ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CHỤP ẢNH BỨC XẠ ĐIỆN TOÁN đánh giá ăn mòn các đường ống

NGUYỄN QUỐC THỦY
Vụ KHCN - Bộ Công Thương

NGUYỄN LÊ SƠN, PHẠM THẾ HÙNG
Chi nhánh Trung tâm NDE, TP.Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Đường ống là cách thức quan trọng, phổ biến nhất để vận chuyển vật liệu lỏng và khí trong nhiều ngành công nghiệp. Trong quá trình vận hành chúng bị hủy hoại do ăn mòn, xuống cấp có thể dẫn đến gây rò rỉ, cháy nổ. Để kiểm tra tình trạng rỉ mòn, ăn mòn cục bộ, đóng cặn, tắc nghẽn các đường ống có bọc bảo ôn, kỹ thuật chụp ảnh bức xạ có những ưu thế so với các kỹ thuật kiểm tra không phá hủy (NDT) khác là các kiểm tra này không cần phải tháo bảo ôn, ảnh thu nhận đánh giá theo vùng kiểm tra nên giảm thiểu bỏ sót các điểm ăn mòn cục bộ…

Trong báo cáo này, 2 kỹ thuật chụp ảnh bức xạ đặc biệt là chụp ảnh bức xạ tiếp tuyến và kỹ thuật đo độ đen đã được khảo sát để đánh giá khả năng, độ chính xác các phép đo thay đổi độ dày và sự hủy hoại trên các mẫu ống có đường kính từ 1 đến 4 inch. Các kết quả cho thấy các kỹ thuật này có thể được sử dụng để phát hiện các điểm bị ăn mòn cục bộ, đánh giá độ sâu của nó cũng như đo bề dày thành ống còn lại mà không cần tháo bảo ôn với độ chính xác sai khác bề dày thực nhỏ hơn ±1mm và nhiều trường hợp có thể đạt đến nhỏ hơn ±0.5mm. Trong báo cáo, tóm tắt 2 kỹ thuật và giải pháp xử lý ảnh chụp bức xạ số hóa để nâng cao độ chính xác trong đánh giá định lượng cũng được trình bày.

I. GIỚI THIỆU

Phương pháp chụp ảnh đã được biết đến và sử dụng rộng rãi để kiểm tra phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu, đặc biệt là khuyết tật các mối hàn. Tuy nhiên một số kỹ thuật chụp ảnh bức xạ đặc biệt như chụp ảnh tiếp tuyến (Tangential radiographic technique - TRT) và đo độ đen (Density measurement technique - DMT) để đánh giá độ dày, mức độ bị ăn mòn, đóng cặn, tắc nghẽn trong đường ống còn ít được biết đến, chưa được quan tâm, khảo sát, ứng dụng.

Trong khuôn khổ đề án "Phát triển ứng dụng bức xạ và đồng vị phóng xạ trong công nghiệp đến năm 2020", một số ứng dụng nổi bật của công nghệ chụp ảnh bức xạ điện toán (Computed Radiography) đã được triển khai nghiên cứu. Trong đó, 2 kỹ thuật chụp ảnh bức xạ đặc biệt - TRT và DMT được tiến hành khảo sát thực nghiệm nhằm đánh giá các khả năng thực tế của mỗi kỹ thuật, đồng thời các giải pháp nâng cao độ chính xác trong đánh giá định lượng, số hóa ảnh chụp bức xạ và phân tích xử lý ảnh trên phần mềm chuyên dụng được trình bày.

