

PERMEABILIDADE E AUTOINDUÇÃO MAGNÉTICA DO NÍQUEL E DA PLATINA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Waldir Garlipp; Mario Cilense

RESUMO: Efeito da temperatura sobre a autoindução magnética do níquel e da platina e a permeabilidade magnética do níquel, no intervalo de temperatura de 525K a 620K, confirma dados encontrados na literatura.

PALAVRAS CHAVE: propriedades magnéticas, Ni, Pt, autoindução magnética, permeabilidade magnética, suscetibilidade magnética, domínios magnéticos, parede de Bloch, magnetostrição, lei de Lenz.

Introdução

A pesquisa da permeabilidade e da histerese magnética, dos metais e ligas ferromagnéticas, com a aplicação do campo magnético, da temperatura, da tensão e deformação mecânicas e da magneto-mecânica, apresentam propriedades de grande interesse científico e tecnológico (9).

Em particular a permeabilidade magnética é medida e analisada em função da temperatura por meio de dispositivos eletroeletrônicos (7) em amostras com varias dimensões e formatos.

A permeabilidade magnética μ de um fio metálico retilíneo e delgado ferromagnético é calculada pelo produto da auto indução magnética $(V_{\text{mag}}/I_0) \times \tau$ pelo fator π/l . (4), onde V_{mag} é a força eletromotriz induzida nas suas extremidades, quando a corrente contínua circulante I_0 é desligada abruptamente, τ é o tempo de relaxação do circuito elétrico utilizado e l o seu comprimento.

Conforme o método experimental e sistema de unidades adotado, outros fatores são adotados como por exemplo, $0,5/l$ (5), $(2l/c^2 \times \ln(2l/ea))^{-1}$ (10) e onde e é o numero natural, a o diâmetro da amostra, e c a velocidade da luz.

Objetivo da pesquisa

Calcular a auto-indutância magnética transversal em amostras em forma de fios delgados e retilíneos de Ni e Pt por meio da expressão $(V_{\text{mag}}/I_0) \times \tau$ em função da temperatura.

Experimental

Fios de níquel e platina com comprimento de 0,19 m, e diâmetro de 0,0004 m, para evitar o efeito pele, "skin effect", foi recosido em atmosfera neutra a 873K durante 5 horas e esfriado, na velocidade de $4,6 \cdot 10^{-1}$ K/min até a temperatura ambiente.

As amostras foram colocadas no interior de um tubo de vidro pyrex, selado em atmosfera rarefeita de argônio, juntamente com um par termoeletrico mostrado na figura 1.

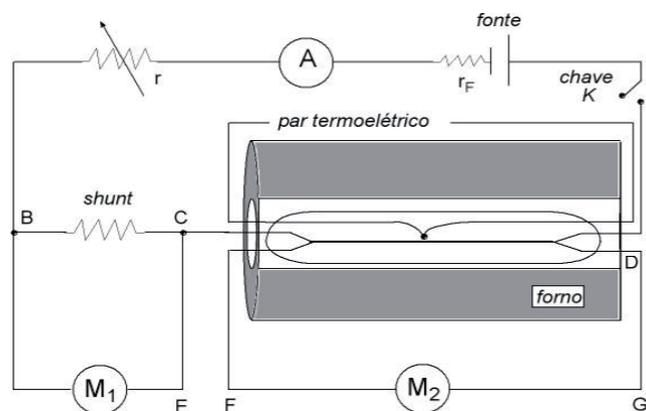


Figura 1. Amostra encerrada no tubo de vidro pyrex em atmosfera rarefeita de argônio; conectada ao circuito elétrico de medida de V_{mag} : K chave interruptora, F Fonte de tensão contínua (6,0 Volt), M_1 e M_2 semi-telas do osciloscópio com imagem permanente, r_F resistência interna da fonte, r resistência variável e A amperímetro.

A ampola foi colocada no interior de um forno elétrico e conectada ao circuito elétrico mostrado na figura 1. Os dados experimentais foram obtidos das amostras nas temperaturas entre 525K e 750K mantendo uma oscilação térmica de $\pm 0,4K$.

Operação do circuito elétrico

Após aquecer o fio (Ni ou Pt) por 20 minutos em cada patamar sucessivo de 15K, no intervalo de 525K a 750K, a corrente elétrica contínua I_0 é ligada durante alguns segundos e bruscamente desligada pela chave interruptora K. Esta operação produz, em cada semi-tela do osciloscópio, uma curva exponencial decrescente da força eletromotriz V_{mag} no níquel e no shunt de carbono, em função do tempo, que permite avaliar os seus valores máximos e calcular os respectivos tempos de relaxação τ_2 e τ_1 .

Sendo para o níquel

$$V_{mag} = V_{mag2}(e^{-t/\tau_2})$$

e sendo para o shunt de carbono

$$V_{mag} / R = V_{mag1} / R = I_0(e^{-t/\tau_1})$$

onde R é a resistência elétrica do shunt de carbono.

