

КОНТРОЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ: КОНЦЕПЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭКВИВАЛЕНТОВ РЕАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ

Ганина Олеся Алексеевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: Vsoa@tpu.ru

Научный руководитель: Вавилов Владимир Платонович,

д.т.н., заведующий научно-производственной лабораторией «Тепловой контроль»,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vavilov@tpu.ru

THERMAL TESTING REFERENCE SAMPLES: THE CONCEPT OF THERMAL EQUIVALENTS OF REAL DEFECTS

Ganina Olesya Alekseevna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Academic supervisor: Vavilov Vladimir Platonovich,

Ph.D., Head of the research and production laboratory "Thermal control",

National Research Tomsk Polytechnic University

Аннотация: метрологическое обеспечение средств неразрушающего контроля является актуальным, будучи связанным с повышением эффективности и качества проведения контроля. В особенности, это относится к наличию современных контрольных образцов, отвечающих конкретным требованиям промышленных испытаний. Поиск информации о контрольных образцах в литературе по тепловому контролю показал, что данная тема является актуальной и недостаточно освещенной в источниках. В данной работе рассмотрены и сравнены различные варианты реализации дефектов в контрольных образцах, определены их основные параметры, а также сделаны соответствующие выводы о технологии их изготовления. Предложена концепция термически эквивалентных дефектов с соответствующими экспериментальными результатами.

Abstract: nowadays the issue of metrological support of nondestructive testing means is still topical, being related to the increase of efficiency and quality of inspection. This includes the availability of modern test samples thus meeting specific requirements of industrial testing. The search for information on test samples in thermal inspection has shown that this topic is relevant and insufficiently covered in the literature. In this paper, different variants of defect realization in test samples are evaluated, their main parameters are determined, and appropriate conclusions about the manufacturing technology are drawn. The concept of thermally equivalent defects is proposed, the corresponding experimental results are presented.

Ключевые слова: тепловой неразрушающий контроль; композит; дефект; контрольный образец; моделирование; расслоение; вероятность обнаружения.

Keywords: thermal nondestructive testing; composite; defect; test sample; modeling; delamination; probability of detection.

В тепловом неразрушающем контроле применяют контрольные образцы для проверки процедур испытаний и эффективности алгоритмов обработки данных. Большинство образцов для композитных панелей используют фторопластовые вставки для моделирования расслоений. В данной работе для оптимизации имитаторов реальных расслоений и оценки требуемых параметров дефектов использовано 3D моделирование. На основе результатов численного моделирования были изготовлены композитные панели с имитированными расслоениями, которые были подвергнуты испытаниям с соответствующими выводами.

Методология визуализации скрытых дефектов в твердых телах с помощью тепловых волн была представлена десятилетия назад Розенцвейгом и Гершо [1] и недавно обобщена

Сиддики и др. [2]. Импульсные процедуры теплового неразрушающего контроля были детально проанализированы Алмондом и Пикерингом [3], затем Балажасом и Рошем [4] и недавно Цзыцзюнем Вангом и др. [5]. Ряд исследований был посвящен анализу эффективности теплового контроля при обнаружении нескольких различных типов моделируемых дефектов. Обнаружение искусственных дефектов в контрольном образце из оргстекла были описано Монтанини с использованием синхронного и импульсно-фазового способа теплового контроля [6].

Использование теплового неразрушающего контроля требует применения контрольных образцов с имитированными дефектами (расслоениями), которые должны обеспечивать профили температуры и времени, идентичные профилям реальных дефектов (расслоений) в проверяемых деталях, по крайней мере, если речь идет об амплитудах сигналов. Фактически дефекты, которые могут возникнуть во время изготовления и использования композитных конструкций, включают расслоения, отслоения, отслоения оболочки и сердцевины, ударные повреждения, пористость, посторонние твердые включения и жидкости (воду) [7].

