

MODELO TEÓRICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ENVEJECIMIENTO DEL ACERO 12CR1MOV A PARTIR DEL EFECTO BARKHAUSEN

Frank de los Reyes Rodríguez*, Eduardo Franco Fidalgo**, J. A. Pérez Benítez***

*Dpto de Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, **Dpto de Física, Universidad de Oriente

En el presente trabajo se desarrolla un modelo teórico para la caracterización del grado de envejecimiento del acero 12Cr1MoV empleado en las líneas principales de vapor de las unidades de 100 Mw de las Centrales Termoeléctricas de Cuba.

El modelo desarrollado parte del uso del modelo de Bertotti de la variación de flujo magnético con el cual se obtienen expresiones matemáticas que correlacionan el tamaño de medio del grano y de los precipitados de segunda fase, que constituyen parámetros microestructurales que definen el grado de envejecimiento del acero estudiado.

Palabras clave: *acero 12cr1mov, efecto barkhausen, envejecimiento*

In this paper a theoretical model for characterizing the degree of aging 12Cr1MoV steel used in the main steam lines of the units of 100 MW of thermal power plants in Cuba.

The developed model of the Bertotti model used in the magnetic flux variation which mathematical expressions are obtained that correlate the average grain size and second phase precipitates, which are microstructural parameters that define the degree of aging studied steel.

Key words: *steel 12cr1mov, barkhausen effect, aging*

Introducción

La determinación del grado de envejecimiento /5/ de los aceros tiene importancia práctica significativa pues da una medida de la evolución microestructural del mismo en un tiempo determinado y cuan envejecido se encuentra el mismo para soportar los regímenes de explotación y por tanto puede ser empleado para la determinación de la vida remanente en componentes que trabajan a elevadas cargas y temperaturas /2/.

Actualmente todas las investigaciones que se desarrollan en el ámbito científico valoran los sistemas de integridad estructural a partir de los valores de velocidad de crecimiento de grietas para el material en estado nuevo. No se tiene referencia de investigaciones que valoren la influencia del grado de envejecimiento para el cálculo de vida útil /6/.

El presente trabajo constituye una de las áreas de la tesis doctoral del autor relacionada con la determinación de la influencia del grado de envejecimiento en la velocidad de propagación de las grietas en las líneas principales de vapor de las unidades de 100 Mw de las CTE del país, en la misma figura como novedad y aporte científico el

desarrollo de una metodología para la determinación de la influencia del grado de envejecimiento en la velocidad de propagación de la grieta en el acero 12Cr1MoV simulando condiciones reales de explotación, para así determinar los coeficientes de corrección por envejecimiento en los cálculos de vida útil y el desarrollo de metodologías para la determinación del grado de envejecimiento en el acero 12Cr1MoV empleando el efecto Barkhausen y las técnicas de imagenología.

Además, el empleo de técnicas no destructivas como las propuestas, garantiza un control riguroso del estado del material sin detener el régimen de explotación de equipos y agregados que trabajen a elevadas cargas y temperaturas.

Procedimiento teórico

Para la realización de este estudio se llevaron a cabo valoraciones cuantitativas referentes a la evolución microestructural del material de las líneas principales de vapor con el tiempo de explotación, tomando como referencia para ello la variación del grado de los precipitados y tamaño del grano como parámetros fundamentales. La

estructura del material -cuando el mismo se encuentra en estado nuevo- está constituida de Ferrita, perlita y precipitados, estos últimos pueden ser clasificados en determinados grados según normas vigentes /1/ y es conocido que para el estado nuevo del material estos carburos son de

grado 3 como máximo. Con el aumento del tiempo de explotación la perlita tiende a desaparecer, aumentando la matriz ferrítica, así como también se observa un proceso de coalescencia y coagulación de los precipitados /5/, esta variación microestructural se puede observar en la figura 1:

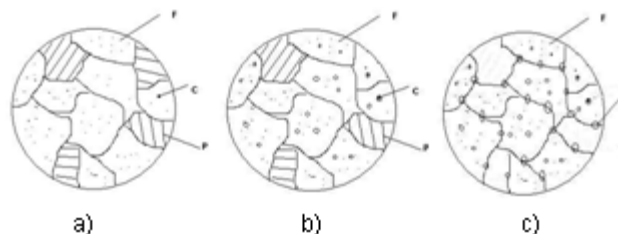


Fig. 1 Variación microestructural del acero 12Cr1MoV con el tiempo de explotación, a) Estado Inicial b) Estado intermedio c) Estado final.

De análisis metalográficos en muestras con grados de envejecimiento conocido y del uso de los archivos del departamento de información científica técnica de la CTE “Antonio Maceo” se recopiló una serie de datos que muestran

cuantitativamente la variación del grado de los carburos con el tiempo de explotación del material, con estos datos se hizo un análisis estadístico con modelo polinomial de grado II y coeficiente de correlación de 0,995.



