

# Soldadura TIG y MIG de las aleaciones de aluminio 6061 y 7020.

## Estudios microestructurales y de propiedades mecánicas

J.M. Gómez de Salazar<sup>(\*)</sup>, A. Ureña<sup>(\*)</sup>, E. Villauriz<sup>(\*)</sup>, S. Manzanedo<sup>(\*)</sup> e I. Barrena<sup>(\*)</sup>

**Resumen** Las aleaciones de las series AA6XXX y AA7XXX están consideradas como de media y alta resistencia, y se utilizan con gran profusión en tecnologías como: aeronáutica, automoción, etc. Pero su aplicación como materiales estructurales pasa, sin duda, por el adecuado desarrollo de sus procesos de unión. En este trabajo, se realiza una evaluación microestructural, tanto mediante técnicas de microscopía óptica (MO) como electrónica (MEB-EDS) y de las propiedades mecánicas (evolución de la dureza) de estas aleaciones, una vez que han sido sometidas a procesos de soldadura con arco, como son GTAW (TIG) y GMAW (MIG), empleando un aporte de aleación de aluminio de composición Al-5Mg, cuya denominación es AWS A5.10-92 (AA5356).

Palabras clave: Aleaciones de aluminio. Soldadura. Microestructura. Propiedades mecánicas.

### TIG and MIG welding of 6061 and 7020 aluminium alloys. Microstructural studies and mechanical properties

**Abstract** The aluminium alloys of the 6XXX and 7XXX series, are actually considered of medium and high strength, and are been profusely used in different industries such as aeronautical, automotive, etc. However, its wide application as structural material needs of the proper development of their joining process. The present work describes the results obtained from the microstructural evaluation, both with optical and scanning electronic microscopies (OM and SEM), and of the mechanical one (hardness changes) of the weld produced in the alloys using two different arc welding techniques: GTAW (TIG) and GMAW (MIG). For the last one, a filler metal with a composition of Al-5Mg, AWS denomination A5.10-92 (AA5356), has been used.

Keywords: Aluminium alloys. Welding. Microstructure. Mechanical properties.

## 1. INTRODUCCIÓN

Procesos de soldadura, como GTAW (TIG) y GMAW (MIG), están sustituyendo actualmente a otros más tradicionales, como el SMAW (Arco Manual), en sus aplicaciones a las aleaciones de aluminio; dado que producen soldaduras de excelente calidad con mínimas distorsiones. Por otro lado, en estas técnicas no se requiere el empleo de fundentes de protección, que pueden influir poste-

riormente en la resistencia a la corrosión de las uniones soldadas (1). Las soldaduras pueden realizarse en todas las posiciones y la calidad final de la unión es generalmente elevada.

Muchas de las aleaciones de aluminio que se pueden soldar por los procedimientos GTAW y GMAW, se encuentran dentro de las siguientes series:

- Buena soldabilidad: Series AA 1XXX; 3XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX (todas ellas de forja) y A356.0; 443.9; 413.0; 514.0 y A514.0 (de moldeo).
- Media Soldabilidad: AA2XXX; AA4XXX de forja y 208.0; 308.0; 319.0; 333.0; C355.0; 710.0 y 712.0 (de moldeo).

(\*) Dpto. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Fac. de Ciencias Químicas. Univ. Complutense de Madrid. 28040-Madrid (España). Tlf: 34.1.3944351. email: gsalazar@eucmax.sim.ucm.es

TABLA I.— Composición de las aleaciones (% en masa)

TABLE I.— Alloys composition (% in mass)

Materiales	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA6061 (T4)	0,40	0,70	0,30	0,15	1,2	—	0,25	—	bal
AA7020 (T6)	0,35	0,45	0,2	0,15	2,5	0,35	4,65	0,15	bal

- *Soldabilidad limitada*: AA2024 (forja); 222.0; 238.0; 295.0 y 520.0 (de moldeo).
- *Soldadura no recomendada*: AA7021; 7029; 7050; 7075; 7079; 7178 y 7475 (de forja) y la 242.0 (de moldeo).

De entre todas las aleaciones de forja, las de las series 1XXX, 3XXX y 5XXX, no son tratables térmicamente, mientras que las de la serie AA6XXX y AA7XXX si lo son, aunque en estas últimas no es recomendable su soldadura, excepto en el caso de las aleaciones AA7005, 7020 y 7039, que han sido especialmente diseñadas para ser soldables, aunque con limitaciones.

El efecto térmico de la soldadura sobre las aleaciones de aluminio provoca una disminución de las propiedades mecánicas en la ZAC: disminución de dureza, resistencia, y pérdida de propiedades por recocido, debido a un crecimiento de grano excesivo en el límite de la ZAC y el baño fundido (2). En lo que respecta a las aleaciones Al-Zn-Mg de la serie 7XXX, la relación Zn:Mg, que debe ser igual a 3, puede disminuir por pérdida de aleantes, lo que conlleva un aumento en la susceptibilidad a la corrosión bajo tensión (3).

