

COMPARACION DE LA JUNTA EN ESTADO SÓLIDO MEDIANTE FSW Y ARCO ELECTRICO EN ALEACION AZ31

Evaluation between the Solid State Join with FSW and Electric arc In the Alloy AZ31

RESUMEN

Se realizó la comparación micro estructural y mecánica de algunas uniones a tope de Magnesio AZ31 entre un proceso MIG con aporte de Mg en el que el material se funde y solidifica, y un proceso por fricción, FSW; en el que el metal siempre se encuentra en estado sólido, evitando los problemas referentes a la solidificación y permitiendo que las propiedades de la junta sean más cercanas a las del metal base. Se encontró que las pérdidas en resistencia mecánica son significativamente menores en el proceso en estado sólido.

PALABRAS CLAVES: Magnesio, MIG, FSW.

ABSTRACT

It was carried out a micro structural and mechanical comparison of some butt joints of Magnesium AZ31 between a GMAW process with Mg alloy filler metal, in which the base material melts and then solidifies, and a friction process, FSW, in which the metal is always in solid state, avoiding the relating problems to the solidification and allowing that the properties of the welded joints are nearer to that of the base metal. It was found that the losses in mechanical strength are significantly minors in the solid state process.

KEYWORDS: Magnesium, MIG, FSW.

FERNANDO FRANCO

Ingeniero Mecánico.
Profesor Titular
f franco@univalle.edu.co

HUGO SANCHEZ

Estudiante Ingeniería de Materiales
Universidad del Valle
hsanchez@univalle.edu.co

DIANA BETANCOURT

Estudiante Ingeniería de Materiales
dianayadirabetancourt@yahoo.com
Universidad del Valle

1. INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de magnesio presentan una alta resistencia específica, permitiendo obtener bajo peso y ahorro de combustible, lo cual ha despertado un gran interés por el uso en la industria automotriz y del transporte; además son una muy buena opción a la hora de reemplazar materia tradicional que no cumple con las normatividades o exigencias en algunos desarrollos tecnológicos.

El proceso de soldadura Friction Stir Welding (FSW), desarrollado en el TWI (1991), a diferencia de los procesos convencionales, permite obtener uniones soldadas en estado sólido de diversos materiales a alta velocidad sin material de aporte, con propiedades mecánicas y metalúrgicas mejoradas y sin requerir una especial habilidad del operario de soldadura. Esas características especiales del proceso FSW, le auguran un inmenso campo de innovadoras aplicaciones tecnológicas. La necesidad de obtener los parámetros de soldadura adecuados para lograr las mejores características de la unión soldada ha sido la principal preocupación de muchos investigadores para desarrollar aplicaciones en diferentes materiales.

El proceso FSW inicia con el posicionamiento del pin de la herramienta sobre la línea de unión Figura 1.a, descendiendo hasta entrar en contacto con las piezas a unir aún frías, la herramienta rota mientras se aplica una fuerza axial y penetra gradualmente hasta que el 'hombro' toca la superficie de los componentes Figura 1.b y c [1]. La fricción producida entre la herramienta y las piezas a unir dan origen al aumento de la temperatura de las piezas en las proximidades de la herramienta, hasta un valor aproximado de $0,8T_m$ del material base Figura 1.c. La resistencia mecánica de las piezas disminuye y la ductilidad aumenta hasta un estado plástico. Debido a la rotación de la herramienta, el material "pastoso" se transporta alrededor del pin, por una especie de "canal de extrusión" entre el metal base y la herramienta rotatoria Figura 1.d. Luego al desplazarse la herramienta, se produce la mezcla de los dos componentes a lo largo de la línea de unión. Al final de la junta, la herramienta asciende y sale de la zona de unión, dejando un orificio. La velocidad de rotación de la herramienta (VR), la velocidad de soldadura o de avance ($V\omega$), la presión o carga axial (F) y la geometría del pin son las variables más significativas del proceso y dependen de los materiales y espesores a unir.

