

Estudio en la Zona Afectada por el Calor de uniones soldadas de un aluminio AA 7020 mediante Calorimetría Diferencial de Barrido

Estudio en la Zona Afectada por el Calor de uniones soldadas de un aluminio AA 7020 mediante Calorimetría Diferencial de Barrido

C. Bloem

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica.
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
e-mail cbloem@ing.ula.ve

M. Salvador, V. Amigó.

Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales.
E.T.S.I.I. Universidad Politécnica de Valencia., España.

Resumen

Se han realizado diferentes análisis por calorimetría diferencial de barrido DSC a lo largo de la zona afectada por el calor de uniones soldadas mediante proceso MIG de una aleación de aluminio AA 7020. Estos análisis permiten observar los cambios sucedidos en el nivel y la calidad de los precipitados.

Palabras claves: Aleaciones de aluminio, Soldadura, Precipitación.

Abstract

Differential scanning calorimetry (DSC) has been done through the Heat Affected Zone of MIG welded Aluminum alloy AA 7020. The results could be interpreted in the microstructural changes on the precipitates level and quality.

Palabras claves: Aleaciones de aluminio, Soldadura, Precipitación.

1 Introducción

Desde que Alfred Wilm descubrió el fenómeno de endurecimiento por precipitación en las aleaciones de aluminio a principios del siglo XX (Polmear, 1996), se ha incrementado el uso de las aleaciones de aluminio debido a sus innumerables ventajas frente a la corrosión y su elevada relación peso resistencia. No obstante, los procesos de soldeo en estas aleaciones no se ha desarrollado de manera satisfactoria, es por esta razón por la que las grandes estructuras donde se requiere del proceso de soldeo para su construcción, normalmente no son de aluminio.

Las aleaciones de aluminio Al-Zn-Mg las cuales son envejecibles poseen un interés especial en la industria aérea y terrestre, por su elevado coeficiente resistencia/peso. Las aleaciones de este grupo cuyos contenidos de (Zn+Mg+Cu)

no exceden el 6% pueden ser soldados sin grandes dificultades, mientras que aquellas aleaciones donde el contenido en (Zn+Mg+Cu) sobrepasa el 9% no son soldables o el comportamiento mecánico de la unión soldada no es satisfactorio. (Mondolfo, 1976)

Las uniones soldadas de aluminio han sido ampliamente estudiadas desde hace años. Muchos investigadores se han dedicado al estudio del fenómeno metalúrgico del baño fundido o cordón de soldadura (Hermann y col., 1996; Hepples y col., 1992), otros han caracterizado las propiedades mecánicas (Debbouz y Navaï, 1997; Bloem y col. 2000), no obstante son pocos los trabajos relativos a la evolución de la Zona afectada por el Calor ZAC en estas aleaciones.

Por esta razón el objetivo del presente trabajo es evaluar la evolución de la precipitación a lo largo de la ZAC, empleando la Calorimetría Diferencial de Barrido DSC.

2 Procedimiento experimental

2.1 Materiales

Los materiales empleados para generar las muestras fueron los siguientes:

Metal base, corresponde a una aleación de la familia Al-Zn-Mg, la AA7020, la cual fue suministrada en láminas de 5 mm de espesor, laminada, en estado T6.

Metal de aporte, corresponde a una aleación AA 5356, en forma de alambre, con un diámetro de 1,2 mm.

Gas de protección, mezcla de Argón 75% y Helio 25%, suministrado a 12 lt/min.

La composición del metal base y del metal de aporte se puede apreciar en la tabla 1

Tabla 1 Composición química del metal base y de aporte

Aleación	Mg	Si	Cr	Mn	Zn
Base AA 7020	1,20	0,17	0,31	0,20	5,05
Aporte AA 5356	5,00		0,12	0,15	0,10

2.2 Soldeo

El procedimiento empleado es el Metal Inert Gas MIG de arco continuo, corriente directa DC, por su uso extendido, fácil empleo y un bajo costo.

