

ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE FABRICACIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO DE ALTA RESISTENCIA

Sebastián Ospina^{1}, Santiago Aristizábal¹, Felipe Santa^{1, 2}, Santiago Maya¹, Oscar Mejía¹, Paula Cortés¹, Enrique Giraldo¹*

1: Grupo de Soldadura. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

2: Grupo de Investigación Materiales Avanzados y Energía – MATyER. Instituto Tecnológico Metropolitano

*Contacto: sospinav@unal.edu.co

RESUMEN

Las aleaciones de aluminio de alta resistencia de la serie 7xxx, utilizadas en la industria del transporte, se sueldan comúnmente con materiales de aporte de la serie 5xxx para producir juntas con propiedades químicas aceptables. Se estudió la soldabilidad de los materiales de aporte ER5087 y ER5356 aplicados sobre una aleación de aluminio de alta resistencia AA7020-T6 usando pruebas de soldabilidad de Houldcroft y Battelle para determinar la susceptibilidad al agrietamiento en caliente por solidificación durante la soldadura. Las pruebas se realizaron usando el proceso de soldadura *GTAW* mediante la aplicación manual de soldaduras *bead on plate* de penetración total. Los rasgos morfológicos de las superficies de fractura de las soldaduras se observaron con microscopía electrónica de barrido (*SEM*). Los resultados muestran que la susceptibilidad al agrietamiento en caliente de ambos materiales es muy similar, pero el material ER5356 presenta una menor variabilidad en las mediciones de longitud de grieta en comparación con el material ER5087. Las superficies de fractura de ambos materiales revelaron una morfología dendrítica.

Palabras Clave: *Agrietamiento en caliente por solidificación, Battelle, Ensayos de soldabilidad, GTAW, Houldcroft*

ABSTRACT

High strength 7xxx aluminum alloy series, used in transport industry, are commonly welded with 5xxx filler metal alloys to produce joints with acceptable chemical properties. It was studied the weldability of ER5087 and ER5356 filler metals welded on a high strength AA7020-T6 base metal aluminum alloy using Houldcroft and Battelle weldability tests in order to determine solidification cracking susceptibility. Tests were made using full penetration *bead on plate* welds with manual GTA welding process. The crack surfaces were observed using Scanning Electron Microscopy (SEM). The results show that solidification cracking susceptibility of both materials is very similar, but ER5356 filler metal exhibit less variability in crack length compared to ER5087 filler metal. Fracture surfaces in both materials revealed a dendritic morphology of the solidifying weld metal.

Keywords: *Solidification cracking, Battelle, Weldability tests, GTAW, Houldcroft*

1 INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de aluminio de la serie 7xxx de alta resistencia mecánica se utilizan comúnmente en componentes estructurales del sector aeroespacial, aeronáutico y de transporte masivo donde la resistencia específica (resistencia mecánica sobre la densidad) es un factor crítico [1]. Sin embargo, la soldabilidad de estas aleaciones es moderada ya que presentan tres grandes problemas: porosidad [2], reblandecimiento de la zona afectada térmicamente (*Heat Affected Zone* - HAZ) [2,3] y agrietamiento en caliente. El agrietamiento en caliente se da durante la solidificación debido a la presencia de filmes líquidos de bajo punto de fusión ubicados en los límites de grano del material; puede presentarse en el centro del cordón (agrietamiento por solidificación) o en la zona parcialmente fundida (agrietamiento por licuefacción) [4]. Adicionalmente, las soldaduras de las aleaciones Al-Zn-Mg reportan, en algunos casos, una baja resistencia al fenómeno de agrietamiento por corrosión bajo tensión (*Stress Corrosion Cracking* - SCC), incluso en ambientes poco agresivos como vapor de agua [5,6]. Por lo tanto, su uso ha sido menos extendido que el de otras aleaciones de aluminio por temor de una posible falla debida a agrietamiento por corrosión bajo tensión en la región de las soldaduras [7]. Por este motivo, estas aleaciones se utilizan en aplicaciones donde la resistencia a la corrosión es un aspecto secundario frente a la resistencia específica.

