

Л. В. Породько

ЛАЗЕРНИЙ НАГРІВ ТВЕРДОГО ТІЛА В УМОВАХ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОБМІНУ

Розглянуто теплові ефекти, обумовлені лазерним опроміненням поверхні твердого тіла в умовах конвективного теплообміну з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла у твердому тілі

Ключові слова: лазерне випромінювання, гіперболічне рівняння теплопровідності, кінцеве інтегральне перетворення

1. Вступ

Лазерне випромінювання з успіхом застосовується при наукових дослідженнях та в різноманітних галузях техніки. Унікальні властивості випромінювання лазерів, такі, як монохроматичність, когерентність, мале просторове розходження пучка і можливість при фокусуванні отримувати дуже високу густину енергії забезпечують широке застосування лазерів. Взаємодія лазерного випромінювання з твердим тілом призводить до його просторово-неоднорідного нагрівання, внаслідок чого виникають процеси тепло - масопереносу між різними ділянками. В роботі із різноманітних фізичних ефектів, таких як: деформування кристалічної ґрати, виникнення поверхневих періодичних структур, руйнування поверхні тіла докладно розглянуто теплові ефекти.

2. Постановка проблеми та основна частина

Ця робота продовжує дослідження, розпочаті в роботах [1-8]. В цих роботах розглядалися температурні поля, що створюються системою джерел, або інтерференційною картиною, яка виникає при використанні системи дзеркал. В обох випадках отримуємо одновимірну або двовимірну періодичні задачі для параболічного рівняння теплопровідності [9-10]. Додатково в роботі [8] враховано кінцеву швидкість поширення тепла. Для ізотропних тіл закон, що узагальнює класичний закон Фур'є, запропонував А.В. Ликов [9] як гіпотезу о кінцевих швидкостях поширення тепла і маси для тепло - та вологопереносу в капілярно-пористих тілах. Застосування цього рівняння є природним при дії короткодюючих імпульсів лазерного випромінювання (час дії імпульсу 10^{-15} - 10^{-12} с), коли теплова енергія не встигає поширитись на значну відстань від зони дії лазерного проміння.

3. Результати досліджень

Розглядається плоский нескінчений у двох напрямках шар (пластина), який по координаті z має товщину $h = z_1 - z_0$ (див. рис. 1). Розмір h будемо визначати глибиною проникнення лазерного випромінювання. Наприклад, при ослабленні енергії в e разів, будемо мати

$$h = \frac{l}{\sqrt{\epsilon} \operatorname{tg} \delta} = \frac{2\pi c_L}{\omega \sqrt{\epsilon} \operatorname{tg} \delta},$$

де l - довжина хвилі, $\epsilon = \epsilon'$ - дійсна частина діелектричної проникності, $\operatorname{tg} \delta = \epsilon'' / \epsilon'$ - тангенс діелектричних втрат, ϵ'' - уявна частина комплексної діелектричної проникності, c_L - швидкість світла в вакуумі, ω - кругова частота.

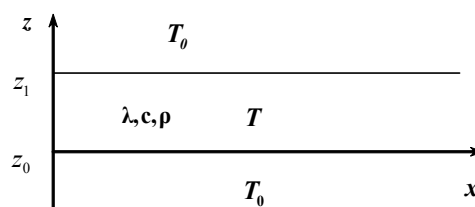


Рис. 1. Розрахункова схема задачі

Припускається, що теплофізичні характеристики не залежать від температури та координати. Нестационарне одновимірне рівняння теплопровідності з внутрішніми джерелами можна записати в одному із виглядів

$$\gamma_p \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{c\rho} f(z, t) \Leftrightarrow$$

$$\frac{1}{\chi} \left[\gamma_p \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} \right] = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{\lambda} f(z, t),$$

$$0 < z < z_1, \quad 0 < t < \infty, \quad (1)$$

де T - температура, t - час, $\chi = \lambda / (c\rho)$ -

коефіцієнт температуропровідності (λ – коефіцієнт теплопровідності, c – питома теплоємність, ρ – густина), $w = \sqrt{\chi/\gamma_p}$ – швидкість поширення теплової хвилі, γ_p – час релаксації теплового потоку, x, y, z – декартові координати, $f(z, t)$ – функція джерел.

На межі $z = z_0$ прийемо, що температура є сталою у будь-який момент часу, тобто

$$T|_{z=z_0} = T_1|_{z=z_0} = T_0, \quad (2)$$

а на межі $z = z_1$ прийемо умови конвективного теплообміну з середовищем

$$\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha(T - T_0) \right]_{z=z_1} = 0, \quad (3)$$

де α - коефіцієнт теплообміну (обрано знак «+», оскільки відбувається охолодження [9]).