Fig. 2 Variación del grado de los precipitados con el tiempo de explotación

Con este modelo es posible obtener para cada grado de envejecimiento un valor correspondiente del grado de los precipitados, el cual a su vez está ligado con el diámetro medio de los mismos. Para el establecimiento de una correlación entre los factores que determinan el envejecimiento y el Efecto Barkhausen se utilizó un modelo desarrollado por Pérez-Benítez /9/ el cual, como se mencionó, parte de la ecuación de Bertotti /10/:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{\sigma G} (H_{eff} - h_c) \quad (1)$$

donde:

σ es la conductividad eléctrica del material, $d\phi/dt$ es la variación del flujo magnético (y por tanto el voltaje inducido en la bobina receptora y conocido como Efecto Barkhausen), $G = 0,1356$, $H_{eff} = H - H_m$, donde H es el campo aplicado, H_m es el campo de desmagnetización y h_c es el campo coercitivo de los sitios de anclaje.

El campo aplicado se puede expresar como:

$$H(t) = H_s \sin(2\pi\phi f t) \quad (2)$$

donde:

H_s es el campo aplicado máximo y f es la frecuencia del campo aplicado.

Empleando para el análisis muestras de forma alargada y estrecha, se asume el valor $H_m \approx 0$. Entonces la ecuación 1.1 se puede expresar como:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{\sigma G} H_s \sin(2\pi ft) - \frac{h_c}{\sigma G} \quad (3)$$

Esta expresión muestra que el voltaje inducido está compuesto por una superposición de un armónico de baja frecuencia correspondiente al campo aplicado y una componente de alta frecuencia representada por los saltos de Barkhausen debido a los sitios de anclaje. La señal de Barkhausen que se obtiene del sensor antes de pasar a la tarjeta de adquisición es filtrada para

suprimir los componentes de baja frecuencia. Además, como la expresión 1,3 es para una sola pared de dominio y la señal medida corresponde a numerosas paredes que interactúan con los sitios de anclaje, entonces la señal resultante será:

$$V(t) = \frac{1}{\sigma G} m(h_c) h_c \quad (4)$$

donde:

$V(t)$ es el voltaje de la señal de Barkhausen y $m(h_c)$ es el número de sitios de anclaje con campos coercitivos locales h_c .

Si consideramos que los sitios de anclaje pueden deberse a 3 causas fundamentales: (i) los correspondientes al borde de grano, (ii) los correspondientes a partículas de segundas fases y (iii) los correspondientes a las dislocaciones, entonces la expresión (1.4) se puede expresar como:

$$V(t) = \frac{1}{\sigma G} m(h_g) h_g + \frac{1}{\sigma G} m(h_p) h_p + \frac{1}{\sigma G} m(h_d) h_d \quad (5)$$

donde:

$m(h_g)$ y $m(h_p)$ representan la cantidad de sitios de anclajes debido al borde de grano y las partículas de segundas fases o carburos, estos dos términos están dados por:

$$V(t) = \frac{1}{\sigma G} (S / d_G) RF \left(\frac{1}{H}, \frac{1}{h_g}, \sigma_G^2 \right) H^{2.75} + \frac{1}{\sigma G} S \alpha PF \left(\frac{1}{H}, \frac{1}{h_p}, \sigma_p^2 \right) H^4 \quad (6)$$

donde:

R y F son constantes, S es el área del sensor, d_G es el diámetro medio del grano, $\bar{h}_G \sim 1/d_G$, $\sim 1/d_p$, $\bar{h}_p \sim 1/d_p$, α es el contenido de carbono y F es la función de distribución gaussiana dada por:

$$F(x, \bar{x}, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

El tercer término se puede obtener a partir del siguiente análisis:

El número de dislocaciones es proporcional a la deformación del material y por otro lado el campo coercitivo crece con el incremento del número de dislocaciones, lo cual ocurre debido a que el incremento del número de dislocaciones aumenta la densidad de estas y por tanto la distancia entre ellas disminuye. Cuando se analizó

el anclaje fuerte se demostró que la disminución de la distancia entre los sitios de anclaje provoca el crecimiento del campo correctivo de estos. Por tanto, el campo coercitivo de los sitios de anclaje es proporcional a la deformación. Entonces el término de la expresión 1.5 correspondiente a las dislocaciones se puede obtener como:

$$m(h_d) = F(H, \bar{h}_d, \sigma_d) \quad (8)$$

donde:

$\bar{h}_d \sim \epsilon$, siendo ϵ es la deformación plástica.