Diversos autores han efectuado estudios de soldabilidad en aleaciones de aluminio [8,9]. Particularmente, Kolarik et al estudiaron la soldabilidad de la aleación AA6082 con la aplicación de diferentes materiales de aporte, entre ellos el ER5356 y el ER5087 [9]; esta investigación demostró que el material de aporte ER5356 es ventajoso en términos de soldabilidad con respecto al material ER5087 cuando se emplea para soldar dicho material base. Sin embargo, la información sobre estudios de soldabilidad en aleaciones de aluminio de la serie 7xxx con bajo contenido de Cu es escasa; en especial, estudios que comparen el efecto de emplear diferentes materiales de aporte. De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se evaluó la soldabilidad de la aleación de aluminio de alta resistencia AA7020-T6 al usar dos materiales de aporte: el ER5087 caracterizado por poseer elementos que actúan como refinadores de grano que deberían reducir la susceptibilidad al agrietamiento en caliente [10], y el ER5356 de uso más generalizado y, por tanto, más económico y comercial.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El material base utilizado para las pruebas corresponde a una placa de aluminio AA7020-T6 de 10 mm de espesor. Además, se estudiaron dos materiales de aporte: ER5356 y ER5087, de 3.2 y 2.4 mm de diámetro, respectivamente. En la Tabla 1 se muestran las composiciones químicas de los materiales medidas por espectrometría de emisión óptica.

Tabla 1. Composiciones químicas de los materiales utilizados

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Ti	Zr
AA7020	93.434	---	0.272	0.178	0.257	1.148	0.294	4.235	---	0.006	0.131
ER5356	94.889	0.03	0.091	0.012	0.116	4.636	0.126	0.002	0.009	0.097	0.004
ER5087	93.990	0.07	0.140	0.015	0.72	4.680	0.068	0.004	0.007	0.071	0.115

Con el fin de comparar la susceptibilidad al agrietamiento por solidificación de los materiales de base y de aporte se maquinaron 4 probetas de soldabilidad de Battelle (2 réplicas para cada material de aporte) y 6 probetas de Houldcroft (3 réplicas para cada material de aporte) según las dimensiones mostradas en la Figura 1. Para las probetas de Battelle fue necesario modificar las dimensiones de la junta estandarizada [11,12], ya que el espesor de la placa estudiada es de 10 mm y la prueba está diseñada para un espesor de 25 mm. De esta manera, se diseñó una junta simple en “V” para reemplazar la junta doble en “V” de la prueba de Battelle estandarizada, pero conservando las dimensiones de la abertura de raíz, el ángulo de bisel y la cara de raíz. Por su parte, las probetas de Houldcroft se maquinaron hasta un espesor de 4 mm debido a que en esta prueba se debe garantizar penetración total de los cordones de soldadura y esto no es posible, con proceso GTAW, para un espesor de 10 mm.