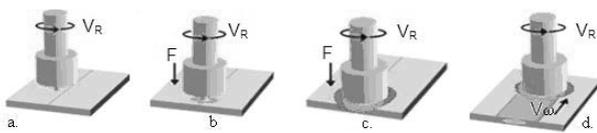


Figura 1. Descripción del Proceso

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El material base usado en este estudio son platinas de aleación de magnesio AZ31B-F, en estado de fabricación, con la composición dada en la Tabla 1 con espesor de 6.4 mm, 250 mm de largo y 150 mm de ancho. *Las placas fueron soldadas por FSW con los parámetros relacionados en la Tabla 2, en un maquina fresadora convencional, con control de velocidad de rotación y de avance y con desplazamiento en los tres ejes coordenados.*

% Al	% Mn	% Zn	% Ca	% Cu
2.5-3.5	0.20 min.	0.6-1.4	0.04 máx.	0.05 máx.

Tabla 1. Composición química de la aleación AZ31B

Muestra	Vr [rpm]	Vw [mm/min.]	Vr/Vw [rev/mm.]
1	480	210	2,29
2	1500	210	7,14
3	750	105	7,14
4	480	136	3,53

Tabla 2. Parámetros de Soldadura FSW para algunas de las muestras.

Muestras	Voltaje [V]	Corriente [Amper]	Feet rate	Gas [l/min.]
2	18	110	270	25
3	18	110	280	18,7
4	18	105	260	18,7

Tabla 3. Parámetros de Soldadura GMAW para algunas de las muestras

La herramienta fabricada en acero AISI H13, tiene diámetro de hombro de 19 mm, diámetro del pin de 5.3 mm y una longitud roscada de 6.4 mm de forma cilíndrica. La relación de V_R [rpm], la velocidad de rotación, a V_w [mm/min.], la velocidad de soldadura, determina el tamaño y la penetración de la soldadura. Abbasi dice que al aumentar V_R/V_w aumenta el calor generado y la agitación del cordón y el trabajo de deformación plástica [2].

Se realizaron inicialmente cordones sobre platina para verificar la penetración del cordón y la eliminación de los defectos y luego se realizaron las uniones a tope de penetración total con los parámetros indicados [4] Ver

Figura 2. Para las condiciones de soldadura usadas no se encontró diferencias notorias en la morfología de los cordones. Johnson, R. [5], evaluó el efecto de la relación de velocidades de rotación a velocidad de soldadura entre 0.55 y 3.44, para varias aleaciones de magnesio. En el caso de la aleación AZ31B selecciono el rango de 1.1 a 2.2 como el más adecuado, aunque no reporto la magnitud de la carga aplicada.

Placas de iguales dimensiones fueron unidas mediante el proceso GMAW, la **Tabla 3** presenta los parámetros de la aplicación

Zhang [7], dice que la FSW puede entenderse como la generación de micro poros y la desaparición por efecto de extrusión. Cuando la presión de soldadura y la velocidad de rotación se mantienen constantes, la velocidad de soldadura debe ser menor que un valor dado para que los poros alcancen a ser llenados; es decir, el tiempo de fricción y agitación debe ser mayor que el tiempo para completar el llenado. Para nuestras condiciones de soldadura el tiempo mínimo de llenado obtenido fue de 7.01 seg., mientras que el tiempo de fricción-agitación dio igual a 9.75 seg., con lo cual se esperaba que la soldadura quedara sin defectos como poros y falta de penetración, como efectivamente ocurrió [4].



Figura 2. Probeta soldada de AZ31B por FSW

Se tomaron muestras de cada cordón realizado y se prepararon para análisis metalográfico. El ataque químico se realizo con una solución de 10 ml de ácido acético, 4.2g de ácido pícrico, 10 ml de agua y 70 ml de etanol (96%) durante 4 segundos. El análisis metalográfico se realizo en un microscopio Olimpos hasta 500X. De igual manera se realizaron análisis SEM en un equipo JEOL GSM 5910, sobre la sección transversal al cordón de soldadura de algunas muestras para determinar los cambios microestructurales por efecto del proceso.

