

## **CORRELACIÓN ENTRE LA MICROESTRUCTURA Y LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL ACERO 1Cr-0.5Mo**

### **CORRELATION BETWEEN THE MICROSTRUCTURE AND THE MECHANICAL STRENGTH OF STEEL 1Cr-0.5Mo**

**Emanuel Ramos<sup>1</sup>, Francisco Bottarini<sup>1</sup>, Nicolás Gutiérrez<sup>1</sup>, Gabriel González<sup>1</sup>, Lilián Moro<sup>1</sup>**

(1) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, Grupo de Estudios de Materiales (GEMAT),  
Montevideo 340, (8000) Bahía Blanca, Buenos Aires – Argentina  
(e-mail: franbottarini@gmail.com)

*Recibido: 16/11/2015 - Evaluado: 15/12/2015 - Aceptado: 27/06/2016*

#### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es describir la evolución de la microestructura y las transformaciones de fase del acero 1Cr - 0.5Mo en condiciones de recepción, tratado térmicamente y luego de haber sido sometidos a ensayos de termofluencia. Para mejorar sus condiciones de servicio se realiza en el material un austenizado con un posterior revenido que permitirá la transformación de los carburos. Así los carburos estables del tipo  $M_2C$  que causan el endurecimiento secundario por efecto del tratamiento se disuelven y son reemplazados por  $M_6C$  en ferrita y  $M_{23}C_6$  en bainita. Se realizan ensayos de termofluencia por tracción, con las mismas condiciones tanto en el acero en condición de servicio como en los tratados térmicamente. Luego se analiza la variación de la micro estructura, donde se observa la variación de los carburos en función del incremento de la tensión de los ensayos.

#### **ABSTRACT**

The objective of this paper is to describe the evolution of the microstructure and phase transformations 1Cr - 0.5 Mo steel in reception conditions, heat treated and then being subjected to creep tests. To improve its conditions of service is performed in a material austenitizing with subsequent tempering that will allow the transformation of carbides. Thus the stable carbides of  $M_2C$  type that cause secondary hardening by effect of the treatment dissolve and are replaced by  $M_6C$  in ferrite and  $M_{23}C_6$  in bainite. Tensile creep tests are performed with the same conditions in both steel in service conditions as in heat-treated. Microstructural variation, in which change the carbides with increasing tension in test is observed.

Palabras clave: termofluencia, variaciones estructurales, carburos, acero 1Cr 0.5 Mo  
Keywords: creep, structural variation, carbides, steel 1Cr-0.5Mo

## INTRODUCCIÓN

En las plantas generadoras de energía las carcasas de las turbinas de vapor están expuestas durante largos períodos de trabajo a altas temperaturas y tensiones; situación que provoca la degradación del material. Se presenta, como una necesidad, que los componentes operen en servicio el mayor tiempo posible y garantizando amplias condiciones de seguridad. La literatura indica que se planifica el diseño para que tengan un período de funcionamiento de 100.000 h, sin embargo, los casos de fallas prematuras por deterioro de las propiedades del material suelen producirse un tiempo antes que el período propuesto, por lo que se deben reemplazar los componentes antes de cumplirse el tiempo previsto (Viswanathan *et al.*, 2002).

Dobrzanski *et al.* (2006), estudiaron el acero 1 Cr – 0.5 Mo y encontraron que durante el servicio se producen variaciones microestructurales tales como: transformación de carburos, descomposición de áreas perlitas/bainitas, cambios en la morfología de los carburos, segregación química de impurezas y modificaciones en la composición química de la matriz, las cuales son las responsables de la variación de propiedades mecánicas del material.

Se observó que por efecto de la temperatura y la tensión, se producen daños como generación y crecimiento de fisuras provocadas por creep y fatiga que pueden provocar la rotura prematura del componente. Los aceros ferríticos de baja aleación son ampliamente usados para estos fines, por poseer alta resistencia mecánica, asociada a la microestructura de la matriz, donde se observa la presencia de precipitados de carburos y nitruros estables (Badeshia, 2001).

