

УДК 539.374:621.78

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КОНТАКТНИХ БІМЕТАЛЕВИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Тетяна Бардин<sup>1</sup>, Богдан Дробенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів;

<sup>2</sup>Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів

Засоби математичного моделювання процесів деформування контактних термоперетворювачів за дії температурного навантаження застосовують для визначення їхніх нормативних метрологічних характеристик. Зокрема дослідження температурних напружень і пов'язаних з ними деформацій має вирішальне значення для адекватного функціонування біметалевого термометра в контактній термометрії. Внаслідок різних фізико-механічних характеристик шарів, передусім коефіцієнтів температурного розширення, біметалевий термоперетворювач при нагріванні деформується (переважно згинається). За таких обставин напруження в біметалевих елементах під час експлуатації можуть досягати значної величини, і процес деформування може бути суттєво нелінійним.

Розглянуто біметалевий термочутливий елемент як двошарову смугу з прямолінійним у вихідному стані поперечним перерізом. Досліджено процес деформування смуги за її рівномірного нагрівання (методика легко поширюється на стрижневі, пластинчаті та оболонкові моделі). Нелінійну залежність зміни кривини шару від температури нагрівання  $t$  можна подати у вигляді [1]:

$$\frac{1}{R^*} - \frac{1}{R} = K_t(\beta_0, \beta_t) \frac{3}{2} \frac{\beta_1 - \beta_2}{hK_{12}} t, \quad (1)$$

$$\beta_0 = \sqrt[4]{3(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{B^2 E'}{RhE''}}, \quad (2)$$

$$\beta_t = \sqrt[4]{3(1-\nu^2)} \frac{B}{h} \sqrt{\frac{3E' \beta_1 - \beta_2}{2E'' K_{12}}} t, \quad (3)$$

де  $\beta_1, \beta_2$  – коефіцієнти температурного розширення; коефіцієнти Пуассона шарів вважаємо рівними ( $\nu_1 = \nu_2 = \nu$ ); коефіцієнт  $K_t$  визначається для різних значень початкової кривини і може подаватись у вигляді номограми; коефіцієнт

$$K_{12} = 1 + \frac{(1-en^2)^2}{4en(1+n)^2} \left( e = \frac{E_2}{E_1}, n = \frac{h_2}{h_1} \right)$$

є функцією відношення модулів пружності  $E_1$ ,  $E_2$  і товщин  $h_1$ ,  $h_2$  шарів. Відношення приведених модулів пружності для двохшарової смуги, яка присутня у виразах (2) і (3) при  $v' = v'' = v$  визначається формулою [1]

$$\frac{E'}{E''} = \frac{(1+n)^2(1+en)}{4(1+en^3) - 3 \frac{(1-en^2)^2}{1+en}}$$

Кожній початковій кривині смуги (визначається параметром  $\beta_0$ ) відповідає своя нелінійна характеристика згину; малим значенням  $\beta_t \ll 1$  відповідає лінійне наближення. При малих переміщеннях коефіцієнт  $K_t$  у формулі (1) змінюється у межах від  $K_t = 1$  до  $K_t = 1 + v \approx 1,3$ .

Для прямої смуги ( $\beta_0, \beta_t \ll 1$ )  $K_t = 1$  і співвідношення (1) збігається з класичною формулою [2]. За таких обставин співвідношення для розглядуваної смуги збігаються з відповідними для пластини. У результаті дії моменту  $M^t$ , прикладеного до краю, залежність (1) має вигляд  $\frac{1}{R^*} - \frac{1}{R} = \frac{M^t}{(1+v)D}$ .

Викривлення поперечного перерізу обмежене зоною крайового ефекту, яка охоплює тим меншу частину ширини смуги, чим більше значення параметра  $\beta_0$ .

Температурна деформація, яка має місце у даному випадку нелінійності, стосується випадку, коли довжина смуги велика порівняно з шириною. Якщо вони одного порядку, то нелінійність проявляється більше. Квадратна пластинка за змінного по товщині коефіцієнта температурного розширення або дії моменту на всьому краю, може навіть втрачати стійкість. Кривина в площинах симетрії однакова лише до деякої межі. Перевищення критичної зміни температури викликає перехід пластини до форми, близької до циліндричної.

1. Аксельрад Э. Л. Гибкие оболочки. – Москва: Наука, 1976. – 376 с.
2. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. – Москва: Мир, 1964. – 322 с.

## THE STRESS-STRAIN STATE OF CONTACTING BIMETALLIC THERMAL TRANSDUCERS

*An approach to explore the nonlinear stress-strain state in bimetallic thermal transducers taking into account the changes of temperature is proposed. A bimetallic thermosensitive element is considered as a two-layer strip with a rectilinear cross-section in the initial state. The results can be used for the development and creation of bimetallic thermal transducers of various configurations and types of measure.*