

Soldadura láser remota de aceros de alto límite elástico

M. Blasco, D. Iordachescu, J.L. Ocaña

*Centro Láser UPM, Edificio Tecnológico "La Arboleda", Campus Sur U.P.M
Carretera de Valencia km. 7,3. 28031 Madrid*

Tel: +34 91 336 55 41 e-mail: manuel.blasco@upm.es

Resumen

En este artículo se presenta un estudio de soldabilidad del acero de alto límite elástico Usibor 1500 P revestido al Al-Si sin tratar térmicamente mediante soldadura láser remota. La soldadura de este material presenta dificultades debido a que el Al presente en el recubrimiento provoca inclusiones de compuestos intermetálicos Al-Fe en la unión. Estos compuestos tienen baja ductilidad y fractura frágil a temperatura ambiente, produciendo estos efectos en la unión realizada.

Palabras Clave: Soldadura láser remota, acero alto límite elástico,

Abstract

This paper presents a weldability study of Usibor 1500 P high strength steel pre-coated of Al-Si in the non quenched state by remote laser welding. The pollution of the melt pool by Al-Fe intermetallic particles during laser welding results in low strength joints.

Keywords: Remote laser welding, high strength steel,

1. Introducción

En los últimos tiempos la industria de la automoción ha dedicado un gran esfuerzo a la mejora de la calidad y seguridad de los vehículos. Esta mejora se fundamenta tanto en el avance de las técnicas de producción como en el uso de nuevos materiales, haciendo posible de esta manera automóviles más ligeros, seguros, económicos y ecológicos. En esta dirección, este artículo presenta los resultados obtenidos en un estudio de soldabilidad del acero de alto límite elástico Usibor 1500, en su versión revestida con Al-Si (90%-10%) sin tratar térmicamente, mediante soldadura láser remota. La soldadura del material revestido sin tratar térmicamente presenta dificultades debido a que el Al presente en la interfaz provoca inclusiones de compuestos intermetálicos Fe-Al en la soldadura. Estos materiales tienen baja ductilidad y fractura frágil a temperatura ambiente, produciendo estos efectos en la unión realizada. El objetivo de este estudio es la optimización de la soldadura a solape mediante soldadura láser remota de este material sin eliminar el recubrimiento, tratando de minimizar la aparición de compuestos intermetálicos Fe-Al.

2. Dispositivo experimental y metodología

2.1. Montaje experimental

La soldadura láser remota es una técnica emergente para la soldadura de componentes en la industria de la automoción. Estos sistemas se caracterizan por un sistema de espejos móviles (dispositivo de barrido) y una lente de focalización de distancia focal larga (entre 0,6 y 1,6 m típicamente) que dirigen el haz en un gran volumen de trabajo.

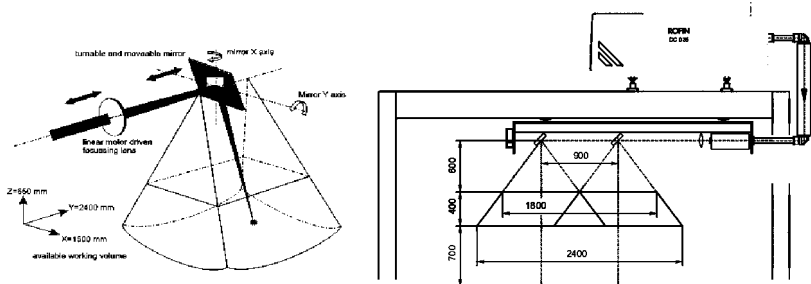


Figura 1: Esquemas del sistema de soldadura láser remota utilizado.

El sistema de soldadura utilizado está provisto de un láser de CO₂ de 3500 W de potencia máxima, estando el sistema óptico compuesto por una lente de focalización de 1450 mm de focal y un espejo galvanométrico móviles con los que se consigue un amplio volumen útil de trabajo (1500 x 2400 x 650 mm), permitiendo de esta manera la fabricación de piezas de gran tamaño a una alta velocidad.

2.2. Material

Por sus altas características mecánicas después del tratamiento térmico (1500 MPa), el Usibor 1500 se sitúa en la gama de aceros desarrollados para responder a las exigencias de aligeramiento de los vehículos en la industria de la automoción. Siendo un acero para estampación destinado para piezas de estructuras y seguridad del automóvil, está diseñado para recibir un tratamiento térmico durante o después de la operación de estampación. Su elaboración y tratamiento termo-mecánico durante la laminación en caliente le confieren una excelente templabilidad así como una buena homogeneidad estructural, lo que favorece un buen comportamiento a las sollicitaciones mecánicas y permite su uso para funciones anti-intrusión del vehículo (viga de parachoques, refuerzos de puertas, pilar central...). El Usibor 1500 revestido a base de aluminio y silicio (90% Al y 10% Si) ha sido desarrollado para proteger el metal contra la oxidación, la decarburación durante el tratamiento térmico y para aumentar la

resistencia a la corrosión después de la pintura y así evitar un post-tratamiento de protección contra la corrosión. El espesor depositado está generalmente comprendido entre 23 μm y 32 μm por cara.

