

**НЕРУЙНІВНЕ ВИЯВЛЕННЯ РЕАЛЬНИХ ДЕФЕКТІВ У
ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТАХ ЗА ДОПОМОГОЮ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ**

Левченко Є. В.

Науковий керівник – д.ф-м.н., проф. Бондаренко І. М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПШ,
м. Харків, Україна
e-mail: yevhenii.levchenko@nure.ua

In this study, the results of modeling ultrasonic non-destructive testing of carbon fiber-reinforced plastics (CFRPs) and glass-fiber reinforced plastics (GFRPs) are presented. Initially, ultrasonic C-scan simulation analysis was applied to detect internal defects in composite materials. Subsequently, composite materials were subjected to simulated processing in the area of defect formation, and the obtained results were used to analyze the process using recurrence methods. The results confirmed that recurrence methods can be successfully used to detect defects formed inside the composite material during processing, based on simulated data.

Мета роботи – проведення симуляційного аналізу методики ультразвукового контролю.

Надруковані за допомогою 3D друку об'єкти, такі як структури зі сталі, алюмінієві елементи, титанові складові та полімерні композити, часто мають внутрішні дефекти. Для виявлення цих дефектів проводиться аналіз структури матеріалу та проводяться неруйнівні тести, такі як ультразвукове тестування, що надає можливість оцінити стан об'єктів без завдання шкоди [1]. Використання неруйнівних методів тестування є важливим для забезпечення надійності та безпеки конструкцій, виготовлених з надрукованих за допомогою 3D друку об'єктів.

Нелінійний аналіз даних відіграє ключову роль у виявленні дефектів у складних системах, де традиційні лінійні функції недостатні. Один із прикладів нелінійного аналізу даних - метод повторень, що використовує повторні графіки та математичні описи. Повторні кількісні оцінки, доповнюючи повторні графіки, надають додаткову інформацію про зміни в тестованих елементах або явищах, застосовуються у різних галузях, від виробництва до медицини.

Метод рекурентності використовує графіки рекурентності, які математично описуються як (1):

$$R_{i,j} = H(\varepsilon - ||x_i - x_j||) \quad (1)$$

де i та j представляють числа станів, x_i та x_j є векторами у фазовому просторі, а ε є пороговим параметром визначення характеристик сюжету [2].

У цьому дослідженні було протестовано два типи полімерних композитів, насичених епоксидною смолою, зразки розмірами $150 \times 30 \times 10$ мм, що склалися з 40 шарів препрегів, розташованих у системі $0-90^\circ$ (чергування волокон). Один тип композитного матеріалу був з вуглецевим волокном, інший - з скловолоконом. Усього смола складала 60% об'єму всього матеріалу. Зразки були підготовлені в контрольованих умовах, і після цього піддавалися неруйнівному ультразвуковому тестуванню методом пропускання хвиль з частотою 5 МГц. Інформація про зменшення демпфінгу системи була використана для генерації зображення С-скану, яке показує внутрішню структуру тестованого елемента та дефекти в матеріалі[3].

Схема методології дослідження, використаної в роботі з застосуванням методу наскрізної передачі та визначення внутрішнього дефекту, зображена на рисунку 1.

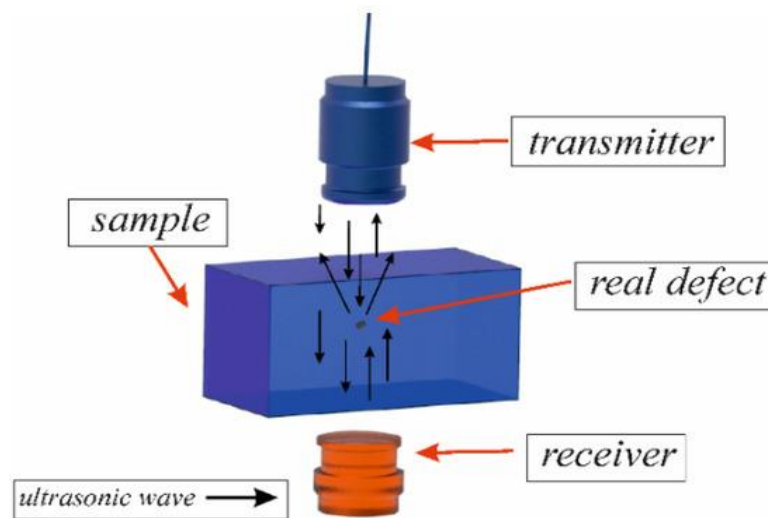


Рисунок 1 - Схематичне зображення методу наскрізного контролю.

