

Estudio del efecto del Mg sobre la cinética isotérmica y no isotérmica de una aleación AA3003 por diferentes técnicas de medidas

M. del V. Valera M.¹, N.J. Luiggi A.¹ y J.L. Prin².

Universidad de Oriente. ¹Departamento de Física. Grupo de Física de Metales.

²Instituto de Investigaciones de Biomedicina y Ciencias Aplicadas.

Apartado Postal 299, Cumaná 6101. Sucre. Venezuela,

e-mail: nluiggi@sucre.udo.edu.ve.

Recibido el 24 de noviembre de 2003; aceptado el 2 de marzo de 2004

Se ha estudiado la cinética de precipitación isotérmica y no isotérmica de las aleaciones Al3003 y Al3003-1,15 % Mg mediante poder termoeléctrico (PTE), resistividad eléctrica (ρ) y microscopía electrónica de transmisión (MET). Se verifica que la cinética de transformación es dominada por la difusión de Mg a bajas temperaturas y del Mn a altas temperaturas.

Descriptor: AA3003; cinética; transformación de fase.

We have studied the isothermal and non-isothermal precipitation kinetic of the AA3003 and AA3003-1,15 % wt. Mg, by means thermoelectric power (PTE), electrical resistivity (ρ) and transmission electronic microscopy. We verify that the transformation kinetic is leded at high temperatures by Mg diffusion and by Mn.

Keywords: AA3003; Kinetic; phase transformation.

PACS: 81.30.-t; 81.30.Mh; 81.40.Cd

1. Introducción

El Mn aleante principal en las aleaciones de la serie 3000 precipita en forma de dispersoides, lo cual le confiere a dichas aleaciones un mecanismo particular de endurecimiento [1]; al combinar esta aleación con Mg se introduce un elemento de alta difusividad en Al lo cual genera un mecanismo de endurecimiento diferente y por supuesto propiedades mecánicas diferentes [1]. En el presente trabajo el comportamiento de una aleación 3003 y las variaciones introducidas cuando le agregamos 1,15 % peso Mg es estudiado mediante cinéticas isotermas y no-isotermas por diferentes técnicas experimentales.

2. Aspectos experimentales

2.1. Muestras Utilizadas

Se utilizaron muestras de la aleación 3003 producidas por Aluminios del Caroní, S.A. (A.L.C.A.S.A), Venezuela; y de la misma aleación a la cual por fundición se le agregó Mg en la proporción de 1,15 % peso Mg. La composición química nominal se muestra en la siguiente tabla:

Los procedimientos de fundición y análisis de Mg fue realizado en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (U.C.V).

TABLA I. Composición química de las muestras utilizadas en % peso.

	Al	Mn	Fe	Si	Mg
Aleación 3003	Resto	1,10	0,67	0,28	0,004
3003 + 1,15	Resto	1,10	0,67	0,28	1,15

2.2. Tratamientos térmicos

Las muestras son homogeneizadas durante 20 horas a 600°C y templadas en agua fría, luego sometidas a dos tipos de recocidos:

- Isotérmico: donde las muestras se envejecen a las temperaturas de 300, 400, 450 y 550°C durante un tiempo tal que permita la transformación estructural.
- No isotérmico: donde las muestras se calientan a razones de 3 y 10°C/min, entre 25°C y 600°C.

3. Resultados

3.1. Resistividad eléctrica (ρ): recocido no isotérmico

En la Fig. 1 se exhibe la variación de la resistividad en función de la temperatura para calentamientos de 3°C/min y 10°C/min. Observamos para cada caso y para cada aleación un *plateau* seguido de un decrecimiento de $\Delta\rho$, con un mínimo el cual depende de la velocidad del recocido y del tipo de aleación. Es evidente de esta figura el efecto que el Mg extra tiene sobre la aleación 3003, acelerando la precipitación del Mn.

3.2. Resistividad eléctrica (ρ): recocido isotérmico

En la Fig. 2 se gráfica la resistividad en función del tiempo para las diferentes temperaturas seleccionadas. El efecto del Mg se manifiesta claramente en el valor inicial de la resistividad, pero también en la cinética la cual se acelera en la medida que la temperatura de envejecimiento es mayor, y en el caso de la aleación conteniendo 1,15 % Mg se observan a bajas temperaturas una ligera variación respecto a la aleación 3003.

