

Resultados preliminares en la inspección no destructiva por ultrasonido de soldaduras láser utilizando acoplamiento en seco

Alfonso Miguel Gómez Rodríguez¹, Ana Lilia López Sánchez^{2*}, Benjamín Arroyo Ramírez¹.

¹ Instituto Tecnológico de Celaya
Av. Tecnológico y A. García Cubas S/N
A.P. 57, C.P. 38010, Celaya, Gto.

² Centro Nacional de Metrología
km 4,5 carretera a Los Cués, El Marqués, Qro. C.P. 76246
Tel. (442) 2 11 05 00 ext. 3592
correo-e: alopez@cenam.mx

RESUMEN

Se presentan resultados preliminares obtenidos en la inspección no destructiva de soldaduras láser en ensambles automotrices de láminas delgadas de acero. Se utilizaron técnicas de ultrasonido pulso-eco y onda guiada con transductores giratorios de acoplamiento acústico en seco para evaluar la sanidad de la unión. El tiempo de vuelo de las ondas de ultrasonido generadas y recibidas por el transductor presentan patrones de comportamiento que se correlacionan con el estado de la unión soldada, lo que permite definir criterios de aceptación/rechazo del componente. Se determinó que los patrones de comportamiento son altamente sensibles al posicionamiento y acoplamiento acústico del transductor sobre la trayectoria de la superficie inspeccionada, situación que influye en la confiabilidad del método. El proyecto de investigación es llevado a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de Metrología.

* Autor a contactar para mayor información.

1. Introducción

En la actualidad en la industria automotriz mexicana se utiliza un sinnúmero de tipos de soldaduras para llevar a cabo sus procesos productivos; en particular, resalta el uso de soldadura láser por su rapidez, exactitud, no requiere material de aporte y su aplicación por un lado de la pieza [1]. Sin embargo, la calidad de las uniones soldadas por láser puede resultar comprometida debido a variaciones inherentes del proceso de soldado y que producen fallas en la soldadura como porosidades, huecos, socavamientos o grietas, entre otras [1]. Por lo que el interés de la industria, que utiliza soldadura láser, sea asegurar la calidad de los cordones de soldadura de una forma rápida, confiable y con el mejor costo-beneficio.

En la inspección de soldaduras láser, actualmente la técnica destructiva es una de las más utilizadas para evaluar la sanidad de las uniones soldadas. Sin embargo, el uso de esta técnica genera grandes costos debido al desperdicio de materia prima, tiempo de inspección largo y mano de obra. Por otro lado, el número de ensambles automotrices que son inspeccionados con esta técnica es limitado y depende en gran medida de inspecciones visuales. De aquí el interés de la industria automotriz por evaluar otras técnicas de inspección con las cuales determinar la sanidad de la soldadura láser, de forma confiable y reduciendo costos. En este

trabajo se evalúa la factibilidad de emplear el ultrasonido como técnica no destructiva para inspeccionar la soldadura láser en ensambles automotrices de láminas delgadas de acero.

2. Método de inspección

Debido a limitaciones de espacio y la dificultad de acceso a las soldaduras de interés en un ensamble automotriz, se eligió la técnica de inspección ultrasónica pulso-eco; en la cual un solo transductor es utilizado para generar el haz ultrasónico que se propaga a través del material, así como para recibir las ondas ultrasónicas reflejadas por una imperfección o una interfase entre dos medios [2].

La cadena de medición utilizada incluye el uso de un detector ultrasónico de fallas y un transductor giratorio, que cuenta con acoplamiento acústico en seco. El cristal piezoeléctrico del transductor tiene un diámetro nominal de 5 mm. El uso de un acoplante en seco evita la contaminación de la pieza y su posterior limpieza, debido a que no utiliza gel o agua para acoplarse. En la Figura 1 se muestra el transductor utilizado.

Los dos ensambles automotrices seleccionados para inspección cuentan con uniones soldadas por láser, con láminas de acero sobrepuestas de 0,7 mm de espesor cada una (ver Figura 2). Debido a que el espesor de las láminas inspeccionadas es cercano a la longitud de onda del transductor, las ondas ultrasónicas generadas por el transductor se propagan como ondas guiadas a través de las láminas. La señal observada en el detector de fallas es una combinación de diferentes modos de dispersión de la onda guiada [3].