Se realizaron barridos de microdureza Vickers sobre una sección transversal de la unión soldada con una carga de 0.10 Kg. durante 10 segundos, en un durómetro WILSON INSTRON.

Se prepararon tres muestras de sección reducida de cada parámetro, retirando la rebaba resultante luego de la aplicación del proceso, para ensayo de tensión transversal al cordón de soldadura en una maquina J.J.Instruments T30K de 20 KN, con velocidad de carga de 2 mm/min.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis Metalográfico. La descripción de la microestructura obtenida se realiza tomando como referencia las zonas indicadas esquemáticamente en la Figura 3 de una unión soldada por FSW. En general, se presentan básicamente cuatro regiones en la unión soldada, que son:

- La región central o nugget (ZS).
- La zona termomecánicamente afectada (ZTMA).
- La zona térmicamente afectada (ZTA).
- El metal base sin afectar, (MB).

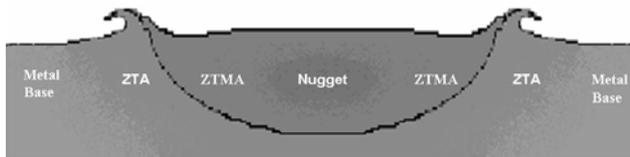


Figura 3. Diagrama de cordón de soldadura

La microestructura del metal base inicial, consta de granos equiaxiales homogéneos de una solución sólida, sin que se aprecien claramente los precipitados intermetálicos, como se muestra en la Figura 4. El tamaño de grano medio es de 10 a 15 μm .

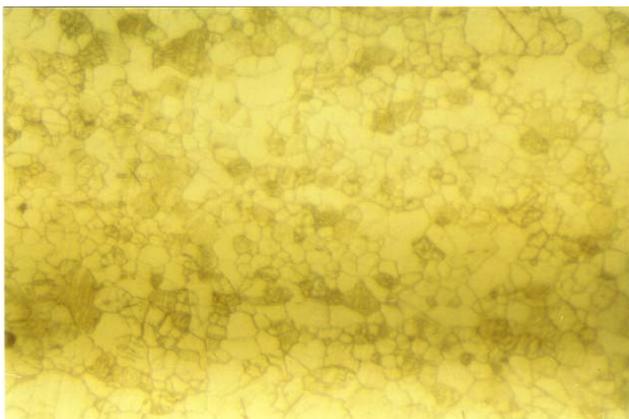


Figura 4. Microestructura en el metal base. 100X

La microestructura en el nugget, ZS, revela granos recristalizados extremadamente pequeños, con un tamaño medio de 5 μm , como se muestra en la Figura 5, como resultado de un severo proceso de recristalización

dinámica generado por el trabajo en caliente debido al movimiento del pin al interior del material.

La microestructura en la zona termomecánicamente afectada, ZTMA, presenta granos grandes y algo alargados a consecuencia de la deformación en caliente, ver Figura 6.

En la interfase entre las zonas termomecánicamente afectada y térmicamente afectada se presentan algunas líneas de deformación y la transición a granos más pequeños.

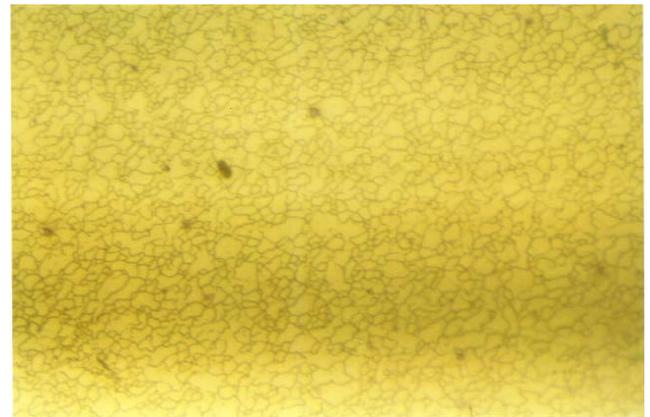


Figura 5. Microestructura en el Nugget. 100x

En la zona térmicamente afectada se presenta granos finos, semejantes al metal base, como consecuencia de recristalización estática por la temperatura alcanzada en el material. Se aprecian algunas inclusiones no metálicas dispersas. Xunhong, [8], estudio el efecto de relaciones de velocidad entre 13 a 16 rev/mm sobre la soldadura FSW en aleaciones AZ31 y encontró que, además del refinamiento de grano, se presenta una dispersión muy fina de fases inter metálicas o eutécticas en las distintas zonas de la unión soldada que explican los valores de resistencia mecánica hasta del 93% del metal base original.

