

УДК 621.9.01

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Якимов А.А. канд.техн.наук, Новиков Ф.В. докт.техн.наук
(г. Одесса, Украина)

Brought engineering strategy of calculation of warm-up floors when polishing. Given concrete numeric calculations.

Для управления качеством поверхностного слоя необходимо знать не только температуру в какой-либо точке шлифуемого изделия, но так же иметь представление о температурном поле.

Уравнение описывающее температурное поле без теплообмена, т.е. без применения СОЖ имеет вид [1].

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda V_d} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) K_0(\sqrt{X^2 + \xi^2}) d\xi \quad (1)$$

где a и λ – коэффициенты температуропроводности ($\text{м}^2/\text{с}$) и теплопроводности $\text{Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{С}$ соответственно; V_d – скорость детали, ($\text{м}/\text{с}$); q – интенсивность теплового потока $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$$X = \frac{V_d x}{2a}; \quad Z = \frac{V_d z}{2a}; \quad H = \frac{V_d h}{2a}.$$

z – координата по направлению движения теплового источника; x – координата в направлении перпендикулярном обрабатываемой поверхности; h – полуширина зоны контакта $h = \frac{\sqrt{Dt}}{2}$ (D – диаметр шлифовального круга, м ; t – глубина шлифования, м).

Если выражение интеграла (1) представить в виде

$$J(u) = \int_0^u \exp(-\xi) K_0(\sqrt{X^2 + \xi^2}) d\xi, \quad (2)$$

то решение можно представить в виде следующего выражения

$$T(X, Z) = \frac{2qa}{\pi\lambda V_d} [J(Z+H) - J(Z-H)] \quad (3)$$

Для поверхности ($X=0$) интеграл (2) имеет вид

$$J(u) = \int_0^u \exp(-\xi) K_0(\xi) d\xi. \quad (4)$$

Решение данного интеграла при шлифовании без СОЖ ($\beta=0$) в интервале изменения аргумента “ u ” от -30 до $+4$ представлено на рис. 1 кривой

