

SOLDADURA POR FRICCIÓN Y AGITACIÓN DE PLACAS DE ALUMINIO 5086.

Autores: Danilo A. Vucetich; Juan L. Lacoste; Lucas E. Feloy; Alfredo C. González.

Lugar de trabajo: Laboratorio de Investigaciones de Metalurgias Físicas (LIMF), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, danilo.vucetich@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave: soldadura, batido, aluminio

Resumen:

A finales de 1991 fue concebido y desarrollado por The Welding Institute (TWI) un nuevo método de soldadura, el cual se denominó Friction Stir Welding (FSW). El proceso de soldadura por fricción agitación o FSW se realiza con una herramienta cilíndrica compuesta de dos cuerpos, el hombro y la espiga, la cual gira a un determinado número de revoluciones. Esta herramienta es introducida lentamente por una fuerza axial, entre la línea de unión de las dos chapas o placas a unir, las cuales se encuentran dispuestas a tope una con otra.

El calor para la soldadura es generado por el contacto entre el hombro de la herramienta con la superficie de las chapas a soldar y la deformación del material promovida por el pin de la herramienta provoca un ablandamiento del material, sin llegar a la fusión, favoreciendo la deformación del mismo. El movimiento de rotación y avance de la herramienta promueve un flujo y mezclado del material desde un borde hacia el otro de la soldadura, lo cual conduce a la unión, en estado sólido, entre las dos piezas. El diseño de la herramienta juega un importante rol en la calidad final de la soldadura, como así también, en la velocidad de soldadura.

La disponibilidad de una fresa de tres ejes con control numérico en el Departamento de Mecánica, permite controlar con detalle los parámetros del proceso.

Los estudios se iniciaron sobre placas de aluminio de aleación AA5086, empleado distintas formas y tamaño de herramientas, como así también, los parámetros de movimiento para cada geometría de herramienta, a partir de ello se han conseguido soldaduras morfológicamente sanas que permitieron realizar estudios tanto macroscópicos como microscópicos de la zona del material afectada a la soldadura.

El análisis de los resultados obtenidos de las soldaduras, permite proyectar el estudio del proceso hacia nuevos horizontes, tanto de materiales a soldar como de diseños de herramientas.

INTRODUCCIÓN.

A finales de 1991 fue concebido y desarrollado por The Welding Institute (TWI) un nuevo método de soldadura, el cual se denominó Friction Stir Welding (FSW). Este nuevo proceso demostró a lo largo de estos últimos años tener un gran potencial para la realización de cualquier tipo de uniones, en especial para aleaciones de Al. En el proceso de FSW una herramienta cilíndrica compuesta de dos partes, el hombro y el pin, la cual gira a un determinado número de revoluciones, es introducida lentamente por una fuerza axial, entre la línea de unión de las dos chapas o placas a unir, las cuales se encuentran dispuestas a tope una con otra. En la *Figura 1* se muestra el esquema de funcionamiento de tal dispositivo.

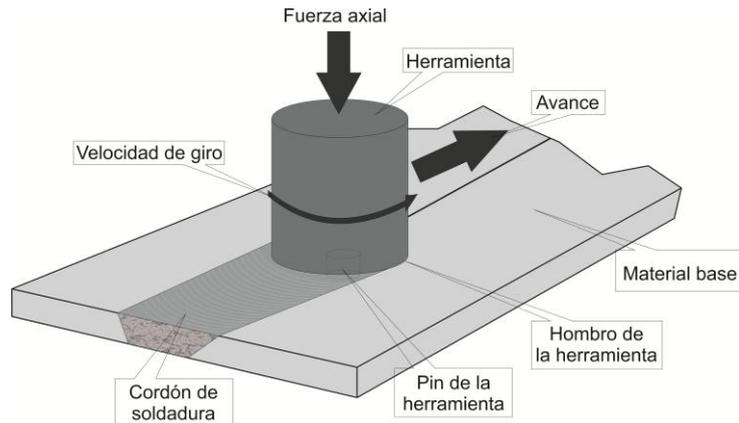


Figura 1: Esquema del principio de funcionamiento del proceso de soldadura FSW.

El calor para realizar la unión es generado por dos fenómenos, uno es el roce entre la herramienta, principalmente el hombro, y el material, y el otro es el roce interno del material debido a la deformación plástica que impone el pin. Este calor provoca un ablandamiento del material, sin llegar a la fusión, favoreciendo la deformación del mismo. El movimiento de rotación y avance de la herramienta promueve un flujo y mezclamiento del material desde un borde hacia el otro de la soldadura, lo cual conduce a la unión, en estado sólido, entre las dos piezas.

