

турных зон любого технического объекта, можно сделать предположение о времени достижения критического уровня его дефектности.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Разработана математическая модель развития дефекта «утонения стенки» для высокотемпературных напорных трубопроводов, которая может быть использована и для других объектов (например — футеровка стен мартеновских печей). Экспериментально промоделирована динамика термического процесса. Показано, что тепловизионный мониторинг позволяет прогнозировать время достижения критических значений температуры и оценивать остаточный ресурс эксплуатации технического объекта для принятия своевременного управленческого решения.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В.А. Стороженко, С.Н. Мешков, Р.П. Орел

НТЦ «Термоконтроль» Харьковского национального университета радиоэлектроники

Процедура теплового контроля заключается в тепловом воздействии на объект контроля и регистрации возникающего при этом нестационарного температурного поля на его поверхности. Информацией о скрытых дефектах служат локальные аномалии температурного поля, обычно оцениваемые по амплитудному критерию (температурному контрасту): абсолютному – ΔT или относительному – $\Delta T/T$ [1].

В лаборатории НТЦ «Термоконтроль» разработаны методики теплового контроля охлаждаемых лопаток турбин высокого давления и теплозащитных покрытий.

Для решения поставленных задач на начальных этапах работы были проведены следующие исследования:

- построены теплофизические модели объектов контроля, определены наилучшие (с точки зрения выявления дефектов) режимы теплового воздействия;
- определены ожидаемые величины сигналов от дефектов различного типа, а также параметры оптимальных режимов проведения ТНК (мощность и время теплового воздействия, время регистрации термограммы);
- проведены экспериментальные исследования на реальных образцах (лопатках, изделиях с теплозащитными и сотовыми покрытиями) с целью проверки и уточнения результатов теоретического анализа;
- создано программное обеспечение для обработки результатов и определения критериев качества проконтролированных изделий;
- разработаны и созданы опытные стенды для проведения ТНК лопаток турбин и изделий с теплозащитными и сотовыми покрытиями в лабораторных условиях.

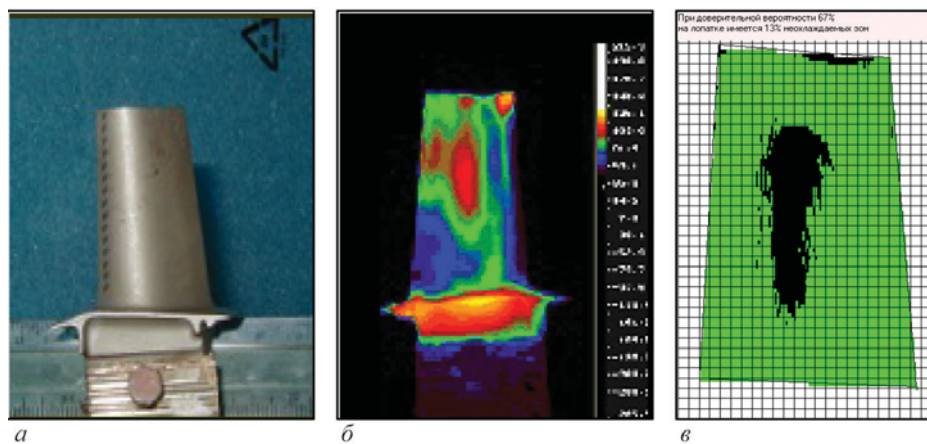
Для лопаток турбин задачей ТНК является обнаружение таких дефектов как засорение каналов охлаждения, поверхностные и подповерхностные трещины (прожиг).

Существующие методики ТНК засорения каналов используют продувку лопатки горячим воздухом при постоянном давлении, или же продувку холодным воздухом предварительно нагретой лопатки. Оценка дефектности производится путем сравнения с эталоном и носит качественный характер (решение принимается на основании субъективных выводов оператора) [2].