En ambos ensambles, se eligieron puntos de medición en secciones del ensamble sin soldadura y con soldadura, así como puntos cercanos al borde de la soldadura. Lo anterior con el propósito de comparar parámetros de la señal recibida en diferentes puntos de medición y buscar patrones de comportamiento que puedan utilizarse para definir criterios de aceptación/rechazo de la sanidad de la soldadura láser.

3. Evaluación experimental de la soldadura láser

Para controlar la posición y orientación del transductor con respecto al borde del ensamble, se sujetó el transductor a un riel de alta exactitud con la ayuda de una pieza en forma de escuadra que limita el movimiento del transductor a un solo eje de desplazamiento. Adicionalmente, para mantener un acoplamiento adecuado del transductor a lo largo de la trayectoria seguida, se utilizaron un par de resortes sujetos a la pieza en forma de escuadra (ver Figura 3a).



Figura 1. Transductor giratorio con acoplamiento en seco.

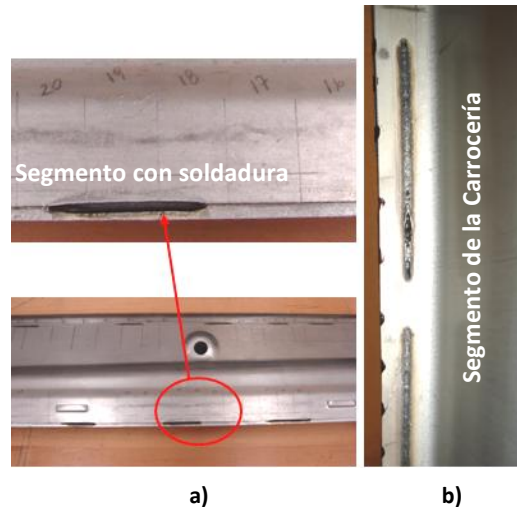


Figura 2. Soldadura láser en secciones de dos ensambles automotrices de láminas delgadas de acero.

Se realizaron mediciones repetidas en cada uno de los puntos seleccionados de cada ensamble, desplazando el transductor a lo largo de la superficie inspeccionada. Al iniciar una nueva serie de mediciones se verificó que el transductor estuviera orientado de forma paralela al borde del ensamble, maximizando la señal correspondiente a la reflexión del borde. En cada punto de medición se registró el tiempo de vuelo de la señal.

En el ensamble mostrado en la Figura 3(a), se seleccionaron un total de 13 puntos de medición; en tanto que para el ensamble de la Figura 3(b) se seleccionaron un total de 11 puntos de medición. En la Figura 4(a) se muestra una gráfica del tiempo de vuelo registrado en cada punto de medición del ensamble correspondiente a la Figura 3(a). Los puntos marcados con los números 4, 5, 6, 11, 12 y 13, corresponden a puntos en segmentos con soldadura, y los puntos restantes marcados con los números 1, 2, 3, 7, 8, 9 y 10 corresponden a segmentos sin soldadura. En este ensamble la placa inferior sobresale aproximadamente 2 mm