Pela aplicação da relação

$$L = -V_{mag} / (dI_0 / dt)$$

onde L é a autoindução magnética e demonstrado experimentalmente que $\tau_2 = \tau_1 = \tau$ resulta

$$L = (V_{mag2} / I_0) \cdot \tau$$

solução que justifica nesse trabalho sua aplicação como a adoção dos valores V_{mag2} , I_0 e τ .

A figura 2 mostra a autoindução do elemento Ni, a figura 3 a autoindução dos elementos Ni e Pt relativas ao ponto de Curie, em função da temperatura.

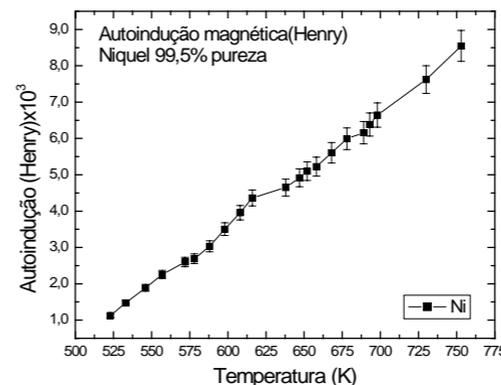


Figure 2. Autoindução do Ni em função da temperatura absoluta.

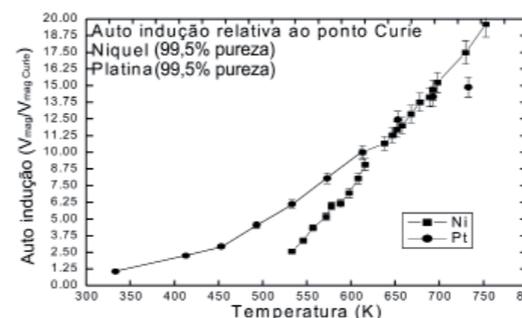


Tabela 1. Extraído de “Periodic Chart of the atoms”, 1947 Ed. H. D. Hubbard and W. F. Meggers

Nº atômico	elemento	K	L	M	N	O	P
		1	2	3	4	5	6
		s	s p	s p d	s p d f	s p d f	s p d f
28	Ni	2	2 6	2 6 8	2		
78	Pt	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9*	1

Melhor interpretação do comportamento da autoindução do níquel, é feita hoje pela teoria dos domínios magnéticos que são compostos por grupos de momentos magnéticos, spins, separados entre si por paredes de transição magnética (parede de Bloch). Nesses grupos a orientação paralela de spins dos elétrons dos átomos vizinhos na rede cristalina, é vantajosa sob o ponto de vista energético, resultando numa magnetização espontânea, que é acentuada com a aplicação externa de um campo magnético.

Figura 3. Autoindução do Ni e da Pt relativas a autoindução no ponto Curie, em função da temperatura absoluta.

Discussão

Na figura 2 o comportamento da curva, no intervalo de 525K a 620K é semelhante ao da figura, literatura (8), a menos do fator $\pi/2$, e na figura 3, por analogia ao trabalho teoricamente analisado por Mott (11) e outros (6), sobre a resistência elétrica do Ni, em função da temperatura e do campo magnético.

Segundo esses autores, a partir da temperatura ambiente, a “metade” dos elétrons de condução que transitam da banda $Ns2$ para a banda $Md8$ da configuração eletrônica do Ni tabela 1, tem seus momentos magnéticos, spins emparelhados sob a ação do campo magnético, porém a medida que a vibração iônica cresce com a temperatura, a propriedade intrínseca ferromagnético tende a desaparecer, liberando esses elétrons e contribuindo para a elevação da resistência elétrica até o ponto Curie.

Com a temperatura crescente cada vez mais spins perdem as orientações paralelas, liberando mais elétrons livres, favorecendo o crescimento da autoindução até a temperatura de Curie. É o que indica a curva da figura 2, que entre as temperaturas de 525K a 750K indica a existência de um ponto de inflexão a 575K, ponto de alteração de equilíbrio na orientação de uma parcela de domínios magnéticos, (8), e outro a 620K em que há uma desordem na orientação dos domínios com a reação ferromagnético \leftrightarrow paramagnética.

Na figura 3 as curvas referentes ao Ni e a Pt foram obtidas pelo quociente $V_{\text{mag}}/V_{\text{Curie}}$ em função da temperatura no sentido de analisar o estado auto indutivo do níquel em relação ao da platina.

Até as proximidades do ponto Curie o Ni é ferromagnético, mantendo seu baixo valor de autoindução em relação ao da Pt, e além desse ponto torna-se paramagnético, com a mesma autoindução da Pt, como se nota com o mutuo posicionamento das duas curvas.

Alem do efeito térmico, o campo magnético H normal ao fio, gerado pela corrente elétrica que atua sobre a orientação dos domínios magnéticos pode deformar, aniquilar, nuclear as paredes de Bloch, alterando as dimensões e a autoindução do fio.

O fenômeno da variação relativa da dimensão l do fio, $\Delta l/l$, denominado de λ é chamado de magnetostricção. Ele altera o tempo médio de relaxação dos spins dos elétrons livres e portanto afeta a autoindução do Ni.

