

IMPLANTACIÓN DE TÉCNICAS DE ULTRASONIDO POR INMERSIÓN EN LA INSPECCIÓN DE ENSAMBLES AUTOMOTRICES

Roman Rodulfo Pontigo
Volkswagen de México, S.A. de C.V.
km 16,5 Carr. México-Puebla, Cuautlancingo, Pue.
Tel. (222) 2 30 9517 correo-e: roman.rodulfo@VWM.com.mx

Rogelio Amezola Luna
Centro Nacional de Metrología
km 4,5 Carr. A los Cués, El Marqués, Qro.
Tel. (442) 2 11 05 00 correo-e: ramezola@cenam.mx

Resumen: Se presenta la implantación de técnicas de ultrasonido por inmersión en la detección de fallas internas en soldaduras en ensambles automotrices de gran tamaño como toldos, puertas y cofres. Tradicionalmente en la industria automotriz se utilizan técnicas de contacto, destructivas o rayos X, sin embargo; por técnicas de ultrasonido por inmersión se pueden reducir costos y tiempos de operación, obtener una alta confiabilidad de medición y consecuentemente mejorar la calidad del producto. Se aborda el diseño, fabricación y caracterización de un sistema de inspección automatizado en 3D, utilizando un tanque de inmersión de 4,0 m de largo, 2,0 m de ancho y 0,9 m de altura y equipo de medición. El sistema opera en el intervalo de frecuencias de 3,5 MHz a 20 MHz y la frecuencia central es definida en función del tipo de material a inspeccionar y su tamaño de grano. Resultados preliminares y su validación con técnicas destructivas muestran una buena confiabilidad del sistema de inspección, siendo posible detectar fallas internas hasta 0,2 mm en diámetro. Se presentan limitantes en la inspección de algunos sectores de los ensambles, debido a efectos de reflexión, refracción y difracción en ciertas geometrías próximas o en el área de inspección.

1. INTRODUCCIÓN

Los Ensayos No Destructivos (END) son técnicas de inspección utilizadas principalmente para evaluar la sanidad interna y externa de materiales, sin deteriorarlos ni alterar o afectar de forma permanente sus propiedades físicas o químicas. Entre los más comunes se encuentran: Ultrasonido, Visual, Partículas magnéticas, Corrientes de eddy, Emisión acústica, Fugas, Líquidos penetrantes, Radiografía, Termografía, Vibraciones; entre otros. Éstos son utilizados en mayor o menor medida en la detección y evaluación de fallas en materiales, como soldaduras.

Tradicionalmente, en la evaluación volumétrica de soldaduras en la industria automotriz se utilizan técnicas de ultrasonido por contacto, rayos X o técnicas destructivas, sin embargo; en este trabajo se demuestra que las técnicas de ultrasonido por inmersión en agua pueden ser un excelente medio de inspección de soldaduras, principalmente en piezas con geometrías complejas y/o con acabados superficiales rugosos.

La técnica de ultrasonido por inmersión consiste en utilizar el agua como medio de acoplamiento acústico entre el transductor y la pieza a examinar, que a diferencia de las técnicas tradicionales de ultrasonido por contacto, el transductor y la pieza son sumergidos total o parcialmente en un tanque con agua de tal manera que no se requiere tener contacto entre ellos, ya que la onda de ultrasonido viaja a través del agua hasta penetrar en la pieza [1] (ver Fig. 1).

La implantación de las técnicas de ultrasonido por inmersión fue enfocada a la inspección de soldaduras en ensambles automotrices de gran tamaño como costados y puertas. Para tal efecto, se desarrolló un sistema de inspección mecánico de 5 grados de libertad, con transductores de inmersión de diferentes frecuencias de operación, tamaños de elemento activo y distancias de enfoque. Dicho sistema de inspección fue diseñado, fabricado y caracterizado por grupos de trabajo de Volkswagen de México (VWM) en colaboración con personal del Centro Nacional de Metrología (programa Mesura[®]).