II. NGUYÊN LÝ KỸ THUẬT

Chụp ảnh bức xạ là một trong những kỹ thuật kiểm tra NDT dùng để kiểm tra khuyết tật vật liệu. Để kiểm tra bề dày thành ống, mức độ bị ăn mòn, đóng cặn, tắc nghẽn các đường ống, 2 kỹ thuật: chụp ảnh bức xạ tiếp tuyến (TRT) và kỹ thuật đo độ đen ảnh (DMT) được lựa chọn [1, 2]

1. Kỹ thuật chụp ảnh bức xạ tiếp tuyến

Nguyên lý kỹ thuật chụp ảnh bức xạ tiếp tuyến được mô tả trên hình 1. Theo nguyên lý, cường độ bức xạ chiếu chụp qua mẫu sẽ thay đổi tùy thuộc vào các đặc tính vật liệu (biểu thức 1) đến phim tạo ảnh ẩn sau khi tráng rửa sẽ tạo ra ảnh chụp có các độ đen tương ứng với lượng bức xạ đến phim. Phân tích các biến đổi độ đen trên ảnh cho phép giải đoán chất lượng.

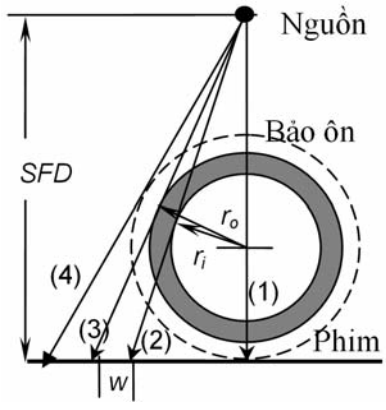
$$I = I_0 B e^{-2(\mu s.xc + \mu s.xs)} \quad (1)$$

Trong đó: I và I_0 là cường độ bức xạ trước và sau mẫu, B là hệ số tích tụ, μ_c, x_c, μ_s, x_s tương ứng là hệ số hấp tụ tuyến tính và bề dày truyền

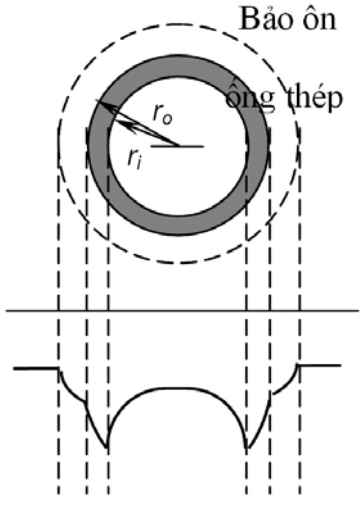
Hình 1. Ống thực tế bị đóng cặn, ăn mòn. [1]

qua vật liệu bảo ôn, ống thép.

Kỹ thuật TRT sử dụng "tia" tiếp tuyến bán kính trong (ID) và bán kính ngoài (OD) để xác định bề dày thành ống. Khi đi từ tia (1) ra tia (2) các tia xuyên qua bề dày tăng dần, tương ứng cường độ bức xạ đến phim giảm dần, và đạt bề dày cực đại tại tiếp tuyến ID (đường 2). Từ đường (2) ra đường (3), bề dày xuyên qua giảm dần và khi vượt qua tiếp tuyến OD (đường 3), cường độ bức xạ sẽ rất lớn do qua lớp bảo ôn thường là vật liệu nhẹ và lớn nhất khi vượt qua đường tiếp tuyến (4) do bức xạ đến phim trực tiếp. Hình 2 mô tả phân bố lượng bức xạ đến phim.



Hình 1: Bố trí hình học chụp.
ro, ri: bán kính ngoài và trong.



Hình 2: Biểu đồ lượng bức xạ đến phim

Độ đen trên phim thay đổi phụ thuộc vào phân bố bề dày. Bằng cách dựng đường quét (profile) độ đen vuông góc với trục (cắt qua thành ống) sẽ xác định được các biên thay đổi độ đen trên ảnh cho phép tính được bề dày ảnh thành trên phim w_f (khác với bề dày thành ống thực tế), dựa vào bố trí hình học một phép tính tỉ lệ đơn giản (biểu thức 2) sẽ tính được bề dày thành ống thực. Nguyên lý này cũng được áp dụng để xác định sự thay đổi bề dày, ước lượng mức độ ăn mòn bằng việc dựng nhiều đường quét độ đen song song.

$$w = w_f \left(\frac{SFD - r_o}{SFD} \right) \quad (2)$$

2. Kỹ thuật đo độ đen ảnh

Kích thước và độ sâu các lỗ mọt hay hố lõm bị ăn mòn cục bộ trong nhiều trường hợp không xác định dễ dàng bằng kỹ thuật TRT, khi đó, kỹ thuật đo độ đen (D) và lập đường chuẩn so sánh độ đen - bề dày (D-w) sẽ được sử dụng hiệu quả cho việc phát hiện và đánh giá độ sâu bị ăn mòn cục bộ.

