



UTILIZACIÓN DEL EFECTO BARKHAUSEN EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE MUESTRAS DE ACERO AL CARBONO

Capó Sánchez J.

Departamento de Física. Universidad de Oriente.
Av. P. Lumumba s/n CP 90500
Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: capo@csd.uo.edu.cu

Serna-Giraldo C.

Departamento de Engenharia Mecânica. Escola Politécnica-Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Mello Moraes, 2231. CEP 05508-900. São Paulo. S.P.
e-mail: claudias@usp.br

Padovese L. R.

Departamento de Engenharia Mecânica. Escola Politécnica-Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Mello Moraes, 2231. CEP 05508-900. São Paulo. S.P.
e-mail: lrpadove@usp.br

Resumen

El ruido magnético Barkhausen es generado por el movimiento rápido e irreversible de los dominios magnéticos en materiales ferromagnéticos sometidos a tensiones mecánicas o campos magnéticos externos. Este efecto se utiliza como una técnica no destructiva muy poderosa en el estudio y caracterización de aceros al carbono.

En el trabajo se reportan la respuesta de la señal magnética de Barkhausen con el tamaño de grano y la tensión mecánica aplicada tanto en la región elástica como plástica del material. La influencia de cada parámetro físico fue considerada separadamente en este estudio preliminar.

Los resultados muestran que la emisión magnética Barkhausen pueden utilizarse en la evaluación de los cambios superficiales producidos en el material.

Palabras clave: *Ruido magnético Barkhausen, aceros, tensión residual, tratamiento térmico, propiedades mecánicas-elásticas y plásticas.*

1. INTRODUCCION.

Las propiedades electromagnéticas de los aceros dependen de su composición química, microestructura y de la tensión mecánica aplicada. Uno de los métodos no destructivos de caracterización está basado en el efecto Barkhausen que ocurre durante el proceso de magnetización de los materiales ferromagnéticos producto del movimiento de los dominios magnéticos. Este movimiento de las paredes de dominio magnético esta afectado por la presencia de discontinuidades en la estructura

del material y de tensiones mecánicas las cuales actúan como centro de anclaje durante el movimiento según el reporte de Birket et al (1996).

El estudio de la señal magnética de Barkhausen permite establecer la relación entre los parámetros micromagnéticos con el tamaño de grano, microestructura, tensiones residuales y densidad de dislocaciones en las regiones elásticas y plásticas del material.

El objetivo de nuestro trabajo es el de estudiar los cambios más significativos en el acero 1005 debido principalmente a la microestructura del material y a las tensiones mecánicas aplicadas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

2.1 Selección del material y preparación de las muestras.

Tres muestras idénticas de acero SAE 1005 fueron cortadas en forma de láminas con dimensiones de 200 mm x 15 mm x 2 mm. Para evitar la oxidación superficial y la descarburización de las muestras, estas fueron cubiertas de una capa fina de cerámica.

El acero 1005 fue sometido a tratamiento térmico de normalización (T1) para homogeneizar la microestructura y aliviar las tensiones residuales. Además se realizaron otros dos tratamientos térmicos T2 y T3 con el fin de aumentar el tamaño de grano y ver su influencia en la señal magnética de Barkhausen. Las condiciones de tratamiento térmico aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamiento térmico aplicado a las muestras de acero 1005

Tratamientos	Temperatura calentamiento (°C)	tiempo sostenido (min.)	Enfriamiento final
T1	900	10	Aire
T2	900	30	Aire
T3	900	60	Aire

Las muestras tratadas térmicamente fueron montadas en baquelita y lijadas desde granulometría 180 hasta 1000. Después fueron pulidas con pasta de diamante de 6, 3 y 1 micra. El ataque químico se realizó con Nital al 2 % durante algunos segundos para revelar la microestructura. Las muestras fueron observadas con un microscopio Olympus BX60M.

2.2 Instalación experimental.

La instalación experimental empleada en el trabajo se muestra en la Figura 1 y está constituida por cuatro unidades básicas:

- El sistema magnético compuesto de un generador dinámico de funciones modelo Tektronic CGF253, un amplificador de potencia BOP20-20D y un solenoide de 700 vueltas con sección transversal de 30 X 30 mm².

