

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ТЕПЛООВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ТОМСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

© 2024 г. Владимир Платонович Вавилов^{1*}, А. О. Чулков^{1**}, Д. Ю. Кладов^{1***}
¹ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050

Томск, пр. Ленина, д. 30

* - vavilov@tpu.ru; ** - chulkovao@tpu.ru; *** - dyk10@tpu.ru

Работы Томского политехнического университета (ТПУ) в области теплового контроля (ТК) были начаты в 1970-х годах по инициативе тогдашнего директор НИИ интроскопии В.И. Горбунова, будучи инспирированными рядом зарубежных публикаций и исследованиями Н.А. Бекешко, А.Б. Упадышева, Ю.А. Попова, А.Е. Карпельсона в МНПО «Спектр», г. Москва. На тот же период пришлось развитие отечественного тепловидения, вдохновленное появлением на мировом рынке высококачественных тепловизоров шведской фирмы AGA (затем AGEMA). Томские исследования с самого начала базировались на решении трехмерных задач теплопроводности. Практические применения ТК были связаны с: 1) выявлением воды в теплозащите космического челнока «Буран»; 2) контролем паяных соединений с помощью специализированного теплового дефектоскопа ФИД-1; 3) использованием метода Паркера для двухстороннего ТК углепластика и заготовок мощных тиристоры и др.

Таблица 1

Специализированное программное обеспечение для ТК

Программа	Описание
Моделирование	
Layer 3 Analytic	Аналитическое решение одномерной трехслойной задачи ТК (нагрев прямоугольным импульсом)
ThermoCalc-2D	Трехслойный диск с дефектом (двухмерная цилиндрическая геометрия)
ThermoCalc-3D Pro и модификации	Базовая программа для решения трехмерной задачи ТК в декартовых координатах в 36-слойной пластине, содержащей до 40 дефектов. Предусмотрены различные виды нагрева во времени и пространстве. Совместимость с программой MatLab.
ThermoSon	Версия ThermoCalc-3D Pro. Стимуляцию твердого тела осуществляют ультразвуком, вызывающем эффект внутреннего трения в дефектах.
Обработка данных	
ThermoFit Pro	Обработка экспериментальных и расчетных последовательностей термограмм с использованием следующих алгоритмов: 1) фильтрация; 2) нормализация; 3) вычитание и усреднение термограмм; 4) полиномиальная аппроксимация; 5) преобразование Фурье; 6) анализ главных компонент; 7) анализ производных; 8) динамическая тепловая томография; 9) корреляционный анализ; 9) вейвлет преобразование; 11) статистический анализ, и др.
ThermoLab	Версия программы ThermoFit Pro, совместимая с MatLab.

Тенденции последних лет в ТК связаны с автоматизацией принятия решения, использованием нейронных сетей и роботизацией. Автоматизацию наиболее легко

осуществить в части дефектоскопии, в то время как дефектометрия представляет трудности, в частности, из-за проблем с эталонами дефектов в ТК. Нейронные сети оказались весьма эффективными при анализе зашумленных данных, но, к сожалению, их применение ограничено однотипными задачами контроля при высокой повторяемости процедуры ТК. В свою очередь, роботизация помогает реализовать потенциально высокую производительность ТК, в особенности, применительно к изделиям сложной формы.

В последние годы существенно расширилась аппаратная база ТК. Ряд новых установок, разработанных в ТПУ, показаны на рис. 1. Дефектоскоп на рис. 1а предназначен для контроля от зоны к зоне и является вариантом устройств известных на мировом рынке (Thermal Wave Imaging, Orgal и др.). Для непрерывного ТК плоских изделий большой площади предназначен самоходный дефектоскоп с непрерывным нагревом и записью термограмм (рис. 1б). Роботизированный комплекс ТК на рис. 1в обеспечивает производительность испытаний до 25 кв. м./час за счет применения полосового нагревателя длиной 1 м. На рис. 1г показан специализированный термоакустический дефектоскоп, предназначенный для обнаружения трещин в керамических покрытиях лопаток турбин.

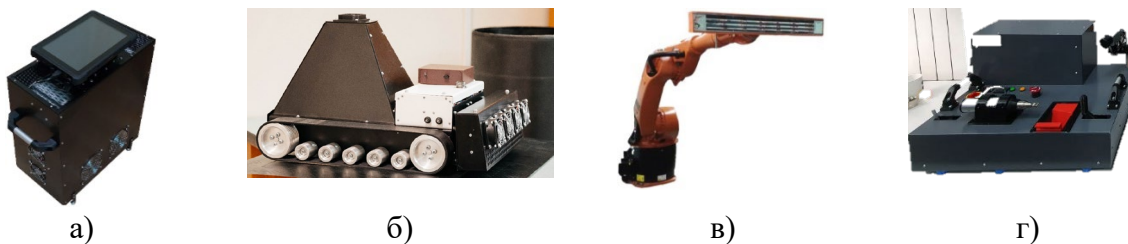


Рис. 1. Аппаратура ТК (ТПУ):

- а – переносной тепловой дефектоскоп с оптическим нагревом;
- б – самоходный тепловой дефектоскоп с полосовым нагревом;
- в – роботизированный комплекс для ТК крупногабаритных изделий;
- г – портативная установка для термоакустического контроля.

Экспериментальные работы последних лет также связаны с комбинированием ультразвукового и ТК, в особенности, термоакустикой [1] и лазерной виброметрией [2].

Вышеописанные исследования были поддержаны грантом FSWW-2023-0004 Министерства науки и высшего образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чулков А.О., Нестерук Д.А., Шагдыров Б.И., Вавилов В.П. Метод и аппаратура инфракрасного и ультразвукового термографического контроля крупногабаритных композиционных изделий сложной формы // Дефектоскопия. 2021. № 7. С. 67—74.
2. Шпильной В.Ю., Вавилов В.П., Дерусова Д.А., Дружинин Н.В., Ямановская А.Ю. Особенности проведения неразрушающего контроля полимерных композиционных материалов с использованием бесконтактной ультразвуковой стимуляции и лазерного вибростимулирования // Дефектоскопия. 2021. № 8. С. 14—23.