NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN QUÁ TRÌNH ĐO ĐẠC CỦA NHIỄU TỪ A STUDY ON THE MEASUREMENT CONDITIONS OF ELECTROMAGNETIC NOISE

Bùi Thị Minh Tú

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; btmtu@dut.udn.vn

Tóm tắt - Nhiễu từ là loại sóng điện từ xuất phát từ sâu bên trong vật liệu từ khi đặt vật liệu từ trong một từ trường biến thiên, có quan hệ chặt chẽ với cấu trúc bên trong của vật liệu. Bằng cách đo đạc nhiễu từ tại bề mặt vật liệu, ta có thể đoán được cấu trúc bên trong của vật liệu đó mà không làm ảnh hưởng đến bản thân vật liệu như các cách thông thường. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện tại vẫn gặp khó khăn khi so sánh, đối chiếu lẫn nhau, chủ yếu là do những khác biệt trong điều kiện đo đạc. Bài báo này đề xuất một mô hình cho việc đo đạc nhiễu từ, hướng đến ứng dụng trong việc kiểm tra không phá hủy vật liệu, có tính đến các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình đo đạc và giải pháp khắc phục các yếu tố đo.

Từ khóa - nhiễu từ; đo đạc; mô hình hóa; kiểm tra không phá hủy; cấu trúc vật liệu.

1. Đặt vấn đề

Vật liệu từ được chia thành các vùng từ ngăn cách nhau bởi các bức tường từ. Khi không chịu tác động bởi các yếu tố bên ngoài, các vùng từ này sẽ có các hướng khác nhau, sao cho xét về mặt trung bình, vật liệu trung hòa về từ tính. Khi đặt vật liệu dưới môi trường từ hóa, các bức tường di chuyển, tạo nên tính từ cho vật liệu [1].

Nhiễu từ hay còn gọi là nhiễu Barkhausen (BN) là một hiện tượng một loạt bước nhảy rời rạc và đột ngột xuất hiện trong quá trình từ hóa vật liệu sắt từ khi đặt vật liệu này trong môi trường từ hóa. Nguyên nhân chủ yếu là do các khiếm khuyết vi mô gây cản trở bức tường từ trong quá trình di chuyển của chúng (Hình 1), dẫn đến một đường cong từ hóa không mịn [2, 3, 4]. Vì lý do này, người ta tin rằng nhiễu từ chứa thông tin về cấu trúc vi mô của vật liệu. Bằng cách phân tích nhiễu từ, trích xuất các thông tin chứa đựng trong đó, ta có thể đoán biết được các thông tin về cấu trúc vi mô của vật liệu như tỉ lệ tạp chất, những lỗi cấu trúc hay những đứt gãy sâu bên trong vật liệu. Như vậy, nó có thể được sử dụng như một kỹ thuật kiểm tra không phá hủy nhanh và không tốn kém.



Hình 1. Bức tường từ bị ngăn cản do lỗi cấu trúc và di chuyển khi từ trường ngoài tăng

Một số nghiên cứu cũng đã giới thiệu sự liên quan giữa nhiễu từ và cấu trúc của vật liệu (ferrite, perlite và hỗn hợp ferrite-perlite) như ở Hình 3 [5] hay giữa nhiễu từ và nhiệt độ xử lý vật liệu như ở Hình 4 [6]. Tuy nhiên, việc ứng dụng nhiễu từ trong việc phân tích cấu trúc của vật liệu vẫn **Abstract** - Electromagnetic noise is an electromagnetic signal which originates inside the material when placing the material in a varying magnetic field. This noise is believed to be closely related to the structure of the material. Hence, by measuring the electromagnetic noise at the surface of the material, we can have an idea of the structure inside the material without destroying it as by classical methods. However, the study of this application of electromagnetic noise still faces the difficulties when comparing different results from different research groups mainly because of the difference in measuring conditions. This paper proposes a measuring model for the measurement of electromagnetic noise in view of non-destructive testing application, taking into account different measuring factors.

Key words - magnetic noise; measurement; modelling; nondestructive testing; structure of material.

còn gặp nhiều khó khăn do việc xác định nguyên nhân chính xác của sự hình thành nhiễu, cũng như các ảnh hưởng của điều kiện đo đạc đến nhiễu thu được. Trong bài báo này, ta chỉ xét đến các yếu tố ảnh hưởng đến sự đo đạc nhiễu và các giải pháp có thể sử dụng để khắc phục chúng.







