

CAVITACION EN UNA ALEACION SUPERPLASTICA DE ALUMINIO

O. Ruano

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Av. de Gregorio del Amo, 8, 28040 Madrid.

Se ha realizado un estudio de la formación de cavidades en una aleación de aluminio de tamaño de grano fino. Se ha investigado la cavitación en función de la deformación, la velocidad de deformación y la temperatura. A velocidades de deformación altas, excepto en el intervalo de 400 a 500°. A 500°C y a altas velocidades de deformación las cavidades son grandes, redondeadas y están uniformemente distribuidas en la longitud de trabajo de la probeta. Según se aumenta la velocidad de deformación, las cavidades son menores y se alinean paralelamente al eje de tracción. El mismo efecto se observa a una velocidad de deformación baja cuando se disminuye la temperatura. Las cavidades redondeadas y las alargadas son consecuencia de procesos difusionales y de movimiento de dislocaciones, respectivamente, que se producen durante la deformación plástica.

1. INTRODUCCION

Aunque los materiales superplásticos han sido estudiados con detalle en relación a los parámetros de deformación, las características de fractura apenas han sido investigadas. Hace sólo 14 años se pensaba que todos los materiales deformados en el intervalo superplástico de temperatura y velocidad de deformación no presentaban cavidades internas /1/. Sin embargo, trabajos posteriores han puesto de manifiesto la presencia de cavidades y la influencia que ejercen en las propiedades mecánicas. Así, se ha detectado la presencia de cavidades en aleaciones superplásticas de base hierro /2/, cobre /3/, cinc /4/, aluminio /5/, magnesio /6/, titanio /7/ y plomo /8/. Recientemente han aparecido también resúmenes en este tema /9,10/.

En todos los trabajos mencionados, apenas existe mención de los factores que influyen en la cavitación interna y la morfología de las cavidades. Únicamente en una aleación de cobre /11/, se pone de manifiesto las diferencias de morfología en función de la velocidad de deformación. En este trabajo se hace un estudio de la morfología y el crecimiento de cavidades, relacionándolos con los procesos de deformación que tienen lugar en los diferentes intervalos de temperaturas y velocidades de deformación.

2. INTRODUCCION

El material utilizado fue una aleación comercial de aluminio en forma de chapa de 2,3 mm de espesor producida por Alcan (Canadá) conteniendo 5% de Ca y 5% de Zn. La microestructura consiste de una dispersión uniforme de partículas esferoidales de Ca Zn Al_3 distribuidas en la matriz de aluminio trabajada en frío. Las partículas de 2ª fase tienen un tamaño comprendido entre 0,5 y 2 μm . El tamaño de grano de la matriz es de 4 μm . Los ensayos de tracción se realizaron en probetas mecanizadas con una longitud de trabajo de 300 mm. Las probetas se ensayaron en la dirección de laminación con una máquina de la marca Instron, modelo TT-CM-L a velocidades de desplazamiento del carro constantes durante el ensayo. La temperatura de los ensayos de tracción se varió entre 25 y 500°C mediante hornos que se adaptaron a la máquina de tracción.

Después de la fractura, todas las probetas se cortaron transversalmente a la longitud de trabajo y se montaron en cronolita. El examen de las cavidades se realizó con un microscopio óptico en probetas previamente pulidas pero sin atacar químicamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

En la Fig. 1 se representa la variación de los alargamientos a rotura en función de la temperatura para dos velocidades de deformación, una baja y la otra alta. La figura muestra que los alargamientos son mayores a bajas velocidades que a altas velocidades de deformación para todas las temperaturas excepto para aquellas comprendidas entre 400 y 500°C. La figura muestra también que se ob-

