



NDT World, 2016, v. 19, no. 1, pp. 18–20
DOI: 10.12737/18044

Исследование сложной структуры композитов из углепластика / стеклопластика методом активной термографии

Методом активной термографии проведено исследование сложного, специально изготовленного композитного образца со слоями из углепластика и стеклопластика. Показано, что применение высокочувствительного термографического оборудования с использованием современного программного обеспечения для обработки изображений позволяет быстро (за время менее 5 минут) получать распределение дефектов в многослойной структуре (более 20 слоев) и контролировать расслоения в сэндвич – структурах. Показана возможность применения метода в полевых, цеховых и лабораторных условиях.

Submitted 11.11.15
Accepted 23.11.15

J. M. Poplawski¹

NDT Study of Complex CFRP/GFRP Structure by Means of Active Thermography

Introduction. The active thermography requires an external energy source to induce a temperature gradient; internal flaws act as infinite resistance to heat conduction. The study was fulfilled to determine detectability of the flaws in complex CFRP/GFRP structures using active thermography. **Method.** The calibration plate with Teflon inserts as artificial defects was tested. The standard configuration of the NDTherm[®] NT system was used together with the specially developed algorithm for enhancing the contrast via special time compression and polynomial fit to ensure noise reduction. **Results.** The Teflon inserts were clearly seen under 16 layers of hybrid structure. It took less than 5 minutes to run measurements. **Conclusion.** The results have shown that this noncontact method is quick, reliable and cost-effective. The Opgal NDTherm[®] Technology and product line has shown enhanced detection capabilities in various applications.

Keywords: active thermography, CFRP/GFRP structure, image processing, detection algorithm, heat transfer

Введение

Инфракрасная термография как метод НК успешно используется для многих приложений. В отличие от пассивной термографии, когда оценивается температурный контраст, свойственный объекту, при активной термографии требуется внешний источник энергии для создания температурного градиента от поверхности в объём. Активная термография — это оптический метод НК, не требующий контакта с поверхностью ни для измерения, ни для возбуждения, как этого требует ультразвук. Присутствие внутренних дефектных областей в поле зрения инфракрасной камеры обнаруживается как изменение распределения температуры по поверхности в зависимости от времени. В данном случае для получения изображений использована специальная система NDTherm[®]NT, включающая в себя неохлаждаемую высокочувствительную инфракрасную микроболометрическую камеру Opgal, галогенные лампы мощностью 4 кВт, блок электронного управ-

ления и специальные алгоритмы обработки изображения Opgal.

Для обеспечения наилучших результатов контроля рассматриваемого образца система NDTherm[®] была использована в стандартной комплектации, где инфракрасная камера имела чувствительность менее 30 мК, частоту кадров 25 с⁻¹, относительное отверстие 1:0,85 и оптический угол обзора 30°. В зависимости от задачи заказчика возможны другие комплектации системы.

Источники тепла расположены таким образом, чтобы обеспечить наиболее равномерное поле облучения. Градиент температуры рассматривается как од-

ПОПЛАВСКИ Джордж М.

Ведущий специалист по технологии активной термографии в компании Opgal, Кармиель, Израиль. Закончил Израильский технологический институт со специализацией в области физики полупроводниковых полимеров, в основном органических светодиодов (OLED).



номерный, и применяются соответствующие методы обработки данных.

Физический процесс

В общем случае выражение для распределения температуры T в среде с теплопроводностью k , теплоемкостью C_p и плотностью ρ при проходящем тепловом возбуждении W описывается уравнением [1]:

$$k\nabla^2 T + W = C_p \rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

В случае, когда слой материала конечных размеров толщиной L нагревается коротким импульсом, распространение тепла происходит перпендикулярно поверхности (вдоль оси z) и на поверхности при $z=0$ распределение температуры может быть описано выражением:

$$T(0, t) = T_0 + \frac{Q}{\sqrt{k \rho C_p \pi t}}$$

Если $e = (k \rho C_p)^{1/2}$ определить как излучаемость (effusivity), то наиболее просто для ограниченной глубины L представить

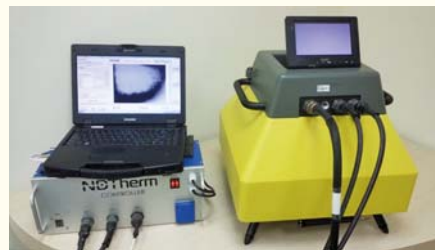


Рис. 1. Общий вид NDTherm NT

¹ Opgal Optronic Systems, Karmiel, Israel; info@opgal.com

$$\ln(\Delta T) = \sum_0^n a_i \ln^i(t),$$

что позволяет провести полиномиальную аппроксимацию температуры [2].

Внутренние дефекты действуют как бесконечные сопротивления для передачи тепла, что будет отображаться на поверхности как увеличение или уменьшение контраста с изменением времени распространения тепла. Для улучшения контраста Opgal, по сравнению с ранее использовавшимися методами обработки, разработал новые алгоритмы временного сжатия и полиномиальной аппроксимации для уменьшения шумов, как показано на рис. 2.

