

**ANALISIS DE LA CINETICA DE CRECIMIENTO DE LA FASE
GAMMA PRIMA EN LA ALEACION INCONEL 713C**

POR

S.I. THORP, R.A. VERSACI, A. GES, H.A. PALACIO

Comisión Nacional de Energía Atómica
República Argentina

Trabajo a ser presentado en las 17. Jornadas metalúrgicas de la Sociedad Argentina de Metales; 2. Encuentro argentino de cerámicos y refractarios el 13-16 de April de 1993 San Carlos de Bariloche -Argentina-

ANALISIS DE LA CINETICA DE CRECIMIENTO DE LA FASE GAMMA PRIMA EN LA ALEACION INCONEL 713C

S.I. THORP
R. VERSACI

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
Comisión Nacional de Energía Atómica, Gerencia
Desarrollo, Departamento Materiales, Avda.
Libertador 8250, 1429 Buenos Aires.

A. GES; H. PALACIO

IFIMAT, Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA,
Pinto 399, 7000 Tandil.

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el efecto sobre la cinética de crecimiento de la fase gamma prima en la aleación Inconel 713C de dos tratamientos térmicos. Para realizar este estudio se utilizan técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido y los resultados se analizan por medio de la teoría desarrollada por Lifshitz, Slyozov y Wagner (teoría LSW).

Se determinó que no es posible diferenciar por medio de la teoría si el proceso de crecimiento es controlado por difusión o por difusión en la interfase para los tiempos utilizados en las experiencias (2600 horas) siendo necesario tiempos del orden de las 10000 horas.

ABSTRACT

This work shows the analysis of the effect on growth cinetics of gamma prima phase in Inconel 713C alloy of two thermic treatments.

In this study SEM are used and the results are analyzed by means of the theory developed by Lifshitz, Slyozov and Wagner (LSW theory).

The findings have revealed that with such theory it is not possible to determine if the process of growth is controlled either through difussion or through difussion in the interphase as to the time employed in the experiment (2600 hours); the time required is approximately 10000 hours.

81/93

ANALISIS DE LA CINETICA DE CRECIMIENTO DE LA FASE GAMMA PRIMA EN LA ALEACION INCOMEL 713C.

S. I. THORP Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA
 R. VERSACI Comisión Nacional de Energía Atómica.
 Av. Libertador 8250. (1429) Capital Federal.
 A. GES; H. PALACIO IFIMAT, Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA,
 Pinto 399. (7000) Tandil.

INTRODUCCION

En las superaleaciones de base níquel, una vez sometidas a tratamientos térmicos, es posible identificar las siguientes fases principales: la matriz (fase gamma), la fase gamma prima -que es un compuesto intermetálico- y carburos del tipo MC, $M_{23}C_6$ y M_6C . El buen desempeño se obtiene por el endurecimiento de la matriz como consecuencia de los precipitados y solutos y la estabilidad estructural depende de factores tales como el tamaño de la partícula gamma prima precipitada, su distribución y composición. Todos estos factores pueden ser controlados variando los tratamientos térmicos, por lo que resulta de gran utilidad conocer la influencia del tiempo y de la temperatura sobre la precipitación de la fase gamma prima.

El propósito de este trabajo fue estudiar la cinética de precipitación y crecimiento de las partículas de la fase gamma prima, en función del tratamiento térmico aplicado, en la aleación INCOMEL 713C.

La primera teoría detallada fue desarrollada por Lifshitz, Slyozov y Wagner (teoría LSW) [1,2]. Ellos describieron la cinética de crecimiento para fases de muy baja fracción en volumen y morfología esférica, aunque fue luego aplicada, con buenos resultados, a casos como el que se estudió en este trabajo [3-7].

Si el proceso es controlado por difusión el tamaño promedio de la partícula gamma prima debería incrementarse de acuerdo a la siguiente ley:

$$r^3 - r_0^3 = k t$$

donde r y r_0 son los radios promedios al tiempo t y al tiempo cero y k es una constante dependiente de la temperatura, que describe la velocidad de crecimiento.

