

# Influencia del cobre en la transformación de fase de la aleación Zn - 22 % p Al, durante la homogenización

S. Rangel Lara<sup>♦</sup>, J. L. Bernal<sup>♦</sup>  
Ingeniería Industrial, Ciencia de Materiales y Procesos  
Universidad Politécnica del Valle de México

A. de Ita de la Torre<sup>♦</sup>  
Área de Ciencia de Materiales  
Universidad Autónoma Metropolitana–Azcapotzalco  
(Recibido: 21 de septiembre de 2010; Aceptado: 15 de junio de 2011)

Las aleaciones fueron producidas por fundición y enfriadas en aire quieto a temperatura ambiente, la microestructura dendrítica fue analizada en un trabajo anterior<sup>[1]</sup>. Muestras de las aleaciones obtenidas fueron sometidas a un tratamiento de homogenización a 375 °C por 120 horas, se observó la modificación de la microestructura a 60, 100 y 120 horas en las aleaciones Zn - 22 % p Al y Zn - 22 % p Al - 2 % p Cu. Las fases presentes en las aleaciones se identificaron por microscopía óptica. Se efectuó un análisis térmico diferencial para analizar las transformaciones de fase. Se pone de manifiesto que el cobre promueve la transformación de fase en la aleación Zn - 22% p Al - 2% p Cu.

*Palabras clave:* Microestructura; Perlita; Homogeneización

The alloys were produced by smelting and cooled in quiet air to room temperature; the microstructure dendrite type was analyzed in a previous work<sup>[1]</sup>. Samples of obtained alloys were subject to a treatment of homogenization to 375 °C by 120 hours. Modification of the microstructure was observed at 60, 100 and 120 hours in the Zn alloys - 22 % p Al and Zn-22 % p Al - 2 % p Cu. The phases present in alloys were identified by optical microscopy. A differential thermal analysis was made to analyze the phase transformations. It is shown that the copper promotes the transformation of phase in the alloy Zn - 22% p Al - 2% p Cu.

*Keywords:* Microstructure; Pearlite; Homogenization

## 1. Introducción

En fechas recientes se ha retomado el interés del estudio del sistema Zn - Al efectuando análisis de la microestructura generada por medio de tratamientos térmicos, sin embargo, aun falta mucho por conocer acerca de él y, de sus propiedades. Un trabajo reciente en torno al tema usando calorimetría diferencial es el realizado por Aragón et. al.<sup>[2]</sup>, donde se reporta la formación de componentes aciculares, como resultado de tratamientos térmicos, incluso se reportan microestructuras nuevas como es el caso de la presentada por O. España, et al.<sup>[3]</sup> recientemente. La finalidad de la presente investigación es analizar el efecto del cobre en la transformación de fase de las aleaciones Zn - 22 % p Al y Zn - 22 % p Al - 2 % p Cu durante la homogenización.

La aleación Zn - 22 % p Al (muestra A6), se encuentra en el diagrama de Hansen<sup>[4]</sup>, figura 1, dentro de la región de la fase  $\beta$ , entre el 71 % y el 82.8 % de zinc.

La descomposición espinodal de la fase de alta temperatura, la fase  $\beta$ <sup>[4,5]</sup>, es la que genera la estructura de dos fases llamada microestructura tipo perlita, por medio de una reacción eutectoide como se manifiesta en

los estudios realizados por Chao et al.<sup>[6]</sup>. La fase  $\beta$  inestable a temperatura ambiente se descompone en  $\alpha$  y  $\eta$ :

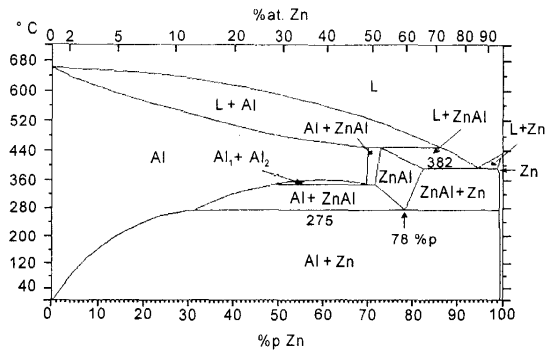


Por otra parte, en el corte vertical del diagrama de fases ternario<sup>[5]</sup>, figura 2, la aleación Zn - 22 % p Al - 2 % p Cu (muestra B5), se encuentra muy cerca de donde se localiza el compuesto estequiométrico  $\text{CuZn}_5$ .