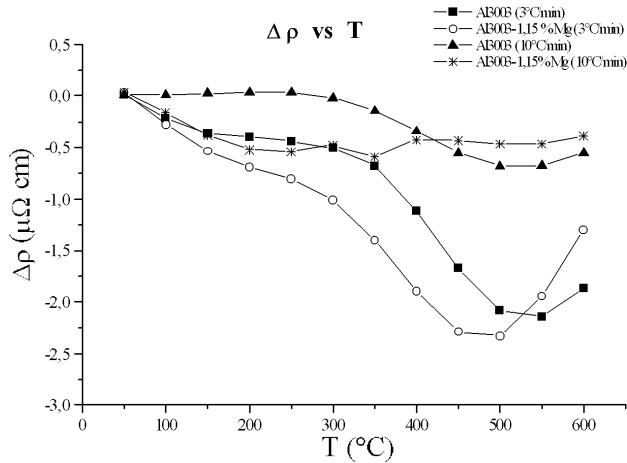


FIGURA 1. $\Delta\rho$ vs T para las aleaciones Al3003 y Al3003-1,15 % Mg durante un proceso no isotérmico a razón de 3 y 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

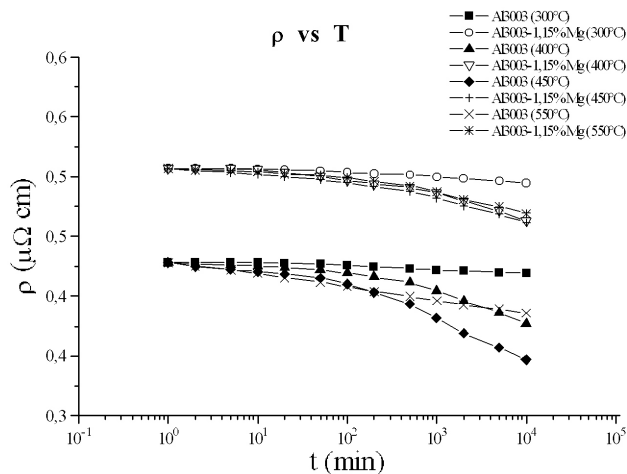


FIGURA 2. ρ vs t para las dos aleaciones estudiadas durante un proceso isotérmico a 300, 400, 450 y 550 $^{\circ}\text{C}$.

3.3. Poder termoeléctrico (PTE): recocido isotérmico

En la Fig. 3 graficamos el PTE vs tiempo de envejecimiento a las temperaturas de 300, 400, 450 y 500 $^{\circ}\text{C}$, observando también un incremento del PTE cuando aumentamos la cantidad de Mg en la aleación Al-Mn. Nuevamente la cinética es modificada por la presencia del Mg, debido a la competencia establecida entre el PTE específico negativo de los átomos de Mn y el PTE específico positivo del Mg, lo cual se combina con la mayor difusividad mostrada por los átomos de Mg en Al a bajas temperaturas.

3.4. Microscopía electrónica de transmisión (MET)

En la Fig. 4 mostramos una secuencia de micrografías da las aleaciones estudiadas:

La Fig. 4a, es referida a la aleación madre Al3003 en su estado homogeneizado. Se observa en esta micrografía la

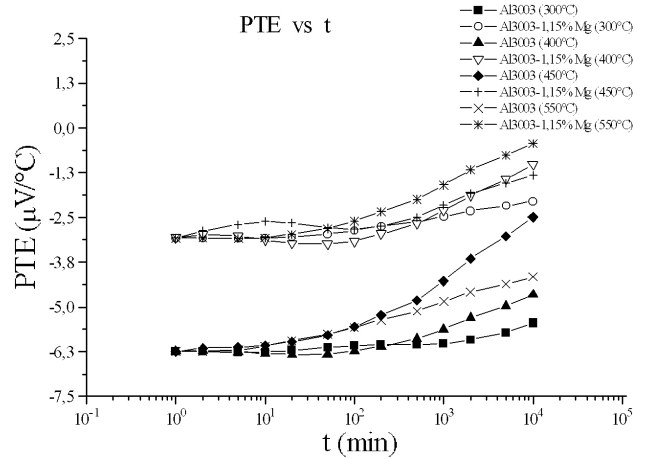


FIGURA 3. PTE vs t para las aleaciones Al3003 y Al3003-1,15 % Mg durante un proceso isotérmico a 300, 400, 450 y 550 $^{\circ}\text{C}$.

