

УДК 539.3:536.424

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ФАЗОВИЙ СКЛАД І НАПРУЖЕНИЙ СТАН БІМЕТАЛЕВОЇ КОНСОЛІ, ОДНОМУ З ШАРІВ ЯКОЇ ПРИТАМАННА ПАМ'ЯТЬ ФОРМИ

Володимир Асташкін<sup>1</sup>, Олексій Онишко<sup>1</sup>, Богдан Боженко<sup>2</sup>, Аніда Станік-Беслер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів;

<sup>2</sup> Політехніка Опольська, м. Ополье, Республіка Польща

В сучасній техніці широко застосовують деталі машин і механізмів, виготовлені на основі сплавів, в яких у певному діапазоні температур відбувається фазове мартенситне перетворення. Такі матеріали в літературі прийнято називати сплавами з пам'яттю форми. Раніше [1] за участю авторів з використанням методів механіки суцільного середовища і термодинаміки нерівноважних процесів, а також результатів експериментальних матеріалознавчих досліджень, розроблено математичну модель кількісного опису термомеханічних процесів у тілах з таких матеріалів. У даній роботі з використанням цієї моделі досліджено напружений стан і зміну фазового складу двошарової консолі, в якій для матеріалу одного з шарів притаманний ефект пам'яті форми.

Розглянуто біметалеву консоль товщини  $2h$  ( $-h \leq y \leq h$ ), і довжини  $\ell$  ( $0 \leq x \leq \ell$ ) що знаходиться під дією згинальної сили  $P$ , прикладеної до кінця консолі. Один із шарів консолі (шар I – область  $-h \leq y \leq y_0$ ) виготовлений зі сплаву з пам'яттю форми, а другий (шар II – область  $y_0 \leq y \leq h$ ) – із конструкційної сталі. Приймається, що у початковому стані матеріал шару I перебуває в аустенітній фазі (відносний вміст мартенситу  $\Xi = 0$ ). Температура  $T$  консолі вважається постійною.

За розглядуваного стану в частині  $-h \leq y \leq y_1$  шару I відбувається фазове перетворення і відповідно утворюється суміш аустеніту і мартенситу. В частині  $y_1 \leq y \leq y_0$  фазовий склад залишається незмінним ( $\Xi = 0$ ). При цьому розподіл напружень в консолі описується виразом

$$\sigma_{xx} = \begin{cases} \frac{ED_2x}{(1+\nu)D_1\ell} b_2(y-y_1), & -h \leq y \leq y_1, \\ \frac{Ex}{(1-\nu^2)\ell} b_1(y-y_1), & y_1 \leq y \leq y_0, \\ \frac{E_0x}{(1-\nu_0^2)\nu} (b_0(y-y_0) + b_1(y_0-y_1)), & y_0 \leq y \leq h. \end{cases}$$

Після зняття навантаження ( $P = 0$ ) фазовий стан, досягнутий в шарі I на попередньому етапі, не змінюється. Тому в консолі виникають залишкові напруження

$$\sigma_{xx} = \begin{cases} \frac{E}{1-\nu^2} \left( (a_2^* + b_2^* y) + \frac{D_3}{D_1} b_2 (y - y_1) \right) \frac{x}{\ell}, & -h \leq y \leq y_1, \\ \frac{E}{1-\nu^2} (a_1^* + b_1^* y) \frac{x}{\ell}, & y_1 \leq y \leq y_0, \\ \frac{E_0}{1-\nu_0^2} (a_0^* + b_0^* y) \frac{x}{\ell}, & y_0 \leq y \leq h. \end{cases}$$

На основі отриманих аналітичних розв'язків виконано числові розрахунки розподілу залишкових напружень по товщині консолі, один з шарів якої виготовлений із сталі 60Г, а другий – із нікеліду титану. Розглянуто різні співвідношення між товщинами шарів.

Виявлено істотний вплив фазового перетворення на розподіл залишкових напружень за товщиною консолі. Результати проведених досліджень можуть бути використані при розробці режимів експлуатації двошарових функціональних елементів машин і механізмів, одна зі складових частин яких виготовлена з матеріалу з пам'яттю форми.

1. Асташкин В., Боженко Б., Будз С., Оньшико А. Моделирование с использованием инвариантов тензоров напряжений и деформаций термомеханических процессов в твердых телах при технологическом нагреве // Projektowanie procesów i systemów technologicznych. – Lublin: Societas Scientarium Lublinensis, 2003. – С. 164–170.

#### STUDY OF THE INFLUENCE OF FORCE LOADING ON THE PHASE AND STRESS STATE OF A BIMETAL CONSOLE, ONE OF THE LAYERS OF WHICH EXHIBITS THE SHAPE MEMORY

*On the basis of a model for quantitative description of a thermomechanical behavior of shape memory materials built with using the methods of solid mechanics and thermodynamics of non-equilibrium processes, the phase composition and stress state of two-layer console made of steel and nitinol under action of the bending force and after its removal is analyzed. The calculations made for the various ratios between the thicknesses of layers. It is shown that under such conditions there occurs variable thickness distribution of martensite in the layer, resulting in the formation of inhomogeneous residual stress-strained state.*