

TRANSICION ELASTICO PLASTICA EN ZRY-4. CARACTERIZACION MEDIANTE VOLUMENES DE ACTIVACION

A.C. Picasso^(1,2) y A. Cuniberti^(1,3)

(1) Instituto de Física de materiales Tandil (IFIMAT). UNCentro-CICPBA-MT. Pinto 399-(7000) Tandil

(2) CICPBA

(3) CONICET

(4) apicasso@exa.unicen.edu.ar

Se presenta un estudio sobre volúmenes de activación en Zry-4 recristalizado, determinados mediante el método de relajaciones sucesivas de duración constante, a temperatura ambiente. El método permite determinar la componente de volumen de activación asociada con el endurecimiento por deformación (V_h) a fin de obtener el volumen de activación efectivo ó verdadero. La relación de este último con la tensión aplicada muestra claramente, dos regiones bien definidas para una tensión propia cercana a la $\sigma_{0,2\%}$. En la región elástico-plástico, la contribución de V_h es importante, mientras que en la región plástica ésta última se vuelve despreciable, conduciendo a valores en el volumen de activación aparente muy próximos al verdadero.

Introducción

Es conocido el hecho que, en aquellos materiales que presentan una transición suave en sus curvas tensión deformación entre el rango micro y macroplástico, es posible definir una tensión de fluencia "propia" a través de la dependencia del volumen de activación con la deformación [1,2]. Este parámetro de activación puede ser interpretado físicamente como el número de átomos que son activados térmicamente en forma cooperativa para mover las dislocaciones sobre obstáculos localizados en sus planos de deslizamiento. De este modo, es de esperar que este parámetro muestre un cambio importante cuando exista un cambio en el mecanismo microscópico que controla la deformación entre los dominios de micro y macroplasticidad.

El propósito del presente trabajo es caracterizar la transición elástico-plástica mediante la determinación de volúmenes de activación en Zry-4 recristalizado a temperatura ambiente en las tres zonas características de la curva tensión-deformación: zona elástica, elástico plástica y plástica.

Teoría.- Determinación de volúmenes de activación

Consideremos el movimiento de dislocaciones activado térmicamente, la tensión aplicada σ_a es:

$$\sigma_a = \sigma_\mu(\varepsilon) + \sigma^*(T, \varepsilon) \quad (1)$$

siendo σ_μ la tensión atérmica (largo alcance) y σ^* la tensión efectiva ó térmica (corto alcance).

La velocidad de deformación plástica $\dot{\varepsilon}$ viene dada por:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 \exp\left[-\frac{\Delta G(\sigma^*, T)}{kT}\right] \text{ con } \dot{\varepsilon}_0 = \alpha \rho_m b v \quad (2)$$

siendo α un factor geométrico, ρ_m la densidad de dislocaciones móviles, b la magnitud del vector de Burgers, d la distancia media que se mueve la dislocación entre eventos sucesivos, v es la frecuencia de vibración de la línea de dislocación, k la constante de Boltzmann y ΔG la energía libre de Gibbs que debe entregarse a la dislocación para superar el obstáculo localizado, la cual a una dada temperatura, depende únicamente de σ^* . El volumen de activación efectivo viene definido por:

$$V_{ef} = -\left.\frac{d\Delta G(\sigma^*)}{d\sigma^*}\right|_T \quad (3)$$

Para ensayos de relajación de tensiones, se ha demostrado [3] que la rapidez con que cambia la tensión durante la relajación es:

$$\dot{\sigma}_a = K \dot{\varepsilon}_p + \frac{\dot{\varepsilon} kT}{\varepsilon_p V_{ef}} \quad \text{donde } K = \left.\frac{d\sigma_\mu}{d\varepsilon_p}\right|_T \quad (4)$$

Suponiendo que el volumen efectivo y K son constantes durante un ensayo de relajación, se cumple:

$$\dot{\varepsilon}_p = -\frac{\dot{\sigma}_a}{M}$$

siendo M el módulo elástico combinado (muestra-máquina)

De este modo, la tensión aplicada disminuye como:

$$\Delta\sigma_a = -\lambda \ln\left(1 + \frac{t}{c}\right) \quad \text{para } \Delta\sigma_a < 0 \quad (5)$$

con $\lambda = kT/V_a$ y $c = \lambda/M\dot{\varepsilon}$, siendo V_a el volumen de activación aparente. El volumen de activación aparente está relacionado con el efectivo por:

$$V_a = V_{ef} \left(1 + \frac{K}{M}\right) = V_{ef} + V_h \quad (6)$$

Entonces, podremos determinar V_{ef} si el término V_h es conocido.