Hình 4. Nhiễu từ và nhiệt độ xử lý vật liệu [6]

2. Mô hình đo đạc nhiễu từ đề xuất



Hình 5. Mô hình đo đạc nhiễu từ đề xuất

Có nhiều mô hình đo đạc khác nhau của nhiễu từ. Mỗi mô hình cho các kết quả khác nhau khi đo đạc. Điều này dẫn đến việc so sánh các kết quả giữa các nhóm nghiên cứu khác nhau không thực hiện được. Chính vì vậy, việc thống nhất giữa các mô hình đo đạc khác nhau, hoặc phương pháp loại trừ các ảnh hưởng của điều kiện đo đạc đến kết quả là vô cùng quan trọng.

Hình 5 giới thiệu mô hình đo đạc nhiễu từ đề xuất. Bộ phận chính của mô hình này là phần tạo trường điện từ gồm hai lõi chữ C bằng vật liệu ferit (NiZn) áp quanh một mẫu vật có độ dày nhỏ. Cấu trúc này nhằm đảm bảo từ trường tạo ra trong vật liệu là đồng nhất (Hình 6). Thiết kế này cũng đã được kiểm chứng bằng các kết quả đo đạc, kết hợp với mô hình phần tử hữu hạn [7].



Hình 6. Kiểm tra tính đồng nhất của từ trường bên trong mẫu thử

Hệ thống đo đạc gồm nguồn AC tạo sóng tam giác (đã được loại bỏ hoàn toàn thành phần sóng cao tần nhờ bộ lọc thông thấp LPF). Tín hiệu ra kết hợp với máy phát công suất 60W, đi qua mạch khuếch đại để đảm bảo công suất của tín hiệu tạo từ trường.

Sóng điện từ tạo ra bên trong vật liệu đi đến bề mặt và được đo bởi cảm biến (sensor) đặt ở bề mặt. Tín hiệu đo đạc được sau đó được khuếch đại và lọc nhiễu để thu được thành phần mong muốn, mang các thông tin về cấu trúc của vật liệu.

Ngoài ra, ta còn có thể thực hiện phép đo đạc với hệ thống có kích thước nhỏ hơn (Hình 7). Mô hình này phù hợp với việc đo đạc khi chiều dài mẫu vật bị hạn chế hay ta muốn đo tại một vị trí cụ thể của mẫu vật.



Hình 7. Hệ thống đo đạc nhiễu từ khi chiều dài mẫu vật bị hạn chế

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống đo đạc nhiễu từ 3.1. Từ trường được tạo thành bên trong mẫu thử



Hình 8. Từ trường hình thành bên trong mẫu thử

Các cuộn sơ cấp bao gồm N vòng dây quấn quanh lõi ferit. Ở đây, hệ thống đề xuất sử dụng cùng số vòng N₁ cho cả hai cuộn. Tuy nhiên, việc sử dụng số vòng khác nhau ở hai cuộn này không làm ảnh hưởng đến kết quả đo đạc. Áp điện áp v(t) vào các cuộn dây sơ cấp tạo ra từ thông Φ_1 trong lõi ferit:

$$\Phi_1 = \int \frac{v(t)}{N_1} dt = \frac{1}{N_1} \int v(t) dt.$$
(1)

Khi không có thất thoát từ thông, từ thông xuất hiện trong lõi vật liệu được tính bởi (2):

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_1 = 2\Phi_1 = 2\mu_{ferit}H_1S, \qquad 2)$$

với S là diện tích mặt cắt của lõi ferit.

Như vậy, từ trường tạo ra trong mẫu thử được tính bằng:

$$H = 2H_1 = \frac{2\Phi_1}{\mu_{ferit}S}.$$
(3)

3.2. Đặc tính của cảm biến

Tùy theo kích thước của mẫu vật cần đo đạc, ta có thể dùng hai dạng cảm biến khác nhau: cảm biến vòng và cảm biến cạnh bên (Hình 9). Cảm biến vòng gồm 120 vòng dây quấn quanh ống ferit, cảm biến cạnh bên gồm 30 vòng dây quấn quanh lõi đặc ferit. Cảm biến cạnh bên có ưu điểm về kích thước nhỏ gọn và dễ sử dụng nên phù hợp với nhiều ứng dụng hơn. Ta sẽ nghiên cứu kỹ về đặc tính của loại cảm biến này.



