

# Determinación de la energía de activación y microdureza de la aleación AlSiMg

D. Merino<sup>1</sup>, A. Molina<sup>2</sup>, L. Martínez<sup>1</sup>, S. Valdez<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Físicas-Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad S/N, Col. Chamilpa, 062210, Cuernavaca, Morelos, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas-Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, 062210, Cuernavaca, Morelos, México.

\*svaldez@fis.unam.mx

La aleación envejecible AlSiMg, es utilizada en la industria aérea, automotriz y para aplicaciones estructurales debido a su excelente resistencia específica (resistencia/peso), buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas [1-3]. El tratamiento de envejecimiento artificial, mejora las propiedades mecánicas: la resistencia a la rotura es elevada por efecto del endurecimiento debido a la formación de precipitados coherentes aciculares de fase  $\beta$  ". Esta precipitación, modifica el parámetro de red del Al por esfuerzo interno, detiene el movimiento de las dislocaciones, y la aleación se endurece [4,5]. En la aleación AlMgSi, la descomposición de la solución sólida sobresaturada ocurre a partir de las zonas de Guinier-Preston (GP). La nucleación de estas zonas inicia después del temple. La transformación de la fase  $\beta$  ' conlleva a la formación de la fase estable  $\beta$  [6,7].

La precipitación en aleaciones AlMgSi ha sido estudiada solamente para un rango de composición química respecto al contenido de magnesio (0.1-2-0 % Mg), sin embargo, no se ha realizado un estudio respecto a la energía de activación de los precipitados y la dureza de la aleación AlSiMg bajo condiciones de alto contenido de Magnesio y solidificada a una velocidad alta de enfriamiento ( $10^3 \text{ Ks}^{-1}$ ).

La aleación AlSiMg ( $x = 3.0-30$  % peso de Mg) fue obtenida mediante el método de vórtex y solidificada a una alta velocidad de enfriamiento. Muestras de  $2 \times 2 \times 2$  cm fueron expuestas a temperaturas de  $430^\circ\text{C}$  por 24 hr, para solubilizar la aleación, se templaron en agua caliente a  $80^\circ\text{C}$  para suprimir parcialmente las tensiones a generarse por un enfriamiento rápido. Enseguida fueron envejecidas a  $200^\circ\text{C}$  por 24 hr para acelerar el proceso de precipitación. Con éste tratamiento la aleación alcanza su máxima dureza. La caracterización microestructural se realizó mediante difracción de rayos X y calorimetría diferencial de barrido.

Basados en la teoría del crecimiento de partículas controlado por la difusión (teoría Lifshitz-Slyozov-Wagner o LSW) activado térmicamente y cuya velocidad depende de la temperatura y el tiempo, se calculó la energía de activación para el crecimiento de los precipitados, a partir de la ecuación de Arrhenius;  $\ln[K(T)T] = \ln[kR^{-1} - E(RT)^{-1}]$  y fue comparada con la obtenida a partir del método de Kissinger modificado que considera el pico de temperatura de precipitación en función de la velocidad de calentamiento:  $\ln[T_p P^{-1}] = \ln[E(RK_o)^{-1}] + E(RT_p)^{-1}$ . Con la ecuación usual de Mehl-Johnson-Avrami (MJA), utilizada para reacciones heterogéneas, y que considera la

mayor extensión de la precipitación por procesos de nucleación y crecimiento, se determinó la fracción en volumen de los precipitados a partir de los resultados de microdureza.

De los termogramas obtenidos mediante DSC, se determinó el intervalo de temperatura en el que ocurren las reacciones y las fases generadas. De los difractogramas, se identificaron cuatro tipos de precipitados. Los cuales están relacionados con los picos exotérmicos obtenidos de los termogramas. El número de precipitados y la cantidad de los mismos aumenta en función de la concentración de magnesio. Mediciones de microdureza revelan un aumento después del envejecimiento y a mayor concentración de magnesio. El aumento en la concentración de soluto (magnesio) genera un máximo en el valor de dureza debido a que existe mayor cantidad de soluto disponible para la formación de un mayor número de precipitados por el aumento en la velocidad de nucleación y crecimiento. Es sabido, que la velocidad de nucleación se eleva debido a la gran diferencia de energía entre los estados sobresaturado y de equilibrio.

### **Referencias.**

- [1] L.Y. Zhang, Z.J. Zhan, Y.Z. Jia, W.K. Wang, B.D. Zhou. *J. Mater. Process. Techn.* 187–188 (2007) 791–793.
- [2] L.A. Bereta, C.F. Ferrarini, C.S. Kiminami, W.J.F. Botta, C. Bolfarini. *Mater. Sci. Eng. A* 449–451 (2007) 850–853.
- [3] L. Gómez Rodríguez, V. Amigó Borrás, M.D. Salvador Moya, D. Busquets Mataix y N. Martínez Mateos. *Rev. LatinAm. Met. Mat.* 23 (2003) 50-58.
- [4] M.Bournane, M.Nedjar, A.F.Sirenko. *Scripta. Mater.* 40, 3(1999) 375-382.
- [5] S. Esmaili, D.J. Lloyd, W.J. Poole. *Acta Materialia* 51 (2003) 3467–3481.
- [6] Kenji Matsuda, Tokimasa Kawabata, Yasuhiro Uetani, Tatsuo Sato, Susumu Ikeno, *Scripta Mater.* 47 (2002) 467–471.
- [7] Ken Takata<sup>1</sup>, Kohsaku Ushioda<sup>1</sup>, Masao Kikuchi. *Mater. Sci. Forum*, 519-521 (2006) 233-238.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto es financiado por DGAPA-UNAM-PAPIIT-IN105708