

ANÁLISIS FRACTOGRÁFICO DE ESTRUCTURA SOLDADA FABRICADA EN ALUMINIO DE ALTA RESISTENCIA

Felipe Santa^{1,2}, Santiago Maya¹, Sebastián Ospina¹, Santiago Aristizábal¹, Oscar Mejía¹, Paula Cortés¹, Jorge Giraldo¹*

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

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

* Contacto: jfsanta@gmail.com

RESUMEN

Las aleaciones de Aluminio de la serie 7xxx se consideran como aleaciones de gran importancia en la industria de transporte. En este trabajo, se realizó el análisis fractográfico de una falla en una estructura soldada de Aluminio AA7020-T6. Se realizó la extracción de muestras de las superficies de fractura y se midió la composición química del material de la estructura mediante espectrometría de emisión óptica y mediante espectrometría por dispersión de energía (EDS) en la soldadura usada para la unión. Los resultados muestran porosidad y agrietamiento en caliente por licuefacción en la soldadura y las grietas avanzaron preferencialmente por estas zonas. Para el caso de las grietas que se propagaron en el material base, se observaron fallas por agrietamiento inducido por corrosión bajo tensión (stress corrosion cracking, SCC) y fatiga.

Palabras Clave: *Aleaciones de Aluminio, Agrietamiento en caliente, Agrietamiento inducido por corrosión bajo tensión, Soldadura.*

ABSTRACT

Aluminum alloys from 7xxx series are very important in transportation industry. In this work, a fractographic analysis in a welded structure made from AA7020-T6 was performed. The samples were extracted from the fractured surface and the chemical composition was measured using optical emission and energy dispersive spectrometry. The results showed porosity and liquation hot-cracking in the welds and cracks growing through these zones. In base metal, the cracks propagated by stress corrosion cracking and fatigue.

Keywords: *Aluminum alloys, Hot-cracking, Stress corrosion cracking, Welding.*

1 INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de Aluminio de la serie 7xxx son reconocidas como aleaciones de gran importancia en la industria aeroespacial y de transporte por su alta relación resistencia/densidad. Sin embargo, cuando estas aleaciones son soldadas (típicamente con aleaciones de la serie 5xxx) la resistencia de la zona afectada térmicamente se reduce y se vuelven susceptibles a fallas. En este trabajo se realizó el análisis fractográfico de una falla en una estructura soldada de Aluminio AA7020-T6 soldada con un material de aporte de la familia 5xxx.

2 METODOLOGÍA

Se realizó la extracción de superficies de fractura de la estructura soldada. Dado que en la mayoría de los casos las grietas atravesaban el material del aporte por el eje de la soldadura, se realizó la extracción con un disco abrasivo con el fin de no deteriorar las superficies de fractura. Durante la inspección en campo se realizó la extracción e inspección de al menos 4 superficies fracturadas. En este trabajo se reportan los resultados de una superficie de fractura extraída que incluía material de aporte y material base la cual es representativa del fenómeno estudiado porque posee zona afectada térmicamente y falla sin deterioro en material base.

Una vez extraídas, las superficies de fractura se analizaron usando estereomicroscopio, microscopio electrónico de barrido (MEB) y microscopio óptico donde se identificaron modos de falla, posibles inicios de grietas secundarias y concentradores de esfuerzo. También se midió la composición química del material base y metal fundido usando espectrometría de emisión óptica y espectrometría por dispersión de energía (EDS). Se realizó la búsqueda de información relacionada con el tipo de fallas en el material analizado con el fin de comparar las características relevantes de la falla con casos otros reportados en la literatura [1, 2, 3].

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa el aspecto general de la muestra extraída de la superficie de fractura de la estructura soldada. En la zona resaltada se encuentra el material fundido que se muestra en detalle en la Figura 2. En la zona del metal fundido donde inició la falla se observan poros (identificados como P) con grietas avanzando entre ellos. En el material base se observan líneas de playa (líneas paralelas identificadas como F en la Figura 2) que indican que la falla se propagó perpendicular a ellas como indica la flecha horizontal en la misma figura.

