

ДОДАТОК А
Презентація

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На тему:

**«Дослідження математичних методів для вирішення
прямих та зворотних завдань нестационарної
теплопровідності»**

Здобувач групи РЕАЗм-21-1 Грищенко Олександр Юрійович

Керівник кваліфікаційної роботи проф. каф. КРСКД Сучков Григорій Михайлович

Харків 2022 р.

Вступ

Метою роботи є розробка ефективних методів неруйнівного контролю широкого класу матеріалів та виробів методом ТДМ та ТТ.

Для досягнення вказаної мети у магістерській роботі розглянуто вирішення наступних завдань наукового характеру:

- дослідження математичних методів для вирішення прямих та зворотних завдань нестационарної теплопровідності, що лежать в основі теплової дефектометрії та томографії;
- аналіз моделей процесів теплової дефектометрії та томографії, що базуються на розроблених методах;
- дослідження практичних процедур теплової дефектометрії та їх оптимізація.

Вступ

Активний тепловий неруйнуючий контроль (АТНК) якості промислової продукції є одним з відомих і динамічно розвиваючихся методів визначення наявності внутрішніх дефектів.

В його основі лежить взаємозв'язок між температурним відгуком на поверхні об'єкта контролю у відповідь на зовнішній тепловий вплив та внутрішньою структурою об'єкту.

В числі загальноприйнятих досягнень методу – його дистанційність, швидкодія, нешкідливість і надалі.

Перевагою ТНК – виявлення неоднорідностей структури об'єкта, що являють собою аномалії теплофізичних характеристик (ТФХ).

Це робить метод АТНК незамінним при контролі всіляких теплозахисних конструкцій, теплозберігаючих оболонок, ефективним засобом при неруйнівних випробуваннях багат шарових та композиційних виробів машинобудування, космічної та авіатехніки тощо.

У ряді випадків дефект у контрольованому об'єкті не має чітко виражених меж та постійних теплофізичних параметрів. Такі дефекти називають розподіленими та їх контроль виходить за рамки застосування методу теплової дефектометрії Це - завдання теплової томографії (ТТ), яка з дифузійного характеру розтікання тепла може бути вирішена методами, застосовуваними в комп'ютерній томографії інших типів фізичних полів.

Разом з тим досягнуті до теперішнього часу успіхи у розвитку ТДМ та ТТ переконливо свідчать про їхню перспективність та необхідність для потреб сучасного виробництва.

Сутність завдань теплової дефектометрії та томографії та їх класифікація

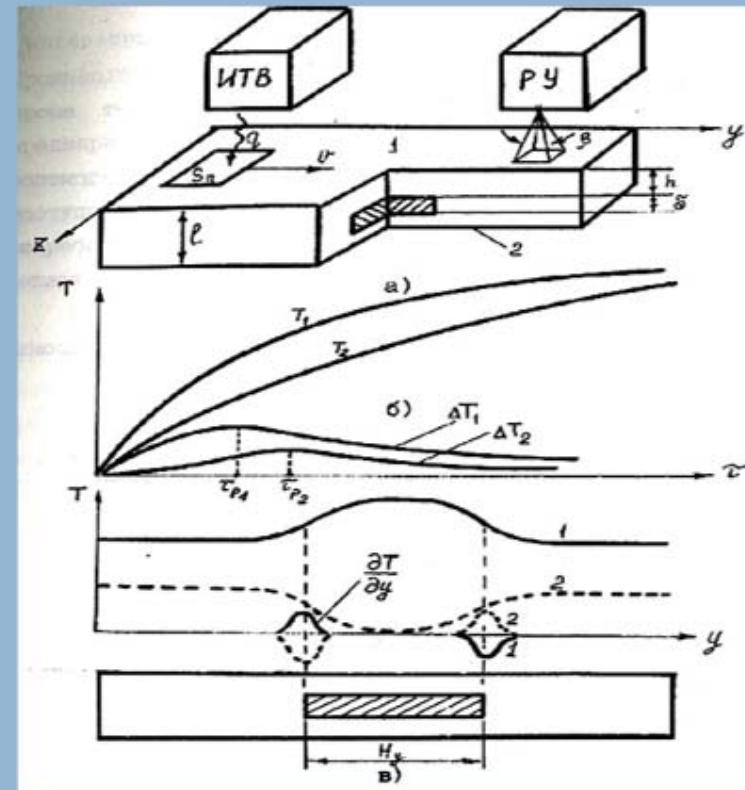
За формальними ознаками сутність теплової дефектометрії (ТДМ) відрізняється від теплової дефектоскопії (ТДС) тільки в одному аспекті – отриманні чисельних значень параметрів дефектів, що виявляються, проте ця відмінність тягне за собою появу ряду принципових особливостей.

