

SIMULACIONES DE COMPORTAMIENTOS HISTERÉTICOS BLANDOS EN PELÍCULAS MAGNÉTICAS

C. Calle, F. Cuellar, O. Guzmán, A. Mendoza
*Grupo de Materiales Magnéticos y Nanoestructuras,
Instituto Interdisciplinario de las Ciencias, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia*

RESUMEN

En este trabajo se generan las curvas de histéresis para ferromagnéticos blandos a partir del modelo de Jiles-Atherton. En el marco del modelo se discute la influencia del anclaje de las paredes de los dominios en la estructura de la histéresis y su influencia en el campo coercitivo. Los resultados se comparan con los resultados experimentales obtenidos para ferritas de NiZn. Para el cálculo de los lazos de histéresis se usa la expresión: $M_i = M[M_{i-1}(H_{i-1}), H_i] + C$.

Palabras Claves: Materiales magneticos blandos, simulación Ciclos de hiteresis

ABSTRACT

This paper deals with calculations of hysteresis loops in soft magnetic materials. We obtain the hysteresis loops by means of the Jiles-Atherton model. The influence of domain walls pinning on the form of the loops and coercivity has been discussed. The theoretical hysteresis loops are compared with experimental hysteresis loops for NiZn ferrites thin films. The loops have been calculated by the expression: $M_i = M[M_{i-1}(H_{i-1}), H_i] + C$.

Keywords: Soft Magnetic Materials Hysteresis loop simulations

1. Introducción

Al interactuar el campo magnético con un material ferromagnético blando, por ejemplo películas delgadas de Ferritas, se establece una compleja relación no lineal entre el campo aplicado H y la magnetización M [1]. La aplicación $f: H \rightarrow M$ en el plano (H, M) presenta una ramificación que conjuntamente con la no linealidad son la causa de la irreversibilidad [2]. La irreversibilidad manifiesta la dependencia de la historia del sistema, fenómeno conocido como histéresis, o conservación de la memoria magnética. En esta propiedad radica desde el punto de vista experimental la enorme posibilidad de un desarrollo de dispositivos a partir de nanoestructuras ferromagnéticas. Desde las consideraciones energéticas de Heissenberg en 1931 acerca de la histéresis [3], el estudio teórico de éste fenómeno ha sido permanente. Su tratamiento va desde la formulación de modelos de campo efectivo para la magnetización considerando el movimiento de las paredes de los dominios, su anclaje, así como la rotación de los dominios [4] hasta la formulación de modelos termodinámicos fuera del equilibrio [5]. El modelo de Jiles-Atherton es un modelo de campo efectivo de especial aplicación para el caso de ferritas con estructura espinela. La adaptación del lazo teórico al experimental es un complicado problema de optimización ya que en dicho modelo teórico se tienen cinco parámetros. Esta tarea se ha realizado en los últimos años con algoritmos llamados genéticos [6] o estadísticos [7]. En este trabajo se calcula el lazo de la histéresis a partir de un modelo de Jiles-Atherton simplificado

para dos parámetros, y se compara con las medidas experimentales obtenidas para ferritas. En el numeral 2 presentamos de manera breve la estructura de la curva de histéresis. En el numeral 3 se presentan resultados numéricos. Finalmente en el numeral 4 se presentan las conclusiones.

2. Estructura de la curva de Histéresis.

En la figura (1) se muestra la curva de histéresis medida por MOKE para una ferrita de (NiZn). Dicha gráfica es la forma típica de la aplicación $f: H \rightarrow M$ en el dominio $D: [H_1, H_2] \otimes [-M_s, M_s]$. La aplicación $f: H \rightarrow M$, es decir $f(M,H)$ es la curva de histéresis.

En un intervalo de tiempo $[0,T]$ una función continua $H(t)$ puede oscilar un número finito de veces entre los umbrales H_1 y H_2 , y por lo tanto M puede oscilar un número finito de veces entre $-M_s$ y M_s . La variación total de M en $[0,T]$ es finita. En la figura 1 se evidencia la ramificación y la no linealidad de M .

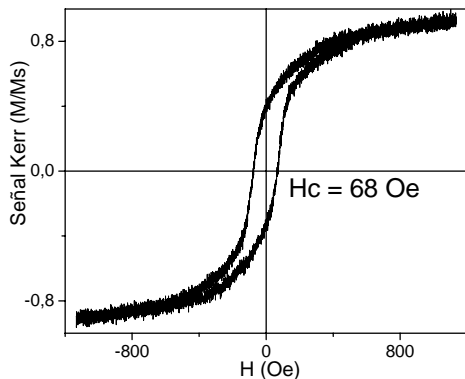


Figura No.1. Curva experimental para una ferrita de NiZn [8].

3. Resultados numéricos.

El cálculo realizado en este trabajo para modelar una curva de histéresis se realiza en el marco del modelo simplificado de Jiles-Atherton [4]. Este es un modelo estadístico de campo efectivo que se fundamenta en el movimiento de las paredes de los dominios. La componente irreversible en este modelo se origina en el desplazamiento de la pared y la reversible en la rotación del dominio. La histéresis en este modelo se origina en el anclaje de las paredes de los dominios por presencia de defectos, y se simula con un parámetro denominado k que varía con M y H . La interacción entre los dominios magnéticos se da por un parámetro de campo promedio α . Para la rama con campo creciente o decreciente se introduce el parámetro δ el cual toma valores +1 o -1 respectivamente.

