

FLUIDEZ EN LA SOLIDIFICACIÓN DE COMPUESTOS DE MATRIZ METÁLICA CMM

O. Garbellini*, H. Palacio**, H. Biloni**

Instituto de Física de Materiales Tandil Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399 (7000), Tandil.

Se utilizó un equipo de infiltración por aplicación de presión hidrostática (HPID) para estudiar la fluidez de aleaciones binarias del sistema Al-Cu en el rango de 0-33% Cu, en una red de fibras cortas δ -Al₂O₃ preformadas. Se discute la influencia de parámetros del proceso tales como: temperatura de la fibra, presión aplicada y composición química de la aleación utilizada como matriz metálica, sobre la fluidez (Largo de infiltración) de los compuestos obtenidos. La fracción de volumen de la fibra es del 12%; la temperatura de la misma se varió entre 350 y 500°C y la presión aplicada varió entre 0.2 y 3 MPa. Se empleó microscopía óptica y electrónica para la observación de la microestructura de las muestras y del preformado respectivamente. Los datos de fluidez se relacionan con la microestructura y se comparan con resultados obtenidos en trabajos previos de fluidez de aleaciones ternarias AlCuSi.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener materiales con propiedades tales como, bajo peso, alta resistencia, gran rigidez y que permita trabajar a altas temperaturas, produjo, en los últimos diez años, un gran interés en el desarrollo de procesos que posibiliten combinar los metales con materiales cerámicos de alta resistencia mecánica, dureza, resistencia a la abrasión etc. Tales propiedades, asociadas a la ductilidad de los metales, producen compuestos de matriz metálica (CMM) de excelentes propiedades y que permiten su utilización a elevadas temperaturas^{1,2}. Los métodos para su obtención pueden dividirse en dos clases:

- Procesos de estado sólido (metalurgia de polvos)
- Procesos de estado líquido

Dentro de éstos últimos el más utilizado es el de infiltración a presión, porque es más económico, versátil y permite la incorporación de varias geometrías de distribución de las fibras dentro de la matriz metálica. Además, no tiene limitaciones sobre el diámetro de las mismas o la forma y tamaño de las muestras a obtener. La aplicación de esta técnica a sistemas que involucran metales líquidos-cerámicos ha sido utilizada con éxito para la fabricación de compuestos de matriz Al, Mg^{3,4,5,6,7} y más reciente-

mente de Ni⁸. En la mayoría de los casos de interés práctico, los metales líquidos no mojan la fibra cerámica y por lo tanto, debe aplicarse una presión externa para provocar la infiltración. El método de aplicación de la misma puede ser a través de un pistón (*Squeeze Casting*) o utilizando gas presurizado (*Pressure casting*).

En este trabajo, se utiliza la técnica de *pressure casting* para investigar la relación entre las variables del proceso y las estructuras de solidificación con la fluidez de compuestos de matriz AlCu en el rango de 0-33%wtCu.

II. TÉCNICAS EXPERIMENTALES

La fibra utilizada es δ -Al₂O₃ de 3 μ m diámetro. La técnica de infiltración utilizada requiere de la fabricación de preformas de la fibra mencionada. Para ello, las mismas se dispersan en un fluido que contiene 4% de silica coloidal y que se utiliza como ligante; luego se colocan dentro del tubo que se utiliza como crisol para la infiltración, y se presionan hasta obtener la fracción de volumen deseada. Una vez secas, el ligante se deposita sobre las fibras y le da cohesión mecánica a la preforma. La Fig. 1 muestra una micrografía SEM de la superficie de una preforma de $V_f = 12\%$, donde puede observarse el ligante cubriendo parte de la superficie de la fi-

(*) Profesional Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

(**) Investigador Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

bra.

Un esquema del equipo experimental utilizado se muestra en la Fig. 2. El mismo permite un adecuado control de los parámetros del proceso:

- Control independiente de la temperatura de la preforma y del metal líquido a infiltrar (0-1000°C).
- Selección del sistema de solidificación
- Control de la presión de infiltración (0-10 MPa)

Para cada experiencia, se utiliza un tubo de acero inoxidable de 40 cm de largo y 0.20 cm de diámetro, dentro del cual está ubicada la preforma. La aleación a infiltrar se coloca en un crisol por debajo del tubo que contiene la preforma. Las mismas se calientan simultáneamente, pero en forma independiente, a la temperatura deseada. Una vez que alcanzan esa temperatura, se cierra la cámara y se presuriza con gas N_2 . De esta manera el metal es forzado a fluir por entre los intersticios de la preforma. Una vez solidificada la muestra, se corta longitudinalmente y la distancia que el metal infiltró dentro de la preforma se toma como medida de la fluidez (L_i). Cada valor corresponde a un promedio de cinco experiencias realizadas bajo las mismas condiciones.