- La unidad detectora de la emisión magnética de Barkhausen constituida por una bobina sensora, un amplificador de instrumentación y un filtro pasabanda de cuarto orden de 4 a 100 KHz.
- El sistema de medición está integrado por una Computadora Personal, una placa de adquisición National Instrument PCI-MIO-16E-1 y un osciloscopio digital Tektronic TDS 210.
- La unidad de procesamiento, evaluación y análisis de la señal de voltaje de la emisión magnética de Barkhausen por medio de los softwares LabView y Matlab.

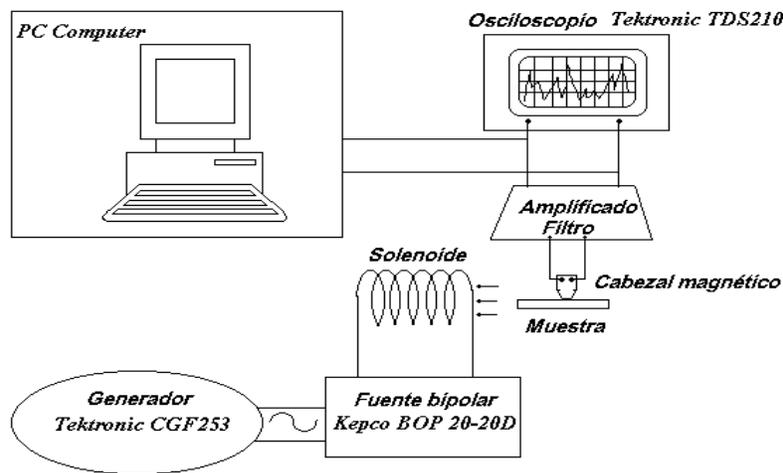


Figura 1. Esquema experimental empleado

2.3 Procesamiento de la señal de voltaje.

Para el procesamiento y análisis del voltaje de Barkhausen correspondiente a cada punto reportado, se promediaron los datos de diez señales tomadas en la región positiva de la señal de excitación magnética. Este procedimiento se implementó a través de un trigger por software con pendiente creciente utilizando el LabView. Los resultados obtenidos se corresponden a una excitación magnética de 1 Hz con una intensidad de corriente de 2.5 A y una frecuencia de muestreo de 200 KHz.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la Figura 2 aparecen las micrográficas correspondientes a las muestras de acero 1005 sometidas a los diferentes tratamientos térmicos. La microestructura consiste de ferrita con diferentes tamaño de grano según el tratamiento térmico. Los tamaños de grano fueron medidos por el método comparativo con la carta ASTM, obteniéndose un tamaño 8 (equivalente a 22 μm) para el tratamiento T1; tamaño 7 (equivalente a 32 μm) para el tratamiento T2 y tamaño 6 (equivalente a 45 μm) para el tratamiento T3.

