

# ỨC CHẾ ẪN MÒN THÉP ĐƯỜNG ỐNG TRONG DUNG DỊCH NƯỚC TRUNG TÍNH VÀ KIỀM Ở CÁC NHIỆT ĐỘ KHÁC NHAU BỞI NATRI MOLIPDAT

Đến Tòa soạn 24-10-2006

VŨ ĐÌNH HUY VÀ TRẦN THỊ LAN ANH

Khoa Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh

## SUMMARY

*Effect of sodium molybdate on the pipeline steel corrosion inhibition in the aerated alkali (pH 11) and neutral (pH 7) water solutions at temperatures from 30°C to 140°C has been investigated by mass loss, potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy methods. Sodium molybdate was added in concentrations: 200 ppm, 350 ppm and 500 ppm. The steel samples were evaluated mass loss measurements after 4, 8, 12, 24, 48, 72 and 96 hours of immersion at 30°C; after 4 hours at 60°C, 100°C and 140°C. The experimental results showed that sodium molybdate is effective for inhibition against steel corrosion by the formation of MoO<sub>2</sub> film in neutral solutions-containing oxygen at the different temperatures. On the contrary, sodium molybdate is unprofitable for steel corrosion inhibition in the alkali solutions at the different temperatures.*

## I - MỞ ĐẦU

Natri molipdat Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> đã được sử dụng để ức chế sự ăn mòn thép trên tàu chiến của Hải quân Canada [1 - 3]; dùng làm phụ gia pha chế sơn chống ăn mòn trong ngành hàng không Mỹ [4]; bảo vệ thép khỏi ăn mòn trong dung dịch nước có độ pH gần trung tính (pH từ 5,5 đến 8,5) [5], trong hệ thống nước tuần hoàn trao đổi nhiệt [6] và trong nước của tháp làm mát [7].

Hầu hết các công trình nghiên cứu đã công bố về sự ức chế ăn mòn thép bởi natri molipdat đều chỉ thực hiện trong khoảng pH trung tính ở nhiệt độ phòng [5, 8 - 11]. Chúng tôi chưa tìm thấy công trình nghiên cứu nào khảo sát khả năng ức chế ăn mòn thép bởi natri molipdat trong môi trường kiềm đặc và ở các nhiệt độ cao.

Vì vậy, để góp phần bổ sung vào khoảng trống này, chúng tôi đã khảo sát khả năng ức

chế ăn mòn thép của natri molipdat trong dung dịch nước trung tính (pH 7) và kiềm đặc (pH 11) trên khoảng nhiệt độ rộng, từ 30°C đến 140°C; nhằm mục đích sử dụng natri molipdat làm chất ức chế ăn mòn trong chất lỏng "packer fluid", để bảo vệ vùng không gian vành xuyên của các giếng khoan dầu khí khỏi bị ăn mòn điện hóa học [12].

## II - PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 1. Đối tượng nghiên cứu

Thép cacbon P110 cắt từ ống khai thác dầu khí dày 6,88 mm. Thành phần hóa học định danh của thép P110 (% khối lượng) là: C - 0,24; Mn - 1,32; Si - 0,16; P - 0,022 và S - 0,013. Giới hạn chảy của thép P110: Min = 110.000 psi; Max = 140.000 psi. Độ bền kéo căng: Min = 125.000 psi.

## 2. Chuẩn bị dung dịch thí nghiệm

Dung môi là nước ngọt. Thành phần hóa học của nước ngọt ghi trong bảng 1.

Bảng 1: Thành phần hóa học của nước ngọt

Phèn sắt	Không có		
Độ pH	6,95 tại 23,9°C		
Khối lượng riêng	0,998 g/cm <sup>3</sup>		
Hàm lượng các ion	mg/l	ml đương lượng	% đương lượng
Cl <sup>-</sup>	145	4,08	35,86
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	22	0,47	4,11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	70	1,14	10,03
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0
OH <sup>-</sup>	0	0	0
Ca <sup>2+</sup>	13	0,65	5,72
Mg <sup>2+</sup>	11	0,94	8,27
Sắt tổng	0,2	0,007	0,06
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	98	4,09	35,95
Độ hóa khoáng chung	0,359 g/l		

Dung dịch nước pH 11 được pha chế theo Tiêu chuẩn Việt Nam [13]. Dung dịch thí nghiệm được pha chế từ các loại hóa chất tinh khiết.