Так, ефективне проведення ТДМ неможливе без глибокого аналізу теплових процесів, що протікають в об'єкті контролю (ОК), оптимізації на цій основі режимів контролю та створення адекватних типу дефекту та можливостей засобів контролю оптимальних математичних моделей.

Фізична сутність методу ТДМ ґрунтується на фундаментальних положеннях теплофізики, теорії обробки та передачі інформації, метрології.

Тому для розвитку АТНК і ширшого використання на практиці необхідний комплексний підхід, заснований на досягненнях усіх цих областей науки.

Схему проведення ТДМ можна спрощено уявити так, як наведено на рисунку



Аналіз математичних моделей та методів, що використовуються для вирішення задач теплової дефектометрії та томографії

ТДМ заснована на вирішенні зворотного завдання нестационарної теплопровідності.

Термін «зворотне» завдання відображає ту обставину, що в порівнянні з «прямим» завданням шукані та відомі величини змінюються місцями.

У зв'язку з відсутністю прямих аналогій зворотному завданню (ОЗ) АТНК у фундаментальній теплофізиці, її рішення є багато в чому недослідженою проблемою.

Можна виділити дві групи способів вирішення ОЗ АТНК:

1) непрямі способи, засновані на використанні в тій чи іншій формі ітераційного вирішення прямої задачі АТНК та зближенні експериментальних та розрахункових даних;

2) способи, засновані на апроксимації геометричного розподілу ТФГ у дефектних структурах гладкими функціями та наступній заміні вихідного диференціального рівняння більш простим.

Відмінності у підходах пов'язані лише з вибором шляхи в реалізації окремих етапів цього алгоритму: побудови теплофізичної моделі об'єкта, розв'язання прямої задачі, організації перебору варіантів цих рішень тощо.

Невирішені проблеми в науковому та прикладному аспектах теплової дефектометрії

Аналіз сучасного стану методу ТДМ як у науковому, і у прикладних аспектах дозволяє сформулювати такі невирішені проблеми:

1. Неповнота або явна неточність вихідних даних, серед яких коефіцієнт тепловіддачі α на зовнішніх поверхнях об'єкта. ТФХ об'єкта α та λ , товщина його верстата l
2. Великі витрати часу вимірювання залежності $T(t)$.
3. Необхідність контролю об'єкта (типу пластини) по обидва боки по черзі.
4. Наявність помилок у вихідній інформації, обумовлених одномірністю використовуваної моделі об'єкта.
5. Відсутність цілісного науково обґрунтованого підходу до вивчення закономірностей методу як сукупності фізичних явищ, результатом чого є фрагментарність і навіть хибність деяких результатів теоретичних досліджень. Це обумовлено як об'єктивними труднощами у вирішенні обернених завдань теплопровідності неоднорідних структур, і внесеними авторами невиправданими спрощеннями при побудові моделей, які призводять до втрати інформації як і якісному, і кількісному відношенні.
6. Підхід до дефектометрії, що склався, заснований на використанні малоефективного ітераційного методу до вирішення зворотної задачі, що істотно обмежує інформативність і швидкодію теплової дефектометрії. З шести характерних параметрів дефекту вдається визначити лише два - три і, як правило, поза реальним масштабом часу.
7. Відсутня алгоритм вирішення задачі теплової томографії для малих відхилень теплофізичних параметрів дефекту від параметрів об'єкта контролю.

