

# TAMAÑO DE GRANO VS CREEP EN LA SUPERALEACION PE-10

A. C. Picasso, H. A. Palacio\*

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, 7000 Tandil

Se ha analizado el comportamiento que tiene el tamaño de grano sobre las propiedades de creep para la superaleación base níquel PE-10. Se obtuvieron probetas con diferentes tamaño de grano interno, comprendidos entre 50 y 120  $\mu\text{m}$ ., en el rango de máxima resistencia al creep. Los ensayos de creep se realizaron a una temperatura de 650°C y una tensión de 437 MPa. Los resultados muestran una relación de tipo parabólico entre  $\dot{\epsilon}_s$  (velocidad de deformación para el estado estacionario) y el tamaño de grano. Estos resultados presentan algunas analogías con estudios similares realizados en superaleaciones austeníticas base Fe. Actualmente se trabaja en ensayos de creep sobre probetas cilíndricas de Inconel 713 C, con el objeto de estudiar el problema anterior sobre un rango más amplio de temperaturas y tensiones.

## INTRODUCCION

Existen diversas opiniones al considerar los efectos que tienen los distintos tamaño de grano sobre el comportamiento de creep a medianas y altas temperaturas. Algunos autores<sup>1,2</sup> muestran que la velocidad de creep en el estado estacionario ( $\dot{\epsilon}_s$ ) disminuye hasta alcanzar un "plateau", al disminuir el tamaño de grano (fig. 1a).

Otros investigadores<sup>3,4</sup> han concluido que  $\dot{\epsilon}_s$  disminuye al principio con el tamaño de grano hasta alcanzar un mínimo y luego se incrementa (fig. b). Un estudio similar ha sido publicado por Gibbons y Hopkins<sup>5</sup> para una aleación base níquel, variando el contenido de la segunda fase  $\gamma$  para una temperatura de 750°C y una tensión de 154 MPa, donde se observa que  $\dot{\epsilon}_s$  puede aumentar o disminuir con el tamaño de grano de acuerdo al porcentaje en volumen de fase  $\gamma$  en la matriz.

Nuestro propósito fue analizar el comportamiento de la  $\dot{\epsilon}_s$  con el tamaño de grano para una temperatura de 650°C (0.49  $T_m$ ) y una tensión de 437 MPa, manteniendo el porcentaje en volumen de la segunda fase  $\gamma^*$  (Ni<sub>3</sub>Nb).

## MATERIAL Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El material ensayado fue una superaleación base níquel cuya composición se muestra en la Tabla 1. Las muestras fueron obtenidas por el proceso de "investment casting" y el refinamiento del tamaño de grano se obtuvo utilizando como nucleante Co-

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en porcentajes de 0; 10; 14; 21%. La temperatura de colada fue de 1450°C, la temperatura del molde de 950°C y la velocidad de enfriamiento de 5°C/s.

La geometría de las muestras fue del tipo plana y luego de su obtención "as-cast" se les realizó un tratamiento térmico de solubilizado durante 10 hs