Tabla I: Composición química, en % en peso del acero Usibor 1500 P.

C	Mn	P	S	Si	Al	Cr	Ti	B	N
227	1158	19	4	246	40	183	183	34	5

2.3. Metodología

El tipo de soldadura realizado es soldadura a solape de dos chapas de acero Usibor 1500 P de 1,8 mm de espesor. Se han variado las condiciones de soldadura en busca de una mejora en la calidad final de la unión basada en una mejor evacuación del Al, o una dilución uniforme de este elemento. Concretamente se han efectuado variaciones de la posición del punto focal y la colocación de las chapas, dejando una separación de 0,2 mm entre la mismas (“gap”), variando en ambos casos la velocidad de proceso.

Los ensayos realizados consisten en cordones de soldadura de 25 mm de longitud con la máxima potencia disponible, 3500 W, usando He como gas de protección con un caudal de 20 l/min. Las variaciones efectuadas consisten en:

- **Variación del punto focal:** se han realizado probetas a +20, 0 y -20 mm, de la superficie variando la velocidad entre 12 y 70 mm/s
- **Soldadura con gap:** soldadura de las chapas dejando un espacio de 0,2 mm de espacio entre las chapas variando la velocidad entre 12 y 70 mm/s.

3.Resultados y Discusión

En todos los casos se han obtenido soldaduras con buen aspecto superficial y libres de defectos externos. La penetración es total hasta 60 mm/s cuando el haz láser está focalizado en la superficie (independientemente de la presencia de “gap” o no) y hasta 45 mm/s en el caso de soldadura deslocalizada, debido a que la densidad de energía disminuye al agrandar el diámetro de incidencia del haz láser.

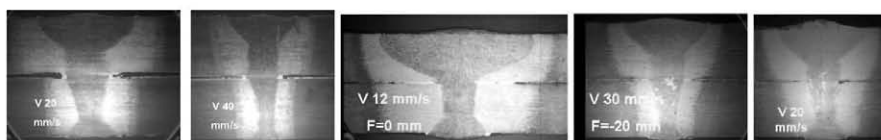


Figura 2: Macrografías de las soldaduras realizadas.

Los mejores resultados en las pruebas de variación de la posición focal se han obtenido a bajas velocidades, donde el baño fundido el mayor y por tanto se favorece tanto la evacuación como la dilución del Al. Cuando se desenfoca se observa una disminución del número de inclusiones pero un incremento de su tamaño y se localizan preferentemente en la interfaz de la soldadura, suponiendo esto una debilitación sustancial de la unión.

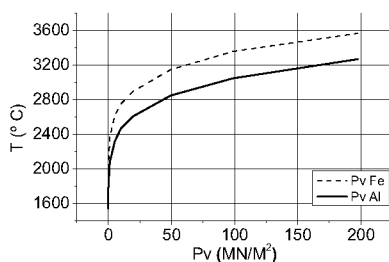


Figura 3: Presiones de vapor del Fe y Al. (1)

Al dejar una separación de 0,2 mm entre las chapas se consiguen soldaduras libres de inclusiones debido a una buena evacuación del Al por el espacio dejado entre las placas, siendo esta la vía preferencial de escape. Esto se explica por la diferencia de los valores de la presión de vapor de Fe y el Al, siendo la del Al entre 4 y 5 veces mayor que la del Fe a una temperatura dada.

3.1. Análisis de las inclusiones

Los compuestos intermetálicos susceptibles de ser formados durante el proceso de soldadura son múltiples en función de la concentración local de Fe y Al, pudiéndose tratar de: Fe_3Al , $FeAl$, $FeAl_2$, Fe_2Al_3 , $FeAl_3$ o Al puro.

La composición de las inclusiones ha sido analizada mediante espectroscopia por difracción de rayos X (EDX) constatándose la presencia de los distintos compuestos intermetálicos posibles. Asimismo se ha observado la heterogeneidad de las inclusiones tanto a nivel colectivo, difiriendo unas de otras, como a nivel individual, presentándose diferentes compuestos dentro de la misma intrusión.

3.2. Ensayos de tracción

Para los ensayos mecánicos se han realizado probetas consistentes en dos chapas de 1,8 mm de espesor de 25 X 135 mm unidas a solape por un cordón de 20 mm de longitud. La superficie de la unión, S_U , se indica en la tabla 2, diferente en cada soldadura por los distintos anchos de cordón debido a diferentes parámetros operacionales. Igualmente en esta tabla se indica la superficie inicial de la zona de fractura, S_f (esta superficie varía

fuertemente en el caso de fractura en el material base debido a la estricción de la probeta) la carga máxima, F_{max} , alcanzada en el ensayo y, el cociente entre la carga máxima y la superficie de fractura.

