

TRANSFORMACION MARTENSITICA EN β Cu-Zn-Al CON $e/a > 1.50$

Adela Cuniberti y Ricardo Romero ⁽¹⁾

Instituto de Física de Materiales Tandil - IFIMAT, Facultad de Ciencias Exactas,
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, 7000 Tandil

(1) Investigador CICPBA.

La transformación martensítica en monocristales β Cu-Zn-Al con $e/a > 1.50$ inducida por tracción ha sido estudiada en detalle no existiendo hasta el momento información acerca de las transformaciones que ocurren cuando la dirección de la carga aplicada es en compresión. En este trabajo se presentan las diferencias observadas en ciclos pseudoelásticos realizados por compresión uniaxial respecto de los obtenidos por tracción y se discute la posibilidad de transformación a fase 18R o 2H.

The martensitic transformations of β Cu-Zn-Al single crystals with $e/a > 1.50$ induced by tension has been studied in detail but there not exist information up to now about the transformations that occur when the applied load is compressive. In this work there are reported the observed differences in pseudoelastic cycles realized by compression compared with that obtained by tension and the possible transformation to 18R or 2H phase is discussed.

Introducción

Las transformaciones de fase de monocristales Cu-Zn-Al con concentración electrónica mayor que 1.48 han sido estudiadas en detalle mediante ensayos de tracción uniaxial ⁽¹⁾⁽²⁾. A partir de un monocristal β con $e/a > 1.50$ es posible inducir por tracción las fases 18R y/o 2H. La fase 18R se induce a temperatura mayor que aproximadamente $M_s + 20K$ y los ciclos tensión-deformación son similares a aquellos para $e/a = 1.48$, tanto en la relación tensión crítica-temperatura como en la pequeña histéresis en tensión. A temperatura menor que $T \approx M_s + 20K$ la fase que se induce es 2H y los ciclos pseudoelásticos se caracterizan por presentar un yield point importante y discontinuidades en la tensión durante el resto de la transformación, además de gran histéresis en tensión.

Mientras existe amplio conocimiento acerca de las transformaciones martensíticas inducidas por tracción no había experiencia previa en monocristales con concentración electrónica mayor que 1.50 acerca de la transformación inducida por compresión. En este trabajo se presenta un estudio de las transformaciones de fase que se inducen por compresión mediante observaciones "in situ" y ciclos pseudoelásticos β - martensita a distintas temperaturas. Se establecen las similitudes y diferencias que se observan entre ensayos de tracción y compresión.

Arreglo experimental

En la Tabla 1 se detalla la composición de los monocristales utilizados.

Tabla 1: Aleaciones utilizadas

M	%at Zn	%at Al	e/a
P3	8.18	21.41	1.51
P2	8.54	21.75	1.52
P1	6.41	23.51	1.53

La orientación del eje tensil se determinó por técnica de Laue. Se prepararon por electroerosión

probetas cilíndricas, $l \approx 11mm$ y $d \approx 4mm$. Previo a los ensayos las muestras fueron homogeneizadas a 1073K, templadas en agua y envejecidas a temperatura ambiente para que se recupere el orden ⁽¹⁾.

Los ensayos de compresión fueron realizados en una Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph DSS-10T-S, la velocidad de deformación fue $\dot{\epsilon} \approx 8 \cdot 10^{-4} s^{-1}$.

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestran ciclos tensión-deformación obtenidos para una muestra del monocristal P2, $e/a = 1.52$, sometida a ciclos pseudoelásticos por compresión uniaxial a distintas temperaturas. A la mayor temperatura se encuentra que, alcanzada la tensión crítica, la transformación procede en forma continua; a la temperatura menor el ciclo de transformación presenta serraciones abruptas sucesivas en la tensión; en este aspecto los ciclos pseudoelásticos por compresión resultan similares a los obtenidos por tracción a temperaturas mayor y menor que $M_s + 20K$ respectivamente. Se observa sin embargo que existe una marcada diferencia en cuanto a la histéresis en tensión entre los ciclos pseudoelásticos obtenidos por tracción y compresión; mientras los ciclos a $T > M_s + 20K$, transformación a fase 18R, en tracción presentan histéresis pequeña, del orden de 3MPa, en compresión la histéresis es muy superior y en muchos casos no se observó la retransformación, quedando retenido el monocristal martensítico.