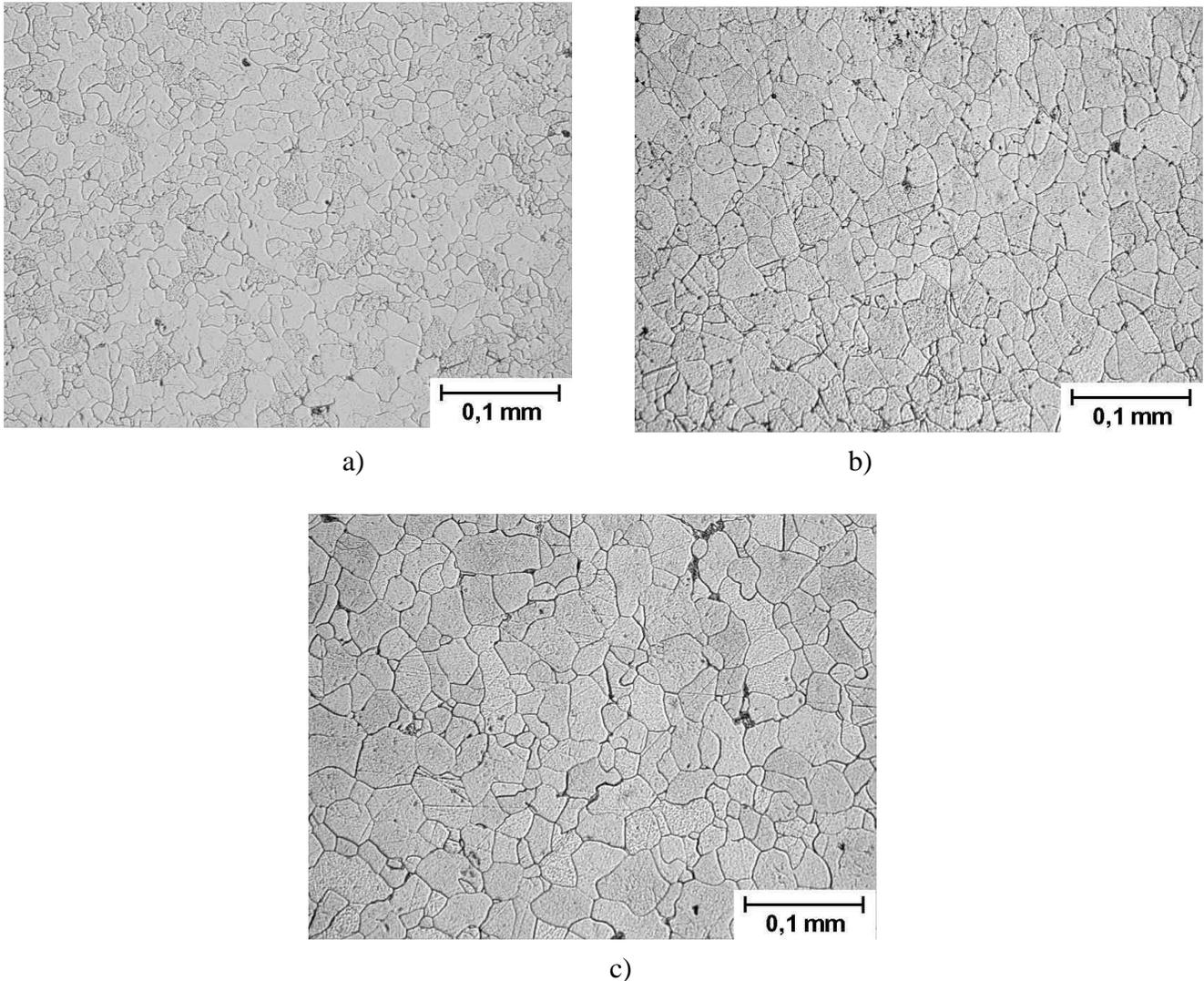


Figura 2. Microestructura del acero 1005 sometido a los tratamientos térmicos a) T1, b)T2 y c)T3.

La Figura 3 muestra la dependencia del voltaje pico a pico de la señal de Barkhausen en función del tamaño de grano para las muestras. Se observa que la señal Barkhausen es mayor para el menor tamaño de grano (correspondiente al tratamiento T1). Con relación al comportamiento con la aplicación de tensión mecánica, se observa que el valor de la señal permanece prácticamente constante hasta una magnitud de 200 MPa. A partir de los 200 MPa y hasta los 280 MPa la dependencia aumenta abruptamente, correspondiéndose con la región plástica del material. Esta no-dependencia de la señal con el aumento de tensión mecánica se debe tal vez al bajo valor de frecuencia de excitación magnética

empleado, pero es posible que la sensibilidad a la tensión mecánica aplicada aumente si se utilizan niveles de excitación magnética mayores.

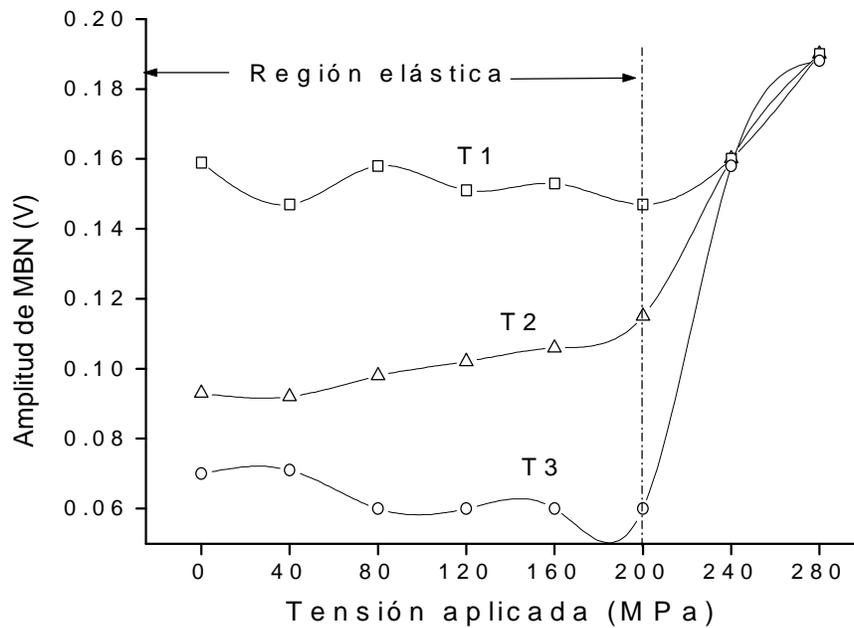


Figura 3. Dependencia del voltaje de Barkhausen con el tamaño de grano en muestras de acero 1005