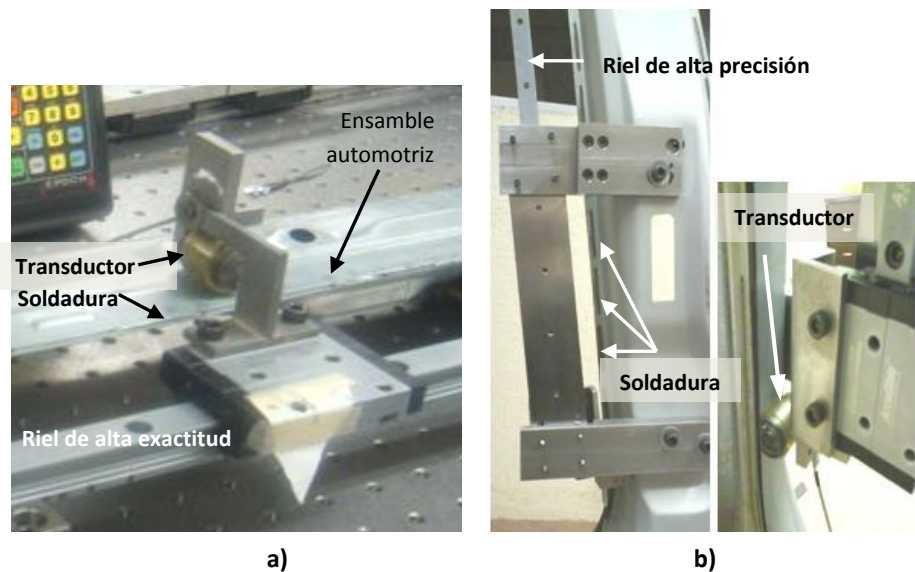


Figura 3. Montaje de transductor giratorio de acoplamiento en seco para los ensambles inspeccionados. En (a) el ensamble y el riel se fijaron a una mesa óptica; en (b) el riel se sujetó con un par de brazos fijos al ensamble.

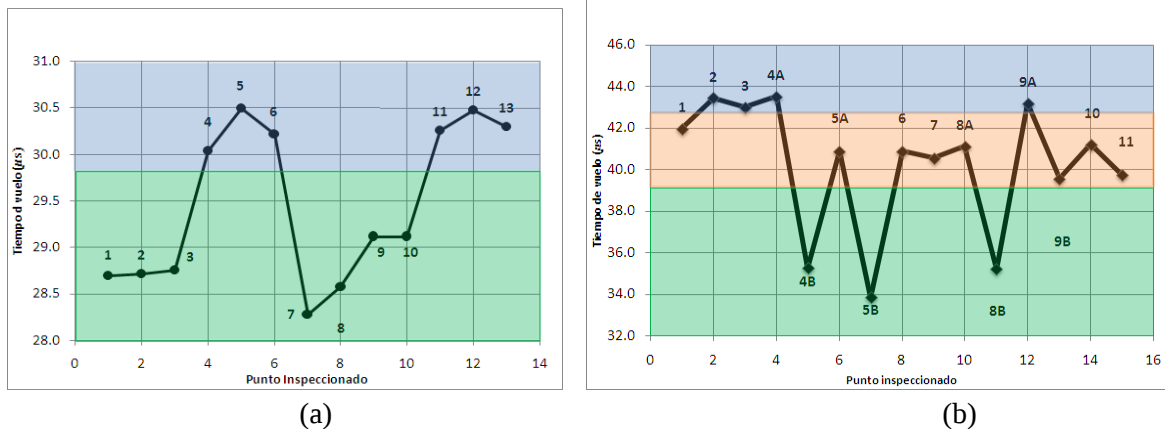


Figura 4. (a) Tiempo de vuelo para 13 puntos inspeccionados a lo largo de una pieza conformada por dos láminas de acero. (b) Tiempo de vuelo para 11 puntos inspeccionados a lo largo de un segmento de carrocería.

de la placa superior, ver Figura 2(a), por lo que se espera que aquellos puntos de medición localizados en segmentos con soldadura sin fallas, tengan un tiempo de vuelo mayor que aquellos puntos correspondientes a segmentos sin soldadura. Las ondas ultrasónicas en secciones con soldadura libres de fallas, serán reflejadas por el borde de la placa inferior recorriendo una trayectoria mayor que en puntos de secciones sin soldadura. En segmentos sin soldadura las ondas ultrasónicas serán reflejadas por el borde de la placa superior, recorriendo una trayectoria más corta; este comportamiento puede observarse en los tiempos de vuelo mostrados en la gráfica de la Figura 4(a).