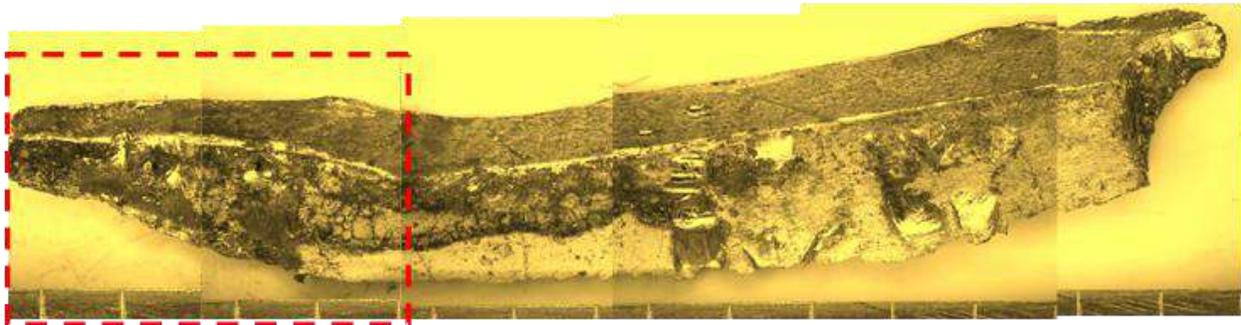


Figura 1. Aspecto general de la superficie de falla extraída de la estructura.

En la Figura 3 se muestra un detalle de la sección metalográfica de la superficie de falla donde el ataque químico reveló los materiales base y fundido. En este último, se alcanzan a distinguir tres cordones de soldadura (C1, C2 y C3). La primera característica importante es que se observan poros uniformemente distribuidos y de diferentes tamaños en la soldadura. Este tipo de porosidades pueden generarse por una mala limpieza de la zona de aplicación de soldadura, por la hidratación de la capa de óxido de metal o por un charco de soldadura mal protegido con un flujo gas turbulento.

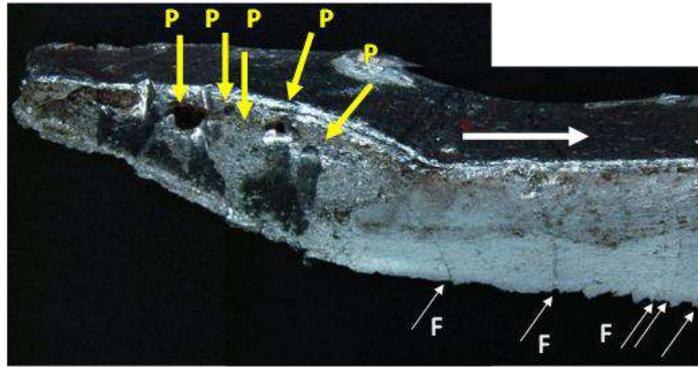


Figura 2. Detalle de discontinuidades encontradas en la superficie de falla.

La Figura 4 muestra un perfil de microdureza medido sobre la sección metalográfica. Allí se observa que el metal fundido tiene una dureza inferior a la del material base. Adicionalmente la dureza del material base en la zona afectada térmicamente (ZAT) es inferior a la dureza del material medida en una zona alejada de la soldadura (170 HV). Los resultados anteriores indican que el ciclo térmico de la soldadura induce una zona de baja resistencia en el metal fundido y en la ZAT.

La Figura 5 muestra un acercamiento a la zona límite entre los cordones C1 y C3. Allí se observaron grietas en la frontera entre cordones (ver flechas en Figura 5a) y en la Figura 5b se aprecian dendritas del tipo equiaxial así como microsegregación a los límites interdendríticos, esto se conoce en la literatura como límite de grano grueso [1,2]. Este tipo de defectos se han reportado como defectos asociados con agrietamiento en caliente [1,2].

