

УДК 536.5 + 004.42

2D-МОДЕЛЬ ДІАГНОСТИКИ ПОКРИТТЯ МЕТОДОМ ТЕРМІЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ДЕВІАЦІЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

С. В. Прохоренко¹, Даріуш Плох², Я. М. Кавин³

¹ Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

² Uniwersytet Rzeszowski, Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii,
al. Rejtana 16c, 35-959 Rzeszów, Polska

³ Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, 79020, Україна

Представлено термодинамічну 2D-модель для виявлення скритих поверхневих дефектів матеріалів, розроблену на основі методу кінцевих елементів у програмному середовищі ComSol 5.1. Зображено термічну картину моделювання, яка вказує на помітну зміну неоднорідності температурного поля в зоні скритого поверхневого дефекту, індукованого спрямованим тепловим потоком. У рамках моделювання верифіковано ефективність методу термічної візуалізації для виявлення скритих поверхневих дефектів.

Ключові слова: 2D-модель, булеві значення набору, геометрія одиниць, структура з прихованим дефектом, імпорт ескізу в 3D-проект.

Постановка проблеми. Неоднорідність температурного поля в зоні скритих поверхневих дефектів, індукованого спрямованим тепловим потоком, підтверджується результатами проведених експериментів і за допомогою термографічної камери отримано чітку термічну картину досліджуваного об'єкта (в нашому випадку поширення теплового поля на поверхні паперу) [1, 2]. Для здійснення як аналітичного, так і візуального аналізу девіантності неоднорідності теплового поля, зокрема в зоні скритих поверхневих дефектів, необхідна термічна картина створена спрямованим тепловим потоком, з конкретно визначеними параметрами на поверхні досліджуваного об'єкта. Отже, створення 2D-моделі для виявлення скритих поверхневих дефектів матеріалів є актуальним завданням, оскільки дозволяє візуально і на програмному рівні здійснити аналіз як у графічному, так і в аналітичному форматі девіантності неоднорідності температурного поля, поширеного на поверхні матеріалу, зокрема в зоні скритих поверхневих дефектів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процеси девіації неоднорідності температурного поля на основі створення 2D і 3D-моделей досліджують наковці проф. С. Прохоренко, М. Кузьма, В. Єгоров та ін. Цей напрям досліджень розвивають

у Центрі мікроелектроніки та нанотехнологій Жешувського університету, а також на кафедрі комп'ютерної теплофізики й енергофізичного моніторингу Санкт-Петербурзького державного університету.

Мета статті — створення 2D-імітаційної моделі діагностики покриття для верифікації ефективності методу термічної візуалізації виявлення скритих поверхневих дефектів на основі відхилення неоднорідності температурного поля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проект 2D-імітаційної моделі. На початку проекту потрібно було намалювати модель сопла і виготовити структуру з прихованим дефектом. Для його реалізації здебільшого використовували прямокутники та логічні (булеві) значення набору у вигляді різниці і додавання [3]. Додавати елементи в ескізі, натиснувши правою кнопкою миші на вкладку «Geometry». Рисувати елементи можна як із використанням координат, так і самих ескізів, наприклад, квадрата. Вкладка «Geometry» дозволяє також експорт ескізу та імпорт його в проект 3D, а за допомогою витягування й обертання можна зробити ескіз готового 3D-проекту. Важливим елементом на початку ескізу є геометрія одиниць, які ми використовуватимемо. Конструкцію проекту на вкладці «Geometry» зображено на рис. 1 та рис. 2.

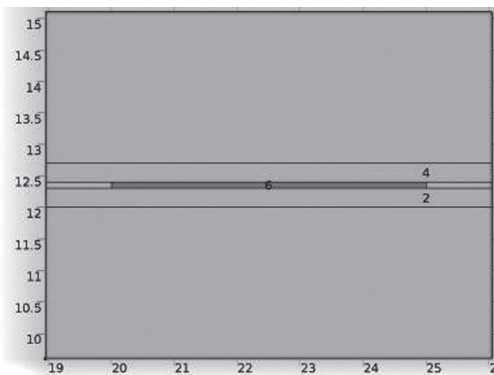


Рис. 1. Геометрія моделі

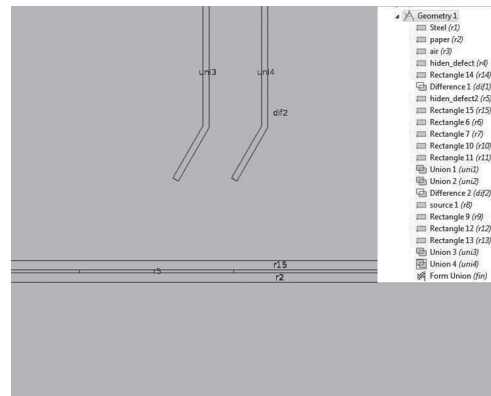


Рис. 2. Геометрія дефекту

Рисунок відображає дефект, який прихований під шаром. Дефекти, сопло або інші предмети фізично не призначені. Це можна зробити, скориставшись вкладкою «Materials».