Un monocristal de la aleación P1, M_s (teórica) = 183K, fue sometido a compresión a temperatura $T = 290K$, en este caso se observó la retransformación midiendo una histéresis del orden de 80MPa equivalente a $A_f - M_s \approx 80K$. Estos valores de histéresis son realmente anómalos en ciclos de transformación a fase 18R, tanto en compresión como tracción. De acuerdo con ensayos en tracción la histéresis es alta cuando se induce fase 2H y esto llevaría a suponer que por compresión la fase que se induce es 2H aún a temperaturas consideradas altas para ciclos de tracción.

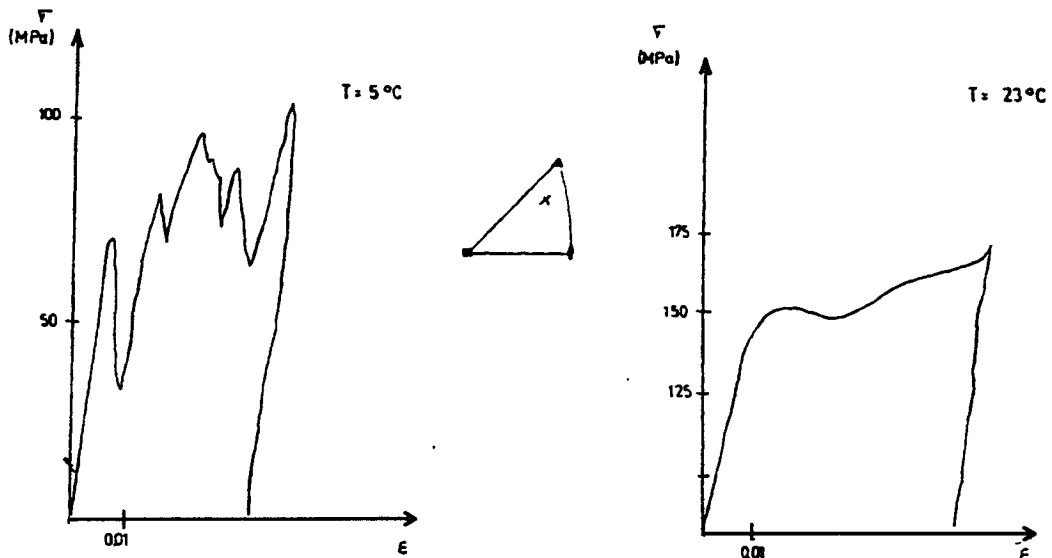


Figura 1: Ciclos pseudoelásticos obtenidos por compresión.

De los ciclos pseudoelásticos $\beta \rightarrow$ martensita se obtuvo la temperatura de transformación espontánea a fase 18R M_s a partir de la relación entre la tensión crítica de transformación τ_s y la temperatura T ⁽³⁾:

$$M_s = T - \left(\frac{d\tau}{dT} \right) \tau_s \text{ con } \frac{d\tau}{dT} = \frac{\Delta S}{V \gamma} \quad (1)$$

donde ΔS es el cambio de entropía, V es el volumen molar y γ es la deformación asociada a la transformación, estas magnitudes son función de la composición y fueron calculadas de acuerdo con la Referencia (3). En la Tabla 2 se presentan los valores promedio obtenidos de acuerdo con la ecuación (1) $M_{s_{exp1}}$, a efectos comparativos se indica $M_{s_{exp2}}$ determinada mediante mediciones de resistividad eléctrica en ciclos de calentamiento y enfriamiento de monocristales obtenidos de las mismas aleaciones ⁽¹⁾.

Se encuentra un buen acuerdo entre ambos valores obtenidos suponiendo una transformación a fase 18R, la diferencia para P1 puede atribuirse en principio a diferencias de composición entre los monocristales.