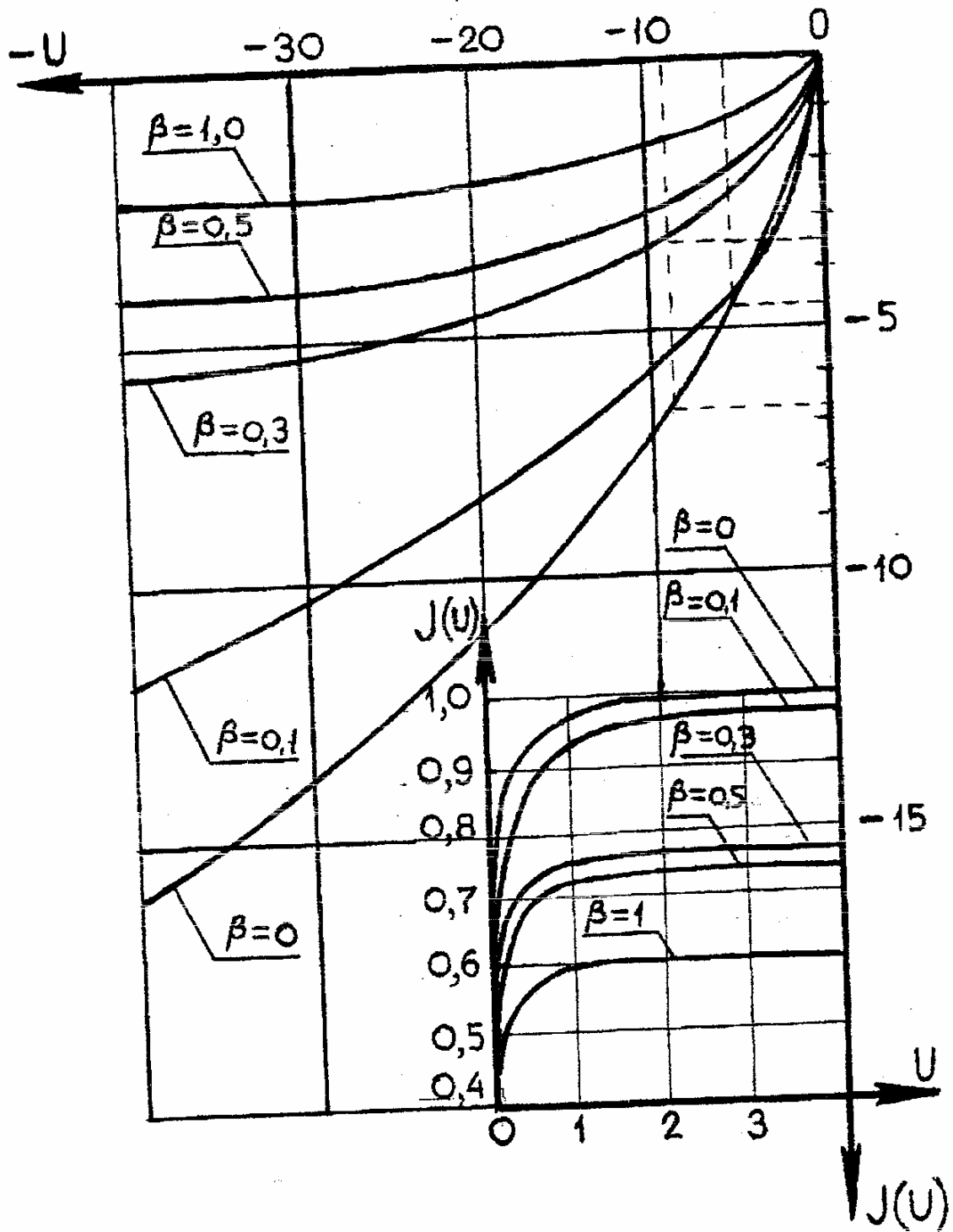


Рис. 1. Графики для расчета температурных полей.

$\beta = 0$. Пользуясь данным решением функции (4) можно по уравнению

$$\theta = J(Z + H) - J(Z - H) \quad (5)$$

определить в дискретных точках поверхности z_i безразмерную температуру θ и построить кривую изменения температуры в пределах зоны контакта круга с изделием и за ней.

Методику расчета температуры при шлифовании рассмотрим на конкретном примере.

На станке 3Г71 шлифовались образцы из стали Р6М5 ($\alpha=8,15 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\lambda=0,5 \cdot 10^2$ Вт/м·°С) на режиме $V_{kp}=30$ м/с, $V_d=0,05$ м/с, $t=4 \cdot 10^{-4}$ м, $D_{kp}=0,25$ м, ширина образца 0,008 м, $q=48 \cdot 10^6$ Вт/м².

Последовательность этапов расчета следующая:

1. Определяется ширина зоны контакта в направлении вектора скорости перемещения стола. В данном случае для плоского шлифования периферией круга эта величина определяется по формуле

$$2h = \sqrt{D_{kp} \cdot t} = \sqrt{250 \cdot 0,04} = 3,16 \text{ мм.}$$

Размерная полуширина теплового источника h равна 1,58 мм.

2. Определяется безразмерная полуширина зоны контакта

$$H = \frac{V_d \cdot h}{2\alpha} = \frac{0,05 \cdot 0,00158}{2 \cdot 8 \cdot 15 \cdot 10^{-6}} = 4,8.$$

3. На оси z назначаются дискретные точки для расчета температуры. Например, ($Z=H$; $Z=0,5H$; $Z=0$; $Z=-0,5H$; $Z=-H$; $Z=-2H$; $Z=-3H$ и т.д.).

Безразмерная температура θ определяется по формуле (5). Например, для определения температуры на задней кромке теплового источника $Z=-H$ ($Z/H=-1$) в формулу (5) подставляется вместо Z расчетная величина $-H=-4,8$.

$$\theta = J(-4,8 + 4,8) - J(-4,8 - 4,8) = J(0) - (-9,6).$$

По кривой ($\beta = 0$) рис. 1 или из табл. [1,2] определяются интервалы $J(u)$; $J(0) = 0$; $J(-9,6) = -6,95$; Откуда $\theta = 0 - (-6,95) = 6,95$.

Для определения размерной температуры следует безразмерную температуру умножить на множитель $\frac{2qa}{\pi\lambda V_d}$.

