

С.Б. МАЛИК, аспирант, ХНУРЭ;
А.В. МЯГКИЙ, инженер, ХНУРЭ;
А.В. СТОРОЖЕНКО, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ ПОМЕХИ

Отримано оцінку чутливості теплової дефектоскопії (параметри порогових дефектів) для широкого кола матеріалів, що дозволяє потенціальному споживачеві визначити застосовність даного методу. Запропоновано підхід до оптимізації режиму теплової дефектоскопії, що дозволяє підвищити відношення сигнал/шум, а отже і чутливість методу.

Infrared testing sensitivity estimation (threshold detectable defect characteristics) for a wide number of materials is obtained. It allows prospective consumer to appraise this method applicability. Infrared testing procedure optimization approach that allows to raise SNR and therefore method sensitivity is proposed.

Тепловая дефектоскопия (ТДС) состоит в обнаружении дефектов внутренней структуры объекта контроля (ОК) по аномалиям температурного поля на его поверхности, возникающего под воздействием внешнего источника тепла [1].

Основным фактором, ограничивающим чувствительность ТДС, является помеха, связанная с неоднородностью поверхности ОК по коэффициенту излучения ε [2].

Известный подход к снижению влияния этой помехи состоит в покрытии поверхности ОК перед обследованием высокоизлучающей краской. Поверхность становится однородной и с высоким коэффициентом излучения ($\varepsilon \approx 0,9 \dots 0,98$).

Однако, необходимость производить покраску ОК перед контролем и снимать краску после проведения контроля существенно снижает производительность ТДС и повышает ее себестоимость. Кроме того, этот метод исключает влияние излучательной помехи только при условии, что покраска производится три и более раз, только в этом случае ε становится однородным [3].

В работе [4] авторами был предложен другой подход к снижению излучательной помехи, основанный на оптимизации режима ТДС по критерию максимизации отношения сигнал/шум. Подход основан на том факте, что моменты времени, соответствующие достижению максимумов помехи (шума) ΔT_ε и полезного сигнала $\Delta T_{\text{оэф}}$ не совпадают: сигнал от помехи достигает максимума сразу по окончании нагрева, а полезный сигнал

– с определенным временем запаздывания τ_3 . Максимум соотношения сигнал/шум наступает в момент времени τ_{opt} (рис. 1).

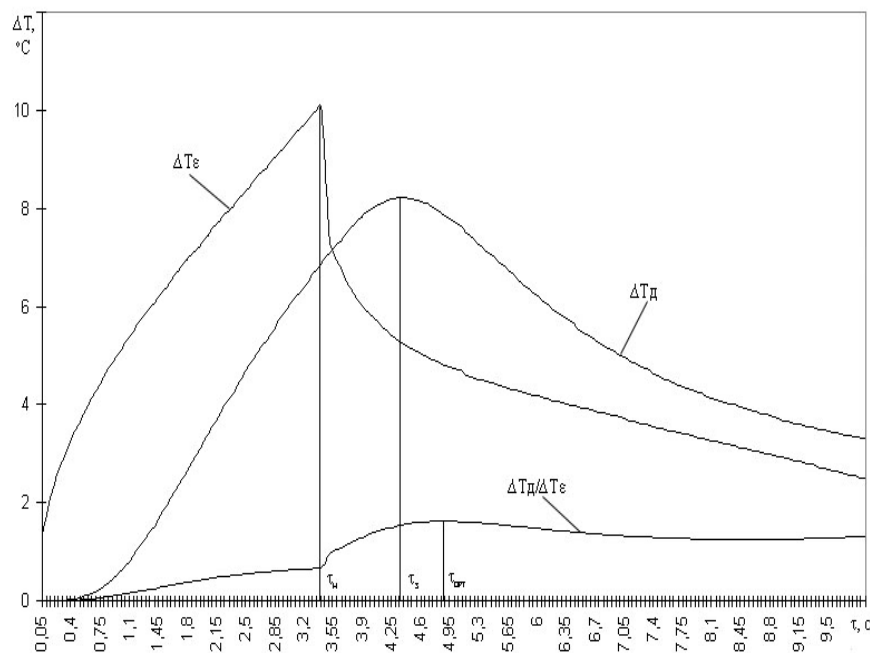


Рисунок 1 – Временные зависимости полезного сигнала и помехи

Целью настоящей работы является развитие предложенного в [4] подхода путем оценки предельной чувствительности ТДС применительно к широкому кругу ОК.

При этом под чувствительностью понимаются параметры порогового дефекта, определяемого из условия: сигнал/шум ≥ 1 .

