

УДК 536.5+004.42

## ЛАЗЕРНА ОБРОБКА ЗЕРНИСТИХ СТРУКТУР — МЕТОД АНАЛІЗУ ПОШИРЕННЯ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ В ОБ'ЄКТІ

Я. М. Кавин

*Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, 79020, Україна*

*Лазерне опромінювання об'єкта призводить до його просторово-неоднорідного нагрівання, внаслідок чого виникають процеси тепло-масопереносу між різними ділянками. В наслідок чого є ціла низка теплових ефектів, таких як: деформування кристалічної решітки, виникнення поверхневих періодичних структур, руйнування поверхні тіла, що впливає на поширення теплового поля в об'єкті, а відповідно і на його термографічну картину. Представлено метод контролю поширення теплового поля в об'єкті на основі лазерного нагріву короткодійними імпульсами.*

**Ключові слова:** гаусовський профіль, гаусові функції імпульсу, теплове навантаження, випромінювальна здатність (ефект Альbedo), лазерне нагрівання.

**Постановка проблеми.** Унікальні властивості випромінювання лазерів, такі як монохроматичність, когерентність, мале просторове розходження пучка і можливість при фокусуванні отримувати дуже високу густину енергії створюють вагомі підстави щодо застосування лазерного нагріву, зокрема короткодійними імпульсами, для контролю поширення теплового поля як всередині об'єкта, так і в його поверхневих шарах.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Досліджують процеси лазерної обробки зернистих структур твердого тіла, зокрема в контексті нагрівання лазерним опроміненням об'єкта такі науковці, як професор Прохоренко С., професор Кузьма М., та ін. Аналіз досліджень з'ясував вплив геометрії та розташування структурних зерен об'єкта, а саме твердого тіла, на закономірність поширення теплового поля в досліджуваному об'єкті та його температурний розподіл. Зокрема ці питання були висвітлені в доповіді професора Прохоренка С. та професора Кузьми М. на міжнародній конференції в Uniwersytet Rzeszowski (Польща). Цей напрям дослідження розвивають в університеті «Львівська Політехніка» (Україна), Uniwersytet Rzeszowski (Польща) та ін. [1, 5].

**Мета статті** — вдосконалити метод контролю поширення теплового поля всередині об'єкта та в його поверхневих шарах на основі застосування лазерного нагрівання, а саме короткодійних імпульсів лазерного випромінювання, коли тепла енергія не встигає поширитись на значну відстань від зони дії лазерного проміння.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Лазерне випромінювання сконцентровано поблизу однієї довжини хвилі та когерентно. Зазвичай вихідне випромінювання

сфокусовано також у вузький сколімірований пучок. Це сколіміроване, когерентне і монохроматичне джерело світла може бути використане як надзвичайно точне джерело тепла в широкому діапазоні застосувань, зокрема для виявлення скритих поверхневих дефектів об'єкта і створення досить точної термографічної картини на основі поширення теплового поля з чітким температурним розподілом [2, 3, 4].

Коли лазерне випромінювання потрапляє в об'єкт, частина його енергії поглинається, цим самим приводячи до локального нагрівання. Об'єкти можуть бути частково або повністю непрозорими для випромінювання на довжині хвилі лазера. Відповідно можна застосовувати різні підходи для моделювання лазерного джерела тепла. Крім того, всі масштаби мають порівнюватися з довжиною хвилі випромінювання. Різні підходи потрібні для опису сфокусованого випромінювання і для відносно широкого пучка. Якщо в матеріалі, взаємодіючому з падаючим пучком, є геометричні особливості, які можна порівняти з довжиною хвилі, необхідно додатково розглянути як саме пучок буде взаємодіяти з цими дрібними структурами.

#### *Лазерне нагрівання кремнієвої пластини*

Кремнієва пластинка нагрівається лазером, який з часом (час руху лазера вперед і назад) рухається по радіусу, сама ж пластинка обертається по своїй осі. Моделюючи падаючий тепловий потік від лазера як просторово розподіленого джерела тепла на поверхні, отримується перехідне теплове випромінювання пластинки. За допомогою пакету Comsol вираховуються критичні, середні і мінімальні температури в процесі нагріву, а також зміни температури на всій поверхні пластинки.

