

NGHIÊN CỨU, HOÀN THIỆN CÔNG NGHỆ VÀ QUY TRÌNH CHẾ TẠO ANODE HY SINH HỢP KIM KẼM ĐẠT TIÊU CHUẨN CHẤT LƯỢNG QUỐC TẾ

Nguyễn Thị Lê Hiền, Phan Trọng Hiếu, Phạm Vũ Dũng, Ngô Ngọc Thương, Phạm Thị Hương
Viện Dầu khí Việt Nam
Email: hienntl@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Với nhiệt độ đúc 450°C, sử dụng lò cảm ứng trung tần và làm nguội tự nhiên, anode hy sinh trên cơ sở hợp kim kẽm được tạo ra bằng phương pháp đúc có chất lượng tốt, độ đồng nhất cao và chất lượng ổn định. Dung lượng điện hóa của anode đều trên 780Ah/kg và điện thế âm hơn -1,0V so với điện cực Ag/AgCl. Các đặc tính điện hóa (điện thế, dung lượng), thành phần hợp kim, đều thỏa mãn các yêu cầu khắt khe nhất đối với sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm và đã nhận được chứng nhận của cơ quan kiểm định quốc tế DNV-GL cho dung lượng điện hóa của sản phẩm và chứng nhận đạt tiêu chuẩn ISO 9001-2015 do Trung tâm Chứng nhận phù hợp Quacert cấp cho quy trình sản xuất sản phẩm anode hy sinh của Viện Dầu khí Việt Nam.

Từ khóa: Anode hy sinh hợp kim kẽm, dung lượng điện hóa, chống ăn mòn, VPI.

1. Mở đầu

Anode hy sinh được sử dụng rộng rãi và hiệu quả nhằm bảo vệ chống ăn mòn cho các công trình biển, chân đế giàn khoan, tàu thuyền, đường ống thu gom, vận chuyển dầu khí dưới biển... Do cơ chế tự hòa tan để bảo vệ cho các công trình biển nên khối lượng anode hy sinh sử dụng thường rất lớn. Ngoài lượng anode lắp đặt cho các công trình mới, còn một lượng anode không nhỏ dùng để bổ sung và thay thế cho các anode hy sinh bị hòa tan và mất mát trong quá trình sử dụng.

Anode hy sinh thường được chế tạo từ các hợp kim của nhôm, kẽm hoặc magie. Trong đó, anode hy sinh hợp kim nhôm có dung lượng lớn và có giá thành thấp nhất (quy đổi trên một đơn vị Ah) nên thường được sử dụng để bảo vệ cho các kết cấu công trình kim loại có quy mô lớn, đặc biệt là đối với các công trình ngầm dưới biển yêu cầu tuổi thọ dài như: giàn khoan, đường ống dẫn... Anode hy sinh hợp kim magie tuy có dung lượng thấp, giá thành cao nhưng lại có điện thế rất âm nên thường được dùng để bảo vệ các công trình trong môi trường có điện trở cao như trong nước ngọt, trong đất đồi núi. Anode hy sinh hợp kim kẽm được dùng trong môi trường điện ly mạnh và trung bình và hoạt động tốt trong nước hoặc đất

[1]. Anode hy sinh hợp kim kẽm được ứng dụng bảo vệ các công trình bê tông cốt thép tiếp xúc với nước như: cầu cảng, các công trình quân sự và dân sự ngoài biển đảo, bảo vệ vỏ tàu thủy, xà lan, các bồn chứa bằng thép và đường ống dẫn dầu, khí dưới nước hoặc vùng bùn lầy. Đặc biệt chỉ có anode hy sinh hợp kim kẽm được sử dụng để bảo vệ cho các khoang chứa dầu của tàu biển vì không gây ra tia lửa điện.

Xác định nhu cầu sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm rất lớn, bên cạnh sản phẩm anode hy sinh hợp kim nhôm đạt tiêu chuẩn chất lượng quốc tế và đã được thương mại hóa, Viện Dầu khí Việt Nam (VPI) tập trung nghiên cứu chế tạo, hoàn thiện công nghệ và quy trình chế tạo anode hy sinh hợp kim kẽm với quy mô công nghiệp và đáp ứng quy trình kiểm soát chất lượng theo ISO 9001 [2]. Sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm sản xuất ra có khả năng bảo vệ chống ăn mòn hiệu quả, đáp ứng mọi tiêu chuẩn quốc tế về chất lượng và các yêu cầu khắt khe đối với các công trình dầu khí, sản phẩm được thị trường chấp nhận nhằm thay thế các sản phẩm nhập ngoại.