Entre las principales variables a considerar en el proceso de soldadura FSW, las cuales son fácilmente controladas, se destacan:

- Velocidad de rotación de la herramienta.
- Fuerza axial que se aplica sobre la herramienta.
- Velocidad de avance de la herramienta.

El diseño de la herramienta juega un importante rol en la calidad final de la soldadura, como así también, en la velocidad de soldadura. Dicho herramienta debe ser fabricado con un material de suficiente resistencia al desgaste y a las temperaturas de trabajo, además de poseer una buena resistencia a la oxidación y baja conductividad térmica a fin de minimizar las pérdidas.

Las ventajas del proceso FSW resultan del hecho que la soldadura toma lugar en fase sólida, a temperaturas por debajo del punto de fusión de los materiales a unir. Por lo cual, resulta posible la unión de materiales que son difíciles de soldar por proceso de fusión convencional, tal el caso de aleaciones de aluminio de las serie 2XXX y 7XXX.

Los primeros intentos de clasificar las microestructuras presentes en la zona de la soldadura fueron realizados por P L Threadgill (Boletín de marzo de 1997 del TWI) sobre la base de la información disponible a partir de las soldaduras de aleaciones de aluminio. Si bien tal esquema no puede ser ampliado a la mayoría de los materiales, el mismo ha sido discutido en diversos ámbitos académico e industriales y ha sido aceptado provisoriamente.

El método de clasificación de la microestructura, divide a la zona de soldadura dentro de distintas regiones:

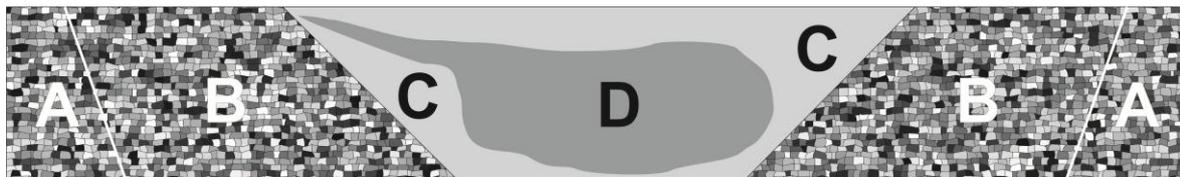


Figura 2: Clasificación de las estructuras en la soldadura FSW.

- A. Material no afectado o material base.
- B. Zona afectada por el calor (ZAC).
- C. Zona termomecánicamente afectada (ZTMA).
- D. Zona de soldadura por Batido (ZSB, zona de flujo de material detrás del recorrido del pin)

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Herramientas utilizadas para las experiencias.

El diseño de las herramientas a utilizar fue basado en la bibliografía existente. El parámetro que marca el inicio del proceso de diseño de la herramienta para la soldadura es el pin. La longitud del pin es la única magnitud que no se manifiesta como una variable controlable en cuanto al calor aportado, sino que está ligada al espesor de las chapas a soldar y al ángulo de inclinación que se pretenda en la herramienta para realizar la soldadura. Las chapas disponibles para realizar las soldaduras tienen un espesor de 5 mm y se pretende realizar las experiencias aplicando un ángulo de inclinación de la herramienta máximo de 3°. Con lo cual, la longitud del pin debe ser de 4,5 mm. Para aprovechar al máximo toda la longitud del mismo, se optó por una forma cilíndrica y la base del hombro plana.

El diámetro del pin debe ser, por un lado, lo suficientemente grande como para soportar el esfuerzo transversal en el avance de la herramienta por el material sin deformación o roturas, y por otro, lo suficientemente chico como para permitir la consolidación del material detrás de la herramienta antes de que el material se enfríe.

Para la aleación empleada, se recomienda una relación hombro/pin de 2,7 a 3,3, con un diámetro de hombro entre 13 y 20 mm. Con estas premisas se diseñaron tres herramientas fabricadas en acero H13 con un tratamiento térmico de temple y revenido para lograr una dureza de 35 – 40 HRc. En la *Figura 3* se muestra una fotografía de tales herramientas.

Soldaduras.

La primera tanda de experiencias realizadas se programó para soldar con la herramienta de 13 mm de hombro, con una velocidad de giro entre los 700 y los 850 RPM, mientras que las velocidades de avance de la herramienta se definieron en 30 mm/min, la *Figura 4* muestra una macrografía obtenida de esta serie.

