

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BỘ THIẾT BỊ PHÁT HIỆN KHUYẾT TẬT CÁC ỐNG THÉP RỜI, ĐƯỜNG KÍNH NHỎ BẰNG PHƯƠNG PHÁP RÒ RỈ ĐƯỜNG SỨC TỪ

Phạm Hồng Quang¹, Lê Văn Sỹ², Vũ Minh Hùng¹, Phan Minh Quốc Bình¹, Nguyễn Ngọc Khương¹, Nguyễn Quang Vinh¹

¹Đại học Dầu khí Việt Nam

²Trường Cao đẳng Dầu khí

Email: hungvm@pvu.edu.vn, sylv@pvmc.edu.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2022.03-04>

Tóm tắt

Bài báo trình bày thiết kế và chế tạo thử nghiệm cho hệ thiết bị phát hiện khuyết tật EMI (electromagnetic inspection) đáp ứng yêu cầu kiểm tra không phá hủy trên các ống thẳng, đường kính nhỏ, thay đổi. Điểm mới của thiết bị này là đã thay thế cảm biến từ Hall thông thường bằng cảm biến Hall phẳng có độ nhạy cao, ổn định theo nhiệt độ và thời gian để khảo sát biến thiên từ trường do suy giảm độ dày đường ống. Bên cạnh đó, cụm thiết bị thử nghiệm phát hiện khuyết tật dọc có cấu tạo mới với từ trường từ hóa theo chu vi ống bằng 1 cặp nam châm điện trực giao; hệ từ hóa và ống kiểm tra không cần quay trong quá trình đo. Thiết bị EMI dự kiến sẽ được áp dụng thử nghiệm tại Xí nghiệp Cơ điện, Liên doanh Việt - Nga "Vietsovpetro".

Từ khóa: Thiết bị kiểm tra khuyết tật đường ống, phương pháp MFL.

1. Giới thiệu

Các ống thép thẳng, rời như ống khoan, ống chống, ống khai thác, đường ống dẫn dầu và khí... được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp dầu khí. Ngay sau khi chế tạo và sau quá trình sử dụng, các khuyết tật (vết nứt, thủng do quá trình ăn mòn) có thể xuất hiện trong và ngoài thành ống, tiềm ẩn nguy cơ xảy ra các sự cố nghiêm trọng [1 - 4]. Do vậy, ngay sau khi chế tạo hoặc trong quá trình bảo dưỡng định kỳ, các đường ống sẽ được kiểm tra khuyết tật bằng các phương pháp không phá hủy. Một trong các phương pháp kiểm tra khuyết tật phổ biến là phương pháp điện từ, trong đó ống cần kiểm tra sẽ chạy xuyên qua thiết bị gọi là EMI (electromagnetic inspection). Thiết bị EMI điển hình có 3 chức năng là phát hiện khuyết tật ngang, phát hiện khuyết tật dọc (hoạt động theo nguyên lý rò rỉ đường sức từ - magnetic flux leakage, MFL) và theo dõi suy giảm độ dày (hoạt động theo nguyên lý mật độ đường sức từ).

Thiết bị EMI đang bán trên thị trường có giá thành cao. Ngoài ra, thiết bị này có hạn chế ở cụm phát hiện khuyết tật ngang, cơ cấu đóng mở cánh tay cảm biến thường dùng các cylinder khí nén (pneumatic) khiến cho việc điều chỉnh và kiểm soát khoảng cách cảm biến đến bề mặt ống khó đạt độ chính xác. Ở cụm phát hiện khuyết tật dọc, hệ từ hóa có trọng lượng

lớn (hàng trăm kilogram) phải liên tục quay với tốc độ cao trong khi ống chạy qua làm tiêu tốn năng lượng, gây ra tiếng ồn, thường xuyên phải thay thế phụ kiện (như vòng bi, chổi góp). Ở cụm theo dõi độ dày, các sản phẩm thương mại hiện nay sử dụng loại cảm biến Hall thông thường có độ ổn định theo nhiệt độ và theo thời gian kém, dẫn đến sai lệch kết quả đo.

Do vậy, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thiết bị EMI thử nghiệm đáp ứng yêu cầu phát hiện, kiểm tra không phá hủy các khuyết tật trên các ống khoan, ống khai thác, ống chống, ống dẫn dầu và khí có kích thước nhỏ, thẳng, rời theo các tiêu chuẩn quốc tế API 5CT. Thiết bị này gồm 3 cụm chức năng:

- Cụm phát hiện khuyết tật ngang: Có cấu tạo và nguyên lý hoạt động giống các sản phẩm EMI truyền thống, song khác biệt là có các cảm biến dạng dây và hệ cánh tay cảm biến dung sai vận hành bởi servo motor.

- Cụm phát hiện khuyết tật dọc: Thay vì sử dụng hệ từ hóa là 1 nam châm điện quay quanh ống, thiết bị sử dụng 1 cặp nam châm điện đặt cố định, vuông góc với nhau. Khi kết hợp với cảm biến dạng dây, cơ cấu này sẽ cho phép quét kiểm tra toàn bộ chu vi ống mà chỉ cần sự dịch chuyển tịnh tiến của ống.



Ngày nhận bài: 28/12/2021. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 28/12/2021 - 20/1/2022.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 21/3/2022.

- Cụm phát hiện suy giảm độ dày hoạt động trên nguyên lý theo dõi sự thay đổi mật độ đường sức từ trong cuộn dây từ hóa khi độ dày ống thay đổi. Điểm khác biệt của thiết bị là thay cảm biến từ Hall thông thường bằng cảm biến Hall phẳng có độ ổn định rất cao theo nhiệt độ và theo thời gian.