Las placas a unir con dimensiones de 350x150x5 mm se soldaron a tope, perpendicularmente al sentido de laminación. Éstas se fijaron en la parte posterior, mediante el empleo de un par de caballetes, con la finalidad de minimizar las distorsiones producidas durante el proceso de soldeo. Previo al soldeo, las juntas se limpiaron tanto mecánicamente mediante muela abrasiva como químicamente con un solvente volátil. El soldeo se realizó en dos pasadas. Las condiciones de soldeo se reflejan en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros de soldeo.

	1ª Pasada	2ª pasada
Voltaje (V)	21,0	21,0
Corriente (I)	140	140
Potencia (Watt)	2940	2940
Velocidad de soldeo (mm/min)	525	382
Energía aportada (kJ/cm)	5,6	7,7

2.3 Calorimetría Diferencial de Barrido DSC

Las muestras para DSC de sección cuadrada con peso y dimensiones aproximadas de 30 mg, y 5x5x0,8 mm, donde las esquinas se eliminaron cuidadosamente, igualmente las superficies se pulieron empleando papeles de esmeril de 1200 mallas refrigerados con agua, esto con la finalidad de poder alojarlos en los portamuestras del calorímetro y eliminar la capa distorsionada producto del corte. Las muestras se extrajeron cada milímetro aproximadamente desde la intercara cordón de soldadura-metal base hasta unos 35 mm dentro del metal base.

Los análisis se realizaron en un calorímetro Perkin Elmer DSC 7, la velocidad de calentamiento empleada fue de 10 y 20°C/min desde los 35° hasta los 520°C, graficándose desde los 60° hasta los 410°C. Los análisis se realizaron con una muestra patrón de aluminio de pureza (99,998%), tal como lo referencia (García Cordovilla, 1990); tanto la muestra como el patrón se colocaron sobre un portamuestras de grafito, se empleó una línea base para mejorar la definición. La línea base se generó con los datos recogidos de manera idéntica a los ensayos pero en este caso los dos portamuestras estaban vacíos. Los análisis se realizaron empleando Argón como gas protector a 25 cc/seg con el fin de eliminar la oxidación de las muestras. Los datos se procesaron y graficaron empleando una hoja de cálculo de uso común.

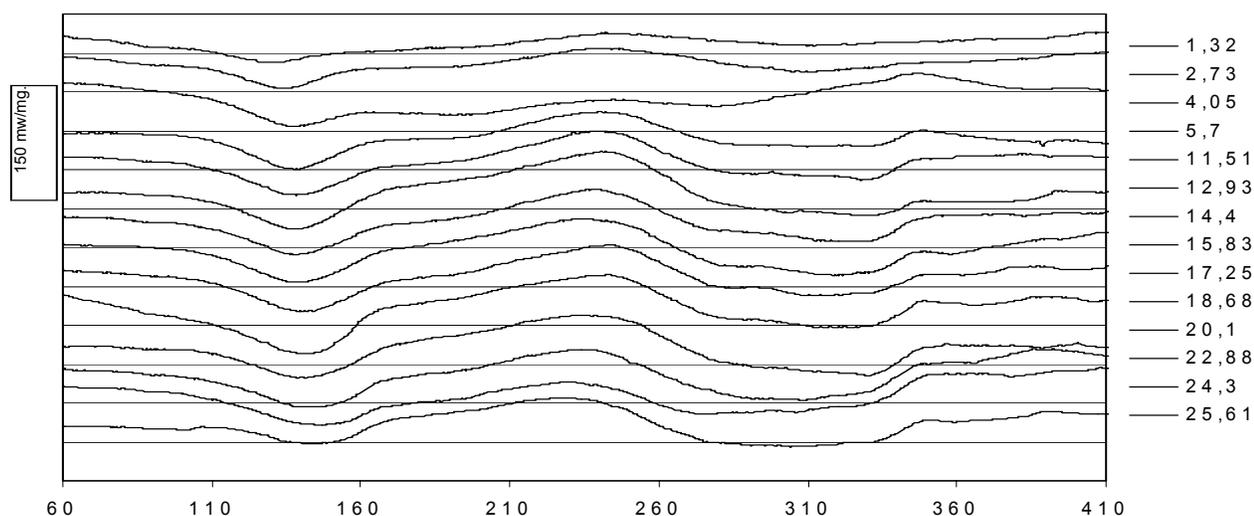


Figura 1 Gráficas superpuestas de los diferentes DSC a 10°C/min de la ZAC a diferentes distancias desde el cordón.