Các thí nghiệm thực hiện trong dung dịch nước pH 7 và pH 11 với nồng độ chất ức chế ăn mòn natri molipdat là: 200, 350 và 500 ppm (theo khối lượng).

### 3. Xác định tốc độ ăn mòn thép theo phương pháp khối lượng

Mỗi thí nghiệm sử dụng 2 mẫu thép, kích thước mẫu: 50 x 20 x 3 mm được khoan 2 lỗ, đường kính lỗ 2 mm.

Xử lý mẫu thép trước và sau thí nghiệm theo tiêu chuẩn Mỹ ASTM G1-90 [14].

Các mẫu thép được nhúng ngập vào dung dịch thí nghiệm tinh, thông khí theo tiêu chuẩn ASTM G31-72, G111-92 [15,16], trong khoảng thời gian: 4, 8, 12, 24, 48, 72 và 96 giờ ở nhiệt độ phòng (30°C); và trong 4 giờ ở các nhiệt độ

cao (60°C, 100°C và 140°C).

Độ sâu ăn mòn thép trung bình (V) tính theo công thức:

$$V \text{ (mm/năm)} = \frac{K.W(g)}{A(\text{cm}^2).T(h).D(\text{g/cm}^3)}$$

Trong đó: K = 8,76x10<sup>4</sup>; W là tổn thất khối lượng mẫu (g); A là diện tích mẫu (cm<sup>2</sup>); T là thời gian ngâm mẫu (h); D là khối lượng riêng của mẫu (g/cm<sup>3</sup>).

### 4. Đo điện hóa

Sử dụng thiết bị Solatron 1280Z chế tạo tại Pháp để đo các đường cong phân cực thể động và đo tổng trở điện hóa theo các tiêu chuẩn ASTM G5-94, G102-89 và G106-89 [17-19]. Điện cực làm việc là thép P110 đúc trong nhựa epoxy chỉ để hở diện tích bề mặt là 1 cm<sup>2</sup>. Điện cực đối là lưới platin; điện cực so sánh là điện cực calomen bão hòa (SCE). Các giá trị điện thế ăn mòn thép (E<sub>corr</sub>), độ phân cực Tafel anot (b<sub>a</sub>)

và catot ( $b_c$ ), quy chiếu theo điện cực calomen bão hòa. Đo các đường cong phân cực catot và anot với tốc độ quét thế là 0,5 mV/sec, bắt đầu từ giá trị ( $E_{corr} - 200$  mV) đến ( $E_{corr} + 200$  mV); đo điện trở phân cực từ ( $E_{corr} - 20$  mV) đến ( $E_{corr} + 20$  mV).

Xác định tốc độ ăn mòn thép ( $V_{corr}$  và  $V_{cor}$ ), từ mật độ dòng ăn mòn thép đo bằng 2 phương pháp: ngoại suy Tafel và điện trở phân cực tuyến tính.

Phổ tổng trở điện hóa được đo tại giá trị

( $E_{corr} \pm 5$  mV) trên dải tần số từ 20.000 Hz đến 1 mHz. Số liệu thực nghiệm nhận được từ phương pháp này sẽ qua xử lý bằng chương trình "Fit and Simulation" có sẵn trong phần mềm FRA, để xác định giá trị điện trở phân cực (R), điện dung lớp điện tích kép (C) và tốc độ ăn mòn thép ( $V_{cor}$ ).

### III - KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 1. Trong dung dịch nước trung tính (pH 7) ở nhiệt độ phòng (30°C)

**Bảng 2:** Tốc độ ăn mòn thép phụ thuộc vào nồng độ natri molipdat và thời gian ngâm mẫu trong dung dịch trung tính

Nồng độ $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ (ppm)	Tốc độ ăn mòn thép V, mm/năm						
	4 giờ	8 giờ	12 giờ	24 giờ	48 giờ	72 giờ	96 giờ
0	0,3734	0,3249	0,1390	0,1131	0,1026	0,0962	0,0870
200	0,4074	0,3273	0,1794	0,1431	0,0982	0,0930	0,0855
350	0,4146	0,3546	0,1940	0,1503	0,0928	0,0889	0,0806
500	0,4801	0,3928	0,3637	0,2013	0,0861	0,0855	0,0727

Bảng 2 cho thấy, trong dung dịch nước trung tính ở nhiệt độ phòng, tốc độ ăn mòn thép giảm dần theo thời gian ngâm mẫu. Trong 48 giờ đầu tiên ngâm mẫu, tốc độ ăn mòn thép tăng theo chiều tăng của nồng độ natri molipdat. Sau 48 giờ ngâm mẫu, ngược lại, tốc độ ăn mòn thép giảm không nhiều khi tăng nồng độ của natri molipdat từ 200 ppm lên 500 ppm.