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu, khảo sát nhằm hoàn thiện quy trình chế tạo anode hy sinh hợp kim kẽm để đáp ứng tiêu chuẩn ISO 9001, đảm bảo đặc tính điện hóa cũng như độ đồng nhất của anode hy sinh và kết quả kiểm định chất lượng quốc tế theo tiêu chuẩn DNV-RP-B401 [3] do DNV-GL Singapore thử nghiệm.



2. Điều kiện chế tạo anode hy sinh hợp kim kẽm

2.1. Chuẩn bị đúc

2.1.1. Nguyên vật liệu

Anode kẽm được tập trung nghiên cứu trên cơ sở kim loại kẽm được bổ sung thêm một lượng nhỏ nhôm và cadmium (Cd) nhằm nâng cao đặc tính điện hóa của kẽm nguyên chất. Các nguyên liệu sử dụng chính:

- Kẽm công nghiệp 99,9%, xuất xứ Hàn Quốc, dạng thỏi 20kg.
- Nhôm công nghiệp 99,84%, xuất xứ Australia, dạng thỏi 27kg.
- Cadmium 99,99%, xuất xứ Trung Quốc, dạng bột mịn.

2.1.2. Khuôn đúc

Tùy thuộc vào hình dạng và tuổi thọ công trình cần bảo vệ, anode hy sinh có thể được thiết kế với các hình dạng và kích thước khác nhau. Trên cơ sở yêu cầu về hình dạng và kích thước của anode, các khuôn đúc được thiết kế và chế tạo. Hình 1 minh họa thiết kế và hình dạng loại

khuôn đúc anode dạng rùa và dạng thẳng với khối lượng tương ứng là 12kg, 25kg và 50kg.

Khuôn anode được chế tạo bằng thép carbon hoặc gang đúc (Hình 2), được làm nóng trước khi đúc.

