

Fluencia en compresión de compuestos de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ con distintas geometrías de reforzante

J. M. CALDERÓN MORENO, A. RAMÍREZ DE ARELLANO LÓPEZ*

Materials Department, Queen Mary & Westfield College, University of London. Mile End Road E1 4NS London.

*Dpto. Física de la Materia Condensada (Universidad de Sevilla)-Instituto de Materiales (CSIC)

Avda. Reina Mercedes s/n. Apdo. 1065 Sevilla

Se ha analizado la fluencia en compresión de un compuesto cerámico con matriz de alúmina reforzada con un 30% en volumen de plaquetas de SiC. Los ensayos se realizaron a 1400 °C, con velocidades de deformación entre 10^{-7} y 10^{-4} s^{-1} , y tensiones sobre muestra de hasta 400 MPa, alcanzándose estados cuasi estacionarios de deformación. Los resultados se comparan con los de varios compuestos de alúmina reforzada con distintos contenidos de whiskers de carburo de silicio, obtenidos previamente en idénticas condiciones experimentales. A la luz de consideraciones ampliamente aceptadas sobre los mecanismos de fluencia que actúan en estos compuestos, se discute la idoneidad de las distintas representaciones para una mejor comprensión del efecto de los reforzantes, en particular su acción como inhibidores de la fluencia por deslizamiento con acomodación de las fronteras de grano por debajo de una determinada tensión umbral.

Palabras clave: alúmina reforzada con carburo de silicio, plaqueta, whisker, fluencia difusional, tensión umbral.

Compressive creep of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ composites with different geometries of reinforcement

Results of compressive creep of an alumina matrix composite reinforced with different contents of silicon carbide platelets or whiskers, at temperature of 1400 °C, with creep rates ranging from 10^{-7} to 10^{-4} s^{-1} , and true stresses up to 400 MPa has been analyzed. At this temperature quasi steady-states of deformation were achieved. New data is presented, for the material reinforced with platelets, and are compared with those obtained in the same experimental conditions for other composites reinforced with whiskers. From widely accepted considerations about the mechanisms responsible for the high temperature diffusional creep in these composites, different types of data analysis and representation of the results are showed in order to understand the effect of the reinforcements, particularly the effect on the stress treshold needed to activate the sliding of grains during diffusional controlled creep.

Key words: silicon carbide reinforced alumina, platelet, whisker, diffusional creep, stress treshold.

1. INTRODUCCION

La adición de segundas fases resistentes a matrices policristalinas más comunes ha sido una de las principales líneas en la fabricación de compuestos cerámicos de alta fiabilidad estructural.

La adición de filamentos (whiskers) de SiC al Al_2O_3 policristalino se ha demostrado eficaz en el aumento significativo de la resistencia a la fluencia de la matriz (1,2).

Los estudios preliminares que se han llevado a cabo han demostrado que el potencial de las plaquetas como reforzante es prometedor (3-5). El efecto de aumento de la tenacidad que cabe esperar de las plaquetas se debe a contribuciones análogas a las de los whiskers (apertura de interfases, puentado y deflexión de grietas (6), extracción de reforzantes, ...). Como en el caso de éstos, la geometría matriz-reforzante, el carácter de la interfase reforzante/matriz y la relación entre las propiedades de ambos dictaminará cuál de los anteriores mecanismos domina el efecto de reforzamiento (7).

Diversos trabajos recientes han puesto de manifiesto que el reforzamiento observado es debido a una inhibición, al menos

parcial, del principal mecanismo de deformación plástica a bajas tensiones de la alúmina policristalina de grano fino: el deslizamiento de fronteras de grano (8). Los whiskers de SiC son básicamente rígidos en todo el rango de temperaturas, por lo que su ubicación en posiciones intergranulares ancla los granos circundantes e impide el deslizamiento (9). Sucesivos estudios del comportamiento mecánico y de la evolución microestructural han venido apoyando estas hipótesis (10), sin embargo es necesaria una mejor comprensión del efecto de los reforzantes en la fluencia del material.