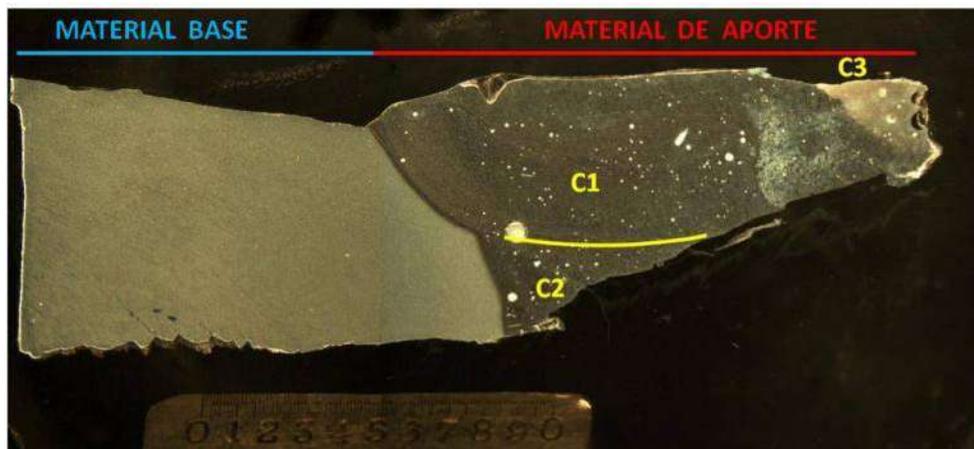


Figura 3. Sección transversal de la superficie fracturada.

En la Figura 6 se observa la grieta avanzando en el material base. Allí se observa la dirección de laminación y un detalle de la microestructura que revela un tamaño de grano fino; las micrografías fueron tomadas en el material base en una zona alejada (unos 10 mm) de la línea de fusión. La grieta avanza en la misma dirección de las bandas de deformación y se observan también desprendimientos localizados con picaduras en la punta de la grieta. Este tipo de propagación preferencial en la dirección de laminación se ha reportado como fallas por SCC de

esta aleación incluso en ambientes que normalmente se consideran no agresivos, como el vapor de agua [4].

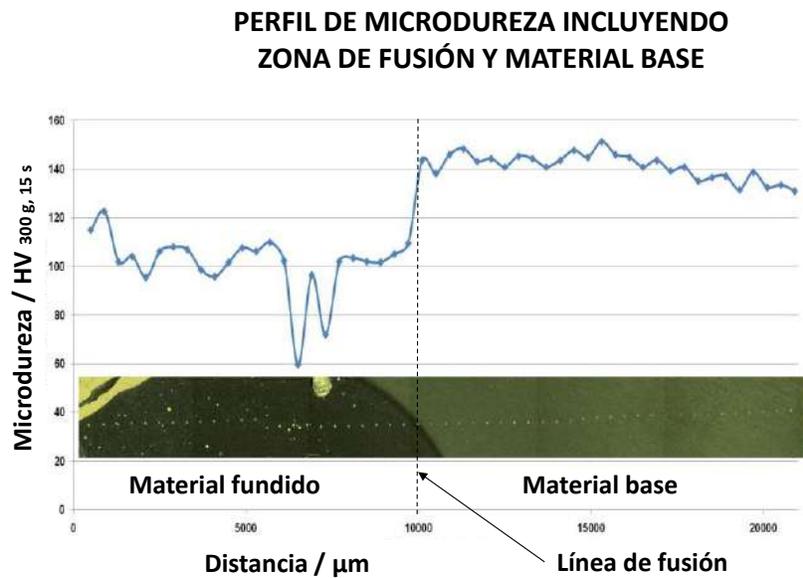


Figura 4. Perfil de microdureza en la sección transversal de la falla.

La Figura 7 muestra el aspecto de las superficies de fractura en el MEB. La Figura 7a muestra líneas típicas de grietas que se propagan por fatiga en el material base mientras que la Figuras 7b muestra fallas por clivaje y fractura intergranular indicativos en ambos casos, de un comportamiento frágil. En la Figura 7b también se observan productos de corrosión en la superficie de fractura, identificados como partículas brillantes [5], y límites de grano (mostrados por las flechas en las figura) lo cual reafirma que en algunas zonas el tipo de fractura fue intergranular. Por otro lado, la Figura 7c muestra el aspecto de la falla en el metal fundido. El tipo de falla interdendrítico es típico de fallas por agrietamiento en caliente por solidificación.

