

Distribuciones particulares de precipitados γ en una aleación CuZnAl

M.L. Castro¹, J. Pons², E. Cesari²

¹IFIMAT, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, 7000 Tandil, ARGENTINA; tel. + 54 2293 442821; Fax+ 54 2293 444190; mlcastro@exa.unicen.edu.ar

²Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, Ctra. de Valldemossa Km 7.5, E 07071 Palma de Mallorca, ESPAÑA

Existen numerosos tratamientos térmicos que permiten la formación de precipitados de fase γ en la fase β CuZnAl. Algunos de estos fueron utilizados con el objetivo de estudiar el efecto de los precipitados en la estabilización de la fase martensítica. En este trabajo se presentan algunas peculiaridades de las distribuciones de precipitados obtenidas.

Several thermal treatments are known to generate different distributions of γ phase precipitates in CuZnAl alloys. Some of these were used to study their effect on the martensite stabilization. In this work, we present the characteristics of the distributions of precipitates obtained.

Introducción

En la literatura se conocen varios tratamientos térmicos que permiten generar distintas distribuciones de precipitados de fase γ en aleaciones monocristalinas CuZnAl, con temperatura de transformación martensítica (M_s) por debajo de temperatura ambiente. Rapacioli y Chandrasekaran⁽¹⁾ estudiaron mediante microscopía electrónica de transmisión, aleaciones CuZnAl que habían sido tratadas a 1120 K, templadas a 273 K y a las que luego se les había realizado un calentamiento a 670 K por diferentes tiempos (entre 10 s y 3 min). Ellos encontraron que se habían formado precipitados de fase γ en la fase matriz β y que su tamaño aumentaba con el incremento del tiempo a 670 K. Este es uno de los procedimientos que permite obtener precipitados γ , existen otros⁽²⁾.

Se realizaron algunos de estos tratamientos en una aleación CuZnAl, con $M_s = 50^\circ\text{C}$, con la intención de estudiar el efecto que los precipitados tienen sobre la estabilización de la fase martensítica. En este trabajo no se presentan resultados acerca de los posibles efectos sobre la estabilización, sino que se realizará una descripción de las distribuciones de precipitados encontradas y se analizan los posibles mecanismos de formación de las mismas.

Procedimiento Experimental

Las muestras corresponden al monocristal de composición Cu-12.68 Zn- 17.67 Al (%at), con M_s (nominal) de 50°C . Los tratamientos térmicos a los que se sometieron, luego de un tratamiento de envejecimiento a 1120K, son:

T1 (tomado como referencia): templado en agua a 373K, y enfriado en el baño hasta temperatura ambiente.

T2: templado a 773K en baño de sales, seguido de templado a 70°C y enfriado en el baño hasta temperatura ambiente.

T3: templado a 273K, en mezcla de hielo y agua.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a calentamientos rápidos (FH) a 673 K; temperatura en la que permanecen por tiempos variables (entre 10 y 100 s) antes de ser templadas en una mezcla de hielo y agua a 273K.

Para caracterizar la distribución de precipitados, se cortaron y prepararon muestras para realizar observaciones con microscopía óptica (MO) y electrónica de barrido y transmisión (SEM, TEM). Además, se realizaron algunas experiencias específicas que se describirán en el texto.

El grado de estabilización de la fase martensítica es cuantificado mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), evaluando la diferencia en la temperatura de pico de la curva de re-transformación martensita/ β en dos ciclos calorimétricos consecutivos. En el primer calentamiento a alta temperatura se recupera la fase β y con ello, las temperaturas "normales" de la transformación martensítica.