Внаслідок лінійності задачі можна ввести температуру $T^* = T - T_0$, що рівнозначно тому, що $T_0^* = 0$. Отже рівняння (1) зберігають свій вигляд (зірочку не пишемо), а умови (2), (3) набувають вигляду

$$T|_{z=z_0} = T_1|_{z=z_0} = 0, \quad (4)$$

$$\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha T \right]_{z=z_1} = 0. \quad (5)$$

Для нестационарної задачі потрібно задати початкові умови, які прийемо нульовими

$$T|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial t}|_{t=0} = 0. \quad (6)$$

Функція джерел може бути довільною.

Для побудови розв'язку цієї задачі скористаємося методом кінцевих інтегральних перетворень [2 - 10], для чого потрібно побудувати ядро перетворення і знайти власні числа.

Література:

1. Grechko, L.G. Features of transport phenomena's in magnetic semiconductors with laser-induced periodic nanostructures [Text] / R.V. Bila, O. Yu. Semchuk, M. Willander, and M. Karlsteen // Materials Science & Engineering. – 2007. – V.27. – P. 1360-1363.
2. Lerman, L.B. Thermal effects caused interaction of powerful laser radiation of condensed matter [Text] / O.Yu. Semchuk, L.G. Grechko, M. Willander, M. Karlsteen // J. Optoelect. Adv. Mat. – 2010. – V.12. – № 3. – P. 586-588.
3. Лерман, Л.Б. Періодичні структури, індуковані на поверхні твердих тіл інтерференцією лазерних пучків. Теплові ефекти [Текст] / А.П. Шпак, Л.Г. Гречко, Л.Ю. Куницькая, О.Ю. Семчук // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2007. – Т. 5, № 3. – С. 683 – 718.
4. Лерман, Л.Б. Індуковані лазерними пучками поверхневі періодичні структури [Текст] / Л.Г. Гречко, О.Ю. Семчук, М.О. Лющенко, Л.Ю. Куницька // Вісник Київського університету. Серія: фіз.- мат. науки. – 2007. – № 3. – С. 282- 289.

5. Лерман, Л.Б. Лазер – индуцированные периодические поверхностные структуры в твердых телах [Текст] / П.П. Горбик, Л.Г. Гречко, О.Ю. Семчук, Л.Ю. Куницька // Химия, физика и технология поверхности. - 2007. - Вып 13. - С. 34 – 47.
6. Лерман, Л.Б. Просторовий та часовий розподіл температури на поверхні твердого тіла, викликаний одномірною лазерінтерференційною картинкою / Л.В. Пороцько, Л.Г. Гречко [Текст] // Вісник Київського університету. Серія: фіз.- мат. науки. – 2011. – № 1. – С. 227 - 230.
7. Пороцько, Л.В. Форми отоплення поверхні твердого тіла під дією імпульсного лазерного випромінювання [Текст] / Л.В. Пороцько, А.Б. Демчишин // Успехи фізики металлов. – 2011. – № 3. – С. 55-59
8. Пороцько, Л.В. Врахування кінцевої швидкості поширення тепла при лазерному розігріві поверхні твердого тіла [Текст] / Л.В. Пороцько, Л.Б. Лерман, О.Ю. Семчук // Хімія, фізика та технологія поверхні. - 2011. - Т.2, № 3. - С. 343-346.
9. Лыков, А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы. – 1952. – 392 с.
10. Кошляков, Н.С. Уравнения в частных производных математической физики [Текст] / Э.Б. Глинер, М.М. Смирнов // Высш. Школа. – 1970. - 712 с.

ЛАЗЕРНИЙ НАГРЕВ ТВЕРДОГО ТЕЛА В УСЛОВИЯХ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОБМЕНА

Л.В. Пороцько

Рассмотрены тепловые эффекты, обусловленные лазерным облучением поверхности твердого тела в условиях конвективного теплообмена с учетом конечной скорости распространения тепла в твердом теле

Ключевые слова: лазерное излучение, гиперболическое уравнение теплопроводности, конечное интегральное преобразование

Лилия Владимировна Пороцько, аспирант Института химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, e-mail: lilphys@mail.ru

LASER HEATING OF SOLID IN THE CONDITIONS OF CONVECTION HEAT EXCHANGE

L. Porodko

Thermal effects, stipulate for the laser irradiation of solid surface in the conditions of convection heat exchange taking into account terminal velocity of propagation of heat in a solid, are considered

Keywords: laser radiation, hyperbolic equation of heat conductivity, finite integral transformation

Liliia Porodko, graduate student of Institut chemistries of surface are the name of O.O. Chuyka of NAN of Ukraine, e-mail: lilphys@mail.ru