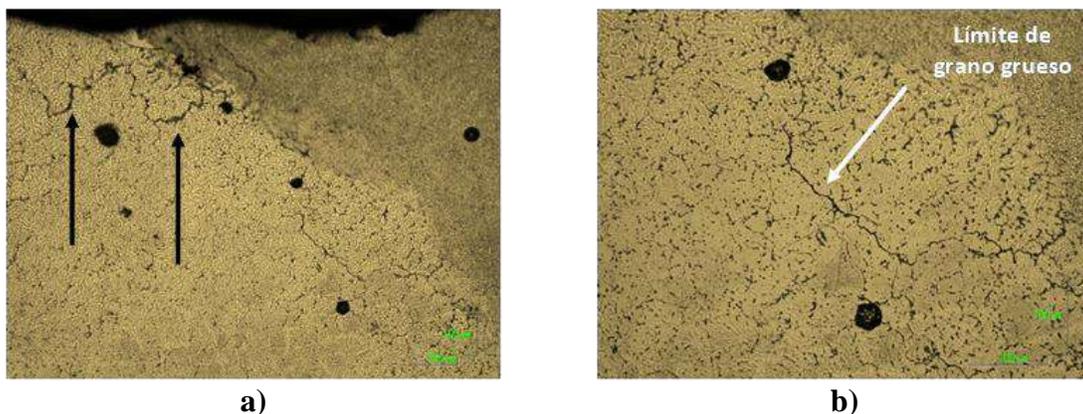


Figura 5. Microestructura y grietas en el material fundido. a) Grietas entre cordones, b) detalle de las grietas.



Figura 6. Microestructura y grietas en el material base.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis químico del metal base y el metal fundido y la comparación de los mismos con las aleaciones estándar AA7020 y el metal de aporte AA5183. De la tabla se puede concluir que el metal base posee los elementos característicos de la aleación AA7020 y el material de aporte coincide con los elementos característicos de una aleación AA5183.

Tabla 1. Resultados del análisis químico del material fundido y material base [6].

Elemento	Al	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr
Metal Base	93,434	-	0,272	0,257	1,148	0,294	4,235	0,006	0,131
Metal Fundido	95,02	-	-	0,73	4,2	-	-	-	-
AA7020	Restante	<0,35	<0,40	0,05-0,50	1,0-1,4	0,10-0,35	4-5	0,08-0,25 (Zr + Ti)	0,08-0,20
AA5183	Restante	<0,40	<0,40	0,5-1,0	4,30-5,20	0,05-0,25	<0,25	0,15	-

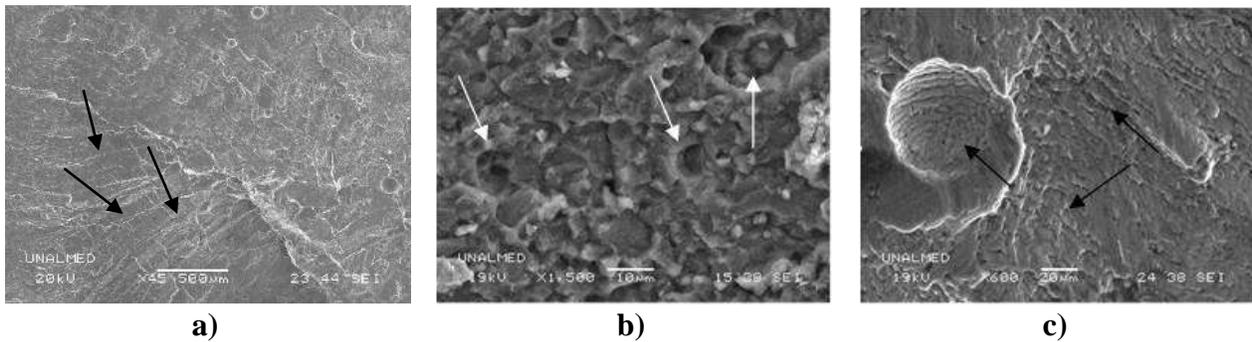


Figura 7. Superficies de fractura observadas en MEB. A) Marcas de fatiga en metal base, b) falla intergranular y productos de corrosión, c) falla interdendrítica.

