

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CHIỀU DÀY MÀNG SƠN KHÔ ĐẾN TÍNH NĂNG CHỐNG ẼN MÒN KẾT CẤU THÉP CỦA HỆ SƠN EPOXY GIÀU KẼM - POLYURETHANE

KS. PHAN VĂN CHƯƠNG

Viện KHCN Xây dựng

GS.TSKH. NGUYỄN MINH TUYẾN

Đại học Xây dựng Hà Nội

Tóm tắt: *Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu ảnh hưởng chiều dày màng sơn khô đến tính năng chống ẻn mòn kết cấu thép của hệ sơn epoxy giàu kẽm - polyurethane theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm.*

1. Đặt vấn đề

Ẽn mòn kết cấu thép là hiện tượng phổ biến và là nguyên nhân chủ yếu gây hư hỏng kết cấu và làm giảm đáng kể tuổi thọ các công trình xây dựng ở vùng biển.

Tình trạng ẻn mòn và hư hỏng các công trình thép là nghiêm trọng và ở mức báo động. Tốc độ ẻn mòn làm hư hỏng công trình diễn ra khá nhanh. Một trong những biện pháp chống ẻn mòn hiệu quả là sơn phủ. Các kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng chiều dày màng sơn có ảnh hưởng quan trọng đến tính năng chống ẻn mòn của hệ sơn. Mỗi hệ sơn có một chiều dày tối ưu cần nghiên cứu để đảm bảo khả năng chống ẻn mòn cho kết cấu thép. Trong bài báo này, nghiên cứu ảnh hưởng chiều dày màng sơn khô của hệ sơn epoxy giàu kẽm - polyurethane với hàm mục tiêu là độ bền nhiệt ẩm, độ bền mù muối, độ thấm ion clo và khả năng chống ẻn mòn.

2. Phương pháp nghiên cứu và thử nghiệm

2.1 Phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Phương trình hồi quy hàm mục tiêu y phụ thuộc vào các biến mã có dạng:

$$y = b_1 + b_2X_1 + b_3X_2 + b_4X_3 + b_5X_1^2 + b_6X_2^2 + b_7X_3^2 + b_8X_1X_2 + b_9X_1X_3 + b_{10}X_2X_3 + b_{11}X_1X_2X_3$$

Trong đó: y – Hàm mục tiêu;

b_j – Các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm, $j = 1..11$;

X_1, X_2, X_3 – các biến mã tương ứng của các nhân tố ảnh hưởng.

Trong đó X_1 là lớp sơn lót, X_2 là lớp sơn trung gian, X_3 là lớp sơn phủ.

Số thí nghiệm: $N = 2^k + 2k + m$.

K là số nhân tố quy hoạch: $k = 3$.

m là số thí nghiệm lặp tại tâm kế hoạch: $m = 5$.

Số lượng thí nghiệm là $N = 2^3 + 2.3 + 5 = 19$.

Điểm nằm trên trục toạ độ $\alpha = \sqrt{K} = \sqrt{3} = 1,73$.

Bậc tự do lặp $f_2 = m - 1 = 5 - 1 = 4$.

2.2 Các tiêu chuẩn thử nghiệm

- Độ bền nhiệt ẩm theo tiêu chuẩn TCXDVN 341 : 2005;
- Độ bền mù muối theo tiêu chuẩn ISO 7253;

- Độ thấm ion clo theo tiêu chuẩn ASTM A943;
- Khả năng chống ăn mòn của hệ sơn ISO 14993.

2.3 Khoảng quy hoạch thực nghiệm

Tiêu chuẩn ISO 12944 đề xuất rất nhiều hệ sơn để cho nhà thiết kế tham khảo, lựa chọn ứng với các tiêu chí khác nhau cho trước, đề tài chọn sơn Atex của Hàn Quốc để nghiên cứu tính năng chống ăn mòn cho kết cấu thép trong điều kiện khí quyển biển Việt Nam. Khoảng biến thiên của các biến trong quy hoạch thực nghiệm như sau:

- Lớp sơn lót epoxy giàu kẽm chiều dày L = 120 -160(μm), thay thế tại tâm là L⁰ = 140 μm, ΔL = 11,76 μm;
- Lớp sơn trung gian epoxy chiều dày T =100 – 140(μm), thay thế tại tâm là T⁰ = 120 μm, ΔT = 11,76 μm;
- Lớp sơn phủ polyurethane chiều dày P = 80 -100(μm), thay thế tại tâm là P = 90 μm, ΔP = 5,88 μm. Công thức chuyển từ biến thực sang biến mã:

$$X_1 = \frac{L - L^0}{\Delta L} = \frac{L - 140}{11,76}, X_2 = \frac{T - T^0}{\Delta T} = \frac{T - 120}{11,76}, X_3 = \frac{P - P^0}{\Delta P} = \frac{P - 90}{5,88} \quad (1)$$

3. Các kết quả nghiên cứu

Bảng 1. Ma trận và kết quả quy hoạch thực nghiệm

STT	Biến mã			Biến thực			NA (nhiệt ấm), giờ	MM (mù muối), giờ	[Cl ⁻], 10 ⁻³ mol/l	ĂM (Ăn mòn), chu kỳ
	X ₁	X ₂	X ₃	L	T	P				
1	1	1	1	152	132	96	835	940	0,0046	75
2	-1	1	1	128	132	96	718	734	0,0066	67
3	1	-1	1	152	108	96	791	863	0,0078	72
4	-1	-1	1	128	108	96	762	812	0,0090	70
5	1	1	-1	152	132	84	718	734	0,0042	67
6	-1	1	-1	128	132	84	630	580	0,0069	62
7	1	-1	-1	152	108	84	718	734	0,0055	67
8	-1	-1	-1	128	108	84	630	580	0,0086	62
9	0	0	0	140	120	90	776	837	0,0074	71
10	√3	0	0	160	120	90	791	863	0,0043	72
11	-√3	0	0	120	120	90	659	632	0,0087	64
12	0	√3	0	140	140	90	806	889	0,0040	73
13	0	-√3	0	140	100	90	732	760	0,0077	68
14	0	0	√3	140	120	100	835	940	0,0059	75
15	0	0	-√3	140	120	80	630	580	0,0063	62
16	0	0	0	140	120	90	791	863	0,0079	72
17	0	0	0	140	120	90	776	837	0,0078	71
18	0	0	0	140	120	90	776	837	0,0075	71
19	0	0	0	140	120	90	791	863	0,0077	72

Trong đề tài sử dụng phần mềm Maple10.0 để tìm các hệ số, sau khi loại bỏ các hệ số vô nghĩa và kiểm tra tính tương hợp [1] ta được các phương trình hồi quy .

3.1 Ảnh hưởng chiều dày màng sơn đến độ bền nhiệt ẩm

Phương trình hồi quy độ bền nhiệt ẩm:

$$NA = 782,16 + 39,35X_1 + 9,06X_2 + 54,67X_3 - 22,27X_1^2 - 7,75X_2^2 - 19,77X_3^2 + 11X_1X_2 + 11X_1X_2X_3 \quad (2)$$

Để vẽ bề mặt biểu hiện và đường đồng mức, ta cố định 1 biến. Trong khoảng biến mã từ -1 đến +1, phương trình (2) có nhiều điểm cực trị. Qua khảo sát, các tác giả thấy rằng tại $X_2 = -1$ ($T = 108 \mu\text{m}$) phương trình NA đạt cực đại.

$$NA = 765,35 + 28,35X_1 + 54,67X_3 - 22,27X_1^2 - 19,77X_3^2 - 11X_1X_3 \quad (3)$$

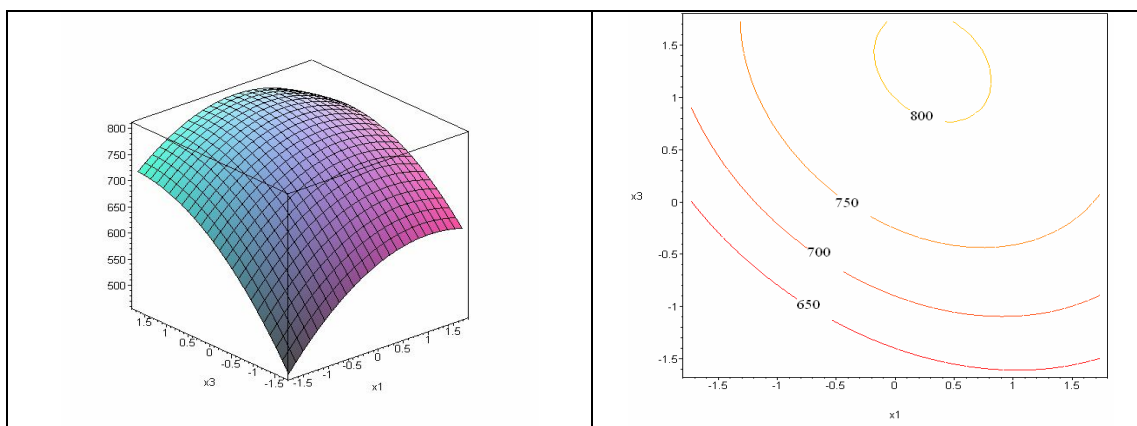
Tìm điểm cực đại:

