

УДК 539.3

НЕУСТАЛЕНИЙ ТЕРМОПРУЖНИЙ СТАН ТЕРМОЧУТЛИВОГО ПОРОЖНИСТОГО ТРИШАРОВОГО ЦИЛІНДРА ЗА УМОВ СКЛАДНОГО ТЕПЛООБМІНУ

Галина Гарматій, Богдан Калиняк

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів

Визначено термонапружений стан довгого тришарового порожнистого ізотропного циліндра з урахуванням залежності від температури теплофізичних і механічних характеристик матеріалів кожного шару за умов неусталевого складного теплообміну з нестационарною температурою навколишнього гріючого середовища та ідеального термомеханічного контакту між шарами. Використано модель незв'язаної квазістатичної задачі термопружності у напруженнях в одновимірній постановці.

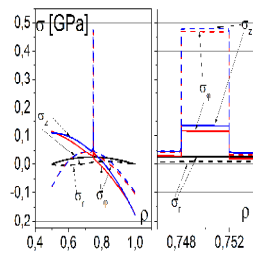
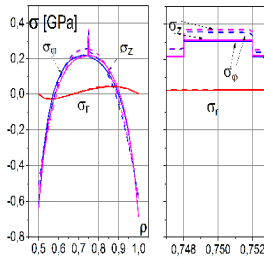
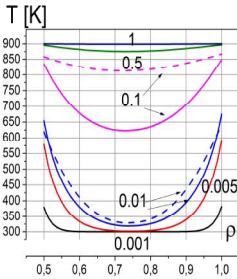
Неусталений розподіл температурного поля в циліндрі знайдено чисельно методом прямих за умов конвективного теплообміну через внутрішню та зовнішню поверхні з середовищами змінної в часі температури. Дискретизацію за просторовою змінною на нерівномірній сітці рівняння теплопровідності та умов на межах здійснено за допомогою методу балансу (інтегро-інтерполяційного методу), який призводить до різницевих схем, що збігаються у класі розривних коефіцієнтів [1]. Отриману напівдискретну задачу, що є задачею Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь розв'язано чисельно за допомогою формул диференціювання назад.

Напружений стан, викликаний температурним полем, визначено зі сукупності інтегральних рівнянь Вольтерри другого роду та інтегральних умов, до яких зведено розв'язування задачі термопружності для багатшарового порожнистого циліндра з залежними від температури механічними характеристиками матеріалу кожного шару [2]. Розв'язки цих інтегральних рівнянь з використанням квадратурних формул трапецій подано наближеними аналітичними виразами.

Визначено неусталений розподіл температурного поля, розподіли радіальних, колових та поздовжніх напружень у тришаровому термочутливому порожнистому циліндрі, виготовленому з кераміки з внутрішнім вольфрамовим шаром, коли температура гріючого середовища експоненціально змінюється з часом. Розв'язано відповідну задачу за сталих, взятих за початкової температури, термомеханічних характеристик кераміки і вольфраму. Досліджено вплив залежності від температури теплофізичних та механічних характеристик вибраних матеріалів на термонапружений стан такого циліндра.

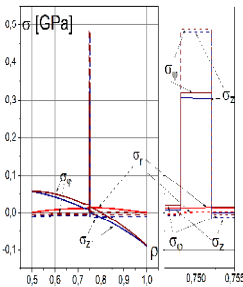
На рисунках (суцільні лінії відповідають врахуванню термочутливості матеріалу, а штрихові – характеристикам матеріалу при 300 К) подано відпо-

відні розподіли температури, радіальних, колових та поздовжніх напружень, викликаних температурним полем, при сталій початковій температурі 300 К,



Fo=0.001 (0,00008 с)

Fo=0.1 (0,008 с)



Fo=1 (0,08 с)

температурах на межах циліндр–середовище:
 $r_0=0.5\text{мм}$, $R=1\text{мм}$, $t_1(\text{Fo})=(900-300)/300-((900-300)/300)\cdot\exp(-k_1\cdot\text{Fo})$, $t_2(\text{Fo})=(900-300)/300-((900-300)/300)\cdot\exp(-k_2\cdot\text{Fo})$, $k_1=k_2=1000$, $\text{Bi}_1=\text{Bi}_2=10$;
 $r_1=0.748\text{мм}$, $r_2=0.752\text{мм}$; $v_w=0.34$,

$$v_c=0.22+1.58\cdot 10^{-5}t, \alpha_w=(3.49+4.635\cdot 10^{-3}t+6.173\cdot 10^{-6}t^2+5.031\cdot 10^{-6}t^3)\cdot 10^{-6} [1/\text{K}],$$

$$\alpha_c=(5.494+4.504\cdot 10^{-3}\cdot t-8.682\cdot 10^{-7}t^2)\cdot 10^{-6} [1/\text{K}],$$

$$E_w=(4.02-4.455\cdot 10^{-4}t)\cdot 10^{11} [\text{Па}],$$

$$E_c=(383.23-0.0444t)\cdot 10^{11} [\text{Па}],$$

$$c_{ww}(t)=2\cdot 10^6+1661,3t-1,8739t^2+0,0009t^3 [\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})],$$

$$c_{vc}(t)=1\cdot 10^6+7544,6t-4,0253t^2 [\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})],$$

$$\lambda_w(t)=181.02-0.0683t [\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})], \lambda_c(t)=68.073-0.1272t+7\cdot 10^{-5}t^2 [\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})].$$

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. – Москва: Наука, 1989. – 616 с.
2. Попович В. С., Калиняк Б. М. Математичне моделювання і методика визначення статичного термомпружного стану багатопшарових термочутливих циліндрів //Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2014. – 57, № 2. – С. 169–186.

UNSETTLED THERMOELASTIC STATE OF A THERMOSENSITIVE HOLLOW THREE-LAYER CYLINDER UNDER CONDITIONS OF COMPLEX HEAT EXCHANGE

A quasistatic thermoelasticity problem for a long three-layer hollow isotropic cylinder has been solved using numerical and approximate analytical methods taking into account the temperature dependence of the thermomechanical characteristics of materials of each layer under conditions of complex heat exchange with environment temperature dependent on time. The influence of the temperature dependence of the thermomechanical characteristics of materials on the thermoelastic state of the cylinder has been investigated.