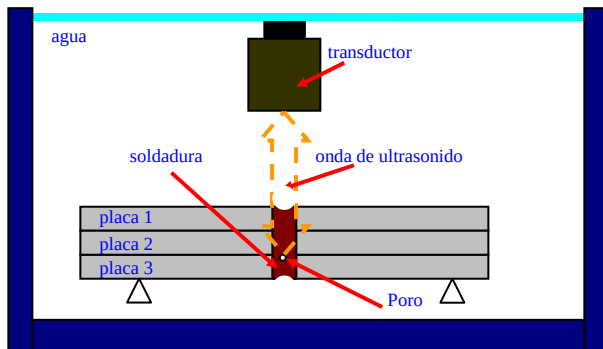


Fig. 1 Técnica de ultrasonido por inmersión

En la siguiente sección se describen las fases del desarrollo del sistema de inspección.

2. SISTEMA DE INSPECCIÓN

2.1 Diseño

Tanque de inmersión

Se diseñó considerando: a) requerimientos dimensionales de las piezas a evaluar, como su tamaño y geometrías irregulares; b) acceso de evaluación en los puntos de interés (soldaduras) de la pieza y c) operación del sistema de posicionamiento. Se determinó un tamaño de diseño de 4,0 m de largo x 2,0 m de ancho y 0,90 m de altura. El tanque de inmersión es capaz de contener hasta un costado completo de un automóvil (ver Fig. 2).

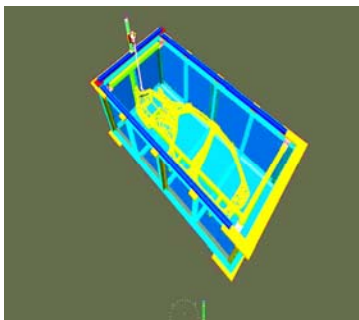


Fig. 2 Modelación de tanque de inmersión

Sistema de posicionamiento

Se diseñó considerando: a) los desplazamientos mínimos y máximos de la evaluación; b) geometría de barrido de la soldadura (contornos) y c) resolución requerida. El sistema se diseñó con 3 ejes de traslación XYZ y 2 ejes rotacionales.

2.2 Fabricación

La estructura del sistema se fabricó con material comercial metálico (ej. PTR, lámina, placa, etc.) y las paredes se fabricaron con cristal templado de 12 mm de espesor. El sistema de posicionamiento está

construido con actuadores neumáticos, rieles lineales de aluminio y codificadores lineales que permiten tener un sistema de lazo cerrado que retroalimenta la posición del posicionador y la corrige mientras se desplaza. El sistema cuenta con niveladores mecánicos independientes en la base para un mejor control de la alineación del tanque (ver Fig. 3).



Fig. 3 Sistema de inspección

2.3 Caracterización

Dimensional

Se han desarrollado pruebas de repetibilidad en posición relativa, arrojando valores menores a 0,5 mm al punto de referencia y varía dependiendo del intervalo de desplazamiento, velocidad y aceleración de movimiento y longitud del brazo vertical dentro del tanque. Se tiene contemplado realizar la caracterización dimensional del sistema de posicionamiento, a fin de evaluar su comportamiento en posicionamiento absoluto. Será utilizado un sistema de medición láser.

Acústica

Fue caracterizado acústicamente, utilizando un juego de bloques de resolución/sensibilidad, como el 30FBH, IIW, miniatura resolución y algunas probetas (cortes de ensambles). Los bloques cuenta con fallas internas de referencia que simulan las profundidades y tamaños de falla que comúnmente se presentan en la evaluación de una soldadura (ver Fig. 4). Estos bloques han sido calibrados por técnicas de ultrasonido en inmersión, donde se determinan las condiciones físicas de las fallas internas de referencia acorde a ASTM E428 [2]. De las mediciones realizadas, se encontró que el sistema de inspección en su mejor capacidad de medición (con la instrumentación actual), es capaz de detectar fallas internas de hasta 0,2 mm de

diámetro (determinado con un juego de probetas de varios ensambles). El criterio de detección se realizó conforme ASTM E317 [3], donde la señal de la falla de referencia, ajustada con la ganancia del detector ultrasónico de fallas en 80 % de su Escala Vertical (%EV) no presenta ruido acústico y/o eléctrico mayor a 20 %EV en la zona de la indicación o que la señal de la interfase más próxima (pared posterior o de entrada) se distinguiera de la indicación de la falla en al menos 20 %EV.