El modelo está dado por la ecuación diferencia de primer orden:

$$\delta k M'(H_{efect}) + M - \mathcal{L}(H_{efect}) = 0 \tag{1}$$

con $H_{efect} = \frac{\mu_0}{a} (H + \alpha M)$, $a = \frac{K_B T}{m}$ y \mathcal{L} la función de Langevin modificada (Para $\alpha=0$ se tiene la función de Langevin para el estado paramagnético). El apóstrofe de M significa la derivada con respecto a H_{efect} . La solución de (1) dada por Jiles-Atherton es:

$$M = \sum_{n=0}^{\infty} [(-1)^n (k\delta)^n \mathcal{L}^{(n)}(H_{efect})] + \delta C(H_{max}) \quad (2)$$

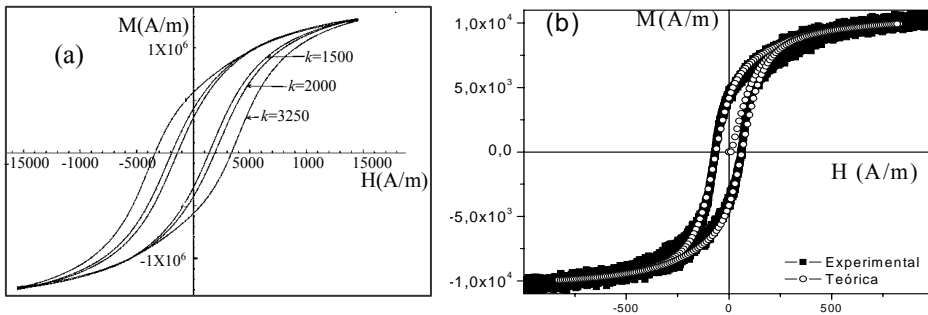


Figura No.2 (a). Simulación de curvas de histéresis variando k . (b) Comparación de la forma del lazo obtenido teóricamente con el resultado experimental [8].

El superíndice de \mathcal{L} significa la n -ésima derivada con respecto a H_{efect} . La constante C se obtiene para H_{max} a partir de la condición de continuidad para la solución de Jiles-Atherton en el extremo del lazo. Para $k < a$ en la serie de la ec. (2) es suficiente considerar hasta términos de segundo orden, ya que para este caso se garantiza la convergencia de la serie. Los lazos de histéresis fueron calculados a partir de la siguiente iteración en el plano (M,H):

$$M_i = M[M_{i-1}(H_{i-1}), H_i] + C \quad (3)$$

la cual satisface los requerimientos del numeral 2. El conjunto de parámetros utilizados en los cálculos se dan en la tabla 1. Los cálculos se desarrollaron mediante un programa escrito en el entorno *MATHEMATICA*. En la figura (2.a) se muestran resultados de la simulación de curvas de magnetización empleando los parámetros presentados en la tabla 1.

En la figura (2.b), se compara la forma del lazo obtenido teóricamente con el resultado experimental [8].

Tabla No.1. Parámetros utilizados para la simulación.

$M_s(A/m)$	α	k/μ_0			$a(A/m)$
$1.6 \cdot 10^6$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	1500	2000	3250	3750

4. Conclusiones

En este trabajo se muestra que las curvas de histéresis de los ferromagnéticos blandos calculadas con el modelo de Jiles-Atherton, son altamente sensibles a las variaciones en el parámetro de anclaje k . En la figura 2a se muestra la influencia de k sobre el campo coercitivo. De la comparación con el experimento se observa que la aproximación de campo promedio describe aceptablemente el ferromagnetismo blando en estructuras del tipo espinela, debido a su alto número de correlación. Se observa la convergencia en la solución de Jiles-Atherton para $k < a$, ya que a es proporcional a la temperatura. Para temperaturas muy altas la relación k/a desaparece quedando como solución la función de Langevin para el caso paramagnético y que es conocido como comportamiento anhisterético.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado parcialmente mediante el proyecto No. 1113-05-137-10 de Colciencias-Uniquindío. También ha sido apoyado parcialmente por el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales – CENM, con el auspicio de Colciencias Contrato No. 043-2005.

Referencias

- [1] J. P. Seethna, K. Dahmen, S. Karatha, J. A. Krumhansl, B. W. Roberts, J. D. Shore, Phys. Rev. Lett. 70 (1993) 3347.
- [2] I. D. Mayergoyz, Mathematical models of hysteresis. Springer Verlag. Berlin 1991.
- [3] W. Heisenberg, Z. Phys. 69 (1931) 287.
- [4] D. C. Jiles, D. L. Atherton J. Appl. Phys. 55 (1984) 2115.
- [5] E. Cardelli, E. Della Torre, E. Pinzaglia, J. App. Phys. 97 (2005) 10E5161.
- [6] P. R. Wilson, J. N. Ross, A. D. Brown, IEEE Trans. Magnet. 37 (2001) 989.
- [7] C. R. Pike, A. P. Roberts, K. I. Verosub, J. Appl. Phys. 85 (1999) 6660.
- [8] V. H. Calle, C. Calle, O. Marín, E. Salazar, A. Cortés, W. Lopera, P. Prieto, D. Arias, O. Guzmán, A. Mendoza, sometido a la revista Colombiana de Física, (2005).