Kết quả đo các đường cong phân cực anot và catot trong dung dịch nước trung tính ở nhiệt độ phòng, được trình bày trong bảng 3. Các số liệu

trong bảng 3 chỉ ra rằng, theo chiều tăng nồng độ natri molipdat, điện thế ăn mòn thép ( $E_{corr}$ ) dịch chuyển về phía giá trị dương hơn, độ dốc của đường cong phân cực anot ( $b_a$ ) tăng lên, dẫn đến sự giảm tốc độ ăn mòn thép ( $V_{corr}$ ). Nhưng độ dốc của đường cong phân cực catot ( $b_c$ ) bị giảm khi tăng nồng độ natri molipdat. Nói một cách khác, natri molipdat có tác dụng hai mặt: một mặt gia tốc quá trình catot; mặt khác lại kìm hãm quá trình anot của sự ăn mòn điện hóa kim loại.

**Bảng 3:** Các giá trị của đường cong phân cực Tafel ( $b_a$ ,  $b_c$ ,  $E_{corr}$ ,  $V_{corr}$ ) phụ thuộc vào nồng độ natri molipdat trong dung dịch nước trung tính ở nhiệt độ phòng

Nồng độ $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ , ppm	$b_a$ , V	$b_c$ , V	$E_{corr}$ , V	$V_{corr} \cdot 10^3$ (mm/năm)
0	161	-178	-0,3857	22,96
200	177	-158	-0,0930	14,36
500	312	-129	-0,0667	0,02

**Bảng 4:** Các giá trị nhận được (R, C và  $V_{cor}$ ) từ đo tổng trở điện hóa phụ thuộc vào nồng độ natri molipdat trong dung dịch nước trung tính

Nồng độ $Na_2MoO_4$ , ppm	$R \cdot 10^{-4}$ , $\Omega \cdot cm^2$	$C \cdot 10^5$ , F/cm <sup>2</sup>	$V_{cor} \cdot 10^3$ , mm/năm
0	0,57	77,87	22,83
200	0,91	14,40	58,30
500	1,27	3,60	29,68

Số liệu đo phổ tổng trở điện hóa trong bảng 4 cho thấy, tăng nồng độ natri molipdat trong dung dịch trung tính, sẽ kéo theo sự tăng điện trở phân cực (R), làm giảm đáng kể điện dung của lớp điện tích kép (C). Những sự thay đổi đó chứng tỏ natri molipdat đã góp phần tạo thành trên bề mặt thép một lớp màng có tính chất bảo vệ, ngăn cản sự ăn mòn điện hóa thép.

Các thí nghiệm theo 3 phương pháp: trọng lượng, đo phổ tổng trở điện hóa, đo đường cong phân cực anot và catot, đều cho thấy natri molipdat là chất ức chế anot đối với sự ăn mòn điện hóa thép.

Trong giai đoạn đầu của quá trình ăn mòn (đến 48 giờ), sự gia tốc quá trình catot bởi natri molipdat chiếm ưu thế nên tốc độ ăn mòn thép tăng theo chiều tăng nồng độ natri molipdat;

nhưng sau 48 giờ ngâm mẫu, sự kìm hãm quá trình anot bởi natri molipdat vượt trội hơn, do đó tốc độ ăn mòn thép sau 48 giờ lại giảm đi khi nồng độ natri molipdat tăng lên.

Cơ chế ức chế quá trình ăn mòn thép bởi natri molipdat được giải thích như sau: anion molipdat  $MoO_4^{2-}$  có tính oxi hóa mạnh hơn phân tử oxi hòa tan trong nước, nó đóng vai trò là tác nhân oxi hóa chính, làm giảm mạnh độ phân cực catot của sự ăn mòn điện hóa thép. Nhưng khi anion molipdat  $MoO_4^{2-}$  nhận được điện tử giải phóng ra từ phản ứng anot oxi hóa nguyên tử sắt, nó bị khử thành màng molipden oxit ( $MoO_2$ ) che phủ bề mặt thép, làm giảm đáng kể tốc độ ăn mòn thép [5, 10].

