

Dependencia de la Subestructura de Dislocaciones con la Temperatura en Zircaloy-4 deformado ciclicamente

G. MOSCATO, M. AVALOS, I. ALVAREZ-ARMAS Y A.F. ARMAS
INSTITUTO DE FÍSICA ROSARIO, CONICET
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
BV. 27 DE FEBRERO 210 BIS, 2000 ROSARIO, ARGENTINA

Introducción

Zircaloy-4 es una aleación de importancia en la tecnología nuclear. Debido a ello es muy importante entender los mecanismos fundamentales que ocurren durante la fatiga de dicho material.

Es sabido que materiales completamente recocidos usualmente endurecen durante ensayos cíclicos de tensión y/o deformación. Sin embargo, la aleación Zircaloy-4 presenta diferentes tipos de comportamiento según cual sea la temperatura del ensayo.

Si bien la correlación de la subestructura desarrollada con el comportamiento cíclico ha sido uno de los temas mas importantes en las investigaciones sobre fatiga, poco es lo que se ha encontrado en la literatura referente a dicha correlación en este material.

El objetivo del presente trabajo consiste en caracterizar las estructuras de dislocaciones observadas en probetas de Zircaloy-4 fatigadas dentro del rango que va entre temperatura ambiente y 873K.

Procedimiento Experimental

Probetas de fatiga de bajo número de ciclos fueron maquinadas a partir de barras de Zircaloy-4 con la siguiente composición química (en wt.%): Sn-1.37, Fe-0.14, Cr-0.10, C-0.01, O-0.14, N-0.004, H-20 ppm, Zr-balance. El tamaño de grano promedio fue de 20 μm .

Se realizaron ensayos cíclicos controlados por deformación total usando una forma de onda triangular en una máquina Instron modelo 1362.

El rango de deformación total usado fue $\Delta\epsilon_t = 0.01$ y la velocidad de deformación total $\dot{\epsilon}_t = 2 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$. Los ensayos, comenzados siempre en tracción, se realizaron en aire en un rango de temperaturas que va de temperatura ambiente hasta 873 K.

Con el fin de relacionar el comportamiento mecánico con la estructura de dislocaciones de los especímenes fatigados, se prepararon láminas delgadas a partir de secciones cortadas perpendiculares y, en algunos casos, paralelas al eje de tracción. Los discos obtenidos fueron electropulidos con una unidad Tenupol. Como electrolito se usó una solución de 10% de ácido perclórico, 35% de n-butanol y 55% de metanol. La subestructura de dislocaciones fue estudiada con un microscopio electrónico de transmisión Philips EM 300 operado a 100 kV.

Resultados y Discusión

La figura 1 muestra el comportamiento cíclico del Zircaloy-4 para las temperaturas 300, 573, 713 y 873K. De estas curvas se desprende que durante el ciclado del material actúan diferentes tipos de mecanismos según cual sea la temperatura de ensayo.

