

УДК 539.3

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ КАРТ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ЗНОШУВАННЯ ДЛЯ ПРОСТОРОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТІЛ

Пир'єв С.Ю., Євтушенко О.О.

Українська Академія Друкарства, Ін-т прикл. проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України, pyrjev.lvov@gmail.com

Розглядається термопружний півпростір, по поверхні якого із постійною швидкістю V рухається розподілене в області S (еліпс з півосями a і b) механічне (нормальні і дотичні зусилля) і теплове (тепловий потік) навантаження (рис. 1). Вважаємо, що розподіл нормальних зусиль герцівський $p(x, y) = p_0 p^*(x, y)$, $p^*(x, y) = \sqrt{1 - (x/a)^2 - (y/b)^2}$, а дотичні зусилля пов'язані з нормальними згідно закону Кулона зі сталим коефіцієнтом тертя f . Інтенсивність фрикційного теплового потоку, скерованого по нормалі у півпростір, пропорційна до питомої потужності тертя.

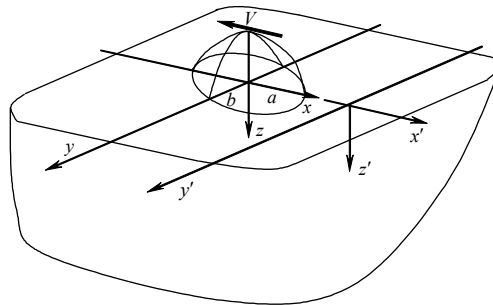


Рис. 1. Схема задачі

Просторове нестационарне температурне поле та квазістатичний напружений стан півпростору, зумовлені дією на його поверхні такого механічного і теплового навантаження, знайдено у працях [1, 2]. У цій праці покажемо одне із можливих застосувань таких результатів – а саме, під час побудови карт термомеханічного зношування, що використовуються для підбору матеріалів вузлів тертя машин на етапі проектування. Методику побудови цих карт у випадку осесиметричного та плоского термонапруженого стану тіл для сталі ШХ-15 запропоновано у працях [3-5].

Згідно термомеханічного критерію зношування поверхні контакту під дією фрикційного механічного і теплового навантаження відбувається

внаслідок переходу матеріалу із пружного до пластичного стану [3]. Відомо, що матеріал в деякій точці тіла починає текти, якщо в цій точці виконується нерівність [6]

$$\sqrt{3J_2} \geq \sigma_Y \quad (1)$$

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)], \quad (2)$$

де σ_Y – границя текучості матеріалу, σ_{ij} – компоненти тензора напружень [2]. Залежність границі текучості σ_Y сталі ШХ-15 від температури T при одновісному розтязі лінійна [7]:

$$\sigma_Y = \sigma_Y^0 - \alpha \text{HB}_0 T, \quad (3)$$

де $\sigma_Y^0 = 2,3$ ГПа, $\text{HB}_0 = 6,91$ ГПа – границя текучості та твердість сталі ШХ-15 при кімнатній температурі відповідно, $\alpha = 0,957 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Із урахуванням залежності (3) нерівність (1) запишемо у безрозмірному вигляді:

$$\frac{p_0}{\sigma_Y^0} \geq \left[\max_{Z=0} \left(\sqrt{3J_2^*} + G_{th} \frac{\alpha(1-\nu)\text{HB}_0 Pe}{6(1+\nu)\mu\alpha_t} T^* \right) \right]^{-1}, \quad (4)$$

де безрозмірний параметр

$$G_{th} = \frac{2(1+\nu)f\mu\alpha_t k}{K(1-\nu)}, \quad (5)$$

відомий під назвою “термоконтактний критерій” [8], $Pe = Va/k$ – число Пекле, $\mu = 84,28$ ГПа – модуль зсуву, $\nu = 0,28$ – коефіцієнт Пуассона, $K = 38,52$ Вт/(м К), $k = 0,965$ м²/с, $\alpha_t = 14,0 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ – коефіцієнти тепло- і температуропровідності та лінійного теплового розширення відповідно, $T^* = T/T_0$, $J_2^* = J_2/p_0^2$, $T_0 = fVp_0a/K$. Нерівність (4) і є температурно-залежним критерієм початку пластичного зношування.

Обчислення проведено для $a = 0,5$ мм, $b = 1$ мм. Залежності величини, обереної до максимального критичного напруження (права частина нерівності (4)), від термоконтактного критерію G_{th} для декількох значень числа Пекле показано на рис. 2. Ця залежність має нелінійний характер, оскільки параметр G_{th} є не тільки множником в правій стороні нерівності (4), але й входить неявно до виразів для компонент тензора напружень. Криву $Pe = 0$ побудовано за дії нерухомого нормального і дотичного навантаження коли відсутнє фрикційне нагрівання. Зі збільшенням параметра G_{th} , що відповідає збільшенню внеску термічних напружень у загальний напружений стан, максимальне критичне напруження збільшується. Бачимо, що для фіксовано-

го значення параметра G_{th} максимальне критичне напруження збільшується також зі збільшенням числа Пекле.