Spätig y col. [4] han propuesto un método para determinar V_h mediante ensayos de relajación de tensiones sucesivas de duración constante. En este, V_h está relacionado con los saltos en tensión $\Delta\sigma$ sucesivos de la serie de relajación, mediante :

$$(n-1)V_h = \frac{kT}{\Delta\sigma} \ln \left[\frac{\exp(-\Delta\sigma_n/\lambda)-1}{\exp(-\Delta\sigma_1/\lambda)-1} \right] = f(n) \quad (7)$$

siendo n la n -ésima relajación de la serie ($n > 1$).

De esta forma, una gráfica que relacione el segundo miembro $f(n)$ con n debería ser lineal con pendiente igual a V_h .

Procedimiento Experimental

El material utilizado fué Zircaloy-4. Las muestras fueron de tipo planas con $l_0 = 25.4$ mm y sección transversal de 32 mm². Debido a que las muestras de ensayo fueron obtenidas a partir de chapas laminadas, se realizó un tratamiento térmico de recristalización, 1h a 973K en atmósfera controlada; el tamaño de grano final fue de 10 μ m. Los ensayos de relajación fueron realizados a temperatura ambiente utilizando una máquina universal de ensayos marca Shimadzu Autograph 10-DSS en modo de tracción. Se realizaron doce (12) series de ensayos de relajación correspondientes cada uno a un dado nivel de deformación ó tensión inicial. Para cada una de las series se obtuvieron cinco (5) curvas de relajación con una duración de 60 segundos para c/u de ellas, Figura 1. Los datos experimentales fuerza-tiempo fueron registrados utilizando una plaqueta adquisidora incorporada a una PC, a intervalos de tiempo convenientemente elegidos.

Resultados y Discusión.-

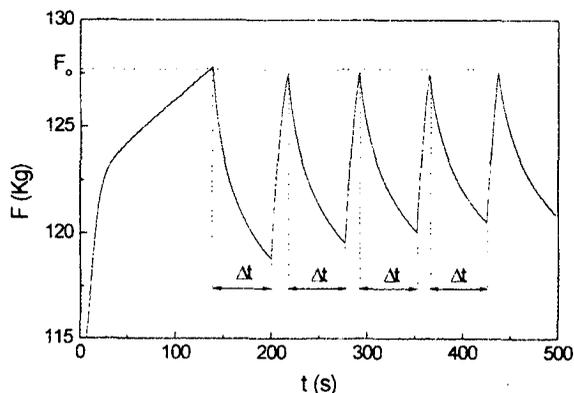


Figura 1.- Relajaciones sucesivas típicas para un único nivel de estiramiento ó Fuerza aplicada inicial, obtenidas experimentalmente a $\Delta t =$ constante.

Una vez obtenidas las curvas experimentales fuerza versus tiempo de relajaciones sucesivas a diferentes niveles de deformación ó tensión inicial y transformadas convenientemente a curvas σ vs. ϵ , se evaluaron los volúmenes de activación V_a y de endurecimiento V_h . El primero fue determinado utilizando la ec. (5) como expresión de ajuste a la primer curva experimental de relajación de cada serie; mientras que el segundo se obtuvo aplicando la ec. (7) a las relajaciones sucesivas restantes. La Figura 2 muestra una gráfica típica (en este caso, para $\epsilon = 0.1\%$) donde se ha determinado V_h .

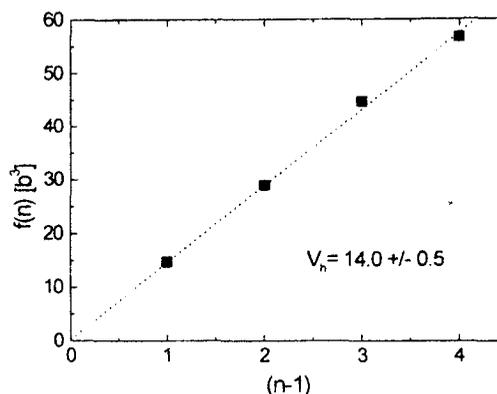


Figura 2.- Determinación de V_h mediante la ecuación (7). Deformación plástica previa 0.1%.