Fig. 4 Instrumentación utilizada en la caracterización acústica

3. RESULTADOS

3.1 Técnica no destructiva por ultrasonido en inmersión

En la industria automotriz se utilizan diferentes tecnologías de soldado, entre ellas; la soldadura láser. Ésta consiste en enfocar un haz láser al área de unión, produciendo un cambio de estado del material de sólido a líquido, que regresa a su estado original (sólido) cuando el haz es suspendido. Esta soldadura es utilizada en la fabricación de carrocerías en VWM en materiales como aceros de bajo carbono, con láminas de espesores entre 0,7 mm a 3,0 mm y uniones (2 o 3 láminas), de hasta 4,5 mm de espesor.

Este tipo de soldaduras/uniones son evaluadas usando un detector ultrasónico de fallas con resolución de 10 μ m y diferentes transductores, donde se registran las indicaciones provenientes de cada uno de los cambios de impedancia acústica entre el material soldado [4,5,6]. Cuando la fusión se realiza adecuadamente, las únicas indicaciones que aparecen en el detector son las de los cambios de impedancia acústica entre las superficies de entrada del haz de ultrasonido y la de pared posterior (ya que se presentan cambios de medio de propagación). Cuando aparecen indicaciones intermedias a estas dos interfases es un indicativo de falta de fusión entre las láminas o se presenta un

defecto en la soldadura o al interior de las láminas. Estos defectos pueden ser inclusiones, poros, bolsas de gas y grietas; entre otros.

Así pues, una soldadura es considerada “aceptable” cuando las indicaciones de las interfases de las láminas interiores (B y C, Fig. 5) no se presentan, o su amplitud es menor a 20 %EV del detector ultrasónico de fallas, utilizando un valor de ganancia definido. La condición anterior indica que la soldadura fusionó adecuadamente entre láminas. Una soldadura es considerada “no aceptable” cuando su indicación es mayor a 20 % EV.

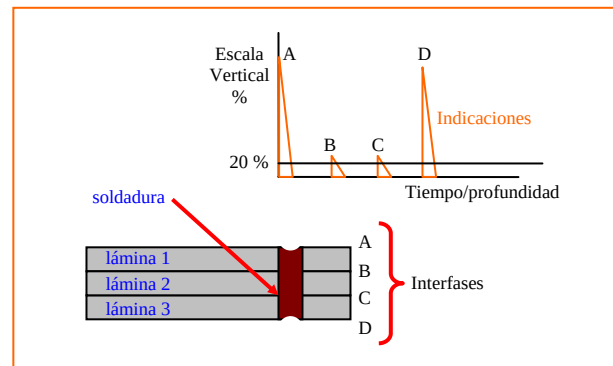


Fig. 5 Indicaciones en la evaluación de soldaduras láser

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos de las soldaduras evaluadas. La Fig. 6 presenta una soldadura “aceptable”, aunque presenta una indicación posterior a la interfase D, debido a una rebaba de la fusión, sin afectar la calidad del producto. El foco del transductor fue direccionado a las interfases B-C-D.

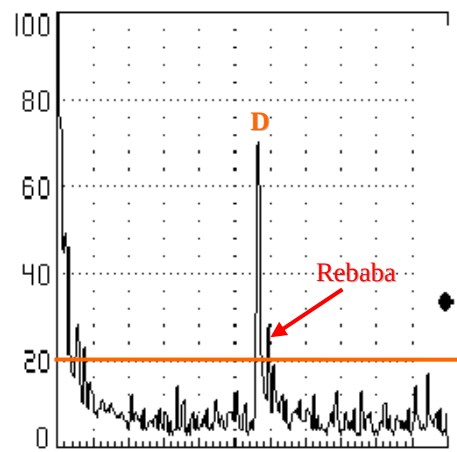


Fig. 6 Soldadura láser “aceptable”

La Fig. 7 presenta una soldadura “no aceptable”, debido a que la indicación de la interfase C fue mayor a 20 %EV. Esto es indicativo de que no se logró la fusión requerida entre la lámina 2-3.