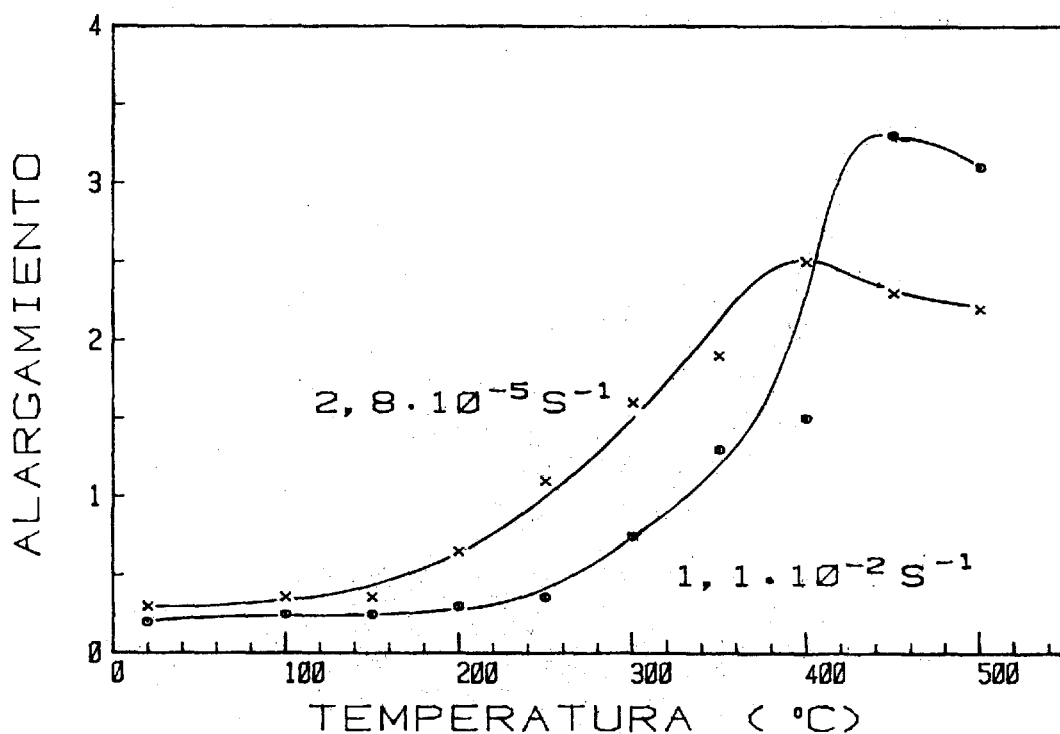


Fig. 1 - Alargamiento a rotura en función de la temperatura para dos velocidades de deformación.

tienen grandes alargamientos a partir de 350°C aproximadamente. Esto significa que el comportamiento superplástico empieza a manifestarse a partir de esta temperatura para ambas velocidades de deformación y que existe una contribución importante en la deformación proveniente del deslizamiento de bordes de grano.

En la Fig. 2 se presentan microfotografías de la región de fractura de probetas ensayadas en tracción a una velocidad de deformación de $2,8 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ y a diferentes temperaturas: a) 350°C, b) 400°C, c) 450°C y d) 500°C. En todos los casos, el eje de tracción está situado horizontalmente y la superficie de fractura está a la izquierda de las microfotografías. A 350°C prácticamente no existen cavidades en la probeta. A 400°C las cavidades son pequeñas y alargadas y

