

# LA EMISION MAGNETICA BARKHAUSEN EN EL ACERO AISI 1045 DEFORMADO PLASTICAMENTE CON RODILLO

THE MAGNETIC EMISSION BARKHAUSEN IN THE STEEL AISI 1045 DEFORMED PLASTICALLY WITH ROLLER

G. MORENO<sup>a†</sup>, J. CAPO-SÁNCHEZ<sup>b</sup>, T. FERNANDEZ<sup>b</sup>, D. AYARDE<sup>b</sup>

a) Facultad de Física, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba; gmoreno@ismm.edu.cu†

b) Facultad de Física, Universidad de Oriente, Cuba.

† autor para correspondencia

**Palabras claves:** Barkhausen effect, 75.60.Ej; crystal microstructure, 61.72.-y

Cuando los materiales ferromagnéticos se someten a campos magnéticos variables, la variación en la inducción magnética se presenta de forma discontinua como una respuesta al movimiento de las paredes de dominios magnéticos. Estos saltos abruptos se conocen como Ruido Magnético de Barkhausen (RMB).

El RMB es sensible a los parámetros empleados para la magnetización, como la frecuencia [1] y la intensidad de magnetización [2]. Depende también de las características del material, como el tamaño de grano [3], el contenido de carbono [4], la microestructura y los esfuerzos mecánicos aplicados.

Los efectos de las tensiones elasto-plásticas pueden ser detectados por mediciones magnéticas, ya que las propiedades magnéticas y mecánicas están influenciadas por la microestructura del material ferromagnético [5, 6].

Estudios realizados en aceros de medio contenido de carbono demuestran, que a medida que disminuye la dureza, el parámetro RMB<sub>rms</sub> aumenta a medida que la densidad de defectos microestructurales disminuyen [7].

Comparaciones entre mediciones de RMB y dureza producidas por deformaciones plásticas, han verificado la pertinencia de la técnica para evaluar cambios microestructurales producidos por trabajo de deformación en frío [8].

Analizando los diferentes estudios que sobre la utilización de esta técnica se han realizado para evaluar los estados de dureza producidos por diferentes efectos, se ve la posibilidad de aplicar la técnica de RMB a muestras de acero AISI 1045 deformadas en frío.

Por tal motivo el presente trabajo tiene como objetivo analizar mediciones de RMB en muestras deformadas en frío y su correlación con la capacidad de endurecimiento de este acero. Las muestras fueron obtenidas del AISI 1045 con composición química mostrada en la tabla 1 [9].

| C    | Mn   | P       | S       | Si   |
|------|------|---------|---------|------|
| 0,45 | 0,65 | ≤ 0,040 | ≤ 0,050 | 0,35 |

La deformación plástica en frío es un método de endurecimiento de materiales que logra alta dureza. La deformación plástica superficial por laminación, llamado acabado sin viruta, es un trabajo en frío en la superficie del material donde se aplica una fuerza que excede el límite de resistencia a la deformación de la aleación. Para ello se aplicaron cargas de 500, 1500 y 2500 N, en correspondencia con la dureza a obtener.

La tabla 2 muestra los valores de los parámetros de deformación utilizados: Nr (número de revoluciones), P (fuerza) y S (avance de la herramienta).

| Muestras | Factores     |       |            |
|----------|--------------|-------|------------|
|          | Nr (rev/min) | P (N) | S (mm/rev) |
| 1        | 27           | 500   | 0,075      |
| 2        | 27           | 500   | 0,125      |
| 3        | 27           | 500   | 0,25       |
| 4        | 54           | 1500  | 0,075      |
| 5        | 54           | 1500  | 0,125      |
| 6        | 54           | 1500  | 0,25       |
| 7        | 110          | 2500  | 0,075      |
| 8        | 110          | 2500  | 0,125      |
| 9        | 110          | 2500  | 0,25       |

La instalación experimental utilizada, se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

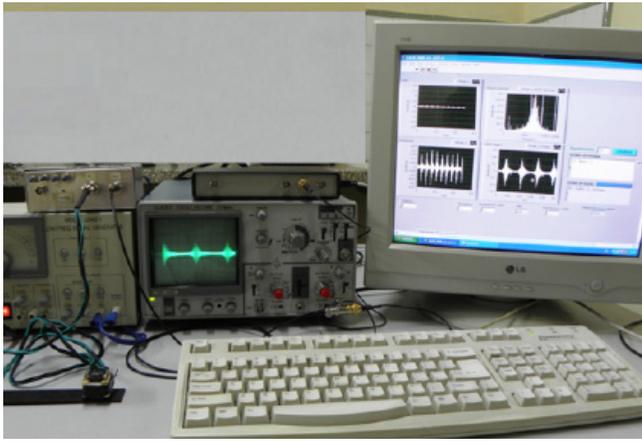


Figura 1. Instalación para la medición del RMB.

