

В.А. СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук, В.А. МАСЛОВА,
О.В. БАНДУРЯН

ПРИМЕНЕНИЕ ИКГ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР

Известно, что регистрация температурного поля (особенно нестационарного), возникающего на поверхности изделия в результате его функционирования или под внешним тепловым воздействием, позволяет получить информацию о внутренней структуре контролируемого объекта. В частности, наличие внутренних неоднородностей (локальных аномалий теплофизических характеристик) приводит к появлению искажений нестационарного температурного поля на поверхности. Количественной оценкой этих искажений служит температурный перепад в виде функции $\Delta T(x, y, t)$. Измерив и исследовав значения последней, удастся решить задачу обнаружения локальных неоднородностей, т.е. дефектов. Для построения алгоритма обработки измеренных значений функций $\Delta T(x, y, t)$ необходимо понимание процессов формирования полезного сигнала от дефекта.

Изучение таких процессов основано на решении прямой задачи нестационарной теплопроводности [1; 2]. Общепринятый подход к решению подобных задач [3; 4] нацелен на получение частного решения, справедливого для какого-то конкретного объекта. Это ограничивает возможность исследования рассматриваемых процессов.

Для преодоления указанного ограничения разработаны описанные ниже компьютерные технологии. В их основу положена универсальная теплофизическая модель объекта в виде многослойной пластины с произвольным числом дефектов (рис. 1). Форма дефекта моделируется, в связи с чем используется цилиндрическая система координат.

Универсальность модели обеспечивается следующими факторами:

- учитывается теплопередача через дефект;
- формы дефекта и самого объекта могут варьироваться;
- предусмотрено варьирование в широких интервалах числа слоев, теплофизических характеристик материала, параметров теплообмена между объектом и окружающей средой;
- учитывается возможность наличия нескольких дефектов вдоль координаты Z .

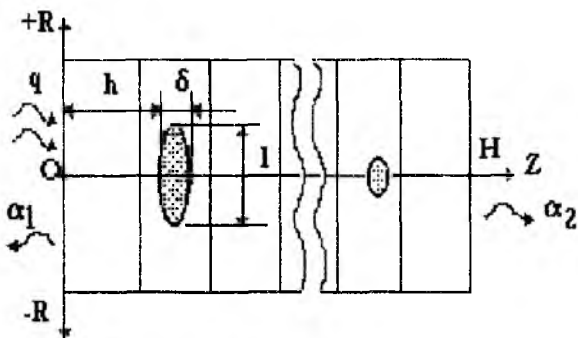


Рис. 1

Математическим описанием модели служит решение прямой задачи нестационарной теплопроводности, полученное численным методом. Алгоритм решения реализован в виде двух программ: EXPRESS и MULTILAYER.

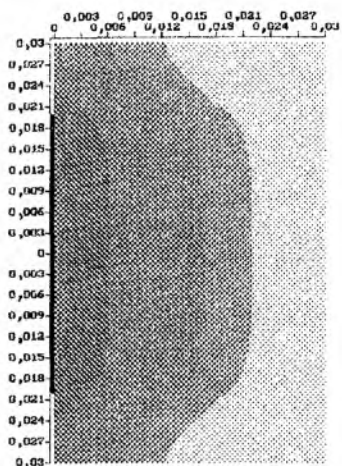
Назначение программы EXPRESS состоит в нахождении оптимального режима проведения температурной диагностики, когда значение температурного перепада, вызванного дефектом, максимально [1].

В число определяемых параметров входят: мощность и продолжительность теплового воздействия на объект; момент времени регистрации температурного поля на поверхности объекта.

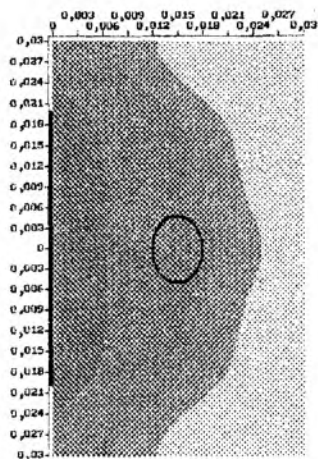
Проведение диагностики в оптимальном режиме, рассчитанном с помощью программы EXPRESS, дает повышение чувствительности к обнаружению дефектов более чем на порядок.

Особенностью программы MULTILAYER является использование ИКГ-технологий, т.е. методов итеративной когнитивной графики [5]. Изображение процесса нестационарной теплопроводности строится посредством движущихся изотерм. Изучение подобных изображений позволяет понять процессы формирования полезного сигнала и даже получить новые физические закономерности температурной диагностики. В частности, показано, что на границах дефекта имеют место дифракция, отражение и замедление (или ускорение) изотермических волн. Например, из представленного на рис. 2 распределения изотерм видно, что дефект с теплопроводностью большей, чем у объекта, ускоряет передвижение изотерм (рис. 2, б) по сравнению с процессом в однородном объекте (рис. 2, а), а менее теплопроводящий объект, наоборот, замедляет их продвижение (рис. 2, в).

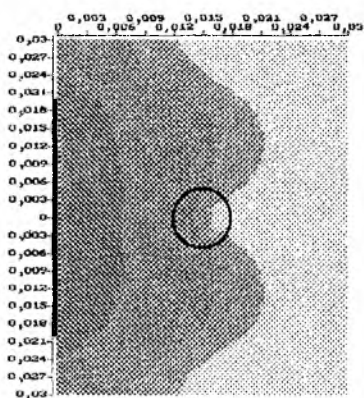
Кроме того, удастся визуализировать такое известное в теплофизике явление, как возникновение локальных концентраций темпе-



a



б



в

Рис. 2

ратурного поля на нетеплопроводных инородных включениях, и при необходимости измерить градиент температуры на любом участке внутренней структуры объекта. Эта функция программы особенно

важна для исследования устойчивости сложного по структуре изделия к большим тепловым нагрузкам.

Среди других достоинств программ EXPRESS и MULTILAYER следует отметить доступность для рядового пользователя и возможность легко трансформироваться в зависимости от конкретного контролируемого объекта.

Как показали результаты экспериментальных исследований, проведенных на различных типах объектов, применение разработанных компьютерных технологий, реализованных в виде указанных программ, позволяет:

- повысить быстродействие и точность расчета оптимального режима температурной диагностики;
- получить новые данные о процессах формирования полезного сигнала, включая некоторые новые закономерности.

Список литературы: 1. *Стороженко В.А., Вавилов В.П., Волчек А.Д.* Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. К.: Техника, 1988. 127 с. 2. *Storozhenko V.A., Melnik S.I.* Thermal characterization and tomography of solids using new theoretical approach // Intern. Seminar QIRT'94: Theses of rep. Sorrento. 1994. P. 103–104. 3. *Вавилов В.П.* Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1984. 152 с. 4. *Вавилов В.П.* Тепловые методы неразрушающего контроля: Справ. М.: Машиностроение, 1991. 245 с. 5. *Зенкин А.А.* Когнитивная компьютерная графика / Под ред. Л.А. Поспелова. М.: Наука, 1991. 192 с.

Поступила в редколлегию 24.03.97