El objetivo de este trabajo es estudiar la evolución de la microestructura y la resistencia mecánica de las muestras con y sin tratamiento térmico previo, que fueron ensayadas por creep a distintas tensiones y temperaturas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras del acero 1Cr – 0,5Mo se tomaron de tubos sin costura de 73 mm de diámetro externo y 12 mm de espesor. Se determinó la composición química de las muestras mediante un espectrómetro de emisión por plasma, marca Spectromax modelo X. En la Tabla 1, se presentan los elementos componentes y los valores medidos de las concentraciones (% en peso) del material.

Para realizar el estudio de la microestructura se desbastaron las probetas con papeles abrasivos de diferentes granulometrías y se atacaron químicamente por inmersión, con Nital al 2%. Las observaciones de la microestructura del material se realizaron con un microscopio metalográfico óptico.

Tabla 1: Análisis composicional del acero (% en peso).

Elementos	C	Cr	Mo	Si	Ni	Mn	S	Cu	Otros	Fe
% en peso	0,04	1,08	0,36	0,70	0,04	0,39	0,35	0,01	S, P < 0,2	Bal

En la Figura 1, se muestra la estructura del acero ferrítico en su estado original, donde se observa la presencia de una matriz de ferrita, un disperso de bainitas y una importante cantidad de pequeños carburos distribuidos en toda la matriz. La estructura inicial de un acero de baja aleación resistente al creep como el 1Cr - 0,5Mo, depende no solo de su composición química sino también de la velocidad de enfriamiento después del proceso de fabricación, así podrá consistir en ferrita + perlita, ferrita + perlita + bainita o bainita + ferrita (Purmensky *et al.*, 2001).

Para estudiar la influencia de la temperatura sobre la estructura del material se realizó un tratamiento térmico de austenización durante 1hs a 1223 K seguido de un enfriamiento en aire y con un posterior revenido a 1023K durante 3 horas y nuevamente con enfriamiento al aire.

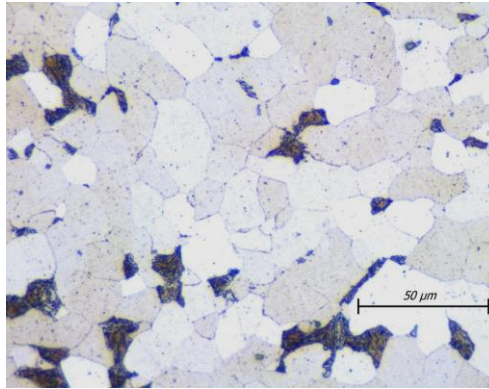


Fig. 1: Microestructura del acero en su estado original (500 X).

Para determinar el comportamiento del material en función del tratamiento térmico, se efectuaron ensayos de termofluencia en probetas del material en estado de entrega y luego tratado térmicamente. Estos ensayos se llevaron a cabo con un equipo de tracción en caliente donde se mantienen la tensión y temperatura constantes respetando las condiciones de la norma ASTM E 139 (Molina *et al.*, 2013; ASTM , 2011).

Se determina la velocidad de deformación equivalente, la cual se vincula con la temperatura y la tensión aplicada (Evans & Wishire, 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El acero 1 Cr 0.5 Mo presenta una buena resistencia mecánica a alta temperatura por efecto de la precipitación de carburos pero una baja resistencia a la corrosión a temperaturas alrededor de 823 K por su bajo contenido de cromo. Dado que su utilización resulta de mucho interés desde el punto de vista económico se realizó un tratamiento térmico para mejorar su resistencia al creep.