2. Nguyên lý phương pháp MFL phát hiện khuyết tật

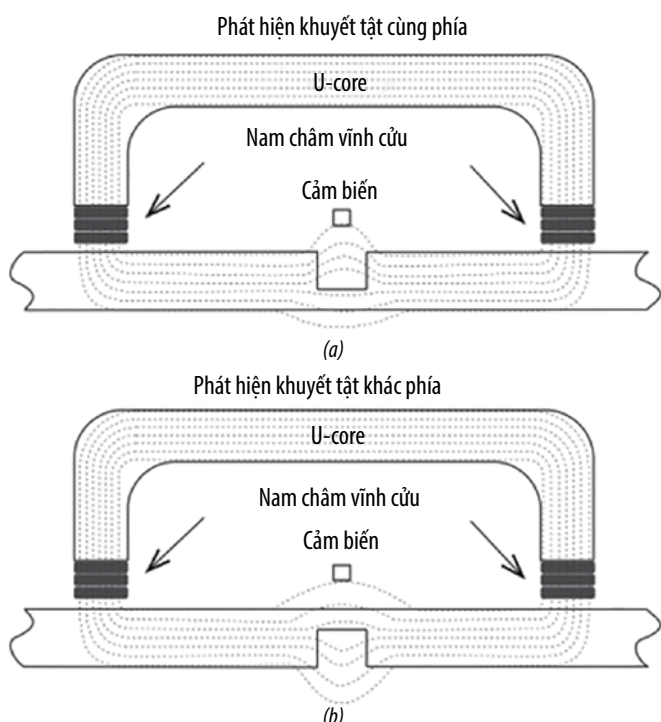
Phương pháp phát hiện rò rỉ đường sức (MFL) rất phổ biến trong việc phát hiện khuyết tật các kết cấu bằng thép (có từ

tính) như ống thép, tấm thép. Phương pháp MFL là nguyên lý hoạt động của 2 cụm phát hiện khuyết tật ngang và dọc của hệ EMI. Phương pháp MFL có ưu điểm như: có khả năng kiểm tra tốc độ cao, dễ dàng thu nhận tín hiệu, thực hiện quá trình đo trực tuyến, có thể phát hiện các loại khuyết tật (khuyết tật bề mặt, lỗ rỗng, vết nứt, vết ăn mòn... cả bên trong và bên ngoài thành ống) [1 - 5].

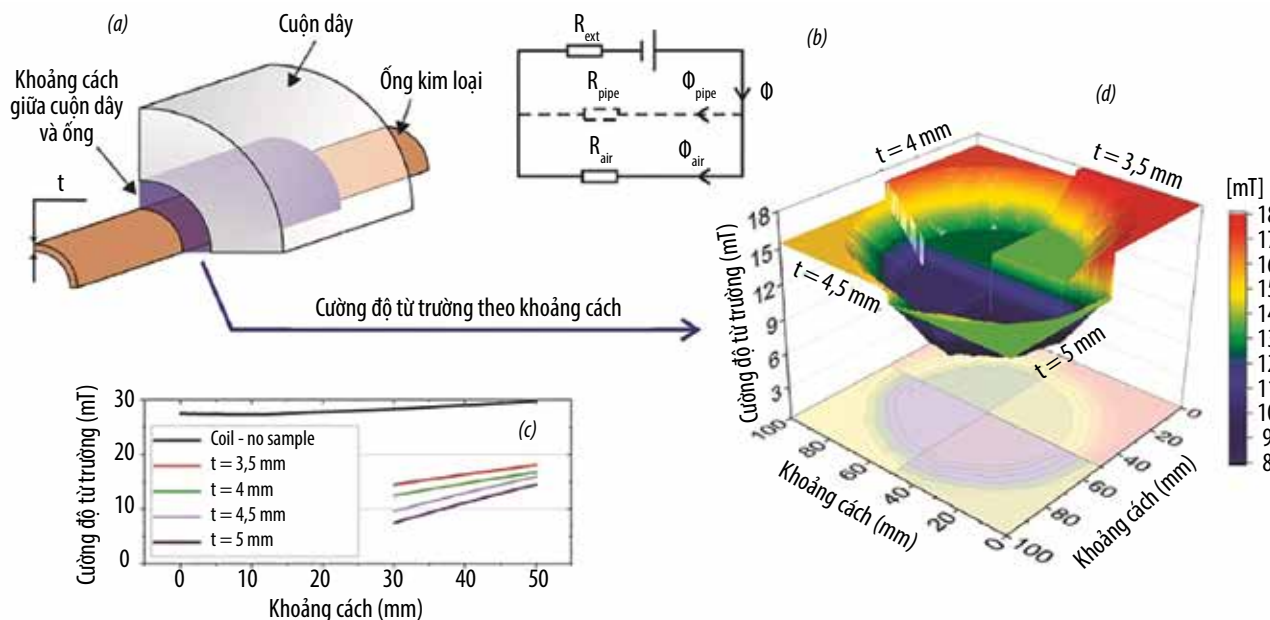
Về mặt nguyên lý, phương pháp MFL có thể tóm tắt như Hình 1: Thành ống làm bằng vật liệu sắt từ sẽ được từ hóa gần đến trạng thái bão hòa nhờ từ trường tạo bởi 1 nam châm điện hoặc vĩnh cửu. Nếu không có khuyết tật, các đường sức từ sẽ chạy trong bề dày thành ống. Khi có khuyết tật, đường sức từ sẽ bị rò rỉ ra ngoài tại vị trí có khuyết tật (do độ từ thẩm ở đó nhỏ hơn ở vật liệu sắt từ). Việc rò rỉ đường sức từ đồng nghĩa tạo ra từ trường có thể đo được bằng các cảm biến từ. Việc phân tích tín hiệu điện thu được từ cảm biến cho phép đánh giá loại, hình dạng, mức độ của khuyết tật. Như vậy, hệ từ hóa và cảm biến đo từ là các yếu tố quan trọng nhất, quyết định sự thành công của phép đo.

3. Nguyên lý phương pháp mật độ đường sức từ khảo sát suy giảm độ dày thành ống

Nguyên lý của phương pháp mật độ đường sức từ như sau: Một cuộn dây được tạo bởi một số vòng dây mang dòng điện sẽ tạo ra từ trường dọc theo trục dọc. Khi 1 ống sắt từ được đặt trong cuộn dây, các đường sức từ trong cuộn dây có xu hướng tập



Hình 1. Mô tả phương pháp MFL dò khuyết tật: (a) Trường hợp khuyết tật cùng phía (near-side); (b) Trường hợp khuyết tật khác phía (far-side).



Hình 2. Nguyên lý của phương pháp mật độ đường sức từ khảo sát biến thiên độ dày.

trung đi vào trong vật liệu sắt từ, dẫn đến giảm mật độ thông lượng từ trong không gian bao quanh ống. Do đó, đường ống có độ dày mỏng sẽ ít gây giảm mật độ thông lượng xung quanh ống và ngược lại. Sự thay đổi độ dày thành ống có thể được theo dõi qua sự thay đổi mật độ thông lượng từ tính bằng cảm biến từ tính. Do đó, phương pháp này không phải là phương pháp rò rỉ đường sức và không đo độ dày thành ống mà là sự thay đổi độ dày.

