

DIFERENTES TÉCNICAS END MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AEROESPACIAL

Idurre Sáez de Ocáriz
Fernando Alonso
Borja Gambín
 Centro de Tecnologías
 Aeronáuticas (CTA)

RESUMEN

La TIR (Tecnología infrarroja) es un método de ensayo no destructivo (END) que permite detectar defectos subsuperficiales en un amplio abanico de materiales y geometrías. Existen varias técnicas de TIR que ofrecen diversas alternativas en la detección de defectos. Desde las técnicas *lock-in* y pulsada, hasta las más novedosas: la ultrasónica y la de fase pulsada. La sencillez y versatilidad de estos métodos de inspección los hacen apropiados para numerosas aplicaciones industriales de mantenimiento o control de calidad de la producción.

La utilización cada vez mayor en la industria aeroespacial de materiales avanzados para las estructuras de las aeronaves, exige que los END para la inspección sean adaptados y mejorados. La TIR destaca entre los nuevos métodos que pueden complementar a los END convencionales, por su rapidez y facilidad de aplicación e interpretación de resultados (imágenes). Además la portabilidad y manejabilidad de los equipos de TIR los hacen adecuados para su utilización tanto en líneas de producción como en operaciones de mantenimiento.

1.- INTRODUCCIÓN

La TIR es una técnica de ensayo no destructivo sin contacto que obtiene la temperatura de la superficie de un cuerpo a través de la captación de la radiación infrarroja que ésta emite. El mapa térmico de la superficie obtenido se denomina termograma.

La presencia de anomalías o defectos en un material hace que un flujo de calor establecido en su interior se vea alterado, lo que provoca contrastes de temperatura en su superficie. El uso de la TIR está basado en la obtención y el análisis de las imágenes de esos patrones térmicos.

En este artículo se resumen las principales técnicas de TIR y se comentan algunas de sus posibles aplicaciones. También se muestran algunos resultados de ensayos en materiales compuestos y componentes metálicos aeronáuticos.

2.- TÉCNICAS

Las principales ventajas [1, 2] de las técnicas de TIR son las siguientes: es un método de inspección rápido y sin contacto que sirve para localizar defectos por debajo de la superficie, la interpretación de termogramas es muy sencilla (imágenes) y la radiación infrarroja no es nociva (al contrario que los rayos-x). Además, puede ser aplicado en un amplio rango de materiales (tanto metálicos como compuestos) y se pueden inspeccionar zonas relativamente amplias en un solo ensayo.

No obstante, su principal desventaja es que resulta efectivo únicamente en la detección de defectos poco profundos. También es complicado producir un calentamiento uniforme al aplicar las técnicas activas y pueden existir variaciones de emisividad en diferentes partes del cuerpo estudiado.

Dependiendo de si se utiliza o no una fuente de excitación para producir un flujo de calor en el interior del cuerpo inspeccionado, estaremos hablando de TIR activa o pasiva. A continuación se hace una revisión de las principales técnicas.

2.1.-Termografía pasiva

La TIR pasiva se refiere a los casos en los que no se usa ninguna estimulación de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en el cuerpo inspeccionado. El objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico por el hecho de estar involucrado en un proceso (industrial) que produce calor. Unos pocos grados de diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo (referencia) del objeto muestran un comportamiento inusual. La TIR es capaz de capturar esta información de temperatura en tiempo real desde una distancia segura sin interacción alguna con el objeto.

La TIR pasiva se usa, por ejemplo, para la monitorización del producto en procesos de fabricación de metales, papel o cristal, control de temperaturas en agujas de coser, monitorización de procesos de soldadura o comprobación de la eficiencia de los discos de freno de automóviles. También puede ser usada en mantenimiento predictivo como en rodamientos, turbinas y compresores, instalaciones eléctricas, tuberías enterradas, álabes de turbinas o fugas de gas [1, 2]. Existen otras muchas aplicaciones no industriales como son las de tipo medicinal en detección de cáncer de pecho o desórdenes vasculares, detección de fuegos, detección de objetivos (militar) o localización de pérdidas de calor y humedades en edificios [1, 2].

2.2.-Termografía activa

En termografía activa se usa una estimulación externa para provocar un flujo de calor interno en el objeto estudiado. Un defecto interno afectaría al flujo calorífico produciendo un contraste térmico en la superficie. Las técnicas de TIR activas principa-

les son: TIR pulsada, *step heating* y TIR *lock-in*.