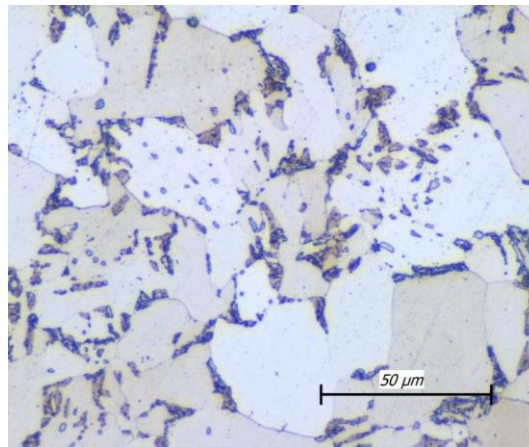


Fig. 2: Microestructura del acero luego del tratamiento térmico a 1023K y 3hs. de permanencia en el horno (500 X).

La microestructura del acero luego del tratamiento térmico se muestra en la Figura 2, donde se aprecia una matriz de granos equiaxiales de ferrita y un disperso de colonias de bainita más disgregadas que en la estructura del material original y presencia de carburos en bordes de grano.

Se caracterizó el comportamiento al creep del material en estado original y tratado térmicamente para lo cual se realizaron ensayos de creep a una temperatura de 873K y tensiones de 131, 168 y 205 MPa. Se repiten los mismos ensayos para el material con el tratamiento térmico realizado previamente. A partir de las gráficas trazadas de la deformación en función del tiempo se calcularon las velocidades de deformación de la zona del creep secundario (estado estacionario). Los valores de las velocidades se indican en la Tabla 2.

Tabla 2: Velocidades de deformación determinadas en los ensayos por creep a temperatura de 873K.

Acero	Original	Tratado
131 Mpa	$1.46 \cdot 10^{-8}$	$6.56 \cdot 10^{-9}$
168MPa	$4.04 \cdot 10^{-9}$	$7.09 \cdot 10^{-9}$
205MPa	$6.64 \cdot 10^{-7}$	$2.73 \cdot 10^{-8}$

A partir de los resultados obtenidos se calculan los coeficientes de tensión, cuyos valores se indican en la Tabla 3.

Tabla 3: Coeficientes de Tensión

Acero 1Cr 0,5Mo	Sin tratamiento térmico	Con tratamiento térmico
Coefficiente de tensión	2,13	7,15

Se evidencia un aumento del coeficiente de tensión en los aceros tratados térmicamente que verifica su mayor resistencia mecánica.

En la Figura 3 se muestra la microestructura del material ensayado a 131MPa y 873 K, donde se observa una menor proporción de colonias de bainitas, las cuales se están disgregando y carburos en borde de grano. Se supone que por efecto de la tensión y la temperatura se inicia la disolución de las mismas.

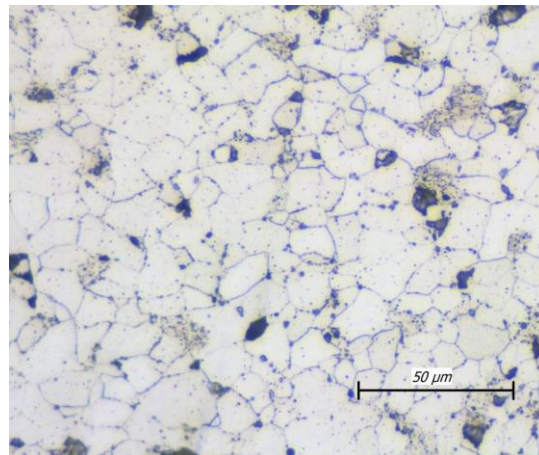


Fig. 3: Microestructura del acero: Luego de ser ensayado a 131MPa y 873K (500 X).

En la Figura 4 se muestra la microestructura del material con tratamiento térmico previo, ensayado a 131MPa y 873 K. En la misma se observa una mayor deformación de los granos ferríticos que se atribuye a la mayor duración del ensayo; también se aprecia mayor cantidad de carburos en borde de granos.