Está básicamente constituida por un circuito magnetizador capaz de suministrar una onda sinusoidal de 10 Hz a un amplificador de potencia que alimenta la sonda magnetizadora con un campo magnético de  $1,4 \times 10^4$  A/m, suficiente para alcanzar la saturación del material.

La señal del sensor de RMB es amplificada y filtrada por un filtro pasabanda de 1 kHz hasta 200 kHz. Las señales son visualizadas en un osciloscopio digital y una tarjeta National Instrument NI USB-6212xO adquiere los datos a una frecuencia de muestreo de 400 kHz. A través de un software de medición desarrollado por los usuarios en LabView se controla y almacenan los datos en una PC.

Como parámetro característico del ruido magnético de Barkhausen se usó la raíz cuadrada media ( $RMB_{rms}$ ) [10] de la señal dado por la expresión (1). El valor utilizado se corresponde al promedio de 20 mediciones de la señal RMB obtenidos sobre cada muestra.

$$RMB_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i)^2}{n}} \quad (1)$$

donde  $V_i$  es el máximo de cada salto de la señal y  $n$  es la cantidad de saltos de RMB.

El comportamiento de la tensión inicial se determinó con el empleo del método de la cicloide, se consideraron los parámetros que dependen de las características mecánicas del material, tensión para una deformación unitaria  $A$  y  $m$ , el cual puede ser calculado como se muestra en [11].

Los resultados de los mismos fueron;  $A = 524,03$  MPa (para fuerzas de 500; 1500 y 2500 N) y  $m = 0,072$  mm, para fuerzas de 500 y 1500 N y  $m = 0,009$  mm, para fuerza de 2500 N.

Se tuvo en cuenta la tensión límite de fluencia y una tensión elástica de 200 MPa (norma ASTM). En la figura 2 se muestra el comportamiento de la tensión inicial ( $\sigma_i$ ) respecto a las fuerzas aplicadas en el proceso de laminación.

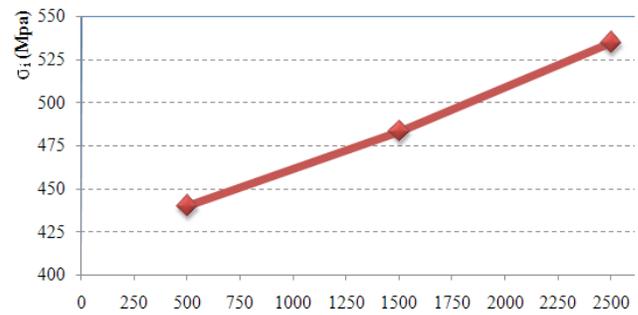


Figura 2. Comportamiento de la  $\sigma_i$  por cicloide en la deformación del acero AISI 1045.

Como se puede observar de esta figura, el incremento de la fuerza tiene dos efectos fundamentales sobre la muestra:

-Cuando el valor de la fuerza aplicada sobrepasa el límite de fluencia de la muestra, ocurren transformaciones microestructurales, inherentes a la tensión, lo que provoca un aumento en el grado de deformación del material.

-Al aumentar el grado de deformación del material, es necesario aplicar más tensiones para continuar deformando, debido a la vinculación directa de la deformación con el fenómeno de endurecimiento.

La figura 3 muestra el comportamiento característico del RMB para nueve muestras sometidas a fuerzas de 500, 1500 y 2500 N.

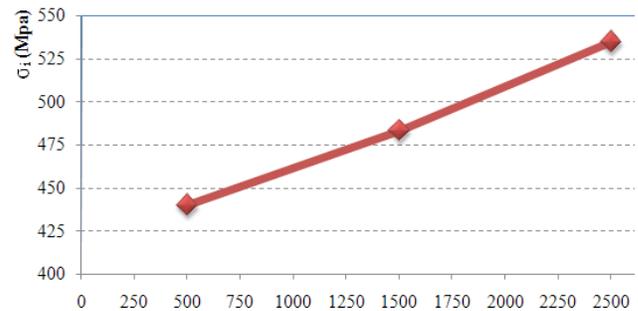


Figura 3. Variación de la señal de RMB con el aumento de la fuerza.