En ningún caso se presentan micro estructuras que atenten contra las propiedades mecánicas del material como lo son micro rechupes o porosidades.

3.1 Análisis micro estructural por SEM. La microestructura del metal base presenta granos equiaxiales sin evidencia de deformación plástica, como Por otra parte, las Figura 8 y Figura 9 muestran la microestructura en la ZTMA y la ZS respectivamente, por efecto de la alta energía utilizada en el proceso para llevar a estado plástico el material a los lados de la herramienta. Se puede ver claramente en la Figura 10, que en los bordes de grano de las zonas afectada por la energía del proceso no se aprecia la existencia de precipitados o de algún tipo de segregación intergranular.

Esparza [8] reporta que la ZS presenta granos finos recrystalizados con una alta densidad de dislocaciones para explicar las superiores propiedades mecánicas.

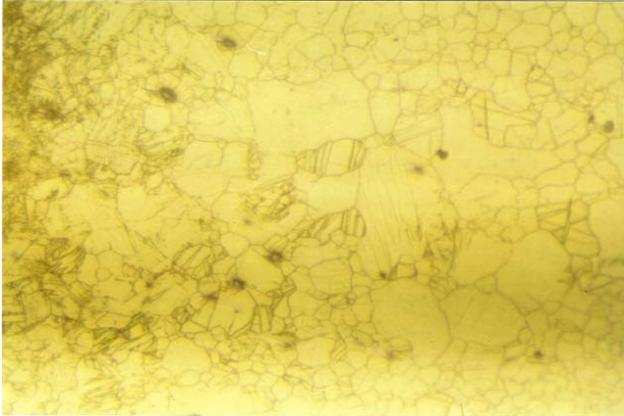


Figura 6. Microestructura en la ZTMA en la proximidad de la Interfase ZTMA-ZTA. 100X

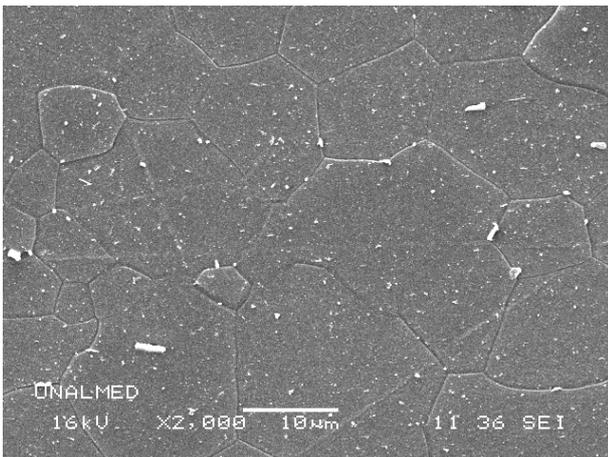


Figura 7. Metal base muestra 9, granos equi-axiales con precipitados en su interior.

3.2 Análisis de Microdurezas. Los barridos de microdureza Vickers realizados sobre la línea media de secciones transversales al cordón de FSW, con una carga 0.10 Kg., por 10 segundos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** No se presenta una distribución uniforme con una clara tendencia para las distintas zonas descritas en la Figura 3.

Respecto a una dureza inicial de 56 HV en el metal base, se observa que el perfil de durezas presentó en general un incremento conforme se acerca al centro del cordón, como resultado del refinamiento dinámico de los granos de material en el nugget. Mientras que los valores mínimos se presentan hacia los lados del nugget en las zonas afectadas del cordón.