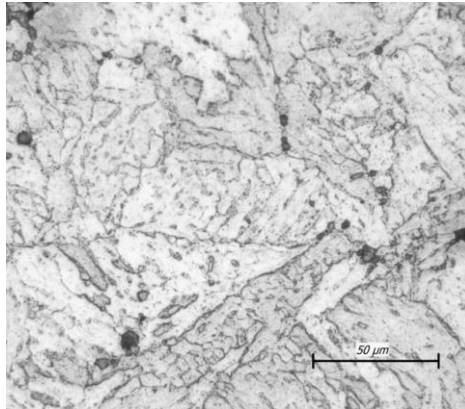


Fig. 4: Microestructura del acero luego de tratado térmicamente y posterior ensayo a 131 MPa y 873°K (500 X).

En cambio cuando el mismo material se ensaya a 205 MPa y 873K se observa una estructura donde las bainitas están prácticamente disueltas e incrementó el tamaño de los carburos que decoran los bordes de grano (ver Fig. 5). En la Figura 6, se puede observar resaltado en rojo los carburos de la micrografía de la Figura 5.

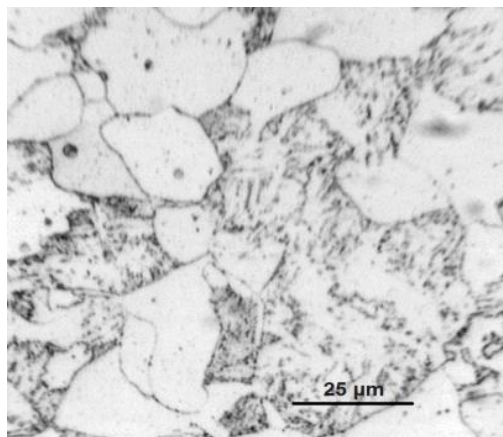


Fig. 5: Microestructura del acero: ensayado a 205MPa y 873K (300 X).

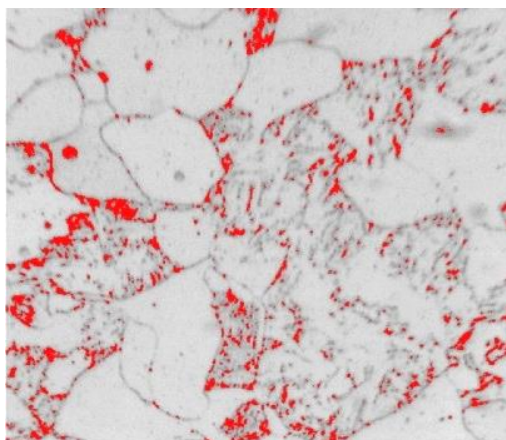


Fig. 6: Microestructura del acero: ensayado a 205MPa y 873K con análisis de los carburos (300 X).

La microestructura del material tratado térmicamente y luego ensayado a 205MPa y 873K, se puede observar en las Figuras 7 y 8.

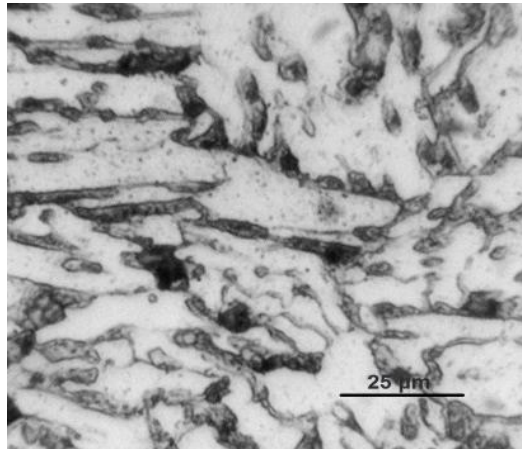


Fig. 7: Microestructura del acero tratado térmicamente y luego ensayado a 205MPa y 873K (300 X).