Sin duda, los problemas, que están asociados a la buena o mala calidad de las uniones, en estos materiales, vienen asociados a su propia ejecución durante el soldeo, sobre todo en lo referente a la presencia de poros, por una mala preparación (limpieza sin eliminación de la capa superficial de  $Al_2O_3$ ), o una deficiente protección (poco flujo del gas protector) (4).

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales base

Las aleaciones estudiadas en la presente investigación han sido: AA6061 y AA7020 en forma de

chapa de 6 y 5 mm, respectivamente, obtenidas por laminación y con un tratamiento T4 y T6. La composición de las aleaciones soldadas se recojen en la tabla I.

### 2.2. Procedimiento de soldadura

Con el fin de determinar el efecto del ciclo térmico de soldadura sobre las aleaciones AA6061 y AA7020 se realizaron previamente cuatro cordones de soldadura mediante el procedimiento TIG con corriente alterna, con una frecuencia de 150 Hz y un balance de penetración del 70 %, utilizando argón como gas de protección. El equipo de soldadura empleado fue un AristoTIG-250. Las condiciones de soldadura aplicadas en estos ensayos se reflejan en la tabla II.

Como ejemplo de estos ensayos, la figura 1 muestra el aspecto de los cordones para la aleación AA7020.

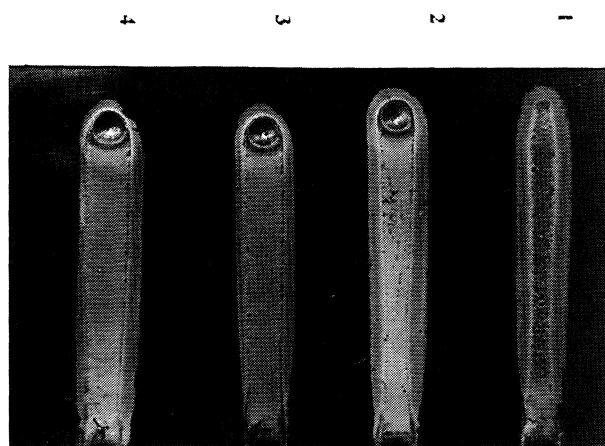


FIG. 1.— Cordones de soldadura TIG en AA7020.

FIG. 1.— TIG joints in AA7020.

TABLA II.— Condiciones de soldeo TIG: I (A), V (V) y Vel. (cm/min)

TABLE II.— TIG welding conditions: I (A), V (V) and speed (cm/min)

Materiales	Cordón 1 I, V, Vel.	Cordón 2 I, V, Vel.	Cordón 3 I, V, Vel.	Cordón 4 I, V, Vel.
AA6061	200, 15, 25	200, 15, 20	200, 15, 15	230, 15, 15
AA7020	200, 15, 25	200, 15, 20	200, 15, 15	230, 15, 15

TABLA III.– Condiciones de soldeo TIG, MIG

TABLE III.– TIG and MIG welding conditions

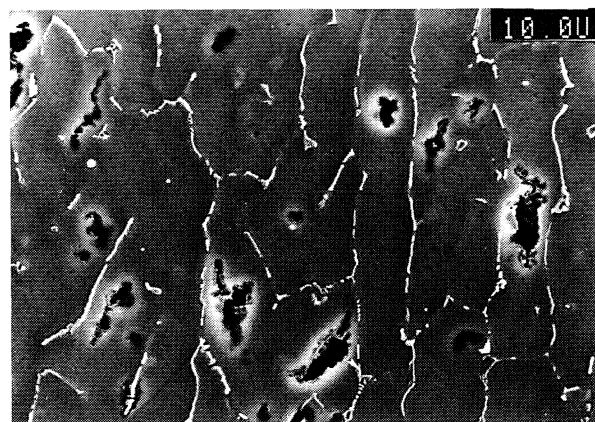
Materiales	Proceso	V (V)	I (A)	Vel. (mm/min)	EBA(kJ/cm)	ENA(kJ/cm)
AA6061	TIG	16	190	150	12,2	4,9
	MIG	25	160	150	16	11,2
		23,5	150	150	14,1	9,9
AA7020	TIG	16	200	150	12,8	5,1
		17	160	150	10,8	4,3
		17	160	150	10,8	4,3
	MIG	23,8	156	150	14,8	10,4

Posteriormente a la determinación del tamaño tanto del baño fundido (B.F.) como de la zona afectada por el calor (ZAC), se realizaron ensayos reales de soldadura TIG con doble pasada y un rendimiento del 0,4, así como soldaduras MIG, aportando AWS A-5.10 clase ER 5356 con un rendimiento del 0,7. Las condiciones de soldadura en estos ensayos se recogen en la tabla III.