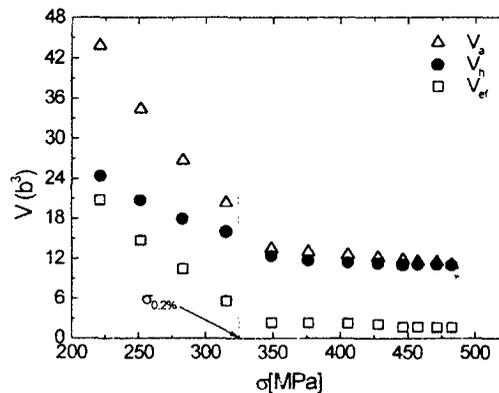


Figura 3.- Volúmenes de activación obtenidos mediante las ecuaciones (5) y (7). Se observa un cambio de pendiente en la transición elástico-plástica próximo al $\sigma_{0.2\%}$.

En la Figura 3 se muestra la dependencia de ambos términos, V_a y V_h , con la tensión, como así también el volumen de activación efectivo V_{ef} , calculado con la ec. (6). Se puede observar que el volumen de activación aparente V_a decrece con el incremento de la deformación plástica, en la zona de transición elástico-plástica la contribución de V_h se hace importante obteniéndose un volumen de activación efectivo menor. Para niveles de tensión por encima del $\sigma_{0.2}$ la contribución de V_h se hace despreciable y el V_a coincide con el V_{ef} , aproximadamente.

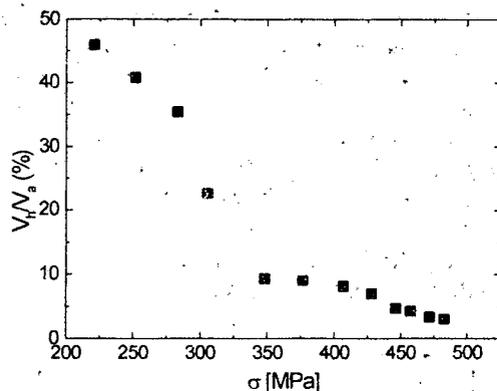


Figura 4.- Contribución relativa de V_h en función de la tensión aplicada.

En la Figura 4 se ha representado la contribución relativa de la componente de endurecimiento V_h , respecto a V_a en función de la tensión; se observa la importancia que adquiere V_h en el dominio de transición elástico-plástico, lo cual es de esperar que así ocurra ya que el coeficiente de endurecimiento por deformación (K), durante esta transición, disminuye notablemente dentro de un intervalo muy pequeño para luego alcanzar valores casi constantes.

De lo anterior, podemos destacar que el volumen de activación efectivo no presenta una evolución con la tensión que pueda ser descrita, en todo el rango de tensiones, a través de una única función sino que existen dos dominios. Esto sugiere la existencia de dos mecanismos de deformación asociados a cada una de estas zonas en la curva σ vs. ϵ .

Conclusiones.-

La determinación de volúmenes de activación en las regiones elástico-plástica y plástica, mediante ensayos de relajaciones sucesivas de duración constante a temperatura ambiente en Zry-4 recristalizado permitió obtener las siguientes conclusiones:

1.- La relación entre el volumen de activación efectivo V_{ef} y la tensión aplicada, muestra dos regiones bien definidas, las cuales pueden ser caracterizadas mediante una tensión propia, siendo ésta última muy próxima a la tensión $\sigma_{0.2\%}$.

2.- En la zona elástico-plástico, la componente del volumen de activación asociada al endurecimiento por deformación, V_h , contribuye en forma apreciable al volumen de activación aparente, V_a .

3.- En la región plástica, V_h es prácticamente despreciable y V_a tiende al volumen de activación efectivo ó verdadero V_{ef} , ($V_{ef} \cong 11 b^3$).

Referencias.-

- [1] B. Escaig. J. Physique, 35 (1974) C7-151.
- [2] J. L. Farvacque, J. Crampon, J. C. Doukhan and B. Escaig, Phys. Stat. Sol., 14 (1972) 623.
- [3] P. Groh and R. Conte. Acta Metall., 19 (1971) 895.
- [4] P. Spätig, J. Bonneville and J. L. Martin. Mat. Sc. Eng. A167 (1993) 73-79.