

## Чисельне моделювання та розрахунок задачі термомеханіки шарової пластини

Руслан ГОРДОВИЙ,

Миколаївський національний аграрний університет  
м. Миколаїв, Україна

**Анотація.** В роботі досліджується за допомогою програмного засобу FEMAP напружено-деформований стан шарових пластин у відповідь на теплові граничні умови на прикладі біметалевої пластинки «алюміній – сталь». Проаналізовано розподіл температури в шаровій пластинці при заданих теплових граничних умовах. Встановлена закономірність зміни вигину пластинки від співвідношення товщин шарів пластинки.

**Ключові слова:** чисельне моделювання; термомеханіка; шарова пластинка; біметалева пластинка; напружено-деформований стан; теплові граничні умови; температурні напруження; скінченно-елементне моделювання; FEMAP; алюміній–сталь.

Об'єктом дослідження була обрана біметалева пластинка «алюміній – сталь» з різними співвідношеннями товщин шарів, а саме  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = \frac{1}{7}$ ,

$\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = \frac{1}{3}$ ,  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = \frac{3}{5}$ ,  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = 1$ ,  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = \frac{5}{3}$ ,  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = 3$ ,  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = 7$ . При задаванні матеріалів

вказувалися механічні характеристики: модулі Юнга, модулі зсуву, коефіцієнти Пуассона та фізичні параметри: коефіцієнти теплопровідності, теплоємності та теплового розширення для сталі та алюмінію. Модулі пружності та зсуву і коефіцієнти теплового розширення задавалися змінними в залежності від температури.

Задавалися граничні теплові умови: температура оточуючого середовища (20<sup>0</sup>С) та навантаження у вигляді температури у вузлах нижньої поверхні пластини (0<sup>0</sup>С) та верхньої поверхні (100<sup>0</sup>С) і, навпаки.

Розрахунок статичної задачі теплопровідності є попереднім і дає розподіл температур в пластинці при заданих граничних умовах. Спостерігається більш рівномірне поле температур в алюмінієвому шарі, що пояснюється меншими коефіцієнтами теплоємності та теплопровідності.

Отримані скінченно-елементні поля температур переформувались у температурні навантаження у вузлах пластинки для визначення теплових напружень та деформацій.

Для обмеження ступенів вільності руху конструкції виконувалось шарнірне закріплення по чотирьом нижнім вузлам.

Проведені попередні розрахунки для пластинки з відношенням товщин

шарів  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = \frac{1}{3}$  дали розподіл переміщень наведений на рис. 1. Для наочності переміщення показані у п'ятикратному збільшенні. У цілому в пластині рівень напружень невисокий, дещо підвищені напруження мають місце в контактній області шарів пластини. Дуже високі інтенсивності напружень спостерігаються в місцях закріплення пластини.

Максимальні переміщення  $u_{max}$  точок деформованої пластинки при різних співвідношеннях товщин шарів алюмінію та сталі наведене в таблиці 1.

Таблиця 1.

$\frac{h_{Al}}{h_{Fe}}$	1:7	2:6	3:5	4:4	5:3	6:2	7:1
$u_{max}$ , МКМ	119	150	175	188	187	175	160

Залежність не є монотонною на всій досліджуваній вибірці співвідношеннях товщин шарів, але спостерігаються ділянка монотонного зростання і ділянка монотонного спадання. Максимально деформованою виявилась пластинка із співвідношенням товщин шарів 4:4.

Проводились дослідження і при зміні граничних умов: на нижній основі пластинки задавалась температура  $100^{\circ}\text{C}$ , на верхній –  $0^{\circ}\text{C}$ . Розподіл переміщень для пластинки з відношенням товщин шарів  $\frac{h_{Al}}{h_{Fe}} = \frac{1}{3}$  при цих граничних умовах наведений на рис. 2. В цьому випадку вигин пластинки відбувся в іншу сторону, а максимальне переміщення виявилось меншим вдвічі. І в цьому випадку спостерігається однорідне поле напружень за винятком локалізацій в області закріплення, де напруження дуже високі.