En la Fig. 3a) se muestra un compuesto obtenido por *pressure casting*. El mismo se estudia utilizando metalografía convencional. Secciones transversal y longitudinal de un compuesto Al 5% Cu- δ :Al₂O₃ se muestran en la Fig. 3b) y c).

ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL

Las muestras obtenidas se analizaron con microscopía óptica. Para ello primero se pulieron mecánicamente hasta esmeril 600 y luego con pasta de diamante de hasta 1/4 μ m. Finalmente se les realizó un pulido electrolítico durante 15 seg con un reactivo para aleaciones de aluminio. Entre cada paso de pulido, las muestras se lavaron con alcohol etílico y se limpiaron con un equipo de ultrasonido. El ataque químico se realizó con NO_3Fe al 10% durante 2 seg. a 70°C.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos experimentales incluyen el efecto de la presión aplicada, la temperatura de la fibra y la composición química de la aleación utilizada como matriz metálica sobre la fluidez del compuesto (Largo de infiltración), cada una variando independien-

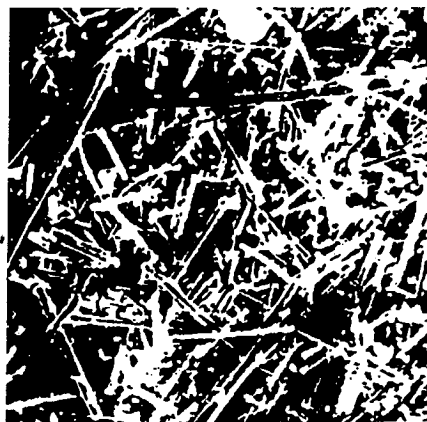


Fig. 1: Micrografía SEM mostrando la distribución de las fibras en un preformado ($V_f=12\%$) - 340 X .

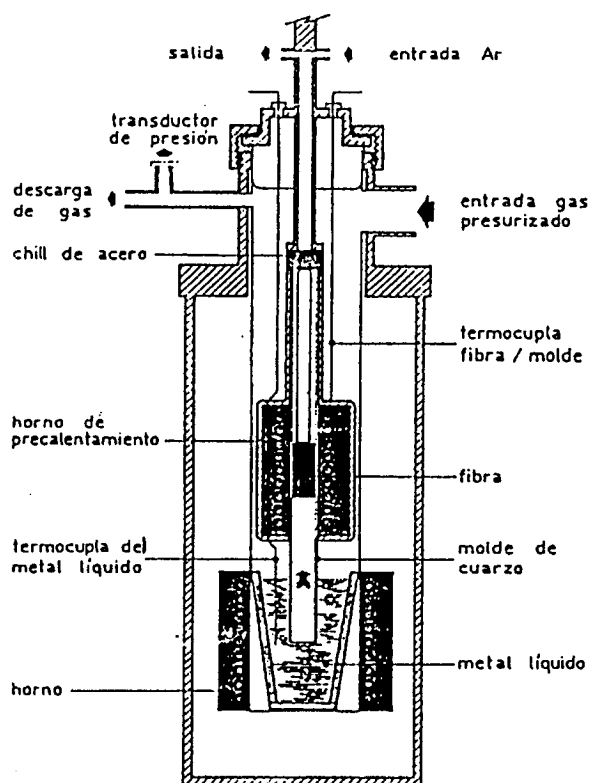


Fig. 2: Esquema del Equipo Experimental.

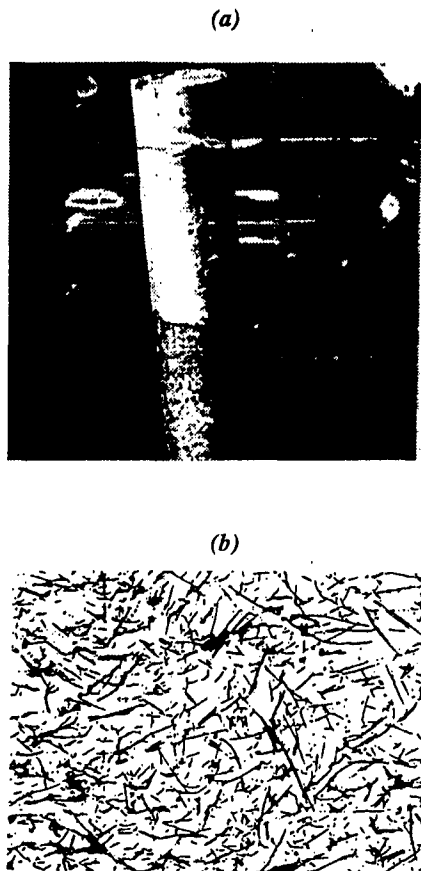


Fig. 3: a) Muestra de compuesto Al 5% Cu - δ : Al₂O₃. La infiltración fue de abajo hacia arriba. Se observa la interfaz Compuesto-Preforma. Micrografías ópticas de secciones pulidas del compuesto: b) paralelo al plano de la fibra, 150 X; c) perpendicular al mismo, 300 X