Đặc trưng của phim công nghiệp đã biết có độ đen ảnh trên phim gần đúng thay đổi theo hàm số mũ với lượng bức xạ đến phim trong dải độ đen 0-3.5 và gần đúng có thể biểu diễn [2] $D \sim e^{-\mu w}$. Đánh giá ăn mòn, thực chất là ước lượng sự thay đổi bề dày bằng việc so sánh độ đen các điểm ảnh. Trong kỹ thuật này một đường chuẩn so sánh độ đen - bề dày được thiết lập từ mẫu bậc cùng vật liệu và có dải bề dày bao phủ 2 lần bề dày thành được ống chụp đồng thời với mẫu ống. Độ đen được đo tại vị trí bị ăn mòn so sánh đối chiếu với đường chuẩn cho phép đánh giá bề dày còn lại hoặc mức độ bị ăn mòn.

3. Tương quan giữa độ đen và độ xám khi số hóa ảnh chụp bức xạ

Ảnh số là sự tập hợp các điểm ảnh (pixel) được chuẩn hóa. Số lượng pixel trong một kích thước ảnh quyết định chất lượng ảnh. Ảnh chụp bức xạ được chuyển thành ảnh số theo thang độ xám *(grey-scale)* 8 bit. Một bit có 2^1 mức xám, 8 bit sẽ có 256 (2^8) mức xám. Trên ảnh số, mỗi pixel có một giá trị độ xám *(grey value)* và giá trị này thể hiện cho mức sáng, tối *(shade)* của ảnh. Giá trị mỗi pixel thay đổi từ đen, tương ứng với cường độ bức xạ xuyên qua yếu nhất, đến trắng, tương ứng với cường độ mạnh nhất. Ảnh 8 bit, giá trị mỗi pixel dao

Hình 3: Hệ thiết bị thí nghiệm CR

động từ 0 (đen) đến 256 (trắng). Quá trình số hóa các ảnh bụp bức xạ sẽ chuyển đổi phân bố độ đen trên phim chụp tương ứng thành phân bố các giá trị độ xám trên ảnh số hóa. Sử dụng các công cụ máy tính xác định độ xám và số lượng pixel đã được chuẩn hóa theo kích thước cho phép đánh giá mức độ và phạm vi ăn mòn.

III. THỰC NGHIỆM

1. Mẫu thí nghiệm

- Mẫu bậc thang mô tả ở hình 4-1. Mẫu bậc ống có 8 bậc, bề dày từ 1.0 đến 8.0mm (hình 4-4)

- Mẫu ống lỗ đáy bằng: được gia công khoan lỗ 2 phía có các số liệu mô tả trong hình 4-2,3

- Mẫu ống thực tế có đường kính ngoài và độ dày khác nhau (độ dày mẫu thực tế được xác định bằng siêu âm đo độ dày - UT): Mẫu ống NO3 (r_o: 51mm, w: 4mm); N10 (r_o: 60.3mm, w: 3.91mm); N11(r_o: 60mm, w: 4mm); N17 (r_o: 60mm, w: 4mm); N15 (r_o: 51mm, w: 4mm); CON (r_o: 33.5mm, w: 3.38mm).

2. Nguồn bức xạ sử dụng chiếu chụp

- Bức xạ tia X (ERESCO65-MF4 300KV), tia gamma (Ir-192 và Cs-137)

- Phim sử dụng : Agfa D4, D7 sử dụng với màn tăng cường Pb.

