

## ПОШИРЕННЯ ІМПУЛЬСУ НАПРУЖЕННЯ ВЗДОВЖ ТОНКОГО ТЕРМОПРУЖНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ТЕПЛОВОМУ ІМПУЛЬСНОМУ ЗБУДЖЕННІ

Ярослав Жук<sup>1,2</sup>, Микола Мельниченко<sup>3</sup>, Віталій Гусак<sup>2,4</sup>

<sup>1,3</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, <sup>1</sup>yaroslavzhuk@knu.ua,

<sup>3</sup>realcrystallab@univ.kiev.ua

<sup>2</sup>Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, м. Київ, <sup>4</sup>gusakw7@gmail.com

Імпульсне теплове опромінення поверхні металевих елементів конструкцій застосовується в сучасному виробництві з метою підвищення міцності, запобігання зношенню і покращення експлуатаційних характеристик [2–3]. При цьому на поверхні і в тонкому приповерхневому шарі створюється зона з високою густиною енергії. Швидкий розігрів (і наступне поступове охолодження) з великими градієнтами температури спричинює виникнення фронту ударної хвилі і теплових напружень. У роботі змодельовано зв'язану термомеханічну поведінку матеріалу в околі дії теплового імпульсу та досліджено поширення хвилі напружень уздовж тонкого довгого циліндру і зміни температури, які його супроводжують.

Стержень моделюється круговим циліндром радіусу  $R$  і довжини  $L$  при  $R \ll L$ . Торець циліндра  $z = 0$  перебуває під дією одноразового теплового імпульсу, який задається тепловим потоком через торець

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} = \begin{cases} q_0 \sin(\pi t/t_p), & 0 \leq t \leq t_p, \\ 0, & t > t_p, \end{cases} \quad z = 0; \quad \frac{\partial \theta}{\partial n} = 0, \quad z = L, \quad r = R \quad (1)$$

де  $\theta$  – температура;  $k$  – коефіцієнт теплопровідності;  $t_p$  – час дії імпульсу;  $q_0$  – параметр імпульсу. Вся інша поверхня диску є теплоізолюваною і вільною від напружень

$$\sigma_{ij} = 0 \text{ на } S. \quad (2)$$

Початкові умови мають вигляд

$$u_r = \dot{u}_r = 0; \quad u_z = \dot{u}_z = 0; \quad \theta = \theta_0, \quad t = 0. \quad (3)$$

де  $u_r$  і  $u_z$  – переміщення, а  $\theta_0$  – початкова температура.

Постановка осесиметричної зв'язаної задачі складається зі співвідношення Коші, рівняння руху, рівняння балансу енергії та рівнянь узагальненої термодинамічно узгодженої теорії, розвинутої на основі моделі Боднера–Партома [1], що описує зв'язану фізично нелінійну поведінку матеріалу диска. Постановка замикається граничними та початковими умовами (1) – (3).

Циліндр виготовлено зі сталі 35ХМА. На рис. 1 проілюстровано проходження і відбиття імпульсу напруження, яке виникає при дії теплового імпульсу з параметрами  $q_0 = 5 \cdot 10^7$  кВт і  $t_p = 0,1$  мкс.

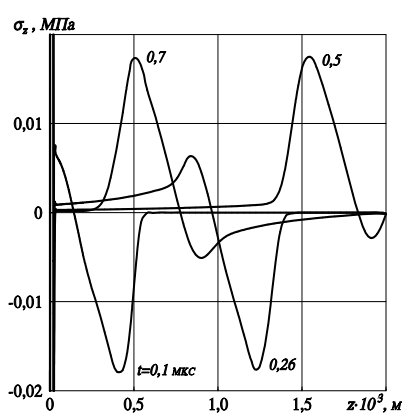


Рис. 1

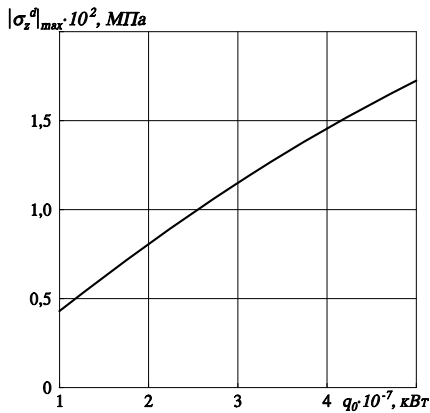


Рис. 2

Збільшення параметру  $q_0$  призводить до збільшення максимального стискаючого напруження в імпульсі. Ця залежність показана на рис. 2. Вона має практично лінійний характер. Встановлено також, що максимальне значення стиску досягається приблизно при  $t \approx t_p / 5$ , коли максимальної температури нагріву ще не досягнуто. Решта теплової енергії витрачено на формування заднього фронту імпульсу і поля квазістатичних напружень у приповерхневій зоні.

1. Жук Я.О., Сенченков І.К., Бойчук О.В. Динамічні процеси в тонкому циліндрі при тепловому опроміненні торця // Доп. НАН України. – 2007. – № 2. – С. 56–62.
2. Backus S., Durfee C.G., Murnane M.M., and Kapteyn H.C. High Power Ultrafast Lasers // Review of Scientific Instruments. – 1998. – 69, No. 3. – P. 1207–1223.
3. 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. – 225. – P. 544–554.

### STRESS PULSE PROPAGATION ALONG THIN THERMOELSTIC BAR UNDER THERMAL PULSE EXCITATION

*Processes of generation and propagation of stress wave caused by the thermal impact at the face of long thin steel cylinder are investigated in the frame of coupled thermomechanics. Thermodynamically consistent theory of inelastic material behavior is used to simulate the inelastic material response. Main regularities of thermomechanical state in the vicinity of thermal pulse, stress wave propagation accompanied with temperature rise are studied as well as relationship between parameters of thermal pulse and stress wave.*