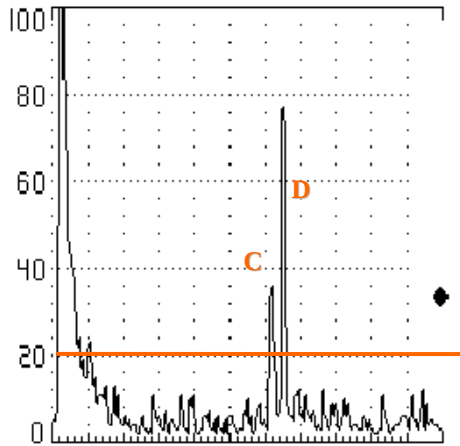


Fig. 7 Soldadura láser “no aceptable”

La Fig. 8 presenta una soldadura “no aceptable”, debido a que la indicación de la interfase B y C fue mayor a 20 %EV. Lo anterior es indicativo de que no se logró la fusión requerida entre la lámina 1-2 y la 2-3.

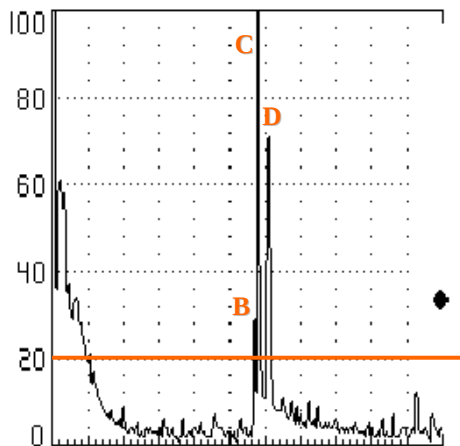


Fig. 8 Soldadura láser “no aceptable”

En las mediciones no destructivas fueron utilizados transductores con diferentes características como: distancia focal, tipo de foco, frecuencia de operación y diámetro del elemento activo. El intervalo de frecuencia utilizado fue de 3,5 MHz a 20 MHz, con trayectorias en agua transductor–muestra de 25 mm $\pm$ 5 mm. La selección del transductor fue realizada en función de: a) tipo y tamaño de soldadura a evaluar, b) la geometría y complejidad de la pieza, c) tamaño de grano y d) distancia de penetración.

3.2 Técnica destructiva

A fin de validar la técnica no destructiva, fue utilizada la técnica destructiva por “cincel neumático” que consiste en destruir el ensamble de soldadura, separando las láminas sin dañar la sección soldada [7,8] (ver Fig. 9).

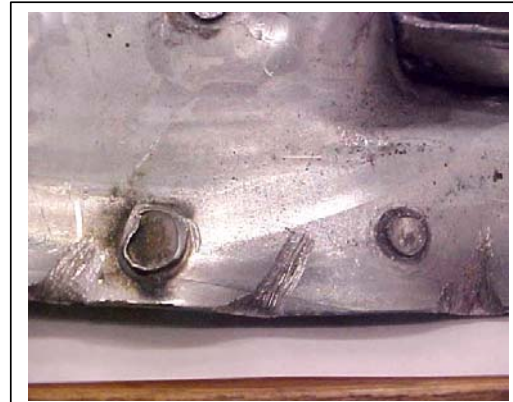


Fig. 9 Técnica destructiva por cincel neumático

Una vez que la soldadura es seccionada transversalmente, se realiza su análisis y evaluación utilizando un sistema de microscopía (ver Fig. 10). Este análisis permite determinar la longitud de penetración de la soldadura, así como la estructura granular del material soldado y fallas internas. Es una técnica muy confiable (siempre y cuando no se dañe la soldadura durante la separación de las láminas), sin embargo; involucra demasiado tiempo, por lo que fue utilizada solo con propósitos de validación.



Fig. 10 Evaluación de fusión de soldadura usando microscopía

La validación de la prueba se realiza mediante la comparación de resultados entre las pruebas destructivas por cincel neumático/microscopía y los obtenidos por el detector ultrasónico de fallas en conjunto con su transductor.