Результаты

Данный метод был применен на ка-

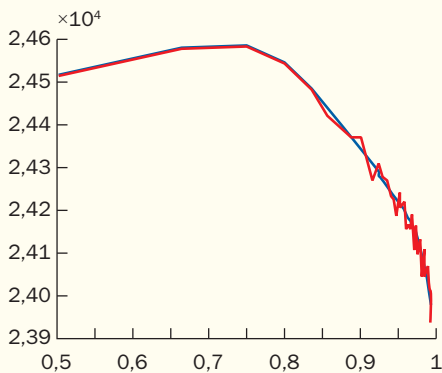


Рис. 2. Алгоритмы сжатия времени (time compression algorithms): красный цвет — исходный сигнал; синий — сигнал после обработки

либровочном образце, изготовленном Израильским аэрокосмическим производственным концерном (IAI), как показано на рис. 3. Калибровочный образец состоит из четырёх зон, где каждая представляет конкретную область будущего сложного объекта контроля: самая тонкая зона композита состоит из трёх слоёв стекловолокна P01, P10 и P19. Следующая зона состоит из 6 слоёв стекловолокна и одного слоя углеволокна и верхний слой — из стекловолокна P01, P08–P12 и P19. Следующая зона состоит из двух слоёв стекловолокна, трёх слоёв углеволокна, четырёх слоёв стекловолокна, четырёх слоёв углеволокна и последнего слоя стекловолокна P01–P04, P08–P12, P16–P19.

Самая толстая зона состоит из двух слоёв стекловолокна, 6 слоёв углеволокна, 4 слоёв стекловолокна, 6 слоёв углеволокна и верхнего слоя стекловолокна. Изображение пластины приведено на рис. 3 (стекловолокно отмечено красным цветом, углеволокно — серым).

Видно, что на нижних полосах видна асимметрия и множественные поверхностные переходы между стекловолокном и углеволокном, которые создают трудности при контроле обычными методами, верхний слой из углеволокна (слой P01), нижний слой из стекловолокна (слой P18). Измерения проводились в режиме «отражения», при которых ин-

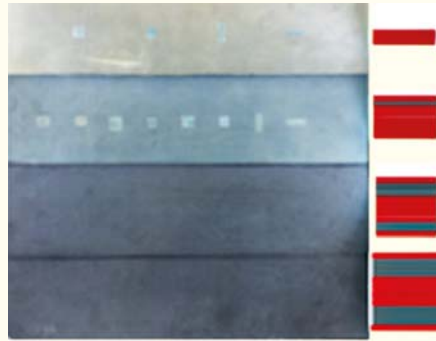
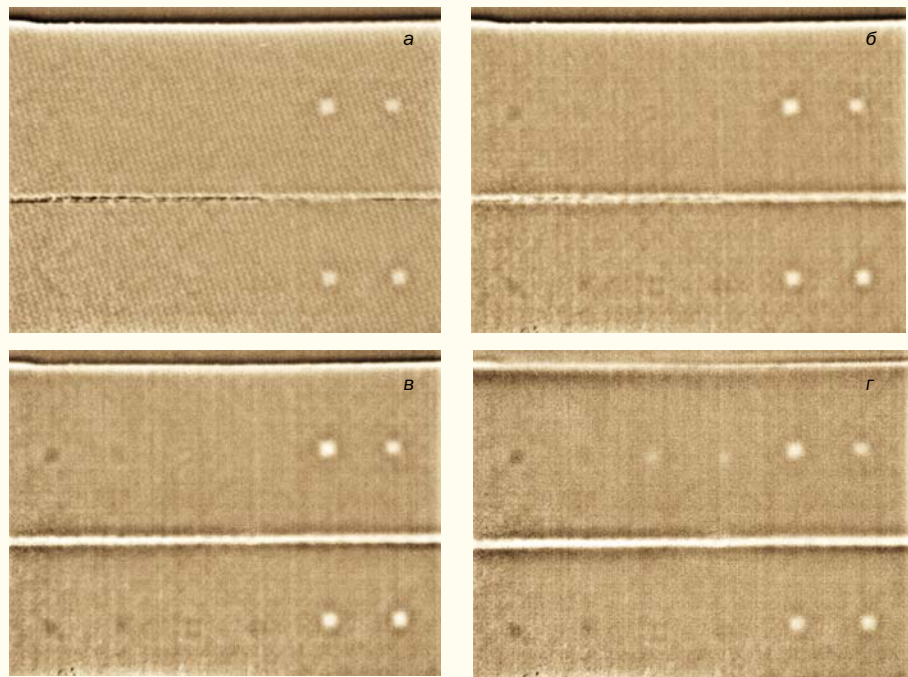


Рис. 3. Видимое изображение и схема расположения слоёв стекловолокна/углеволокна калибровочного образца



№ вставки	Размер, мм	Класс	Положение
J1	9×9	C	P02/P03
J2	8×8	B	P02/P03
J3	9×9	C	P09/P10
J4	8×8	B	P09/P10
J5	9×9	C	P16/P17
J6	8×8	B	P16/P17

