

EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE UN ACERO Fe-Mn-Si-Cr-Ni CON MEMORIA DE FORMA SOMETIDO A ECAE Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Ana V. Druker (1,2), Alberto Baruj (3,4), Lucio Isola (1,2), Valeria Fuster (1,2), Jorge Malarria (1,2)

(1) Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR), Bv. 27 de Febrero 210 bis, 2000 Rosario, Argentina. (2) Facultad de Cs. Ex., Ingeniería y Agrimensura (UNR), Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina. (3) Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Av. Ezequiel Bustillo 9500, 8400 S. C. de Bariloche, Argentina. (4) Instituto Balseiro (UNCuyo), Av. Ezequiel Bustillo 9500, 8400 S. C. de Bariloche, Argentina.
Email: baruj@cab.cnea.gov.ar

Los aceros con memoria de forma basados en el sistema Fe-Mn-Si son de interés práctico por su bajo costo y posible utilización en acoples de tubos y refuerzo de estructuras [1]. En estos materiales, el efecto memoria de forma (EMF) está relacionado con la transformación martensítica inducida por tensión entre una austenita fcc y una martensita hcp. En los últimos años se ha registrado un fuerte interés por mejorar sus propiedades de memoria de forma. Entre otras posibilidades, se ha analizado el efecto del agregado de distintos aleantes, de la inclusión de precipitados y de diversos tratamientos termomecánicos. En particular, se ha encontrado que puede obtenerse un excelente EMF en la aleación Fe-15Mn-5Si-9Cr-5Ni ya sea introduciendo precipitados o realizando tratamientos termomecánicos [2].

La extrusión por canal angular de sección constante (ECAE, por la sigla del inglés "Equal Channel Angular Extrusion"), es un método que permite introducir deformaciones muy severas en un material. Considerando que ha sido posible mejorar el EMF de estas aleaciones combinando procesos de deformación plástica (laminado) con un tratamiento térmico posterior, resulta de interés estudiar los efectos de combinar el procedimiento de ECAE con distintos tratamientos térmicos. En ese sentido, en este trabajo se investiga el efecto de la deformación plástica severa sobre las propiedades de EMF de la aleación Fe-15Mn-5Si-9Cr-5Ni. Para ello se analiza la evolución de las fases cristalinas, la microestructura y las propiedades de recuperación de forma luego del proceso de ECAE y tras diferentes tratamientos térmicos.

La aleación Fe-15Mn-5Si-9Cr-5Ni fue preparada a partir de la fundición de materia prima de calidad comercial en horno de inducción bajo protección de argón, y colada en molde de arena. El espécimen para ECAE, una palanquilla de base cuadrada de 600 mm de longitud y 7 mm de lado, fue maquinado por fresado a partir de una sección del lingote. La extrusión se realizó a 250°C utilizando un canal con un ángulo de 120°, a una velocidad de extrusión de 4 mm/min aplicando una carga de 40 kN, y se interrumpió cuando unas 4/5 partes del bloque habían atravesado el ángulo del canal. A partir de este estado se tomaron muestras que fueron estudiadas en estado deformado (ED), y tras tratamientos a 800°C (E8), a 900°C (E9) y a 1000°C (E10). Para inducir la transformación martensítica, las muestras fueron comprimidas 4% en una máquina Instron 3362 y luego retransformadas en un dilatómetro. Los resultados se correlacionaron con observaciones de microscopía óptica (OM- PME3 Olympus) y electrónica de transmisión (TEM- Philips CM200 con un potencial de aceleración de 200 kV).

La Fig. 1a muestra que el paso por el canal no destruyó la estructura de solidificación original, de tamaño de grano promedio 210 µm. El esfuerzo de extrusión indujo la formación de martensita que aparece como líneas curvas en varias direcciones. Luego del tratamiento térmico por 30' a 900°C (Fig. 1b) se observan granos austeníticos de 18 µm promedio, evidenciando efectos de recristalización. A 1000°C, los granos crecieron hasta 53 µm.

Las imágenes TEM muestran que en la microestructura del material ED coexisten zonas con alta densidad de dislocaciones, con fallas de apilamiento en varias direcciones y placas de martensita hexagonal (Fig. 2a). El recocido a 800°C propició la incipiente recristalización. Pequeños núcleos, alineados formando cadenas, contienen fallas de apilamiento en su interior. A 900°C el material aparece completamente recristalizado, en tanto que, luego del recocido a 1000°C (E10) se observan granos relativamente limpios de dislocaciones donde solamente sobreviven algunas fallas de apilamiento (Fig. 2b) y placas de martensita delgadas.

4° Congreso de la Asociación Argentina de Microscopía (SAMIC 2016)

Entre los casos estudiados, las imágenes que se han seleccionado corresponden a las condiciones que presentaron un EMF extremo. La muestra ED recuperó sólo el 20% de la deformación aplicada, en tanto E10 es la que presenta mejor recuperación de forma, del orden del 64% para una deformación inicial cercana al 4%.