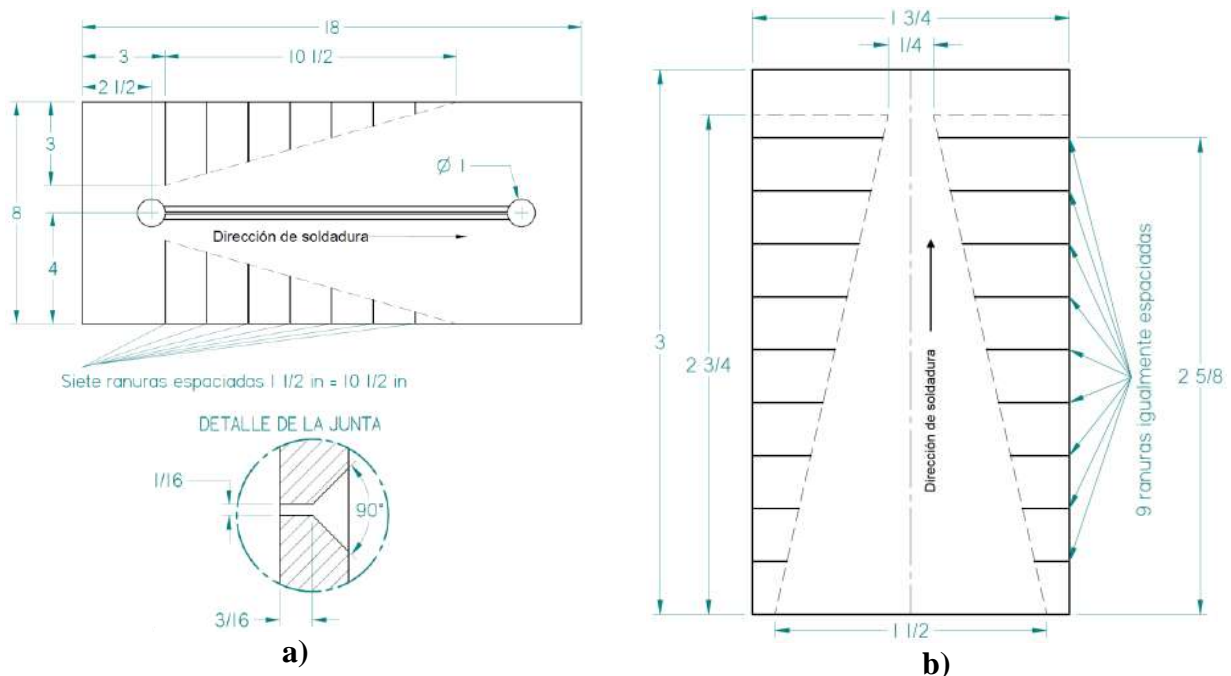


Figura 1. Dimensiones de las probetas de soldabilidad de **a)** Battelle modificado (espesor de 10 mm) y **b)** Houldcroft (espesor de 4 mm). Dimensiones en pulgadas

Se aplicó un cordón de soldadura manual con el proceso GTAW sobre cada una de las probetas de soldabilidad empleando los parámetros de soldadura de la Tabla 2. Para las probetas de Battelle los cordones aplicados fueron de penetración parcial, mientras que en el caso de las probetas de Houldcroft las soldaduras fueron *bead on plate* de penetración total. Los cordones de soldadura se hicieron en posición plana y en la dirección mostrada en la Figura 1. Todas las corridas (pruebas de soldadura) se hicieron de manera aleatoria con el fin de evitar errores sistemáticos. Posteriormente, se aplicaron líquidos penetrantes y se midió la longitud de las grietas obtenidas. Finalmente, se realizó la observación de las superficies de fractura de las probetas con un microscopio electrónico de barrido (SEM) marca JEOL 5910 LV a un voltaje de 20 KV.

Tabla 2. Parámetros de soldadura utilizados en las pruebas de soldabilidad

PARÁMETROS	BATTELLE	HOULDCROFT
Corriente [A]	240	140
Voltaje [V]	18 - 20	13 - 14
Velocidad de aplicación [mm/min]	229	305
Posición y técnica de soldadura	1G, <i>forehand</i>	1F, <i>forehand</i>
Gas de protección	70% Ar y 30% He	70% Ar y 30% He
Tasa de flujo de gas [l/min]	17	17
Tiempo de preflujo de gas [s]	4	4
Tiempo de posflujo de gas [s]	15	15
Tipo de corriente y balance	AC, 70% EN	AC, 70% EN
Frecuencia AC [Hz]	180	180
Tipo y diámetro de electrodo de tungsteno	EWZr-1, 3.2 mm	EWZr-1, 2.4 mm

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al realizar el ensayo de Battelle no se obtuvieron grietas por agrietamiento en caliente; únicamente se presentaron grietas de cráter al inicio y al final de los cordones de soldadura para ambos materiales de aporte (ER5087 y ER5356), como se puede observar en la Figura 2. Esto puede ser debido a que el ensayo de Battelle no generó el suficiente nivel de restricción para el material, al menos para el espesor de las placas de aluminio estudiadas que es inferior al estándar de 25 mm. Por lo tanto, se utilizó el método de ensayo Houldcroft, con el cual se generaron grietas en el centro de los cordones de soldadura (Figura 3) propias del agrietamiento por solidificación [4].

En la Figura 4 se muestra la longitud promedio de las grietas con su respectiva desviación estándar, así como la longitud total de las grietas de las tres réplicas para ambos materiales de aporte. De esta figura se puede observar que el material de aporte no tiene un efecto significativo en la susceptibilidad al agrietamiento en caliente del material base ya que las desviaciones estándar de las longitudes promedio de las grietas se traslapan. Por otro lado, se observa que la longitud total de grietas es inferior cuando se utiliza el material de aporte ER5356, en comparación con el ER5087.