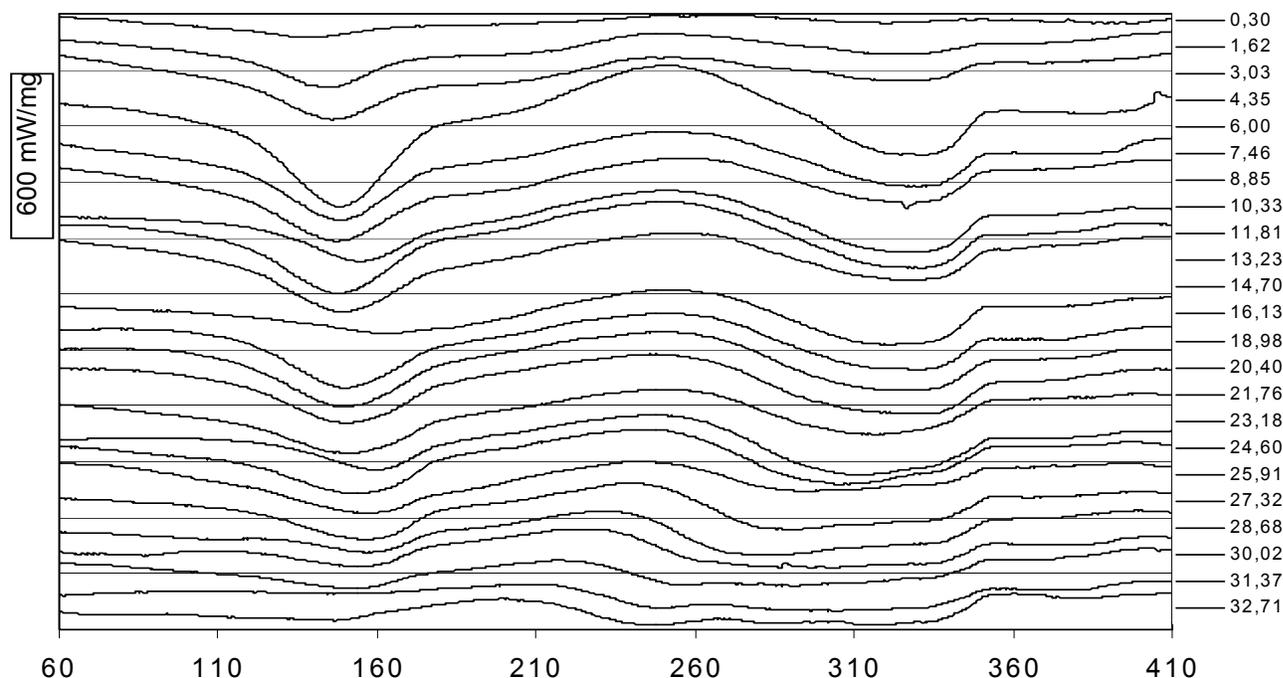


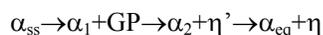
Figura 2 Gráficas superpuestas de los diferentes DSC a 20°C/min de la ZAC a diferentes distancias desde el cordón.

3 Resultados y discusión

3.1 Definición de las zonas endotérmicas y exotérmicas

Las figuras 1 y 2 muestran los diferentes análisis calorimétricos DSC, representados en forma escalonada en función de la distancia desde la interface metal base-cordón, esto con la finalidad de facilitar el análisis. Como se puede notar, aparece una pequeña escala en el eje de las ordenadas, el cual indica la magnitud de los intercambios energéticos. Los valles indican reacciones endotérmicas o de disolución de precipitados y los picos o crestas, reacciones exotérmicas o formación de precipitados. Las figuras muestran importantes cambios a lo largo de la ZAC, además se puede apreciar como en los análisis realizados a 20°C/min se puede notar con mayor definición los cambios energéticos.