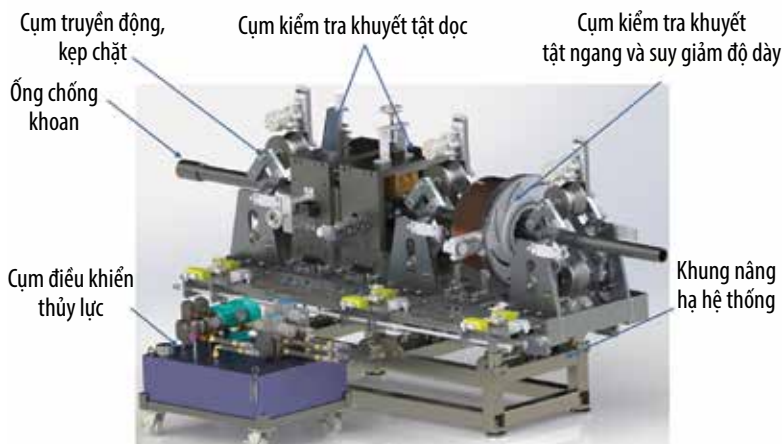
Cấu hình đo của phương pháp mật độ đường sức từ khảo sát biến thiên độ dày được thể hiện trên Hình 2a. Để mô tả nguyên tắc vật lý của kiểm tra độ suy giảm thành ống có thể sử dụng định luật Ohm cho các mạch từ tính. Trong Hình 2b, F biểu thị suất từ động (magnetic motive force, MMF) biểu thị qua đại lượng Amper.vòng (tỷ lệ thuận với

từ trường tác dụng), R_{ext} , R_{air} và R_{pipe} biểu thị từ trở trong không gian bên ngoài, bên trong cuộn dây từ hóa và trong thành ống. Φ , Φ_{air} và Φ_{pipe} biểu thị tổng thông lượng được tạo ra bởi F , thông lượng qua khoảng không khí trong cuộn dây và thông lượng qua thành ống. Với sự có mặt của ống, thông lượng Φ_{air} sẽ giảm. Mức độ thay đổi của Φ_{air} (từ trường xung quanh ống) phụ thuộc độ dày ống và được thể hiện qua Hình 2 (c và d).

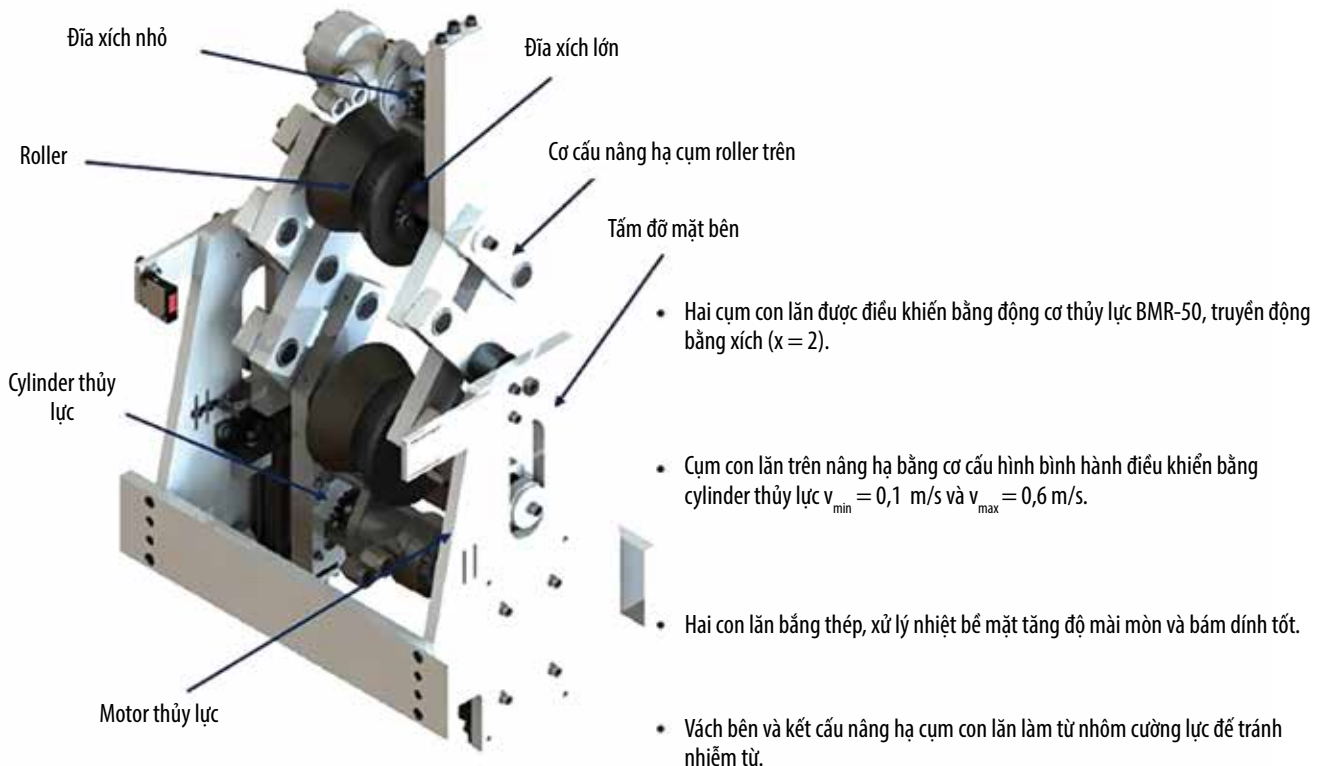
4. Thiết kế chế tạo thiết bị EMI

Thiết bị EMI do nhóm tác giả chế tạo được thiết kế như trên Hình 3.

Thiết bị EMI gồm các bộ phận chính: Module phát hiện khuyết tật ngang, module phát hiện khuyết tật dọc, module đo độ dày thành ống, bộ phận khử từ, hệ đẩy và định tâm ống bằng thủy lực và các hệ thống khung, giá đỡ. Module phát hiện khuyết tật ngang và theo dõi suy giảm độ dày có cùng 1 cuộn dây từ hóa và module phát hiện khuyết tật dọc gồm 2 nam châm điện bố trí trực giao. Chi tiết cấu tạo và nguyên lý hoạt động của các module được mô tả chi tiết bên dưới. Quá



Hình 3. Thiết kế tổng thể của thiết bị phát hiện khuyết tật ống rời EMI.