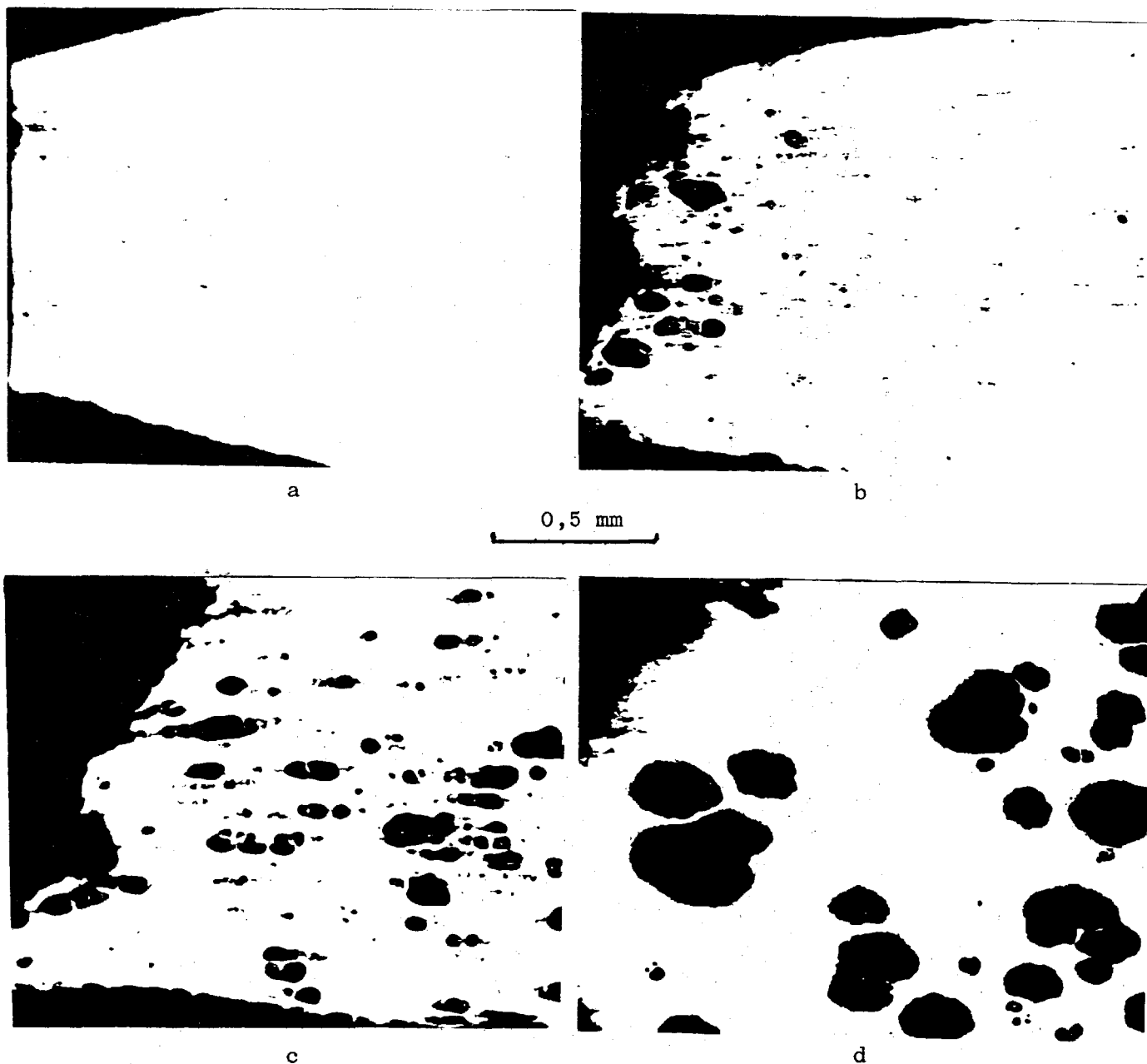


Fig. 2 - Microfotografías de la región de fractura de probetas ensayadas a $2,8 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ y a diferentes temperaturas: a) 350°C, b) 400°C, c) 450°C y d) 500°C.

y más numerosas en la región cerca de la superficie de fractura. Las cavidades tienden a alinearse en filas paralelas al eje de tracción. Esta tendencia ha sido observada también en aceros de fase dual /12/ y en la aleación Zn-22%Al /13/. A 450°C las cavidades han crecido bastante y tienen forma redondeada, continuando la tendencia a alinearse a lo largo del eje de tracción. Por último, a 500°C las cavidades son muy grandes, hasta de 400 μm de diámetro, muy redondeadas y están distribuidas al azar en la longitud de trabajo de la probeta. En todos los casos expuestos anteriormente existen diferencias apreciables en el tamaño de las cavidades en una misma probeta. Debido a dificultades experimentales, no se ha realizado en este trabajo un análisis del número de cavidades, por lo que no se trataron los aspectos relativos a la nucleación.

La característica más importante que ofrece la serie de microfotografías de la Fig. 2 es la diferencia de forma que existe entre las cavidades de probetas deformadas a distintas temperaturas. Esta diferencia se debe al proceso de crecimiento de cavidades que entra en juego una vez que la cavidad se ha nucleado. Si el proceso es de difusión de vacantes, la cavidad tenderá a tener forma esférica. Si es por movimiento de dislocaciones, la cavidad tenderá a alargarse en la dirección del eje de tracción.

En base a estos conceptos, se podría explicar la forma de las cavidades de la Fig. 2 de la siguiente manera. A 400°C, a la vez que un deslizamiento de bordes de grano existe un proceso de movimiento de dislocaciones que alarga las cavidades en la dirección del eje de tracción. A 450°C este mecanismo empieza a perder importancia y las cavidades, aunque de carácter mixto, son preponderantemente redondeadas. A 500°C, como consecuencia de la alta temperatura de ensayo, el deslizamiento de bordes de grano va acompañado de un proceso de difusión. Esta temperatura corresponde a $0,8 T_f$ (T_f es el punto de fusión) y podría perfectamente acelerar el proceso de difusión de vacantes.

La Fig. 2a no muestra prácticamente cavidades a pesar de un alargamiento cercano a 200 %. La presencia de una estricción bastante difusa, la ausencia de cavidades y la temperatura a que se realizó el ensayo ($0,7 T_f$) corresponden más a un comportamiento superplástico típico. Sin embargo, es de difícil explicación el alargamiento a rotura relativamente bajo que tiene la probeta.