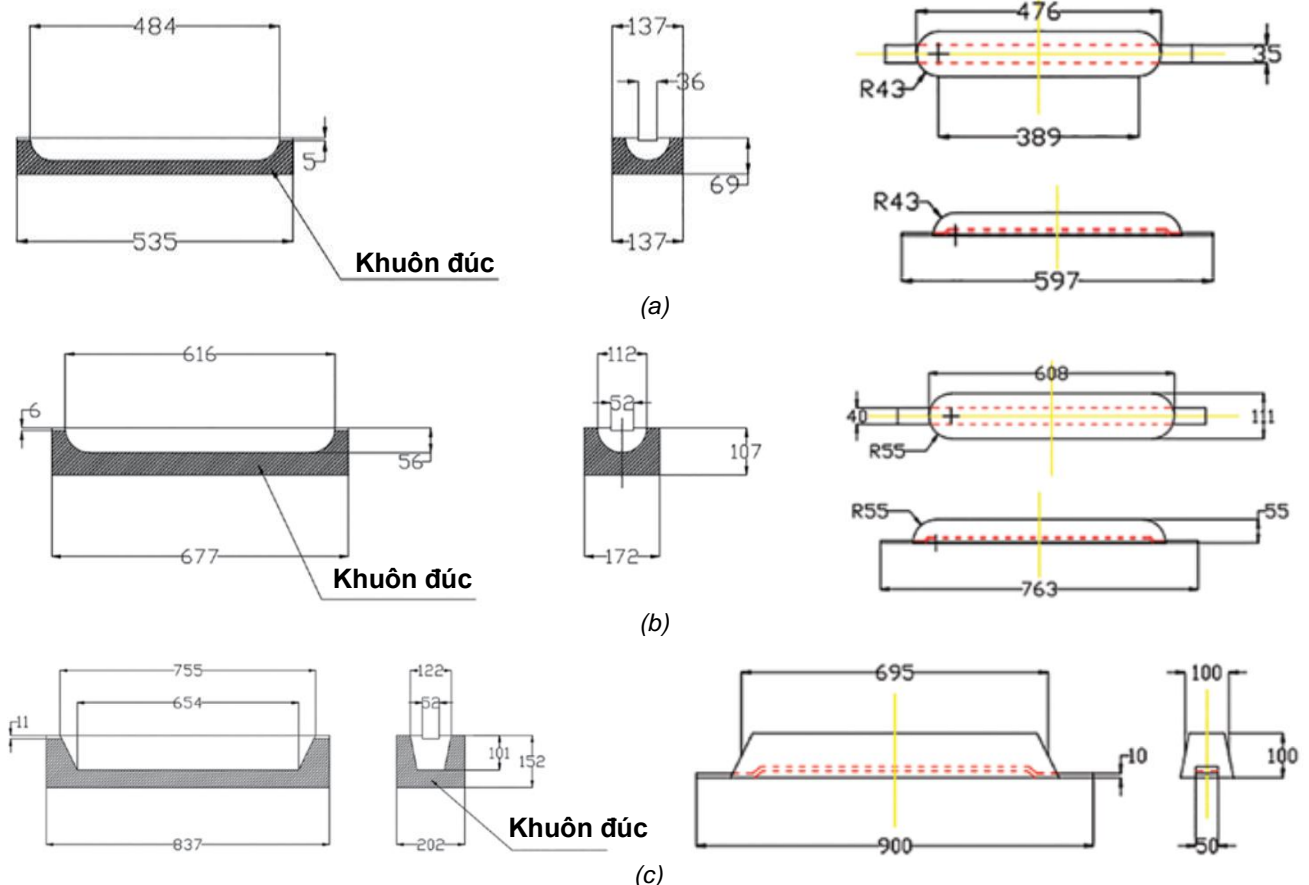
2.1.3. Lõi anode

Anode hy sinh có thể được bắt vít hoặc hàn trực tiếp vào công trình thông qua lõi thép của anode (steel insert). Vật liệu sử dụng chế tạo lõi anode hy sinh là thép có thể hàn được, yêu cầu có giá trị carbon tương đương $CE \leq 0,45$.

Giá trị carbon tương đương của thép có thể được xác định theo công thức sau:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{15} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{15} \quad (1)$$

Tùy thuộc thiết kế anode mà lõi thép có hình dáng và kích thước khác nhau. Để tăng độ bám dính và giảm điện trở tiếp xúc giữa lõi và vật liệu anode hợp kim kẽm, lõi thép cần được xử lý làm sạch bề mặt đến độ nhám SA 2,5 theo tiêu chuẩn ISO 8501 [4] hoặc được nhúng kẽm nóng theo tiêu