Bajo el régimen de deformaciones plásticas aparece un significativo incremento de la densidad de dislocaciones y del movimiento entrelazado de estas reportados por Birket et al (1989). En el trabajo de Krause et al (1994) se analizó el entrelazamiento de dislocaciones que actúa como centro de anclaje al movimiento de las paredes de dominios magnéticos.

La presión ejercida por el campo aplicado H formando un ángulo θ con respecto al vector de magnetización M_s del dominio, tiende a mover a la pared a lo largo del sitio de anclaje hasta que la presión es compensada por el gradiente de energía de la pared dado por Chikazumi (1964)

$$\frac{\partial E_w}{\partial x} = M_s H \cos \theta \quad (1)$$

Con el incremento de la tensión interna, el campo crítico requerido para mover una pared de dominio a través de un centro de anclaje conlleva a un incremento del gradiente de energía de las paredes. La densidad de dislocaciones incrementa durante la deformación plástica conduciendo a cambios en el gradiente de energía de la pared de dominio en el sitio de anclaje. La distorsión de heterogeneidades de la red cristalina en gran medida priva de desplazamientos abundantes ocurridos separadamente en planos de deslizamiento, mientras que la región entre estos planos de deslizamiento permanece casi no deformada de acuerdo con el trabajo de Hwang et al (1988). Como resultado de esto

el gradiente de energía de las paredes de dominio incrementa hasta algunos sitios de anclaje y por tanto la señal magnética de Barkhausen crece.

La Figura 4 evidencia el comportamiento del MBN para la muestra tratada T3 sometida a una deformación del 2,5 % y sin deformar. Se observa un ligero aumento de la señal magnética de Barkhausen para la muestra deformada. Este aumento inicial de la señal de Barkhausen puede deberse a procesos de deslizamiento de planos ocurridos durante la deformación plástica del material reportadas por Stefanita et al (2000).

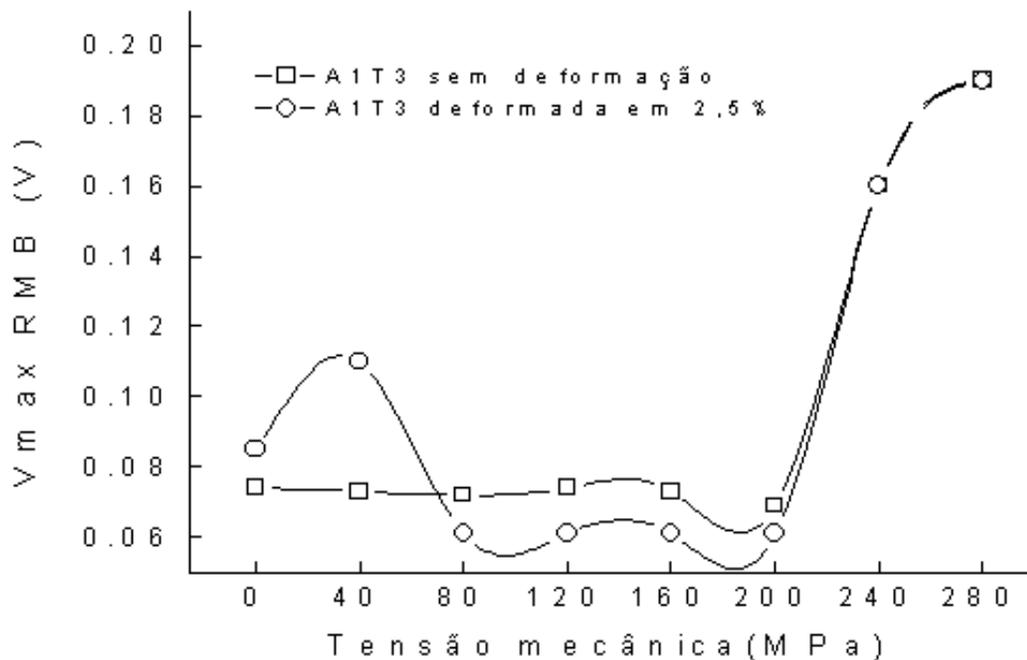


Figura 4. Dependencia del voltaje de Barkhausen con la tensión aplicada en muestras con el mismo tamaño de grano deformada plásticamente en un 2,5 % y sin deformar