En la Fig. 3 se presentan microfotografías de la región de fractura de probetas ensayadas en tracción a 500°C y distintas velocidades de deformación: a) $1,1 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, b) $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, c) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ y d) $2,8 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Las microfotografías muestran claramente una transición en la forma de las cavidades en función de la velocidad de deformación a que se realiza el ensayo. Mientras que a $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ las cavidades son pequeñas y están alineadas en filas paralelas al eje de tracción, a $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ las cavidades son grandes y redondeadas y están distribuidas al azar en la longitud de trabajo de la probeta. La transición se produce a $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ aproximadamente, teniendo las cavidades un carácter mixto.

Análogamente a lo comentado respecto a la figura anterior, la forma de las cavidades refleja la importancia del mecanismo de deformación que entra en juego durante la deformación del material. A altas velocidades de deformación, el deslizamiento de bordes de grano va acompañado de un proceso de movimiento de

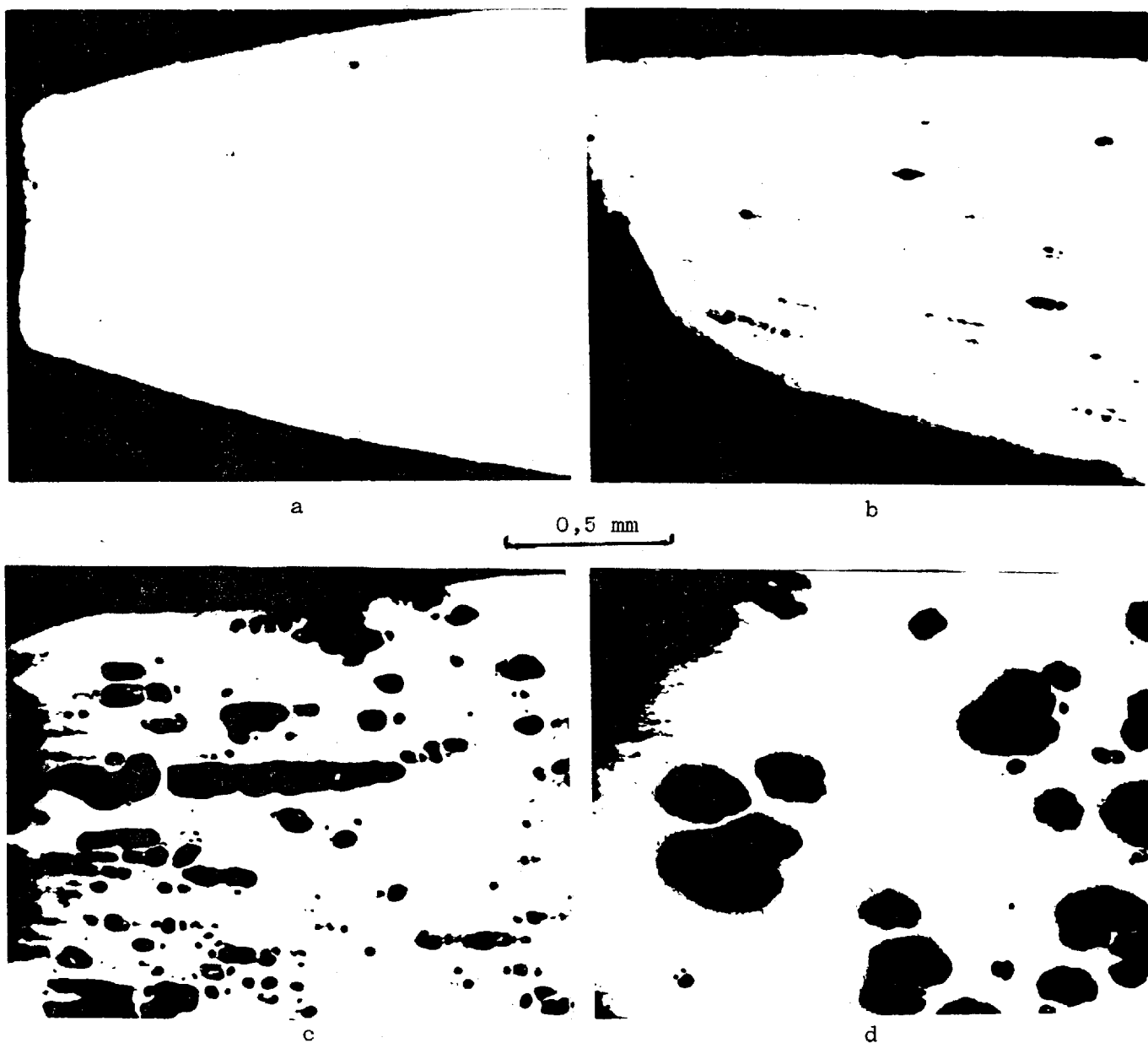


Fig. 3 - Microfotografías de la región de fractura de probetas ensayadas a 500°C y a diferentes velocidades de deformación: a) $1,1 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, b) $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, c) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ y d) $2,8 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

dislocaciones y las cavidades son alargadas en la dirección del eje de tracción. A bajas velocidades de deformación el proceso que acompaña al deslizamiento de bordes de grano es el de difusión de vacantes y las cavidades toman forma redondeada.