chuẩn ISO 1461 [5] trước khi đúc. Đối với các lõi có kích thước không quá lớn, phương pháp nhúng kẽm nóng được ưu tiên sử dụng.



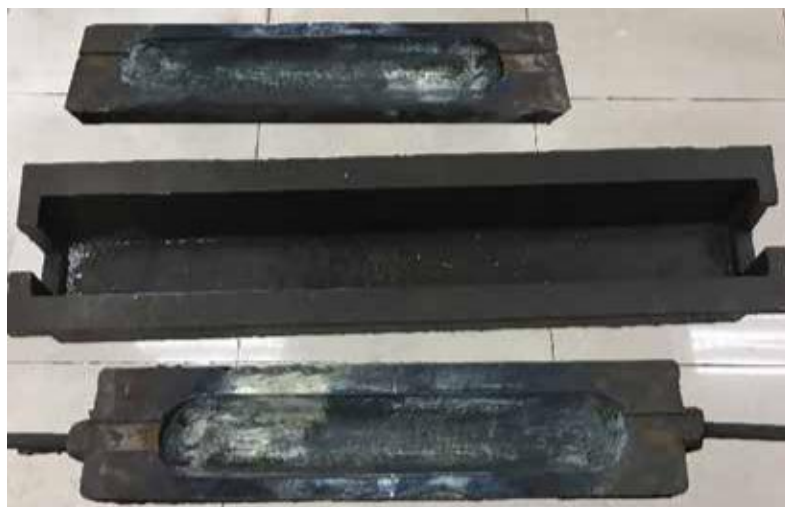
Hình 1. Bản vẽ minh họa thiết kế khuôn đúc anode kẽm; a. Anode rùa loại khối lượng 12kg; b. Anode rùa loại khối lượng 25kg; c. Anode thẳng loại khối lượng 50kg

Lõi thép cần được làm nóng, cố định chính xác và chắc chắn vào khuôn trước khi đúc.

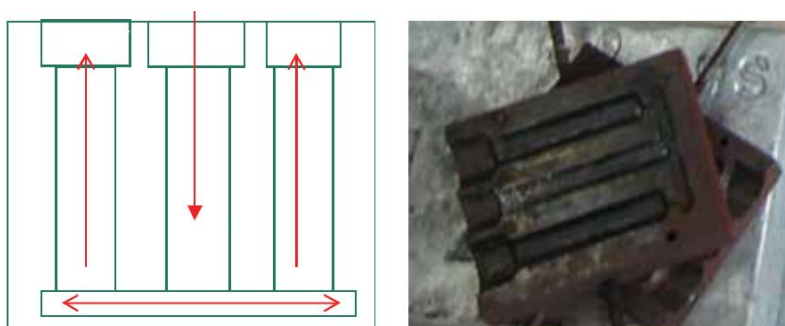
2.2. Quá trình đúc sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm

Các nguyên liệu chính sử dụng là Zn, Al, Cd và phụ gia với tỷ lệ thích hợp [6], được đun nóng chảy hoàn toàn trong lò nung trung tần ở nhiệt độ 450°C. Tùy thuộc vào hình dáng và kích thước của anode có thể lựa chọn chế độ đúc hồ hoặc đúc kín.