Tabla 2: Temperaturas de transformación $\beta \rightarrow 18R$

	%at Zn	%at Al	e/a	$M_{s_{exp1}}$	$M_{s_{exp2}}$
P3	8.18	21.41	1.51	306K	306K
P2	8.54	21.75	1.52	260K	263K
P1	6.41	23.51	1.53	208K	271K

El monocristal P2 de la Figura 1 fue sometido a compresión mediante una prensa manual mientras que se observó una zona de la muestra con un microscopio óptico, Foto 1. La muestra se sometió a igual tratamiento térmico que las anteriores; el ensayo se realizó a

temperatura $M_s + 39K$. Con la compresión se observó sobre la superficie la formación de bandas finas y paralelas, Foto 1 (a), que al disminuir la carga desaparecen por completo; al aumentar la carga se observa la aparición de otras interfases no rectas con distinta orientación que las anteriores, Foto 1 (b), esta Foto fue obtenida durante la descarga y puede notarse cómo estas últimas zonas quedan retenidas mientras que las placas paralelas desaparecen. Esta observación sugiere que las primeras bandas que se forman son de fase 18R, la morfología de

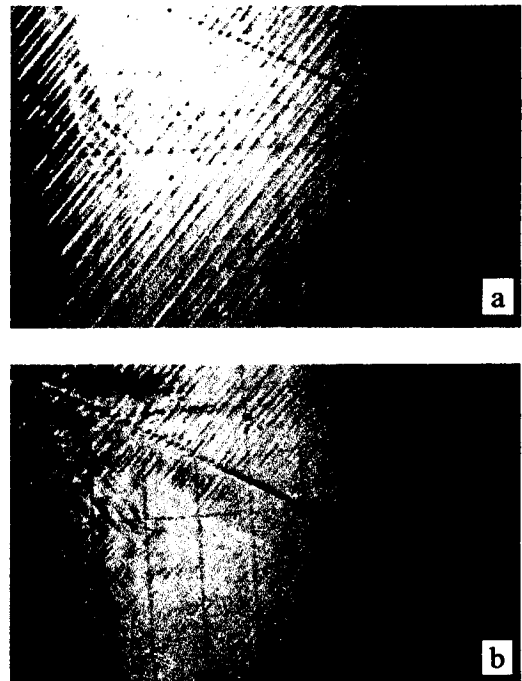


Foto 1: Micrografías obtenidas durante la compresión de un monocristal P2. (40x)

bandas rectas y paralelas y el hecho de desaparecer completamente con la descarga se corresponde con el mecanismo normal de transformación y retransformación de esta martensita. La nueva fase que aparece al aumentar la carga no sería entonces 18R. La aparición de placas de 18R y posterior crecimiento de 2H es el mecanismo observado en ciclos pseudoelásticos por tracción a temperaturas menores de M_s+20K ⁽²⁾ aunque la interfase sería recta.

Tras la transformación $\beta \rightarrow 2H$ por tracción se producen cambios irreversibles en el material que permanecen aún después de un tratamiento de homogeneización a $800^\circ C$ y llevan a una disminución importante de la tensión para ir de β a martensita nuevamente (tanto 18R como 2H) ⁽¹⁾; en ciclos pseudoelásticos sucesivos por compresión tras ciclos a $T-M_s < 25K$ no se observó tal comportamiento sino que las tensiones de transformación fueron las esperadas para la temperatura de ensayo según la ecuación (1).

En la Figura 2 se indican los sistemas de deslizamiento observados para la transformación a fase 18R y 2H en monocristales con $e/a > 1.50$ sometidos a tracción según un eje cercano al centro del triángulo fundamental T, orientaciones comparables a las de las muestras ensayadas por compresión con eje en C.