2.3.-Termografía pulsada

La TIR pulsada (*Pulsed Thermography*) consiste en aplicar un pulso corto de calor sobre el objeto (de 3 ms a 2 s dependiendo del material) y grabar el periodo de enfriamiento del espécimen. El frente térmico aplicado se propaga en el material y, cuando encuentra un defecto, el ratio de difusión es reducido produciendo un contraste de la temperatura sobre ese punto. De esta manera, el contraste de defectos más profundos aparecerá más tarde y con menor diferencia de temperaturas [1] (Figura 1).

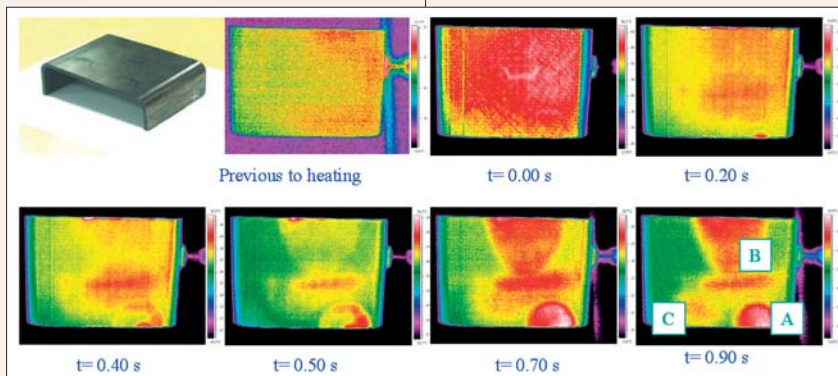


Figura 1. Probeta de fibra de carbono de 4 mm de espesor con delaminaciones provocadas a 0,95 mm (A), 1,25 mm (B) y 1,55 mm (C) de profundidad.

La TIR pulsada es usada, por ejemplo, en la inspección de componentes estructurales de aviones, control de calidad de soldadura por puntos, álabes de turbina, detección de descolados, delaminaciones, grietas o corrosión [2].

- Step Heating

En la técnica de *Step Heating* o termografía de pulso largo, el objeto es calentado continuamente a baja potencia y se monitoriza el incremento de temperatura de la superficie. El tiempo en el que la temperatura en un punto dado se separa de la evolución de la temperatura de una región sana (*thermal transit time*) está relacionado con la profundidad del defecto. Aplicaciones del *step heating* son, por ejemplo, la evaluación de espesores de recubrimientos y de uniones de recubrimiento a sustrato en es-

tructuras compuestas y también la detección de corrosión oculta en el fuselaje de aviones [1].

- Termografía Lock-in

Está basada en la generación de ondas de calor dentro del espécimen inspeccionado (por ejemplo, depositando periódicamente calor en el cuerpo por medio de una lámpara modulada) y monitorizando de forma sincronizada el campo de temperaturas oscilante obtenido mediante una computadora o un amplificador *lock-in*. Por transformación de **Fourier** se obtienen las imágenes de fase y amplitud de la temperatura. Las imágenes fase están menos afectadas por

eléctrico como fuente de estimulación, que sería el caso de la denominada TIR *lock-in* ultrasónica. Estas técnicas están dirigidas a la detección rápida de grietas en materiales metálicos, laminados y cerámicos, corrosión en planchas metálicas remachadas o delaminaciones en laminados [4, 7].

La TIR *lock-in* termoinductiva consiste en excitar corrientes *de Eddy* en materiales conductores mediante una bobina de inducción y la resistencia de los materiales genera un calentamiento local. La mayor densidad de corriente en las grietas provoca una temperatura mayor que es detectada por la cámara termográfica. Esta técnica ha sido probada en detección de grietas longitudinales en barras y tochos de acero aparecidas durante su moldeado en caliente [5] y en álabes de compresores [6].

- Termografía de fase pulsada

La TIR de fase pulsada (*Phase Pulsed Thermography*) es una mezcla entre la TIR *lock-in* y TIR pulsada. La aplicación del ensayo es la misma que en termografía pulsada pero la adquisición de datos es tratada mediante transformada de **Fourier** para obtener la amplitud y la fase de la imagen a diferentes frecuencias a partir de una serie de termogramas de un único ensayo. La inspección es rápida y la imagen de fase está menos afectada por las faltas de homogeneidad de calentamiento y es más sensible en profundidad [1,2]. De igual manera, se puede conseguir una variación de la termografía *lock-in* ultrasónica utilizando un pulso ultrasónico en vez de una excitación continua. Esta técnica es denominada *Ultrasound Burst Phase Thermography* [4].