- Đúc hồ: Thường được lựa chọn đối với các anode có kích thước lớn có độ co ngót lớn, đúc hồ cho phép dễ dàng bù ngót và vẫn đảm bảo chất lượng bề mặt của anode;
- Đúc kín: Phương pháp này được lựa chọn đối với các anode có kích thước nhỏ, cho phép tạo bề mặt bằng phẳng và đồng nhất.



Hình 2. Khuôn đúc anode



Hình 3. Bộ khuôn đúc mẫu thử nghiệm



Hình 4. Mô tả quá trình gia công mẫu thử nghiệm

Trong khuôn khổ bài báo, anode hy sinh hợp kim kẽm được đúc kín đối với các anode dạng rùa có kích thước 12kg và 25kg; đúc hồ đối với các anode thẳng có khối lượng 50kg. Sau khi nóng chảy hoàn toàn, hợp kim được rót vào khuôn và được làm nguội tự nhiên trong không khí nhằm đảm bảo hình dáng và ổn định cấu trúc tinh thể của vật liệu anode. Đối với các anode kích thước lớn (>100kg), làm mát bằng nước tuần hoàn có thể được sử dụng cho phép tăng tốc độ làm nguội anode và kéo dài tuổi thọ cho khuôn.

Với mỗi mẻ đúc, các mẫu vật liệu anode hy sinh đều được rót vào khuôn nhỏ, cho phép lấy 3 mẫu hình trụ với đường kính 2cm, chiều dài 20cm như Hình 3. Các mẫu được đánh số và lưu giữ để sử dụng cho các nghiên cứu và đánh giá chất lượng của anode.

2.3. Phương pháp kiểm tra, đánh giá chất lượng của anode hy sinh

2.3.1. Chuẩn bị mẫu thử nghiệm

Các mẫu thử nghiệm điện hóa hoặc đánh giá thành phần được gia công từ mẫu nhỏ hình trụ đảm bảo kích thước theo yêu cầu trong tiêu chuẩn DNV-RP-401 [4] trên thiết bị như Hình 4.

2.3.2. Phương pháp điện hóa

Điện thế và dung lượng điện hóa của vật liệu anode kẽm đã được tiến hành đánh giá trong Phòng thí nghiệm của Trung tâm Ứng dụng và Chuyển giao Công nghệ (CTAT) thuộc Viện Dầu khí Việt Nam (VPI), theo tiêu chuẩn DNV-RP-B401 [3].



Điện thế đóng mạch của anode hy sinh hợp kim kẽm được xác định bằng cách đo hiệu điện thế giữa mẫu anode hy sinh và điện cực so sánh clorua bạc (Ag/AgCl) trong dung dịch nước biển nhân tạo sử dụng vốn kế có độ chính xác cao trong trường hợp anode được nối tiếp xúc với kim loại cần bảo vệ (trực tiếp hay gián tiếp).

Tương quan giữa khối lượng vật liệu anode hòa tan và lượng điện sản ra (Ah) đo bằng culong kế, có thể tính ra dung lượng với đơn vị là Ah/kg theo công thức (2).

$$Q = 26,8 \times 1000 \times (\Delta M/a) \times (V/\Delta m) \quad (2)$$

Trong đó:

Q: Dung lượng thực tế của mẫu (Ah/kg);

ΔM : Sự tăng khối lượng của điện cực đồng trong culong kế;

a: Nguyên tử lượng của đồng;

V: Đương lượng hóa học của đồng;

Δm : Tổn hao khối lượng của toàn bộ anode kẽm.

Để đảm bảo độ tin cậy của các phép đánh giá chất lượng điện hóa của anode hy sinh hợp kim kẽm theo tiêu chuẩn DNV-RP-B401, 1 mẫu anode được lấy ngẫu nhiên và gửi đi yêu cầu kiểm chứng tại DNV-GL tại Singapore.