Estos resultados concuerdan cualitativamente con los modelos de crecimiento de cavidades. Una cavidad puede crecer mediante la absorción de vacantes desde una zona adyacente /14/ o mediante un proceso de movimiento de dislocaciones fuera de dicha zona /15/. Un cálculo teórico predice que este último proceso se verá favorecido cuando $\sigma/\dot{\epsilon}$ sea bajo, es decir, a altas velocidades de deformación (ya que el exponente de la velocidad de deformación, m , en $\sigma = k \dot{\epsilon}^m$, donde k es una constante, es menor que 1). Sin embargo, la teoría predice un radio de cavidad crítico por encima del cual se pasa del proceso de crecimiento controlado

por difusión al controlado por movimiento de dislocaciones que está muy por debajo del observado experimentalmente. Mientras que el radio crítico teórico es de $1\ \mu\text{m}$ aproximadamente, en este trabajo se han encontrado cavidades redondeadas con un diámetro de $50\ \mu\text{m}$. Esta diferencia se puede deber a la imperfección del modelo que no tiene en cuenta los parámetros adecuados o a la presencia de granos muy finos que elevarían notablemente el flujo difusional. Otro problema es que las teorías parten de un cierto número de cavidades a $\xi=0$ con lo cual se debería tener un único tamaño de cavidad. Como experimentalmente esto no es así, sería necesario introducir en las ecuaciones del crecimiento de cavidades un término de nucleación que fuese función de la deformación.

A $1,1 \cdot 10^{-2}\ \text{s}^{-1}$ la probeta muestra muy pocas cavidades. En este caso es posible que el corto tiempo que transcurre hasta que se produce la fractura no da lugar a que las cavidades crezcan. Sin embargo, no explicaría porqué las cavidades no se nuclean.

4. REFERENCIAS

- /1/ Johnson, R.H., Met. Rev., 15, p.115, (1970).
- /2/ Smith, C.I. y Ridley, N., Met. Tech., 1, p.191, (1974).
- /3/ Livesey, D.W. y Ridley, N., Metall. Trans., 9A, p.519, (1978).
- /4/ Belzunce, J. y Suery, M., Scripta Metall., 15, p.895, (1981).
- /5/ Tait, R.A. y Taplin, D.M.R., Scripta Metall., 13, p.77, (1979).
- /6/ Tilman, M.M., Crosby, R.L. y Neumeier, L.A., U.S. Bureau of Mines, Report N° 8382, (1979).
- /7/ Arieli, A. y Mukherjee, A., Mater. Sci. Eng., 43, p.47, (1980).
- /8/ Livesey, D.W. y Ridley, N., J. Mater. Sci., 13, p.825, (1978).
- /9/ Stowell, M.J., en Superplastic Forming of Structural Alloys, AIME, 1982
- /10/ Langdon, T.G., Met. Sci., 16, p.175, (1982).
- /11/ Shei, S.A. y Langdon, T.G., J. Mater. Sci., 13, p.1084, (1978).
- /12/ Humphries, C.W. y Ridley, N., J. Mater. Sci., 9, p.1429, (1974).
- /13/ Ishikawa, H., Bhat, D.G., Mohamed, F.A. y Langdon, T.G., Metall. Trans., 8A, p.523, (1977).
- /14/ Speight, M.V. y Harris, J.E., Met. Sci., 1, p.83, (1967).
- /15/ Hancock, J.W., Met. Sci., 10, p.319, (1976).

CAVITATION IN A SUPERPLASTIC ALUMINIUM ALLOY

O. Ruano

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid.

A study of cavity formation during tensile deformation of a fine grained superplastic aluminium alloy has been made. Cavitation has been investigated as a function of strain, strain rate and temperature. Maximum elongation to fracture occurs at 500°C and high strain rates and there is a decrease at lower temperatures. Compared to high strain rates, at low strain rates the total elongation is higher, except for the range 400 to 500°C. At 500°C and high strain rates the cavities are large, rounded and randomly distributed; but as the strain rate is increased the cavities tend to be smaller and to lie in strings parallel to the tensile axis. The same effect is observed at a low strain rate as the temperature is decreased. The rounded and elongated cavities are a consequence of diffusional and dislocation processes respectively, that occurs during plastic deformation.