3. Chuyển đổi thu ảnh bức xạ số hóa

- Các mẫu được thực hiện chụp ảnh bức xạ thông thường, ảnh trên phim chụp bức xạ sau đó được hóa bằng cách:

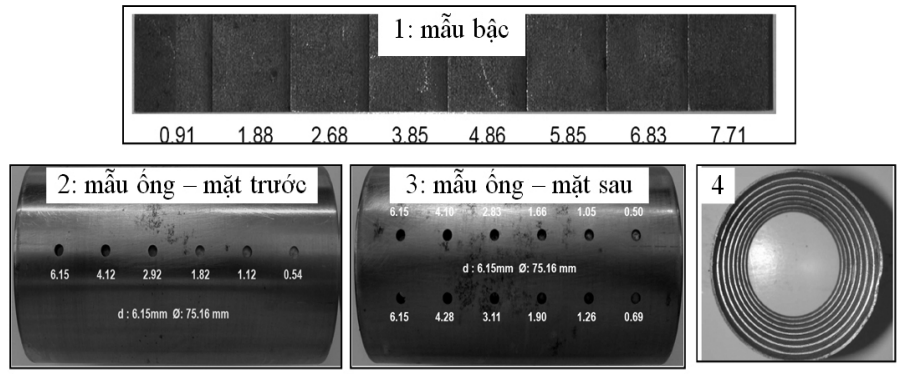
* Chụp lại bằng máy ảnh kỹ thuật số thông thường (SONY, 8 MPX)

* Sử dụng máy SCAN phim thông thường quét thu ảnh số (SCAN).

- Sử dụng công nghệ chụp ảnh bức xạ điện toán (CR) thu ảnh chụp số hóa (hình 3):

* Thiết bị quét thu ảnh số: CRx-25P (GE)

* Màng thu ảnh: IPS, IPU (GE) có độ phân giải chuẩn (white) và phân giải cao (Blue)



Hình 4: Các mẫu gia công thí nghiệm

* Các phần mềm thu và xử lý phân tích ảnh:

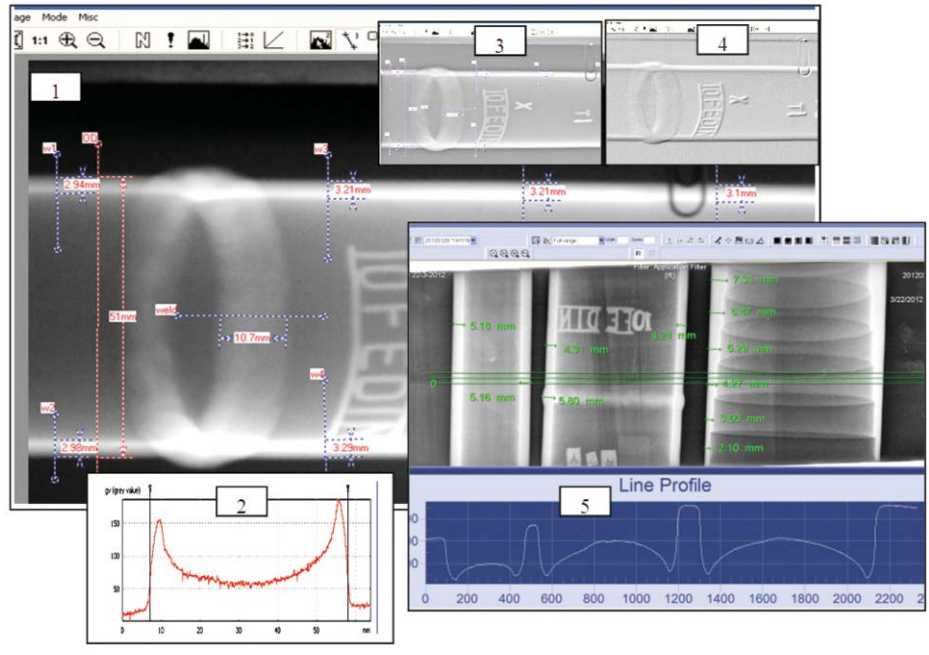
- Isee Demo (IC-demo BAM)
- Rhythm (GE Inspection Technologies).