## 2. Trong dung dịch kiềm đặc (pH 11) ở nhiệt độ phòng (30°C)

**Bảng 5:** Tốc độ ăn mòn thép phụ thuộc vào nồng độ natri molipdat và thời gian ngâm mẫu trong dung dịch kiềm đặc (pH 11) ở nhiệt độ phòng

Nồng độ $Na_2MoO_4$ , ppm	Tốc độ ăn mòn thép V, mm/năm						
	4 giờ	8 giờ	12 giờ	24 giờ	48 giờ	72 giờ	96 giờ
0	0,2473	0,1418	0,0812	0,0461	0,0394	0,0156	0,0132
200	0,3492	0,3419	0,1406	0,0970	0,0582	0,0412	0,0376
350	0,3201	0,3137	0,1261	0,1067	0,0594	0,0410	0,0374
500	0,3183	0,2328	0,1164	0,1043	0,0570	0,0372	0,0370

Bảng 5 cho thấy, trong khoảng nồng độ từ 200 ppm đến 500 ppm, natri molipdat gia tốc sự ăn mòn điện hóa thép trong dung dịch kiềm đặc (pH 11) ở nhiệt độ phòng; mặc dù khi tăng dần nồng độ natri molipdat từ 200 ppm lên 500 ppm, tốc độ ăn mòn thép giảm dần.

Nguyên nhân có thể như sau: Trong dung dịch kiềm đặc, trên bề mặt thép nhanh chóng tạo thành lớp oxit thụ động với thành phần hóa học

chủ yếu là oxit sắt từ ( $Fe_3O_4$ ). Khi thêm natri molipdat vào dung dịch này, anion molipdat  $MoO_4^{2-}$  có tính oxi hóa mạnh, nó không những gia tốc quá trình catot như đã nói ở trên, mà còn oxi hóa cả lớp oxit thụ động  $Fe_3O_4$  đã có sẵn, chuyển  $Fe_3O_4$  thành oxit sắt ba ( $Fe_2O_3$ ) không còn tính thụ động nữa. Vì thế, natri molipdat là chất gia tốc sự ăn mòn điện hóa thép trong dung dịch kiềm đặc ở nhiệt độ phòng.

**3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và nồng độ natri molipdat đến tốc độ ăn mòn thép trong các dung dịch trung tính (pH 7) và kiềm đặc (pH 11). Thời gian thí nghiệm: 4 giờ**

*Bảng 6: Tốc độ ăn mòn thép trong dung dịch trung tính phụ thuộc vào nhiệt độ và nồng độ natri molipdat*

Nồng độ Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> , ppm	Tốc độ ăn mòn thép V, mm/năm			
	30°C	60°C	100°C	140°C
0	0,3734	0,4680	0,4510	0,3880
200	0,4074	0,7638	0,1891	0,1237
350	0,4146	0,7784	0,2546	0,2182
500	0,4801	0,8438	0,4074	0,2328

Bảng 6 cho thấy, các đường cong biểu thị tốc độ ăn mòn thép phụ thuộc vào nhiệt độ trong các dung dịch trung tính có hoặc không có natri molipdat, đều đi qua điểm cực đại tại 60°C. So với trong dung dịch trung tính không có natri molipdat, thì trong các dung dịch có mặt natri molipdat, nhiệt độ có ảnh hưởng rõ rệt hơn nhiều đến tốc độ ăn mòn thép: Tốc độ ăn mòn thép tăng nhanh theo sự tăng nhiệt độ từ 30°C lên 60°C; nhưng lại giảm nhanh theo sự tăng nhiệt độ từ 60°C lên 100°C, sau đó tốc độ ăn mòn thép giảm dần dần khi tăng nhiệt độ dung dịch từ 100°C lên 140°C.

Khi thí nghiệm trong thời gian 4 giờ, ta nhận thấy tốc độ ăn mòn thép trong dung dịch trung tính tăng dần theo sự tăng nồng độ natri molipdat ở các nhiệt độ dưới 100°C. Nhưng tại các nhiệt độ cao hơn (100°C và 140°C), đường cong tốc độ ăn mòn thép phụ thuộc vào nồng độ natri molipdat đi qua điểm cực tiểu trong dung dịch có nồng độ natri molipdat thấp nhất (200 ppm).