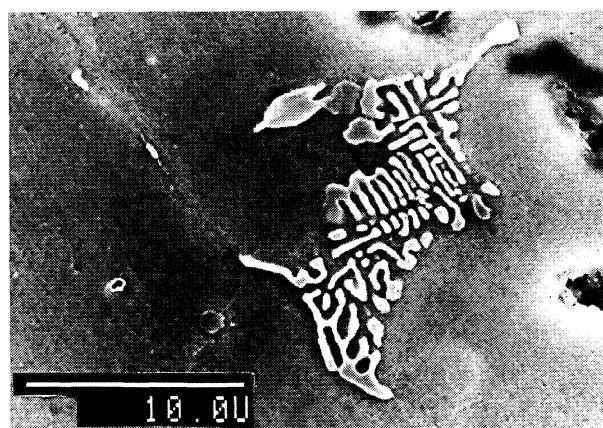
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han realizado estudios metalográficos mediante MO y MEB-EDS, con el fin de estudiar las variaciones microestructurales provocadas por los ciclos de soldadura. Igualmente, se realizaron estudios microanalíticos, mediante microsonda electrónica (ME), para comprobar si, debido al efecto del ciclo térmico, pudieran existir procesos de volatilización de los elementos de aleación. Por ello, se cortaron probetas metalográficas y se embutieron en una resina de tipo poliéster. El desbaste, pulido y ataque se realizó sobre el eje transversal de la soldadura. De las observaciones sobre los cortes transversales, y utilizando el análisis de imagen, se calcularon las dimensiones del baño fundido, en función del ENA; comprobándose que la anchura del baño fundido, oscila entre 4 y 12 mm, y su profundidad entre 2 y 3,5 mm.

Los estudios mediante MEB muestran el carácter dendrítico, tanto en el baño fundido de la aleación AA6061 como de la AA7020, con precipitados en el espaciado interdendrítico del tipo AlFeSiCu en la aleación AA6061 (Fig. 2 a). Los precipitados, en el caso de la aleación AA7020, son de AlMg-SiZn y no aparece el eutéctico. En la zona afectada por el calor, y para ambas aleaciones base (AA6061 y AA7020), aparece un incremento en el tamaño del grano, e igualmente pueden observarse para el caso de la aleación AA6061 (Fig. 2 b) zonas en donde aparecen eutécticos ternarios, que se originan durante el calentamiento de la matriz.



(a)



(b)

FIG. 2.— a) Fases interdendríticas en el BF de la aleación AA6061. b) Eutécticos ternarios en la ZAC de la aleación AA6061.

FIG. 2.— a) Interdendritic phases in AA6061 (molten pool). b) Ternary eutectics in AA6061 HAZ.

Con el objeto de estudiar si la acción de los procesos TIG y MIG utilizados en la realización de las soldaduras, provocaba la pérdida de elementos de aleación, tanto en el baño fundido como en la zona

afectada por el calor, las muestras fueron estudiadas en superficie pulida (sin ataque) mediante la utilización de una microsonda electrónica. Los análisis se realizaron tanto en sentido transversal como longitudinal. Los resultados obtenidos indican que no ha existido pérdida de elementos como magnesio y zinc; el primero, por oxidación y formación de MgO, y el segundo por volatilización. Por esta razón, los parámetros utilizados para la ejecución de las soldaduras se consideran correctos en este sentido.

Con el fin de comprobar las variaciones de dureza que experimentan las aleaciones soldadas después de realizar los ensayos de soldadura, se realizaron determinaciones de macro-dureza Vickers, utilizando una carga de 5 kg sobre la superficie transversal de la chapa. Para obtener un valor medio, se barrieron tres líneas con un espaciado entre indentaciones de 6 veces la huella de dureza. Los resultados muestran la variación de dureza que existe tanto a medida que se penetra en la ZAC como en el BF. Un ejemplo de estas determinaciones se muestra en la figura 3. De estas curvas, puede deducirse que el comportamiento frente a la pérdida o incremento de dureza en la ZAC, es muy similar en ambas aleaciones, aunque existen diferencias en los BF. Algunos autores (5) señalan que la pérdida de dureza, en el límite entre el material base MB y ZAC, es la causa principal del fallo de las aleaciones de aluminio. Se debe considerar que, durante el proceso de soldadura, las fases endurecedoras de estas aleaciones, como son la  $\beta'$  para la aleación AA6061 y la  $\eta$  para la AA7020, sufren un proceso de disolución en la matriz, lo que provoca una pérdida en las propiedades mecánicas de la ZAC en la zona cercana al BF. Además, existe otro efecto, como es el aumento en el tamaño de grano en las proximidades del baño, lo que conlleva un mayor reblandecimiento. La figura 3 recoge las variaciones de la dureza (unidades Vickers) que muestran estas aleaciones, comprobándose que el efecto del ciclo térmico de soldadura no sólo provoca una pérdida de dureza en la ZAC, sino que, además, lo provoca en el BF (estas medidas se hicieron sin aplicar tratamientos térmicos postsoldadura). Sin duda, la resistencia mecánica de las diferentes zonas ZAC y BF, estarán íntimamente relacionadas con los valores medidos de dureza, en las mismas zonas. Finalmente, se observa que el ciclo térmico generado por el arco TIG, modifica, en mayor medida, los valores de dureza en la ZAC de la aleación AA6061 que en la AA7020.