ción (L_i) vs composición química, a presión y temperatura del preformado constantes junto con las microestructuras correspondientes, se muestran en la Fig. 6. Puede observarse una disminución de la fluidez cuando se incrementa el porcentaje de Cu hasta alcanzar un mínimo en la composición cercana al límite de solubilidad sólida (Al 5%Cu). Mayores concentraciones de Cu incrementan el L_i hasta alcanzar un máximo en la composición eutéctica (Al 33%Cu).

En un trabajo previo se reportaron estudios de fluidez en aleaciones ternarias, en la esquina rica en Al del sistema AlCuSi⁹. Ellos demuestran que, en ensayos de fluidez lineal, el largo de fluidez es un balance entre el calor latente de fusión de la fase proeutéctica y la fluidez propia de los eutécticos binarios y ternarios presentes en la microestructura.

La Fig. 7 muestra micrografías de compuestos Al 5% Cu - δ :Al₂O₃ y Al 15% Cu - δ :Al₂O₃. En las mismas se observan regiones enriquecidas en soluto en forma de eutéctico Al-Al₂Cu alrededor de las

temente. Las curvas se muestran en las Figs. 4, 5 y 6 respectivamente. La forma de la curva L_i vs Presión aplicada indica que, para una matriz de Al 5%Cu y $T_f = 473^\circ\text{C}$, la infiltración comienza a partir de un valor umbral de 0.5 MPa. Puede verse que es muy sensible a presiones cercanas a este valor de umbral y es mucho menos sensible para presiones comprendidas entre 2-2.5 MPa. Inversamente, la forma de la curva L_i vs Temperatura de la fibra indica que la fluidez del compuesto se incrementa marcadamente a partir de un valor de umbral crítico comprendido entre 425-450°C. Por ejemplo, se produce un incremento del 75% en el largo de infiltración cuando la temperatura de la fibra aumenta 18°C en el intervalo 455-473°C.

Los datos experimentales de Largo de infiltra-

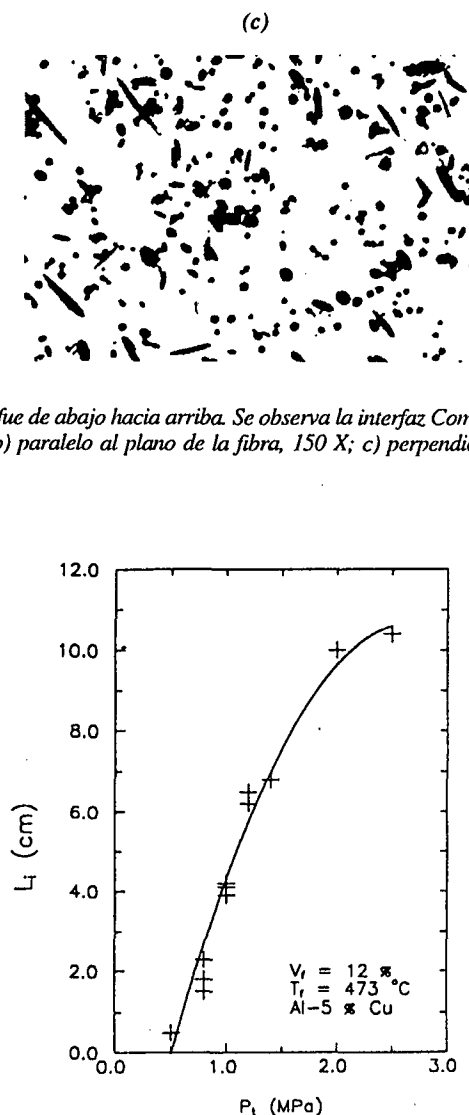


Fig. 4: Efecto de la Presión en el Largo de infiltración.