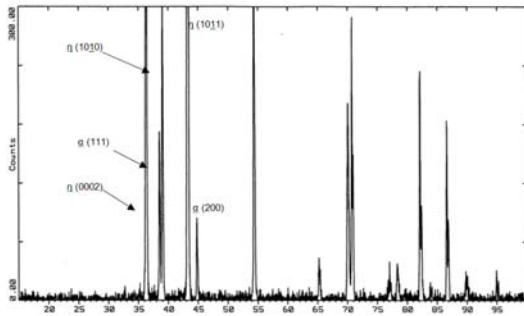
El cobre agregado a la aleación en cantidades superiores al 2 % genera compuestos intermetálicos<sup>[6, 7]</sup>, como la fase  $\xi$ ,  $\text{CuZn}_5$ , o  $\text{CuZn}_4$  y la fase  $\tau$ ,  $\text{Al}_4\text{-Cu}_3\text{-Zn}$ . También tiene efectos en la microestructura dendrítica y tipo perlita.

## 2. Desarrollo experimental

Los metales empleados: zinc, aluminio y cobre, fueron de calidad comercial con una pureza de 99.99 %. Se limpiaron las superficies de los materiales con una solución de alcohol etílico y ácido nítrico al 16.6 % para



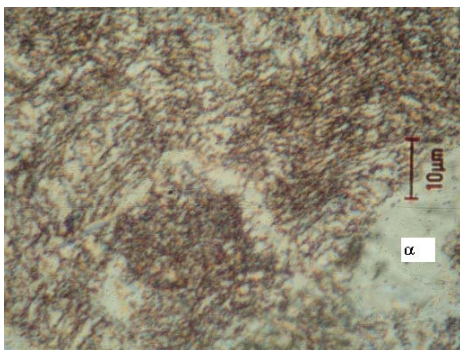
**Figura 1:** Diagrama de fases Zn – Al, el eutéctico se encuentra en el 78 % p de zinc.



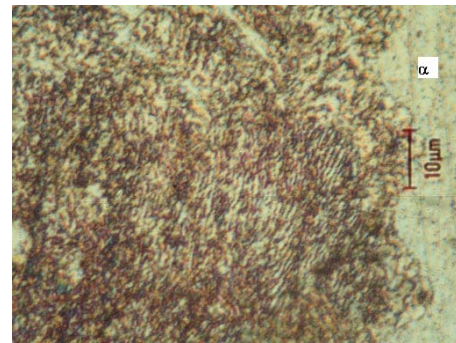
**Figura 2:** Diagrama de fases Zn – 22 % p Al – 2 % p Cu, sección vertical.



**Figura 3:** Micrografía de la muestra A 4, Zn - 22 % p Al, 60 horas de homogenización a 375 °C, no muestra estructura tipo perlita bien definida.



**Figura 4:** Micrografía de la estructura de homogenización a 375 °C, 100 horas, muestra A 5, Zn - 22 % p Al.



**Figura 5:** Muestra A 6, Zn - 22 % p Al, 120 horas de homogenización a 375 °C, estructura perlitica con fase  $\alpha$ .

eliminar las impurezas antes de ser fundidos. Se empleó un crisol de carburo de silicio tipo AT-3 con capacidad de un kilo. El crisol recubierto con pintura de circonio fue precalentado en una mufla a 700 °C, los metales fueron agregados en orden de peso, con un tiempo de espera de 35 minutos entre cada metal. Después de fundido el zinc la escoria fue eliminada y compensada la cantidad de metal extraído. Se mezcló cada aleación físicamente antes de ser colada en una lingotera, fabricada en acero inoxidable y recubierta con pintura de circonio.

Una vez enfriados los lingotes en aire tranquilo hasta una temperatura aproximada de 23 °C, se extrajeron y se cortaron en secciones transversales de cinco milímetros de espesor, se prepararon cinco muestras de la aleación Zn – 22 % p Al y, seis de Zn – 22 % p Al - 2 % p Cu. Para identificar cada probeta se colocó una marca en los tres lados de cada pieza, por medio de números y letras de golpe, colocando la letra A en la aleación binaria y B en la aleación con cobre.