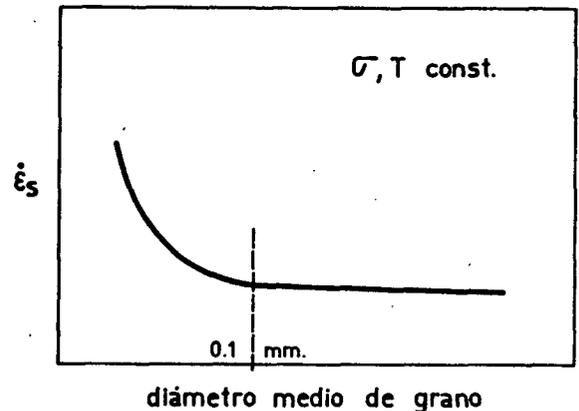


Figura 1a

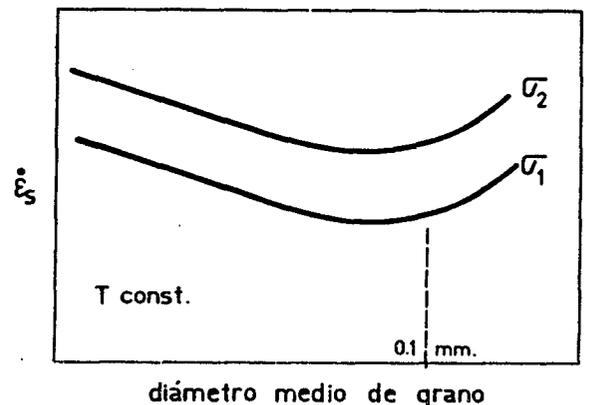


Figura 1b

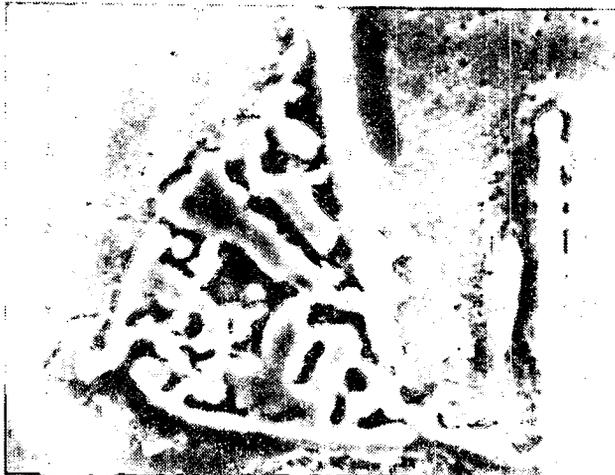
\* Investigador CIC

Elemento químico	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W
WT. %	0.02	0.28	0.34	19.9	Bal	5.9	2.35
	Co	Fe	Nb/Ta	Al	Cu	P	S
	<0.10	2.55	6.73	0.17	<0.2	<0.03	<0.005

**Tabla 1.**  
**Composición Química de la Superalación PE-10 Cannon-Muskegon.**

a 1100°C y un posterior tratamiento de precipitado de 16 hs a 750°C, ambos enfriados en agua, con el objeto de lograr un porcentaje en volumen adecuado de la fase  $\gamma^*$  ( $Ni_3Nb$ ) de acuerdo con anteriores resultados presentados<sup>6</sup>. Los especímenes fueron examinados metalográficamente y se determinó su tamaño de grano interno y la microestructura resultante de los tratamientos térmicos. La microestructura interna fue revelada mediante pulido mecánico y ataque químico con  $ClFe_3$  (20 gr) +  $HCl$  (50 cc) +  $H_2O$  (50 cc) a 55°C durante 15 min o más.

Los ensayos fueron realizados en una máquina de creep a tensión constante y la temperatura se



**Figura 2a: Microestructura "as-cast" (5400 X)**



**Fig. 2b: Microestructura trat. solubilizado (5400 X)**

Probeta	Diámetro medio de grano	$\dot{\epsilon}_s \times 10^{-3} h^{-1}$
0	117 $\mu$	2.01
10	82 $\mu$	1.05
14	50 $\mu$	3.10
21	58 $\mu$	2.16

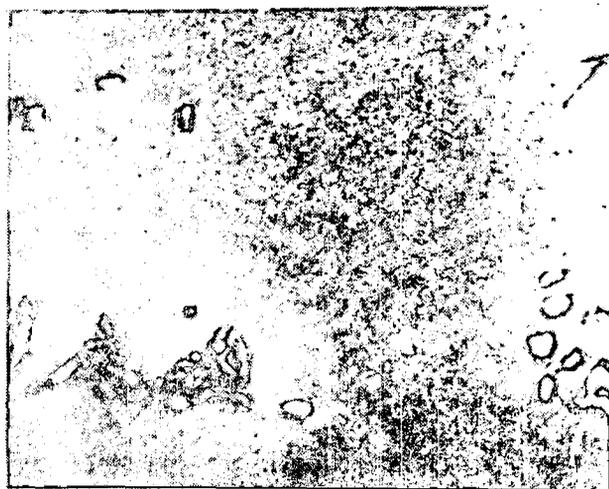
**Tabla 2.**

mantuvo en la zona de la longitud útil lo de deformación de la probeta en 650°C y la diferencia de temperaturas entre los extremos de la misma fue de  $\pm 0.2^\circ C$  a fin de evitar gradientes térmicos perjudiciales. Dichos ensayos tuvieron una duración promedio de 100 horas, al cabo de las cuales la curva presentó el creep primario y una zona amplia sobre el creep secundario suficiente para evaluar la  $\dot{\epsilon}_s$ .

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la figura 2 se muestran las microestructuras "as-cast", solubilizada y precipitada resultantes de los tratamientos térmicos. La microestructura dendrítica "as-cast" observada por microscopía óptica y electrónica mostró la presencia de eutéctico interdendrítico  $NiCrNb$  rodeando a una segregación globular masiva de  $Ni_3Nb$  (Fig. 2a). En el TT de solubilizado se observó una disolución efectiva del eutéctico interdendrítico en la matriz  $\gamma$ , conservándose los precipitados masivos de  $Ni_3Nb$  de difícil disolución, reconocida como normal para este tipo de aleación (Fig. 2b). Las micrografías de la Fig. 2c revelaron una fina precipitación homogénea de  $\gamma^*$  en forma de pequeñas agujas Widmanstatten en la dirección de planos cristalográficos preferenciales.