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda V_d} \cdot \theta = \frac{2 \cdot 48 \cdot 10^6 \cdot 8,15 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^2 \cdot 0,05} = 99,67\theta,$$

$$T = 99,67 \cdot 6,95 = 700^\circ \text{C.}$$

При определении температуры на середине зоны контакта (рис. 2) $Z=0$, ($Z/H=0$), безразмерная температура определяется из выражения

$$\theta = J(0 + 4,8) - J(0 - 4,8) = J(4,8) - J(-4,8).$$

Интеграл с положительным значением аргумента определяется по одной кривой размещенной в правом нижнем пространстве (рис. 1). $J(4,8)=1$.

Интеграл с отрицательным значением аргумента определяется по второй кривой ($\beta=0$) (рис. 1) или из таблиц [1,2] $J(-4,8) = -4,6$. Откуда $\theta=1 - (-4,6) = 5,6$.

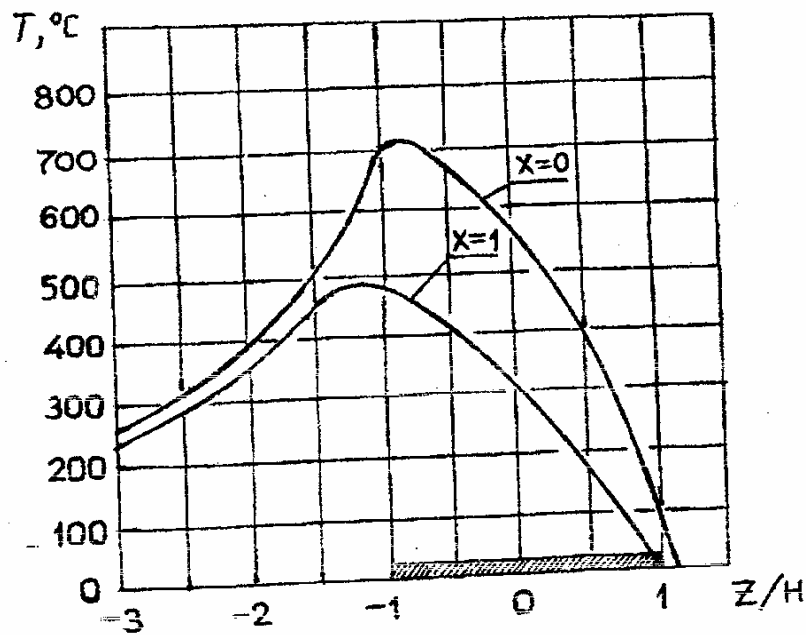


Рис. 2. Температурное поле.

Точно так же определяется температура для всех остальных интересных нас точек поверхности. Число расчетных точек следует выбирать с учетом возможности проведения плавной кривой, характеризующей распределение температуры в точке поверхности за время прохождения над ней зоны контакта, в период нагрева поверхности и в период охлаждения поверхности, когда исследуемая точка удаляется от задней кромки теплового источника.

В табл. представлены расчетные значения температуры в зоне контакта $X = 0$ и на глубине $X = 0,2$ и $X = 1$.

Таблица.

$X = 0$							
Z	$-3H$	$-2H$	$-H$	$-0,5H$	0	$0,5H$	H
θ	2,9	3,88	7,024	6,75	5,8	4,113	1,0
$T^{\circ}\text{C}$	289	386,7	700	672	578	410	99,67
$X = 0,2$							
$T^{\circ}\text{C}$	277	367	664	583	485	301	68,5
$X = 1$							
$T^{\circ}\text{C}$	281	348	499	404	313	148	26,7

По выражению $x = \frac{2a}{V} X$ вычисляются размерные глубины. Например, безразмерным глубинам $X_1=0,2$ и $X_2=1,0$ соответствуют размерные глубины $x_1=0,065$ мм и $x_2=0,326$ мм.

На рис. 2 представлены кривые изменения температуры на поверхности $X=0$ и на глубине $X=1$.

На поверхности $X=0$ максимальная температура достигает 700°C ее максимум находится около задней кромки теплового источника. На глубине $0,326$ мм температура близка к 500°C , а максимум температуры смещен по ходу движения теплового источника.