$$NA'(X_1) = 28,35 - 44,54X_1 - 11X_3 = 0$$

$$NA'(X_3) = 54,67 - 39,54X_3 - 11X_1 = 0$$

Giải hệ trên ta được: $X_1 = 0,32$; $X_3 = 1,29$, $\Rightarrow NA_{\max} = 805,22$ (giờ)

Thay vào các công thức (1) ta được chiều dày các lớp sơn: $L = 143,8 \mu\text{m}$; $T = 108 \mu\text{m}$; $P = 97,6 \mu\text{m}$.



Hình 1. Bề mặt biểu hiện và đường đồng mức của độ bền nhiệt ẩm theo biến mã ($X_1 = L$, $X_2 = -1$, $X_3 = P$)

Nhận xét: Khi cố định chiều dày lớp sơn trung gian trong khoảng 100 – 140(μm), trên bề mặt biểu hiện ta thấy: tăng chiều dày các lớp sơn lót trong khoảng 120 - 160(μm), tăng sơn phủ trong khoảng 80 - 100(μm) thì độ bền nhiệt ẩm hệ sơn tăng. Ảnh hưởng đến tăng độ bền nhiệt ẩm nhiều nhất là sơn phủ polyurethane. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả nghiên cứu [2] khi cho rằng polyurethane có khả năng chống ăn mòn rất cao trong nhiều môi trường. Độ bền nhiệt ẩm đạt cực đại 805,22 (giờ) khi chiều dày $L = 143,8 \mu\text{m}$, $T = 108 \mu\text{m}$ và $P = 97,6 \mu\text{m}$.

3.2 Ảnh hưởng chiều dày màng sơn đến độ bền mù muối

Phương trình hồi quy độ bền mù muối:

$$MM = 847,7 + 68,97X_1 + 15,72X_2 + 96,08X_3 - 39,15X_1^2 - 13,74X_2^2 - 34,97X_3^2 + 19,37X_1X_2 + 19,375X_1X_2X_3 \quad (4)$$

Quá trình tìm cực trị cũng như phương trình nhiệt ẩm, khi chiều dày lớp phủ $P = 84 \mu\text{m}$ ($X_3 = -1$) thì phương trình (4) đạt giá trị cực đại.

$$MM = 716,65 + 68,97X_1 + 15,72X_2 - 39,15X_1^2 - 13,74X_2^2 - 0,005X_1X_2 \quad (5)$$

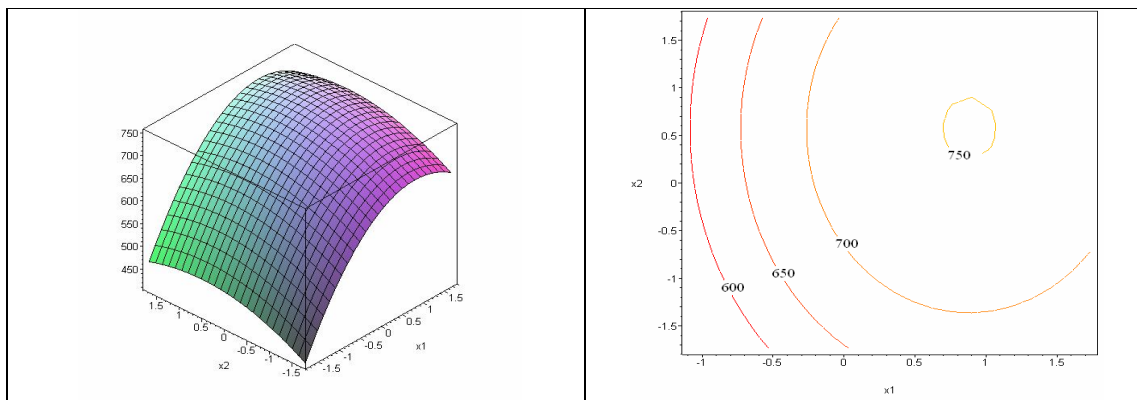
Tìm điểm cực đại:

$$MM'(X_1) = 68,97 - 78,3X_1 - 0,005X_2 = 0$$

$$MM'(X_2) = 15,72 - 27,48X_2 - 0,005X_1 = 0$$

Giải hệ trên ta được: $X_1 = 0,88$; $X_2 = 0,57 \Rightarrow MM_{\max} = 755,4$ (giờ)

Thay vào các công thức (1) ta được chiều dày các lớp sơn: $L= 150,3 \mu\text{m}$; $T=126,7 \mu\text{m}$; $P= 84 \mu\text{m}$.



Hình 2. Bề mặt biểu hiện và đường đồng mức của độ bền mù muối theo biến mã ($X_1=L, X_2=T, X_3=-1$)

Nhận xét: Khi cố định chiều dày lớp sơn phủ trong khoảng $80 - 100(\mu\text{m})$, trên bề mặt biểu hiện ta thấy: tăng chiều dày các lớp sơn lót trong khoảng $120 - 160(\mu\text{m})$, tăng sơn trung gian trong khoảng $100 - 140(\mu\text{m})$ thì độ bền mù muối hệ sơn tăng. Ảnh hưởng đến tăng độ bền mù muối nhiều nhất là sơn lót epoxy giàu kẽm. Độ bền mù muối đạt cực đại $755,4$ (giờ) khi chiều dày $L = 150,3 \mu\text{m}$, $T = 126,7 \mu\text{m}$ và $P = 84 \mu\text{m}$.

3.3 Ảnh hưởng chiều dày màng sơn đến độ thấm ion clo

Phương trình hồi quy độ thấm ion clo:

$$[CL] = 0,0077 - 0,0012X_1 - 0,0011X_2 - 0,0003X_1^2 - 0,0005X_2^2 - 0,00043X_3^2 + 0,000325 X_1X_3 - 0,000325 X_2X_3 \quad (6)$$

Tương tự như độ bền nhiệt ẩm và độ bền mù muối, giá trị cực đại đạt được khi chiều dày $L = 128 \mu\text{m}$ ($X_1 = -1$):

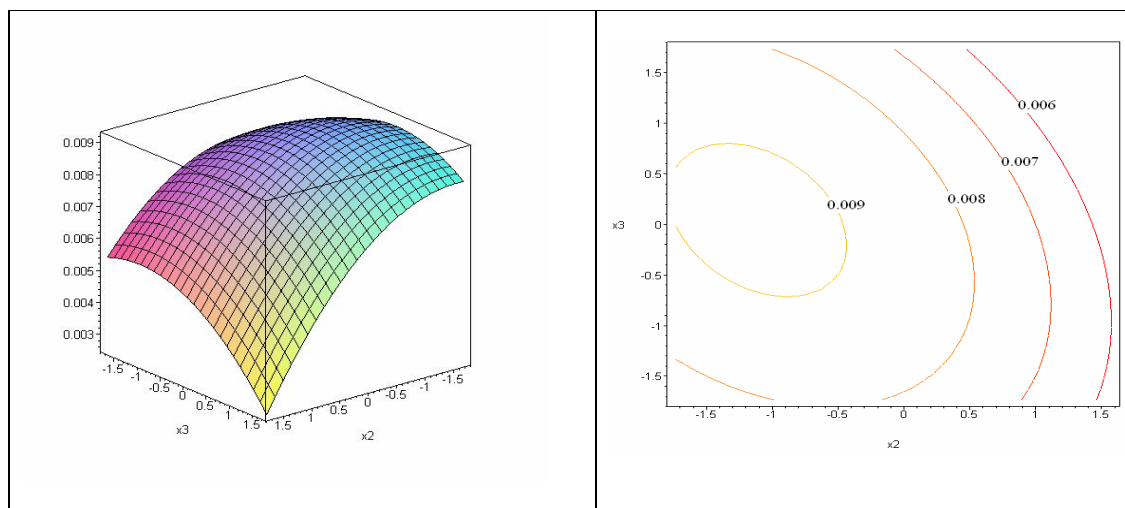
$$[CL] = 0,0086 - 0,0011X_2 - 0,0005X_2^2 - 0,00043X_3^2 - 0,000325X_3 - 0,000325 X_2X_3 \quad (7)$$