Контрольные образцы, как правило, представляют собой плоские панели площадью менее квадратного метра, содержащие несколько слоев пластика, причем в каждый слой вводят имитированные расслоения определенных размеров. Важным параметром является «максимально допустимый размер дефекта» или «минимальный размер отбраковываемого дефекта». Например, в авиации, рекомендуемый размер отбраковываемого дефекта составляет 10–12 мм. В ряде случаев предел обнаружения был установлен на уровне 6 мм, и такие дефекты трудно реализуемы на практике. Вероятность их обнаружения снижается с уменьшением размеров, таким образом, оператор может их пропустить. Иногда, в качестве контрольных образцов используют полноразмерные композитные детали. В них устанавливают до 200 фторопластовых вставок в зонах интереса, включая труднодоступные и неконтролируемые стандартными методами зоны.

В данной работе мы проанализировали взаимосвязи между параметрами расслоений, типичных для композитных материалов, и результирующими параметрами поверхностных тепловых возмущений, вызванных такими дефектами.

Используя решения трехмерных задач теплового контроля, разрабатываемые в Томском политехническом университете в течение последних десятилетий, был выполнен сравнительный теоретический анализ зависимости температуры от времени для нескольких типов дефектов. Изотропную композитную панель из армированного углепластика нагревали в течение 10 секунд тепловым потоком мощностью 10 кВт м^{-2} . Теоретический анализ проводили на трех образцах толщиной (L) 2, 5 и 10 мм. Каждый образец содержал 6 типов дефектов: 1) плоскодонные отверстия; 2) заполненные воздухом расслоения, 3) фторопластовые вставки в идеальном контакте с композитом, 4) фторопластовые вставки с тонкими воздушными зазорами над ними, 5) фторопластовые вставки, окруженные тонкими воздушными зазорами сверху и снизу, 6) две фторопластовые вставки, разделенные тонким воздушным зазором. Дефекты были размещены на трех глубинах $l=25, 50$ и 75% от толщины образца. Границы между основным материалом и дефектом предполагают непрерывность температуры и теплового потока, т. е. наряду с теплопроводностью температуропроводность дефектов также вносит вклад в дифференциальные температурные сигналы $\Delta T = T_d - T_{nd}$ на поверхности образца (T_d и T_{nd} – температуры в дефектной и бездефектной областях). Теплофизические свойства углепластика: теплопроводность $K = 0,62 \text{ Вт м}^{-1}\text{К}^{-1}$, теплоемкость $C = 2462 \text{ Дж кг}^{-1}\text{К}^{-1}$, плотность $\rho = 1411 \text{ кг м}^{-3}$. Теплофизические свойства воздуха: теплопроводность $K = 0,07 \text{ Вт м}^{-1}\text{К}^{-1}$, теплоемкость $C = 928 \text{ Дж кг}^{-1}\text{К}^{-1}$, плотность $\rho = 1,3 \text{ кг м}^{-3}$. Теплофизические свойства фторопласта: теплопроводность $K = 0,23 \text{ Вт м}^{-1}\text{К}^{-1}$, теплоемкость $C = 1050 \text{ Дж кг}^{-1}\text{К}^{-1}$, плотность $\rho = 2210 \text{ кг м}^{-3}$.

Все 54 дефекта (3 панели: толщиной 2, 5, 10 мм) были охарактеризованы показателями обнаружения, которые обычно используют в тепловом неразрушающем контроле, а именно: 1) максимальные дифференциальные сигналы ΔT_m , 2) время появления вышеуказанных сигналов $\tau_m (\Delta T_m)$, 3) максимальный текущий контраст $Con_m = (\Delta T / T_{nd})_m$ 4) время появления

максимального контраста $Con_m = (\Delta T/T_{nd})_m$. Моделирование выполняли с использованием программного обеспечения ThermoCalc-3D Pro (Томский политехнический университет).