Los resultados de la aplicación de esta técnica destructiva arrojaron que de 200 soldaduras evaluadas 192 soldaduras resultaron “aceptables” y 8 como “no aceptables”. De esto, el experimento tuvo una confiabilidad del 96 %, utilizando la técnica no destructiva por ultrasonido en inmersión.

4. DISCUSIÓN

Se ha demostrado fehacientemente que la implantación de técnicas no destructivas por ultrasonido en inmersión es una alternativa confiable en la evaluación de soldaduras láser en componentes automotrices de dimensiones considerables como toldos, puertas y cofres. Sin embargo; se presentan limitantes en la inspección de algunos sectores de los ensambles, donde las geometrías son complejas, presentándose lecturas discrepantes debido a efectos de reflexión de múltiples ecos, refracción y difracción en ciertas geometrías próximas o en el área de inspección como las superficies rugosas de las soldaduras.

Por otro lado fueron observados efectos debidos a dispersión del haz ultrasónico debido a la contaminación del agua por burbujas de aire o agentes externos. Esta problemática provoca que las señales de emisión-recepción de ultrasonido sean atenuadas en su trayecto y generen una indicación en el detector ultrasónico de fallas no confiable, por lo que se debe tener especial cuidado por prevenir y aminorar esta contaminación.

Los resultados mostrados en este trabajo son preliminares a lo que se espera concretar con mediciones de mayor exactitud y mejor control de las variables de influencia.

5. CONCLUSIONES

A través de la implantación de las técnicas de ultrasonido por inmersión, se ha proporcionado una solución a las necesidades de inspección de diferentes tipos de soldaduras en VWM como la soldadura láser, entre otras. Debido a la gran confiabilidad de la medición (~96 %) y su alta capacidad de resolución en la detección de fallas hasta de 0,2 mm de diámetro, se prevé que su uso en la industria automotriz se incrementará en el futuro cercano. Como referencia, en el año 2000 en VWM solo se realizaban pruebas destructivas de los ensambles automotrices, sin embargo; a finales del año 2005 las pruebas destructivas solo se realizan en un 35 % siendo el 65 % pruebas no destructivas, por lo que con esta técnica de ultrasonido por inmersión se prevé una relación aún mayor entre las

pruebas destructivas y las no destructivas (ver Fig. 11).

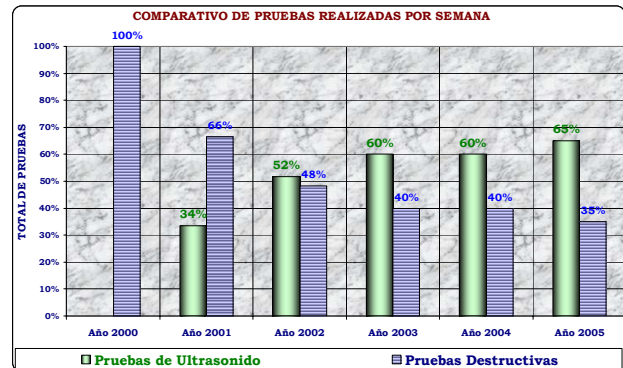


Fig. 11 Relación entre el uso de pruebas destructivas y no destructivas (ultrasonido) en VWM.

REFERENCIAS

- [1] Krautkramer and Krautkramer, Ultrasonic testing of materials.
- [2] ASTM E428, “Standard practice for fabrication and control of steel reference blocks used in ultrasonic inspection”.
- [3] ASTM E317 “Standard practice for evaluating performance characteristics of ultrasonic pulse-echo systems without the use of electronic measurement instruments”.
- [4] ASTM E 664-89 “Measurements of the apparent attenuation of longitudinal ultrasonic waves by immersion method”.
- [5] ASTM E1001-99 “Standard practice for detection and evaluation of discontinuities by the immersed pulse-echo ultrasonic method using longitudinal waves”.
- [6] ASTM E214-68 “Standard practice for immersed ultrasonic examination by the reflection method using pulsed longitudinal waves”.
- [7] VWM 01105 -1 “Soldadura por puntos de resistencia. Diseño, cálculo, aseguramiento de proceso”. (Norma interna VW)
- [8] PV 6702 “Uniones de soldadura por puntos, prueba de resistencia en material de acero”. (Norma interna VW)