Neste trabalho o campo magnético médio no interior do fio do Ni, onde $H = I/2\pi r$ foi calculado pela expressão,

$$H_m = \left(\int_a^n \frac{I}{2\pi r} dr \right) / \left(\int_a^n dr \right)$$

para a corrente elétrica $I = 0,4$ A e para r variando de $a = 2 \cdot 10^{-4}$ m a $n = 10^{-8}$ m.

O valor obtido de $H_m = 17$ Oe permite obter $\lambda = 2,0 \cdot 10^{-5}$ (7) e a força de $\approx 0,2$ N normal ao fio. Segundo a referencia (13), essa força praticamente não atua sobre as medidas de autoindução neste trabalho.

Com o conhecimento da magnetostricção, em função do campo magnético e da temperatura, pode-se avaliar a porcentagem média de domínios magnéticos em processo de orientação, de crescimento, nucleação e aniquilamento (1)

Conclusão

Na figura 2, a autoindução magnética normal a direção longitudinal do fio do níquel, criada pela brusca interrupção da corrente elétrica, cresce com a temperatura no intervalo de 525K a 750K. Nesse intervalo de temperatura a curva cor-

respondente apresenta uma alteração de equilíbrio de orientação dos domínios magnéticos a 575K, e uma desordem na orientação dos domínios na transformação ferromagnética paramagnética a 620K.

No intervalo de temperatura de 525K a 620K, figura 3, mostra que a auto indução do Ni ferromagnético, devido a contribuição dos domínios magnéticos, é inferior ao da Pt paramagnética. Acima de 620K, ponto de Curie, a autoindução desses elementos se confunde no estado paramagnético.

Não se encontrou na literatura uma justificativa teórica para esse comportamento, conforme o trabalho com a resistividade elétrica do níquel e do paládio (5).

A autoindução magnética transversal do níquel aqui calculada e multiplicada por $16,6 \text{ m}^{-1}$ (π/l), fornece uma permeabilidade magnética, com valor superior ao obtido por Kirkham (8), no mesmo intervalo de temperatura. Essa diferença pode ser explicada por muitas causas como, pureza, formato, tratamento térmico, estrutura micrografica do corpo de prova, da densidade da corrente elétrica, do efeito da magnetostricção e outras (13).

Agradecimento

Ao Professor doutor Holland, L. R., pela discussão sobre as características desta pesquisa e resultados experimentais.

Abstract: Effect of temperature on the magnetic permeability and magnetic self induction of Nickel and Platinum in the range 525K-620K.

Keywords: Magnetic properties of Ni and Pt, magnetic self induction, magnetic dominion, magnetic permeability, magnetic susceptibility, Bloch wall, magnetostriction, Lenz's law.

Bibliografia

- [1] BOHN, F., **Magnetostricção e Ruído Barkhausen nos aços elétricos de grão não orientado**. 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - R.G. do Sul.
- [2] GARLIPP, W.; DE MARCHI A. **Projeto, construção e calibração de um permeâmetro magnético**. São Carlos: EESC/USP, 1968, (Publicação-153).
- [3] GARGIONE FILHO, B. **Medidas AC de Permeabilidade Magnética para uma direção de magnetização transversal**. 1968, 61 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo -São Paulo
- [4] GARGIONE FILHO, B.; GÁRLIPP, W. Medida da permeabilidade magnética em fio delgado ferromagnético, **Eclética Química**, São Paulo, v.23, p. 111-122, 1998.
- [5] GERLACH, W. The modification of electrical resistance in magnetization. **Physikalische Zeitschrift**, Leipzig, v. 33, p. 953-9577, 1932
- [6] GERLACH, W.; SCHNEIDERHAN, K. Ferromagnetismus und elektrische eigenschaften. I. Widerstand, magnetische widerstandsänderung und wahre magnetisierung beim curie punkt. **Annalen der Physik, Berlin**, v. 398, n.6, p. 772-784, 1930
- [7] JILES,D. **Introduction to Magnetism and Magnetic Materials**, London; Chapman and Hall, 1971. Cap. 3.
- [8] KIRKHAM, D The variation of the inicial susceptibility with temperature, and the variation of the magnetostriction and reversible susceptibility with temperature and magnetization in Nickel. **Physical Review**, Woodbury, v. 52, p. 1162-1167, Dec. 1937.
- [9] KITTEL, C. Physical theory of ferromagnetic domains. **Reviews of modern physics**, New Jersey, v. 21, n. 4, p. 541-591, Oct.. 1949.
- [10] KOMPANEYETS, A. S., **A Course of theoretical physics**, Moscou: Mir, 1978. v. 2, pt. 3, .Cap. 34, p.358
- [11] MOTT, N. F.The resistance and thermoelectric properties of the transition metals. **Proceedings of the Royal Society A: mathematical physical & engineering science**, London, v. 156A, n. 888, p. 368-382,1936.
- [12] POTTER, H. H., The electrical resistance of ferromagnetics, **Proceedings of the . Physical Society**, Londonv. 49, n. 6, p.671-678, Nov. 1937.
- [13] TALMAG, R. A., **Comportamento magnético-mecânico de fios de Fe e Níquel**, São José dos Campos, 1970 p. 72. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica-São José dos Campos, 1970.