Procesamiento de datos

Además de la elección de la técnica más adecuada, cada vez es más esencial un procesamiento de los datos adquiridos para optimizar la localización y visualización de defectos. Incluso este procesamiento de datos puede permitir obtener medidas de otros parámetros aparte de las temperaturas absolutas de la superficie,

como, por ejemplo, profundidad a la que se encuentra el defecto, difusividad térmica, coeficiente de calor transmitido, medidas de flujo térmico o análisis tensional.

3.-EJEMPLOS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS EN MATERIALES COMPUESTOS Y METÁLICOS

El Centro de Tecnologías Aeronáuticas (CTA) está trabajando junto a **Gamasa Desarrollos Aeronáuticos** (GDA), **Taucon** e investigadores de **UPV** en un completo sistema de inspección para la detección de defectos típicos en aeronaves, tanto en metales como en compuestos (delaminaciones, descolgados, grietas, corrosión, etc.). También incluye un procesamiento de imágenes de los defectos detectados combinado con

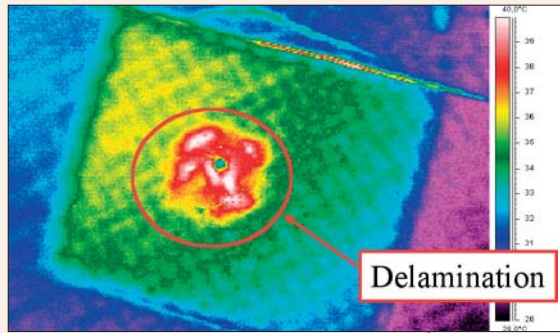


Figura 2. Termograma de delaminación en la piel de fibra de carbono de un componente de avión

paras flash de alta energía. La cámara termográfica capta la evolución térmica de la temperatura de la superficie de la probeta obteniéndose un vídeo completo su enfriamiento. La citada figura 1 muestra varios

termogramas obtenidos de la secuencia completa de ensayo. Se puede apreciar cómo el contraste de temperaturas producido por los defectos va apareciendo en el tiempo según su profundidad; aparecen antes los defectos menos profundos y lo hacen con un valor de ese contraste de temperaturas mayor.

Utilizando esta misma técnica, se localizó una delaminación producida por un impacto en la piel de fibra de carbono de un componente de avión que un examen mediante ultrasonidos no pudo distinguir. En la figura 2 se puede apreciar el contraste de temperaturas que delata la existencia de dicha delaminación, extendiéndose alrededor del punto de impacto (en el centro de la delaminación).

En la figura 3 se muestra el ensayo de TIR pulsada en una lámina de aluminio con diferentes agujeros ciegos a diferentes profundidades. Una reducción de espesor provoca que esa zona se vea más caliente y con mayor contraste de temperaturas cuanto mayor sea esta reducción. El efecto térmico de los defectos en materiales metálicos es muy rápido y es necesario realizar la grabación de los ensayos a alta velocidad. Además, la generalmente baja emisividad carac-

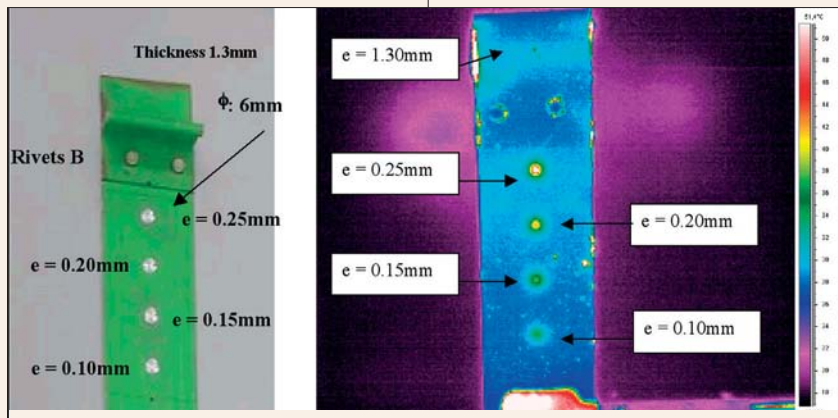


Figura 3. Probeta de aluminio. Fotografía de la probeta y termograma visto desde la cara plana sin agujeros a los 0,10 s de enfriamiento.

un modelo matemático de comportamiento térmico de defectos. El objetivo final de este proyecto es conseguir un sistema de detección automático aplicable no sólo en mantenimiento, sino también en control de calidad en línea de producción.