Figura 2. Grietas de cráter presentes en los ensayos de soldabilidad de Battelle con material de aporte a) ER5087 y b) ER5356

Como se puede observar en la Figura 5, las superficies de fractura, tanto del ensayo ejecutado con aporte ER5087 como con ER5356, revelan morfologías dendríticas características del agrietamiento por solidificación [4]. Se observa, además, un refinamiento considerablemente mayor en las dendritas obtenidas con el material de aporte ER5087 en comparación con las

obtenidas con ER5356, lo cual podría ser el resultado de la presencia de zirconio en el aporte ER5087 [10].

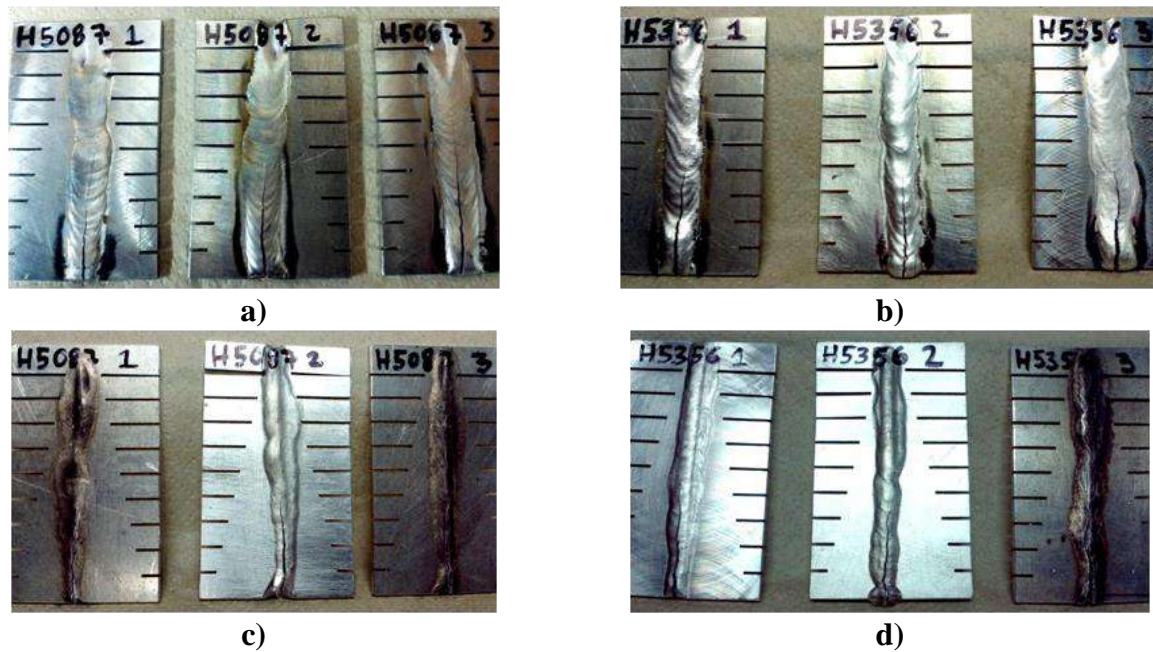


Figura 3. Grietas por solidificación en el ensayo Houldcroft, vistas desde la cara en: a) ER5087 y b) ER5356, y desde la raíz en: c) ER5087 y d) ER5356.

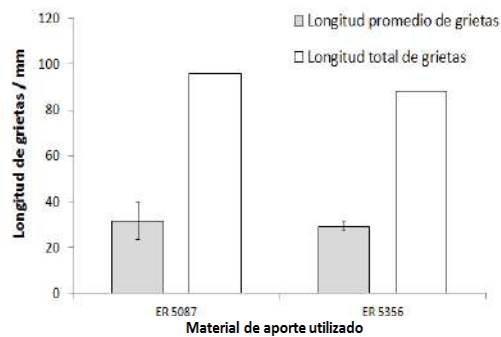


Figura 4. Resultados de longitud de grietas para los ensayos de soldabilidad de Houlcroft