presencia de dislocaciones introducidas durante el proceso de preparación del *foil*; también se observan precipitados y partículas que pudiesen corresponder a $\text{Al}_6(\text{Fe},\text{Mn})$ o $\text{Al}(\text{Fe},\text{Mn})\text{Si}$ [2,3]. La Fig. 4b, corresponde a la aleación 3003 envejecida 10 min a 350 $^{\circ}\text{C}$ y donde se evidencia el inicio del proceso de precipitación de fases. La Fig. 4c, corresponde a la aleación 3003 envejecida 1000 min a 450 $^{\circ}\text{C}$ y donde identificamos uno de los precipitados presentes a través del patrón de difracción, también mostrado, como Al_6Mn . Fig. 4d, mostramos una micrografía realizada a la aleación Al3003-1,15 % Mg, envejecida a 450 $^{\circ}\text{C}$ durante 100 min y en la cual se evidencian dislocaciones y partículas de forma alargada hexagonal y cúbica dispersas por toda la matriz de Al. Con seguridad alguna de estas partículas corresponden a la fase β o Al_3Mg_2 reportadas en la literatura a la temperatura de 450 $^{\circ}\text{C}$ [4, 5].

4. Discusión

De estas experiencias notamos que tanto el incremento como la disminución del poder termoeléctrico y de la resistividad eléctrica, bajo los dos tipos de recocidos aplicados, están relacionadas con el proceso de precipitación y disolución de los aleantes principales en la aleación 3003: Mn, Fe y Si. Estos elementos forman la fase $\text{Al}_{12}\text{Si}(\text{Mn}, \text{Fe})_3$ por debajo de la temperatura 450 $^{\circ}\text{C}$ y por encima de ella, hacia los 550 $^{\circ}\text{C}$ aparece la fase de equilibrio $\text{Al}_6(\text{Fe}, \text{Mn})$ [6]. La MET, nos permitió identificar la fase de equilibrio a 600 $^{\circ}\text{C}$ y a 450 $^{\circ}\text{C}$, pero también observamos partículas de diferentes formas geométricas las cuales bien podrían ser asociadas a las fases meta-estables Al_7Mn y Al_{12}Mn [7].

Mientras que en la aleación 3003 conteniendo 1,15 % Mg el comportamiento del PTE y de la resistividad a temperaturas por debajo de 300 $^{\circ}\text{C}$, nos permite distinguir las contribuciones que los aleantes Si, el Mg y el Mn, ya que los dos primeros tienen un PTE intrínseco y una resistividad específica de mucho menor magnitud que la del Mn, además el PTE intrínseco del Mn y del Si es negativo mientras que el de Mg