Если сравнить профиль температуры во времени для плоскодонных отверстий с профилем расслоений, заполненных воздухом, то очевидно, что максимальные сигналы и температурные контрасты появляются приблизительно в одно и то же время наблюдения с разбросом до 20–30%. Однако сигналы ΔT_m для плоскодонных отверстий в 5–7 раз выше (500–700%), чем в случае расслоений, следовательно, их легче обнаружить, чем реальные расслоения. Таким образом, плоскодонные отверстия не могут служить удовлетворительным имитатором тонких расслоений в контрольных образцах. Этот вывод справедлив для толщин образцов 2–10 мм. Если сравнить профиль температуры и времени для вставки из фторопласта толщиной 0,1 мм с профилем расслоения той же толщины, заполненного воздухом, то величины ΔT и Con для включения одинарной толщины составляют приблизительно от 1/4 до 1/6 от соответствующих величин для расслоений. Таким образом, вероятность обнаружения фторопластовой вставки ниже, чем вероятность обнаружения реального расслоения, и такая вставка не может служить имитатором расслоений. На практике при отсутствии контакта на границе материала образца и вставки из фторопласта может возникнуть дополнительное тепловое сопротивление. Для оценки такой ситуации, в математическую модель были введены воздушные зазоры толщиной 50 мкм между материалом образца и фторопластовыми вставками. В результате воздушный зазор над фторопластовыми вставками создает температурные сигналы, близкие к сигналам от заполненных воздухом расслоений толщиной 100 мкм. Еще более значительный температурный сигнал возникает при наличии воздушных зазоров с обеих сторон вставки. Кроме того, сочетание фторопласта и воздушных зазоров также может привести к инверсии температурного сигнала, когда дефектные области характеризуются более низкой температурой, чем бездефектный фон, однако этот случай требует отдельного рассмотрения.

В общем случае анализируемые дефектные ситуации можно охарактеризовать следующими безразмерными температурными контрастами (глубина дефекта 0,5–7,5 мм): 0,05–2 (плоскодонные отверстия), 0,06–0,3 (тонкие расслоения, заполненные воздухом), 0,04–0,08 (фторопластовые вставки) и 0,04–0,4 (фторопластовые вставки, окруженные тонкими воздушными зазорами). Диапазон изменения контраста велик, поскольку в одностороннем тепловом контроле температурные сигналы существенно зависят от глубины и толщины дефекта. Целью анализа было сравнение профилей температуры во времени для различных типов дефектов. Изменяя диаметр, толщину и глубину плоскодонных отверстий и фторопластовых вставок, можно добиться подобия соответствующих профилей изменения температуры во времени $\Delta T(\tau)$.

Экспериментальная проверка теоретических расчетов была выполнена с использованием образца из оргстекла толщиной 6 мм, содержавшего множество внутренних расслоений и плоскодонных дефектов, изготовленных методом лазерной обработки. В частности, дефекты D1, D3, D5 и D7 представляли собой расслоения размером 10×10 мм и толщиной 0,2 и 0,4 мм, расположенные на глубинах 2 и 4 мм. Их тепловыми эквивалентами являются дефекты D2, D4, D6 и D8, представляющие собой плоскодонные отверстия, параметры которых были определены численным моделированием. Теплофизические свойства оргстекла: теплопроводность: $K = 0,23 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, теплоемкость $C = 1400 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, плотность $\rho = 1190 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$.

Экспериментальные профили температуры $\Delta T(\tau)$ в зависимости от времени для четырех пар дефектов показаны на рисунке 1. Видно, что расслоения D1 и D3 на глубине 2 мм могут быть эффективно представлены плоскодонными отверстиями D2 и D4 (см. рисунок, а, б), а соответствующие профили температуры в зависимости от времени напоминают расчетные. Дефекты на глубине 4 мм создают зашумленные профили температуры $\Delta T(\tau)$ в зависимости от времени (см. рисунок, в, г), тем не менее сходство температурных откликов от расслоений (D5/D6 D7/D8) очевидно.

