4. Урывский Ф.П., Синяев Г.М. и др. Аналитическое определение температур на цилиндрической поверхности при одновременном шлифовании торцев борта и роликовой дорожки колец подшипников. „Подшипниковая промышленность". ВНИИПП, 1976, № 11, с. 6–13.

5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., "Высшая школа", 1967, с.365-369.

УДК 621.923.04

Ф.П.Урывский, Е.М.Маркушин, Г.П. Баландин

К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ИЗДЕЛИИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУГОМ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ ВСТАВКАМИ

Тепловые явления, сопровождающие процесс шлифования конструкционных материалов, оказывают решающее воздействие на эксплуатационные свойства подповерхностных слоев обработанной детали.

Расчету температурных полей в обрабатываемой шлифованием детали посвящен ряд работ [1]-[3] и др. В этих исследованиях тепловые явления, сопровождающие процесс шлифования, изучаются на основе фундаментального решения уравнения теплопроводности.

Однако при таком подходе к решению рассматриваемой задачи не учитывается влияние охлаждения вне зоны контакта шлифовального круга на распределение температуры подповерхностных слоев обрабатываемого изделия.

В данной работе предложен метод расчета температурных полей при шлифовании кругом со специальными вставками, учитывающий конвективный теплообмен вне зоны контакта круга с изделием.

Пусть справедливы предположения, приведенные в работе [4]. Тогда решение рассматриваемой задачи приводит к интегрированию уравнения

$$P_e \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \qquad (1)$$

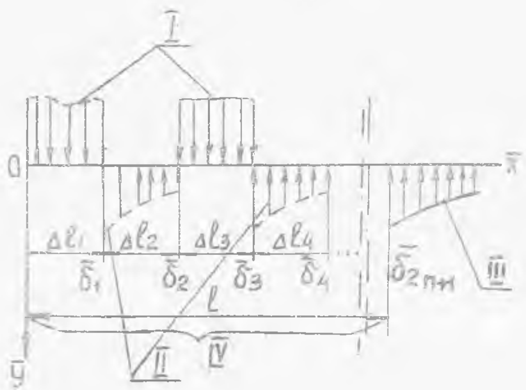
с граничным условием

$$\frac{\partial\theta(x,0)}{\partial y}=\begin{cases}-q_1(x) & \text{при} \quad 0\le x\le\delta_1\ ;\\ \mu_1\theta(x,0) & \text{при} \quad \delta_1<x<\delta_2\ ;\\ \vdots & \\ -q_k(x) & \text{при} \quad \delta_{2k-2}\le x\le\delta_{2k-1}\ ;\\ \mu_k\theta(x,0) & \text{при} \quad \delta_{2k-1}<x<\delta_{2k}\ ;\\ \vdots & \\ -q_n(x) & \text{при} \quad \delta_{2n-2}\le x\le\delta_{2n-1}\ ;\\ \mu_n\theta(x,0) & \text{при} \quad \delta_{2n-1}<x<2\pi .\end{cases} \tag{2}$$

В равенстве (I) θ, x, y – безразмерные переменные;
$Pe=\frac{vR}{a}$ – число Пекле;

где v – скорость точки, лежащей на поверхности детали;
a – коэффициент температуропроводности;
R – радиус обрабатываемой детали.

В равенстве (2) $q_1(x)$, $q_2(x)$, ... $q_n(x)$ – удельные тепловые потоки в зоне контакта; μ_1, μ_2, ..., μ_n – безразмерные коэффициенты теплоотдачи (рис. I);



Р и с.I. Схема действия тепловых источников: I – участки нагрева; II – участки конвективного теплообмена в зоне контакта; III–участки конвективного теплообмена вне зоны контакта; IУ– зона контакта; δ_1, δ_2, ..., δ_n – точки перехода от нагрева к охлаждению

$$\mu_K = \frac{\alpha_K R}{\lambda}, \quad (K = 1, 2, \ldots, n).$$

При интегрировании уравнения (I) с граничным условием (2) можно использовать метод малых параметров [4] ,[5] .