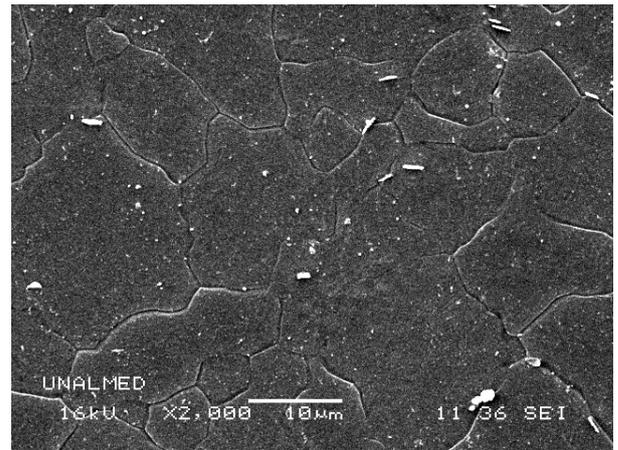


Figura 8. Zona termomecánicamente afectada en el lado de retroceso de la muestra 9

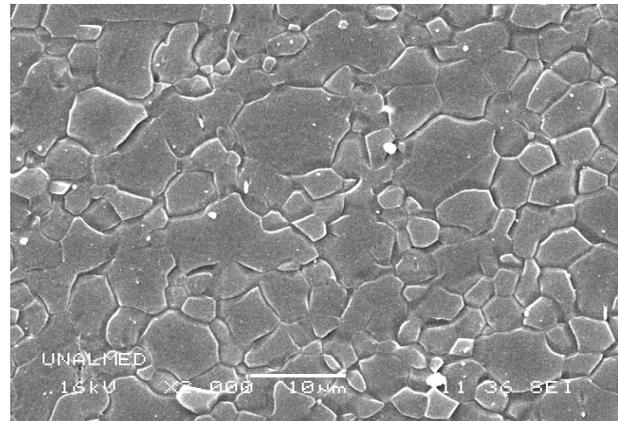


Figura 9. Nugget o ZS con granos muy finos y algunos precipitados, muestra 9.

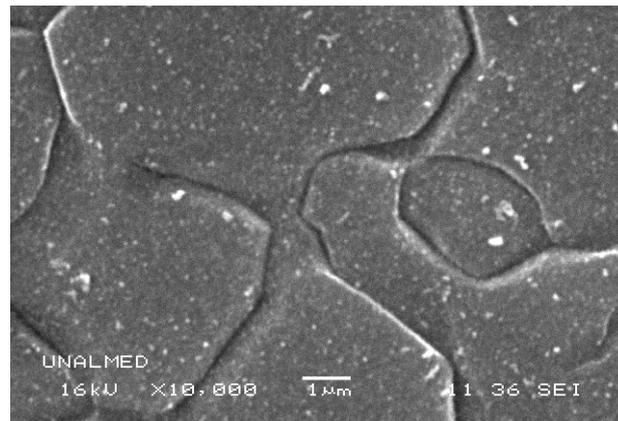


Figura 10. Detalle de los granos del nugget con los precipitados, muestra 9.

3.3 Ensayos de Tensión.

Los resultados de los ensayos de tensión realizados sobre tres probetas, dieron una resistencia a tensión promedio de 142,5 MPa y un 6.7% de elongación, lo cual indica

que se produce una gran caída de resistencia mecánica y ductilidad en las uniones soldadas con respecto al metal base AZ31B (240 MPa y 10%). Park [9] explica esta caída de propiedades en una aleación AZ61, por la formación de una nueva textura u orientación cristalográfica, por el cambio de tamaño de grano y por la densidad de dislocaciones en la ZS (nugget) y en la ZTMA. Lim [9] explica esta pérdida de propiedades en una aleación AZ31-H24 por la formación de una película de óxido de magnesio en el límite de la ZS y la ZTMA en el lado de avance, donde se produce la falla de las probetas durante el ensayo.