La secuencia de precipitación de las aleaciones de la familia Al-Zn-Mg, ampliamente citada y aceptada en la bibliografía (Bjorneklett y col. 1999) es la que se describe a continuación:



En función de análisis previos (García-Cordovilla, 1990), se aprecia en las gráficas tres zonas claramente definidas.

La primera, una zona endotérmica que va desde los 100° hasta los 190°C aproximadamente, la cual corresponde a la disolución de las Zonas de Guinier Preston GPs.

La segunda, una zona exotérmica, que va desde los 200° hasta los 290°C, que corresponde a la formación de la fase metaestable η' .

La tercera, que es una zona en la cual se suceden casi simultáneamente tres diferentes fenómenos, a saber: disolución de la fase η' formación de la fase η y disolución de ésta.

En el presente trabajo solo se discutirá lo referente a los fenómenos de disolución de las GPs, ya que son estos los únicos involucrados en las variaciones del nivel de precipitación en estas aleaciones durante la maduración natural.

3.2 Influencia de la velocidad de barrido

Observando las figuras 1 y 2 se puede apreciar como cuan mayor ha sido la velocidad de barrido del ensayo (10 y 20°C/min) las temperaturas de inicio, finalización, así como la de mayor transformación, se suceden a temperaturas mayores que en el caso de la de menor velocidad de barrido. Por otro lado, observando el nivel energético, entre ambas figuras, se puede apreciar como de manera análoga, se aprecia un mayor intercambio energético, tanto los exotérmicos, como en los endotérmicos, en la de mayor velocidad de barrido, por esta razón la discusión se centrará en los análisis calorimétricos realizados a 20°C/min.

3.3 Evolución del nivel de precipitación a lo largo de la ZAC

En la figura 2 se puede apreciar como a medida que se aleja de la interface metal base-cordón de soldadura, inicialmente se incrementa el nivel energético de disolución de las GPs, lo que indica que existe un mayor nivel de estos en

la matriz de aluminio, no obstante, a partir de aproximadamente 5 mm se observa un descenso en el nivel de energía de disolución de las GPs, hasta hacerse casi nulo en el entorno a los 30 mm.

Representando el nivel de energía y la temperatura del pico de disolución o de mayor transformación en función de la distancia, se puede tener una idea más global de los fenómenos que se están sucediendo a lo largo de la ZAC, como se puede apreciar en la figura 3.

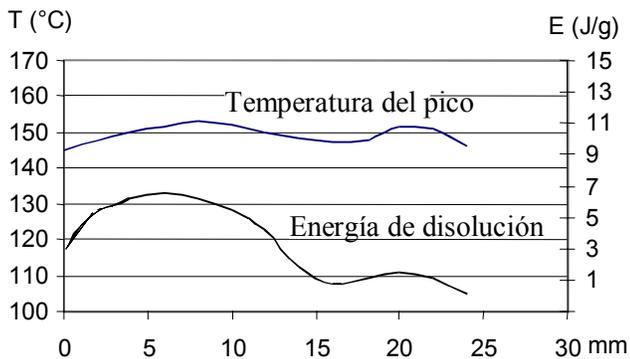


Figura 3 Evolución de la energía y temperatura del pico de disolución de las GPs en función de la distancia.

De la figura 3 se puede inferir que debido al proceso de soldeo se genera en la ZAC tres zonas claramente definidas, la primera desde la interface metal base cordón hasta los 7~10 mm, una segunda desde los 10 mm hasta los 15~17mm y una última a partir de los 17mm.

En la primera zona, (0~10mm), se puede apreciar como a medida que se aleja de la interface metal base-cordón se incrementa el nivel de energía de disolución, e igualmente se eleva la temperatura del pico. Lo primero indica que hay una intensificación en nivel de este precipitado y lo segundo que este precipitado es más estable, pues requiere de una mayor temperatura para su disolución; lo cual es producto de una disolución total durante el proceso de soldeo y que el calor remanente ha servido para nuclear y precipitar las GPs, siendo más estables aquellos que, por una falta de homogeneización del nivel de aleantes tras la disolución, en aquellas zonas ricas de soluto, han germinado favorablemente los núcleos de reprecipitación.

