

УДК 536.5+004.42

## МОДЕЛЮВАННЯ ЛАЗЕРНОГО НАГРІВАННЯ ОБ'ЄКТА НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ СІТКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОМЕТРИЧНОГО РОЗБИТТЯ ОБ'ЄКТА

Я. М. Кавин

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

*На концептуальному рівні алгоритм побудови тетраедральної сітки в обсязі починається з накладення трикутної сітки на всі його грані. Потім цей обсяг ділиться на тетраедри так, що враховується кожен трикутник на його кордоні, а розмір і форма тетраедра всередині обсягу відповідають заданим критеріям розміру і збільшення. Якщо з'являється інформація про помилку, це означає, що форма тетраедра спотворилася занадто сильно при побудові сітки. Процес побудови сітки тривимірного геометричного об'єкта, використовуючи параметри сітки за замовчуванням в COMSOL Multiphysics, полягає у такому: відповідно до налаштувань за замовчуванням довільний обсяг завжди ділиться на елементи за допомогою вільної тетраедральної сітки. Елементи тетраедральної форми (тетраедри) використовуються за замовчуванням, оскільки за їх допомогою можна розділити і апроксимувати будь-який геометричний об'єкт, з якою завгодно складною топологією.*

**Ключові слова:** моноструктурні шари, лазерний промінь, пікова температура, температурна градація, тепловий розподіл.

**Постановка проблеми.** Саме лазерне випромінювання не моделюється в явному вигляді, і передбачається, що відбита від матеріалу частина лазерного випромінювання не повертається назад. При використанні поверхневого джерела тепла необхідно вручну задати коефіцієнт поглинання матеріалу лазерної довжини хвилі і певним чином відмаштабувати область виділення потужності пучка. У разі частково прозорих матеріалів основна частина енергії лазерного випромінювання буде виділятися всередині області, а не на його поверхні, і будь-який підхід має бути відповідно прив'язаний до відносних геометричних розмірів об'єктів і довжини хвилі. Повнохвильовий підхід потребує розбиття кінцево-елементної сітки необхідного для вирішення довжини хвилі лазерного випромінювання. Оскільки пучок може розсіятися в будь-якому напрямку, сітка повинна бути досить однорідною щодо розмірів осередків.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Моделювання процесів лазерного нагрівання, зокрема твердих об'єктів, є продовженням досліджень поширення теплового поля в об'єкті та закономірностей температурного розподілу на основі короткоімпульсного опромінення лазером досліджуваного об'єкта. Досліджують

ці питання такі науковці, як Сергій Прохоренко, Мар'ян Кузьма, Павло Фімарц та ін. [1, 5]. Цей напрям дослідження розвивають в університеті «Львівська Політехніка» (Україна), University of Bordeaux, Institut de mécanique et d'ingénierie (Франція), Uniwersytet Rzeszowski (Польща), Санкт-Петербурзькому державному університеті інформаційних технологій, механіки і оптики.

**Мета статті** — створити модель лазерного нагрівання об'єкта на основі оптимізації побудови сітки за допомогою геометричного розбиття об'єкта для встановлення закономірностей впливу зернистої структури об'єкта на процес поширення теплового поля та температурний розподіл.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На цьому етапі моделювання використовується модель моноструктурних шарів ComSol Modeling. Ми можемо встановити лазерні параметри і матеріали, що використовуються у дослідженні. Наступний крок — нагрівання матеріалу лазерним променем. У проекті представлено падаючий лазерний промінь, який викликає виникнення теплового потоку в будь-якому діапазоні розподілу джерела тепла, викликаному впливом лазера на пластину разом з тепловою реакцією матеріалу. Максимальна, середня і мінімальна виміряні температури нагріву розраховуються в програмі Comsol Multiphysics. Якщо припустити, що у нас хороша теплоізоляція з навколишнього середовища, єдиним джерелом втрат тепла на верхній поверхні є випромінювання на стінки камери, в якій міститься зразок. Постійна температура стінки приблизно  $20^{\circ}\text{C}$  [2, 3, 4].

#### *Вхідні параметри проекту*

Проект нагрівання кремнієвої пластини включає в себе запис параметрів, які встановлює оператор Comsol. Такі параметри вказані у таблиці.