Los tamaños de grano de las probetas ensayadas



**Fig. 2c: Microestructura trat. precipitado (1200 X)**

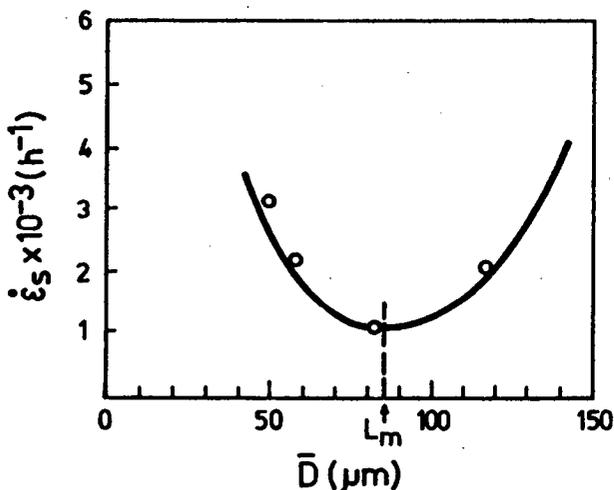


Figura 3:  $\dot{\epsilon}_s$  vs tamaño de grano para PE - 10

se muestran en la Tabla 2 y su relación con el porcentaje de nucleante utilizado. A partir de las curvas obtenidas en las experiencias de deformación por creep vs. tiempo, para los diferentes tamaños de grano, se obtuvo la velocidad de creep  $\dot{\epsilon}_s$  para el estado estacionario (Tabla 2).

Se graficó la  $\dot{\epsilon}_s$  para los distintos tamaños de grano (Fig. 3). La misma muestra una relación de tipo parabólico y un tamaño de grano óptimo para el cual la velocidad de creep en el estado estacionario es mínima. Esto está de acuerdo con el comportamiento observado por algunos autores<sup>3,4</sup> sobre la relación  $\dot{\epsilon}_s$  con el tamaño de grano. Dicha relación es de la forma:

$$\dot{\epsilon}_s = \frac{K(2l_m^3 + l^3)}{l}$$

Donde la constante K depende de la tensión, l es el tamaño de grano y  $l_m$  el tamaño de grano óptimo, dependiente de la tensión y la temperatura. Esta relación ha sido comprobada<sup>3,4</sup> especialmente sobre superaleaciones austeníticas base Fe, para

temperaturas intermedias del orden de  $0.5 T_m$  y tensiones relativamente bajas.

Actualmente se trabaja con probetas cilíndricas obtenidas directamente por microfusión. Se utilizará la superaleación IN 713 LC e IN 738. El objetivo de esta segunda etapa es estudiar, para un mismo tamaño de grano, la incidencia que existe entre las estructuras de solidificación y las modificadas mediante TT de solubilizado y precipitado en la morfología y el tamaño de las partículas  $\gamma$ , así como la relación de ésta última con las propiedades de termofluencia.

Estos resultados fueron aplicados al desarrollo tecnológico de álabes estatóricos y los mismos se encuentran funcionando normalmente hace 15000 hs en una turbina de gas de YPF en Chimpay (RN.). Actualmente se trabaja en la obtención de álabes rotóricos en vacío, dentro del convenio Fac. Cs. Exactas UNCPBA - Fundalum S. A.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es financiada parcialmente por el CONICET (PID N° 3-155400/88) y la CICPBA.

## REFERENCIAS

1. E. G. Richards, J. Inst. Metals, 1968, 96, pág. 365-370.
2. C. R. Barrett, J. L. Lytton, and O. D. Sherby, Trans. Met. Soc. AIME, 1967, vol. 239, pag. 170-180.
3. F. Garofalo, W. F. Domis, and F. Von Gemmingen, Trans. Met. Soc. AIME, 1964, Vol. 230, pag. 1460 - 1467.
4. P. Shahinian and J. R. Lane: Trans. ASM, 1953, vol. 45, pag. 177.
5. T. B. Gibbons and B. E. Hopkins: Met. Sci. J., 1971, vol 5, pag. 233.
6. H. Palacio, O. Garbellini, A. Ges, R. Scarpa, A. Picasso y H. Biloni, Metalurgia Moderna, Sociedad Argentina de Metales. En Prensa, 1989.