Hình 4. Cơ cấu kẹp ống của thiết bị EMI.

trình kiểm tra ống được thực hiện bằng cách cho ống chạy xuyên qua hệ với đầu nối ống (tool joint) đi trước. Các con lăn thủy lực và các cánh tay cảm biến lúc đầu ở trạng thái mở để đầu ống đi qua, sau đó con lăn được kẹp chặt và các cánh tay cảm biến đóng lại để bề mặt cảm biến sát với bề mặt ống.

4.1. Hệ đẩy và định tâm ống bằng thủy lực

Hệ đẩy và định tâm ống bằng thủy lực (Hình 4) đảm bảo cho ống dịch chuyển xuyên qua các module chức năng không bị rung lắc hay bị hút bởi lực từ. Hệ đẩy và định tâm ống bằng thủy lực gồm 3 cụm, trong đó mỗi cụm là 1 cặp con lăn (roller) có thể quay cùng tốc độ dịch chuyển ống (0,1 - 3 m/s), đồng thời có thể tự động mở ra, ép lại bằng cơ cấu thủy lực có điều khiển (motor và/hoặc cylinder thủy lực) theo kiểu kẹp hình bình hành. Lực ép của cặp con lăn đảm bảo định tâm, chống lại lực hút của từ trường lên ống. Hệ được điều khiển tự động để thích nghi với đường kính ống từ 60 - 114 mm, độ lệch tâm < 2 mm.

Ống được giữ định tâm bằng kẹp của cặp con lăn ngay khi ống được đưa vào cuộn dây đo nếu ống không có đầu nối và để đầu ống đi qua nếu ống có đầu nối. Đến cuối ống, cặp con lăn mở ngay khi đầu nối cuối ống chạy

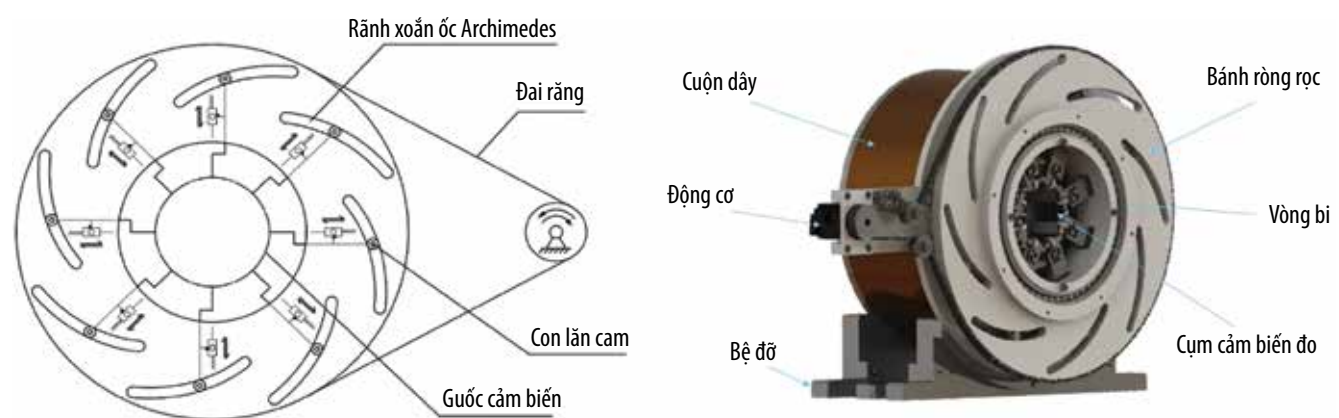
qua. Chế độ đóng mở của cặp con lăn được điều khiển bởi các cảm biến quang và cảm biến hành trình.

Lực kẹp của ống có thể thay đổi và được điều khiển phù hợp với đường kính ống. Các thông số áp suất thủy lực, tốc độ dịch chuyển, khoảng cách 2 con lăn, lực ép được điều khiển tay hoặc thông qua thiết bị điều khiển có thể lập trình (PLC) và hiển thị trên bảng điều khiển. Tốc độ dịch chuyển và vị trí ống được hiển thị trên máy tính theo chế độ thời gian thực. Bo mạch điều khiển được đóng trong hộp đảm bảo vận hành an toàn. Hệ thống điều khiển có cơ chế ngắt điện khẩn cấp bằng tay.

4.2. Cụm thiết bị phát hiện khuyết tật ngang

Cấu tạo của cụm phát hiện khuyết tật ngang gồm 1 cuộn dây từ hóa, 1 hệ cánh tay cảm biến gắn guốc cảm biến. Các từ trường rò rỉ sẽ xuất hiện ở nơi có các khuyết tật (mạnh nhất với các khuyết tật dạng khe với hướng vuông góc trục ống) và sẽ được phát hiện bằng cảm biến từ.

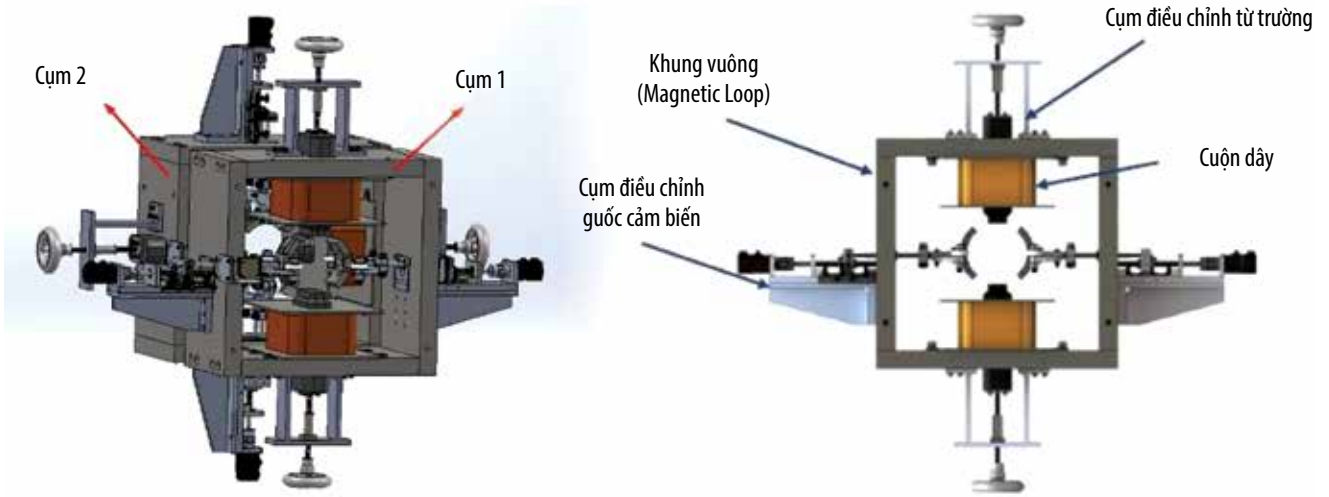
Cuộn dây từ hóa gồm lõi làm bằng hợp kim nhôm được quấn dây đồng cách điện. Số vòng dây là 1.000 vòng, tiết diện dây 5 mm² đảm bảo cuộn dây có thể tạo nên suất từ động > 12 kA.vòng, tương ứng từ trường > 400 Gauss.