Швидкість обертання пластини	2 Hz
Товщина пластини –UP	0,01748 см (2.75E-4м)
Товщина пластини –DN	0,01748 см (2.75E-4м)
Радіус пластини	0,25см (0,0025м)
Радіус розміру лазерної плями	0,25см(0,0025м)
Час лазера, рух вперед і назад	10с.
Потужність лазера	100Вт.
Поверхнева випромінювальна здатність (ефект Альбедо) пластини UP	0,8

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

Пластина зчеплена за допомогою трикутної сітки. Зчеплення 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

У цьому експерименті доцільно використовувати теплопередачу, яка залежить від часу, щоб максимально дослідити зміну теплопередачі та інші характеристики, які змінюються в процесі плин timer. Рівняння теплопередачі для твердих тіл записуємо у вхідні дані опрацювання.

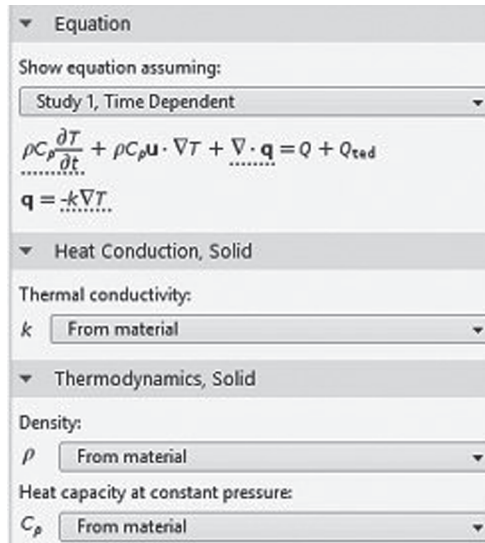


Рис. 1. Вказані рівняння теплового потоку для опрацювання Comsol Multiphysics

### Результати моделювання

У результаті моделювання проекту в Comsol Multiphysics були отримані значення вихідних температур на всіх ділянках досліджуваного зразка. Мінімальна, середня та максимальна температура розраховується програмою та автоматично встановлює градацію на графічній фігурі досліджуваного зразка.

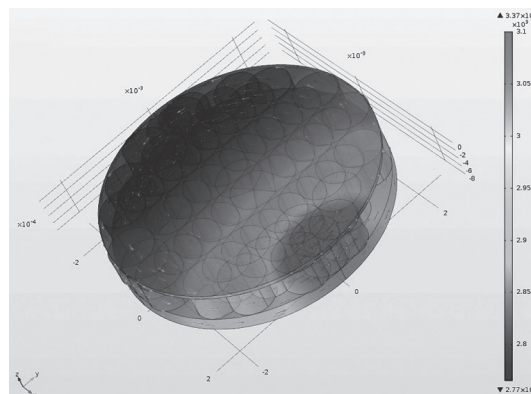


Рис. 2. Градація вихідних температур після виконання експериментального моделювання

Також ми отримали графічні результати значень максимальних, мінімальних та середніх температур пластини залежно від часу. Графічний результат представлений на рис. 3.

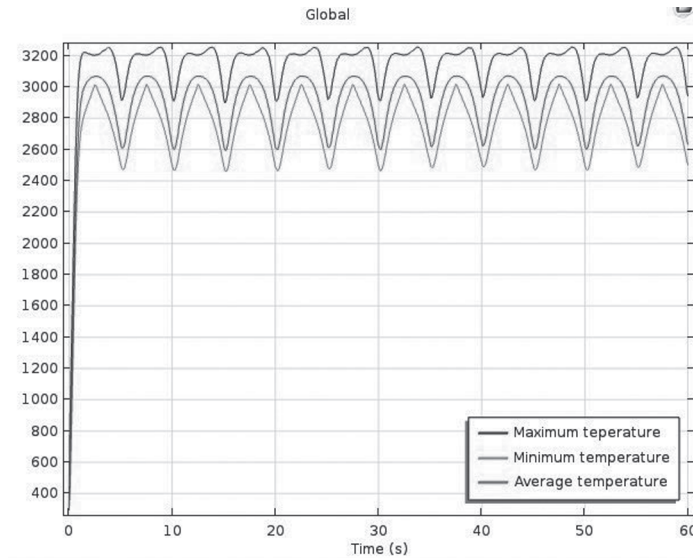


Рис. 3. Графічна залежність температур від часу

Розподіл температури по пластині зображений на рис. 4.

