



Inspección de soldaduras en tiempo real mediante imagen térmica (Proyecto SOLTI y Software IRWELDSCAN)

Francisco J. Madruga^{1,2}, Alberto Campo¹, Víctor Mateo¹,
José M. García-Agudín³, Alfredo Quintana³

¹ Empiric Technologies, S.L. www.empiric.es

² Grupo de Ingeniería Fotónica. Universidad de Cantabria

³ Instituto E. S. Nuestra Señora de los Remedios

Resumen

En la actualidad los procesos de inspección de soldaduras evalúan muchas de las características de la unión soldada relacionadas principalmente con el tamaño de la soldadura o con la presencia de discontinuidades o inhomogeneidades que afectan significativamente a la resistencia de la unión. La mayoría de estos procesos de inspección tienen lugar a posteriori utilizando técnicas homologadas y estandarizadas como son partículas magnéticas, líquidos penetrantes o ultrasonidos. Entre las técnicas, aún no homologada, pero que presenta una ventaja diferenciadora con respecto a las anteriores destaca la imagen o visión térmica, conocida como termografía infrarroja. Esta técnica permite su uso durante el proceso de realización de la unión soldada obteniendo una inspección de la soldadura en tiempo real. El proyecto SOLTI que se presenta en esta comunicación tiene como objetivo el desarrollo de la herramienta IRWELDSCAN. Basada en termografía infrarroja, mide la geometría de soldadura, y estudia la difusividad térmica desde los valores térmicos asociados al proceso de ejecución de la unión soldada y detectando la calidad de la fusión. El proyecto se encuentra en ejecución y en esta comunicación se presentan los resultados alcanzados hasta la fecha.

Abstract

At the present the inspection of the welds evaluates many of the characteristics of the weld mainly related to the size of the weld bead or the presence of discontinuities or inhomogeneities that significantly affect the strength of welded joint. Most of these processes occur subsequent inspection using approved and standardized techniques such as magnetic particle, penetrant or ultrasonic testing. Among the techniques, not yet approved, but which presents a distinct advantage over the previous stresses or thermal vision image, known as infrared thermography. This technique allows use during the process of making the welded joint to inspect a weld in real time. The project SOLTI, presented in this paper, aims to develop a tool called IRWELDSCAN. Based on infrared thermography it measures weld geometry, and it studies the thermal diffusivity from thermal values associated to the weld process in order to determine the weld quality. The project is in progress and the results achieved to date are shown.

1. Introducción

Los procesos de inspección visual de una unión soldada consideran muchas características para su evaluación, pudiendo ser determinadas por sus dimensiones y por la presencia de discontinuidades. Los aspectos dimensionales de la soldadura se relacionan directamente como la resistencia mecánica de la unión mientras las discontinuidades dentro o próximas a la unión pueden, dependiendo de su tamaño y/o ubicación, comprometer dicha resistencia. Las discontinuidades con dimensiones y localización inaceptables que pueden ser causas prematuras de roturas o fallas son los denominados defectos de soldadura.

El reconocimiento de estas características y, por lo tanto, del proceso de inspección de soldadura engloba varios aspectos que se deben tener en cuenta y que van desde el conocimiento de los procedimientos de soldadura aplicados a la unión a inspeccionar, a conocer e interpretar los códigos y normas, y a aplicar ensayos destructivos y no destructivos (*non destructive testing*, NDT) siendo estos últimos de gran interés ya que no destruyen la pieza y se pueden aplicar al 100% del cordón.

Los cinco métodos de NDT aplicados a soldaduras son líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonidos, radiografía e inspección visual. Precisamente, la inspección visual es la que se usa más ampliamente, ya que ofrece información inmediata de la condición superficial del cordón. Pero estos métodos de probada eficacia presentan entre otros problemas el de que se realizan a posteriori. Es decir, son procesos de inspección que indican la calidad de la soldadura cuando esta ya se encuentra lo suficientemente fría, lo que conlleva que se use después de que el cor-

dón se ha terminado y siempre con el material frío, con el sobrecoste de reparación o saneamiento respecto a una reparación o saneamiento en caliente.