Finalmente la expresión general para la señal de

$$V(t) = \frac{1}{\sigma G} (S / d_G) RF \left(\frac{1}{H}, \frac{1}{h_g}, \sigma_G^2 \right) H^{2.75} + \frac{1}{\sigma G} S \alpha PF \left(\frac{1}{H}, \frac{1}{h_p}, \sigma_p^2 \right) H^4 + S \epsilon DF (H, \bar{h}_d, \sigma_d) H \quad (9)$$

donde:

D es una constante y ϵ es la deformación plástica.

Lo hasta aquí descrito se puede mostrar a

Barkhausen, que incluye el efecto de los tres elementos: variación del tamaño de grano, cambio del contenido de carbono, el tamaño de los carburos y el incremento del número de dislocaciones, esta dada por:

través de simulaciones desarrolladas en el MatLab, donde se puede apreciar cómo varía la envolvente de la señal Barkhausen dada por la expresión 1.9 con los diferentes parámetros de envejecimiento:

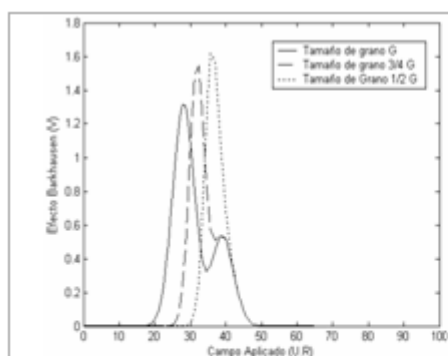


Fig. 3 Envolvente de la señal Barkhausen para diferentes tamaños de granos.

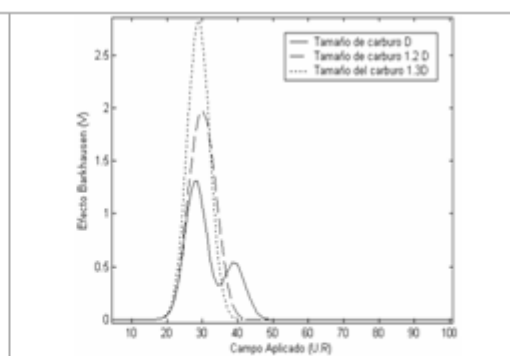


Fig. 4 Envolvente de la señal Barkhausen para distintos tamaños de precipitados.

Un análisis de la variación de la curva envolvente de la señal para ambos parámetros microestructurales demuestra la factibilidad de aplicación del método magnético de Barkhausen para determinar el grado de envejecimiento del acero 12Cr1MoV.

Conclusiones

Con el presente trabajo se demuestra la factibilidad del método del ruido magnético de Barkhausen para la determinación del grado de envejecimiento del acero 12Cr1MoV empleado en las líneas principales de vapor de unidades de 100MW de las centrales termoeléctricas del país.

El método es una aplicación del modelo de Barkhausen con el cual se obtienen correlaciones del voltaje inducido en el sensor de captación con

los diferentes parámetros microestructurales que varían con el envejecimiento, como es el caso del tamaño de grano y el grado de los precipitados.

El modelo prescribe una disminución y aumento del voltaje de la señal con el aumento del tamaño de grano y aumento del grado de los precipitados de segunda fase en el material respectivamente para un mismo valor del campo aplicado.

Bibliografía

1. _____ Norma de empresa neib 1098-040, *Determinación del grado microestructural de aceros termoenergéticos*, 1ra Ed. EMCE, 2002.
2. _____ Norma de mantenimiento NRBI 002 para labores de mantenimiento (RENTE) 2000.
3. Anne yardley V, Emmanuel College Magnetic Detection of Microstructural Change in Power Plant Steels, university of cambridge, 2003.

-
4. Barkhausen H., Physik Z 20 (1919) 401.
 5. Callister, Materials Science and Engineering, Soporte Magnético, USA , 1998.
 6. De los reyes Rodríguez, Frank, Fac. de Ing. Mecánica. UO, *Estudios preliminares para la valoración del grado de Envejecimiento estructural del acero 12Cr1MoV*, Memorias y monografías de excelencia de la Universidad de Oriente, Cuba, 2006.
 7. De los reyes Rodríguez, Frank, Fac. de Ing. Mecánica. UO, *Métodos para diagnosticar los niveles de dañado por envejecimiento en los materiales*, Memorias y monografías de excelencia de la Universidad de Oriente, Cuba, 2006.
 8. De los reyes Rodríguez, Frank. *Desarrollo del aseguramiento experimental básico para la determinación de la velocidad de crecimiento de grietas en el acero 12Cr1MoV*. Tesis Presentada en Opción al Título Académico de Master en Ciencias Técnicas, Cuba, 2007
 9. Perez Benitez J.A. Fac. de Física. UO, *Estudio del ruido magnético de Barkhausen en aceros al carbono*, Tesis de Doctorado, 2007
 10. S. Bertotti G., J. APPL. Phys. 54 (1983) 5293.