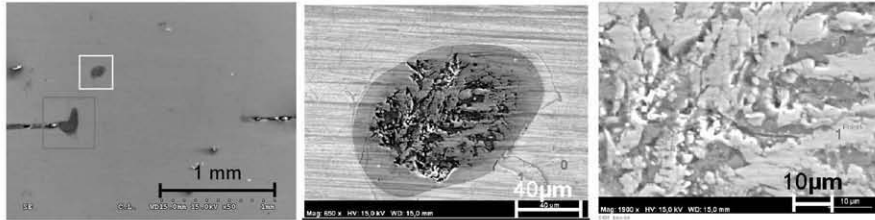


Figura 4: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) de las inclusiones.

Las probetas seleccionadas para los ensayos de tracción han sido:

- Probetas con el punto focal en la superficie, realizadas a 12 mm/s y 3500 W.
- Probetas con el punto focal en la superficie, realizadas a 20 mm/s y 3500 W.
- Probetas con el punto focal en la superficie y *gap*, a 20 mm/s y 3500 W.

Tabla II: Valores representativos de los ensayos de tracción. *Superficie inicial de la zona de fractura de la probeta, cambiando este valor con la deformación.

Tipo probeta	S_u (mm ²)	S_f (mm ²)	F_{max} (N)	F_{max}/S_f
Mat base	-	41,4*	23052	557*
V= 12 mm/s	28,2	41,4*	22782	554*
V= 20 mm/s	25,4	25,4	18956	748
GapV=20mm/s	24,0	24,0	21123	880

La carga máxima obtenida en los ensayos de tracción corresponde a las probetas realizadas con el foco sobre la superficie a 12 mm/s, seguida de cerca por las soldadura con “*gap*” a 20 mm/s y, finalmente las efectuadas a 20 mm/s con el foco en la superficie.

3.3. Discusión

El conjunto de ensayos y pruebas realizadas muestran que al aumentar el tamaño del baño fundido se consigue una disminución de la cantidad de inclusiones de compuestos intermetálicos debido en parte a una mejor dilución del Al en el metal fundido y una mejor evacuación de sus vapores. Esto se puede observar en los ensayos a baja velocidad enfocando el haz láser en la superficie.

La supresión total de las inclusiones se ha conseguido la dejar una separación entre chapas, logrando una excelente evacuación del Al provocado por su mayor presión de

vapor. Además en este caso, al ser la velocidad de proceso mayor se tiene un menor aporte de calor a la pieza, minimizándose la distorsión dimensional. Por contra, este tipo de soldadura necesita un posicionamiento preciso de las piezas, requiriendo una preparación de las mismas o el uso de un utillaje diseñado a tal efecto.

4. Conclusiones

El estudio realizado demuestra la viabilidad de la soldadura del Usibor 1500 P mediante soldadura láser remota. Destacando:

- La presencia de inclusiones de compuestos intermetálicos Fe-Al en condiciones no controladas, observándose varios tipos de estos compuestos.
- La posición del punto focal influye en la cantidad y tamaño de las inclusiones de compuestos intermetálicos Fe-Al, minimizándose su presencia al focalizar en la superficie y bajar la velocidad de avance.
- Al dejar una separación entre las chapas, *gap*, se consigue la supresión de las inclusiones debido a una buena evacuación del Al del recubrimiento debido a la diferencia del valor de la presión de vapor respecto a la del Fe, entre 4 y 5 veces a una temperatura dada.
- Los ensayos de tracción han reafirmado que la disminución y/o supresión de los compuestos intermetálicos aumentan la resistencia de la unión.
- La forma adecuada de soldar este tipo de material, a una velocidad baja o dejando *gap* entre las placas, dependerá de la aplicación en particular, sopesando los efectos del incremento de aporte de calor al disminuir la velocidad o el esfuerzo suplementario de la colocación de las piezas.

5. Referencias

J.F. Shackelford, W. Alexander, *Materials science and engineering handbook*, 3rd editon, CRC press LLC, USA 2001.

M. Grupp, T. Seefeld, F. Vollertsen. “*Laser Beam Welding with Scanner*”. *WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2003*, Munich, Germany, Jun. 2003.

C. Emmelmann. “*Laser Remote Welding – Status and Potential for Innovations in Industrial Production*”. *WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2005*, Munich, Germany, Jun. 2005.

6. Agradecimientos

Trabajo parcialmente subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyectos FIT-020600-2004-74 y CIT-020600-2005-52)