

Розрахунок температури на плямі дотику при терті тіл з застосуванням металоплакуючого мастильного матеріалу на основі міді

В даній роботі проведений розрахунок температури на плямі дотику пари тертя, коли змінюється температуропровідність поверхневого шару. На підставі проведених розрахунків приведені графіки зміни температури на плямі контакту з часом.

металоплакуючі мастильні матеріали, пляма дотику пари тертя, температуропровідність

Одним з перспективних напрямків підвищення зносостійкості, роботоздатності і довговічності вузлів агрегатів механізмів і машин є застосування металоплакуючих мастильних матеріалів. Процес металоплакування реалізуючих при терті – утворення тонкої плівки пластичного металу на поверхнях тертя.

Новий м'який і тонкий шар на поверхнях забезпечує мінімальне тертя значно підвищує зносостійкість, змінює температурні властивості поверхневих шарів.

Метою даної роботи є визначення температури на плямі дотику при терті з застосуванням металоплакуючого мастильного матеріалу на основі міді.

Розглянемо рівняння для розрахунку температури на плямі дотику для кочення з взаємним ковзанням тіл. Для одновимірного розподілу температури рівняння має вигляд:

$$\frac{\partial T(z, \tau)}{\partial \tau} = A(\tau) \frac{\partial^2 T(z, \tau)}{\partial z^2}.$$

Це рівняння відрізняється від рівняння теплопровідності наявністю коефіцієнта температуропровідності $A(\tau) = a^2 \alpha(\tau)$, де a – стала; $\alpha(\tau)$ – функція, яка визначає зміну температури з часом внаслідок утворення тонкого шару провідного металу (наприклад, міді $a_{Cu}^2 = 1.145 \cdot 10^{-4}$ м²/с на поверхні сталі $a_{St}^2 = 1.244 \cdot 10^{-5}$ м²/с) [1]. Як видно відношення a_{Cu}^2 / a_{St}^2 становить приблизно 9.2. Визначимо функцію $\alpha(\tau)$, яка може мати вигляд кривої функції помилок, якщо утворений шар зберігається досить довго:

$$\alpha(\tau) = \frac{d+1}{2} \left[1 + \frac{d-1}{d+1} \operatorname{erf} \left(\frac{\tau - \tau^*}{f} \right) \right],$$

де τ^* – час, через який крива температуропровідності (ТП) набуває перегину (для даного випадку взято рівним 150 с.);

d, f – сталі.

Для спрощення розрахунків цю функцію можна представити наступним чином, де значення сталих дані в таблиці:

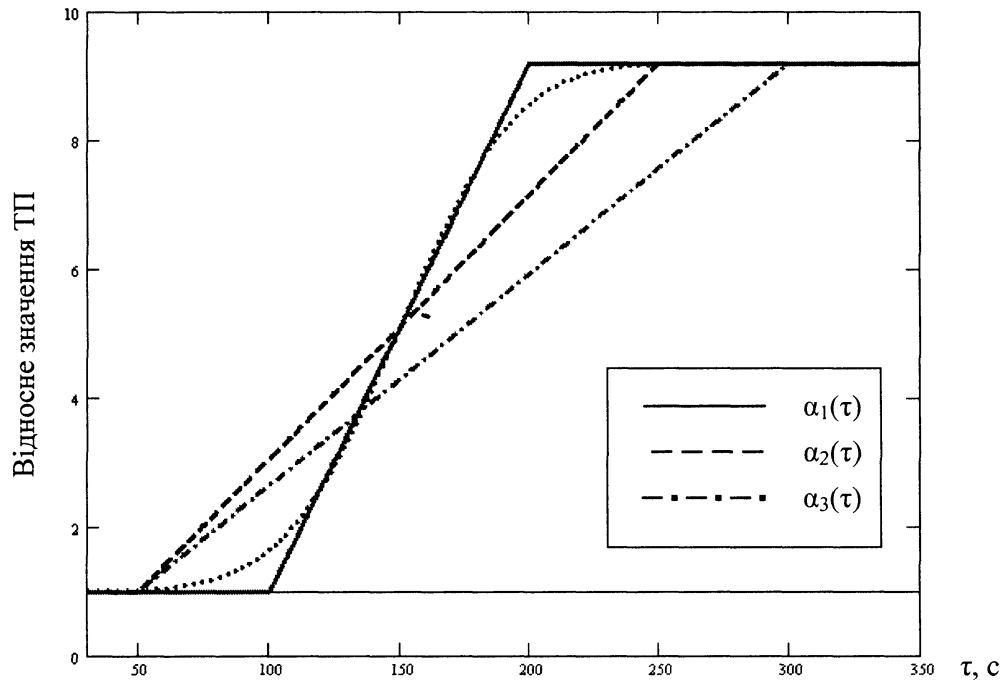
$$\alpha(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tau \leq b, \\ \frac{8.2}{c-b} (\tau - b) + 1, & \text{якщо } b < \tau < c, \\ 9.2, & \text{якщо } \tau \geq c. \end{cases} \quad (1)$$

Назва функції	Значення поворотних точок $\tau (b, c), c$
$\alpha_1(\tau)$	(100, 200)
$\alpha_2(\tau)$	(50, 250)
$\alpha_3(\tau)$	(50, 300)

Вигляд функцій $\alpha(\tau)$ представлено на рисунку 1.