Resultados

Los ensayos calorimétricos realizados a las muestras luego de los distintos tratamientos térmicos revelan la presencia de un corrimiento de la curva correspondiente a la primera transformación martensita/ β , con respecto a las siguientes. Este corrimiento es indicativo del grado de estabilización de la fase martensítica. En la Figura 1 se presenta el 1° y 2° ciclo de re-transformación para las muestras sometidas a T1, T2 y T3. Como puede observarse además del corrimiento del pico (mayor para T3, menor para T1), existe también una "deformación" del primero de ellos para el caso de T2 y

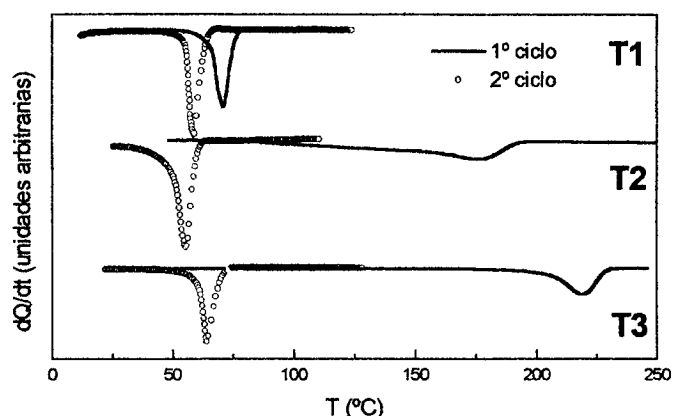


Figura 1: Curvas calorimétricas de muestras con distintos tratamientos térmicos, sin envejecimiento en martensita.

T3: se extienden en un amplio rango de temperatura. Este es un comportamiento típico de aquellas muestras que experimentan estabilización durante el templado; las que estabilizan por envejecimiento en martensita presentan un corrimiento del pico pero no un cambio de forma⁽³⁾. Por lo tanto, las muestras sometidas a T2 y T3 estabilizan mucho más que aquellas sometidas al tratamiento térmico T1.

Las observaciones microscópicas revelan la presencia de pequeños precipitados sólo en el caso de las muestras con T2, similares a los precipitados de fase y encontrados en aleaciones con Ms por debajo de ambiente⁽¹⁾; en los otros casos, solo se observa martensita 18R.

Las muestras fueron observadas nuevamente luego de efectuados los tratamientos térmicos consistentes en calentamientos rápidos (FH) a 673 K, encontrándose distintas distribuciones de precipitados. En las muestras sometidas previamente a T1, los precipitados obtenidos están distribuidos homogéneamente, como es el caso observado en las aleaciones CuZnAl con temperaturas de transformación martensítica (Ms) por debajo de temperatura ambiente. Como puede observarse en la Figura 2, hay algunos precipitados de tamaño mayor (aproximadamente 2 μm) y otros menores con tamaños cercanos a los 0.6 μm .

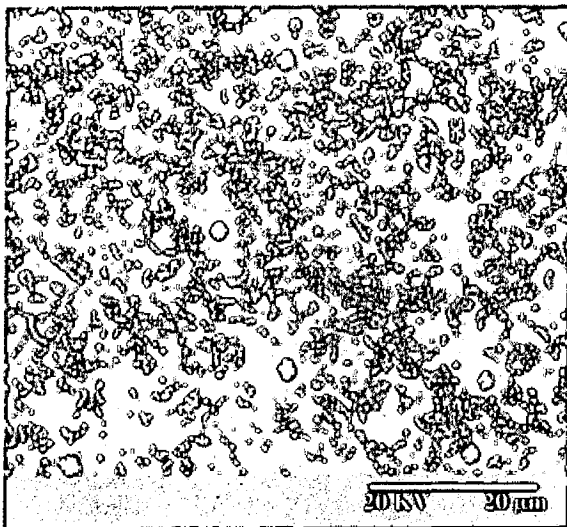


Figura 2: Micrografía SEM correspondiente a una muestra tratada térmicamente con T1 y posteriormente, con un FH de 100 s.

