

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 3	AÑO 1960

B15

01.60.01

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

ENDURECIMIENTO POR IRRADIACION EN MONOCRISTALES DE MAGNESIO

E.A. Bisogni, A.J. Funes y C. Pomar

Departamento de Metalurgia
Buenos Aires - Argentina

ENDURECIMIENTO POR IRRADIACION EN MONOCRISTALES DE MAGNESIO

E.A. Bisogni*, A.J. Funes** y C. Pomar*

(Trabajo resumido)

INTRODUCCION

Es sabido que la irradiación con neutrones produce marcados cambios en las propiedades físicas de los metales y aleaciones. Entre estos cambios merece especial atención, por sus implicaciones tecnológicas, el que se manifiesta en las propiedades mecánicas, por ejemplo, una marcada elevación de la tensión de fluencia, una disminución de la ductilidad y de la temperatura de transición frágil-dúctil, en los casos en que esta transición existe.

El fenómeno de endurecimiento por irradiación ha sido estudiado en diversos materiales, tanto desde el punto de vista básico como desde un enfoque aplicado, buscando información para el ingeniero de reactores que diseñe componentes.

Desde el punto de vista básico, la investigación se ha centrado casi exclusivamente en cobre y en algunos metales de estructura cúbica centrada en el cuerpo (Fe, Nb). Salvo un trabajo de Kunz y Holden (1) en que entre otros metales se irradiaron algunos cristales de Zn, no existe información acerca de las características del fenómeno de endurecimiento en monocristales metálicos de estructura hexagonal.

El hecho de que se use extensivamente como material de envainado de elementos combustibles de reactores nucleares, aleaciones de Zr y de Mg, ambos metales de estructura hexagonal, ha estimulado la necesidad de encarar un programa de investigación del fenómeno de endurecimiento por irradiación en monocristales de esa simetría. En lo que sigue se presentan los primeros resultados, relacionados principalmente con la dependencia del endurecimiento con la dosis integrada de irradiación, de un programa de largo aliento destinado al estudio del fenómeno de endurecimiento por irradiación en cristales de estructura hexagonal.

EXPERIMENTAL

Las experiencias se realizaron utilizando Mg de pureza 99,99% suministrado por la firma Johnson Matthey. Los monocristales fueron crecidos en crisoles de grafito de alta pureza, partidos en el medio, usando una técnica de Bridgman modificada. El crecimiento se realizó en atmósfera de Argón de alta pureza, a una veloci

* Departamento de Metalurgia de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina

** Armada Argentina - Dpto. de Metalurgia de la CNEA Argentina

2 dad de 2.2 cms/hora.

Los monocristales se crecieron con la forma de la probeta de tracción, con una sección cuadrada de 3 x 3 mm y 30 mm de longitud útil, con cabezas esféricas de $\varnothing = 6.35$ mm. Después de obtenidos, fueron atacados con una solución diluída de ácido clorhídrico y enjuagados en agua destilada y alcohol sucesivamente.

La orientación cristalográfica fué determinada usando el método de Laue de reflexión. Fueron seleccionados aquellos cristales cuya orientación aseguraba que el deslizamiento se produciría únicamente en el plano basal.

Las experiencias de tracción se realizaron en una máquina de ensayos marca Instron, modelo TTM, modificada convenientemente para realizar ensayos en baños de temperatura superior e inferior a la temperatura ambiente. Todos los ensayos se realizaron a una velocidad de deformación de $1.1 \times 10^{-4} \text{ seg}^{-1}$.

Las irradiaciones se efectuaron en un tubo de aluminio colocado en el interior de la grilla del reactor RA-1, tubo que ocupaba el lugar de una barra de elemento combustible. La temperatura de irradiación fué de aproximadamente 50°C . Los cristales a irradiar se introdujeron en cápsulas adecuadas de aluminio, colocándose en cada una de ellas, un monocristal de cobre. Posteriormente a la irradiación, y luego que la radiactividad inducida hubo caído de modo de permitir su manipulación, se midió la tensión crítica de fluencia para los monocristales de cobre y magnesio. El valor obtenido para Cobre, permitió obtener, usando datos de Blewitt y colaboradores (2) una estimación de la dosis integrada recibida por las probetas de Magnesio.

RESULTADOS

Se observa un aumento de la tensión de fluencia de los monocristales de magnesio, luego de ser irradiados. Dicho aumento se muestra en la Fig. 1, donde se ha representado en un gráfico doble logaritmico, la tensión crítica resuelta de corte sobre el plano basal, en función de la dosis integrada. Las irradiaciones de valor integrado 3 y 6×10^{19} nvt, fueron realizadas en una facilidad enfriada con agua del Reactor CP-5 del Laboratorio Nacional de Argonne, EE. UU.