Hình 5. Anode hy sinh hợp kim kẽm sau khi đúc

Bảng 1. Thành phần chính của các mẫu vật liệu anode hy sinh hợp kim kẽm trước khi rót vào khuôn

TT	Tên chi tiêu		Thành phần hóa học của vật liệu anode hy sinh hợp kim kẽm (%)			
			Theo MIL-A-18001K [7]	VPI - Zn 01	VPI - Zn 02	VPI - Zn 03
1	Nhôm	(Al)	0,10 - 0,5	0,3575	0,3073	0,3250
2	Cadmium	(Cd)	0,025 - 0,07	0,0636	0,0371	0,0521
3	Sắt	(Fe)	0,005 max	0,0008	0,0018	0,0011
4	Đồng	(Cu)	0,005 max	0,0048	0,0034	0,0029
5	Chì	(Pb)	0,006 max	0,0004	0,0006	0,0003
6	Tổng các kim loại khác		0,10 max	0,0302	0,0915	0,0643
7	Kẽm	(Zn)	Còn lại > 99,414	99,5427	99,5583	99,5543

2.3.3. Phân tích thành phần

Thành phần vật liệu anode hy sinh hợp kim kẽm được kiểm tra bằng phương pháp phổ phát xạ theo tiêu chuẩn ASTM E1277 [6] ngay trước khi rót vật liệu vào khuôn tại đầu và cuối mỗi mẻ đúc. Các kết quả thu được được kiểm chứng tại Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 1 (Quatest 1).

2.3.4. Các phương pháp khác kiểm tra chất lượng anode hy sinh hợp kim kẽm

Chất lượng bề mặt anode hy sinh hợp kim kẽm được kiểm tra bằng phương pháp trực quan; kích thước anode được xác định bằng thước dây; khối lượng anode được kiểm tra bởi cân có độ chính xác cao; sự tiếp xúc điện giữa lõi và vật liệu anode được xác định bằng cách đo điện trở tiếp xúc và kiểm tra chất lượng bên trong của anode bằng phương pháp phá hủy (cắt mẫu). Các phương pháp kiểm tra và yêu cầu chất lượng của anode phải đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế [3].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Chế tạo anode hy sinh hợp kim kẽm

Anode hy sinh hợp kim kẽm được chế tạo bằng

phương pháp đúc tại nhiệt độ 450°C và sau khi đúc có dạng như Hình 5.

3.2. Kiểm tra, đánh giá chất lượng của anode hy sinh hợp kim kẽm sau đúc

3.2.1. Phân tích thành phần

Kết quả phân tích thành phần chính của các mẫu anode hy sinh hợp kim kẽm tại mỗi mẻ chế tạo được thể hiện trong Bảng 1.

Các kết quả phân tích thành phần của anode hy sinh hợp kim kẽm cho thấy nhìn chung thành phần vật liệu anode tương đối đồng nhất, hàm lượng Al dao động trong khoảng 0,1 - 0,5%, Cd dao động trong khoảng 0,025 - 0,07% và hàm lượng các tạp chất không mong muốn như Fe, Cu <0,005%, Pb <0,006% và tổng các tạp chất khác <0,1%, thỏa mãn yêu cầu theo tiêu chuẩn [7].

3.2.2. Đánh giá điện thế đóng mạch và dung lượng điện hóa

Vật liệu anode tốt phải có điện thế đủ âm để có thể phát dòng điện đủ lớn bảo vệ chống ăn mòn cho công trình thép; có hiệu quả kinh tế cao phải đảm bảo đồng thời cung cấp nhiều điện tử trên một đơn vị khối lượng. Do vậy, hiệu suất điện của anode được đặc trưng bởi dung lượng dòng, biểu diễn bằng Ah/kg. Giá trị dung lượng dòng được xác định bởi đương lượng điện hóa, tỷ trọng và hiệu suất của vật liệu anode.

Kết quả khảo sát dung lượng và điện thế làm việc của các mẫu anode hy sinh hợp kim kẽm được biểu diễn trên Bảng 2.

Các kết quả thử nghiệm điện hóa cho thấy rõ chất lượng của mẫu vật liệu hợp kim rất tốt, đáp ứng tiêu chuẩn điện hóa đối với anode hy sinh hợp kim kẽm, điện thế đóng mạch âm hơn -1,020V so với điện cực Ag/AgCl và dung lượng điện hóa đều lớn hơn 800Ah/kg.

3.2.3. Kiểm tra chất lượng anode hy sinh hợp kim kẽm

Anode hy sinh hợp kim kẽm sau khi đúc có màu trắng bạc, sáng, bề mặt tương đối đồng nhất, bằng phẳng, không xuất hiện vết nứt, rỗ, co ngót. Chất lượng bề mặt anode đáp ứng mọi yêu cầu về bề mặt theo các tiêu chuẩn trong [8] và ngoài nước [3].

Kích thước và khối lượng anode sau khi đúc được biểu diễn trên Bảng 2. Các kết quả thu được cho thấy sự chênh lệch khối lượng và kích thước so với thiết kế gần như không đáng kể, luôn nhỏ hơn ± 2%, đáp ứng yêu cầu theo các tiêu chuẩn trong [8] và ngoài nước [3].