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Kỹ thuật chụp ảnh bức xạ tiếp tuyến

Từ các ảnh chụp bức xạ phim số hóa, sử dụng phần mềm IC-demo phân tích (hình 5-1,2,3,4) và ảnh chụp CR sử dụng phần mềm Rhythm (GE) phân tích (hình 5.5). Để xác định bề dày thành ống, một đường quét (profile) độ xám cắt ngang qua ống được chọn (hình 5-2). Biểu đồ (profile) thu được có dạng phân bố độ xám giống như phân bố bề dày. Từ phân bố này, xác định mép ngoài và mép trong thành ống, từ đó tính được bề dày trên phim w_f. Kết quả xác định độ dày các mẫu ống có độ dày và đường kính khác nhau được trình bày trong bảng 1. Các kết quả nhận được cho thấy độ chính xác định độ dày < 0.5mm, sai khác giữa độ dày thực tế và độ dày đánh giá chỉ vài zem (1/10mm), sai số tương đối < 10%.

Khi đánh giá độ dày từ các ảnh bức xạ thu được từ phim chụp D7 hoặc D4, cho thấy không có sự phân biệt hay cần lựa chọn chất lượng phim. Sử dụng phim có độ tương phản quá cao khó xác định biên. Ảnh bức xạ đánh giá độ dày không cần độ nhạy



Hình 5: Kết quả mô tả sử dụng IC-demo phân tích ảnh chụp phim mẫu N15 và sử dụng Rhythm (GE) phân tích ảnh chụp CR mẫu bậc ống 4-4.

Bảng 1: Các số liệu xác định độ dày ống từ các ảnh chụp số hóa

TT	Mẫu	Độ dày (UT) (mm)	Độ dày đánh giá (mm)	Sai số (mm/ %)	Ghi chú
1	N03(r_o: 62.3mm)	4.10(4.22-4.40)	4.01(3.98-4.08)	0.09/2.20%	SONY, Ir-192
2	N10(r_o: 61.5mm)	4.30(4.20-4.35)	4.13(4.01-4.60)	0.17/3.95%	SONY, Ir-192
3	N11(r_o: 63.2mm)	4.20(4.26-4.38)	4.15(4.11-4.34)	0.05/1.19%	SONY, Ir-192
4	N17(r_o: 60.5mm)	4.30(4.20-4.38)	4.60(4.36-4.82)	0.30/6.98%	SONY, Ir-192
5	N15(r_o: 51.0mm)	3.20(3.18-3.40)	3.21(2.94-3.29)	0.01/0.31%	SONY, Ir-192
6	Hu(r_o: 51.0mm)	3.20	3.19(2.97-4.45)	0.01/0.31%	SCAN, tia X
7	M1(r_o: 51.0mm)	4.50	4.44(4.39-4.71)	0.06/1.33%	SONY, tia X
8	M2(r_o: 51.0mm)	4.50	4.37(4.18-4.55)	0.13/2.89%	SONY, tia X
9	CO(r_o: 33.5mm)	3.38(3.20-3.40)	3.40(3.24-3.75)	0.02/0.59%	SONY, Cs-137
10	Mẫu bậc ống	2, 3, 4, 5, 6, 7	2.1; 3.0; 4.27; 5.29; 6.47; 7.31	0.47/7.8%	CR, Ir-192 Phân tích tự động
11	Ống (r_o: 38.0mm)	5.0	5.18	0.18/3.6%	CR, Ir-192 Phân tích tự động
12	N10(r_o: 61.5mm)	4.30(4.20-4.35)	4,24(4.24-4.31)	0.06/1.4%	CR, Ir-192 Phân tích tự động