Para el análisis sistemático del mismo resulta imprescindible una adecuada representación de los resultados para distintos contenidos y geometrías de reforzante (11). La presente comunicación pretende mostrar diferentes enfoques utilizados previamente.

2. MATERIALES

Los distintos materiales estudiados se componen de una matriz de alúmina, con añadidos del 5, 15, 20 y 30% en volu-

men de whiskers, y del 30% en volumen de plaquetas de SiC. El procesado tuvo lugar mediante molido convencional y mezclado de los polvos de α-Al₂O₃ y de los reforzantes.

Detalles adicionales del procesado y de la microestructura de las muestras pueden encontrarse en la bibliografía, así como las técnicas experimentales que se utilizaron para la caracterización (2,12,13). El tamaño de grano para la matriz de alúmina varía entre 1 μm, para los compuestos con un 30% de reforzante y 3.3 μm, para el compuesto con un 5% de SiC. Los valores típicos del diámetro y espesor de las plaquetas, y de la longitud y diámetro de los whiskers, son respectivamente 9 y 1 μm, y 10 y 1 μm. En todos los casos se trata de compuestos densos. El cálculo de la densidad real del compuesto se realizó mediante el método de Arquímedes, y la densidad teórica se calculó mediante la suma de la densidad teórica de cada fase multiplicada por su fracción volumétrica en el compuesto, resultando que ρ/ρ_{teórica} ≥ 99%.

3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE FLUENCIA

La ecuación clásica de estados estacionarios de fluencia considera una dependencia de la velocidad de deformación (ε̇), con la tensión aplicada (σ) del tipo:

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n, \quad [1]$$

donde A es un parámetro que depende principalmente de la temperatura y del tamaño de grano. Los valores del exponente de tensiones n así obtenidos tienen un significado apropiado sólo si las tensiones estacionarias corresponden a estados estacionarios de deformación plástica, en los que la microestructura permanece constante.

En la Figura 1 se recogen resultados obtenidos en ensayos de compresión a carga y velocidad de compresión constante, en atmósfera inerte de argón, a 1400 °C, en una representación log [velocidad de deformación] vs. log [tensión], apropiada para el análisis según la ecuación [1].

En anteriores trabajos se realizó un análisis cuidadoso de los resultados para materiales reforzados con whiskers: el análisis microestructural reveló que para los valores de ε̇ más altos, caracterizados por valores de n altos (n>3) se observa la apertura de las fronteras de grano. Se determinó que valores de n próximos a 1 corresponden a estados estacionarios gobernados por mecanismos de tipo difusional, bien suponiendo transporte de materia por difusión pura, bien acompañada de deslizamiento con acomodación de las fronteras de grano. También se encontró que la cantidad de whiskers añadida como reforzante no alteraba el control de la deformación por mecanismos difusionales, y permitía la observación de fluencia difusional, a tensiones mayores a las observadas en la matriz de alúmina. En trabajos anteriores se relacionaron estos resultados con la mayor dificultad de deslizamiento de las fronteras de grano causada por la presencia del reforzante. Estas mismas consideraciones son aplicables al material reforzado con plaquetas.

La dependencia global de la velocidad de deformación ε̇ con el tamaño de grano (d) para la fluencia en alúmina está bien establecida, por lo tanto es posible normalizar para los distintos materiales los valores de ε̇ de la Figura 1 multiplicando por el correspondiente valor de (d/d₀)³, siendo d₀=1 μm un valor de referencia para normalizar. En la Figura 2 están representados los valores de la velocidad de deformación normalizados. Se observa como las curvas, antes superpuestas, muestran

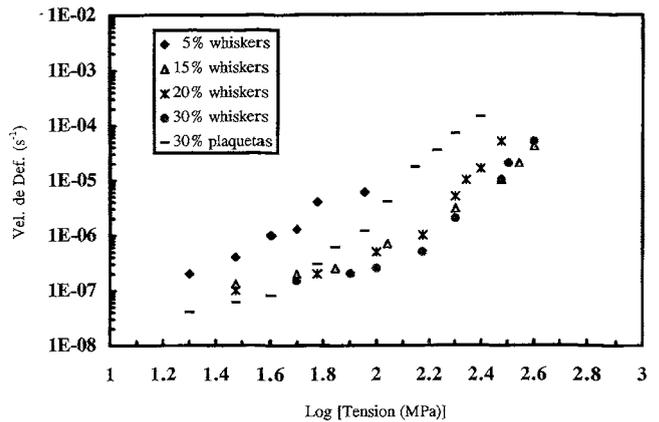


Fig. 1: Resultados de fluencia.

