УДК 539.3

Д.В.Грилицький, В.П.Баран

ПРО ПОСТАНОВКУ КОНТАКТНИХ ЗАДАЧ ТЕРМОПРУЖНОСТІ З ВРАХУВАННЯМ ТЕПЛОУТВОРЕННЯ ПРИ НЕІДЕАЛЬНОМУ ТЕПЛОВОМУ КОНТАКТІ ТІЛ

В аналітичних дослідженнях, присвячених контактним задачам термопружності з врахуванням теплоутворення від сил тертя на ділянці контакту, дана постановка і побудовані розв"язки окремих задач за умови, як правило, ідеального термоконтакту тіл [4]. Але реально між співдотичними тілами контакт існує не по ідеалізованій гладкій поверхні, а по площі контакту, що визначається мікрогеометрією поверхні. Пустоти при фактичному контакті заповнені повітрям і продуктами спрацювання. Відбувається також забруднення поверхонь, що труться, основна частина яких складається з окисних шарів [5]. Отже, між співдотичними тілами наявний неідеальний тепловий контакт.

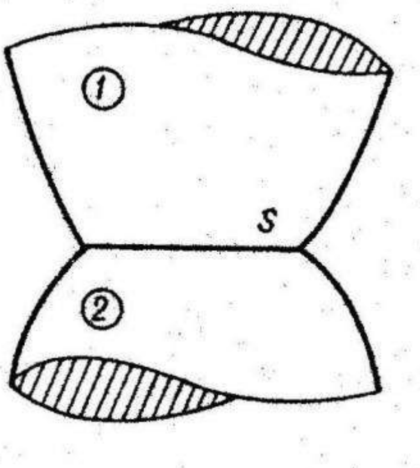

Рис. I

У працях [I,2] наведені результати, отримані при розв"язанні окремих плоских і осесиметричних контактних задач такого типу та допущенні частинних випадків умов неідеального контакту тіл. Але оскільки тонкі прошарки матеріалів кожного зі співдотичних тіл у межах ділянки контакту набувають нових властивостей (механічних, теплофізичних тощо), відмінних від властивостей заданих матеріалів [5], то під час контактування двох тіл можна вважати, що маємо три тіла і кожне зі своїми властивостями. Врахування цього особливо важливе при постановці й побудові розв"язків контактних задач з врахуванням розігрівання [3].

Припустимо, що тепловий контакт двох тіл відбувається через третє тіло - тонкий проміжний шар, який має свої теплофізичні характеристики. Наявність проміжного шару приводить до неідеальності теплового контакту двох заданих тіл, аналітичні умови якого вперше вивів Я.С.Підстригач [6]. На ділянці контакту S

(рис. I) вони мають вигляд

$$\lambda\Delta(t^{(1)}+t^{(2)})+2\left(\lambda^{(1)}\frac{\partial t^{(1)}}{\partial n}-\lambda^{(2)}\frac{\partial t^{(2)}}{\partial n}\right)=c\left(\dot t^{(1)}+\dot t^{(2)}\right)+f\tau_n\,,$$

$$\lambda\Delta(t^{(1)}-t^{(2)})+6\left(\lambda^{(1)}\frac{\partial t^{(1)}}{\partial n}+\lambda^{(2)}\frac{\partial t^{(2)}}{\partial n}\right)-12h(t^{(1)}-t^{(2)})=c(\dot t^{(1)}-\dot t^{(2)}). \qquad (I)$$

На контурі L_0 ділянки контакту при нульовій температурі зовнішнього середовища наявні умови теплообміну

$$\lambda\frac{\partial(t^{(1)}+t^{(2)})}{\partial n_0}+\alpha_0(t^{(1)}+t^{(2)})=0\,,$$

$$\lambda\frac{\partial(t^{(1)}-t^{(2)})}{\partial n_0}+\alpha_0(t^{(1)}-t^{(2)})=0. \qquad (2)$$

В умовах (I) і (2) прийняті такі позначення: c,λ,h і α_0 – відповідно приведена теплоємність, теплопровідність, теплопроникливість проміжного шару та коефіцієнт теплообміну між бічною поверхнею проміжного шару та зовнішнім середовищем; $\lambda^{(j)}, t^{(j)}$ $(j=1,2)$ – коефіцієнти теплопровідності та температура тіл; Δ – оператор Лапласа; n – нормаль до контактної поверхні тіл; n_0 – нормаль до контуру ділянки контакту; τ_n – дотичне напруження на ділянці контакту; f – коефіцієнт, що залежить від відносної швидкості переміщення тіл та коефіцієнта тертя.

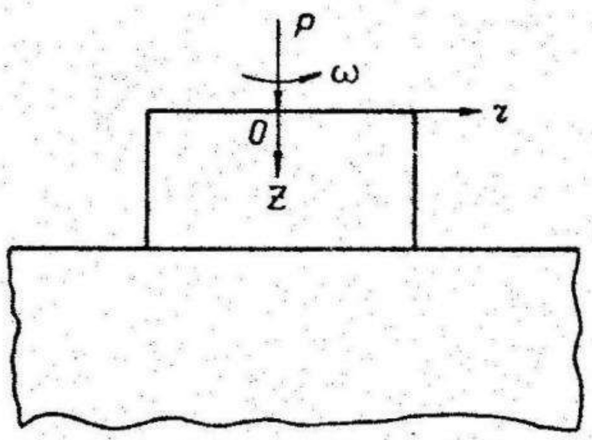

Рис. 2.

Співвідношення (I) представляють собою найбільш повні умови неідеального теплового контакту двох тіл. Із них при певних допущеннях одержують частинні випадки умов, які використовують в літературі при розв"язанні граничних задач з тепловиділенням на ділянці контакту. Зауважимо, що з допомогою умови (2) знаходять коефіцієнт теплообміну α_0 з бокової поверхні проміжного шару.