Поскольку чувствительность теплового контроля для разных материалов ОК разная (зависит от теплофизических характеристик материала (ТФХ) [1]), то для получения более полной информации расчета известные по теплофизическим справочникам [5] материалы были разбиты на группы по величине удельной теплопроводности λ следующим образом:

1. Изоляторы ($0 < \lambda < 0,4$)
2. Плохие проводники тепла ($0,4 < \lambda < 8$)
3. Средние проводники тепла ($8 < \lambda < 35$)

4. Теплопроводящие материалы ($35 < \lambda < 500$)

Для проведения расчетов чувствительности по приведенной в [4] теплофизической модели использовались следующие допущения и упрощения:

- тип дефекта – воздушное включение (наиболее часто встречающийся на практике в виде мест непрочлея, расслоений, трещин и т.п.);
- предельно допустимая температура нагрева - 100°C (при более высокой температуре в ряде материалов могут происходить структурные изменения, а также при температуре выше 100°C проявляется зависимость теплопроводности λ от температуры материала и модель становится нелинейной);
- раскрытие (толщина дефекта) постоянна – 0,2 мм, что соответствует реальным дефектам, встречающимся на практике;
- толщина контролируемой пластины – 1 см (толщина большинства реальных ОК ТДС не превышает приведенного значения).

Таким образом, целью расчетов являлось определение пороговых значений двух параметров дефекта (глубины залегания h и поперечного размера l) для объектов четырех указанных классов. При этом учитывалось, что пороговые значения l и h взаимосвязаны - для повышения разрешения по глубине (h), необходимо чтобы поперечный размер дефекта (l) был больше [2].

Результаты расчетов приведены в табл. 1. Пороговые размер и глубина залегания дефектов в материалах выбранных групп даны для средних значений теплопроводности по группе, т.к. это позволяет определять пороговые параметры дефекта для конкретного материала путем интерполяции.

Таблица 1 – Чувствительность ТДС при разных уровнях излучательной помехи

№ группы матер. ОК	λ , Вт/м·К	$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 0$		$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 10\%$		$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 20\%$		$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 30\%$		$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 40\%$		$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 50\%$	
		l , мм	h , мм	l , мм	h , мм	l , мм	h , мм	l , мм	h , мм	l , мм	h , мм	l , мм	h , мм
1	0,175	5	9,5	8	5,5	6	2,5	5	1,5	8	1,5	–	–
2	3,325	3	9	6	7	8	6	8	5	7	4	8	4
3	14	3	9	6	7	7	6	7	5	8	5	7	4
4	332,5	3	9	8	7	8	6	8	5	8	4	7	3

Из анализа табл. 1 следует, что чувствительность к обнаружению воздушных дефектов в ОК из нетеплопроводных материалов (1 группа) значительно ниже, что объясняется слабым отличием ТФХ материала и

дефекта. Также чувствительность ТДС резко снижается с увеличением уровня помехи. Для материалов первой группы обнаружение дефектов при уровне помехи $\Delta\varepsilon/\varepsilon = 50\%$ сильно затруднено. В случае, если материал дефекта более теплопроводный, чем воздух (различные инородные включения в материале ОК), чувствительность ТДС будет меньшей.

Для оценки эффективности предложенного подхода к оптимизации процедуры ТДС в табл. 2 приведены значения отношения сигнал/шум для двух случаев: оптимизации по максимизации полезного сигнала и оптимизации по максимизации отношения сигнал/шум.

Таблица 2 – Повышение отношения сигнал/шум за счет выбора режима контроля (при $\Delta\varepsilon/\varepsilon = 10\%$)

№ группы матер. ОК	λ , Вт/м·К	$\left. \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\varepsilon}} \right _{\tau_3}$	$\left. \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\varepsilon}} \right _{\tau_{opt}}$	Повышение $\Delta T_{\delta}/\Delta T_{\varepsilon}$, %
1	0,175	1,51	1,63	7
2	3,325	1,42	1,57	9,5
3	14	1,5	1,64	8,5
4	332,5	1,3	1,52	14,5

Выводы

1. Получена оценка чувствительности ТДС (параметры пороговых дефектов) для широкого круга материалов, что позволяет потенциальному потребителю оценить применимость данного метода.

2. Предложен подход к оптимизации режима ТДС, позволяющий повысить отношение сигнал/шум, а следовательно и чувствительность метода.

Список литературы: 1. *Стороженко В.А., Маслова В.А.* Термография в диагностике и неразрушающем контроле. - Харьков: Компания СМИТ, 2004 - 160 с. 2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль. /В.П. Вавилов. Кн. 2: Электрический контроль. /К.В. Подмастерьев, Ф.Р. Соснин, С.Ф. Корндорф, Т.И. Ногачева, Е.В. Пахолкин, Л.А. Бондарева, В.Ф. Мужикский. - М.: Машиностроение, 2004. - 679 с. 3. *Xavier P. V. Maldague.* Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. - John Wiley & Sons, Inc., 2001, p. 684. 4. *Стороженко В.А., Малик С.Б., Мягкий А.В.* Оптимизация режимов тепловой дефектоскопии на основе теплофизического моделирования // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади і методи неруйнівного контролю. - Харків: НТУ «ХПІ» - №48. - 2008. - С. 84-91 5. *Пехович А.И., Жидких В.М.* Расчеты теплового режима твердых тел. - М.: Энергия, 1976 - 352 с.