Для этого $\theta(x,y)$ задачи (I), (2) представим в виде

$$\theta(x,y) = \theta^{1}(x,y) + \theta^{2}(x,y) + \ldots + \theta^{n}(x,y) = \sum_{q=1}^{n} \theta^{q}(x,y), \tag{3}$$

где функции $\theta^{q}(x,y)$, $(q = 1, 2, \ldots, n)$ являются решением следующих задач:

$$Pe \frac{\partial \theta^1}{\partial x} = \frac{\partial^2 \theta^1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta^1}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial \theta^1(x,0)}{\partial y} = \begin{cases} -q_1(x) & \text{при } 0 \le x \le \delta_1; \\ \mu_1 \theta_1(x,0) & \text{при } \delta_1 < x < \delta_2; \\ 0 & \text{при } \delta_2 \le x < 2\pi; \end{cases} \tag{4}$$

$$\vdots$$

$$Pe \frac{\partial \theta^K}{\partial x} = \frac{\partial^2 \theta^K}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta^K}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial \theta^K(x,0)}{\partial y} = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \le x < \delta_{2K-2}; \\ -q_K(x) & \text{при } \delta_{2K-2} \le x \le \delta_{2K-1}; \\ \mu_K \theta_K(x,0) & \text{при } \delta_{2K-1} < x < \delta_{2K}; \\ 0 & \text{при } \delta_{2K} \le x < 2\pi; \end{cases} \tag{5}$$

$$\vdots$$

$$Pe \frac{\partial \theta^n}{\partial x} = \frac{\partial^2 \theta^n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta^n}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial \theta^n(x,0)}{\partial y} = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \le x < \delta_{2n-2}; \\ -q_n(x) & \text{при } \delta_{2n-2} \le x \le \delta_{2n-1}; \\ \mu_n \theta_n(x,0) & \text{при } \delta_{2n-1} < x < 2\pi. \end{cases} \tag{6}$$

Рассмотрим задачу (5).

Пусть справедливо разложение

$$\theta^{K}(x,y,\mu_K)=\theta_0^{K}(x,y)+\mu_K\theta_1^{K}(x,y)+\ldots,\quad (K=1,2,\ldots,n). \qquad (7)$$

Тогда решение задачи (5) приводит к последовательному решению задач

$$P_e\frac{\partial\theta_s^K}{\partial x}=\frac{\partial^2\theta_s^K}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta_s^K}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial\theta_s^K(x,0)}{\partial y}=\begin{cases}0 & \text{при } 0\le x\le\delta_{2K-1};\\ \mu_K\theta_{s-1}^K(x,0) & \text{при } \delta_{2K-1}<x<\delta_{2n};\\ 0 & \text{при } \delta_{2K}\le x<2\pi,\end{cases} \qquad (8)$$

$(s=1,2\ldots)$,

а порождающая функция $\theta_0^K(x,y)$ является решением задачи

$$P_e\frac{\partial\theta_0^K}{\partial x}=\frac{\partial^2\theta_0^K}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta_0^K}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial\theta_0^K(x,0)}{\partial y}=\begin{cases}0 & \text{при } 0\le x\le\delta_{2K-2};\\ -q_K(x) & \text{при } \delta_{2K-2}\le x\le\delta_{2K-1};\\ 0 & \text{при } \delta_{2K-1}\le x<2\pi\end{cases} \qquad (9)$$

Справедливо следующее утверждение.

Теорема I.

Если функции $\theta_s^K(x,y)$, $(s=1,2\ldots.)$ являются решением задачи (8) и ограничены, а функция $\theta_0^K(x,y)$ является решением задачи (9), то ряд (7) является решением задачи (5).