De acuerdo con los resultados anteriores se identificaron las siguientes evidencias en las grietas del material de aporte: 1. Las grietas iniciaron por licuefacción y se propagaron preferencialmente por la parte central del cordón y por discontinuidades en la soldadura (poros). 2. Se identificaron grietas entre cordones con aparición de microsegregación en los límites de cordones y límites interdendríticos. 3. La composición química del material fundido y el material base indican aleaciones susceptibles a agrietamiento en caliente y al agrietamiento inducido por corrosión bajo tensión (SCC) [7]. Se encuentran reportes con agrietamiento en caliente y SCC en aleaciones de este tipo incluso en ambientes sometidos a vapor de agua [4]. 5. La soldadura induce una zona de baja resistencia en el metal fundido y en la ZAT. 6. La superficie de fractura indicó fallas del tipo interdendrítico.

Para el caso del material base se observaron: 1. Grietas avanzando preferencialmente en la dirección de las bandas de deformación y desprendimientos localizados con picaduras en la punta de la grieta. 2. Fallas de esta aleación con este tipo de propagación preferencial en la dirección de laminación por SCC han sido reportadas previamente en la literatura [2]. 3. La superficie de fractura indicó fallas con líneas típicas de fatiga y fallas frágiles intergranulares y productos de corrosión.

De acuerdo con los resultados anteriores se pudo concluir que la falla se generó por agrietamiento en caliente por licuefacción en la soldadura con grietas avanzando en la frontera entre cordones, ayudadas por discontinuidades inducidas por la soldadura. La susceptibilidad de los cordones aplicados con aleaciones del tipo 5xxx al SCC (que dan relaciones Zn/Mg ~ 1.0, [7]) se ve agravada por los altos esfuerzos residuales de los cordones durante la soldadura y a los defectos de soldadura presentes. Las grietas se propagaron en el material base por SCC y fatiga, dada su ramificación y propagación en la dirección de laminación. Se observaron las marcas de playa y poros con tamaños superiores a 0.3 mm.

4 CONCLUSION

Los resultados indican que la falla se originó por una sinergia entre la susceptibilidad al agrietamiento en caliente del metal base y el metal de aporte y por corrosión bajo tensión (Stress Corrosion Cracking, SCC). La grieta inició en cordones de soldadura y se propagó por fatiga, SCC y por defectos asociados posiblemente con una mala limpieza durante la soldadura.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. K. Jha, K. Sreekumar, y P. P. Sinha, "Cracking of Al-Zn-Mg Aluminum Alloy Nozzle Weld of Propellant Storage Tank: A Metallurgical Investigation", *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 9, n.º 6, pp. 504-510, dic. 2009.
2. A. K. Jha, G. N. Sirisha, P. R. Narayanan, y K. Sreekumar, "Cracking of AFNOR 7020 Aluminum Alloy Adaptor Used for Aerospace Applications: A Metallurgical Investigation", *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 9, n.º 5, pp. 414-419, oct. 2009.
3. Y. E. Wu y Y. T. Wang, "Effect of Filler Metal and Postwelding Heat Treatment on Mechanical Properties of Al-Zn-Mg Alloy Weldments", *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 19, n.º 9, pp. 1362-1369, dic. 2010.
4. J. R. Davis, *Corrosion of aluminum and aluminum alloys*. Materials Park, OH: ASM International, 1999.
5. A. Carreño G., "Influencia de la deformación plástica y el tamaño de grano en el comportamiento electroquímico de la aleación de aluminio 7075-T7351 en medio ácido y salino", Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería, Caracas, 2003.
6. *ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 9.^a ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 1990.
7. I. J. Polmear, *Light alloys: metallurgy of the light metals*. New York: J. Wiley & Sons, 1995.