Điện trở tiếp xúc giữa vật liệu anode và lõi được xác định bằng đồng hồ đo điện trở có độ chính xác cao. Giá trị đo điện trở tiếp xúc luôn nhỏ hơn 0,1mΩ, chứng tỏ sự tiếp xúc điện rất tốt giữa lõi và vật liệu anode.



Bảng 2. Kết quả xác định điện thế đóng mạch và dung lượng điện hóa của anode hy sinh hợp kim kẽm

Tên m u	Đi n th làm vi c (V so v i đi n c c Ag/AgCl)	Dung lư ng anode (Ah/kg)
VPI - Zn 01	-1,020	821
VPI - Zn 02	-1,014	815
VPI - Zn 03	-1,051	803
Theo DNV-RP-B401	≤-1,000	≥ 780



Để kiểm tra độ đồng nhất và sít chặt bên trong anode, anode sau đúc đã được cắt ngang mẫu để quan sát trực quan tại vị trí mặt cắt. Tại các vị trí vết cắt, bề mặt kim loại đồng nhất không xuất hiện hiện tượng co ngót, rỗ khí, nứt gãy. Tại vị trí tiếp xúc với lõi, kim loại tiếp xúc tốt, không xuất hiện khuyết tật.

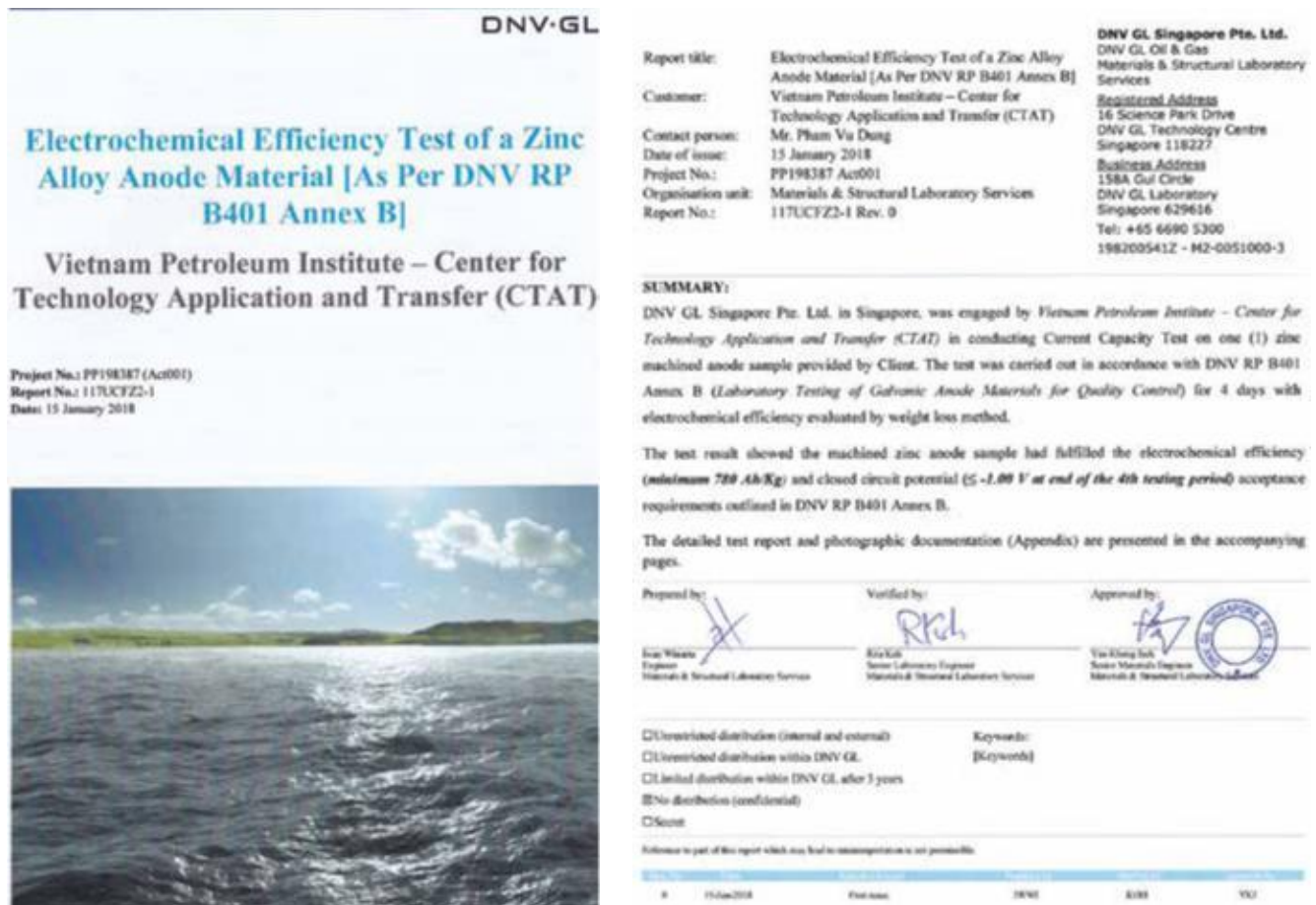
3.3. Kiểm định chất lượng bởi bên thứ 3

Các kết quả đánh giá thành phần mẫu vật liệu và dung lượng điện hóa đều được kiểm chứng và xác nhận chất lượng bởi Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 1 - Quatest 1 (Hình 6). Tuy nhiên, để có bằng chứng chất lượng được sử dụng rộng rãi hơn trong ngành dầu khí Việt Nam và hướng tới có thể triển khai áp dụng cho cả các cơ sở ở nước ngoài, chọn ngẫu nhiên 1 mẫu vật

liệu anode kẽm đánh giá đặc tính điện hóa bởi DNV-GL tại Singapore theo tiêu chuẩn DNV-RP-B401 [3] và cấp chứng nhận như Hình 7.

Hình ảnh bề mặt mẫu anode và sau khi thử nghiệm điện hóa được biểu diễn trên Hình 8.

Các kết quả đánh giá điện hóa đối với mẫu vật liệu anode thực hiện bởi DNV-GL cho phép khẳng định anode hy sinh hợp kim kẽm do VPI sản xuất có chất lượng điện hóa rất tốt. Dung lượng anode cao (813Ah/kg), điện thế làm việc đủ âm (-1,037V so với điện cực Ag/AgCl), đáp ứng các tiêu chuẩn trong [8] và ngoài nước [3]. Anode hòa tan đồng đều, chất lượng bề mặt rất tốt.



Hình 7. Chứng nhận kiểm định chất lượng anode hy sinh hợp kim kẽm do DNV-GL Singapore cấp. Các kết quả đánh giá của DNV-GL được tóm tắt trong Bảng 3 và Hình 8. **Bảng 3.** Kết quả đánh giá chất lượng anode hy sinh hợp kim kẽm do DNV-GL thực hiện

Ký hiệu mẫu	Giá trị dung lượng (Ah/kg)	Điện thế làm việc (V so với điện cực Ag/AgCl)
VPI - Zn	813	-1,037
Tiêu chuẩn DNV-RP-B401	≥780	≤-1,000