Рассмотренные выше примеры доказывают правомерность предложенной концепции тепловых эквивалентов дефектов. Концепция включает поиск плоскодонных отверстий или фторопластовых вставок (возможно применение вспененного полипропилена), которые производят поверхностные температурные сигналы, подобные сигналам от реальных расслоений. Численное моделирование соответствующих ситуаций целесообразно выполнять с помощью стандартного программного обеспечения, например, Comsol Multiphysics, или специализированного программного обеспечения, в частности, ThermoCalc-3D Pro.

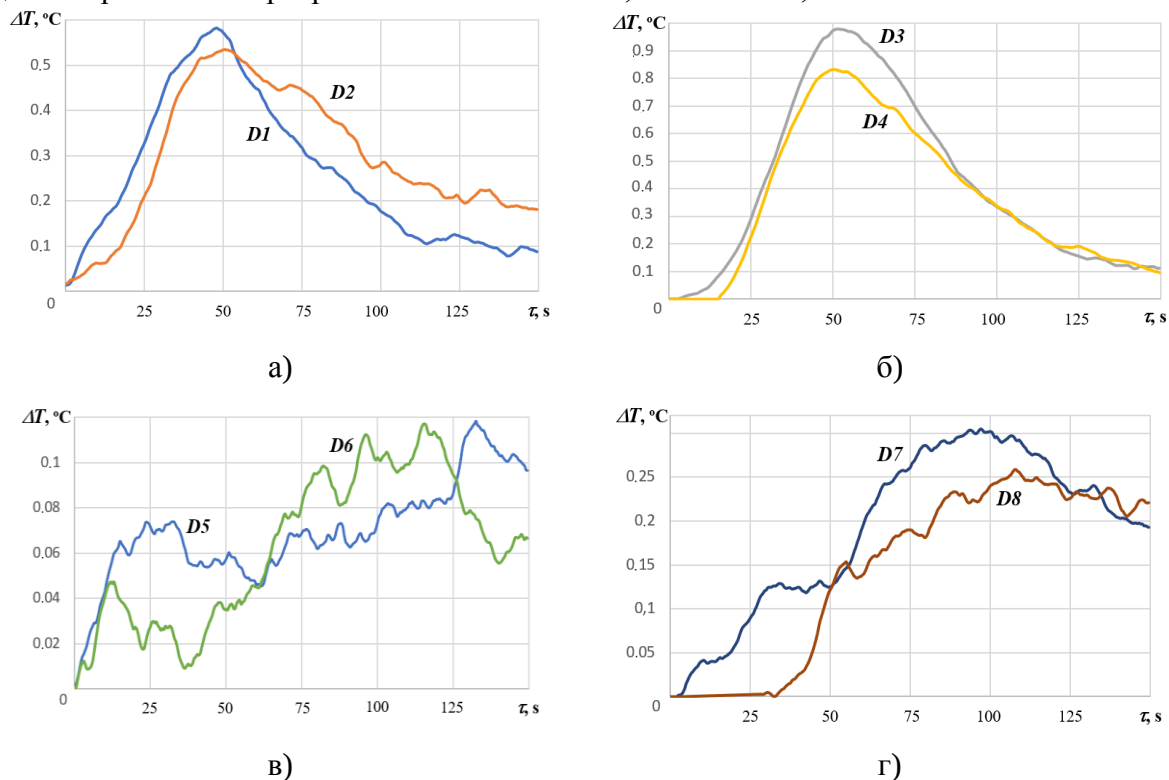


Рисунок – Экспериментальные температурные сигналы над расслоениями (D1, D3, D5, D7) и их тепловые эквиваленты над плоскодонными отверстиями (D2, D4, D6, D8) на глубинах 2 и 4 мм в образце из оргстекла (нагрев в течение 30 секунд двумя галогенными лампами, общая мощность 2 кВт)