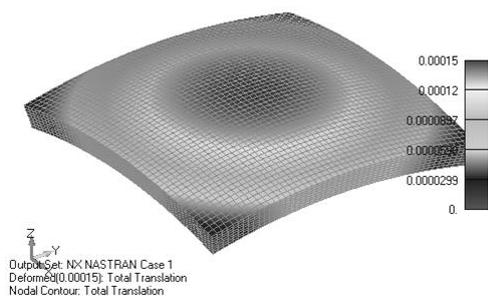


Рис. 1

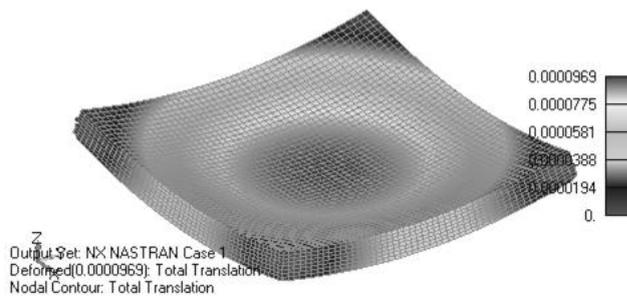


Рис. 2

Порівняння максимальних переміщень  $u_{max}$  точок деформованої пластинки при однаково змінених граничних умовах, але різних співвідношеннях товщин шарів алюмінію та сталі наведене в таблиці 2.

Таблиця 2.

$\frac{h_{Al}}{h_{Fe}}$	1:7	2:6	3:5	4:4	5:3	6:2	7:1
$u_{max}$ , МКМ	87,4	96,9	101	97,9	89,5	80,1	78,6

Залежність теж містить ділянку монотонного зростання і ділянку монотонного спадання. Максимально деформованою виявилась пластинка із

співвідношенням товщин шарів 3:5.

Графіки залежностей максимальних переміщень точок деформованої пластинки у мікрометрах від співвідношень товщин шарів алюмінію та сталі наведені на рис. 3.

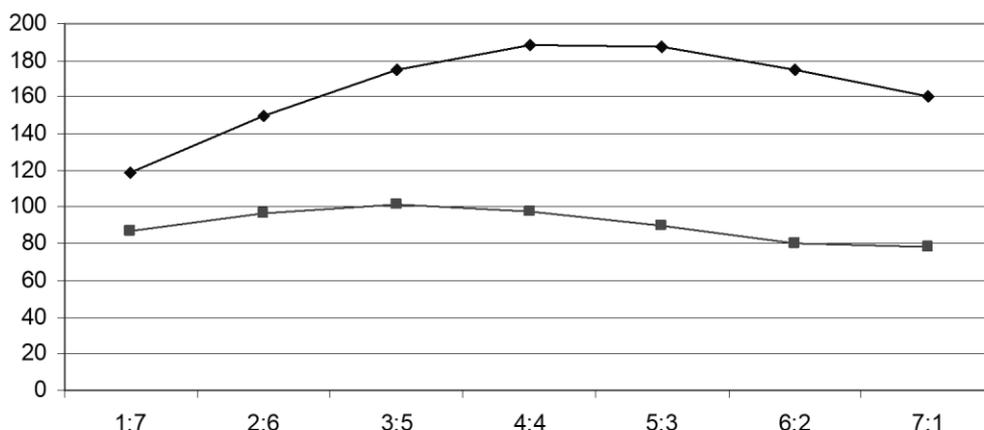


Рис. 3.

### Список використаних джерел

1. Методи термодинамічного аналізу термомеханічних систем: основи теорії, приклади та завдання : навчальний посібник / В. М. Арсеньєв, С. О. Шарапов. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 322 с.

2. Рудаков К.М. FEMAP. Геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій у MSC. visual Nastran for Windows. Посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2005. 218 с.

**Abstract.** *The work investigates the stress-strain state of layered plates in response to thermal boundary conditions using the example of an aluminium-steel bimetallic plate using the FEMAP software. The temperature distribution in the layered plate under given thermal boundary conditions is analysed. The regularity of the change in the plate bending from all thicknesses of the plate layers is established.*

**Keywords:** *numerical modeling; thermomechanics; layered plate; bimetallic plate; stress-strain state; thermal boundary conditions; temperature stresses; finite element modeling; FEMAP; aluminum–steel.*

**Науковий керівник:**

**Бойчук О.В.,**

*к.ф.-м.н., ст. викладач*

*кафедри вищої та прикладної математики,*

*Миколаївський національний аграрний університет*