Доказательство теоремы следует из равенства

$$\frac{\partial\theta^K(x,0)}{\partial y}=\frac{\partial\theta_0^K(x,0)}{\partial y}+\mu_K\frac{\partial\theta_1^K(x,0)}{\partial y}+\ldots =$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{при} \quad 0 \le x \le \delta_{2k-2}\ ; \\ -q_k(x) & \text{при} \quad \delta_{2k-2} \le x \le \delta_{2k-1}\ ; \\ \mu_k \theta^k(x,0) & \text{при} \quad \delta_{2k-1} < x < \delta_{2k}\ ; \\ 0 & \text{при} \quad \delta_{2k} \le x < 2\pi . \end{cases}$$

Решение задач (8), (9) представим рядом [4] :

$$\theta_k^s(x,y)=\sum_{n=1}^{\infty} e^{\beta_k y}\left[C_{1n}^{s_k}\cos(\gamma_n y+nx)+C_{2n}^{s_k}\sin(\gamma_n y+nx)\right], \qquad (10)$$

где

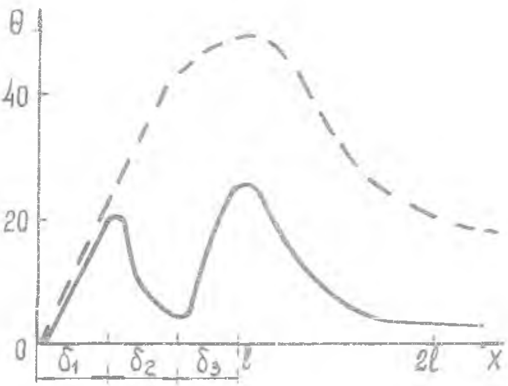
$$\beta_n=-n\sqrt{\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{Pe}{n}\right)^2}+1\right)}\ ;$$

$$\gamma_n=-\frac{Pe}{\sqrt{2\left(\sqrt{1+\left(\frac{Pe}{n}\right)^2}+1\right)}}.$$

Используя неравенства, приведенные в работе [4], находим, что ряд в правой части равенства (10) равномерно сходится всюду в области $0 \le x < 2\pi$, $y \ge 0$. При этом модули функций $\theta_d^k(x,y)$, ($s = 1,2\ldots$) ограничены постоянной $\mathcal{D}$, не зависящей от номера s. Но тогда утверждение теоремы 1 справедливо.

На рис.2 приведена зависимость безразмерной температуры от угла поворота обрабатываемой детали для случая, когда удельный тепловой поток содержит разрыв, обусловленный наличием в шлифовальном круге графитовых вставок.

Пунктирной линией обозначена аналогичная зависимость для случая отсутствия вставок.



Р и с.2. Влияние вставок шлифовального круга на максимальную температуру в зоне контакта при безразмерных параметрах шлифования: $v_{кр}=25$; $\alpha=0{,}28$; $q=3600$, материал ЭИ643

Из приведенных зависимостей следует,

что наличие в шлифовальном круге графитовых вставок, обеспечивающих разрыв теплового потока в зоне контакта круга и изделия, приводит к резкому снижению (до 50%) максимальной температуры на поверхности обрабатываемой детали.

Литература

1. Васильев А.М., Дилигенский Н.В., Подзей В.А. Температура в зоне резания при алмазном шлифовании. " Вестник машиностроения," 1969, № 7.
2. Сипайлов В.А. Основы теории тепловых явлений при шлифовании. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук (реферат). Ижевск, 1970.
3. Ящерицин П. И., Цокур А.К., Еременко М.П. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей. Минск, " Наука и техника", 1973, № 3.
4. Урывский Ф.П., Маркушин Е.М. Расчет температурных полей при шлифовании с охлаждением. Межвузовский сборник, вып.4, КуАИ, 1976.

УДК 621.923 А.Е.Борисоглебский, В.В.Елесин

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ШЛИФОВАНИИ, РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР

Тепловой процесс при шлифовании имеет сложный характер и может быть охарактеризован по крайней мере тремя видами температур: импульсной, средней контактной и поверхностной.

Импульсная температура возникает в зоне резания отдельных зерен круга.

Поскольку в резании одновременно участвует много зерен, то на площадке контакта круга с деталью существует большое количество локальных участков, нагретых до высокой температуры. В связи с быстрым распространением тепла из локальных участков происходит нагрев всей зоны контакта до определенной температуры, которую принято называть средней контактной температурой.

При высокой частоте прохождения шлифовального круга по одному и тому же участку обрабатываемой поверхности контактная температура не успевает снизиться до температуры детали, и поэтому на этом участке поверхности детали образуется повышенная температу-