«Materials» — це вкладка, яка дозволяє призначити елементам, які намальовані, фізичні функції (характеристики). Це дозволить відобразити елементи, використані в дослідженні. Перший матеріал був, звичайно, повітряним. Визначення повітря дуже важливе, адже можливо максимально точно визначити найкращі умови. Сталевий матеріал несправний і покритий папером. Папір також є дефектною підкладкою, і все це встановлено на листі сталі. Сопло виготовлено з конструкційної сталі. Зображення вибраного матеріалу показано на рис. 3.

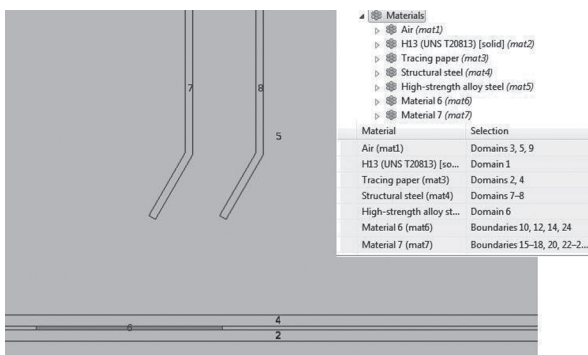


Рис. 3. Підбір матеріалів за допомогою вкладки «Materials»

Одна з найважливіших вкладок є «Non-Isothermal Flow», завдяки якій можливе використання «Surface to Surface Radiation», тобто випромінювання з поверхні на поверхню. Тут важливо встановити, який елемент випромінює на який. У нашому випадку теплий газовий потік, що надходить із самого сопла, спрямований на прихований дефект. У цій вкладці можна задати значення таких параметрів, як температура або тиск. Тиск на виході сопла з генератора теплового потоку становив близько 0.1 атм. Завдяки цим знанням можлива установка цього параметра в програмі, а точніше на вкладці «Heat Transfer in Solids». Другим важливим елементом є встановлення значення температури. Вимірювання зроблено в температурному діапазоні від 90°C до 300°C. Це стало можливим завдяки регулюванню в генераторі потоку теплого повітря. Інші функції — це визначення, в якому напрямку потік тепла поширюється і визначити джерела сопла. В нашому випадку джерело — це початкова частина сопла, встановлена між стінками, щоб тепло виходило зсередини сопла, а не по її стінках. На рис. 4 показано вкладку «Non-Isothermal Flow», в якій визначаються фізичні параметри.

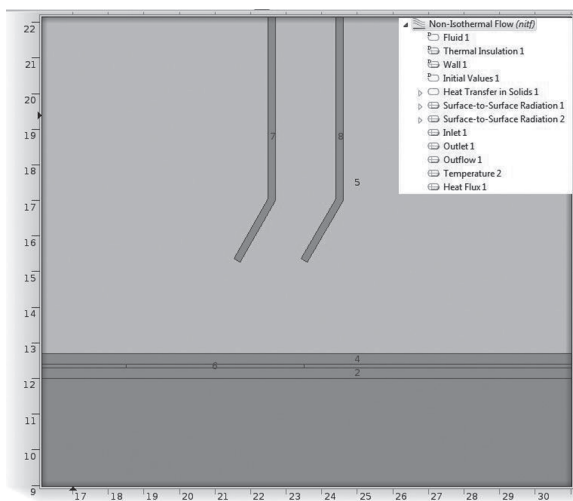


Рис. 4. Вкладка «Non-Isothermal Flow»

Остання вкладка — це накладання сітки Mesh. На найбільш оптимальне відображення моделювання впливає розмір сітки: що менші трикутники та більше трикутників у трикутнику, то точніше вимірювання. Однак потрібно пам'ятати, що встановлення діапазону сітки має відповідати параметрам пристрою, на якому ми працюємо. Через невелику оперативну пам'ять можна було встановити сітку максимально до Normal. Нанесення елементів за допомогою сітки Mesh зображено на рис. 5.