En conclusión, el proceso de ECAE introduce deformación plástica en la matriz de las aleaciones en forma de bosques de dislocaciones, fallas de apilamiento y martensita hcp. El material recristaliza para tratamientos térmicos a temperaturas superiores a los 800°C. El mejor EMF se encontró en muestras tratadas a 1000°C.

REFERENCIAS

[1] Kajiwara S. et al., (2003) “Low-cost high-quality Fe-based shape memory alloys suitable for pipe joints” SPIE 5053:250-261

[2] Druker A. et al., (2011) “Heat Treatments of Fe-Mn-Si Based Alloys: Mechanical Properties and Related Shape Memory Phenomena”, *J. ASTM International*, Vol. 8, No. 4:1-9. Paper ID JAI103399

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. H. Bernardi y la Dra. K. Käfer por el procesamiento ECAE realizado en ITA, Brasil.

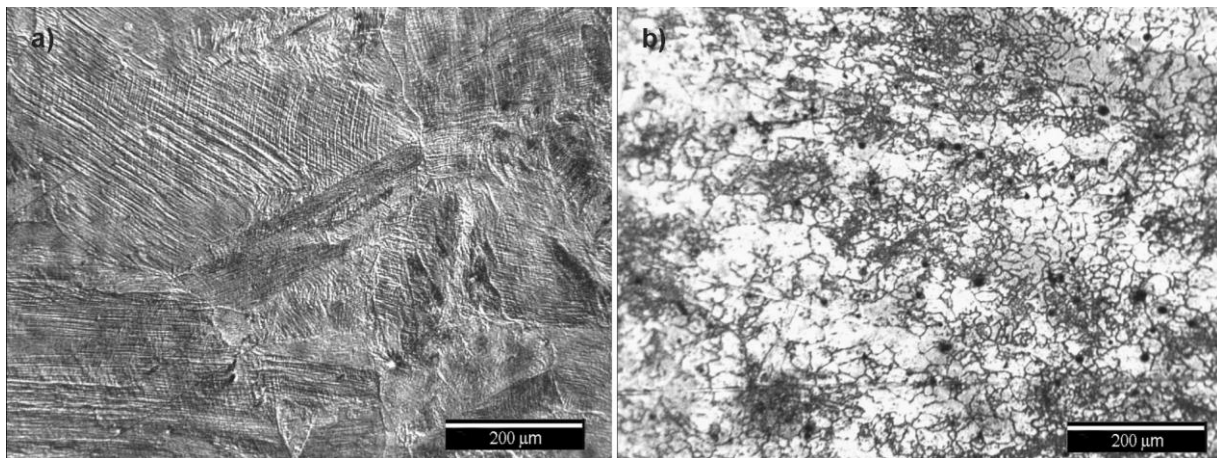


Fig. 1: Imágenes de OM. a) Material ED, tras compresión de 3.2%. b) Material E9 (30' a 900°C).

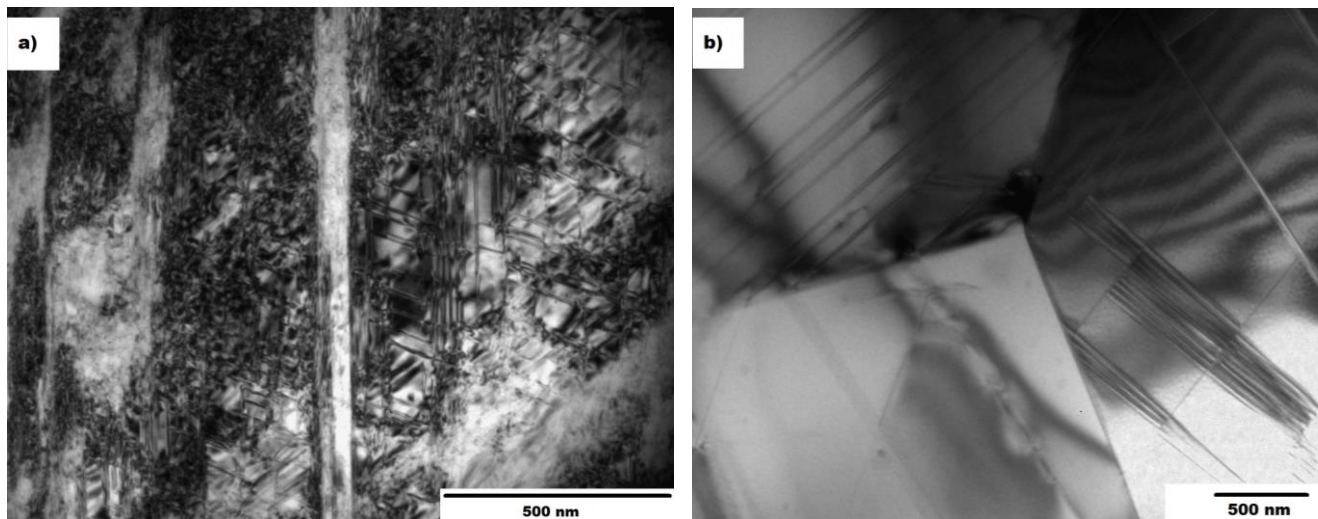


Fig. 2: Imágenes de TEM. a) Material ED. b) Material E10.