Список литературы

1. Rosencwaig A. Thermal-wave imaging / A. Rosencwaig, A. Gersho // Science. – 1982. – Vol. 218. – P. 223–228.
2. Siddiqui J.A. Infrared Thermal Wave Imaging for Nondestructive Testing of Fibre Reinforced Polymers / J.A. Siddiqui, V. Arora, R. Mulaveesala, A. Munlyappa // Experimental Mechanics. – 2015. – Vol. 55(430):1-7. – P. 1239–1245.
3. Almond D.P. An analytical study of the pulsed thermography defect detection limit / D.P. Almond, S.G. Pickering // Journal of Applied Physics. – 2012. – Vol. 111, 093510
4. Balageas D.L. Common tools for quantitative time-resolved pulse and step-heating thermography – part I: theoretical basis / D.L. Balageas, J.-M. Roche // Quantitative InfraRed Thermography Journal. – 2014. – Vol. 11. – P. 43-56.
5. Zijun Wang. Evaluation of defect depth in CFRP composites by long pulse thermography / Zijun Wang, Litao Wan, Junzhen Zhu, F. Ciampa // NDT & E International. – 2022. – Vol. 129, 102658.
6. Montanini R. Quantitative determination of subsurface defects in a reference specimen made of Plexiglas by means of lock-in and pulse phase infrared thermography / R. Montanini // Infrared Physics & Technology. – 2010 – Vol. 53 (5). – P. 363–371.

7. Нестерук Д.А. Тепловой контроль и диагностика / Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 104 с.

УДК 659

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РЕКЛАМЫ В РОССИИ

Гришаев Сергей Андреевич

Российский государственный социальный университет, г. Москва

E-mail: sergeygrishaew@yandex.ru

Научный руководитель: Парасоцкая Наталья Николаевна,

к.э.н., доцент кафедры экономики, финансов и капитала РГСУ, г. Москва

E-mail: 9255173648@mail.ru

THE HISTORY OF ADVERTISING DEVELOPMENT IN RUSSIA

Grishaev Sergey Andreevich

Russian State Social University, Moscow

Academic supervisor: Parasotskaya Natalya Nikolaevna,

Ph.D. in Economics Associate Professor of the Department of Economics, Finance,

Capital of the Russian State Social University, Moscow

Аннотация: статья посвящена изучению истории возникновения и развития рекламы в России, рассмотрению актуальных перспектив дальнейшего ее совершенствования. Хорошо организованная реклама способствует установлению торговых связей производителей с покупателями, стимулирует конкуренцию среди производителей товаров и услуг, содействует реализации товара и увеличивает его спрос. Это является основой расширения производства и повышения эффективности хозяйственной деятельности. Знание исторических процессов эволюции рекламы помогает понять сущность современных изменений рекламной деятельности и предположить дальнейшие тенденции в развитии рекламного производства.

Abstract: the article is devoted to the study of the history of the emergence and development of advertising in Russia and the consideration of current prospects for its further improvement. Well-organized advertising promotes the establishment of trade relations between manufacturers and customers, stimulates competition among manufacturers of goods and services, promotes the sale of goods and increases its demand. This is the basis for expanding production and increasing the efficiency of economic activity. Knowledge of the historical processes of the evolution of advertising helps to understand the essence of modern changes in advertising activities and suggest further trends in the development of advertising production.

Ключевые слова: реклама; история; товар; производитель; покупатель; интерактивная реклама

Keywords: advertising; history; product; manufacturer; buyer; interactive advertising

Реклама является неотъемлемой частью политической, культурной и экономической жизни людей, связывая потребителей и производителей. Она возникла с появлением первых товаров и людей, которые стремились их продать широкому кругу покупателей, для получения максимально высокой прибыли. В своей эволюции реклама в России претерпела ряд изменений от устного, рукописного и печатного слова до новейших способов передачи информационного материала. На сегодняшний день реклама присутствует во всех источниках средств массовой информации: газетах, журналах, радио, телевиденье, в общественных местах, на различных мероприятиях. Рекламные организации объединяют огромное количество людей разных специальностей и направлений: Успешная рекламная деятельность – это большое искусство и мастерство каждого из участников, вовлеченных в эту работу. Развитие рекламы является важным фактором в социально-экономической системе, так как