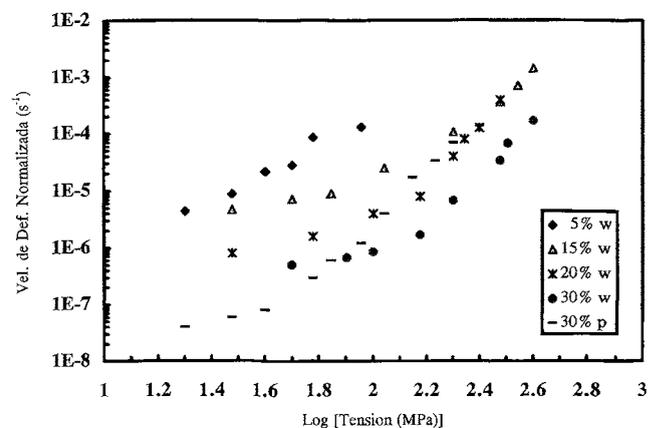


Fig. 2: Resultados de fluencia normalizados para una dependencia d⁻³ en la vel. de deformación.

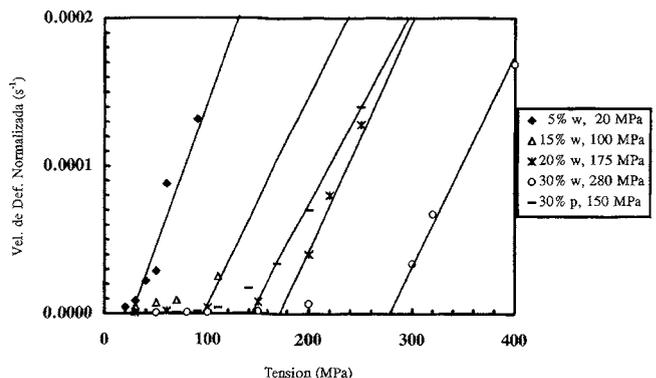


Fig. 3: Resultados de fluencia normalizados en representación lineal, con los valores de la tensión umbral

ahora un continuo aumento de la resistencia a la fluencia con la adición de reforzante, más claro a tensiones más bajas.

Estos compuestos tienen interés como materiales estructurales por su particularmente alta resistencia a la fluencia, por lo cual es importante conocer el rango de tensiones en el que el deslizamiento de granos queda inhibido por el efecto de los reforzantes.

Algunos autores han sugerido el uso de una representación lineal-lineal para una mayor claridad en la determinación del mecanismo difusional activo en cada rango de tensiones, deter-

minando además claramente la tensión de cambio de un régimen de fluencia a otro. En la Figura 3 podemos observar esta representación. En efecto es posible apreciar un cambio de pendiente en las curvas a partir de una determinada tensión, y se aprecian con claridad los efectos de la adición de reforzantes en la tensión de cambio de pendiente, que debe reflejar la tensión umbral necesaria para activar la fluencia por deslizamiento con acomodación de las fronteras de grano de alúmina. Los valores calculados para la tensión umbral en cada compuesto se recogen también en la Figura 3.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de fluencia difusional de un compuesto de alúmina reforzado con un 30% en volumen de plaquetas de SiC se han comparado con datos previos de compuestos reforzados con distintos contenidos de whiskers, entre el 5 y el 30% en volumen.