Основным препятствием для распознавания дефектов непосредственно по термограмме является неоднородность коэффициента излучения контролируемой поверхности. Его локальные значения влияют на видимую температуру поверхности объекта контроля (ОК) и оказывают сильное маскирующее действие при выявлении дефектов. Создано много программ и алгоритмов снижения шума, вызванного флуктуациями излучательно-поглощательных свойств ОК, однако шумовые характеристики ОК в ТНК мало изучены и поэтому простые фильтрующие алгоритмы, как правило, малоэффективны.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что амплитудный критерий дефектности при ТНК лопаток является неприемлемым, т.к. не позволяет однозначно идентифицировать дефект на фоне помех.

Был предложен временной критерий дефектности, который позволяет получать информацию о развитии во времени температурного поля лопатки из регистрируемого термофильма и выделять дефекты на фоне помех



Результаты теплового диагностирования каналов охлаждения авиационных лопаток: *а* — лопатка; *б* — кадр термофильма; *в* — результат обработки

[3]. Его помехозащищенность состоит в том, что при достаточном количестве обрабатываемых кадров можно использовать последовательно алгоритм временной фильтрации случайных помех, а затем с достаточной точностью определять дисперсию критерия дефектности и критерия наличия флуктуаций. При достаточном отличии этих величин можно распознавать дефекты на фоне флуктуаций излучательной способности, дающих сравнимый с дефектами температурный перепад. Экспериментальным путем было установлено, что значение температурного перепада над дефектом, эквивалентное уровню шума, составляет $\Delta T_{\text{ЭКВ}} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$. На основании разработанного критерия была предложена методика, которая позволяет количественно оценить эффективность охлаждения за счет продувки лопатки воздухом.

Для реализации ТНК лопаток и выявления дефектов засорения каналов охлаждения был разработан испытательный стенд. В состав стенда входили: основание с подъемником, и блоком управления, столик для установки объекта контроля (лопатки), источник объемного нагрева, регистрирующее устройство (тепловизор) и компрессор.

Принцип работы стенда основан на активном методе ТНК. Контролируемый объект (лопатка) подвергается двойному тепловому воздействию:

- нагреву снаружи объемным тепловым источником;
- охлаждению изнутри (продувкой воздуха).

Получаемый с помощью тепловизора термофильм обрабатывался с помощью программного обеспечения «FIRST-V4». На рисунке показаны лопатка, ее характерная термограмма и результаты обработки.

Поверхностные трещины обычно обнаруживаются с помощью жидких пенетратов, однако этот метод непригоден в случае забитых поверхностных и всех подповерхностных трещин.

Для выявления этого типа дефектов лопатки был разработан метод «тепловой волны». При нагреве лопатки распространяющаяся вдоль нее изотерма испытывает искажения в месте нахождения трещины. Поверхностные трещины уверенно фиксируются на термограмме, если лопатка нагревается со стороны замка. Была создана математическая модель процесса и проведен машинный эксперимент, результаты которого были подтверждены экспериментальными исследованиями [4].

Выводы. Разработаны и внедрены в производство методика и средства для ТНК лопаток турбин, которые позволяют выявлять засорение каналов охлаждения и поверхностные трещины. На основе динамического критерия разработан пакет программ для обработки результатов контроля.

1. Стороженко В.А., Маслова В.А. (2004) *Термография в диагностике и неразрушающем контроле*: Монография. Харьков, СМІТ.
2. Xavier P.V. (2001) *Maldague Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. N.Y., A Wiley-Interscience Publication.
3. Стороженко В.А., Мешков С.Н., Маслова В.А. (2005) Методы распознавания дефектов при тепловом контроле элементов авиакосмической техники. *Сб. тр. 2-го Междунар. радиоэлектронного форума «Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ2005)*, 3, 370–373. Харьков, ХНУРЭ.
4. Стороженко В.А., Мельник С.И., Мешков С.Н. Чумаков А.Г. (2003) Оптимизация тепловой дефектоскопии лопаток турбин авиадвигателей. *Сб. тр. 4-й Нац. НТК и выставки НКТД-2003, 19–23 мая, г. Киев*, 362–366.