Розрахунок інтегралу дає такий результат:

$$\int \alpha(\tau) d\tau = \begin{cases} \tau, & \text{якщо } \tau \leq b, \\ \frac{8.2}{(c-b)} \left(\frac{\tau^2}{2} - b\tau \right) + \tau, & \text{якщо } b < \tau < c, \\ 9.2 \tau, & \text{якщо } \tau \geq c. \end{cases} \quad (2)$$



Пунктиром позначена основна крива

Рисунок 1 - Профілі функцій $\alpha(\tau)$, які визначають зміну температури з часом внаслідок утворення тонкого шару провідного металу.

Приймемо граничні та початкові умови [2]:

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial z} = -q, \quad \frac{\partial T(\infty, \tau)}{\partial z} = 0, \quad T(z, 0) = T_{in}.$$

де q – градієнт температури ($z=0$), град/м;

T_{in} – початкове значення температури ($\tau=0$), градусів.

Для розв’язування використаємо метод інтегральних перетворень з нескінченними границями [3]. Нехай $K(z, \lambda)$ – ядро інтегрального перетворення, що дозволяє виключити диференціальні операції по z . Воно повинно задовольняти таким вимогам:

$$\frac{\partial^2 K}{\partial z^2} + \lambda^2 K = 0,$$

$$K|_{z=0} = 0, \quad K|_{z=\infty} < \infty,$$

звідси випливає, що слід застосувати косинус-перетворення Фур'є з точністю до множника ядро $K(z, \lambda) = \frac{2}{\pi} \cos \lambda z$, де $0 \leq \lambda < \infty$.

$$\int \frac{\partial^2 (TK)}{\partial z^2} dz = \int \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} K dz + \int \frac{\partial^2 K}{\partial z^2} T dz + 2 \int \frac{\partial K}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} dz,$$

$$\lambda^2 \bar{T} - \frac{1}{A(\tau)} \frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} = -2\lambda \int \frac{\partial T}{\partial z} \frac{2}{\pi} \sin \lambda z dz, \text{ де } \frac{2}{\pi} \int \frac{\partial T}{\partial z} \sin \lambda z dz = \left[\begin{array}{l} u = \frac{\partial T}{\partial z} \Rightarrow \partial u = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dz \\ dv = \sin \lambda z dz \Rightarrow v = -\frac{1}{\lambda} \cos \lambda z \end{array} \right] =$$

$$= \frac{2}{\pi} \left(-\frac{1}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial z} \cos \lambda z \Big|_0^\infty + \int_0^\infty \frac{1}{\lambda} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \cos \lambda z dz \right) = -q \frac{2}{\pi \lambda} - \lambda \bar{T}.$$

Перетворення дає рівняння:

$$\frac{1}{A(\tau)} \frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} + a^2 \lambda^2 \bar{T} = -\frac{4}{\pi} a^2 \lambda q. \quad (3)$$

де $\bar{T} = \bar{T}(\lambda, \tau) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty T(z, \tau) \cos(\lambda z) dz$. Розв'яжемо рівняння (3) по τ у загальному випадку:

$$\bar{T}(\lambda, \tau) = -\frac{4q}{\pi \lambda^2} + C e^{(-a^2 \lambda^2 \int a(\tau) d\tau)}. \quad (4)$$

Через те, що при початковому значенні часу ($\tau = 0$), значення функції (1) дорівнює 0, з виразу (4) маємо значення сталої C , використавши умову (3):

$$C = \frac{4q}{\pi \lambda^2}, \quad (5)$$

Підстановка (5) у (4) дає:

$$\bar{T}(\lambda, \tau) = -\frac{4q}{\pi \lambda^2} \left(1 - e^{-a^2 \lambda^2 \int a(\tau) d\tau} \right).$$

Здійснивши обернене перетворення з ядром $K_1(z, \lambda) = \cos(\lambda z)$, отримуємо:

$$T(z, \tau) = \int_0^\infty \bar{T}(\lambda, \tau) \cos(\lambda z) d\lambda = -\frac{4q}{\pi} \int_0^\infty \left(1 - e^{-a^2 \lambda^2 \int a(\tau) d\tau} \right) \frac{\cos(\lambda z)}{\lambda^2} d\lambda. \quad (6)$$