Sorprendentemente cuando los FH son realizados en las muestras con tratamientos térmicos previo T2 o T3, la distribución de precipitados obtenida muestra una distribución particular: los precipitados se encuentran mayormente alineados; hay también algunos dispersos, generalmente de mayor tamaño que los primeros. Como puede verse en la Figura 3, los precipitados alineados "dibujan" placas de martensita; ellos parecen estar localizados en las interfaces martensita/martensita y en direcciones coincidentes con las de plano basal de la martensita. En la Figura 3 (inferior) puede observarse que las distribuciones de precipitados alineados son densas y se encuentran a lo largo de líneas de aproximadamente

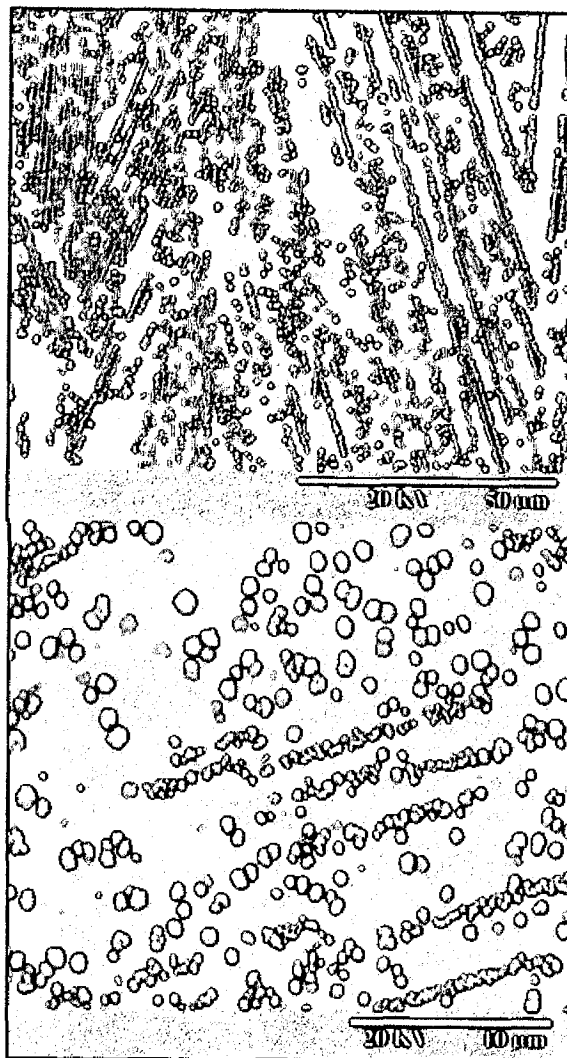


Figura 3: Micrografía SEM de una muestra con tratamiento térmico T3, seguido de FH de 100 s. Inferior: Micrografía con mayor aumento, de una zona de la micrografía superior.

0.4-0.5 μm de espesor, y que su tamaño es del orden de 0.2-0.4 μm . El tamaño de los precipitados dispersos es aproximadamente 0.6-0.7 μm . Se realizaron observaciones con microscopía óptica, antes y después de realizados los FH. En la Figura 4 se muestra el caso de una muestra sometida a T3 (izquierda) y luego a un FH de 40 s (derecha). Ambas Figuras corresponden a la misma zona de la muestra, y confirman que la mayoría de los precipitados se ubican en los bordes martensita/martensita existentes antes de los calentamientos rápidos.

Se realizaron experiencias adicionales que consistieron en calentar una muestra con tratamiento térmico T3 en el interior del calorímetro hasta una temperatura exactamente por debajo de A_s (temperatura de inicio de la transformación martensita/ β) y mantenerla allí por 2h. Las observaciones mediante TEM revelan la presencia de pequeños precipitados con tamaño de aproximadamente 0.03 μm , situados a lo largo de los bordes de las placas de martensita y en la dirección del plano basal; también se observan numerosas interfaces sin precipitados. M. De Graef et al.⁽⁴⁾ observaron un tipo



Figura 4: Micrografías ópticas correspondientes a la misma zona de una muestra tratada térmicamente con T3 (izquierda), y luego de un tratamiento térmico de FH de 40 s (derecha)

similar de precipitación en martensita CuZnAl estabilizada luego de envejecimientos prolongados, y los análisis de difracción efectuados indicaron que estos precipitados están estrechamente relacionados con precipitados de fase γ_2 . Teniendo en cuenta que durante los calentamientos rápidos, las muestras pasan en martensita un tiempo mucho más pequeño que 2 h, los precipitados sólo pueden nuclear en la martensita estabilizada, debido al incremento de As, para luego crecer en la fase β . Esto es corroborado con lo observado en el caso de aquellas muestras que habían sido tratadas previamente con T1, no hay nucleación de precipitados en la martensita debido a que el rango de temperaturas en el cual existe martensita estabilizada es mucho menor, entonces estos precipitados nuclean y crecen en la fase β .