Si, por el contrario, el proceso fuera controlado por difusión en la interfase, el tamaño promedio de la partícula gamma prima seguiría la siguiente ley:

$$r^2 - r_0^2 = k' t$$

donde r , r_0 , y k' tienen el mismo significado que en el caso anterior, sólo que ahora la velocidad de crecimiento es diferente.

La teoría LSW permite, en el caso de control por difusión en toda la matriz, obtener la función distribución del radio de las partículas normalizada al radio medio. La función es de la forma:

$$F(u, \Gamma) = G(u) T(\Gamma)$$

donde

$$u = r_i / \langle r \rangle$$

$$\Gamma = 3 \ln(\langle r \rangle / \langle r \rangle_0)$$

siendo $\langle r \rangle$ el radio medio de la distribución al tiempo t , y $\langle r \rangle_0$ el correspondiente al instante inicial.

Las funciones son:

$$T(\Gamma) = e^{-\Gamma}$$

que describe el comportamiento temporal, y

$$G(u) = \frac{\exp \int_0^u \frac{du}{f(u)}}{f(u)}$$

que describe el comportamiento espacial ya que $f(u) = du / d\Gamma$.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para establecer la ley que describe el crecimiento de la fase gamma prima, se midió el tamaño medio de las partículas a partir de micrografías obtenidas en el SEM, comparándose dos tratamientos térmicos, el denominado *usual*, que consiste en un solubilizado de 2 hs. a 1176°C y un precipitado de 16 hs. a 926°C y el *propuesto*, que consiste en un solubilizado de 2 hs a 1176°C un segundo solubilizado de 2 hs. a 1080°C, un precipitado de 16 hs a 925°C y un segundo precipitado de 16 hs. a 760°C.. Después de estos tratamientos las muestras fueron envejecidas a 950°C durante tiempos comprendidos entre 168 y 2616 hs.

-Para el tratamiento usual no pudo confirmarse ninguna de las leyes de crecimiento. Se encontró una anomalía en el patrón de comportamiento evidenciada en una aparente saturación en el tamaño de las partículas para exposiciones prolongadas. Este estado de equilibrio en la cinética de crecimiento fue encontrado por Richards y Footner [8] en las aleaciones NIMBOA e INCONEL 939, para muestras envejecidas a 930°C.

Una verificación adicional que se intentó en orden de discernir el mecanismo regente del crecimiento, fue comparar la distribución de los radios medidos con la que se deriva de la teoría de crecimiento por difusión propuesta por Lifshitz et al. Esta teoría establece que una vez alcanzado el estado estacionario la función distribución de tamaños normalizada al radio promedio de la población,

permanece constante en el tiempo. La interpretación del desajuste con los datos experimentales (Fig 1) debe hacerse considerando dos aspectos. El desplazamiento hacia la izquierda del máximo de la función distribución experimental indica que de acuerdo a la teoría hubiera sido esperable que el modo de la distribución se obtuviera para un radio mayor. Por otra parte tampoco la altura de la función coincide con la obtenida experimentalmente. Esto indica que lo que no se verifica es el crecimiento según una ley $t^{1/3}$ (control por difusión) ya que este valor depende del cociente entre el radio medio al tiempo considerado y el radio medio en el instante inicial.

-Para el tratamiento propuesto, no fue posible distinguir entre un proceso controlado por la interfase o controlado por difusión. La figura 2 muestra que las curvas están prácticamente superpuestas al ser el apartamiento entre ellas menor que el error de medición. La diferencia es significativa recién para un envejecimiento de aproximadamente 10000 hs. (Fig. 3), para distinguir entre los mecanismos propuestos para regir el crecimiento de la fase gamma prima. Como para el tratamiento usual, se eligió una muestra para chequear la distribución de los radios. La figura 4 muestra que hay un buen ajuste entre la distribución experimental y la teórica asociada a la difusión.

