

УДК 539.3

**РОЗРАХУНОК КОНТАКТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТА
ЗНОШУВАННЯ ФРИКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛЕЖНО
ВІД КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ТА ЧАСУ ГАЛЬМУВАННЯ**

*С. Мягкота, д. ф.-м. н., В. Семерак, к. т. н.,
О. Пономаренко, к. ф.-м. н., В. Косарчин, к. ф.-м. н.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Під час відносного ковзання двох тіл у тонкому при поверхневому шарі генерується тепло, яке може спричинити локальне пом'якшення та розплавлення матеріалу. Після досягнення на ділянці контакту температур певного рівня відбуваються якісні зміни механічних і фрикційних властивостей матеріалу, внаслідок чого стрибкоподібно змінюється інтенсивність зношування, що майже завжди супроводжує тертя. У важко навантажених вузлах тертя, в яких теплоутворення особливо інтенсивне, під дією фрикційного нагрівання в матеріалі виникають температурні градієнти і, як наслідок, – температурні напруження. Теплові напруження в поверхневому шарі при терті часто більші за механічні. У результаті термічних напружень на поверхнях тертя (робочих поверхнях) можуть виникати тріщини. Поширюючись усередину тіла, вони зумовлюють руйнування деталей. Тому з метою підвищення їхньої зносостійкості необхідно вміти на етапі проектування давати рекомендації щодо обмеження рівнів температури та термонапружень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розрахунку температурного режиму гальма в працях [3, 5, 6] запропоновано математичну модель, згідно з якою максимальну температуру робочої поверхні можна представити як суму середньої температури номінальної ділянки контакту та температури спалаху. Середню температуру знаходять за допомогою розв'язку нестационарної задачі теплопровідності для двох напівбезмежних тіл за умови, що зміна температури з часом у довільній точці прямо пропорційна приросту об'ємної температури. Для визначення температури спалаху розглядають теплову задачу тертя про ковзання стрижня по поверхні півпростору. При цьому вважають, що інтенсивність теплового потоку внаслідок дії сил тертя в області контакту стала. Застосування одновимірних моделей для розв'язування теплових задач тертя під час гальмування зумовлене тим, що за нормальних умов тепловіддачі час

гальмування t_s значно менший від $10b_n/k_n$ ($n=1, 2$) (b_n, k_n – відповідно характерні розміри пар тертя та їх коефіцієнти температуропровідності) [4].

Постановка завдання. Визначимо середню температуру на ділянці контакту фрикційних елементів гальм, розв'язавши одновимірну нестационарну задачу теплопровідності для двох напівбезмежних тіл. Інтенсивність теплових потоків, що йдуть у кожне з тіл пари тертя, визначимо із системи нелінійних інтегральних рівнянь.

Виклад основного матеріалу. Розроблено методику для теплового розрахунку вузлів тертя гальмівних систем, що базується на розв'язку нестационарної задачі теплопровідності для двох напівбезмежних тіл без будь-яких обмежень на інтенсивність фрикційного теплового потоку. Розглянемо два тіла, що стискаються нормальним розподіленням навантаженням. Верхній півпростір (тіло 1) ковзає по нижньому (тіло 2) уздовж осі у декартової системи координат xz з початком на поверхні розділу матеріалів. Внаслідок дії сил тертя на поверхні контакту $z=0$ відбувається гальмування тіла 1, яке супроводжується теплоутворенням та зношуванням робочих поверхонь. Для визначення швидкості ковзання V , температури T та зношування I в довільний момент часу $0 \leq t \leq t_s$ (t_s – час зупинки) побудовано розв'язок теплової задачі тертя.

$$M \frac{d}{dt} V(t) = -F, \quad 0 \leq t \leq t_s, \quad (1)$$

$$p(t) = p_0 [1 - \exp(-t/t_m)] [1 + B_1 \sin(B_2 t/t_m)], \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} T_n(z, t) = \frac{1}{k_n} \frac{\partial}{\partial t} T_n(z, t), \quad 0 \leq t \leq t_s, \quad z > 0 \text{ для } n=1, \quad z < 0 \text{ для } n=2 \quad (3)$$

$$K_2 \frac{\partial}{\partial z} T_2(0, t) - K_1 \frac{\partial}{\partial z} T_1(0, t) = q(t), \quad (4)$$

$$T_1(0, t) = T_2(0, t), \quad 0 \leq t \leq t_s, \quad (5)$$

$$T_n(z, 0) = 0, \quad z > 0 \text{ для } n=1, \quad z < 0 \text{ для } n=2, \quad (6)$$

де $F = f(T)p(t)$ – сила тертя на одиницю площі; M – маса, віднесена до одиниці площі; t_m – параметр, що характеризує тривалість збільшення навантаження від нуля до максимального значення p_0 ; B_1

– амплітуда коливань; B_2 – частота коливань притискувальної сили. Інтенсивність фрикційного теплового потоку на поверхні розділу матеріалів дорівнює питомій потужності сил тертя:

$$q(t) = f(T) V(t) p(t), \quad 0 \leq t \leq t_s, \quad (7)$$

а залежність коефіцієнта тертя від температури для трибосистеми фрикційна металокераміка ФМК-11 – чавун ЧХМХ має вигляд [1]:

$$f(T) = f_0 f^*(T), \quad f^*(T) = \exp(-\lambda T), \quad (8)$$

де f_0, λ – коефіцієнти, які визначають експериментально.