Se observa que pese a la dispersión entre valores de la tensión de fluencia de cristales sometidos a una misma dosis, dispersión del orden de $\pm 10\%$ la tensión crítica resuelta de corte sobre el plano basal es proporcional a la potencia $1/5$ de la dosis neutrónica integrada.

Se midió asimismo la variación de la tensión de fluencia de cristales irradiados, en función de la temperatura de medición. Dicha variación se ha representado en función de σ vs $(T^{\circ}\text{K})^{1/2}$ y como $(\sigma)^{2/3}$ vs. $(T^{\circ}\text{K})^{2/3}$ (Figs. 2 y 3). Estas expresiones corresponden a dependencias previstas teóricamente en base a determinadas suposiciones sobre la naturaleza de los obstáculos (3)(4). Se ve que am-

bas representaciones dan líneas rectas, dentro de la dispersión de los datos obtenidos.

Se estudió también el proceso de recuperación del endurecimiento introducido por irradiación. Los monocristales irradiados, sellados en tubo de cuarzo con argón de alta pureza, fueron recocidos a temperaturas crecientes por intervalos fijos de tiempo. Estas experiencias "isocronas" de recocido han mostrado que la recuperación del endurecimiento procede entre 130 y 200°C, para recocidos de 5 minutos. En la actualidad se prosigue el estudio de este fenómeno de recuperación mediante experiencias de recocido isotérmico.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Es sabido que la deformación plástica de los metales se produce por el movimiento de dislocaciones. Por lo tanto, el hecho de que la irradiación con neutrones produzca un endurecimiento, sugiere que en el cristal irradiado, es más difícil ya generar nuevas dislocaciones o ya mover dislocaciones ya existentes. Estas dos posibilidades se conocen como endurecimiento de las fuentes de dislocaciones o endurecimiento del retículo.

Las experiencias realizadas en cobre, no han permitido aún dilucidar cuál de ellas dos contribuye en mayor grado al endurecimiento. Sin embargo, parece claramente establecido que son responsables del endurecimiento pequeñas zonas cuyo diámetro varía entre 10 y 50 Å, que son generadas al final del recorrido de un neutrón energético en el seno del metal. Estas zonas, cuya existencia fué anticipada por Brinkman y Seeger, han sido recientemente detectadas por el microscopio electrónico. La Fig. 4 muestra esquemáticamente la distribución de átomos de metal en una zona.

La particularidad de las zonas es que constituyen obstáculos para el movimiento de las dislocaciones, y que se encuentran homogéneamente distribuidas en el metal irradiado. Si se supone que las dislocaciones deben cortar a las zonas en su desplazamiento, resulta que la tensión crítica resuelta de corte debe ser proporcional a la raíz cuadrada del flujo integrado, para lo cual se supone que existe una relación directa entre el número de zonas y el flujo integrado.

Sin embargo, experimentalmente se ha observado que en cristales de cobre y de hierro, la tensión crítica de fluencia es proporcional a la potencia 1/3 de la dosis integrada. Esta discrepancia entre el exponente 1/2 previsto por la teoría de dislocaciones, y el exponente 1/3 obtenido experimentalmente, no ha sido aún aplicada satisfactoriamente. La importancia de conjugar experimentación y teoría radica en que no solo están en juego propiedades de los metales irradiados sino relaciones que hacen al comportamiento de las dislocaciones y su interacción con barreras dispersadas en el material, de fundamental importancia para el estudio de la plasticidad de los metales.

2 Nuestros datos en el caso de cristales de Mg irradiados, no contri-
buyen ciertamente a clarificar esta situación, pues obtenemos que la tensión crítica de
corte es proporcional a la potencia 1/5 de la dosis integrada. Podría pensarse que en
el caso del Mg, se tiene recuperación del endurecimiento durante la irradiación misma
y que ésta recuperación sería más pronunciada para mayores dosis integrada, modifi-
cando así la pendiente de la recta que relaciona $\log \sigma$ vs $\log (\phi t)$.

Destaquemos que en nuestras experiencias, la temperatura de irradiación ha estado siempre entre 50-60°C, y que las curvas de recocido isocrono indican que la recuperación tiene lugar en el intervalo entre 130-200°C.

Creemos imprescindible la obtención de datos en cristales irradiados y medidos a bajas temperaturas para poder así asegurar que la recuperación durante la irradiación no influye a los resultados. En este sentido, está próxima a concretarse la instalación de una facilidad de irradiación a la temperatura de nitrógeno líquido (78° K), lo que nos permitirá realizar experiencias que esperamos permitan dilucidar la presente alternativa a la vez que contribuir a un mejor entendimiento de la interacción entre las dislocaciones y los defectos producidos por la irradiación neutrónica.