P_1, d_1 es el sistema de deslizamiento martensítico $\beta \rightarrow 18R$; el polo indicado como A corresponde a la interfase con que avanza la fase 2H a expensas de fase β y placas de 18R ⁽²⁾; otros sistemas observados para la transformación a 2H son P_2, d_2 (variante 1) y P_3, d_3 (variante 2) ⁽⁴⁾, si bien para orientaciones del eje alejadas del $[100]_\beta$ la variante 2 es la más favorecida por el factor de Schmid el maclado más probable corresponde a la variante 1 y esta es la observada en mayor proporción, la relación de orientación con la fase 18R es:

Variante 1: $[100]_{2H} // [100]_{18R} \quad [010]_{2H} // [010]_{18R}$
 $[001]_{2H} // [001]_{18R}$

Variante 2: $[100]_{2H} // [001]_{18R} \quad [010]_{2H} // [010]_{18R}$
 $[001]_{2H} // [100]_{18R}$

De acuerdo con la Figura 2 se encuentra que, para las orientaciones del eje tensil de las muestras ensayadas, la transformación a 18R es la más favorecida, el factor de Schmid es similar para ambas variantes de 2H aunque si se considera lo observado para tracción la variante 1 sería más favorecida; para el sistema con interfase en A no puede calcularse el factor de Schmid ya que la dirección no se conoce, el ángulo entre A y un eje en C resulta sólo desfavorable para orientaciones cercanas al $(111)_\beta$.

Este análisis tampoco permite decidir acerca de la ocurrencia de una u otra transformación. Mediante microscopía electrónica o rayos X podría identificarse con precisión la fase que se induce y la relación cristalográfica con la fase β matriz.

Conclusiones

Se encontraron diferencias marcadas entre los ciclos pseudoelásticos inducidos por tracción y compresión para $e/a > 1.50$:

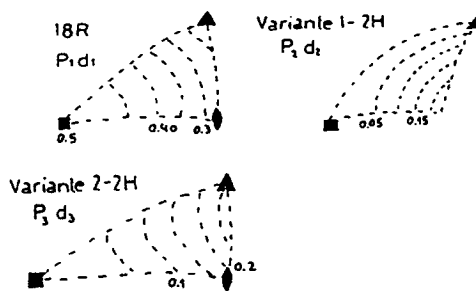
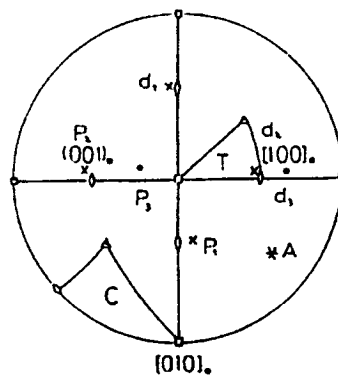


Figura 2: Proyección estereográfica de fase β y líneas de igual factor de Schmid para la transformación por compresión según un eje en el triángulo C (ver texto).

- En todo el rango de temperaturas existe una gran histéresis en tensión, en una muestra se midió un $\Delta t = 80MPa$.

- Mediante observaciones "in situ" se encontró que primero se forman bandas rectas y paralelas que desaparecen con la descarga características de 18R, al aumentar la carga aplicada aparecen zonas de otra fase con interfase irregular que quedan retenidas tras la descarga.

- A diferencia de lo que ocurre tras inducir fase 2H por tracción, la fase martensítica que se induce por compresión a temperaturas similares no produce cambios irreversibles en el material.

Las observaciones anteriores no permitirían asegurar cuál es la fase que queda retenida. El alto valor de histéresis en tensión de los ciclos pseudoelásticos y el hecho de no observarse una interfase β -martensita bien marcada sugiere que la fase que queda retenida por compresión no sería 18R y podría corresponder a 2H, aún a temperaturas consideradas altas para tracción.

Agradecimientos. Agradecemos al Dr. J. L. Pelegrina de la División Metales-Centro Atómico Bariloche, quien proveyó los monocristales utilizados en este trabajo.

REFERENCIAS

- 1 J. Pelegrina, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Cuyo (1990).
- 2 J.L. Pelegrina y M. Ahlers, Acta Metall. Mater. 38 (1990), 293.
- 3 R. Romero y J.L. Pelegrina, Phys. Rev. B 50 (1994), 9046.
- 4 J.-E. Bidaux y M. Ahlers, Z. Metallkde. 83 (1992), 310.