

УДК 371.134

Салаков А.А., студент групи ПК-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ І ОЦІНКИ ДЕФЕКТІВ В КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ ТЕПЛОВОМУ КОНТРОЛІ

Анотація. В даній роботі обґрунтовано використання теплового неруйнівного методу контролю для композиційних матеріалів. Було представлено метод аналізу термограм з використанням термографічних інформаційних функцій, що дозволить автоматизувати процес аналізу термограм та оцінки дефектів. Метод аналізу було реалізовано засобами математичного середовища MathCAD.

Ключові слова: Тепловий неруйнівний контроль, композиційні матеріали, термограма.

ВСТУП

Композиційні матеріали (КМ) широко використовуються у сучасному виробництві. Через специфіку їх властивостей, одним з найбільш перспективних методів дефектоскопії виробів з КМ є тепловий метод неруйнівного контролю (ТМ). КМ широко використовуються як у авіа- та ракетобудуванні, так і у будівництві, при виготовленні посуду або меблів [1].

Однак, виробам з КМ притаманні специфічні дефекти, які утворюються як при виробництві, так і під час експлуатації. Візуально вони не помітні на поверхнях елементів із КМ, однак їх наявність може призвести до серйозного ослаблення конструкції і згодом стати причиною руйнації. Традиційні методи неруйнівного контролю, часто, не дають повної картини дефектного стану виробів з КМ [2]. Тому сучасні виробники використовують тепловий неруйнівний контроль (ТК).

ТК заснований на візуалізації та аналізі динаміки температурного поля на поверхні об'єкта контролю за допомогою спеціальних технічних засобів і алгоритмів, які дозволяють вловлювати інфрачервоне випромінювання та перетворювати його в зображення - термограму об'єкту. Як правило, досліджувана поверхня попередньо нагрівається (активний ТК) [3]. У цьому випадку, інформація про наявність внутрішніх дефектів і їх параметрів полягає в амплітудних характеристиках теплового поля в кожній точці поверхні.

Як об'єкт для аналізу було обрано пластину (зразок), в якій матеріалом сполучення є універсальний епоксидний клей (УЕК), а наповнювачем - порошок шунгита з вмістом вуглецю 30,9%. У зразку на глибині 1 мм, було створено дефект типу порожнечі, термограма якого представлена на рис. 1.

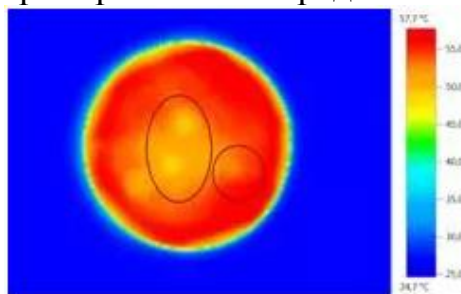


Рис. 1. Термограма зразку з дефектом типу порожнечі

ЦИФРОВІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТЕРМОГРАМ

На сьогоднішній день існують безліч різних методів аналізу, але будь-який цифровий метод аналізу термограм заснований на отриманні чисельних значень амплітудних характеристиках теплового поля в кожній точці об'єкту контролю. Для реалізації цих задач найактивніше використовуються такі середовища як *MATLAB* (широкий набір інструментів для обробки сигналів), *MathCAD* (математичне середовище з великим набором інструментів обчислення), *Expert MVR-Company* (спеціально розроблене середовище для обробки термограм), а також штучні нейронні мережі.

ПЗ *Expert MVR-Company* призначене для отримання істинних значень температур поверхні. Обробка термограм проходить до збігу значення температур в реперних ділянках термограми з істинними температурами поверхні.

До переваг відноситься: інформація про обробку термограм із зазначенням використаних методів і отриманих результатах наводиться у вигляді підсумкового звіту; має 5 інструментів для обробки результатів: точка, область, профіль, гістограма та ізотерма.

Головний недолік використання ПЗ: аналіз повинен проводитись термографістом не нижче 2 рівня кваліфікації, що має великий практичний досвід в розшифровці термограм [4].

Засоби *MATLAB* мають більш широкі засоби цифрової обробки. Розглянемо лише два:

1) *Фур'є* - аналіз вважається одним із найкращих методів для обробки термограм. Цей метод заснований на використанні одновимірного перетворення Фур'є до функції зміни температури у часі.

Перевага цього методу полягає в можливості отримувати високі показники співвідношення сигнал/шум, завдяки високій чутливості. Проте головний недолік в тому, що результат перетворення Фур'є залежить від кількості термограм у послідовності.

2) *Вейвлет* – аналіз відрізняється від аналізу Фур'є видом базисної функції. По суті, вейвлет-перетворення можна розглядати як кросс-кореляцію сигналу з набором хвильових функцій (вейвлетів) різної ширини. Для аналізу термограм, найбільш вдалим є вейвлети Гауссівської групи або вейвлети Морле.

Для обох методів необхідна наявність великої кількості термограм у початковій послідовності. Завдяки високій чутливості, дозволяють отримати усі структури, але в умовах нерівномірного нагріву, або при наявності інших завад дані методи є малоефективними, оскільки з'являються паразитні структури і артефакти [5].

Штучні нейронні мережі (НМ). З розвитком технологій в світі, активно почали використовуватися НМ. Основною їх перевагою є їх здатність навчатися, що дозволяє автоматично вивчати приховані закономірності у вхідних наборах даних, що робить їх високоефективними в ТМ. НМ працюють зі складними нелінійними залежностями, вирішуючи багатопараметрові задачі. Але головний їх недолік полягає в формуванні об'ємної бази навчальних даних, відсутність єдиного підходу до вибору параметрів навчання мережі та оптимізації її

параметрів, таких як число нейронів та прошарків. Процес навчання вимагає значних часових та обчислювальних витрат [5].