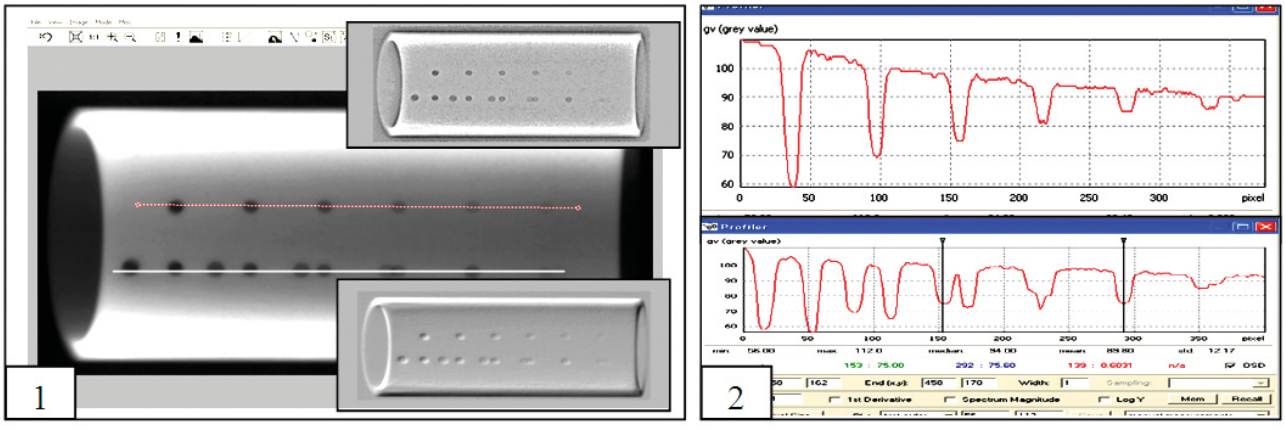
cao, khả năng đánh giá chính xác độ dày không liên quan đến IQI do đó ảnh chụp không nhất thiết phải đạt yêu cầu chất lượng theo tiêu chuẩn. Ảnh chụp bằng bức xạ tia X, năng lượng thấp có thể xảy ra hiện tượng "cháy" mép khó phân định biên xác định bề dày. Các bức xạ gamma có năng lượng cao hơn (Ir-192 và Cs-137) cho ảnh đánh giá dễ dàng hơn. Để xác định bề dày, nên lựa chọn năng lượng bức xạ "cứng" hơn tiêu chuẩn quy định.

Bố trí hình học chiếu chụp có ảnh hưởng đến độ chính xác, đặc biệt khi khoảng cách nguồn phim (SFD) nhỏ hơn quy định của tiêu chuẩn do ảnh hưởng đáng kể của độ nhòe hình học và méo ảnh. Với các ống có đường kính < 4inch, SFD nên lựa chọn > 7 lần đường kính ngoài. *(xem bảng 1)*

2. Kỹ thuật đo độ đen

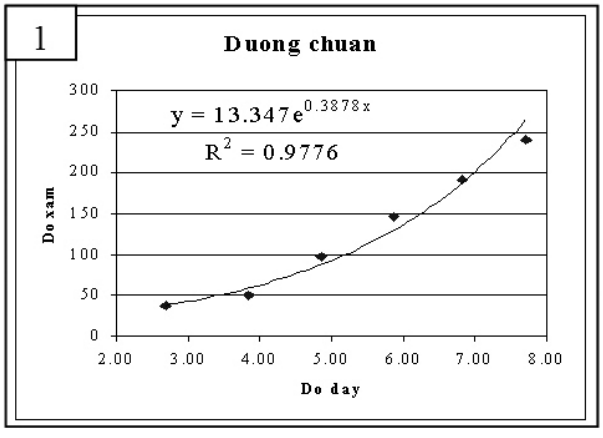
Từ ảnh chụp bức xạ tia X mẫu gia công (hình 3) được số hóa bằng thiết bị Scan phim hoặc máy chụp ảnh kỹ thuật số SONY, sử dụng phần mềm IC-demo xác định các mức xám tương ứng với các độ dày (hình 6) bằng các profile dọc, sử dụng EXCEL lập đường chuẩn đánh giá độ dày. Kết quả thu được trình bày trong hình 6, 7.