При шлифовании с охлаждением последовательность расчета температурных полей аналогична. Безразмерную температуру следует рассчитывать по формуле [2]

$$\theta = K [J(Z+H) - J(Z-H)] \quad (6)$$

Для поверхности ($X=0$) интеграл (2) имеет вид

$$J(u) = \int_0^u \exp(-\xi) K_0 \xi d\xi - \beta \int_0^u \exp(-\xi) \int_0^{\infty} K_0 \xi d\xi \quad (7)$$

На рис. 1 приведены кривые изменения функции $J(u)$ для значений $\beta=0,1$; $\beta=0,3$; $\beta=0,5$; $\beta=1,0$, а на рис. 3 представлены кривые изменения множителя K .

Безразмерный комплекс β , учитывающий теплообмен, определяется из выражения

$$\beta = \frac{2\alpha \cdot a}{\lambda \cdot V} \quad (8)$$

При жидкостном охлаждении со скоростью расхода СОЖ 5 м/с коэффициент теплообмена $\alpha = 0,46 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^{\circ}\text{C}$. [1]

После подстановки параметра α в выражение (8) получим

$$\beta = \frac{2 \cdot 8,15 \cdot 10^{-6} \cdot 0,46}{0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,05} = 0,3.$$

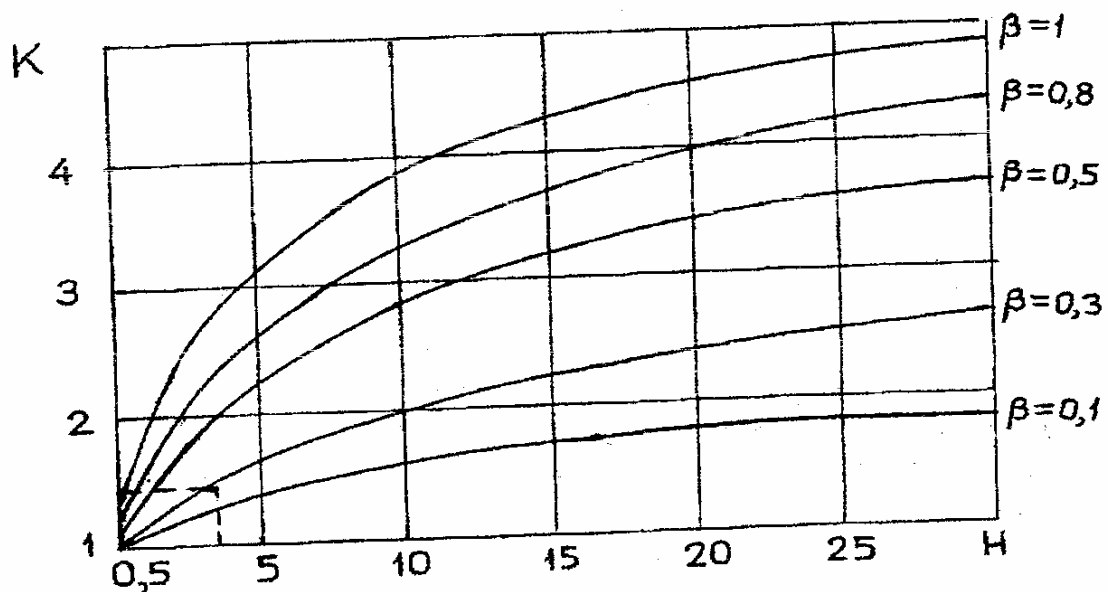


Рис. 3. Зависимость коэффициента K от H .

Для $H = 4,8$ и $\beta = 0,3$ из графика рис. 3 коэффициент $K = 1,4$.

Безразмерная температура задней кромки теплового источника при $Z = -H$ определяется из выражения $\theta = K[\mathcal{J}(-4,8 + 4,8) - \mathcal{J}(-4,8 - 4,8)] = K[\mathcal{J}(0) - \mathcal{J}(-9,6)]$. Из графика (рис. 1) по кривой $\beta = 0,3$ находим $\mathcal{J}(u)$; $\mathcal{J}(0)$; $\mathcal{J}(-9,6) = -3,6$.

Безразмерная температура будет равна

$$\theta = K[0 - (-3,6)] = 1,4 \cdot 3,6 = 5,04.$$

Применение СОЖ привело к снижению температуры с 700 до 502 °С.

Используя предложенную методику расчета температур можно достаточно точно определять важные для качества поверхностного слоя характеристики в каждом конкретном случае.

Список литературы: 1. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качества поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с. 2. Якимов А.В. Абразивно алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.