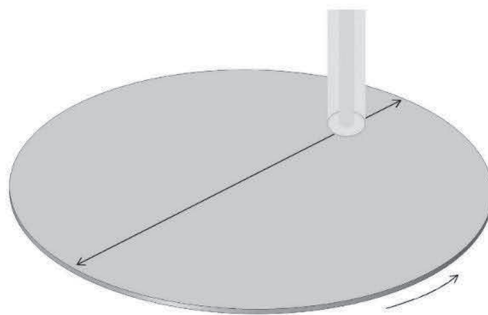


Рис. 1. Пластинка кремнію нагрівається лазером, який рухається назад і вперед, а сама пластинка обертається навколо своєї осі

#### *Опис моделі:*

Модель визначає собою кремнієву пластинку, яка, як показано на рис. 1, нагрівається лазером потужністю 10 Вт. протягом однієї хвилини, який рухається в радіальному напрямку всередину і назовні, тоді як пластинка обертається навколо своєї осі. Припускаючи хорошу термічну ізоляцію від навколишнього середовища, єдине джерело втрат тепла є від верхнього шару поверхні випромінювання стінки камери, які, як допускаємо, мають фіксовану температуру 20 °С.

*Лазерне нагрівання кремнієвої пластини*

Лазерний промінь моделюється як джерело тепла в площині з Гаусовим профілем. Щоб налаштувати профіль нагріву, модель використовує вбудовані Гаусові функції імпульсу, і забезпечує виконання так, що інтеграл під кривою дорівнює одиниці. Координатний центр переміщається, використовуючи трикутну форму сигналу, щоб визначити її положення уздовж осі X з плином часу. На пластині задана об'ємна швидкість обертання в керувальному рівнянні теплопередачі.

Коефіцієнт випромінювальної здатності поверхні пластини становить приблизно 0,8. На робочій довжині хвилі лазера передбачається, що коефіцієнт поглинання дорівнюватиме випромінювальної здатності. Так, теплове навантаження викликане лазером множиться на коефіцієнт випромінювання. Важливо врахувати, що лазер працює на довжині хвилі, при якій пластинка не прозора, тобто світло не проходить через пластинку. Отож все тепло осідає на поверхні.

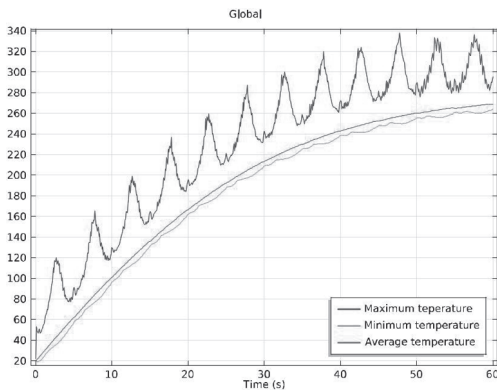


Рис. 2. Максимальна, мінімальна та середня температури пластини як функції часу

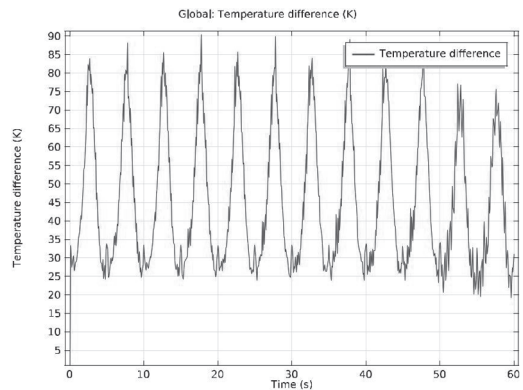


Рис. 3. Різниця між максимальною та мінімальною температурами на пластині

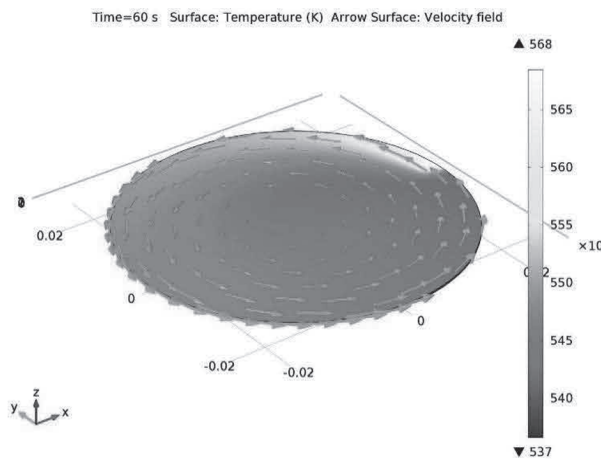


Рис. 4. Варіанти температури на пластині. Сюжет стрілки описує швидкість вафлі

Пластина скріплена за допомогою трикутної сітки. Таке скріплення сітки дає змогу використовувати тільки один тонкий елемент по товщині і зберігає реальний розмір елемента в площині. Більш тонка сітка дає змогу визначити більш точні прогнози критичної (пікової) температури, але не впливатиме на середню та мінімальну.