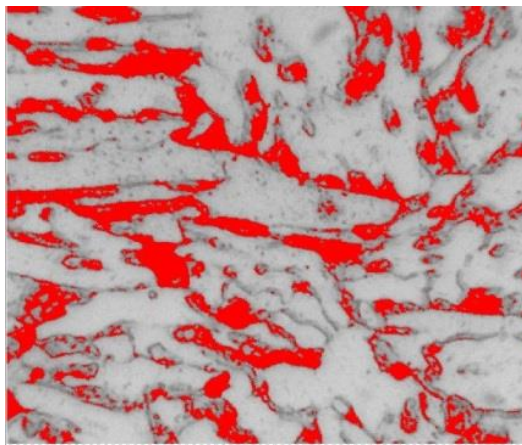


Fig. 8: Microestructura del acero tratado térmicamente y con análisis cuantitativo (300 X).

En estas últimas figuras se puede apreciar el mayor tamaño de los carburos del material tratado térmicamente.

Se realizó el análisis cuantitativo de las estructuras en los distintos casos. En la Tabla 4 se presenta la comparación de las dimensiones calculadas en el acero original luego de los ensayos de creep a 131 y 205 MPa.

Tabla 4: Dimensiones promedio calculadas en el material original donde las medidas se expresan en µm.

	131MPa	205MPa
Perímetro Bainitas	102,12	77,70
Área Bainitas	169,16	30,31

En la Tabla 5 se presenta la comparación de las dimensiones calculadas en ambos casos, luego de los ensayos de creep a 205 MPa.

Tabla 5: Dimensiones promedio de los carburos calculadas en ambos casos luego del ensayo a 205 MPa, donde las medidas se expresan en  $\mu\text{m}$ .

	Sin Tratamiento Térmico	Con Tratamiento Térmico
Area Max	30,310	408,066
Perimetro Max	77,707	473,705

## CONCLUSIONES

- A partir de los ensayos de creep se puede observar que en el material con tratamiento térmico la velocidad de deformación de la etapa secundaria disminuye respecto del material sin tratar. Esto indica un aumento de la resistencia al creep lo cual también se confirma con el mayor valor del coeficiente de tensión- El estudio de la microestructura indicó que en el acero tratado térmicamente se evidenció una matriz de granos equiaxiales de ferrita con un disperso de colonias de bainitas más disgregados y con carburos precipitados en borde de grano.

- En los materiales sometidos a creep se observa una variación de la estructura que depende de la tensión y del tiempo de los ensayos.

- A partir de los resultados obtenidos se puede inferir que el acero con un tratamiento térmico como el presentado, mejora sus condiciones de servicio principalmente su resistencia al creep.

## REFERENCIAS

1. ASTM (2011). American National Standard. ASTM E 139-70.
2. Bhadeshia, H.K.D.H. (2001), Bainite in steels, transformations, microstructure and properties. 2nd Ed. Thomson, R.C.
3. Dobrzanski, J., Sroka, M. & Zieliski, A. (2006). Methodology of classification of internal damage the steels during creep service. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 18, 263-266.
4. Evans, R. & Wishire, B. (1985). Creep of metals and alloys. The Institute of Metals, London, England.
5. Molina, R., Piovan, T., Moro, L. & Iurman L. (2013). Diseño de un equipo para ensayos de termofluencia de tensión constante. *Tecnología y ciencia*, Revista de la Universidad Tecnológica Nacional. UTN, Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado. Rev. 23, 30-35
6. Purmensky, J., Foldyna, V., Jakobova, A. & Kupka, V. (2001). *Creep Rupture Strength and Structural Stability of Low Alloys Steels*. 5<sup>th</sup> Conf. Creep and Fracture of Engineering Materials and Structure. The Institute of Materials, 547-554.
7. Viswanathan, R., Purgert, R. & Rao, U. (2002). Materials for Advanced Power Engineering 2002, Proceedings Part II, Forschungszentrum Julich GmbH, pp. 1109-1129.