REFERENCIAS

- [1] I. Lifshitz & V. Slyozov: Phys. Chem. Solids **19** (1961) 35.
- [2] C. Wagner: Z. Electrochem. **65** (1961) 581.
- [3] N. Njah & O. Dimitrov: Act. Metall. **37** N09 (1989) 2559.
- [4] H. Gleiter & E. Hornbogen: Mater. Sci. and Eng. **2** (1967/68) 285.
- [5] B. Reppich & G. Shumann: Mater. Sci. and Eng. **A101** (1988) 171.
- [6] C. Schlesier & E. Membach: Mater. Sci. and Eng. **A119** (1989) 199.
- [7] W. Hein: Acta Metall. **37** N08 (1989) 2145.
- [8] P. Footner & B. Richards: J. Mater. Sci. **17** (1982) 2141.

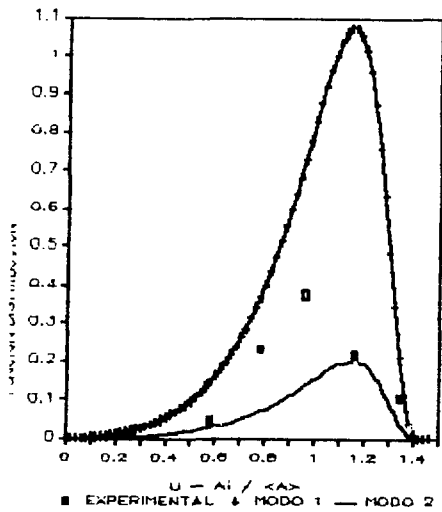


FIGURA 1: Distribución de radios 1944 hs, tratamiento usual.

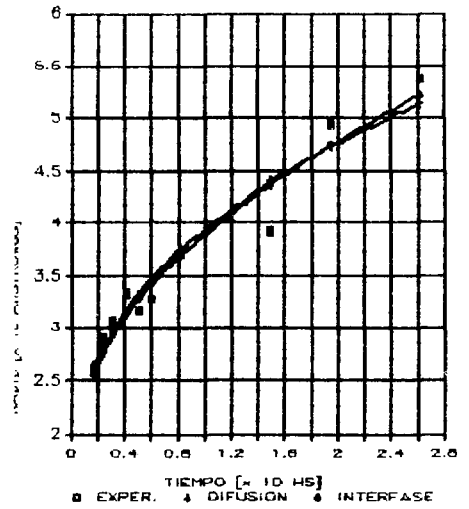


FIGURA 2: Comparación de los mecanismos de crecimiento dentro de la zona medida.

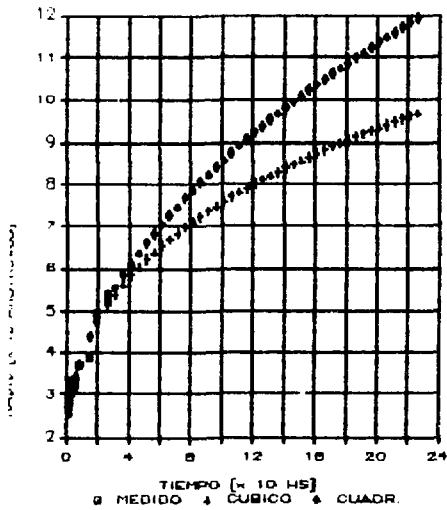


FIGURA 3: Extrapolación de las curvas asociadas a los distintos mecanismos de crecimiento.

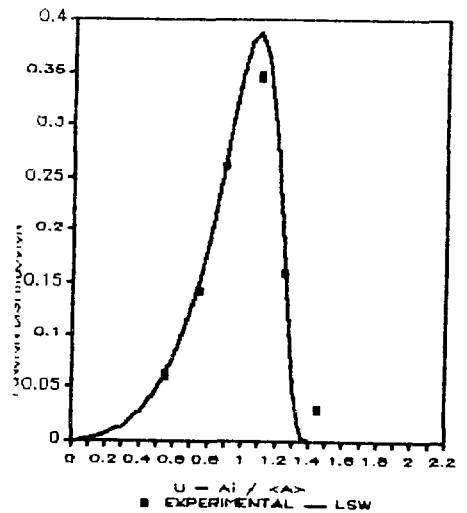


FIGURA 4: Función de distribución de tamaño de partículas para el crecimiento controlado por difusión, según teoría LSW. Comparación con valores medidos.