A bajas tensiones se ha encontrado un considerable aumento de resistencia a la fluencia para el compuesto reforzado con plaquetas, superior al observado para los compuestos con whiskers; a tensiones intermedias se observa la activación del deslizamiento acomodado de fronteras de grano a partir de una tensión umbral (150 MPa) inferior a la observada para compuestos reforzados con un 20% y un 30% de whiskers -175 MPa y 280 MPa respectivamente-. El efecto reforzante de las plaquetas queda patente con estos resultados, la geometría de los whiskers, excelente para el puentado y anclaje de las fronteras de grano, justifica la inhibición del deslizamiento acomodado a mayores tensiones que en el material reforzado con plaquetas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el soporte de una beca postdoctoral del Ministerio de Educación y Ciencia al autor JMCM. ♦

REFERENCIAS

1. G.C. Wei & P.F. Becher, "Development of SiC-whisker Reinforced Ceramics", *Am. Ceram. Soc. Bull.* **64**, pp. 298-304, 1985.
2. A. Ramírez de Arellano López, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1991.
3. Y.S. Chou & J.D. Green, "SiC-platelet/Alumina Composites, I. Effect of Forming Technique on Platelet Orientation", *J. Am. Ceram. Soc.* **75**, 3346-3352, 1992, "II. Mechanical Properties", *J. Am. Ceram. Soc.* **76**, pp. 1473-1479, 1993, y "III. Toughening Mechanisms", *J. Am. Ceram. Soc.* **76**, pp. 1985-1992, 1993.
4. Y.S. Chou & J.D. Green, "Processing and Mechanical Properties of a Silicon Carbide Platelet/ Alumina Matrix Composite", *J. Eur. Ceram. Soc.* **14**, pp. 303-311, 1994.
5. T.D. Claar, W.B. Johnson, C.A. Anderson. & G.H. Schiroky, "Microstructure and Properties of Platelet Reinforced Ceramics", *Ceram. Eng. Sci. Proc.* **10**(7-8), pp. 599-609, 1989.
6. K.T. Faber & A.C. Evans, "Crack Deflection Processes.-I. Theory", *Acta Metall.* **31**(4), pp. 565-576, 1983 y "II. Experiment", *Acta Metall.* **31**(4), pp. 577-584, 1983.
7. N. Claussen, "Ceramic Platelet Composites", pp 1-12, en *Structural Ceramics, Processing, Microstructure, and Properties*, RISO International Symposium on Metallurgy and Materials Science, RISO National Laboratory, Røksilde, Denmark, 1990.
8. J.M. Calderón Moreno, A. Ramírez de Arellano López, A. Domínguez Rodríguez, J.L. Routbort, *Fourth Euroceramics vol. 3* pp. 377-384, ed. S. Meriani, V. Sergio 1995.
9. H.T. Lin & P.F. Becher, "High Temperature creep deformation of alumina-SiC-whisker composites", *J. Am. Ceram. Soc.*, **74**[8], 1886-1893 (1991).
10. A. R. de Arellano López, A. Domínguez-Rodríguez, K.C. Goretta & J.L. Routbort, "Plastic deformation mechanisms in SiC-whisker-reinforced alumina composites", *J. Am. Ceram. Soc.* **76**[6] 425 (1993).
11. A. Ramírez de Arellano López, A. Domínguez Rodríguez, K.C. Goretta & J.L. Routbort, "Plastic Deformation of Alumina Reinforced with SiC Whisker", en *Plastic Deformation of Ceramics*, Eds. J.L. Routbort, R.C. Bradt, C. Brookes, Snowbird, Utah (EE.UU.) 1994.
12. A. Ramírez de Arellano López, A. Bravo Leon, A. Domínguez Rodríguez, "Evolución de los Mecanismos de Deformación Plástica en Cerámicos Compuestos de una Fase Plástica y una Fase Rígida: el Compuesto SiC(whiskers)/Al₂O₃", en *Materiales Compuestos I*, Eds. F. Paris et al (1995).
13. J.M. Calderón Moreno, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1995.
14. J.M. Calderón Moreno, A.R. De Arellano López, "Comportamiento mecánico en altas temperaturas de un compuesto de Al₂O₃-SiC(plaquetas)", en *Materiales Compuestos I*, Eds. F. Paris et al p.234-240, (1995).