Các kết quả nhận được cho thấy sai khác giữa độ dày thực tế và độ dày đánh giá tối đa <1mm, độ chính xác tốt nhất có thể đạt đến < 0.5mm. Trong kỹ thuật này cũng nhận được các quả tương đồng với những nhận xét về vấn đề năng lượng bức xạ chụp, lựa chọn phim, bố trí hình học chiếu như của kỹ thuật tiếp tuyến. Trong kỹ thuật đo độ đen cần sử dụng mẫu bậc lập chuẩn, do



Hình 6: Kết quả mô tả sử dụng IC-demo phân tích ảnh chụp mẫu ống 4-2, 4-3

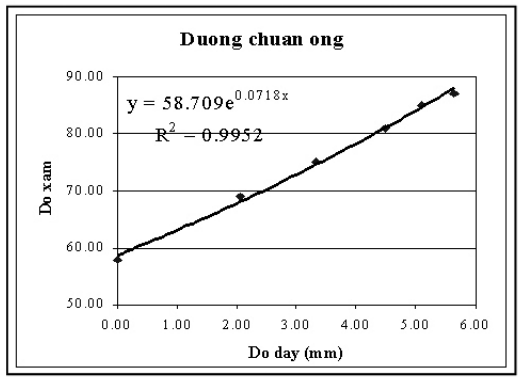
1



2

	Độ dày bậc (mm)	Độ dày xác định (mm)	Sai số (mm/%)
1	7.71	7.43	0.28/3.64
2	6.83	6.83	0.00/0.00
3	5.85	6.17	0.32/5.45
4	4.86	5.09	0.23/4.69
5	3.85	3.56	0.29/7.64
6	2.68	2.89	0.21/7.98

Hình 7: Kết quả lập đường chuẩn đánh giá độ dày mẫu bậc



Ghi chú:

- S - lỗ phía sau (xa nguồn bức xạ)
- T - Lỗ phía trước (gần nguồn bức xạ)
- SCAN - Số hóa bằng scan phim chụp
- SONY- Số hóa bằng máy chụp ảnh.

	Độ sâu lỗ (mm)	Độ sâu xác định (mm)	Sai số (mm)
1	6.15	6.81 (T) SCAN	0.66
	6.15	6.32 (S) SCAN	0.17
	6.15	7.02 (SONY)	0.87
2	4.12	4.73 (T) SCAN	0.61
	4.28	3.90 (S) SCAN	0.38
	4.12	4.26 (SONY)	0.14
3	2.92	2.74 (T) SCAN	0.18
	3.11	3.12 (S) SCAN	0.01
	2.92	2.84 (SONY)	0.08
4	1.82	1.50 (T) SCAN	0.32
	1.90	1.84 (S) SCAN	0.06
	1.82	2.05 (SONY)	0.23
5	1.26+1.12	2.74 (S+T) SCAN	0.36
	1.12	1.71 (SONY)	0.59
6	0.54	0.67 (T) SCAN	0.13
	0.69	0.83 (S) SCAN	0.14
	0.54	1.36 (SONY)	0.82

Hình 8: Kết quả lập đường chuẩn đánh giá độ dày mẫu ống

đặc trưng phim công nghiệp một ảnh chụp thu được chỉ bao một dải độ đen hạn chế nên cần phải lựa chọn mẫu có các bậc có độ dày thay đổi ít trong phạm vi tối đa 2 lần bề dày mẫu cần đánh giá độ dày việc. Lựa chọn năng lượng bức xạ cao hơn sẽ làm giảm độ tương phản giúp cải thiện dải đo. Thực tế tiến hành thí nghiệm cho thấy trong kỹ thuật đo độ đen, phương pháp chuyển đổi ảnh số có ảnh hưởng đến kết quả: khả năng số hóa độ đen ảnh chụp bức xạ bằng các máy chụp ảnh số rất hạn chế, độ phân dải kém nên việc lập chuẩn sẽ khó khăn (chỉ phân biệt được từ 2-4 bậc). Thực hiện số hóa bằng máy scan phim, độ phân dải tốt hơn nhưng cũng chỉ hạn chế ở phạm vi độ đen tối đa 3.0-3.5 OD. Vị trí đặt mẫu bậc lập chuẩn có ảnh hưởng lớn độ chính xác đo. Đặt lân cận vùng đánh giá là cần thiết để nhận kết quả chính xác. Vật liệu bảo ôn có độ suy giảm bức xạ lớn và không đồng nhất sẽ ảnh hưởng đến kết quả đo.