4. CONCLUSIONES.

En este trabajo se presentaron algunos resultados sobre la utilización del Ruido Magnético de Barkhausen para detección de la variación de microestructura, medición de tensión mecánica y deformación plástica en el acero al carbono 1005. Basados en estos resultados, se pueden citar las siguientes conclusiones.

- Los resultados obtenidos confirman la aplicabilidad de utilizar el Ruido Magnético Barkhausen como método no destructivo en la caracterización del tamaño de grano. Cuanto menor es el tamaño de grano, mayor es el valor de la tensión máxima de Barkhausen.

- En la zona de transición entre el régimen elástico y el plástico ocurre un aumento significativo del Ruido Magnético de Barkhausen, independiente de si el material ya está deformado plásticamente o no. Este comportamiento indica la posibilidad de caracterizar regiones deformadas plásticamente de aquellas no deformadas en un determinado material.
- Con las condiciones experimentales utilizadas no se encontró influencia de la variación de la tensión mecánica aplicada en la señal de Ruido Barkhausen. Probablemente el rango de frecuencias utilizadas en la excitación magnética no sea el mas adecuado para monitorear este efecto.

5. AGRADECIMIENTOS.

A la agencia FAPESP por contribuir financieramente con el desarrollo del trabajo a través del proyecto No. 2001/04088-2 y del auxilio a investigación No. 99/09600-1.

6. REFERENCIAS.

- Birket, A.J., Corner, W.D., Tanner, B.K. and Thopsom, S.M., 1989, "Influence of Plastic Deformation on Barkhausen Power Spectra in Steels", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 22, pp. 1240-1242.
- Chikazumi, S., 1964, "Physics of Magnetism", Ed. Wiley, New York, 192 p.
- Hwang, D.G. and Kim, H.C., 1988, "The Influence of Plastic Deformation on Barkhausen Effects and Magnetic Properties in Mild Steel", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 21, pp.1807-1813.
- Krause, T.W., Makar, J.M. and Atherton, D.L., 1994, "Investigation of the Magnetic Field and Stress Dependence of 180° Domain Wall Motion in Pipeline Steel Using Magnetic Barkhausen Noise", J. Mag. and Mag. Materials, Vol. 137, pp. 25-34.
- Stefanita, C.G., Atherton, D.L. and Clapham, L., 2000, "Plastic Versus Elastic Deformation Effects on Magnetic Barkhausen Noise in Steel", Acta Mater, Vol. 48, pp. 3345-3351.

USE OF BARKHAUSEN EFFECT IN THE STRUCTURAL ANALYSIS OF CARBON STEEL SAMPLES

Capó Sánchez J.

Departamento de Física. Universidad de Oriente.
Av. P. Lumumba s/n CP 90500
Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: capo@csd.uo.edu.cu

Serna Giraldo C.

Departamento de Engenharia Mecânica. Escola Politécnica-Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Mello Moraes, 2231. CEP 05508-900. São Paulo. S.P.
e-mail: claudias@usp.br

Padovese L. R.

Departamento de Engenharia Mecânica. Escola Politécnica-Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Mello Moraes, 2231. CEP 05508-900. São Paulo. S.P.
e-mail: lrpadove@usp.br

Abstract

The magnetic Barkhausen noise (MBN) is generated by the quick and irreversible movement of the magnetic domains in ferromagnetic material under mechanical tensions or external magnetic fields. This effect has proved as very powerful non destructive technique in the study and characterization of mild steels..

In this paper, magnetic Barkhausen dependence is reported with the grain size and the mechanical tension applied under elastic and plastic conditions. The influence of each physical parameter was considered separately in this preliminary study.

The results show that the magnetic Barkhausen emission can be used in the evaluation of the superficial changes taken place in the material.

Keywords: *Magnetic Barkhausen noise, steels, residual tension, thermal treatment, mechanical properties-elastic and plastic.*