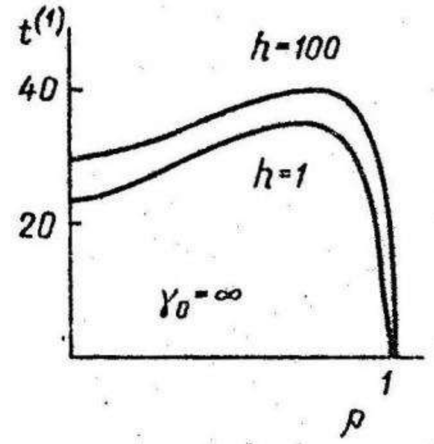

Рис. 3.

Коефіцієнти λ, h, c залежать від багатьох факторів. Їхнє кількісне значення можна одержати на основі використання експериментальних даних і теоретичного аналізу задач, тобто на основі теоретико-експериментальної методики.

Проілюструємо застосування умов (I) на прикладі осесиметричної задачі теплопровідності з врахуванням теплоутворення (рис. 2).

Розглянемо цю задачу припускаючи, що на ділянці контакту нормальні напруження розподілені рівномірно $\sigma_z = P/\pi a^2$ (пружний штамп на жорсткому півпросторі) і наявний стаціонарний режим теплоутворення.

Умови (I), якщо знехтувати теплопровідністю проміжного шару в радіальному напрямі, мають вигляд

$$z=H,\ \lambda^{(1)}\frac{\partial t^{(1)}}{\partial z}-\lambda^{(2)}\frac{\partial t^{(2)}}{\partial z}=k\omega r\sigma_z,\quad 0\le r<a; \tag{3}$$

$$z=H,\ \lambda^{(1)}\frac{\partial t^{(1)}}{\partial z}+\lambda^{(2)}\frac{\partial t^{(2)}}{\partial z}-h(t^{(1)}-t^{(2)})=0,\ 0\le r<a. \tag{4}$$

На всіх вільних поверхнях тіл наявний теплообмін за законом Ньютона:

$$z=H,\ \frac{\partial t^{(2)}}{\partial z}-\gamma_H t^{(2)}=0,\quad a<r<\infty; \tag{5}$$

$$z=0,\ \frac{\partial t^{(1)}}{\partial z}-\gamma_0 t^{(1)}=0,\quad 0\le r<a; \tag{6}$$

$$r=a,\ \frac{\partial t^{(1)}}{\partial r}+\gamma_a t^{(1)}=0,\ 0\le z\le H, \tag{7}$$

а $t^{(i)}$ задовольняють рівняння

$$\Delta t^{(i)} = 0 \qquad (i=1,2). \tag{8}$$

Для циліндра рівняння теплопровідності (8) розв"язано методом прямих. Для півпростору використовували інтегральне перетворення Ханкеля. Після задоволення граничних умов (3)-(7) одержана система алгебраїчних рівнянь на деякі коефіцієнти, через які знаходили температуру і теплові потоки на ділянці контакту. На рис. 3 зображені температури $t^{(1)}$ і $t^{(2)}$ на ділянці контакту при різних значеннях h. Вплив коефіцієнтів γ_a і $\gamma_н$ проілюстрований на рис. 4. Матеріал півпростору - сталь ($\lambda^{(2)} = 45.4$ Вт/м.К) циліндра - алюміній ($\lambda^{(1)} = 209.3$ Вт/м.К).

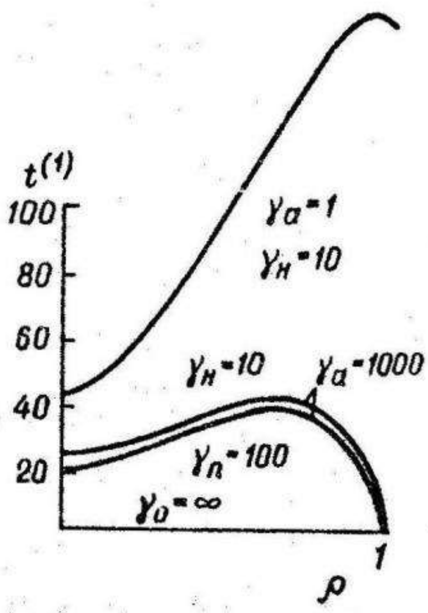

Рис. 4.

1. Г р и л і ц ь к и й Д.В. Система сингулярних інтегральних рівнянь для плоскої контактної задачі термопружності при стаціонарному тепловиділенні на ділянці контакту // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. мех.-мат. 1984. Вып. 22. С. 29-33. 2. Г р и л и ц к и й Д.В., О к р е п к и й Б.С. Осесимметричная контактная задача термоупругости о давлении вращающегося штампа на слой // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1984. № 1. С. 22-30. 3. Г р и л и ц к и й Д.В., Б а р а н В.П., Е в т у ш е н к о А.А. Задачи трения с тепловыделением для упругих цилиндрических тел // Трение, износ и смазочные материалы: Тр. Международной науч. конф. Ташкент, 22-26 мая 1985 г. М., 1985. С. 24-27. 4. К о р о в ч и н с к и й М.В. Термоупругий локальный контакт высоконагруженных деталей машин с учетом изнашивания и тепловыделения от трения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1983. 5. М у р Д. Основы и применение трибоники. М., 1978. 6. П о д с т р и г а ч Я.С. Температурное поле в системе твердых тел, сопряженных с помощью промежуточного слоя // Инж.-физ. журн. 1963. Т. 6. № 10. С. 129-136.

Стаття надійшла до редколегії 14.04.86