Hình 5. Thiết kế cụm phát hiện khuyết tật ngang - EMI.



Hình 6. Các guốc cảm biến cho các cỡ ống khác nhau - EMI.



Hình 7. Thiết kế cụm phát hiện khuyết tật dọc - EMI.



Hình 8. Cảm biến Hall phẳng, mạch điện tử xử lý và cần gắn cảm biến.

Hệ cánh tay cảm biến gồm 8 cánh tay gắn 8 guốc cảm biến được điều khiển tự động ở chế độ mở cho đầu ống đi qua và đóng khi đầu ống đã qua để quá trình đo bắt đầu. Ở chế độ đóng, khoảng cách tới bề mặt ống của các cảm biến được đặt và điều chỉnh đồng thời, chính xác đến 0,1 mm. Cơ cấu dịch chuyển của các cánh tay cảm biến là cơ cấu cam với rãnh xoắn Archimedes sử dụng động cơ bước.

Guốc cảm biến kiểu dây cuộn pickup cho khuyết tật ngang: Guốc gồm thân guốc hình móng ngựa, nắp dưới, nắp trên, tai lắp ráp. Mỗi guốc có 5 cảm biến kiểu cuộn dây (cuộn pickup) phân bố 2 hàng so le để đảm bảo quét qua tất cả điểm trên chu vi ống. Vùng quét mỗi guốc > 1/8 chu vi đối với guốc khuyết tật ngang. Độ cong của guốc được thiết kế thích ứng với kích thước ống kiểm tra.

4.3. Cụm thiết bị phát hiện khuyết tật dọc

Theo cơ chế hoạt động để hệ từ hóa và ống đều không quay, hệ có 2 khối từ hóa đặt vuông góc với nhau là 2 nam châm điện có các cực đối nhau để từ hóa ống theo phương chu vi. Các cực có thể di chuyển để phù hợp kích thước ống nhưng đảm bảo chống được sức hút của lực từ

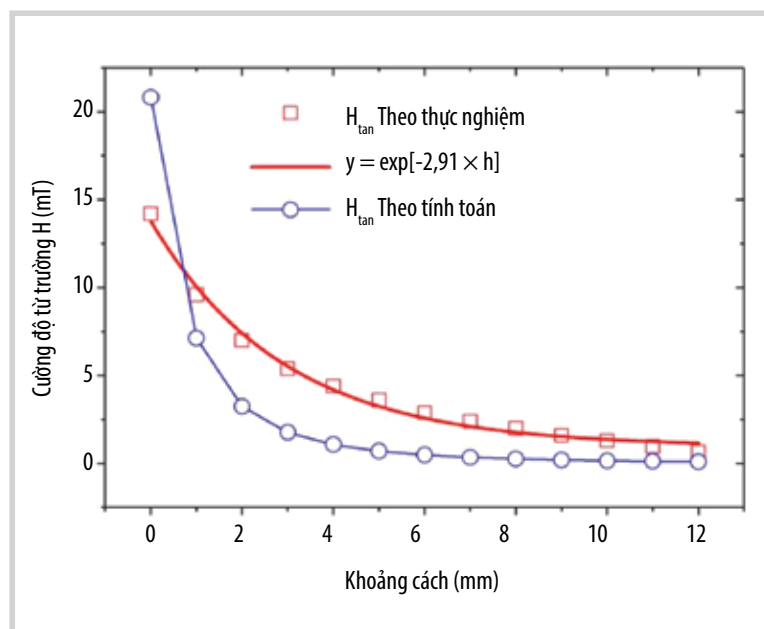
trường. Giải pháp để toàn bộ bề mặt ống được quét kiểm tra là sử dụng dây cảm biến trong khoảng các cực nam châm và có 2 lớp cảm biến đặt so le để khép kín toàn bộ chu vi ống. Các hệ từ hóa của cả 2 cụm được cấp dòng 1 chiều thế thấp, cường độ lớn và ổn định.

- Hệ từ hóa cụm phát hiện khuyết tật dọc gồm: 2 gông từ dạng khung vuông được chế tạo bằng thép điện có hệ số từ thẩm $> 10^3$ T.m/A, kích thước 500 mm x 500 mm, rộng 260 mm và dày 40 mm. Mỗi gông từ gắn 1 cặp nam châm điện gồm lõi sắt non và cuộn dây đồng có số vòng dây 800 vòng. Nam châm điện có thể tạo từ trường > 2.000 Gauss trên bề mặt cực và > 400 Gauss giữa 2 cực ở khoảng cách 150 mm. Đầu cực có gắn chổi sợi thép dẫn từ. Cực từ có thể dịch chuyển dễ dàng bằng cơ cấu vít-me để thích hợp với các ống có đường kính thay đổi từ 60 - 114 mm.

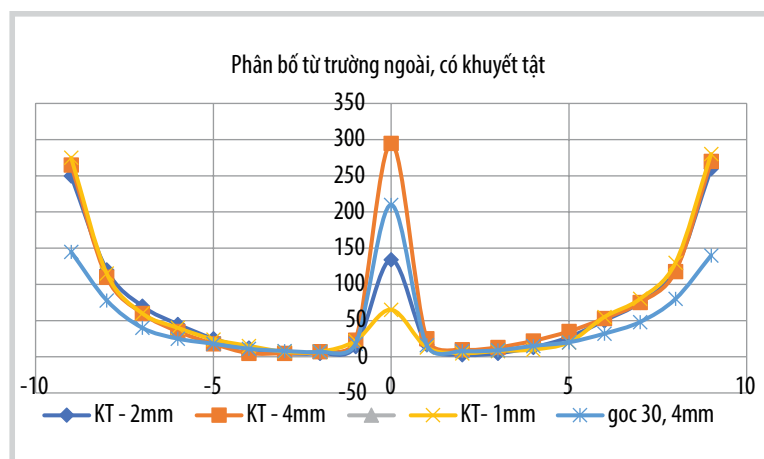
- Guốc cảm biến kiểu dây cuộn cảm biến (pick-up coil) cho cụm khuyết tật dọc: Các guốc cảm biến cho khuyết tật dọc cơ bản giống các guốc cảm biến của cụm khuyết tật ngang, song có khác biệt là độ dài cung của guốc > 1/4 chu vi.