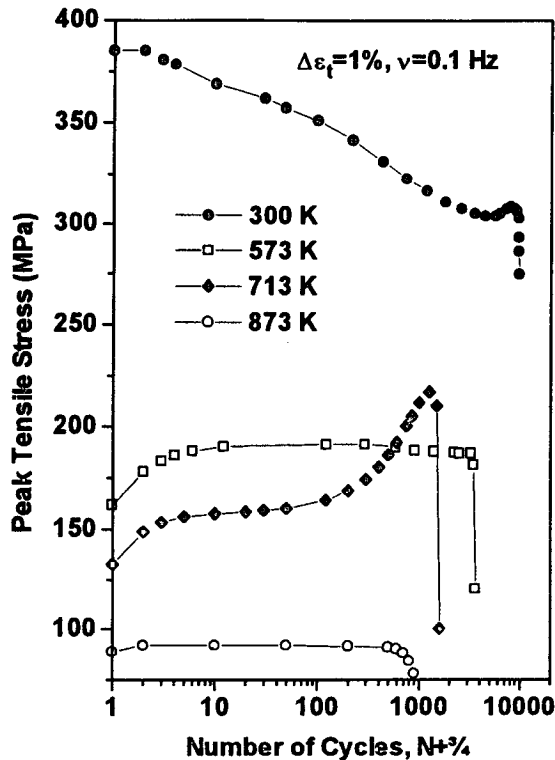


Figura 1

Desde temperatura ambiente (curva de 300K) y hasta 473K el comportamiento cíclico presenta un pronunciado ablandamiento cíclico hasta llegar a la saturación que ocupa casi el 80% de la vida de la probeta. En esta etapa se insinúa un leve endurecimiento que culmina con la aparición de la fractura. La microestructura presente en estos casos, Figura 2, se caracteriza por una baja densidad

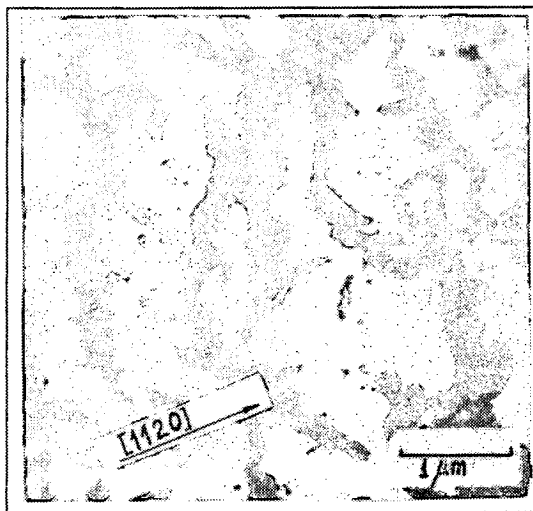


Figura 2

de dislocaciones dispuestas en forma de "atados", orientados perpendicularmente a la dirección de deslizamiento primaria. Es evidente que el proceso de aniquilación de dislocaciones es predominante.

A temperaturas intermedias, entre 573 y 823K, las curvas presentan un rápido endurecimiento durante los primeros ciclos de vida, seguido por una etapa que, a 573K, es de saturación. Sin embargo, a partir de esta temperatura, esta etapa se comporta en forma lineal con el número de ciclos según una relación del tipo:

$$\sigma = a + bN \quad (\text{con } \sigma \text{ en MPa}),$$

[1]. En este caso la subestructura de dislocaciones es muy densa y se ha encontrado la activación de, al menos, tres sistemas de deslizamiento, uno de los cuales es del tipo $\langle c+a \rangle$. Esta región de temperaturas no se caracteriza por una única estructura de dislocaciones. La estructura que ha de predominar dependerá del grado de deformación que adquiere el grano en el cual se desarrolló. De este estudio se puede extraer en conclusión que las posibles estructuras encontradas, "paredes bidimensionales", "laberintos" y "atados" de dislocaciones, aparecen, para las condiciones mecánicas utilizadas, sólo dentro del rango de temperaturas intermedias. Las Figuras 3, 4, y 5 muestran ejemplos de las diferentes subestructuras observadas en esta región intermedia de temperaturas. En cada una de ellas se especifican las direcciones cristalográficas y la traza de los planos más importantes.

A 873 K la subestructura observada se presenta nuevamente con una densidad relativamente baja de dislocaciones, Figura 6. Por el comportamiento mecánico y la subestructura observados a esta temperatura se puede deducir que los mecanismos de deslizamiento cruzado y trepado de dislocaciones han de jugar un rol muy importante. La estructura de dislocaciones formada luego de los primeros ciclos ha de permitir acomodar las deformaciones plásticas sucesivas sin que se produzca un posterior endurecimiento significativo.

En este caso, y al igual que en el rango de temperaturas bajas, el sistema de deslizamiento activado es unicamente el primario.