Hình 9. Cảm biến vòng và cảm biến cạnh bên

Để nghiên cứu về đặc tính của cảm biến cạnh bên, ta đặt cảm biến vào ống solenoid có các thông số sau: (Hình 10)

- Số vòng dây N_s: 761;
- Đường kính D: 64mm;
- Chiều dài l: 542mm.



Hình 10. Đo đạc đặc tính của cảm biến cạnh bên

Cho dòng điện $i = I_0 sin\omega_0 t$ chạy qua ống solenoid sẽ tạo ra từ trường trong ống, từ trường này gây ra từ trường cảm biến trong cảm biến cần đo đạc. Cảm ứng từ này có thể được đo đạc bằng dòng điện ở đầu ra của cảm biến.

Ta có từ trường được tạo ra trong ống solenoid được tính bằng:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 N_s i}{l} = \mu_0 H \tag{4}$$

$$\rightarrow \mathbf{H} = \frac{N_{s}i}{l} = \frac{N_{s}I_{0}sin\omega_{0}t}{l}$$
(5)

Từ thông xuất hiện trong cảm biến đặt trong cuộn solenoid được tính bởi

$$\Phi = BS_c, \tag{6}$$

với S_c là diện tích mặt cắt của cảm biến.

Từ thông này lại tạo thành dòng điện chạy qua các vòng dây của cảm biến theo công thức (7, 8):

$$v_c = N_c \frac{d\Phi}{dt} = \mu_0 N_c S_c \frac{dH}{dt},\tag{7}$$

$$\to v_c = \frac{\mu_0 N_c S_c I_0}{l} \omega \cos \omega t.$$
(8)

Điện áp của dòng điện cảm ứng này được đo đạc và vẽ theo tần số ω như Hình 11.



Hình 11. Dòng điện cảm ứng của cảm biến

Ta thấy rằng điện áp cảm ứng tăng theo hướng tuyến tính với tần số của dòng điện kích ứng khi tần số này thấp hơn một giá trị nhất định (trong trường hợp này là khoảng 430kHz). Khi tiếp tục tăng tần số của dòng điện kích ứng, điện áp cảm ứng tăng mạnh, tạo thành đỉnh cộng hưởng tại tần số 455kHz. Ta gọi đây là tần số cộng hưởng của cảm biến.

Như vậy, cảm biến cạnh bên được lựa chọn có tính chất tương tự như bộ lọc bậc 2 và trong tất cả các đo đạc, cần phải xét đến ảnh hưởng này. Có thể kết luận rằng, để so sánh nhiễu từ trong tất cả các hệ thống đo đạc, cần phải biết rõ các thông tin, tính chất của cảm biến được sử dụng. Hai cảm biến khác nhau có thể có tần số cộng hưởng khác nhau và mức độ khuếch đại ở các dải tần khác tần số cộng hưởng khác nhau. Đối với cảm biến cạnh bên được lựa chọn ở đây, dải tần số hoạt động tốt nhất là dưới 430kHz.

3.3. Đặc tính của vật liệu

Tín hiệu thu được ở bề mặt vật liệu là một sóng điện từ được tạo ra bởi sự biến thiên từ thông bên trong vật liệu. Sóng điện từ được tạo ra ở độ sâu z của mẫu vật phải đi qua và bị hấp thụ một phần bởi vật liệu để đến được bề mặt của mẫu vật theo phương trình (9) (giả sử rằng vật liệu là đồng nhất) [3].

$$\mathbf{A} = A_0 e^{-\alpha z} e^{-j(\omega t - \beta \delta)},\tag{9}$$

với A₀: biên độ ban đầu của tín hiệu sóng điện từ; z: độ sâu

nơi sóng điện từ được tạo ra; ω : tần số của tín hiệu; β : hệ số pha; $\alpha = \sqrt{\pi f \mu_0 \mu_r \sigma}$: hệ số hấp thụ của vật liệu; μ_r : độ từ thẩm và σ : độ điện dẫn và f: tần số tín hiệu.

Phương trình (9) cho thấy tín hiệu tần số cao sẽ nhanh chóng bị hấp thụ bởi vật liệu. Như vậy, các thông tin về cấu trúc bên trong vật liệu mà ta có thể có được, chỉ có thể được khai thác trong thành phần tần số thấp của tín hiệu đo đạc được. Lớp vật liệu có mật độ dòng điện cảm ứng cao được gọi là hiệu ứng bề mặt của vật liệu. Vùng này là tương đương với độ sâu δ bên dưới bề mặt vật liệu nơi mật độ dòng giảm còn $\frac{A}{A_0} = e^{-1}$.