A continuación se muestran ejemplos de ensayos de TIR en materiales metálicos y compuestos típicos de estructuras aeronáuticas. En la figura 1 se muestra un ensayo de TIR pulsada sobre una probeta de fibra de carbono de 4 mm de espesor con delaminaciones de distintas formas provocadas a 0,95 mm (A), 1,25 mm (B) y 1,55 mm (C) de profundidad. El calentamiento se realiza mediante un pulso de luz producido mediante lám-

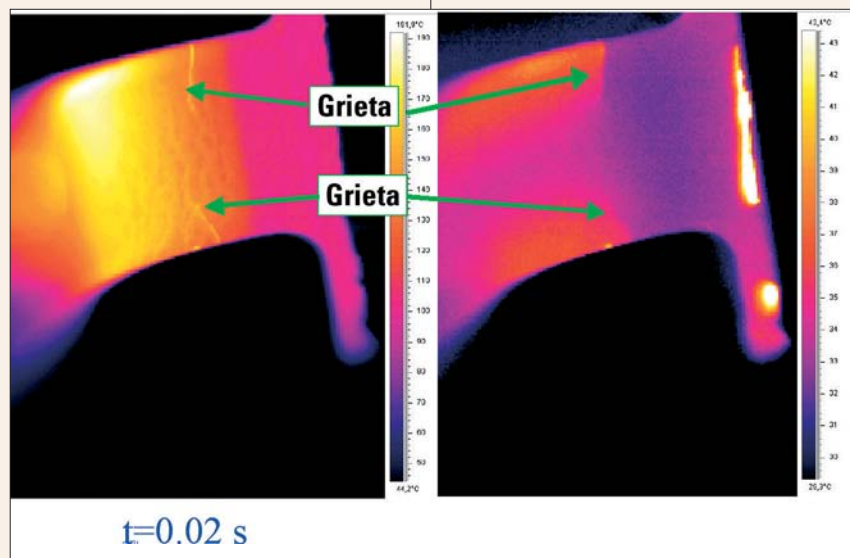


Figura 4. Termogramas en diferentes tiempos de enfriamiento de dos grietas en una pieza de aluminio.

terística de los metales hace necesaria la aplicación previa de un recubrimiento que aumente la emisividad superficial permitiendo la detección de los contrastes térmicos causados por los defectos internos.

El siguiente caso, mostrado en la figura 4, es el de la localización de dos grietas en un componente de una aeronave de aluminio con su recubrimiento de pintura original. Al principio del enfriamiento (Figura 4, izquierda) se pueden apreciar las grietas entre las indicaciones térmicas producidas por la textura de la pintura en esa zona. Posteriormente se aprecia la respuesta típica de las grietas ante ensayos de este tipo (Figura 4, derecha): se produce un salto de temperatura entre ambos lados de la grieta al actuar ésta como barrera al flujo de calor.

4.- CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha presentado una revisión de las diferentes técnicas de TIR y algunos ejemplos de sus aplicaciones. Los buenos resultados obtenidos en materiales metálicos y compuestos utilizados en la industria aeronáutica nos llevan a pensar que estas técnicas pueden ser aplicadas con gran éxito en este sector, no sólo en inspección de defectos en mantenimiento, sino también en control en línea de procesos de producción.

5.- AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS

Esta investigación ha sido llevada a cabo con el soporte del **Gobierno Vasco**. Agradecemos asimismo a **Gamesa Desarrollos Aeronáuticos** la cesión de componentes reales de aeronaves y su apoyo a este trabajo. ■

[1] *Theory and practice of infrared technology for Non-destructive Testing*, **Xavier Maldague**, 2001.

[2] *Non-destructive Testing Handbook Third Edition - Volume 3 Infrared and thermal testing*, ASNT.

[3] *Short course on infrared thermography applications*, ENS Cachan 2002.

[4] *Ultrasound excited thermography - advances due to frequency modulated elastic*, **Th. Zweschper**, Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), QIRT 2004.

[5] *Lock-in thermography with eddy-current excitation*, **G. Riegert**, Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), QIRT 2004.

[6] *Thermoinductive investigations of magnetic materials for surface cracks*, **B. Oswald-Tranta**, University of Leoben, Austria, QIRT 2004.

[7] *Infrared Thermography different NDT techniques and applications in aerospace industry*, **Idurre Sáez de Ocáriz, Fernando Alonso, Borja Gambín**, Centro de Tecnologías Aeronáuticas, *Aerotrends 2004*. III Conferencia Internacional.