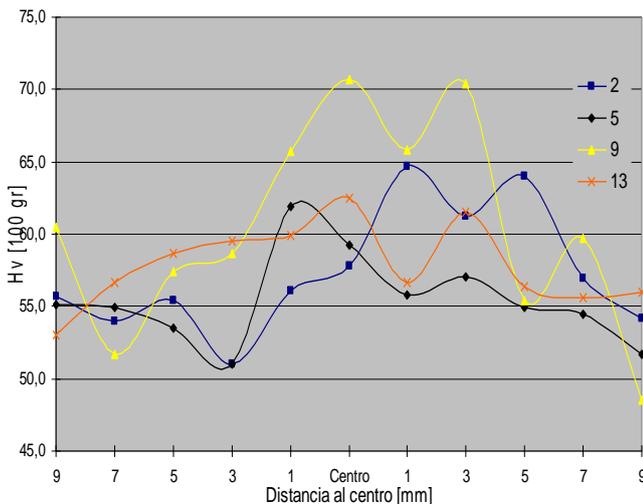


Figura 11. Microdurezas en función de la distancia al centro del cordón

4. CONCLUSIONES

- Comparado con el material base, los granos de la ZS fueron altamente refinados debido a la recrystalización dinámica generada por el proceso. Se observó la presencia de precipitados intermetálicos en el interior de los granos pero no en los bordes de grano de las distintas zonas de la unión soldada.
- Se debe hacer una evaluación cuidadosa de las variables del proceso de soldadura FSW para lograr primero una unión soldada sin defectos y después la mejor combinación de propiedades mecánicas en función del servicio esperado.
- Los perfiles de microdureza obtenidos muestran una notoria variación en el cordón; sin embargo, se presenta los valores más altos en la ZS y los valores mínimos a los lados del nugget, como resultado de los fenómenos de recrystalización presentados.

- Los resultados de los ensayos de tensión sobre las uniones soldadas mostraron una pérdida de resistencia a la tensión hasta del 40% y de elongación aproximada del 33%, respecto al metal base original.

REFERENCIAS.

- [1]. A. McLean, G. L. F. Powell, I. H. Brown and V. M. Linton, Friction stir welding of magnesium alloy AZ31B to aluminum alloy 5083, Science & Technology of Welding & Joining.
- [2]. M. Abbasi, A.H. Kokabi, G.H. Daneshi, B. Shalchi, R. Sarrafi, The influence of the ratio of rotational speed/transverse speed on mechanical properties of AZ313B friction stir welds, International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 1983-1987.
- [3]. R. Johnson, Friction Stir Welding of Magnesium Alloys, Materials Science Forum, Vols 419-422 (2003) pp 365-370.
- [4]. F. Franco, Hugo Sánchez, D. Betancourt, Evaluación Metalúrgica y Mecánica de Soldadura FSW en la Aleación AZ-31b, II Conferencia Internacional de Soldadura y Unión de Materiales ICWJM 2007 – Cusco, Perú.
- [5]. H. Zhang, S.B. Lin, L. Wu, J.C. Feng, Sh.L. Ma Defects formation procedure and mathematic model for defect free friction stir welding of magnesium alloy, Materials and Design 27 (2006) 805–809.
- [6]. W. Xunhong, W. Kuaishe, Microstructure and properties of friction stir butt-welded AZ31 magnesium alloy, Materials Science and Engineering A 431 (2006) 114 – 117.
- [7]. J.A. Esparza, W.C. Davies, E.A. Trillo, I.E. Murr, Journal of Materials Science, Lett 2002; 21:917.
- [8]. S.H.C. Park, Y.S. Sato, H. Kokawa, Effect of Micro-texture on fracture location in friction Stir Weld of Mg Alloy AZ61 during Tensile Test, Scripta Materialia 49 (2003) 161-166
- [9]. S. Lim, S. Kim, C-G. Lee, C-D. Yim, S-J. Kim, Tensile Behavior of friction stir-welded AZ31-H24 Mg alloy, Communications, Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 36A, June 2005, 1609 - 1612.