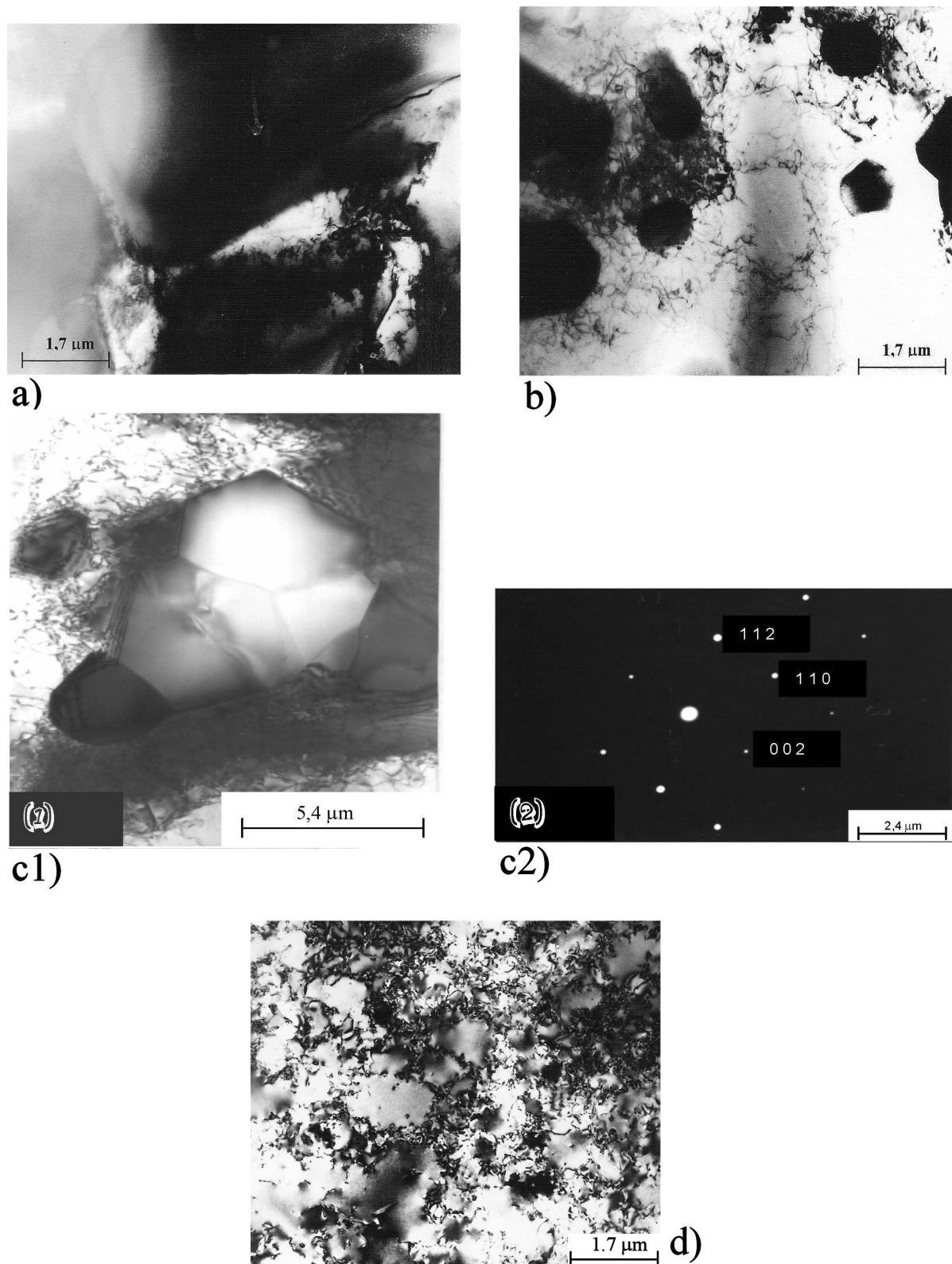


FIGURA 4. a) Micrografía de la aleación Al3003 en estado homogeneizado. Se observan partículas grandes asociadas al $Al_6(Fe,Mn)$ y dislocaciones. b) Micrografía de la aleación Al3003 envejecida a una temperatura de $350^{\circ}C$ durante 10 min. En ella se aprecia un grupo heterogéneo de partículas. c) 1. Precipitado de Al_6 de la aleación Al3003 a $450^{\circ}C$ durante 1000 min; 2. en el lado derecho superior de la micrografía se muestra el patrón de difracción de rayos X indexado para ésta partícula, que permite señalar un eje de zona con respecto a la matriz de $[2\ 2\ 0]$. d) Micrografía de la aleación Al3003-1,5% Mg envejecida a una temperatura de $450^{\circ}C$ durante 100 min. Se observa dislocaciones y precipitados de diferentes formas dispersados sobre la matriz.

es positivo. Esto combinado a la mayor difusividad del Mg en Al a temperaturas bajas, explica las variaciones observadas en la aleación conteniendo 1,15 %Mg respecto a la aleación 3003.

5. Conclusiones

1. La resistividad eléctrica y el poder termoeléctrico son sensibles al proceso de transformación de fases, porque indica la precipitación del Mg o de fases ricas en Mg, seguidas de la disolución de las mismas para dar paso al proceso de precipitación de Mn o fases ricas en Mn.
2. La precipitación y disolución de fases se produce por difusión, hecho este puesto en evidencia debido a que

a mayor temperatura la cinética de transformación es más rápida.

3. Mediante el MET y a través del patrón de difracción de electrones se pudo precisar al Al_6Mn como la fase de equilibrio presente en estas dos aleaciones. Asimismo, se evidenció la presencia de precipitados de diferentes formas y tamaños que evolucionan cuando se dejan por mayor tiempo a una temperatura fija.

Agradecimiento

El presente trabajo es soportado por los proyectos: S1-95000844 CONICIT y CI-5-1002-0938/00 UDO.

-
1. *Aluminum*, edited by J.E. Hatch, ASM Metals Park, Ohio, (1984) 360.
 2. H. Watanabe, K. Ohori y Y. Takeuchi, *Aluminium*. **60** (1984) 10.
 3. F. Cerqueira, W.A. Monteiro, y A. Padilha, *Revista Latinoame-*

ricana de Metalurgia y Materiales. **6** (1986) 19.

4. M.J. Starink y A.M. Zahra *J. Mat. Sci.*, **34** (1999) 1117.
5. D. Boucheur, D. Hamana y T. Laonit *Phil. Mag. A* **37** (1996) 1733.
6. D.B. Goel, P. Furrer y H. Warlimont, *Aluminium* **50** (1974) 511.