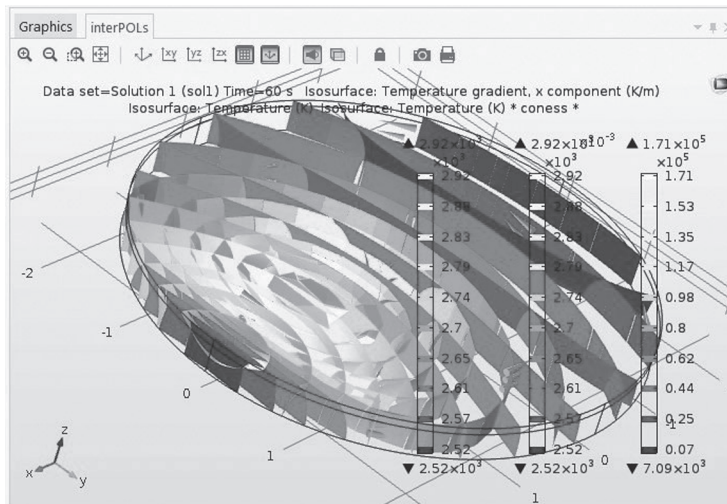


Рис. 4. Розподіл температури по пластині

**Висновки.** Враховуючи термодинамічну оцінку вузькозонних збуджень, можна зробити висновок, що поверхнєве джерело тепла передбачає, що енергія пучка поглинається в шарі, і можна знехтувати малою товщиною шару порівняно з розмірами об'єкта, який нагрівається. Крок розбиття кінцево-елементної сітки має

бути достатнім тільки для того, щоб врахувати зміни температурного поля і розміри лазерної плями.

### 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. Вимірjувальна 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, C., Kashpor, K., Mykytyn, I., Mats, K., Voznyi, M., & Panas, A-Ia. (2012). Otsiniuvannya 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 lazernoї tekhniky. Kyiv: Vydavnytstvo «Vyshcha shkola» (in Ukrainian).
  4. Brunner, V. (1991). Dovidnyk z lazernoї 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: 10.32403/1998-6912-2018-1-56-101-106

### MODELING OF LASER HEATING OF AN OBJECT ON THE BASIS OF OPTIMIZATION OF GRID CONSTRUCTION WITH GEOMETRIC OBJECT SPLITTING

Ya. M. Kavyn

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

*The process of constructing a grid of a three-dimensional geometric object using default grid parameters in COMSOL Multiphysics is as follows. According to the default*

*settings, arbitrary volume is always divided into elements using a free tetrahedral grid. Elements of the tetrahedral shape (tetrahedron) are used by default, since they can be used to divide and approximate any geometric object with arbitrarily complex topology.*

*It is laser radiation that is not modelled in explicit form, and it is assumed that the part of the laser radiation is not returned from the material. When using a superficial heat source, it is necessary to manually set the absorption coefficient of the material of the laser wavelength, and, accordingly, scale the region of the allocation of the beam power. In the case of partially transparent materials, the bulk of the energy of laser radiation will be allocated inside the region, and not on its surface, and any approach should be appropriately tied to the relative geometric dimensions of the objects and the wavelength.*

*As a result of the simulation of the project in ComsolMultiphysics, the values of the output temperatures have been obtained for all sections of the sample. Minimum, average and maximum temperatures are calculated by the program and automatically set the gradation on the graphic figure of the sample. We have also obtained the graphical results of the values of the maximum, minimum and average temperatures of the plate, depending on the time.*

*Taking into account the thermodynamic estimation of narrow-band excitations, one can conclude that the superficial heat source assumes that the energy of the beam is absorbed in the layer, and it is possible to neglect the small thickness of the layer in comparison with the size of the object that is heated.*

**Keywords:** *mono-structural layers, laser beam, peak temperature, temperature gradation, thermal distribution.*

*Стаття надійшла до редакції 16.03.2018.*

*Received 16.03.2018.*