На рис. 2 зазначені максимальні, мінімальні та середні температури пластини, а на рис. 3 — різниця між максимальною та мінімальною температурою. Розподіл температури по пластині зображено на рис. 4.

Профіль нагріву вносить деякі істотні коливання температури, оскільки лазер розміщує таку ж кількість тепла на більшій загальній площині, коли вона фокусується на зовнішній стороні пластини. Цікавою модифікацією цієї моделі було б дослідження альтернативних режимів опалення для плавного нагрівання.

**Висновки.** Лазерна обробка зернистих структур необхідна для аналізу зразків, щоб перевірити, як розташування зерен впливає на напрямок поширення тепла через заданий матеріал. Якщо в матеріалі, взаємодіючому з падаючим лазерним пучком, є геометричні особливості, які можна порівняти з довжиною хвилі, то можна отримати дуже точну термодинамічну симуляційну оцінку параметрів поширення вузькозонних поверхневих збурень.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження / Прохоренко С., Кашпор К., Микитин І., Мац К., Возний М., Панас А-Я. *Вимірювальна техніка та метрологія. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia)*. 2012. № 73. С. 41–44.
2. Методика визначення стійкості та вибору параметрів захисту вузлів термічного навантаження. Москва, 1998.
3. Байбородіна Ю. В. Основи лазерної техніки. Київ: Видавництво «Вища школа», 1988.
4. Бруннер В. Довідник з лазерної техніки. Москва: Видавництво «Вища школа», 1991.
5. Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych / Maś K., Woźny M., Prokhorenko S., Kashpor K., Szeregij E. *pat.PL P.403346 Declaration Pat.(PL) P.403346*. Podano: 2013.03.28. Opub. Biuletyn UP, 20, 2014.

#### REFERENCES

1. Prokhorenko, S., Kashpor, K., Mykytyn, I., Mats, K., Voznyi, M., & Panas, A-Ia. (2012). Otsiniuvannia rivnia neodnorodnosti materialu shliakhom analizu teplovoho vidhuku na vuzkozonne teplove zbudzhennia: Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia), 73, 41–44 (in Ukrainian).
2. Metodyka vyznachennia stiikosti ta vyboru parametriv zakhystu vuzliv termichnoho navantazhennia. (1998). Moskva (in Ukrainian).
3. Baiborodina, Yu. V. (1988). Osnovy lazernoi tekhniky. Kyiv: Vydavnytstvo «Vyshcha shkola» (in Ukrainian).
4. Brunner, V. (1991). Dovidnyk z lazernoi tekhniky. Moskva: Vydavnytstvo «Vyshcha shkola» (in Ukrainian).

5. Maś, K., Woźny, M., Prokhorenko, S., Kashpor, K., & Szeregij, E. Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych. pat.PL P.403346 Declaration Pat.(PL) P.403346. Podano: 2013.03.28. Opub. Biuletyn UP, 20, 2014 (in Polish).

doi: 10.32403/0554-4866-2018-1-75-109-113

## LASER PROCESSING OF GRANULAR STRUCTURES — METHOD OF ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF A THERMAL FIELD IN AN OBJECT

Ya. M. Kavyn

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
yaruslav-kavin@ukr.net*

*The unique properties of laser radiation, such as monochromaticity, coherence, small spatial beam divergence, and the ability to receive a very high energy density during focusing, provide a solid basis for the use of laser heaters, in particular short-acting impulses, to control the distribution of the thermal field both inside the object and in its surface layers.*

*The laser radiation is concentrated near one wavelength and coherent. Typically, the initial radiation is also focused on a narrow collimated beam. This collimated, coherent and monochromatic light source can be used as an extremely accurate source of heat in a wide range of applications, in particular to detect hidden surface defects of the object and to create a fairly accurate thermographic picture based on the distribution of thermal field with a clear temperature distribution.*

*When the laser radiation enters the object, part of its energy is absorbed, thereby leading to local heating. Objects can be partially or completely non-transparent for radiation at laser wavelengths. Accordingly, different approaches can be applied to simulate a laser source of heat. In addition, all scales should be compared with the wavelength of radiation. Different approaches are needed to describe the focused radiation and for a relatively broad beam. If in a material interacting with the incident beam there are geometric peculiarities that can be compared with the wavelength, one must additionally consider how the beam interacts with these small structures. If in a material interacting with an incident laser beam there are geometric features that can be compared with the wavelength, then one can obtain a very accurate thermodynamic simulative estimation of the parameters of the distribution of narrow-band surface perturbations.*

**Keywords:** *Gaussian profile, Gaussian impulse functions, thermal load, radiating ability (Albedo effect), laser heating.*

*Стаття надійшла до редакції 01.03.2018.*

*Received 01.03.2018.*