En el contexto de desarrollo de técnicas de inspección en tiempo real para procesos de soldadura se sitúa el objetivo de Empiric Technologies, que desarrolla un innovador sistema basado en termografía infrarroja que está destinado primeramente a ser una herramienta inmediata para el análisis de cordones y después, utilizando técnicas de procesado hardware en tiempo real, obtener una herramienta que analiza el cordón proporcionando datos simultáneamente al proceso de soldeo. Para el correcto entendimiento de la técnica se presentarán unos trabajos preliminares que demuestran la potencialidad de la termografía infrarroja como método de inspección de soldaduras en tiempo real. Posteriormente, se describe la herramienta y más específicamente las posibilidades de parámetros que puede ofrecer el software de análisis. Las conclusiones obtenidas hasta este momento de ejecución del proyecto se presentan en un apartado final.

Trabajos preliminares

La termografía infrarroja es una técnica basada en la medida de la radiación infrarroja que un objeto emite por encontrarse a una temperatura diferente de su entorno. A partir de la interpretación de esa radiación, se puede medir la temperatura del objeto así como otras características relacionadas con los conceptos de transferencia de calor. Cualquier cambio de la radiación recibida está ligada a variaciones, o de la temperatura o de la homogeneidad, repetitividad o defectología del objeto a medir, es decir, cualquier cambio

en el calor radiado por el objeto y detectado por un sistema de inspección se tiene que interpretar en uno de los ámbitos expuestos anteriormente.

Este hecho hace que la interpretación y la obtención de resultados claros desde la imagen térmica requiera de tres factores fundamentales:

1. Conocimiento la más preciso posible del proceso que se está inspeccionando.
2. Conocimiento de las limitaciones, sobre todo en cuestiones de señal/ruido del sistema de medida utilizado.
3. Conocimiento de las variaciones que el entorno puede producir en el proceso de medida.

Por tanto, estos tres factores requieren tanto de una capacitación como de una experiencia en el proceso que suelen aportar el termógrafo y el personal que ejecuta el proceso. En el sector de la inspección de soldadura existen muchas técnicas que ya han sido expuestas, pero dado que es un proceso térmico la imagen termografía parece ser una elección natural para inspeccionar desde la monitorización en tiempo real de la soldadura. Soldaduras en condiciones ideales ofrecerían distribuciones térmicas en el proceso con patrones regulares y repetibles.

En la extensa literatura científica que existe y centrándonos en la soldadura en arco se han documentado la detección de la ausencia de gas de respaldo mediante termografía infrarroja [1], validación de modelos matemáticos para soldaduras MIG en placas de aluminio[2], así como la detección de inclusiones de tungsteno y falta de penetración en soldadura TIG [3,4]. En estos estudios se ha puesto de manifiesto la viabilidad de esta técnica como medio de inspección de soldadura. La termografía infrarroja o imagen térmica precisa de trabajos orientados hacia la automatización de detección de defectos o efectos mediante la captura, procesado y análisis de secuencias que permitan cualitativa y cuantitativamente medir durante el proceso de soldeo, la dimensión de discontinuidades, la anchura del cordón, etc... Precisamente es en este campo del proyecto SOLTI, donde se sitúan y se aplican diferentes algoritmos de procesado y análisis para su consecución.

Desarrollo del proyecto

En el proyecto SOLTI se pretende innovar en los procesos de inspección no destructiva de soldaduras para valorar su calidad. Se estudia y se da la oportunidad de trabajar sobre un sistema de grabación de imagen térmica durante el proceso de soldadura para su mejora, tanto del conocimiento de esta novedosa técnica como de la calidad de los soldadores. A partir de estos patrones térmicos, reconocibles a simple vista o por medio del procesamien-