При обробці інформації графічних форматів (термограм) з метою проведення контролю технічного стану об'єктів акцент робиться не тільки на візуалізацію інформації, але і на визначенні числових характеристик зображень. Тому, в зазначеній сфері використовують математичні середовища, в яких є можливість виразити особливості графічних зображень числами і, відповідно, провести необхідну математичну обробку. Для цієї задачі ідеально підходить математичне середовище *MathCAD*.

МЕТОД АНАЛІЗУ ТЕРМОГРАМ В СЕРЕДОВИЩІ МАТНСАД

Розподіл температур по поверхні $T(x,y)$ несе інформацію о наявності та типі дефекту.

Засобами *MathCAD* рисунок перетворюємо в числову матрицю, яка має зі значенням від 0 до 255. Фрагмент матриці зображений на рис. 2.

MathCAD дозволяють отримати субматриці трьох складових кольорів:

червоного, зеленого та синього. Вихідна функція двовимірного розподілу температури по поверхні об'єкта контролю $T(x,y)$ представляється термограмою:

$$F(t^{\circ}) = \sum \sum T(x,y,t^{\circ})$$

Значення $F(t^{\circ})$ характеризує відносний розмір поверхні об'єкта з даною температурою t° .

...	66	67	68	69	70	71	72	73
37	50	50	50	50	51	53	79	81
38	50	51	51	52	54	79	81	81
39	50	51	51	52	80	80	95	96
40	51	51	53	80	82	95	97	98
41	51	53	80	81	95	97	98	100
42	52	81	83	96	96	98	99	101
43	80	82	95	97	99	100	101	103
44	81	96	98	100	101	103	104	105
45	95	97	98	100	101	104	108	109
46	97	99	101	102	103	109	110	111
47	98	100	102	104	108	110	111	111
48	99	100	102	103	109	110	111	111

Рис. 2. Фрагмент матриці кольорового зображення

Отримана термограма інтегрується в межах $[x_1; x_2] [y_1; y_2]$ для отримання впорядкованого масиву, представленого нижче (табл. 1).

Табл. 1. Перетворення термограми в упорядкований масив

t_1°	t_2°	t_3°	t_4°	...	t_n°
F_1	F_2	F_3	F_4	...	F_n

ОЦІНКА ДЕФЕКТУ ЗА АНАЛІЗОМ ТЕРМОГРАМИ

Аналіз проводиться при порівнянні двох функцій: зразка прийнятого за бездефектний та випробуванім зразком. Потужність теплових процесів в діапазоні температур $[t_1; t_2]$, як об'єкта, так і його фрагментів розраховується за формулою:

$$P = \int_{t_1}^{t_2} F(t^{\circ}) \cdot t^{\circ} dt$$

В якості критерію для оцінки потужності використовується коефіцієнт дефектності, який визначається як [6]:

$$K_{\text{деф}} = \frac{P_2 - P_1}{P_1},$$

де:

$$P_1 = \int_0^{\infty} F_1(t^\circ) \cdot t^\circ dt$$

$$P_2 = \int_0^{\infty} F_2(t^\circ) \cdot t^\circ dt$$

Розрахунки інтегралів до чисельних значень проводяться в середовищі *MathCAD*. Оцінка критичності дефекту проводиться по значенню коефіцієнта $K_{\text{деф}}$ відповідно до таблиці. Таблиця критичності дефекту підібрана для аналізу представлена нижче (табл. 2).

Табл. 2. Таблиця критичності дефекту

<i>Оцінка критичності дефекту</i>	<i>Норма</i>	<i>Норма з відхиленнями</i>	<i>Норма зі значними відхиленнями</i>	<i>Брак</i>
$K_{\text{деф}}$	до 1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	більше 1,6

ВИСНОВКИ

В цій роботі було обгрунтовано використання теплового методу для контролю композиційних матеріалів. Було розглянуто термограму зразка з композиційного матеріалу з дефектом типу порожнечі.

Для автоматизації процесу аналізу і оцінки дефектів було запропоновано використання термографічних інформаційних функцій. Були розглянуті методи аналізу термограм з використанням: пакетів MATLAB, MathCAD, Expert MVR-Company та штучних нейронних мереж. Метод аналізу та оцінки було реалізовано засобами математичного середовища MathCAD, оскільки він краще за всіх підходить для реалізації цих задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Меттьюз Ф., Ролінгс Р. Композитні матеріали: Механіка і технологія. Москва: Техносфера, 2004. 408 с.
- [2] Троїцький В.А., Карманов М.Н., Троїцька Н.В. Неруйнівний контроль якості композиційних матеріалів. Технічна діагностика та неруйнівний контроль. 2014. № 3. С. 29-33
- [3] Госсорг Ж. Інфрачервона термографія (Основи, техніка, застосування). Москва: Мир, 1988. 400 с.
- [4] MVR. Аналіз термограмм [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://mvr-company.ru/analiz-termogramm/>
- [5] Галаган Р. М. Аналіз методів цифрової обробки термограм / Р. М. Галаган, А. С. Момот. // Вісник НТУУ "КПІ", серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – №55. – С. 110–115.
- [6] Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Перспективи використання спектральних методів // Энергетика Татарстану. 2005. №2. С. 36-40.

Наук. керівник – завідувач кафедри, д.п.н., професор Протасов А.Г.