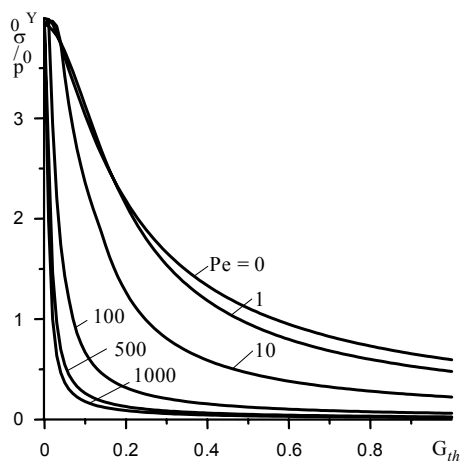


Рис. 2. Карта термомеханічного критерію зношування для сталі ШХ-15.

З іншої сторони на цьому рисунку вздовж осі ординат відкладено безрозмірний максимальний тиск Герца p_0/σ_Y^0 . Для заданих значень p_0/σ_Y^0 і G_{th} на рис. 2 визначаємо експлуатаційну точку, а по її розташуванню відносно критичного напруження робимо висновок якою повинна бути швидкість ковзання V (число Пекле), щоб згідно критерію (4) можна було уникнути пластичного зношування. Для цього на рис. 2 виділимо дві області. Вище кривої $Pe = 0$ нерівність (4) виконується для довільного навантаження, тобто матеріал завжди перебуває у пластичному стані за відсутності температурних напружень (область негайного зношування). Якщо експлуатаційна точка перебуває у цій області, то матеріал тече навіть за відсутності ковзання. Нижче кривої $Pe = 0$ розміщена область умовного зношування – пластичне зношування розпочнеться для значення числа Пекле, яке знаходимо із кривої, до якої належить експлуатаційна точка. Щоб уникнути зношування на робочій поверхні, потрібно або зменшити прикладене навантаження (параметр p_0/σ_Y^0) або коефіцієнт тертя (термоконтактний критерій G_{th}).

1. Пир'єв С. Ю., Євтушенко О. О. Просторова квазістаціонарна фрикційна задача для півпростору // Сучасні проблеми механіки і математики. Тези доп. конф. молодих вчених ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів, 24-27 травня 2005 р. – 2005. – С. 118-119.

2. Євтушенко О. О., Пир'єв С. Ю. Напружений стан півпростору, зумовлений дією на його поверхні рухомого механічного та теплового навантаження // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2007. – **50**, №2. – С. 94-100.
3. Евтушенко А.А., Уханская О.М. Термомеханический критерий изнашивания // Трение и износ. – 1994. – **15**, №3. – С. 379-388.
4. Євтушенко О.О., Іванік С.Г., Горбачова Н.В. Температура та напруження в околі фрикційного контакту мікроступів під час гальмування // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1996. – № 6. – С. 72-80.
5. Yevtushenko A.A., Chapovska R. Investigation of friction-induced thermal processes for some non-Hertzian fast-moving plane contacts // Int. J. Mech. Sci. – 1996. – **38**, № 38. – P. 1103-1116.
6. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – 856с.
7. Мардавян М.Е. Марочник конструкционных сталей станкостроения. - Москва, Центральное бюро технической информации, 1958. – 143 с.
8. Коровчинский М.В. Основы теории термического контакта при локальном трении// Новое в теории трения. М.: Наука, 1966, ч. 1. – С. 98-145.

TECHNIQUE OF CONSTRUCTION OF THE THERMOMECHANICAL WEAR MAPS FOR THREEDIMENSIONAL STRESSES STATE OF BODIES

The technique of construction of the thermomechanical wear maps of structural materials in three-dimensional stress state is proposed. Construction of such maps for a given material consists in consecutive performance of following steps: a) determination of temperature field and thermal stress state of semi-infinity body with the moving mechanical and thermal loads distributed in the local area on its surface; definition of the dependence of yield strength on temperature; construction of dependencies of the maximal value of a critical stress from thermo contact criterion at different values of the Peclet numbers; finding of a curve on which the operational point gets; determination of the value of the Peclet number, at which the thermo-mechanical wear of the material may have the beginning. The map of thermomechanical wear process of steel ShKh-15 is constructed.