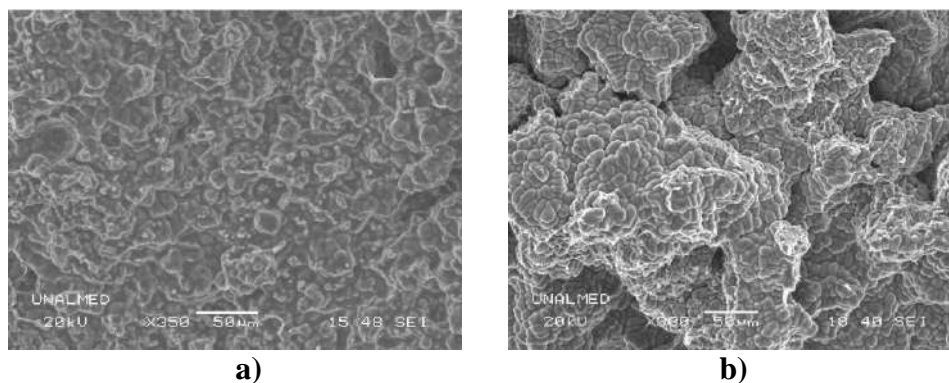


Figura 5. Superficies de fractura para los materiales de aporte a) ER5087 y b) ER5356

4 CONCLUSIONES

A pesar de su mayor dimensión, el ensayo de Battelle modificado no generó un estado de esfuerzos (restricciones) suficiente para generar agrietamiento en el material con las condiciones empleadas en el presente estudio. Debido a lo anterior, se utilizó el ensayo de soldabilidad de Houldcroft, con el cual fue posible obtener grietas por solidificación.

A pesar de que el material ER5087 posee zirconio como elemento aleante, por lo cual debería presentar reducción en la susceptibilidad al agrietamiento en caliente, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los materiales de aporte ER5356 y ER5087 en cuanto a la longitud obtenida de las grietas, por lo que se podría recomendar el empleo del aporte ER5356, que es más económico y comercial, para soldar la aleación AA7020-T6.

La variabilidad de los valores de longitud de las grietas es mayor para el material ER5087 que para el ER5356, lo cual indica que es más repetible (confiable) en términos de soldabilidad.

La estructura dendrítica de las superficies de fractura del material ER5087 es más fina que la del aporte ER5356 debido a la presencia de zirconio.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Medina, L. J., “Fatiga de aleaciones de aluminio aeronáutico con nuevos tipos de anodizado de bajo impacto ambiental y varios espesores de recubrimiento”, [Tesis Doctoral], España, 2010, http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/7323/2/RamirezMedina_LeidyJaneth_TD.pdf
2. Mathers, G., “The Welding Aluminum and its Alloys”, USA, CRC Press LLC, p. 18, 2006.
3. Ma, T., den Ouden, G., “Softening Behaviour of Al–Zn–Mg alloys due to Welding”, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 266, No. 1-2, pp. 198–204, 1999.
4. Kou, S., “Solidification and Liquation Cracking Issues in Welding”, *JOM*, Vol. 55, No. 2, pp. 37-42, 2003.
5. Abhay, K., Jha, K., Sreekumar, P. and Sinha, P., “Cracking of Al–Zn–Mg Aluminum Alloy Nozzle Weld of Propellant Storage Tank: A Metallurgical Investigation”. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 9, No. 6, pp. 504–510, 2009.
6. Davis, J., “Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys”, USA, ASM International, 1999.
7. Polmear I. J., “Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals”, Fourth Edition, United Kingdom, Butterworth-Heinemann, pp. 131-132, 163, 2006.
8. Madhusudhan Reddy, G., Mukhopadhyay, A. K. and Sambasiva Rao, A., “Influence of Scandium on Weldability of 7010 Aluminium Alloy”, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 10, No. 4, pp. 432-441, 2005.
9. Kolarik, L., Kovanda, K., Valova, M., Vondrous, P. and Dunovsky, J., “Weldability Test of Precipitation Hardenable Aluminium Alloy EN AW 6082 T6”, *Modern Machinery (MM) Science Journal*, July, pp. 242-247, 2011.
10. ISO/TR17671-4, “Welding - Recommendations for Welding of Metallic Materials, Part 4: Arc Welding of Aluminum and Aluminum Alloys”, p. 14, 2002.
11. Messler, Jr. R. W., “Principles of Welding: Processes, Physics Chemistry and Metallurgy”, Singapore, Wiley-Vch, pp. 582-583, 2004.
12. Olson, D.L., Siewert, T.A., Liu, S., and Edwards, G.R., “ASM Handbook Volume 06: Welding, Brazing and Soldering”, USA, ASM International, pp. 1491-1492, 1993.