En el caso del ensamble automotriz mostrado en la Figura 3(b), se midieron un total de 11 puntos. En este ensamble los bordes de ambas placas coinciden, por lo que se espera que puntos de medición en secciones con soldadura libre de fallas muestren tiempos de vuelo similares a los de puntos de medición en secciones sin soldadura. Los puntos de medición marcados en la Figura 4(b) con los números 1, 6, 7, 10 y 11 corresponden a secciones con soldadura, puntos de medición marcados con los números 2 y 3 corresponden a secciones sin soldadura, y puntos marcados con los números 4, 5, 8 y 9 corresponden a bordes de la soldadura. Puede observarse que los puntos con soldadura 6, 7, 10 y 11 tienen tiempos de vuelo ligeramente menores que los puntos 2 y 3 sin soldadura. Esto se debe a que en dichos puntos el borde del ensamble no tiene un acabado uniforme y presenta algunas muescas, ver Figura 5, por lo que las ondas ultrasónicas recorren una trayectoria más corta que en los puntos 2 y 3 donde el borde es uniforme.

En los puntos de medición que corresponden a bordes de soldadura, puntos 4, 5, 8 y 9, solo parte del haz ultrasónico generado por el transductor cubre la soldadura. En cada uno de los bordes medidos es posible observar a simple vista que la soldadura presenta fallas (ver Figura 5), por lo que se registran dos tiempos de vuelo, etiquetados como A y B. El tiempo de vuelo A corresponde al tiempo de la reflexión de la parte del haz que se propaga hasta el borde del ensamble, mientras que el tiempo B corresponde al tiempo de la reflexión debida a una falla en la soldadura láser.

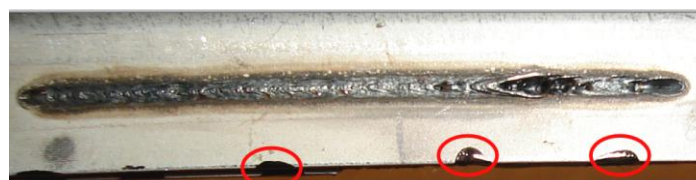


Figura 5. Segmento con soldadura del ensamble mostrado en la Figura 2(b), que muestra no uniformidades en el borde.

La amplitud de la señal recibida en el detector de fallas también fue registrada, sin embargo, pequeñas variaciones en la planitud de la superficie inspeccionada causa variaciones significativas en la señal recibida. El mecanismo de posicionamiento utilizado dificultó la identificación de patrones de comportamiento en amplitud en segmentos del ensamble automotriz con y sin soldadura láser.

4. Conclusiones

En los ensambles automotrices inspeccionados se observa que el tiempo de vuelo es un parámetro que puede utilizarse para identificar fallas en la soldadura láser y, en algunos casos, falta de unión. Los resultados obtenidos en la inspección de soldadura láser en lámina delgada de acero, muestran patrones de comportamiento que pueden servir para definir criterios de aceptación/rechazo de la sanidad de la soldadura láser en base al tiempo de vuelo registrado en los puntos de medición localizados en segmentos con y sin soldadura,.

Sin embargo, estos patrones de comportamiento son sensibles a la alineación y acoplamiento del transductor que se logre con la superficie del ensamble inspeccionado. Los resultados presentados forman parte de un proyecto de investigación sobre evaluación de soldadura láser en ensambles automotrices; como una etapa inicial, la experimentación consideró superficies más o menos planas y rectas. Sin embargo, el posicionamiento del transductor resultó lento y complicado; por lo que se requiere diseñar un mecanismo de posicionamiento para el transductor que sea más robusto y versátil. La inspección de soldadura láser en secciones más grandes de la carrocería de un automóvil, de manera repetible y sistemática, persiste como área de oportunidad para el Laboratorio de Ultrasonido del CENAM.

5. Agradecimientos

El trabajo presentado fue realizado en las instalaciones del Centro Nacional de Metrología (CENAM), los autores agradecen el apoyo prestado por el centro para la realización de este trabajo. Alfonso Miguel Gómez Rodríguez agradece además el apoyo recibido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

6. Referencias

- [1] W. W. Duley, "Laser Welding", Ed. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [2] J. Krautkrämer, H. Krautkrämer, "Ultrasonic testing of Materials", Springer Verlag, 1990.
- [3] L. W. Schmerr, "Fundamentals of ultrasonic nondestructive evaluation, a modeling approach", Plenum Press, 1998.