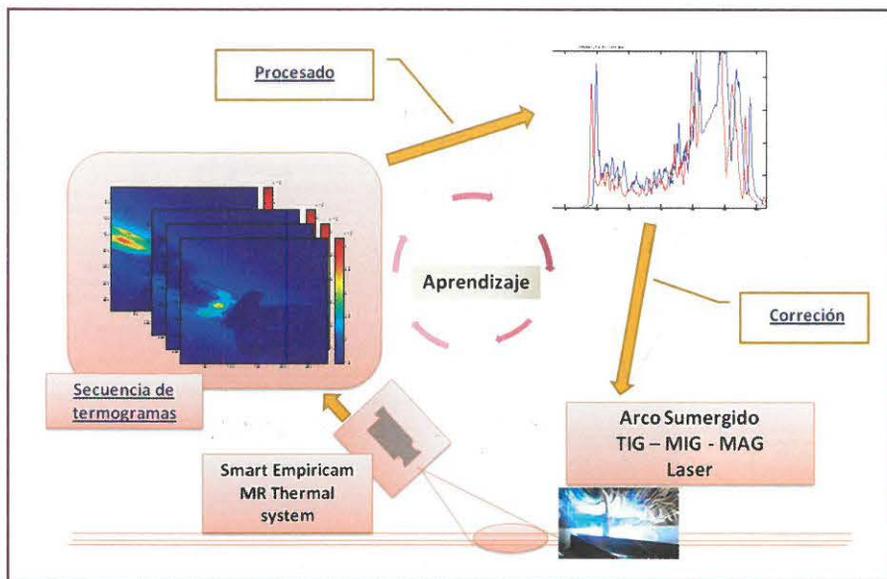


Figura 3.1 Esquema del sistema desarrollado en el proyecto SOLTI.

to de la imagen, se permite la identificación de los fallos en tiempo real.

Entre sus ventajas destacan que la inspección se realiza a distancia, sin contacto físico con la pieza a inspeccionar, por lo que no es necesario que las instalaciones se pongan fuera de servicio, ni entraña riesgo para el operador. Permite la detección exacta del punto defectuoso en tiempo cuasi-real, lo que permite cuantificar la gravedad y repercusión del defecto además de programar las acciones necesarias de mantenimiento.

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un sistema de medida que permitirá mejorar el aprendizaje sobre los parámetros de soldeo al disponer de una herramienta que, de forma instantánea o diferida, indicará los errores que se están cometiendo en el proceso revisando las imágenes térmicas obtenidas. Esta interacción inmediata con proceso y resultado permitirá una rápida asimilación de conceptos relativos al proceso.

El proyecto tiene tres fases perfectamente definidas:

Fase 1: Desarrollo de la herramienta a desarrollar. La **figura 3.1** muestra un esquema de la herramienta que se pretende diseñar. La herramienta está compuesta por un sistema de captura y procesado de imagen térmica SMART EMPIRICAM MR y una herramienta de presentación software IRWELDISCAN que se presentará en más detalle en el siguiente apartado.

Fase 2: Pruebas del sistema, generando probetas con diferentes defectos y obteniendo los resultados del procesado y análisis. En esta fase se han generado probetas mediante soldadura MIG/MAG y TIG, adaptándose la herramienta a estas condiciones. También se ha comenzado con la adaptación de la herramienta para soldadura de arco sumergido (SAW) y se están generando la primeras probetas.

Fase 3: Validación de los resultados obtenidos inspeccionando las probetas construidas con técnicas tradicionales (ultrasonidos, radiografías, líquidos, etc.). Finalizará en septiembre 2012.

Software IRWELDISCAN V1.0

El conjunto de software IRWELDISCAN es la herramienta de interfaz con el usuario del sistema desarrollado. En la actualidad está activa su versión 1.0, válida para soldaduras MIG/MAG y TIG. Esta herramienta permite un seguimiento durante el proceso de soldadura de muchas características del mismo que son útiles para ejercer un control de la propia herramienta en tiempo real.