Se identificó la estructura de solidificación y se sometieron las muestras a homogenización. Posteriormente se pulieron las caras de las muestras con lijas de grano 80, hasta el 2000 y finalmente con alúmina de 1 y 0.3 micras. Para revelar la estructura de la superficie se utilizó un ataque químico con una solución de alcohol etílico (18 ml), ácido fluorhídrico (1 ml pureza 48 – 61 %) y ácido clorhídrico (1 ml calidad industrial), durante cuatro segundos. La fotografía se realizó en un microscopio óptico Olympus. Para el análisis térmico diferencial se empleó un equipo TGA – DGT simultáneo, modelo DGT 60 marca SHIMADZU, se midieron dos gramos de cada una de las aleaciones A6 y B5, las probetas fueron sometidas a una velocidad de calentamiento y enfriamiento de 5° C por minuto, además, se practicó el análisis de rayos X en un difractómetro marca Siemens modelo D 500 con tubo de rayos X de cobre.

### 3. Resultados

Las aleaciones se sometieron a homogenización a 375 °C, al término de un periodo de 60 horas se realizó la primera observación de la microestructura presente, el

enfriamiento hasta la temperatura ambiente se realizó en forma lenta.

Se observa que la aleación binaria presenta rasgos muy marcados de estructura de colada, figura 3. No se han formado granos con microestructura tipo perlita bien definidos.

Por lo anterior se continuó el tratamiento por 40 horas más, en donde se observa que la aleación binaria contiene gran cantidad de fase  $\alpha$ , figura 4, y los granos presentan una estructura tipo perlita bien definida.

Después de analizar la microestructura se continuó el tratamiento de homogenización en la aleación Zn - 22 % p Al, muestra A 6, en la figura 5 se observa que no hay diferencias importantes en relación con la figura 4, por lo tanto se considera que en dicha aleación los cambios que por éste tratamiento pudieran generarse ya se han presentado, ó dichas transformaciones requerirían de un periodo de homogenización muy prolongado para presentarse. Por otra parte, la fase  $\alpha$  permanece sin modificación aún después de 120 horas.

En el caso de la aleación Zn - 22 % p Al - 2 % Cu después de un periodo de 60 horas se realizó la primera observación de la microestructura existente, como se observa en la figura 6 no se han formado granos con microestructura tipo perlita bien definidos.

La muestra B 5 permaneció por 40 horas más en el tratamiento de homogenización, se observa en la figura 7 que la aleación modificada con cobre alcanzó en 100 horas la microestructura deseada, de tipo perlita bien definida en sus granos, entonces se concluye que muy seguramente el cobre ha actuado a favor de la modificación de la microestructura.

Se realizó un análisis por difracción de rayos X en el que se verifica la presencia de las fases de zinc y aluminio principalmente, ver figura 8.

Observe en la figura 9 que a 393.14 °C y 404.17 °C ocurren transformaciones en forma endotérmica que corresponden a las señaladas en el diagrama de equilibrio, figura 2. La transformación a 289.86 °C durante el calentamiento y, a 248.40 °C en el enfriamiento no se muestra en el diagrama de equilibrio, ya que éste sólo presenta las transformaciones de fase por arriba de los 340 °C, sin embargo, debido a que en el análisis por difracción de rayos X se observan principalmente los picos correspondientes a las fases zinc,  $\eta$  y aluminio,  $\alpha$ ; las transformaciones registradas corresponden al sistema Zn - 22 % p Al - 2 % p Cu.

#### 4. Conclusiones

El cobre acelera la transformación de la microestructura de colada en estructura tipo perlita, durante la homogenización ya que la aleación modificada transforma su microestructura casi por completo en 100 horas, mientras que la aleación sin cobre presenta amplias regiones sin microestructura perlítica aún después de 120 horas de homogenización.

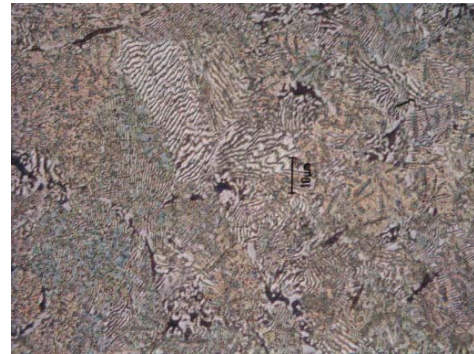


Figura 6: Muestra B 4, Zn - 22 % p Al - 2 % p Cu, 60 horas de homogenización a 375 °C, no muestra estructura tipo perlita bien definida.

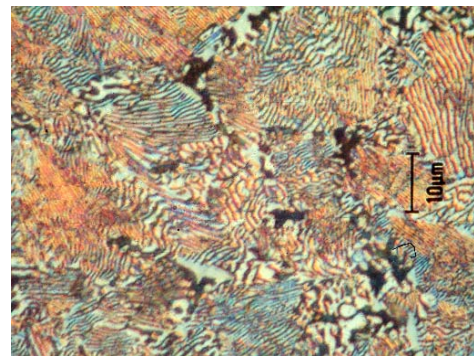


Figura 7: Muestra B 5, Zn - 22 % p Al - Cu 2 % p 100 horas de homogenización a 375 °C, estructura tipo perlita bien definida.

