

УДК 539.3

**ГЕНЕРАЦІЯ ХВИЛЬ НАПРУЖЕННЯ В ТОНКОМУ ЦИЛІНДРІ ПРИ ДІЇ ТЕПЛОВОГО ІМПУЛЬСУ НА ТОРЦІ**

**Я.О. Жук, І.К. Сенченков, О.В. Бойчук**

*Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України,  
вул. Нестерова, 3, Київ*

*Миколаївський державний університет, 54030, вул. Нікольська, 24, Миколаїв*

Опромінення поверхонь металічних деталей лазерними імпульсами або електронними пучками є сучасним технологічним засобом зміцнення і підвищення стійкості до зношування та втомної довговічності елементів конструкцій і основою для розробки систем лазерних систем для мікро- і нанообробки [1,2]. Для вивчення таких процесів використовується постановка зв'язаної задачі термомеханіки, розвинута із застосуванням уточненої моделі поведінки фізично нелінійних матеріалів, придатної для описання складної реакції матеріалу на динамічне навантаження в широкому інтервалі температур [3].

Розглядається круговий циліндр радіусу  $R$ , довжина якого дорівнює  $L$ . На торці  $z=0$  діє короткочасний тепловий імпульс, який моделюється тепловим потоком через границю

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} = \begin{cases} q_0 \sin(\pi t/t_p), & 0 \leq t \leq t_p, \\ 0, & t > t_p, \end{cases} \quad z=0; \quad \frac{\partial \theta}{\partial n} = 0, \quad z=L, \quad r=R.$$

Тут  $\theta$  - температура,  $t$  - час,  $k$  - коефіцієнт теплопровідності,  $q_0$  - параметр теплового потоку;  $t_p$  - тривалість імпульсу. Вся поверхня стержня разом з торцями є теплоізолюваною і вільною від навантажень.

Для спрощення постановки задачі і виділення основних суттєвих закономірностей досліджується модельна задача для випадку  $R \ll L$ . Задача є суттєво нелінійною і розв'язується чисельно за допомогою методики, розвинутої у [4] для випадків осесиметричних і плоских задач про зв'язану термомеханічну поведінку тіл з фізично нелінійних матеріалів.

Вважається, що циліндр виготовлено із сталі 35ХМА. Розрахунки проводились для наступних геометричних параметрів циліндра  $R=5 \cdot 10^{-6}$  м,  $L=2 \cdot 10^{-3}$  м. Тривалість теплового імпульсу  $t_p=10^{-7}$  с. Параметр теплового потоку  $q_0$  змінювався в межах  $10^7 - 5 \cdot 10^7$  кВт/м<sup>2</sup>. Початкова температура диску  $\theta_0$  дорівнювала 20 °С.

На рис. 1 показані результати, які ілюструють розповсюдження і відбивання імпульсу напруження, що виникає при дії теплового

імпульсу з параметрами  $q_0 = 5 \cdot 10^7$  кВт/м<sup>2</sup> і  $t_p = 0,1$  мкс. Моменти часу, для яких побудовані розподіли напруження вздовж осі стержня, вказані числами. Для вибраних параметрів задачі максимальна величина стискаючого напруження  $\sigma_{zz}$  в імпульсі не перевищує 0,02 МПа.

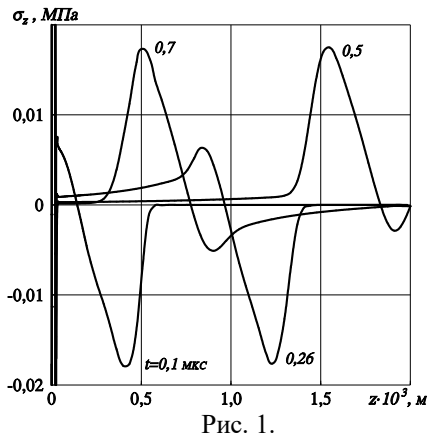


Рис. 1.

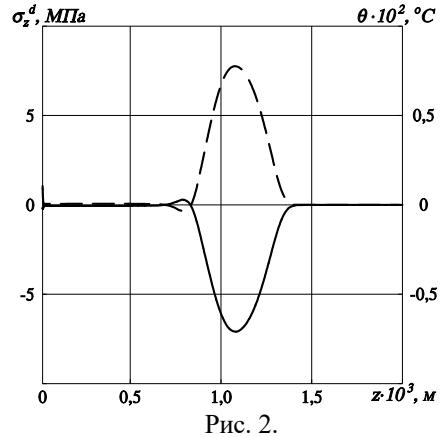


Рис. 2.

Збільшення значень напружень і динамічних змін температури в імпульсі вдається досягти при зміні граничних умов на опроміненному торці. Типові результати розрахунків для випадку гладкого закріплення представлені на рис. 2. Тут суцільною і штриховою лініями показані розподіли напружень  $\sigma_{zz}$  і температури відповідно вздовж осі циліндра в момент часу  $t = 0,26$  мкс. Відзначимо характерну для термопружних хвиль синфазність змін напруження і температури. Залежність величини стискаючого напруження від параметра теплового імпульсу є лінійною для дослідженого інтервалу геометричних і фізичних параметрів задачі.

1. Qin Y., Zou J., Dong C. et al. Temperature-stress fields and related phenomena induced by a high current pulsed electron beam // Nuclear Instrum. & Meth. In Phys. Research. Part B. – 2004. – V. 225. – P. 544-554.
2. Коваленко В.С. Микро- и нанообработка сверхмощными лазерными импульсами // Оборудование и эксперимент для профессионалов. – 2003. – №4. – С. 4-14.
3. Сенченков И.К., Жук Я.А. Термомеханический анализ одной модели термовязкопластического деформирования материалов // Прикл. механика. – 1997. – 33, № 2. – С. 41-48.
4. Жук Я.А., Сенченков И.К., Козлов В.И., Табиева Г.А. Осесимметричная

динамическая связанная задача термовязкопластичности // *Прикл. механика.* – 2001. – 37, №10. – С. 83–89.

**STRESS WAVE GENERATION IN THIN CYLINDER UNDER THERMAL  
IRRADIATION OF ITS FACE**

The processes of generation and propagation of stress pulse and temperature variation caused by the thermal impact at the end-wall of a long thin steel cylinder are investigated. The statement of the dynamic coupled problem of thermomechanics is used along with the refined thermodynamically consistent theory of inelastic material behavior. It is solved numerically by the finite element method. The main properties of the stress pulse propagation accompanied with temperature variation are studied. Relationships between parameters of thermal pulse and stress wave are established.