La macrografía de la soldadura muestra su sección transversal libre de defectos y presenta claramente las características indicadas en la *Figura 2*. La zona termomecánicamente afectada adopta la forma cónica, llegando también hasta el borde inferior de las chapas. La ZSB, es de un tamaño considerablemente grande y se encuentra

ubicada en el camino del pin. Su forma también corresponde a la propuesta por la bibliografía de referencia.



Figura 3: Fotografía de las herramientas de soldadura luego del tratamiento térmico de temple y revenido.

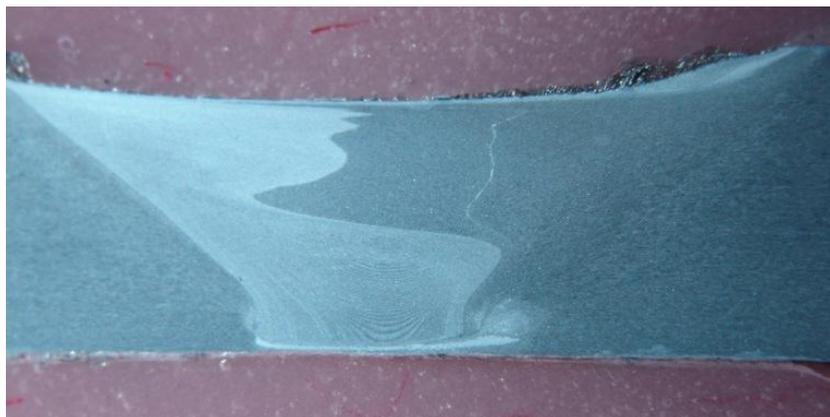


Figura 4: Macrografía de soldadura obtenida con una velocidad de giro de 750 RPM y una velocidad de avance de 30 mm/min

A fin estudiar los cambios microestructurales en la zona térmicamente afectada, se realizaron observaciones mediante microscopía óptica de dicha zona.

Para la preparación de la probeta, se cortó la soldadura de forma transversal, la misma fue incluida en un polímero para ser manipulada adecuadamente. Paso seguido se procedió al desbaste en lijas al agua de distintas granulometrías hasta llegar a la de 1500. Para finalizar su pulido mediante el empleo de paños con pasta de diamante de 6 μm y de 1 μm .

Posteriormente, la probeta fue atacada con el reactivo de Keller, compuesto por ácido clorhídrico 20 ml, ácido nítrico 20 ml, ácido fluorhídrico 5 ml, agua destilada 20 ml. La observación en el microscopio óptico con un aumento de 500x bajo luz polarizada es mostrada en la *Figura 5*.

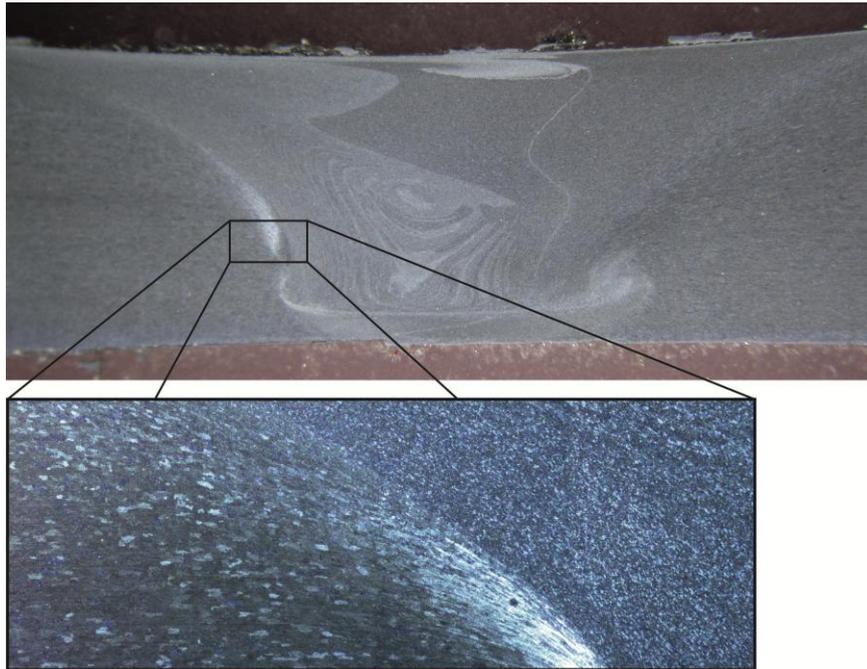


Figura 5: Microscopía obtenida de una probeta de la serie soldada

La zona de soldadura por batido (ZSB), a la izquierda de la micrografía, se encuentra claramente diferenciada por el reducido tamaño de grano. La causa de este tamaño en el grano de esta zona se podría considerar como consecuencia de dos eventos simultáneos que se presentan en esta zona de la soldadura, el primero se asocia a la elevada deformación plástica que se genera en el material debido al flujo plástico que el mismo es sometido, situación ésta que promueve una alta velocidad de nucleación de los granos recristalizados. La segunda, se relaciona con que la temperatura alcanzada en dicha zona resulta relativamente baja con lo cual la velocidad de crecimiento de los núcleos resulta baja. Esta combinación de efectos resulta en el pequeño tamaño de grano resultante en tal zona de la soldadura.