$$[CL]'(X_2) = -0,0011 - 0,001X_2 - 0,000325X_3 = 0$$

$$[CL]'(X_3) = -0,000325 - 0,00086X_3 - 0,000325X_2 = 0$$

Giải hệ trên ta được: $X_2 = -1,1$; $X_3 = 0,04 \Rightarrow [CL]_{\text{max}} = 0,00919 (10^{-3} \text{ mol/l})$.

Thay vào các công thức (1) ta được chiều dày các lớp sơn: $L = 128 \mu\text{m}$; $T = 107,0 \mu\text{m}$; $P = 90,2 \mu\text{m}$.



Hình 3. Bề mặt biểu hiện và đường đồng mức của độ thấm ion clo theo biến mã ($X_1 = -1, X_2 = T, X_3 = P$)

Nhận xét: Khi cố định chiều dày lớp sơn lót trong khoảng $120 - 160(\mu\text{m})$, trên bề mặt biểu hiện ta thấy: giảm chiều dày các lớp sơn trung gian trong khoảng $100 - 140(\mu\text{m})$, giảm sơn phủ trong khoảng 80

- 100(μm) thì độ thấm ion clo hệ sơn tăng. Tính thấm bằng khuếch tán rất đặc trưng đối với các vật liệu polymer. Khi màng sơn lớp phủ và trung gian đủ dày, quá trình khuếch tán ion clo có đặc tính tắt dần, vì thế tác dụng xâm thực của ion clo bị giảm xuống khi đến lớp sơn trung gian epoxy. Độ thấm ion clo qua màng sơn đạt cực đại 0,00919 (10⁻³ mol/l) khi chiều dày L = 128 μm, T = 107,0 μm và P = 90,2 μm.

3.4 Ảnh hưởng chiều dày màng sơn đến khả năng chống ăn mòn

Phương trình hồi quy khả năng chống ăn mòn của hệ sơn:

$$AM = 71,4 + 2,42X_1 + 0,61X_2 + 3,5X_3 - 1,4X_1^2 - 0,55X_2^2 - 1,2X_3^2 + 0,75X_1X_2 + 0,75X_1X_2X_3 \quad (8)$$

Khả năng chống ăn mòn đạt cực đại tại X₁=0:

$$AM = 71,4 + 0,61X_2 + 3,5X_3 - 0,55X_2^2 - 1,2X_3^2 \quad (9)$$

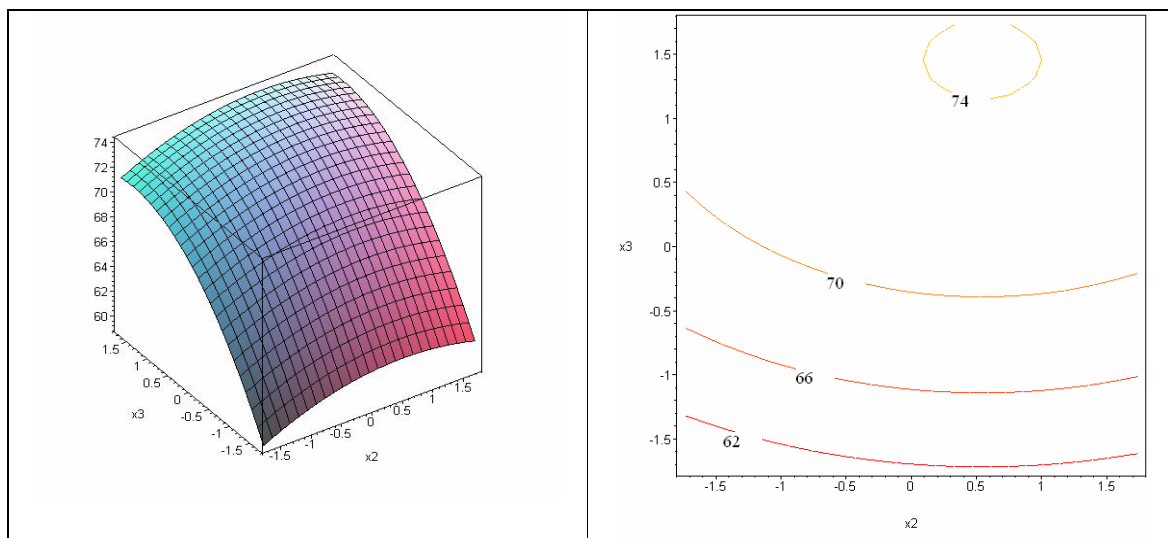
Tìm điểm cực đại:

$$AM'(X_2) = 0,61 - 1,1X_2 = 0$$

$$AM'(X_3) = 3,5 - 2,4X_3 = 0$$

Giải hệ trên ta được: X₂ = 0,55; X₃ = 1,45 => AM_{max} = 74,12 (chu kỳ).

Thay vào các công thức (1) ta được chiều dày các lớp sơn: L = 140μm; T = 126,5μm; P = 98,5μm.



Hình 4. Bề mặt biểu hiện và đường đồng mức khả năng chống ăn mòn theo biến mã (X₁ = 0, X₂ = T, X₃ = P)

Nhận xét: Khi cố định chiều dày lớp sơn lót, nếu tăng chiều dày lớp sơn trung gian T = 100 - 140 μm, lớp sơn phủ P = 80 - 100 μm thì khả năng chống ăn mòn của hệ sơn tăng. Ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng này là chiều dày lớp sơn phủ. Khi chiều dày L = 140 μm (X₁ = 0), ta có điểm cực trị về khả năng chống ăn mòn của hệ sơn AM_{max} = 74,12 (chu kỳ), chiều dày các lớp sơn: L = 140 μm; T = 113,5μm; P = 81,5μm.

Bảng 2. Tổng hợp kết quả chiều dày màng sơn tối ưu

STT	Chiều dày			
	Chỉ tiêu NC	Lớp lót, L (μm)	Lớp trung gian, T(μm)	Lớp phủ, P(μm)
1	Độ bền nhiệt ẩm	143,8	108	97,6
2	Độ bền mù muối	150,3	126,7	84
3	Độ thấm ion clo	128	107,0	90,2
4	Khả năng chống ăn mòn	140	126,5	98,5
5	Thoả mãn (1, 2, 3, 4)	128-150	107-127	84-99

4. Kết luận

Nghiên cứu chiều dày màng sơn trong khoảng quy hoạch $L = 120-160(\mu\text{m})$, $T = 100 - 140(\mu\text{m})$ và $P = 80 - 100(\mu\text{m})$ rút ra một số kết luận sau:

- Ảnh hưởng của chiều dày màng sơn khô đến một số tính năng chống ăn mòn của hệ sơn epoxy giàu kẽm - polyurethane là rõ rệt. Cụ thể, khi tăng chiều dày màng sơn của các lớp sơn lót, sơn trung gian, sơn phủ thì độ bền nhiệt ẩm, độ bền nóng lạnh của màng sơn đều tăng. Khi tăng chiều dày màng sơn, khả năng chống thấm ion clo của màng sơn tăng lên (lượng ion clo thấm qua màng sơn giảm đi);

- Với mỗi chỉ tiêu nghiên cứu, ta đều tìm được các điểm cực trị. Tại một số điểm biên ta tìm được các giá trị cực đại mà tại đó chiều dày của các lớp màng sơn là lớn nhất đối với độ bền nhiệt ẩm, độ bền nóng lạnh và nhỏ nhất đối với độ thấm ion clo;

- Từ bảng 2, có thể dùng hệ sơn epoxy giàu kẽm - polyurethane chống ăn mòn kết cấu thép tốt nhất với chiều dày các lớp sơn như sau: Lớp lót 128 - 150 μm , lớp trung gian 107 - 127 μm và lớp phủ 84 - 99 μm .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. NGUYỄN MINH TUYẾN, PHẠM VĂN THÊM. "Kỹ thuật hệ thống công nghệ hoá học", NXB khoa học - kỹ thuật, Hà Nội, 1997.
2. NGUYỄN MẠNH HỒNG và ctv. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu ứng dụng sơn bảo vệ kết cấu thép vùng ven biển Việt Nam, Hà Nội, 2007.