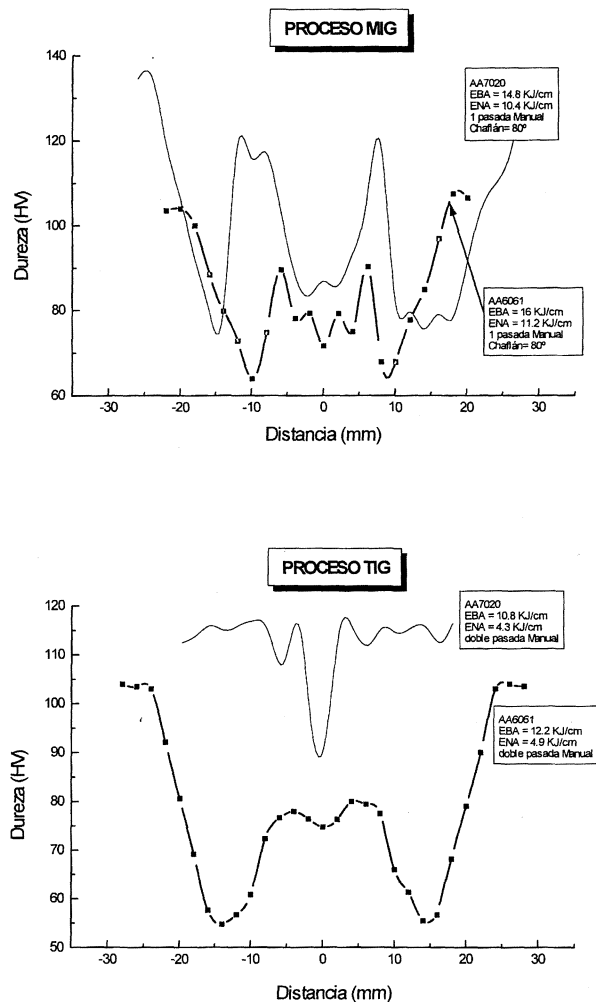


FIG. 3.— HV/D en AA6061 y AA7020 (MIG y TIG).

Fig. 3.— Hardness profiles in AA6061 and AA7020 (TIG and MIG).

#### 4. CONCLUSIONES

- Los ensayos previos de soldadura TIG sobre las aleaciones de aluminio 6061 y 7020 han permitido determinar, según el ENA utilizado, las extensiones del BF y ZAC.
- Las condiciones de soldadura empleadas no originan la pérdida de elementos aleantes ni en la ZAC ni en el BF en estos materiales, permaneciendo constantes las relación  $Zn/Mg = 3$  en la aleación 7020.
- Para las condiciones de soldadura empleadas, no se han observado fenómenos de agrietamiento en caliente ni defectos de oxidación o porosidad.
- El ciclo térmico de soldadura origina un efecto de ablandamiento en la ZAC en estas aleaciones, aunque en menor medida en la 7020. No obstante, este efecto es recuperable por tratamiento térmico de postsoldadura.

- Mediante MEB, se ha podido comprobar en la aleación AA6061, tanto en el BF como en la ZAC, la existencia de estructuras eutécticas debido a la presencia de los elementos de aleación. Este aspecto microestructural no aparece en la aleación AA7020.

### Agradecimiento

Los autores agradecen a la CICYT, el apoyo financiero prestado para la realización del proyecto: MAT96-0986-C02-01.

### REFERENCIAS

- (1) METALS HANDBOOK. 9ª. Edition, ASM. (6), 1983: 373-99.
- (2) MALIN, V. J. *Weld. Res. Supp.* 1995: 305s-318s.
- (3) POLMEAR, I.J. *Light alloys. Metallurgy of the light metal.* Ed. Arnold, 1995.
- (4) INFORME INTERNO. The ESAB Group, 1995.
- (5) HUSSAIN, H.P., GHOSH, K., GUPTA, P.C. y POTLURI, N.B. *J. Weld. Res. Supp.* 1996: 209s-215 s.