Se puede observar que en las muestras deformadas, la señal del Barkhausen disminuye con el aumento de la fuerza desde 0,418 V hasta 0,41 V. Esto puede ser explicado de la siguiente manera

-A medida que aumenta la presión superficial aplicada a la muestra, aparecen un mayor número de sitios de anclaje, los cuales actúan como barreras al movimiento de los dominios magnéticos, como una consecuencia directa, disminuye la señal del RMB, por esta razón las muestras (7-8-9) presentan los menores valores de RMB.

La figura 4 muestra un comportamiento similar para las nueve muestras al aumentar el valor de ( $S$ ). Es decir, a medida que aumenta la penetración de la herramienta en el material, se

observa que la emisión magnética de Barkhausen disminuye desde valores de 0,418 V a 0,408 V, al aumentar el parámetro (S) desde valores de 0,075 mm/rev a 0,25 mm/rev.

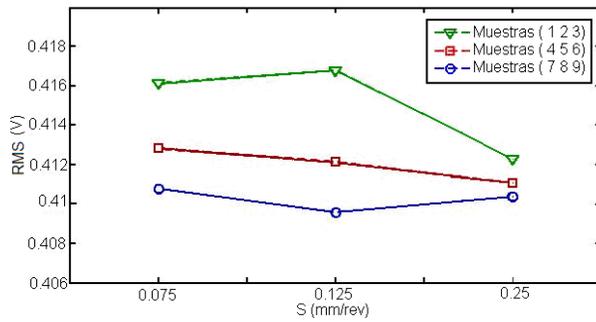


Figura 4. Variación de la señal de RMB con el aumento del avance de la herramienta.

En la medida que aumentan los valores de la fuerza y el avance de la herramienta, crecen las tensiones superficiales aplicadas al material y disminuye la señal del RMB.

El valor del RMB disminuye poco entre los puntos (7-8-9), este comportamiento podría ser un resultado de que la muestra está alcanzando la saturación, lo que estaría en correspondencia con el aumento en el grado de dureza.

El incremento de la dureza en estas muestras se debe a la reducción del tamaño de grano producido por la acción de las cargas por rodadura, el resultado se corresponde con la hipótesis de que al incrementar las tensiones de compresión disminuye el efecto del tamaño de las cristalitas.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha establecido una correlación entre el ruido magnético de Barkhausen a través del parámetro RMBrms con las variables tecnológicas empleadas en el proceso de conformación del acero AISI 1045. También se ha demostrado que en las muestras de este material, a medida que aumenta la deformación, aumenta la capacidad de endurecimiento del material.

Los resultados obtenidos muestran la viabilidad de utilizar la técnica de ensayos no destructivos del ruido magnético de Barkhausen, para identificar los diferentes niveles de dureza correspondientes a materiales ferromagnéticos deformados superficialmente en frío.

- [1] D.C Jiles, Zechoslovak Journal of Physics. 50 893-988 (2000).
- [2] A. Dhar and. D.L. Atherton, IEEE Transactions on Magnetics. 28 3.363-3.366 (1992).
- [3] R. Ranjan, D. Jiles, P.K. Rastogi, IEEE transactions on magnetics. 23 1.869-1.879 (1987).
- [4] J. Kameda, R Ranjan, Acta Metallurgical. 35 1.515-1.526 (1987).
- [5] D. J. Buttle, C. B. Scruby, G. A. D. Briggs and J. P. Jakubovics, Proc. R. Soc. Lond. A. 414 469-497 (1987).
- [6] G. Bertotti, Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 320 2436-2442 (2008).
- [7] F.A. Franco y L.R. Padovese, Scientia et Technica Año XIII. No 36 (2007).
- [8] István Mészáros, Materials Science Forum. 473-474 231-236 (2005).
- [9] Key to Steel, 'Influence of Alloying Elements on Steel Microstructures', Key to Steel Web Site.2002. Disponible en la World Wide Web en <http://www.key-tosteel.com/>.
- [10] T. W. Krause, L. Clapham and D. L. Atherton, Journal of Applied Physics 75 7983-7988 (1994).
- [11] T. Fernández, "Mecanismos de endurecimiento del acero AISI 1045 deformado por rodadura". Tesis de doctorado, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2011.