Qua các thực nghiệm áp dụng kỹ thuật đo độ đen (DMT) đánh giá độ dày có thể nhận thấy nói chung độ chính xác phụ thuộc rất nhiều tham số, khó khăn phức tạp khi áp dụng thực tế, có độ chính xác thấp hơn kỹ thuật chụp ảnh tiếp tuyến (TRT), sai số lớn hơn ở nhưng nơi có độ sâu lỗ (ăn mòn) lớn và nhỏ, vị trí lỗ (gần phía nguồn hoặc lệch với tâm chiếu) ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác.

Để đánh giá độ sâu ăn mòn cục bộ (lỗ, điểm), kỹ thuật DMT chứng tỏ hiệu quả hơn kỹ thuật TRT, tuy nhiên phải thực hiện theo một quy trình nghiêm ngặt để có được độ chính xác cao.

Hình 6: Kết quả mô tả sử dụng IC-demo phân tích ảnh chụp mẫu ống 4-2, 4-3

Hình 7: Kết quả lập đường chuẩn đánh giá độ dày mẫu bậc Hình 8: Kết quả lập đường chuẩn đánh giá độ dày mẫu ống

V. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thực nghiệm nghiên cứu cho thấy việc phân tích ảnh chụp bức xạ được số hóa bằng các phần mềm chuyên dụng là một công cụ hiệu quả giúp cải thiện độ chính xác xác định bề dày thành ống và ước lượng ăn mòn. Công nghệ chụp ảnh bức xạ điện toán (CR) có ưu điểm nổi bật thu ảnh không sử dụng phim, sử dụng liều bức xạ chiếu chụp thấp hơn, không cần tráng rửa ảnh, không thải hóa chất ra môi trường … tuy nhiên cần chi phí đầu tư ban đầu lớn. Giải pháp số hóa các phim chụp bức xạ bằng các công cụ sẵn có như chụp lại phim bức xạ bằng máy ảnh số thông thường hay scan lại phim chụp bức xạ là cách thức có thể sử dụng để nâng cao độ chính xác mà không cần chi phí đầu tư lớn. Các kết quả thu được đã chứng tỏ khả năng thực tế của phương pháp chụp ảnh bức xạ trong việc định lượng bề dày thành ống, định tính và định lượng sự ăn mòn cục bộ. ❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. IAEA-TECDOC-1445, "Development of protocols for corrosion and deposits evaluation in pipes by radiography", International Atomic Energy Agency, April 2005.

2. Sung Sik Lee, Byung Gyu Jang, Young H. Kim, Seok-Kyun Park, Ook Choi, "Thickness evaluation of pipes using density profile on radiographs", APCNDT 2001 Publication, Asia Pacific Confernce on NDT - 2001- Brisbane (Australia).

3. BURKLE, W. S., "Application of the tangential radiographic technique for evaluating pipe system erosion/corrosion," Material Evaluation. Vol. 47, ASNT, (1989) 1184–1188.

4. U. Zscherpel, C. Bellon, R. Nimtz, "Wall Thickness Estimation from Digitized Radiographs", proceedings of the 7th ECNDT, Copenhagen, 1998, pp 2819 -2825

5. P. Willems, B. Vaessen, W. Hueck, U. Ewert, U. Zscherpel "Applicability of CR for corrosion and Wall Thickness Measurements", proceedings of the 7th ECNDT, Copenhagen, 1998.