El software puede funcionar en tiempo real y también en diferido utilizando toda la información capturada del proceso para poder aplicar análisis que, por su coste computacional o por precisar de la información completa del cordón, no se pueden realizar en tiempo real. La aplicación en tiempo real es de gran utilidad en la fase de producción donde se pueden generar alarmas o correcciones de parámetros durante el proceso. El software ofrece tres colores, como un semáforo, para determinar la gravedad de la alarma. Rojo para defecto grave, amarillo para defecto leve o posible defecto y verde cuando el proceso se está ejecutando dentro de los límites de tolerancia establecidos. La **figura 4.1** muestra una visión de la interfaz de usuario con una descripción de cada una de sus partes.

El análisis en diferido permite estudiar nuevos procesos o cambios en los parámetros del proceso para determinar su influencia en el proceso. Y está destinado a su uso en los departamentos de calidad o I+D. Su interfaz y funciones se muestran en la **figura 4.2**.

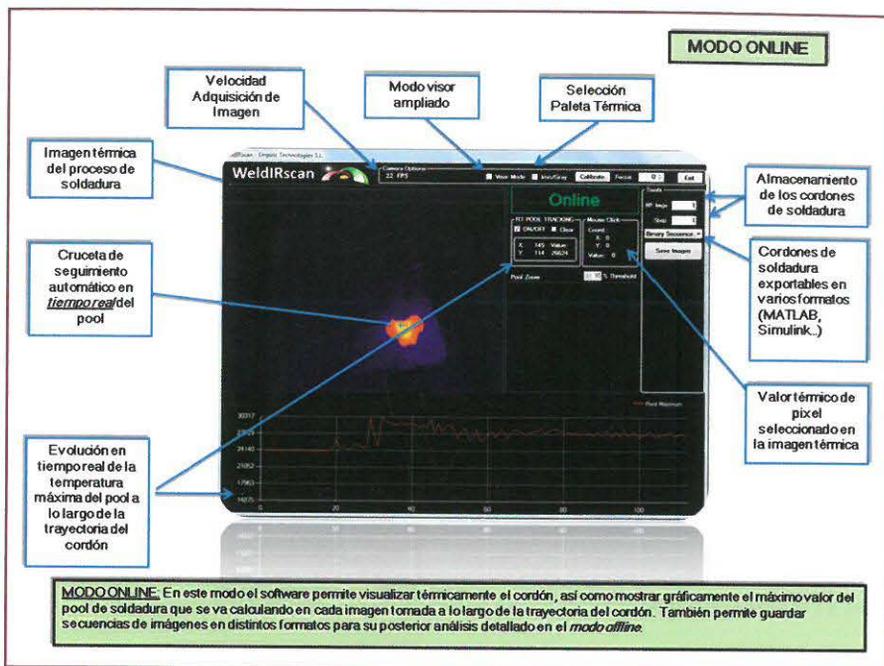


Figura 4.1 Vista de la consola del programa IRWELDSCAN 1.0 en modo on-line.