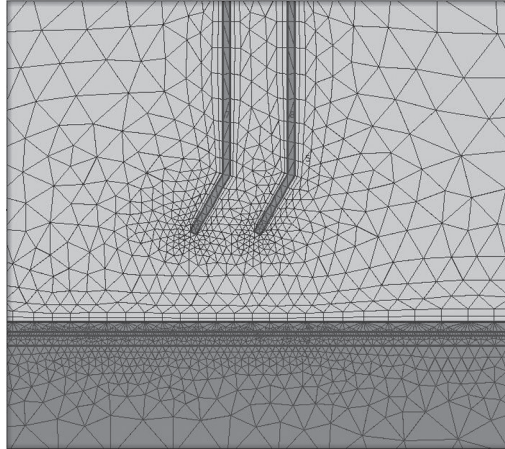


Рис. 5. Накладення сітки на модель

Зробивши ескіз в Geometry, а також визначивши елементи матеріалу і встановивши опромінення і нанесення сітки Mesh, можна приступити до розрахунку моделювання. Це можливо за допомогою вкладки «Study», клацнувши правою кнопкою миші на цю вкладку, відображаються опції. Одна з них є «Compute», тобто розрахунок, завдяки чому можливо реалізувати розрахунок процесу моделювання. На рис. 6 зображено вкладку «Study», яка дозволяє почати процес розрахунку.

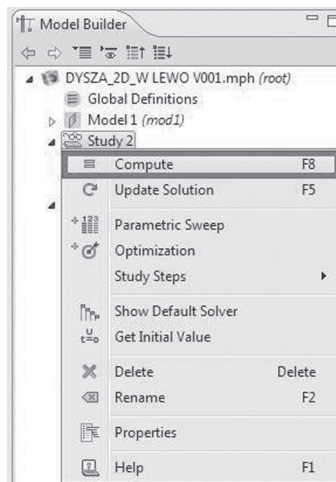


Рис. 6. Вигляд вкладки «Study»

Висновки. Сітка, нанесена як тестер на досліджувану поверхню, відіграє ключову роль у створенні моделі, оскільки це впливає на тривалість розрахунку. Підвищуючи щільність сітки, час розрахунку збільшується, а отже рівень точності моделювання також збільшується. Рівень дискретизації слід налаштовувати відповідно до обладнання, на якому здійснюється дискретизація. Проектування геометрично складних моделей у програмі Comsol Multiphysics слід проектувати на пристроях значної обчислювальної потужності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження. Прохоренко С. та ін. Вимірювальна техніка та метрологія. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia). 2012. № 73. С. 41–44.
2. Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych. Maś K. i tak dalej. pat.PL P.403346 Declaration Pat. (PL) P.403346. Podano: 2013.03.28. Opub. Biuletyn UP, 20, 2014.
3. Егоров В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности: учеб. пособ. Санкт-Петербург: СПб ГУ ИТМО, 2006. 77 с.

REFERENCES

1. Prokhorenko, S. et al. (2012). Otsiniuvannia rivnia neodnorodnosti materialu shliakhom analizu teplovoho vidhuku na vuzkozonne teplove zbudzhennia: Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiiia. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia), 73, 41–44 (in Ukrainian).
2. Maś, K. et al. (2014). Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych. pat.PL P.403346 Declaration Pat. (PL) P.403346. Podano: 2013.03.28. Opub. Biuletyn UP, 20 (in Polish).
3. Egorov, V. I. (2006). Primenenie EVM dlia resheniia zadach teploprovodnosti: ucheb. posob. Sankt-Peterburg: SPb GU ITMO (in Russian).

2D MODEL OF COVER DIAGNOSTICS BY TERMINAL VISUALIZATION METHOD ON THE BASIS OF THE TEMPERATURE FIELD OF INHANEOUS DEVIATION

Serhiy Prokhorenko¹, Dariusz Ploch², Yaroslav Kavyn³

¹ Lviv Polytechnic National University,
12, Bandera St., Lviv, 79013 Ukraine

² University of Rzeszow, Center for Microelectronics and Nanotechnology
16c, Aleja Rejtana, 35-959 Rzeszow, Poland

³ Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
yaroslav-kavin@ukr.net

The thermodynamic 2D model for detecting hidden surface defects of materials developed on the basis of the finite element method in the ComSol 5.1 software environment has been presented. A thermal model is presented that indicates a noticeable change in the temperature field heterogeneity in the area of the hidden surface defect induced by the directional heat flux. In the framework of the simulation, the effectiveness of the thermal imaging method for the detection of hidden surface defects has been estimated.

Keywords: *2D model, Boolean values of the set, unit geometry, structure with a hidden defect, import of a sketch into a 3D project.*

Стаття надійшла до редакції 09.06.2017.

Received 09.06.2017.