Ta có thể tính được chiều dày của lớp hiệu ứng bề mặt này như (7):

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \mu_r \sigma}} = 503 \sqrt{\frac{1}{f \mu_r \sigma}}.$$
(7)

Độ sâu của hiệu ứng bề mặt của vật liệu phụ thuộc vào cả hai tần số của tín hiệu, độ từ thấm và độ điện dẫn của vật liệu. Bảng 1 cung cấp các hằng số điện và từ cho một số loại vật liệu thông dụng. Hầu hết các thép (acier) có độ điện dẫn trong khoảng $10^6S/m$ đến $10^7S/m$ và độ từ thẩm tối đa bằng 300. Hình 12 biểu diễn bề dày của hiệu ứng của một số vật liệu.

Bảng 1. Hằng số điện và từ của một số loại vật liệu.



Hình 12. Bề dày hiệu ứng bề mặt của một số vật liệu

Có thể thấy được rằng, hiệu ứng bề mặt hay độ sâu mà ta có thể khai thác thông tin từ nhiễu từ của thép khá thấp (khoảng 10^{-5} m cho một tín hiệu đến 200kHz). Như vậy, các kết quả đo đạc chỉ có thể cung cấp được thông tin về cấu trúc vật liệu trong độ sâu này.

4. Kết luận

Nhiễu từ chứa các thông tin về cấu trúc của vật liệu. Nếu có thể khai thác tốt thông tin từ đây, việc xác định cấu trúc của vật liệu có thể được tiến hành dễ dàng mà không làm ảnh hưởng đến bản thân vật liệu.

Bài báo đã đề xuất mô hình đo đạc nhiễu từ, có xét đến các yếu tố làm ảnh hưởng đến kết quả đo đạc. Để có được kết quả có độ tin cậy cao, cần đảm bảo từ trường được tạo ra bên trong vật liệu là đồng nhất. Để có thể so sánh các kết quả đo đạc trong các điều kiện khác nhau, cần phải biết thông tin về cảm biến đo đạc nhằm loại trừ ảnh hưởng của nó đến tín hiệu đo đạc được. Cảm biến cạnh bên trong bài báo này có tính chất gần giống bộ lọc bậc 2, tần số cộng hưởng ở 455kHz và đải tần hoạt động tốt ở dưới 430kHz. Ngoài ra, do ảnh hưởng của hiệu ứng bề mặt, tín hiệu sóng điện từ bị hấp thụ phần lớn bởi vật liệu và thông tin khai thác được chủ yếu đến từ lớp bề mặt của vật liệu. Muốn có được thông tin ở những độ sâu cao hơn, cần tìm cách khai thác thông tin chứa trong dải tần số thấp của tín hiệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- G. Bertotti: Hysteresis in Magnetism: for Physicists, Materials Scientists, and Engineers. Academic Press, 1998.
- [2] Alex Hubert and Rudolf Schafer: Magnetic Domain. The analysis of magnetic microstructures. Springer, 1998.
- [3] David Jiles: Introduction to magnetism and magnetic materials. 3rd

edition, CRC Press, 2016.

- [4] Stefano Zapperi, Pierre Cizeau, Gianfranco Durin and H. Eugene Stanley: Dynamics of a ferromagnetic domain wall: Avalanches, depinning transition, and the Barkhausen effect. Physical Review B, 58(10):6353–6366, September 1998.
- [5] O. Saquet, J. Chicois and A. Vincent: Barkhausen noise from plain carbon steels: Analysis of the influence of microstructure. Materials Science & Engineering A, 269:73–82, 1999.
- [6] Saeed Kahrobaee, Taha-Hossein Hejaz: A RSM-based predictive model to characterize heat treating parameters of D2 steel using combined Barkhausen noise and hysteresis loop methods. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 433, 1 July 2017, Pages 131-140.
- [7] Bui Thi Minh Tu: Contribution à la modélisation du bruit Barkhausen en relation avec la microstructure des materiaux ferromagnetiques. Universite de Technologie de Compiegne, 2010.

(BBT nhận bài: 10/07/2017; hoàn tất thủ tục phản biện: 24/07/2017)