Теплова дефектометрія виробів з дефектами малих розмірів

У одновимірних моделях ТДМ і з усіх геометричних параметрів дефекту визначаються лише два: його глибина та розмір розкриття. У багатьох випадках цього виявляється недостатньо для вирішення задачі дефектометрії, оскільки межі дефекту визначаються приблизно по межі області теплового перепаду $\Delta T(t)$ на поверхні. Це припустимо у разі, якщо дефект носить протяжний характер. Критерієм застосування одновимірної моделі є відношення поперечного розміру дефекту L до його глибини залягання h . Хороші результати можна отримати, якщо $L/h > 3 \dots 4$.

Метод введення поправок дозволяє суттєво розширити сферу застосування одновимірної моделі: $L/h > 0,7$. Однак для дрібніших дефектів, а також у разі змінної товщини або глибини залягання дефекту зазначені методи не дозволяють отримати адекватний результат. У зв'язку з цим актуальним стає завдання розробки двох-тривимірних моделей ТДМ.

Модель дефекту у вигляді еквівалентного розподіленого джерела тепла

Завдання теплової дефектометрії полягає у визначенні місця розташування дефекту, а також його теплофізичних та геометричних параметрів.

Проте, внаслідок ефекту розтікання тепла, температурна залежність $T(r, t)$ зберігає особливості форми дефекту лише близькому від нього відстані.

Тому, якщо глибина залягання дефекту значно перевищує його поперечні розміри (малий дефект), визначення форми дефекту по поверхневому відгуку стає скрутним. У зв'язку з цим необхідні спеціальна математична модель дефекту та відповідна їй методика розв'язання задачі дефектометрії.

Для вирішення цієї проблеми також було використано метод передавальних функцій (МПФ).

Модель дефекту у вигляді еквівалентного розподіленого джерела тепла

Розглянемо спочатку модель дефекту, що є стороннє включення довільної форми в пластині.

Процес поширення тепла у разі описується рівнянням теплопровідності з відповідними граничними умовами

$$\nabla(\lambda \nabla T) = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} + q_B,$$

де q – зовнішній тепловий вплив.

У цьому параметри λ і $c\rho$ приймають постійні значення λ_0 , $(c\rho)_0$ λ_d , $(c\rho)_d$ відповідно в бездефектної області та об'ємом дефекту. Оскільки в об'єкті, що не містить дефект, λ_0 і $(c\rho)_0$ від координат не залежить, попереднє рівняння спрощується

$$\lambda_0 \cdot \nabla^2 \cdot T_0 = (c \cdot \rho)_0 \cdot \frac{\partial T_0}{\partial \tau} + q_B.$$

Висновки

Розглянуто завдання визначення просторової конфігурації дефекту за виміряним на поверхні об'єкта температурним перепадом, викликаним дефектом. Основна складність розв'язання цієї задачі пов'язана з тим, що внаслідок розтікання теплової форма кривої температурного перепаду пов'язана з параметрами дефекту складним чином (неоднозначно).

Для подолання зазначеної проблеми запропоновано використовувати метод моделювання дефекту еквівалентним джерелом тепла, розподіленим за обсягом та поверхні дефекту. У поєднанні з методом теплових передавальних функцій запропонований підхід дозволює тримати тривимірну ТПФ об'єкта з дефектами типу розшарування, що забезпечує визначення конфігурації розшарування за відомої її глибини залягання.

Для дефекту малих розмірів, що моделюється поєднанням точкового та дипольного еквівалентних джерел тепла, показано можливість вирішення задачі теплової дефектометрії щодо його чотирьох параметрів: розташування центру глибини залягання, ТФГ та об'єму. Розроблено відповідний алгоритм теплової дефектометрії.

Виведено аналітичні співвідношення, що дозволяють оцінити вплив на роздільну здатність теплової дефектометрії таких факторів, як теплофізичні параметри пластини, глибина залягання дефекту, а також кожний максимальний рівень сигналу за інших рівних умов.

Таким чином, отримані теоретичні результати та розроблені методики дозволяють суттєво розширити потенційні можливості теплової дефектометрії (малі дефекти), та підвищити її інформативність (визначення функції, а не тільки товщини дефекту). Крім того, запропонована модель еквівалентного джерела дозволяє розглядати дефект як активний елемент, що робить наочнішим процес формування корисного сигналу.