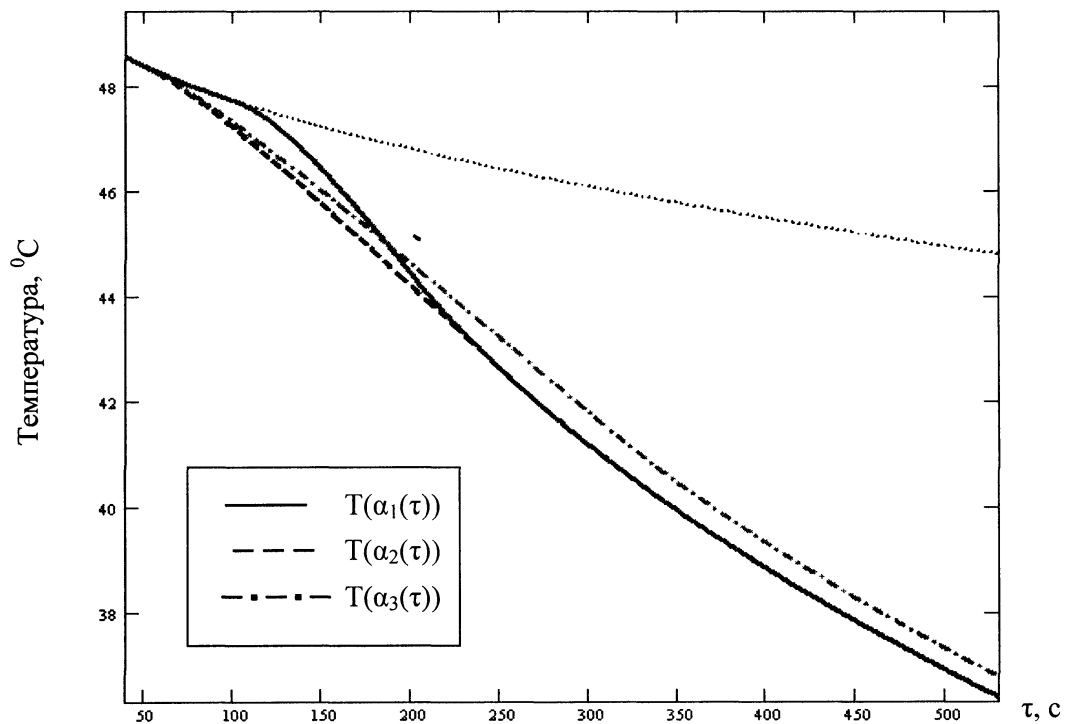
Обрахунок інтегралу дає наступне:

$$T(z, \tau) = T_{in} - 4q \left[-\frac{z}{2} + \frac{z \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2a\sqrt{\int a(\tau) d\tau}}\right)}{2} + \frac{a\sqrt{\int a(\tau) d\tau}}{\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{z}{2a\sqrt{\int a(\tau) d\tau}}\right)^2} \right].$$

В результаті отримуємо:

$$T(z, \tau) = T_{in} + \frac{-4q a \sqrt{\int a(\tau) d\tau}}{\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{z}{2a\sqrt{\int a(\tau) d\tau}}\right)^2} + 2q z \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2a\sqrt{\int a(\tau) d\tau}}\right) \right\}. \quad (7)$$

Для отримання кількісної картини процесу були взяті такі параметри: $q = 3 \cdot 10^8$ град/м, $T_{in} = 50$ градусів. Результат розрахунку з вказаними параметрами приведено на рисунку 2.



Пунктиром позначена крива, яка визначає зміну температури при сталій ТП

Рисунок 2 - Зміна температури з часом для функцій $\alpha(\tau)$

Аналіз розподілів температури для різних профілів ТП показує, що:

1) при збільшенні значення ТП температура зменшується з часом швидше, порівняно з випадком, коли ТП залишається сталою. Це вказує на появу шару з провідного металу.

2) для різних профілів ТП, поведінка кривої температури буде відрізнятись. Так, якщо утворення шару буде відбуватись раніше, а крива ТП буде більш полого, то температура почне зменшуватись раніше. Однак, як видно з малюнка 2, криві $T(\alpha_1(\tau))$ і $T(\alpha_2(\tau))$ з часом співпадуть.

Проведене дослідження не враховувало зміну характеристик в залежності від товщини утвореного шару провідного металу. Це не може вплинути якісно і кількісно на отриманий результат.

Список літератури

1. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия. 1977. - 343 с.
2. Дроздов Ю. Н., Арчegov В. Г., Смирнов В. И. Противозадирная стойкость трущихся тел. М.: Наука. 1981.- 140 с.
3. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М. М. Основные дифференциальные уравнения математической физики. М.: Физматгиз. 1962. -768 с.

В данной работе проведены расчеты температуры на пятне соприкосновения пар трения, когда меняется температуропроводность поверхностного слоя. В результате проведенных расчетов приведены графики изменения температуры на пятне контакта со временем.

In-process this the calculations of temperature are conducted on the spot of contiguity of pair of friction, when the diffusivity of superficial layer changes. As a result of the conducted calculations the graphs of change of temperature are resulted on the spot of contact in course of time.

Одержано 17.10.06