

При решении системы уравнений (5) получены три независимых критерия (6,7,8), которые называются фундаментальными:

$$\Pi_1 = \frac{q t^3 c}{a^2 \lambda} \qquad (6)$$

$$\Pi_2 = \frac{a\tau}{t^2} \qquad (7)$$

$$\Pi_3 = \frac{\theta_k t^2 c}{a^2} \qquad (8)$$

Можно провести аналогию между полученными безразмерными критериями и "классическими", которые для исследуемого процесса шлифования выражают одни и те же явления теплопроводности. Критерий Π_I является аналогом критерия Кирпичева. Критерий Π_2 представляет собой критерий (число) Фурье. При замене времени действия теплового источника через его значение $\frac{l}{V_g}$ (l - длина дуги контакта, $l=\sqrt{D_{кр} t}$ [3]) получится произведение $\sqrt{\frac{D_{кр}}{t}}$ и известного в теории теплопроводности критерия теплового подобия Пекле $\frac{a}{t V_g}$.

Критерий Пекле является мерой молекулярного и конвективного переноса тепла, а в данном случае его аналог характеризует связь режимов шлифования с теплофизическими свойствами обрабатываемого материала.

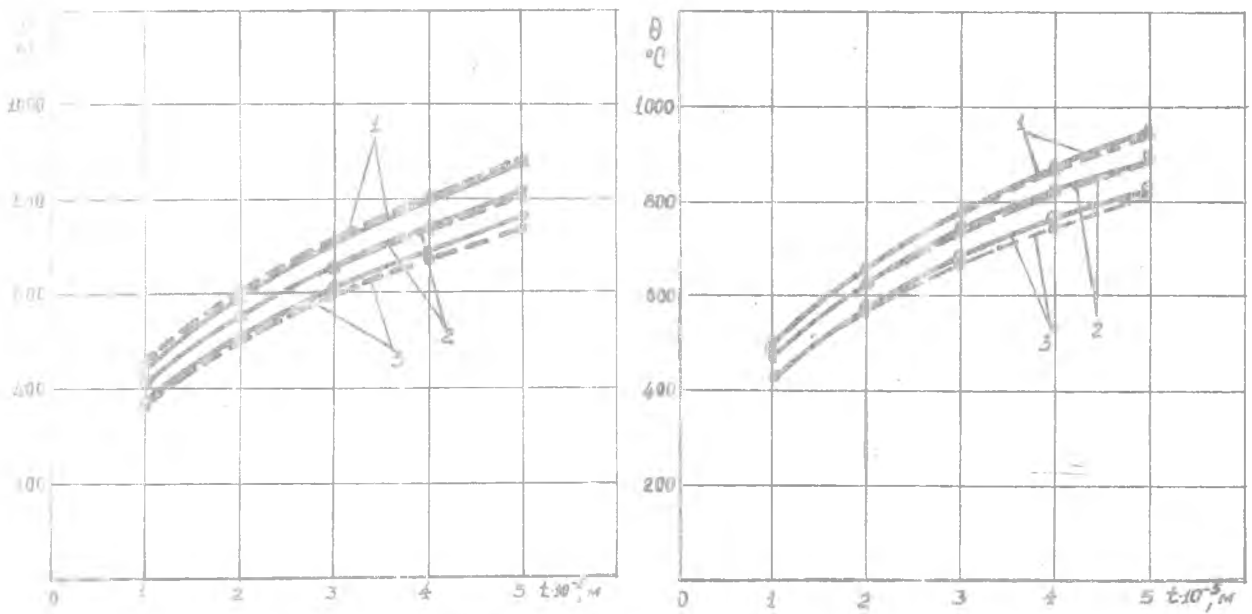

Рис. I. Зависимость контактной температуры от глубины шлифовании при различной скорости перемещения детали

I – V_g = 0,050 м/сек, 2 – V_g = 0,100, 3 – V_g = 0,200 м/сек

а) Абразивный круг К325СМ2К6. б) Абразивный круг К340СМ2К6

Критерий Π_3 является аналогом критерия Био, который характеризует связь между полем температур в твердом теле и условиями теплоотдачи на его поверхности.

Таким образом, решение поставленной задачи, согласно π - теореме [2], представляется уравнением (9)

$$\Pi_3 = A\left(\Pi_1^x\,\Pi_2^y\right). \qquad (9)$$

Конкретная и точная количественная связь между критериями Π_3 и Π_2, Π_1 устанавливается экспериментальным путем.

Авторами проведены эксперименты по определению количества тепла, переходящего в деталь при различных условиях шлифования, а также по измерению контактной температуры при тех же условиях при обработке различных материалов (ВТ3, ВТ8, ВТ5, ВТ15 ОТ4-1, ЖС6К, ст. 45). По формулам (6,7,8) подсчитывались критерии Π_1, Π_2, Π_3 и результаты расчетов наносились на двойную логарифмическую сетку. Затем была построена общая зависимость, после соответствующей математической обработки которой [4] получена формула (10)

$$\frac{\theta_к t^2 c}{a^2} = 6{,}03\cdot 10^{-3}\left(\frac{a\tau}{t^2}\right)^{0,8}\cdot\left(\frac{a t^3 c}{a^2\lambda}\right)^{1,2} \qquad (10)$$

Формула (10) является общим критериальным уравнением, выражающим тепловые закономерности при шлифовании.

На рис. 1 приведена зависимость контактной температуры от глубины резания при различной скорости перемещения детали при обработке титанового сплава ВТ3-1 абразивным кругом К325СМ2К6(а) и К340СМ2К6(б).

Сплошной линией показана экспериментальная зависимость, пунктирной - кривая, полученная на основании расчетов по формуле (10).

Литература

1. Курош А.Г. Курс высшей алгебры, изд. "Наука", М., 1965.

2. Алабужев П.М., Геронимус В.Б., Минкевич Л.М., Шеховцев Б.А. Теории подобия и размерностей. Моделирование, изд. "Высшая школа", М., 1968.

3. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов, Машгиз, М., I95I.

4. Уорсинг А., Геффнер Дж. Методы обработки экспериментальных данных, изд. "Иностранная литература", М., I949.