REFERENCIAS

- (1) F.W. Kunz y H. Holden, Acta Met. 2, (819) 1954.
- (2) T.H. Blewitt, R.R. Coltman, R.E. Jamison and J.K. Redman, J. Nuclear Materials, 2, (277) 1960.
- (3) D.K. Holmes, ORNL Report No. 2614 (1958)
- (4) A. Seeger, Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, (1958), paper 998.

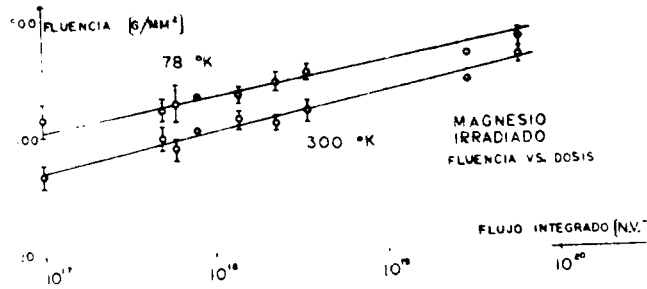


Fig. 1

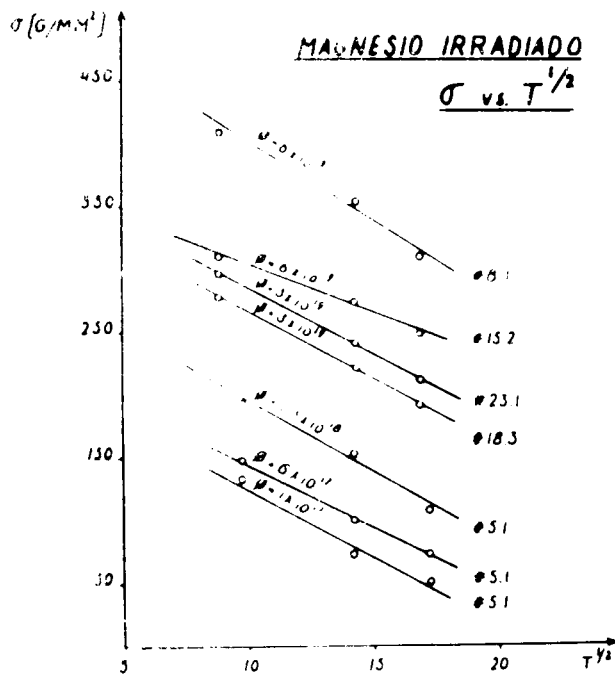


Fig. 2

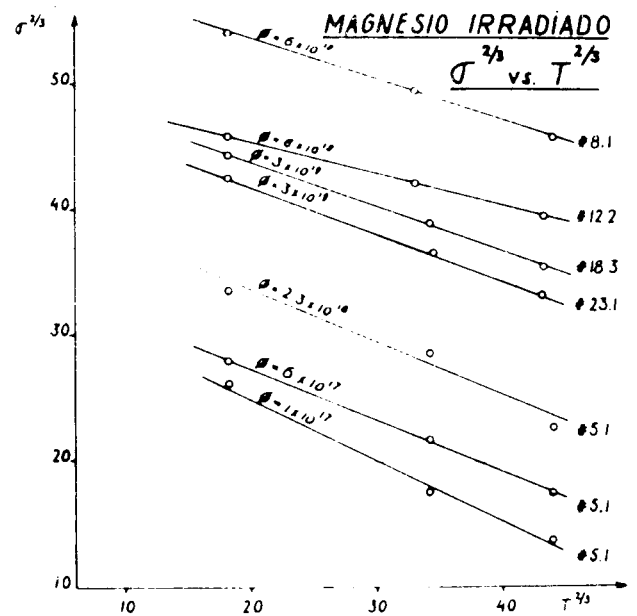


Fig. 3

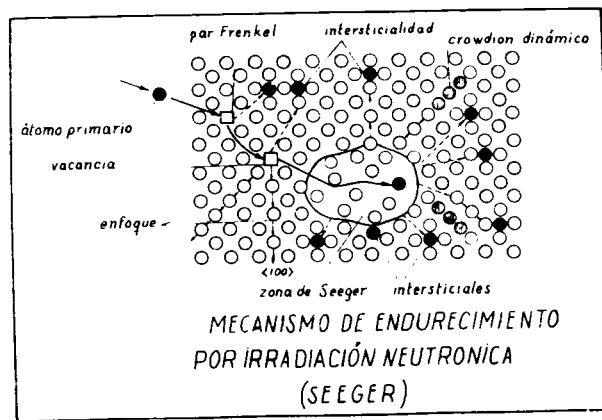


Fig. 4