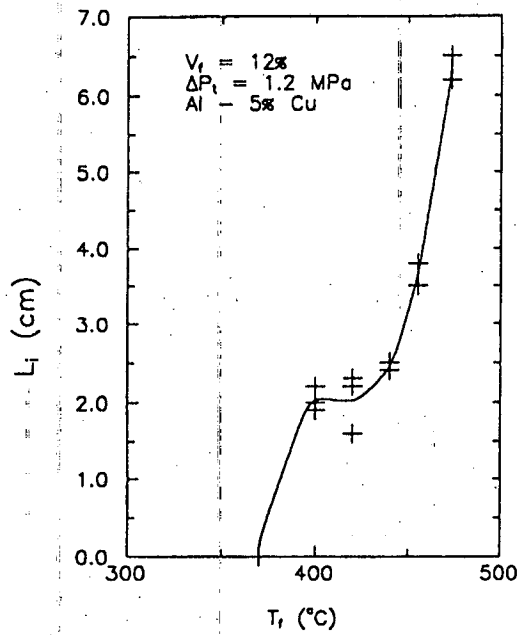


Fig. 5: Efecto de la Temperatura de la fibra en el Largo de infiltración.

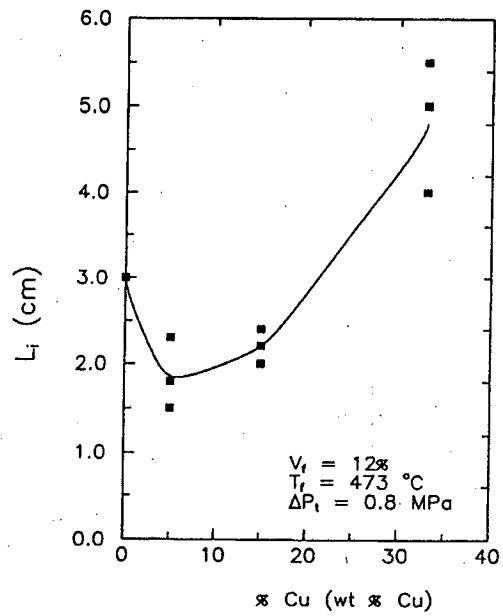
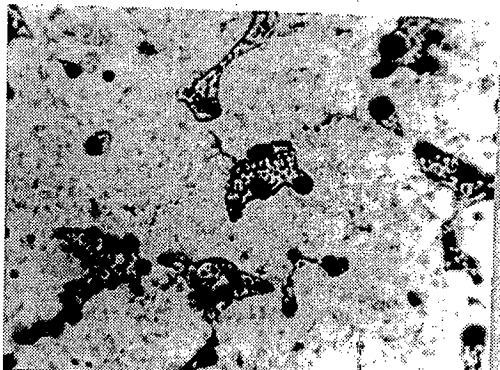


Fig. 6: Efecto de la composición química en la largo de infiltración.

a) 600 X



b) 200 X

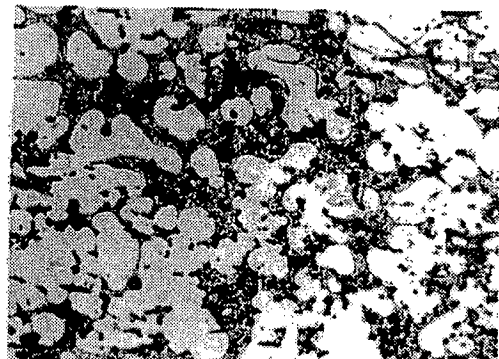


Fig. 7: Compuesto: a) Al 5% Cu- δ : Al_2O_3 , y b) Al 15% Cu- δ : Al_2O_3 .

fibras. Esto indicaría que la solidificación comienza en el centro del espacio interfibra y avanza hacia las mismas hasta que el último líquido solidifica como eutéctico. Puede observarse además que la cantidad de eutéctico aumenta a medida que el porcentaje de soluto se incrementa; es decir que el L_1 depende de la cantidad de eutéctico presente en la microestructura.

4. S. Oh, J. Cornie and K. Russell: Metall. Trans. A Vol. 20A, 527-41 (1989).
5. P. B. Maxwell, G. Martins, D. Olson and G. Edwards: Metall. Trans. B, Vol 21B, 475-85 (1990).
6. A. Mortensen, L. Masur, J. Cornie and Flemings: Metall. Trans. A 20A, 2535-57.
7. A. Mortensen and T. Wong: Metall. Trans. A. Vol. 21A, 2257-87 (1990).
8. S. Nourbakhsh, and Margolin: Metall. Trans. A. Vol. 20A, (1989).
9. O. Garbellini, H. Palacio and H. Biloni: Cast. Metals Vol.3, (1990).

REFERENCIAS

1. T. S. Srivatsan, I. A. Ibrahim, F. A. Mohamed and E. A. Lavernia: J. Mater. Sci. Vol 26, 5965-78 (1991).
2. S. J. Harris: Mater. Sci. and Technol. Vol.4, 231-39 (1988).
3. V. Semlak and F. Rhines: Trans. AIME Vol. 212, 325-31 (1958).