Для симуляції виявлення дефектів у зразках CFRP було використано комп'ютерну програму, яка моделює взаємодію ультразвукових хвиль з матеріалом. Спочатку було створено віртуальну модель зразка CFRP з урахуванням його геометрії та властивостей матеріалу. Далі, вручну було додано дефекти в областях, що відповідають виявленим дефектам, та в областях без дефектів.

Після цього було налаштовано параметри симуляції, такі як параметри ультразвукового зонду та характеристики областей дефектів. Симуляція була запущена для кожного зразка з CFRP, як з дефектами, так і без них.

Під час симуляції програма відслідковувала взаємодію ультразвукових хвиль з матеріалом і візуалізувала результати на екрані, що дозволило оцінити ефективність виявлення дефектів у зразках CFRP.

Результати отриманого сигналу після проходження через зразок зображені на рисунку 2.

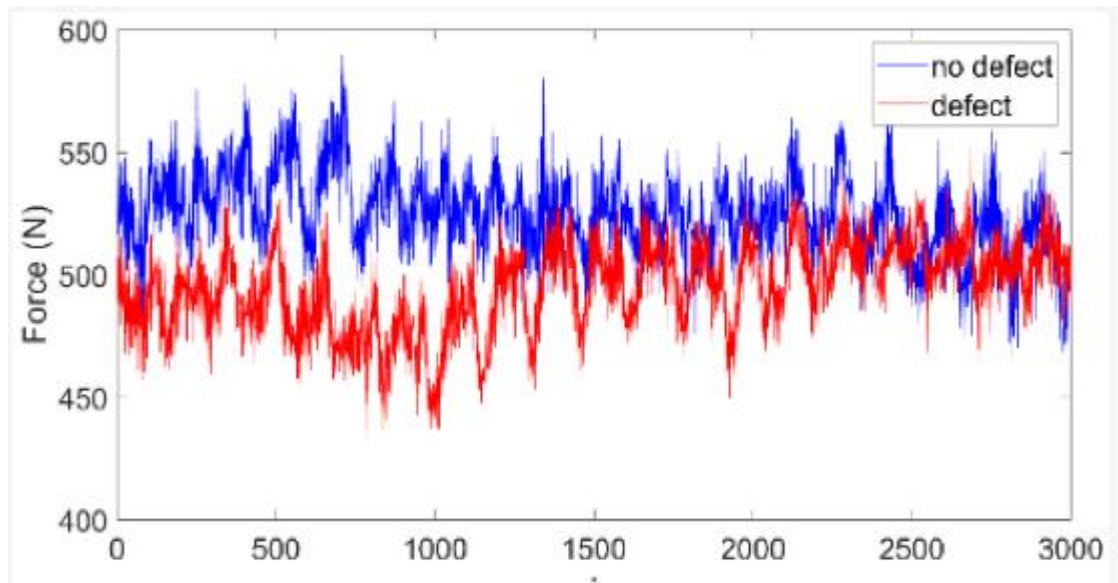


Рисунок 2 - Сила прикладеного тиску, виміряна без дефекту (синя лінія) і з дефектом (червона лінія).

Результати зображені на графіку демонструють можливість виявлення дефекту завдяки проходженню ультразвукових хвиль через об'єкт. Представлені результати тотожні для обох досліджуваних матеріалів.

У цьому дослідженні представлені результати симуляції для виявлення дефектів у композитних матеріалах. Проведено симулювання використання ультразвукового аналізу для виявлення наявності дефектів у двох типів полімерних композитів з вуглецевими і скляними волокнами. Завдяки використанню методу пропускання хвиль у симуляції, можливо точно визначити розташування і розмір реального дефекту в композитних матеріалах.

Список використаних джерел:

1. Левченко Є. В. Програмний метод для модифікації 3d-моделей без зміни фізичних характеристик / Левченко Є. В., Кравчук О. О. // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 27-го Міжнар. молодіж. форуму, 10–12 травня 2023 р. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Т. 1. – С. 23–24.
2. Zhang, Z. Relation of Damping and Fatigue Damage of Unidirectional Fibre Composites. *Int. J. Fatigue* 2002, 24, 713–718.
3. Wang, B.; Zhong, S.; Lee, T.L.; Fancey, K.S.; Mi, J. Non-Destructive Testing and Evaluation of Composite Materials/Structures: A State-of-the-Art Review. *Adv. Mech. Eng.* 2020, 12.