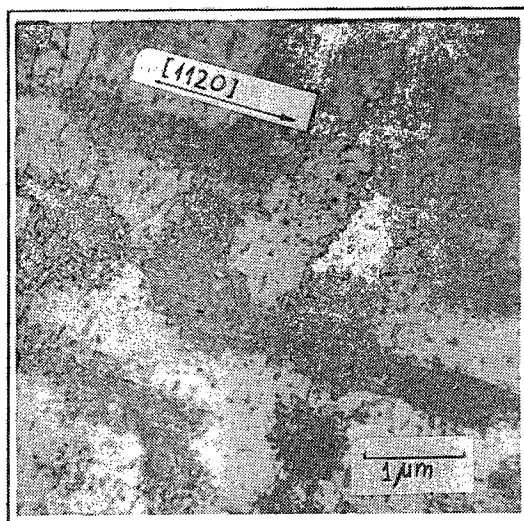


Figura 3

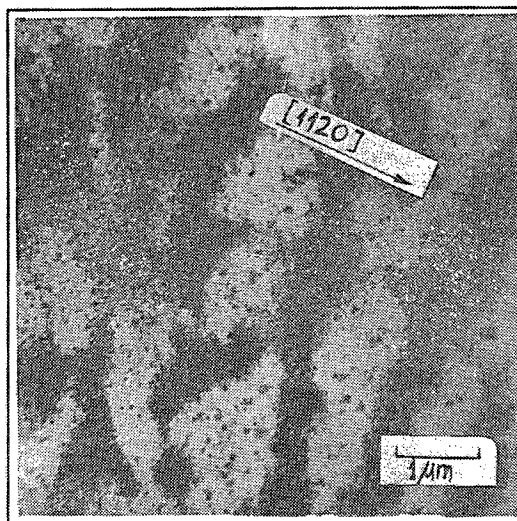


Figura 5

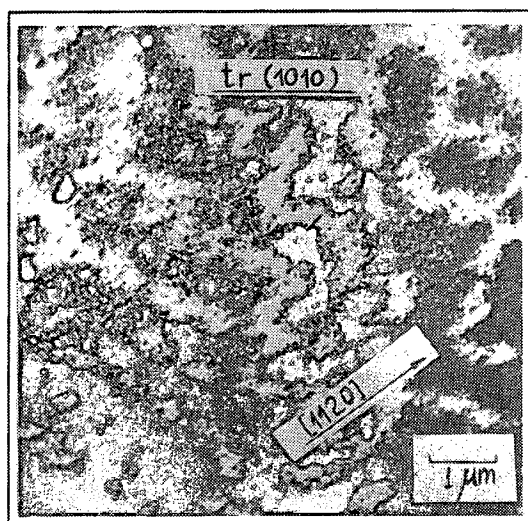


Figura 4

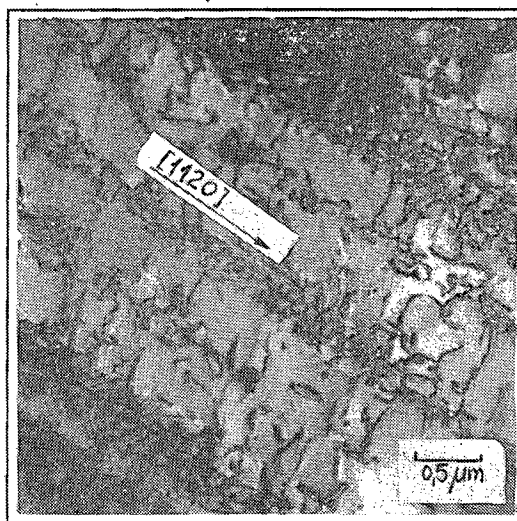


Figura 6

Referencias

[1] Influencia de la velocidad de deformación sobre el endurecimiento cíclico de Zircaloy-4 en la zona de envejecimiento por deformación.

Agradecimientos:

El presente trabajo es parte del Convenio de Colaboración en Investigación y Tecnología entre Argentina y Alemania. Es subvencionado por un PID de CONICET y por la Universidad Nacional de Rosario.