La ZTMA se puede distinguir en la transición desde la región donde el grano es imperceptible, hasta la región donde el mismo se hace regular. A partir de aquí se encuentra la zona térmicamente afectada. Como se puede apreciar en la figura, no se observa un crecimiento de grano que pueda considerarse.

CONCLUSIONES

Luego de varias experiencias realizadas, se puede asegurar que el equipo disponible para las soldaduras es adecuado, tanto en la capacidad de operación, como en la potencia disponible en sus motores. Todo indica que el equipo no sólo es capaz de soldar la aleación en cuestión, sino que también, permite pensar en soldar aleaciones de aluminio de mayor resistencia.

Las soldaduras realizadas presentan morfologías sanas, tanto en la superficie como en sección transversal, mostrando las características típicas desarrolladas en la bibliografía sobre el tema. Las micrografías obtenidas de la sección transversal de la soldadura muestran, a las claras, las distintas zonas que se despliegan en la misma. Esto quiere decir que los parámetros de soldadura utilizados se encuentran dentro del rango operativo para esta aleación. Además, la herramienta diseñada es capaz de cumplir con lo requerido.

Si bien la aleación de aluminio 5086 se presenta como relativamente fácil de soldar por este método, todos los resultados, los datos obtenidos y la experiencia ganada en este trabajo permiten pensar en soldar aleaciones de aluminio más resistentes como las de la serie 2XXX y 7XXX .

Las tareas pendientes a realizar en investigaciones futuras son las de definir un rango operativo para la soldadura de la aleación AA5086 y aleaciones más resistentes como la AA2219, encontrar un modelo matemático que permita relacionar estos parámetros con los del material y así poder determinar fácilmente el rango operativo, realizar mediciones de temperatura al material soldado para poder determinar el ciclo térmico que sufre.

BIBLIOGRAFIA

- 1- S.T. Amancio-Filho, S. Sheikhi, J.F. dos Santos, C. Bolfarini. Preliminary study on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds in aircraft aluminium alloys 2024-T351 and 6056-T4. *Journal of materials processing technology*, 206, (2008) 132–142.
- 2- P. Biswas and N. R. Mandal. Effect of tool geometries on Thermal history of FSW of AA1100. *Welding Journal*, Vol. 90, July 2011. Pp 129s-135s.
- 3- S. J. Vijay and N. Murugan. Influence of tool pin profile on the metallurgical and mechanical properties of friction stir welded Al-10% TiB₂ metal matrix composite. *Materials and Design*, Vol. 31, 2010.Pp 3585-3589.
- 4- M. J. Greitmann and P. Deimel, Friction Stir Welding- Innovative Technology for Joining Aluminium Components. *Otto-Graf-Journal*, Volume 16, 2005.
- 5- Khalid Rafi. H, Janaki Ram, G.D, Phanikumar, G, Prasad Rao, K. Microstructure and tensile properties of friction welded aluminium alloy AA7075-T6. *Materials Design* 31 (2010) 2375-2380.
- 6- D. Burford, C. Widener and B. Tweedy. *Advances in Friction Stir Welding for aerospace applications*. *Airframer*, Vol 14, December 2006. Pp 3-7.
- 7- L.E. Murr, et al., A comparative study of friction-stir welding of aluminium alloys. *Aluminium Transactions*. 1 (1) 141-154, 1999.
- 8- Bray, J.W. *Metals Handbook Vol.2*, p146, ASM int. USA, 1990.
- 9- Rooy, E L. *Aluminum and Aluminum Alloys*. Vol.15, p1622, ASM int. USA, 1992.
- 10- *ASM Specialty Handbook, Aluminium and Aluminium Alloys*, American Society for Metals, 1996.
- 11- *Welding Handbook, Volume 3 Welding Processes, Part 2*, American Welding Society, 2007.
- 12- *ASM Metals HandBook Volume 02 – Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, American Society for Metals, 1992