Qua các thí nghiệm đã trình bày ở trên (bảng 2 và bảng 6), ta rút ra một nhận xét có ý nghĩa thực tiễn là: Chỉ cần sử dụng natri molipdat nồng độ 200 ppm là đủ để bảo vệ thép khỏi bị ăn mòn trong dung dịch nước trung tính ở mọi nhiệt độ khảo sát, từ 30°C đến 140°C.

*Bảng 7: Tốc độ ăn mòn thép trong dung dịch kiềm đặc (pH 11) phụ thuộc vào nhiệt độ và nồng độ natri molipdat*

Nồng độ Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> , ppm	Tốc độ ăn mòn thép V, mm/năm			
	30°C	60°C	100°C	140°C
0	0,2473	0,2655	0,1964	0,1819
200	0,3492	0,4728	0,3055	0,1891
350	0,3201	0,4510	0,2437	0,1600
500	0,3183	0,2910	0,2255	0,1455

Giống như trong dung dịch trung tính, trong dung dịch kiềm đặc có natri molipdat ở các nồng độ thấp (0, 200 ppm và 350 ppm), tốc độ ăn mòn thép đạt giá trị cực đại tại 60°C. Nhưng khi tăng nồng độ natri molipdat lên đến 500 ppm trong dung dịch kiềm đặc, thì tốc độ ăn mòn thép giảm dần theo chiều tăng nhiệt độ từ 30°C lên 140°C.

Nói chung, khi thử nghiệm trong thời gian ngắn (4 giờ), natri molipdat gia tốc sự ăn mòn thép trong dung dịch kiềm đặc ở mọi nhiệt độ khảo sát.

Trái ngược với trong dung dịch trung tính, đường cong tốc độ ăn mòn thép phụ thuộc nồng độ natri molipdat trong dung dịch kiềm đặc đi qua điểm cực đại tại dung dịch có nồng độ natri molipdat thấp nhất (200 ppm).

#### IV - KẾT LUẬN

a) Nồng độ natri molipdat 200 ppm là đủ để bảo vệ thép khỏi bị ăn mòn trong dung dịch nước trung tính có nhiệt độ từ 30°C đến 140°C.

b) Trong dung dịch kiềm đặc (pH 11), natri molipdat là chất gia tốc sự ăn mòn thép ở mọi nhiệt độ khảo sát.

c) Natri molipdat là chất oxi hóa mạnh. Nó một mặt đóng vai trò chất khử phân cực catốt, mặt khác là chất tạo màng oxit MoO<sub>2</sub>, ức chế quá trình anot của sự ăn mòn điện hóa thép trong dung dịch nước trung tính.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. K. L. Vasanth. NACE, Paper 233, P. 4 (1996).
2. C. M. Hanham, R. M. Veinot, R. M. Armstrong, C. A. Shaw. Defense Research Establishment Atlantic, Canada, TM 86/221 (1986).
3. Philip E. Zapp. John W. Van Zee. Corrosion, Paper No. 471 (1999).
4. L. J. Bailin, V. S. Agarwala. In: Proc. 1987 Trice Vice Conference on Corrosion, Air Force Wright Aeronautical Labs (1987).
5. M. Raghavan. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> Asia Pacific Corrosion Control Conference, Vol. 2, P. 857 (2001).
6. Suzuki Fumiko. Patent Number: US 4176059. Publication date: 1979-11-27.
7. Jefferies Jesse H. Patent Number: US 5376331. Publication date: 1994-12-27.
8. A. M. Shams El Din, Liufu Wang. Abu Dhabi, P. 42 (1996).
9. G. F. Yuzwa. Proprietary. Alberta, P. 3. (2000).
10. Jamal n Alhajji. In: The 10<sup>th</sup> Asia Pacific Corrosion Control Conference Proceedings Book, P. A1 (1997).
11. M. S. Vukasovich, D. R. Robitaille. Michigan USA, P. 1 (1976).
12. Vũ Đình Huy, Trần Thị Phi Uyên. Tạp chí Dầu khí, số 8, Tr. 31 (2004).
13. Tuyển tập tiêu chuẩn Nhà nước về hóa chất, cao su, thủy tinh, tập 1, Tr. 32 - 34 (1974).
- 14-19. ASTM Standards: G 1-90, G 31-72, G 111-92, G 5-94, G 102-89, G106-89.