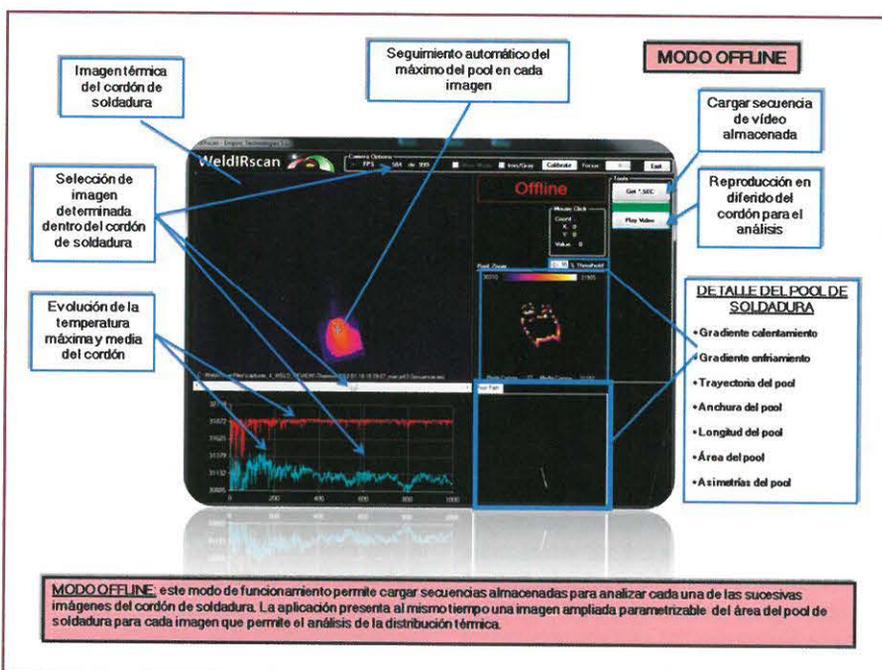


Figura 4.2 Vista de la consola del programa IRWELDSCAN 1.0 en modo off line.

El software IRWELDSCAN v1.0 es la versión de esta herramienta y está destinada a soldaduras MIG/MAG y TIG, pudiéndose utilizar también en soldadura de transferencia de metal en frío (Cold Metal Transfer, CMT). En la segunda versión se incluirá la versión para su uso en soldadura de arco sumergido (SAW).

Conclusiones y futuros trabajos

El proyecto SOLTI desarrollado por la empresa Empiric Technologies, S.L. en colaboración con el instituto Nuestra señora de los Remedios y el Centro de Referencia Nacional de Ensayos no Destructivos de Cartagena ha innovado con un sistema para la inspección de soldadura en tiempo

real IRWELDSCAN, basado en la captura, tratamiento, procesado y análisis de secuencias térmicas. El sistema está compuesto por una cámara térmica inteligente con capacidad de preprocesado y procesado a nivel hardware y un software para plataforma PC que permite el funcionamiento en dos modos: tiempo real (on line) y/o análisis diferido (off line). Estas dos formas de funcionamiento del sistema permiten su aplicación en líneas de producción y control en tiempo real (modo on line) y como herramienta de evaluación de futuros soldadores, así como herramienta de estudio de sistemas y técnicas de soldeo. El sistema captura una secuencia de 50 termogramas por segundo extrayendo

El sistema captura una secuencia de 50 termogramas por segundo extrayendo características, térmicas tanto de calentamiento, como de enfriamiento del cordón que permiten determinar las discontinuidades que se producen durante el proceso de soldeo

características, térmicas tanto de calentamiento, como de enfriamiento del cordón que permiten determinar las discontinuidades que se producen durante el proceso de soldeo. Y también la medida de dimensiones físicas de la soldadura para determinar la resistencia de la unión y los posibles cambios no deseados de parámetros durante el soldeo. Así mismo se puede configurar para diferentes procesos de soldadura (MIG-MAG, TIG, arco sumergido, CMT, láser, etc.).

El sistema se está testeando usando probetas que posteriormente se inspeccionan por ultrasonidos y radiografías, para certificar sus resultados y que se corresponde con la fase 3 del proyecto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación recibida para el proyecto SOLTI.

Referencias

- [1] Al-Habaibeh, Amin; Parkin, Robert "An autonomous low-cost infrared system for the on-line monitoring of manufacturing processes using novelty detection". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 22, n 3-4, p. 249-258, 2003.
- [2] Zeng, Zhi; Wang, Lijun; Wang, Yue; Zhang, Han. "Numerical and experimental investigation on temperature distribution of the discontinuous welding". *Computational Materials Science*, v. 44, n 4, p. 1153-1162, February 2009.
- [3] Menaka, M.; Vasudevan, M.; Venkatraman, B.; Raj, Baldev. "Estimating bead width and depth of penetration during welding by infrared thermal imaging" *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, v 47, n 9, p 564-568, September 2005.
- [4] Venkatraman, B.; Raj, Baldev; Menaka, M. "Online infrared detection of inclusions and lack of penetration during welding" *Materials Evaluation*, v. 63, n 9, p. 933-937, September 2005.