4.4. Chức năng kiểm tra độ dày ống

Phương pháp mật độ đường sức từ được sử dụng làm nguyên lý hoạt động của chức năng kiểm tra độ dày ống. Theo



Hình 9. Sự phụ thuộc từ trường rò rỉ vào khoảng cách đo theo tính toán và thực nghiệm.



Hình 10. Kết quả mô phỏng tín hiệu MFL gây bởi các khuyết tật dọc với độ sâu thay đổi.



Hình 11. Khu vực thử nghiệm thiết bị EMI.

tài liệu API 5CT, phương pháp này chỉ dùng để phát hiện đoạn ống có biểu hiện bị giảm độ dày, làm căn cứ cho phép đo bổ sung (thường là siêu âm)... Vì lý do bí mật công nghệ, các tác giả không tìm thấy tài liệu chi tiết mô tả các vấn đề kỹ thuật, cấu hình tối ưu, các kết quả định lượng của phương pháp mật độ đường sức từ. Ngoài ra, yêu cầu cảm biến phải rất nhạy, rất ổn định theo thời gian và nhiệt độ. Loại cảm biến Hall thông thường hiện nay có độ trôi theo thời gian và hệ số nhiệt khá lớn, ảnh hưởng kết quả đo. Nhóm tác giả đã hợp tác với Đại học Tổng hợp Montpellier để nghiên cứu, chế tạo và đưa vào sử dụng loại cảm biến Hall phẳng có các tính năng vượt trội so với cảm biến Hall thông thường.

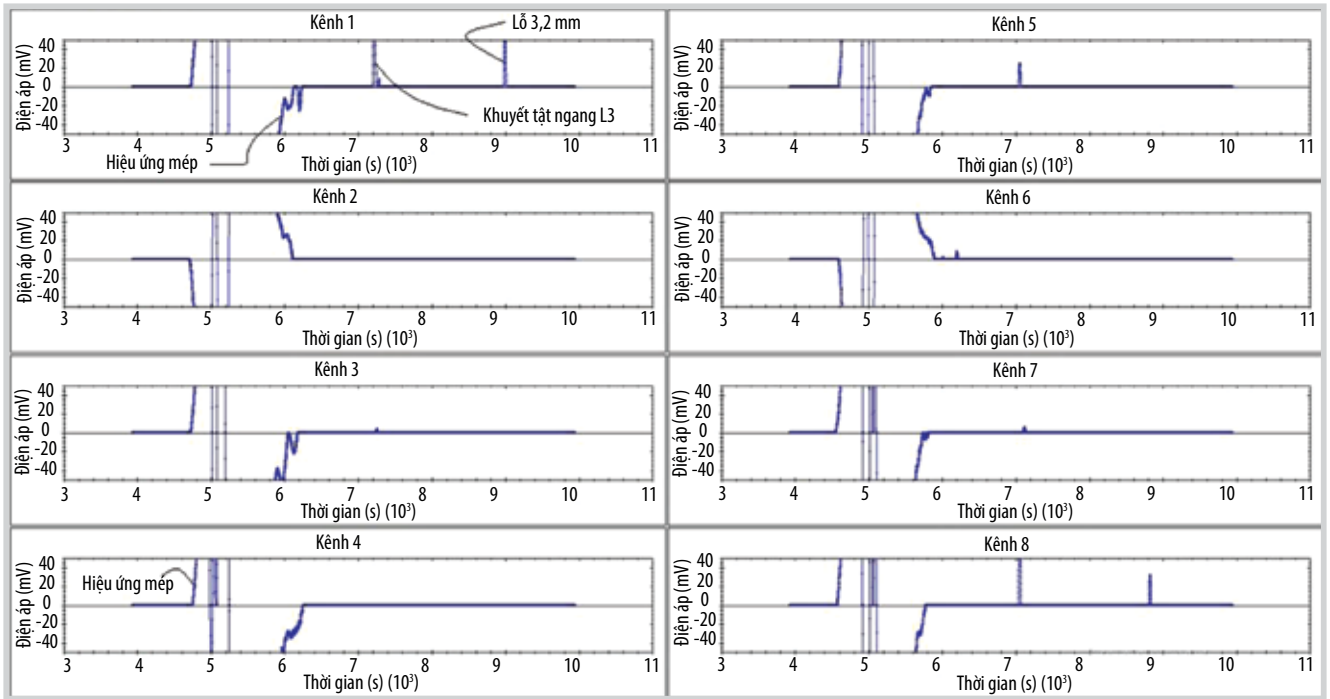
Cảm biến Hall phẳng (PHR) hoạt động theo nguyên lý từ trở với khoảng đo +/- 0,35 Tesla có độ phân dải 10 micro Tesla tại 0,35 Tesla, độ ổn dc < 0,1% của toàn dải đo, độ trôi theo thời gian < 0,1%/năm và hệ số nhiệt < 0,01% toàn dải/độ. Các cảm biến có vỏ bảo vệ bằng nhựa hoặc teflon, các dây tín hiệu là dây bọc kim loại chống nhiễu.

5. Kết quả mô phỏng

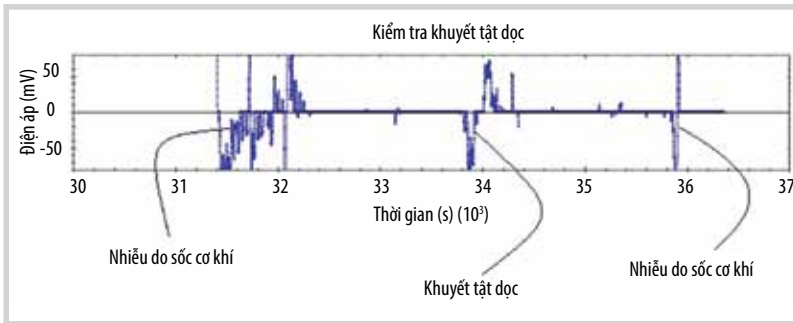
Để đáp ứng yêu cầu đánh giá vai trò của từ trường từ hóa, kích thước, cấu tạo, cấu hình của 3 module khuyết tật ngang, khuyết tật dọc và khảo sát độ dày, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp phân tích bằng mô hình lưỡng cực từ và phương pháp số bằng phần mềm ANSYS Maxwell.