En la segunda zona se nota como el nivel de precipitación y la temperatura de disolución disminuyen gradualmente, lo que hace lógico suponer que durante el proceso de soldeo, la temperatura alcanzada en esta región no ha sido suficiente para disolver todos los precipitados existentes y por lo tanto no ha existido suficiente soluto en la matriz, además, el descenso en la temperatura de disolución indica que estos precipitados no han llegado a un nivel óptimo de maduración, por ende su cada vez menor temperatura de disolución.

La tercera zona, es una zona donde el nivel de las GPs es casi nulo, lo que claramente indica que durante el proceso de soldeo el calor aportado solo ha servido para sobre-envejecer los precipitados previos existentes y no para disol-

ver los que ya existían, siendo el sobre-envejecimiento el responsable de las pérdidas mecánicas en esta zona alejada, corroborando los estudios de (Den Ouden 1999), quien en sus estudios indica que en la zona alejada de la ZAC se sucede un sobre-envejecimiento decayendo, por este fenómeno, las propiedades mecánicas del material.

La variación en el nivel de precipitación es el responsable directo de la pérdida de propiedades mecánicas en la ZAC y de ésta la inestabilidad que presenta a lo largo de la ZAC, tal como lo comentan Malin 1995 y Bloem y col. 2000) quienes de manera general indican que a lo largo de la ZAC se observa una variabilidad en el nivel de las propiedades mecánicas.

4 Conclusiones

- La calorimetría Diferencial de Barrido es una herramienta de incalculable valor en la evaluación del nivel y calidad de los precipitados de las aleaciones bonificables de aluminio.
- Una mayor velocidad de calentamiento en los análisis de DSC (10 y 20°C/min) mejora la sensibilidad de los fenómenos de precipitación y disolución.
- La velocidad de calentamiento influye en la temperatura de inicio, y finalización de los fenómenos de precipitación.
- Se observan tres zonas claramente diferenciadas en la Zona Afectada por el Calor.
- La primera zona se debe primordialmente a un fenómeno de disolución total y precipitación.
- La segunda zona se debe a un fenómeno de disolución parcial y reprecipitación.
- La tercera, se fundamenta en un sobre-envejecimiento, en donde la disolución de precipitados ha sido básicamente nula.
- La calidad y el nivel de precipitación son los responsables del comportamiento mecánico de la ZAC.

Referencias

- Bjorneklett B. I., Grong O., Myhr O. R. And Kluken A. O 1999 *Modelling of grain boundary liquation in Al-Zn-Mg weldments* Science and technology of welding and joining. Vol 4 N° 3 pp 161-169
- Bloem C., Salvador M., Amigó V., Vicente A. 2000, "Estudio microestructural y de resistencia de uniones soldadas de la aleación AW 7020 por procedimiento MIG en función de la preparación de bordes" *Revista de Metalurgia* Vol 36 pp 33-39
- Debbouz O., F. Navaï 1997 Mechanical characterization by dynamical tensile loading of 2017 aluminium alloy joints welded by diffusion bonding. New results and SEM observations of the failure surfaces *Journal of material science* vol 32 pp 475-482.

Den Ouden T. Ma 1999 "Softening behaviour of Al-Zn-Mg alloys due to welding" *Material science and engineering A* 266, pp198-204

Garcia-Cordovilla C. And Louis E. 1990 *Kinetics of retrogression in Al-Zn-Mg-(Cu) alloys* Metallurgical Transactions A Vol 21A Aug pp 2277-2280

Hepples-W Thornton-MC Holroyd-NJH, 1992 "Microstructural Characterization of White Zones in Weldable 7000 Series Alloys" *Journal of materials science*, Vol 27, Iss 21, pp 5720-5726

Hermann R., S.S. Birley, P. Holdway 1996, "Liquation cracking in aluminium alloy welds" *Material science and engineering A*, pp 247-255

Malin V. 1995, "Study of the metallurgical phenomena in the HAZ of 6061-T6 Aluminum welded joints" *Welding research supplement* pp 305-318

Mondolfo, L.F. 1976 "Aluminium Alloys: Structure and Properties". *Butterworths, London-Boston*.

Polmear, I. J. 1996, "Recent developments in light alloys" *Overview Materials Transactions JIM*, Vol 37, N° 1, pp12, 31