Приймаємо абразивний закон зношування [2]:

$$I(t) = \int_0^t m(T) q(t') dt', \quad 0 \leq t \leq t_s, \quad (9)$$

де $I(t) = I_1(t) + I_2(t)$, $I_n(t)$ – переміщення робочих поверхонь тіл уздовж осі z унаслідок зношування, $m(T) = m_0 m^*(T)$ – коефіцієнт зношування [5],

$$m^*(T) = d_0 + d_1 T(t) + \frac{d_2}{\{d_3 [T(t) - T_1^w]\}^2 + 1} + \frac{d_4}{\{d_5 (T(t) - T_2^w)\}^2 + 1}, \quad (10)$$

$T_n^w, n = 1, 2, d_j, j = 0, 1, \dots, 5$ – коефіцієнти, які визначають експериментально.

Застосувавши до системи диференціальних рівнянь та крайових умов (1) – (6) інтегральне перетворення Лапласа за часом t з урахуванням залежностей (7) – (10), отримали систему нелінійних інтегральних рівнянь:

$$V^*(\tau) = 1 - \delta^{-1} \int_0^\tau f^*(T_0 T^*) p^*(\tau') d\tau', \quad f^*(T_0 T^*) = \exp(-\beta T^*) \quad (11)$$

$$p^*(\tau) = [1 - \exp(-\tau)] [1 + B_1 \sin(B_2 \tau)], \quad (12)$$

$$T_n^*(z, \tau) = \int_0^\tau G_n(z, \tau - \tau') f^*(T_0 T^*) V^*(\tau') p^*(\tau') d\tau', \quad (13)$$

$$I^*(\tau) = \int_0^\tau f^*(T_0 T^*) V^*(\tau') p^*(\tau') m^*(T_0 T^*) d\tau', \quad (14)$$

$$G_n(z, \tau) = \exp\{-[z^2 / (4\tau t_m k_n)]\} / \sqrt{\tau}, \quad n = 1, 2, \quad (15)$$

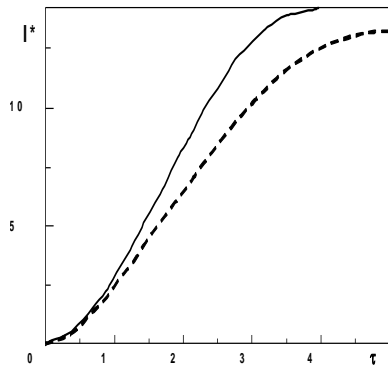


Рис. 1. Зміна значення безрозмірного зношування $I^* = I/I_0$ під час гальмування.

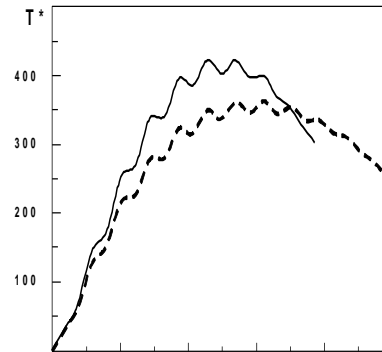


Рис. 2. Еволюція безрозмірної контактної температури $T^* = T/T_0$.

Висновки. Проведений числовий аналіз показав, що врахування зменшення коефіцієнта тертя з підвищенням температури призводить до збільшення часу гальмування, а також часу τ_{\max} . Контактна температура (див. рис. 2) та зношування (див. рис. 1) при цьому зменшуються.

Бібліографічний список

1. Гинзбург А. Г. К расчету износа при торможении с применением системы уравнений тепловой динамики трения / А. Г. Гинзбург, А. В. Чичинадзе // Трение и износ фрикционных материалов. – М. : Наука, 1977. – С. 26–30.
2. Гриліцький Д. В. Термопружні контактні задачі в трибології/ Д. В. Гриліцький. – К. : ІЗМН, 1996. – 204 с.
3. Євтушенко О. О. Плоска змішана квазістаціонарна задача теплопровідності для півпростору, що нагрівається високошвидкісним розподіленим потоком тепла / Євтушенко О. О., Семерак В. М. // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2012. – Т. 45, № 2. – С. 124–129.
4. Игнатъева З. В. Об учете теплового эффекта перлитоаустенитного превращения при анализе температуры контактной поверхности при трении с интенсивным тепловыделением / З. В. Игнатъева // Трение и износ фрикционных материалов. – М. : Наука, 1977. – С. 69–72.
5. Расчет, испытание и подбор фрикционных пар / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, А. Г. Гинзбург, З. В. Игнатъева. – М. : Наука, 1979. – 267 с.

6. Чичинадзе А. В. Расчет и исследование внешнего трения при торможении / А. В. Чичинадзе. – М. : Наука, 1967. – 231 с.

Мягкота С., Семерак В., Пономаренко О., Косарчин В. Розрахунок контактної температури та зношування фрикційних елементів залежно від коефіцієнта тертя та часу гальмування

Отримано аналітичні формули для визначення контактної температури та зношування фрикційних елементів.

Ключові слова: температура, зношування, контактний тиск, фрикційне нагрівання, коефіцієнт тертя, час гальмування.

Myagkota S., Semerak V., Ponomarenko A., Kosarchyn V. Calculation contact temperature friction and wear items based on the coefficient of friction and braking time.

The analytical formulas for determining vylychyny contact temperature friction and wear elements.

Key words: temperature, wear, contact pressure, frictional heat, friction, braking time.

Мягкота С., Семерак В., Пономаренко А., Косарчин В. Расчет контактной температуры и износа фрикционных элементов в зависимости от коэффициента трения и времени торможения

Получены аналитические формулы для определения величины контактной температуры и износа фрикционных элементов.

Ключевые слова: температура, износ, контактное давление, фрикционный нагрев, коэффициент трения, время торможения.