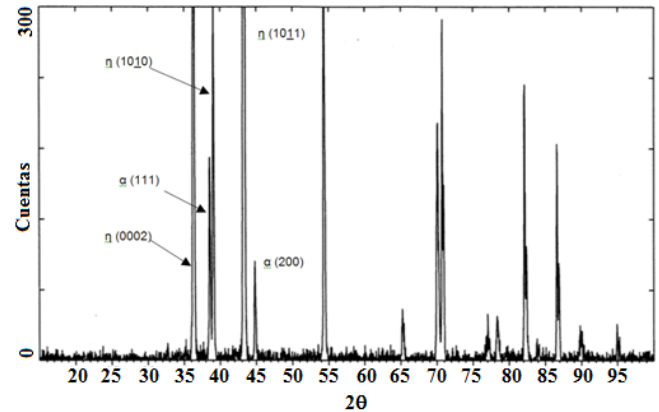


Figura 8: Difractograma de la muestra B5, se señalan los picos correspondientes a las fases de zinc,  $\eta$  y aluminio,  $\alpha$ ; tanto como del cobre.

Zn - 22 % p Al - 2 % p Cu (DTA)

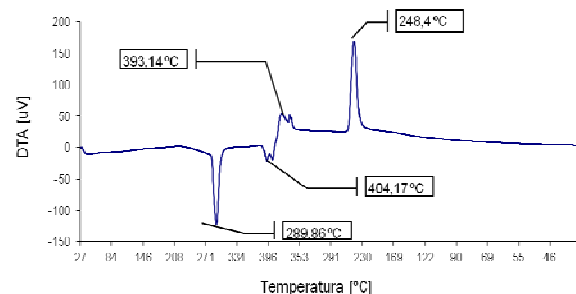


Figura 9: Análisis Térmico Diferencial, presenta los picos de transformaciones endotérmicas y exotérmicas que experimentó la muestra B5.

Al relacionar los resultados del análisis térmico diferencial practicado a las aleaciones, con su correspondiente diagrama de equilibrio, se verificó que la composición real de cada aleación es casi la teórica.

El análisis Térmico Diferencial pone en evidencia una transformación de fase entre los 248.4° C al enfriamiento y, los 289.8° C en el proceso de calentamiento que se practican en el experimento, esto puede deberse a la histéresis asociada a los procesos de enfriamiento y el calentamiento.

La aleación Zn – 22 % p Al – 2 % p Cu se localiza en el diagrama de fases, figura 2, muy cerca de la línea de transformación de la región (Al) + CuZn<sub>4</sub>, al efectuar la homogeneización a 375 °C, debido a que se reúnen las condiciones para la formación de la fase CuZn<sub>4</sub> el potencial químico asociado promueve difusión del zinc y el aluminio generando la microestructura tipo perlita.

## Referencias

- [1]. Rangel Lara, A. De Ita de la Torre, E. Aviña, .9<sup>a</sup> Reunión Nacional Académica de Física y Matemáticas, ESFM- IPN, Mayo 2004.
- [2]. J. A. Aragón, J. R. Miranda, A. S. De Ita. Información tecnológica **13**, 97 (2002).
- [3]. O. España, A. De Ita, A. Aragon, L. G. Flores, International Material Research Congress, August 27 – 31, 2000, Cancún, Quintana Roo, p 143.
- [4]. R. P. Elliot, Constitution of Binary Alloys, First Supplement (Mc Graw Hill, New York, 1965) p 64 – 66.
- [5]. F. W. Ling, D. E. Laughlin, Metallurgical Transactions **10A**, 921 (1979)
- [6]. B. J. Li, C. G. Chao, Metallurgical and Materials Transactions **30A**, 917 (1999).
- [7]. P. Villars, A. Prince, H. Okamoto, Al - Cu - Zn phase diagrams, Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams v. 3 (ASM 1995), p 3424.
- [8]. Sandoval Jiménez, J. Negrete, T. Villaseñor, Revista Mexicana de Física **46**, 361 (2000).
- [9]. Microstructure of Zinc and Zinc Alloys, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, Vol. 7, Metals Handbook, 9<sup>a</sup> edition, p 335 - 340.