Hình 8 thể hiện sự ảnh hưởng của khoảng cách cảm biến lên từ trường rò rỉ được đo tại vị trí chính giữa khuyết tật ($W = 2 \text{ mm}$, $D = 5 \text{ mm}$, $L = 50 \text{ mm}$). Đường làm khớp chỉ ra rằng hàm mô tả tốt nhất sự suy giảm của từ trường MFL khi tăng khoảng cách cảm biến là e^{-Ch} , với $C = 2,91$. Có nghĩa là tín hiệu MFL giảm nhanh khi tăng khoảng cách cảm biến. Trong thực tế, khoảng cách cảm biến thường có giá trị khoảng 3 - 5 mm, do đó tín hiệu MFL sẽ yếu đi rõ rệt.

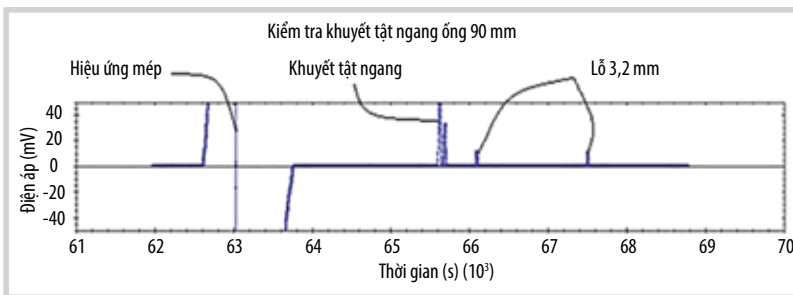
Trong Hình 9, đường màu xanh là kết quả tính toán theo mô hình lưỡng cực từ. Cũng như kết quả thực nghiệm, hàm e^{-Ch} (C là hằng



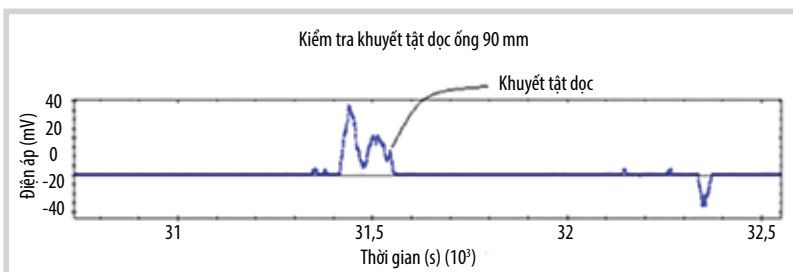
Hình 12. Kết quả đo tín hiệu khuyết tật ngang đường kính 2 7/8 inch.



Hình 13. Kết quả đo tín hiệu khuyết tật dọc đường kính 2 7/8 inch.



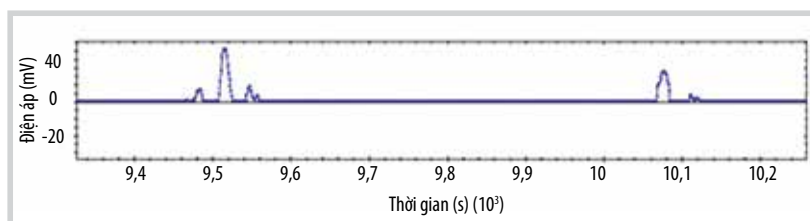
Hình 14. Đo tín hiệu khuyết tật ngang cho ống đường kính 3 1/2 inch.



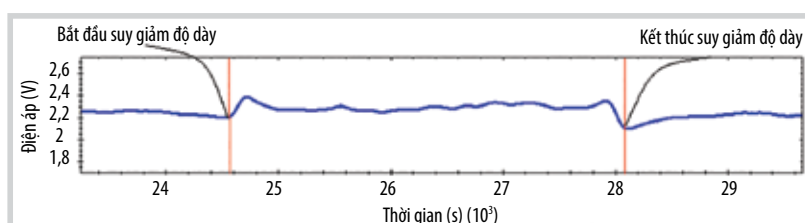
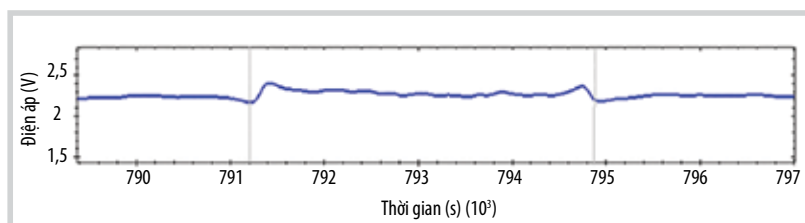
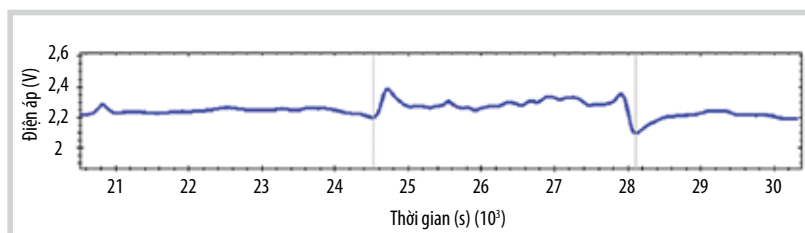
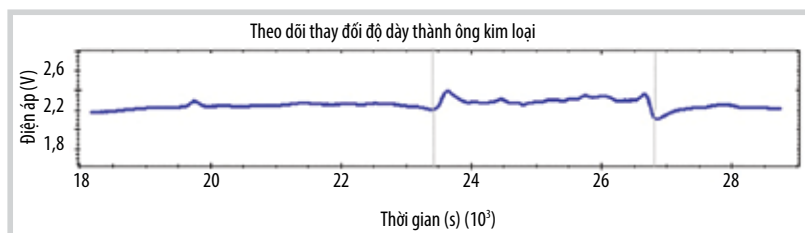
Hình 15. Đo tín hiệu khuyết tật dọc cho ống đường kính 3 1/2 inch.

số) là khả dĩ nhất để mô tả ảnh hưởng của khoảng cách cảm biến. Tuy nhiên, đường lý thuyết giảm nhanh hơn đường thực nghiệm. Kết quả này do mô hình lưỡng cực từ giả thiết từ trường rò rỉ chỉ đóng góp bởi các từ tích trên 2 vách khuyết tật, nhưng trên thực tế còn có đóng góp từ bề mặt tấm ở vùng lân cận của khuyết tật.