Рис. 4. Термограммы поверхностной температуры калибровочного образца через t , сек после теплового импульса: а — $t=0$ с; б — $t=1,2$ с; в — $t=2,8$ с; г — $t=5,8$ с. Все дефекты выявляются

Выводы

В своем исследовании мы показали, что используя наше стандартное оборудование для активной термографии, можно с высокой степенью вероятности обнаруживать все вставки из тефлона в калибровочном образце за время менее 5 мин от начала контроля до получения результатов. Технология и линейка продукции фирмы Opgal NDTherm® показали хорошую чувствительность в различных областях. Например, при контроле композитов из углеволокна выявляются все дефекты на детали глу-

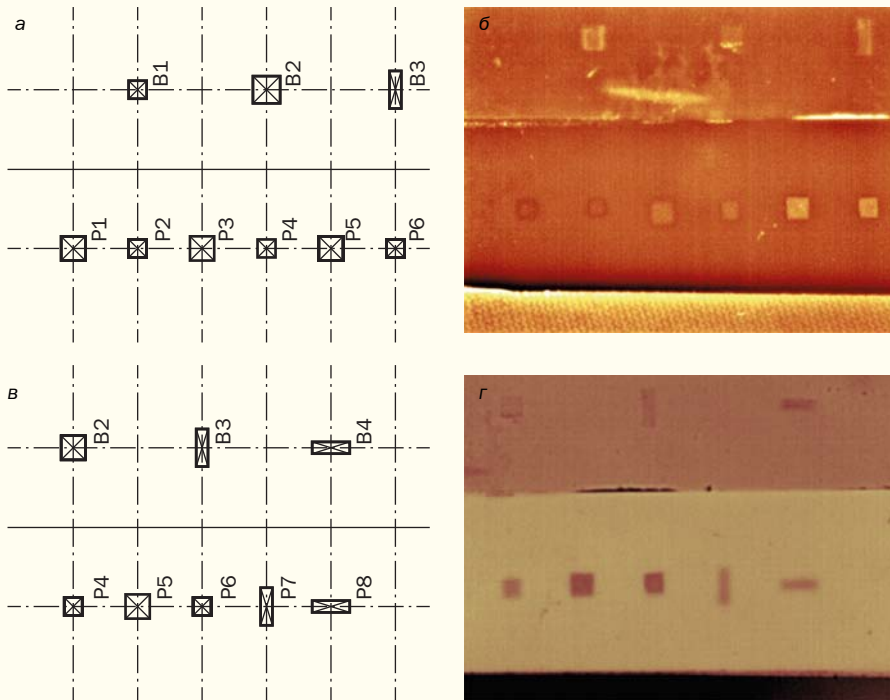


Рис. 5: а и в — дизайн обеих верхних областей В и Р; б — алгоритм корреляции, показывающий все дефекты на одном снимке; г — первая производная, показывающая все подповерхностные дефекты

биной ≈ 20 слоёв, на композитной детали из стекловолкна контролируется структура на глубине до 18 мм с высокой контрастностью и выявляются расслоения от поверхности до внутреннего слоя в сэндвич-структурах. Программный пакет, поставляемый с системой, включает различные математические алгоритмы обработки изображения и обнаружения дефектов, измерение размера и глубины залегания, даёт возможность обрабатывать изображение оффлайн и обеспечивает различные инструменты создания протоколов. Orgal предлагает различные решения для полевых, цеховых и лабораторных задач.

Литература/References

1. Crank J. *The Mathematics of Diffusion*. 2nd Edition. Oxford Science Publications. — Oxford: Clarendon Press, 1975.
2. Shepard S. M. Advances in pulsed thermography. In: *Proc. SPIE 4360, Thermosense XXIII*, 511 (March 23, 2001); DOI: 10.1117/12.421032; <http://dx.doi.org/10.1117/12.421032>.

Статья получена 9 февраля 2016 г.,
в окончательной редакции — 24 февраля

БЫСТРО. БЕЗОПАСНО. ТОЧНО.

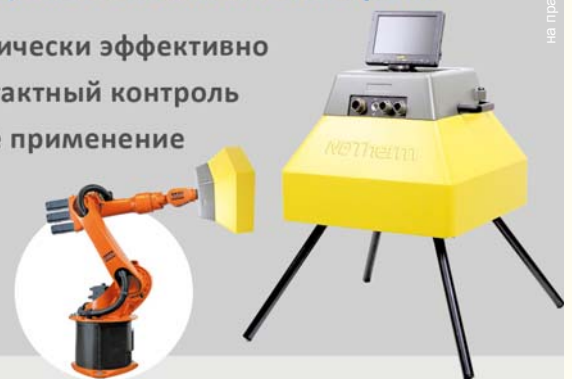


Обнаружение дефектов с NDTherm

Термографический неразрушающий контроль композитных материалов.

Идентификация внутренних дефектов в углепластике и гибридных конструкциях со сложной геометрией

- экономически эффективно
- бесконтактный контроль
- простое применение



не правах рекламы

NDTherm
В России

www.NDTherm.com
www.locus.spb.ru

OPGAL2
Beyond the Visible
ЛОКУС