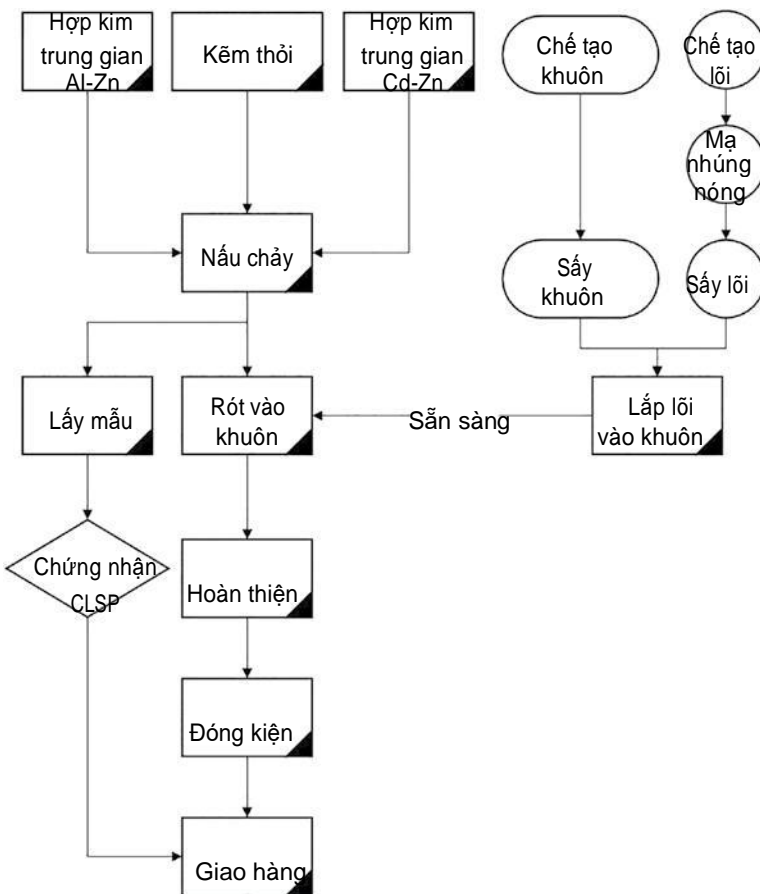


a. Trước thử nghiệm



b. Sau thử nghiệm

Hình 8. Bề mặt mẫu anode trước và sau thử nghiệm điện hóa do DNV-GL thực hiện

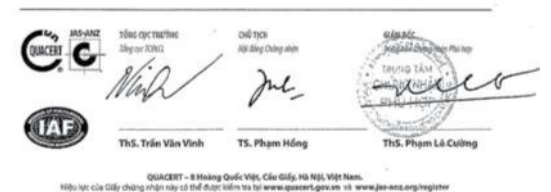


Hình 9. Quy trình công nghệ chế tạo anode hy sinh hợp kim kẽm

3.4. Quy trình sản xuất anode hy sinh

Quy trình sản xuất và kiểm tra chất lượng của anode hy sinh hợp kim kẽm được thể hiện trên Hình 9.

Với quy trình chế tạo và kiểm soát chất lượng chặt chẽ, sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm sản xuất được có chất lượng tốt, ổn định, đã được thương mại hóa và được khách hàng đánh giá cao. Sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm của VPI được cấp chứng nhận phù



Hình 10. Chứng chỉ ISO cho sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm của VPI



hợp theo tiêu chuẩn ISO 15589-2:2012 [9] và hệ thống quản lý chất lượng sản phẩm của VPI tuân thủ theo ISO 9001-2015 [2].

4. Kết luận

Anode hy sinh hợp kim kẽm mang thương hiệu VPI đã được chế tạo thành công với chất lượng tốt, đồng nhất và quy trình ổn định. Các đặc tính điện hóa (điện thế, dung lượng) và thành phần hợp kim đều đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế đối với sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm. Đây là sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm đầu tiên ở Việt Nam đã được gửi đi kiểm định chất lượng quốc tế và đã được xác nhận về chất lượng điện hóa theo DNV-RP-B401, quá trình sản xuất phù hợp với hệ thống quản lý chất lượng ISO 9001-2015. Với các kết quả đạt được, các sản phẩm anode hy sinh hợp kim kẽm mang thương hiệu VPI đã bắt đầu được thương mại hóa và có mặt trên các đường ống và thiết bị trong các công trình dầu khí và được khách hàng đánh giá cao.

Tài liệu tham khảo

1. A.W.Peabody. *Peabody's control of pipeline corrosion*. NACE International, The Corrosion Society. 2001.
2. Bộ Khoa học và Công nghệ. *Hệ thống quản lý chất*

lượng - Các yêu cầu. ISO 9001:2015.

3. Det Norske Veritas. *Cathodic protection design*. Recommended DNV-RP-B401. 2010.
4. International Organization for Standardization. *Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness*. ISO 8501.
5. International Organization for Standardization. *Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods*. ISO 1461:2009.
6. ASTM International. *Standard test method for chemical analysis of zinc - 5% aluminum-mischmetal alloys by ICP Emission Spectrometry*. ASTM E1277-96.
7. *Military specification: Anodes, sacrificial zinc alloy*. MIL-A-18001K. 1991.
8. Bộ Khoa học và Công nghệ. *Anode hy sinh - Yêu cầu kỹ thuật*. TCVN 10263:2014.
9. International Organization for Standardization. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Cathodic protection of pipeline transportation systems - Part 2: Offshore pipelines*. ISO 15589-2:2012.

RESEARCH AND FINALISATION OF TECHNOLOGY AND PROCEDURE FOR MANUFACTURING SACRIFICIAL ANODE MEETING INTERNATIONAL QUALITY STANDARD

Nguyen Thi Le Hien, Phan Trong Hieu, Pham Vu Dung, Ngo Ngoc Thuong, Pham Thi Huong
Vietnam Petroleum Institute
Email: hienntl@vpi.pvn.vn

Summary

With a casting temperature of 450°C, using a medium frequency induction furnace, obtained zinc anodes have a high quality, homogeneous structure and stable manufacture procedure. The electrochemical capacity of anode is higher than 780 Ah/kg and the close potential is more negative than -1.0V vs. Ag/AgCl reference electrode. The electrochemical characteristics and alloy components satisfy the strictest requirements for zinc sacrificial anode. The Vietnam Petroleum Institute's sacrificial anode product has been certified by the international accreditation organisation DNV-GL to conform with DNV-RP-B401 standard and its sacrificial anode manufacture procedure has been assessed by Quacert to meet the ISO 9001:2015 standard.

Key words: Zinc sacrificial anode, electrochemical capacity, anti-corrosion, VPI.