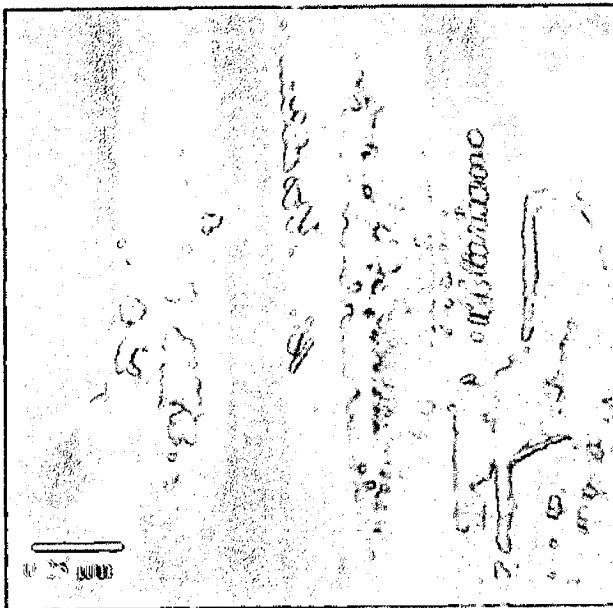


Figura 5: Micrografía TEM correspondiente a una muestra con tratamiento térmico T3 y luego tratada isotérmicamente a 190°C durante 2 h.

La distribución de precipitados a lo largo de los bordes de las placas de martensita que existen antes de los calentamientos rápidos, así como a lo largo del plano basal de ciertas placas de martensita, indican que la

configuración atómica cerca de estas regiones es favorable para la formación de un núcleo, que luego puede crecer durante el calentamiento. La estabilización es considerada como consecuencia de un proceso de reordenamiento en la martensita, y se sugiere que es asistida por la alta concentración de vacancias retenidas en el templado^(5,6). El exceso de vacancias puede difundir hacia la superficie, hacia los bordes de las placas de martensita o hacia distintos tipos de fallas de apilamiento o dislocaciones presentes en la martensita. Los precipitados de fase γ requieren de la presencia de vacancias para su formación⁽⁷⁾, por lo que estos sitios se convierten en lugares preferenciales.

Conclusiones

En las muestras con martensita estabilizada, durante los calentamientos rápidos posteriores, los precipitados nuclean en la fase martensítica y luego crecen en la fase β .

Las interfaces martensita/martensita, en la martensita estabilizada, son sitios preferenciales de nucleación de los precipitados γ .

El exceso de vacancias retenidas en las interfaces martensita/martensita de la martensita estabilizada, y los reordenamientos atómicos responsables de la estabilización de la martensita facilitan la nucleación de los precipitados γ .

Referencias

- (1) R. Rapacioli, M. Chandrasekaran: Proc. Int. Conf. On Martensitic Transformations (Candbridge MA, USA, 1979), 596.
- (2) R. Rapacioli, M. Chandrasekaran, F. Lovey: Proc. Int. Conf. On Solid-Solid Phase Transformations (Pittsburgh, USA, 1981), 739.
- (3) C. Segui Scripta Mat. 32 (1995), 565.
- (4) M. De Graef, J. Van Humbeeck, M. Andrade, L. Delaey: Scripta Met. 19 (1985).
- (5) L. Delaey, T. Suzuki and J. Van Humbeeck: Scripta Metall. 18 (1984), 899.
- (6) J. Janssen, J. Van Humbeeck, M. Chandrasekaran, N. Mwamba and I. Delaey: Journal de Physique C4-43 (1982), 639.
- (7) F. Lovey, R. Rapacioli, M. Chandrasekaran: phys.stat.sol (a) 68, K105 (1981).