Hình 9 thể hiện kết quả thực nghiệm và mô phỏng bằng FEM tín hiệu MFL gây bởi các khuyết tật dọc với độ sâu thay đổi từ 1 - 4 mm, cách bề mặt ống khoảng cách 2 mm. Hệ từ hóa có cấu hình tương tự cấu hình chế tạo thực... Nhóm tác giả chỉ đưa ra kết quả trường hợp khuyết tật nằm ở chính giữa không gian các cặp cực để quan sát rõ sự biến đổi của độ lớn tín hiệu theo độ sâu khuyết tật. Trường hợp khuyết tật nằm lệch khỏi vị trí chính giữa, tín hiệu MFL vẫn nổi rõ trên tín hiệu nền gây bởi sự tán xạ từ trường của các cực. Kết quả trên cho thấy tín hiệu MFL tăng theo độ sâu của khuyết tật. Với khuyết tật từ 2 mm trở lên, tín hiệu khá lớn. Trường hợp khuyết tật 1 mm, tín hiệu MFL nhỏ, đòi hỏi cảm biến đo từ trường phải có độ nhạy đủ lớn.



Hình 16. Kết quả đo tín hiệu khuyết tật dọc cho ống đường kính 114 mm.



Hình 17. Kết quả hệ theo dõi suy giảm độ dày.

6. Kết quả thử nghiệm

Thiết bị EMI đã được chế tạo và lắp ghép hoàn thiện như Hình 11.

Kết quả thử nghiệm sẽ được thực hiện trên 4 mẫu ống thép đường kính 2³/₈ inch, 2⁷/₈ inch, 3¹/₂ inch và 4¹/₂ inch (tương đương khoảng 60 mm, 73 mm, 89 mm và 114 mm), trên đó có gia công các khuyết tật nhân tạo theo chuẩn L3, L4 API (đối với khuyết tật ngang [6]), L4 API (đối với khuyết tật dọc [6]).

Hệ khuyết tật ngang: Tín hiệu MFL gây bởi khuyết tật được phát hiện rõ trên nền nhiễu nhỏ do cơ cấu cảm biến dung sai và sự ổn định của ống. Đạt yêu cầu để ra mức L3 và L4.

Hệ khuyết tật dọc: Tín hiệu MFL gây bởi khuyết tật dọc cũng khá rõ

trên nền nhiễu nhỏ, có thể đạt mức L4. Kết quả sẽ tốt hơn nếu có thể áp dụng một số giải pháp về cực từ.

Hệ theo dõi biến đổi độ dày: Tín hiệu biểu thị sự thay đổi độ dày rất rõ, ổn định và có độ lặp lại cao. Nếu có hệ thống ống mẫu chuẩn thì có thể định lượng hóa để đánh giá tình trạng ống, kể cả tình trạng ăn mòn cục bộ thành ống.

7. Kết luận

Nghiên cứu thiết kế tổng thể và chế tạo hệ thiết bị EMI thử nghiệm đáp ứng yêu cầu phát hiện, kiểm tra không phá hủy các khuyết tật trên các ống có đường kính nhỏ, thẳng, rời. Thiết bị EMI được nghiên cứu, chế tạo mới có nhiều cải tiến so với thiết bị EMI truyền thống. Thiết bị EMI này có thể làm việc với các loại ống với đường kính khác nhau từ 60 - 114 mm. Kết quả thử nghiệm cho thấy thiết bị EMI có khả năng phát hiện các khuyết tật ngang theo chuẩn L3 API 5CT với chất lượng tương đối tốt; phát hiện suy giảm độ dày thành ống với độ phân giải cao và có khả năng phát hiện khuyết tật dọc theo tiêu chuẩn L4 API 5CT, tuy nhiên tín hiệu vẫn bị lẫn nhiễu do sóc cơ khí của hệ thống con lăn đẩy ống, tín hiệu khuyết tật dọc có thể được cải thiện bằng các bộ lọc thích nghi.

Tài liệu tham khảo

- [1] Purna Chandra Rao Bhagi, "Magnetic flux leakage technique: Basics", *Journal of Nondestructive Testing and Evaluation*, Vol. 11, No. 3, pp. 7 - 17, 2012.
- [2] Phạm Hồng Quang, Trình Quang Trung, Đoàn Duy Tuấn, and Trần Quang Hưng, "Importance of magnetizing field on magnetic flux leakage signal of defects", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 54, No. 6, 2018.
- [3] M. Coramik and Y. Ege, "Discontinuity inspection in pipelines: A comparison review", *Measurement*, Vol. 111, pp. 359 - 373, 2017. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.07.058.

[4] Huang Zuoying, Que Peiwen, and Chen Liang, "3D FEM analysis in magnetic flux leakage method", *NDT & E International*, Vol. 39, No. 1, pp. 61 - 66, 2006. DOI: 10.1016/j.ndteint.2005.06.006.

[5] Pham Hong Quang, Le Van Sy, Vu Minh Hung, Doan Tuan Duy, and Tran Quang Hung, "Design of a lightweight magnetizer to enable a portable circumferential magnetic

flux leakage detection system", *Review of Scientific Instruments*, Vol. 90, No. 7, 2019. DOI: 10.1063/1.5090938.

[6] API, "API Specification 5CT, 10th edition". [Online]. Available: <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-5ct>.

RESEARCH ON THE MANUFACTURE OF EQUIPMENT FOR DETECTING DEFECTS OF DISJOINTED, SMALL DIAMETER STEEL PIPES BY MAGNETIC FLUX LEAKAGE METHOD

Pham Hong Quang¹, Le Van Sy², Vu Minh Hung¹, Phan Minh Quoc Binh¹, Nguyen Ngoc Khuong¹, Nguyen Quang Vinh¹

¹Petrovietnam University

²Petrovietnam Manpower Training College

Email: hungvm@pvu.edu.vn, sylv@pvmtc.edu.vn

Summary

This paper presents a design and pilot fabrication of the EMI (electromagnetic inspection) device to meet the requirements of non-destructive inspection of defects on straight, small diameter, variable drill pipes. The improved feature of this device is to replace the normal Hall sensor with the planar Hall sensor with high sensitivity, temperature and time stability to investigate the magnetic field variation caused by the variation of tube thickness. The test unit for detecting longitudinal defects has a new structure with a magnetic field that is magnetised along the circumference of the tube by an electromagnet. The magnetisation system and the test tube do not need to rotate during the measurement. The EMI equipment is expected to be tested at the Electromechanical Enterprise of Vietsovetro.

Key words: EMI device, MFL method.