

Nghiên cứu chế tạo lớp phủ gốm crom cacbit ứng dụng để nâng cao độ bền cho các chi tiết bơm làm việc trong môi trường khắc nghiệt

Đỗ Quang Chiến^{1*}, Lê Thu Quý¹, Nguyễn Văn Tuấn², Vũ Đình Hải³

¹Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Viện nghiên cứu Cơ khí
Số 4 Phạm Văn Đồng, Cầu Giấy, Hà Nội

²Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam,
Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

³Tổng công ty Phát điện 1, Số 11, Cửa Bắc, Trúc Bạch, Ba Đình, Hà Nội

*Email: chienptnweld@gmail.com

Tóm tắt: Bài báo tổng hợp các kết quả nghiên cứu chế tạo lớp phủ gốm $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ bằng phương pháp phun phủ plasma, ứng dụng để phục hồi nâng cao tuổi thọ các chi tiết bơm tuần hoàn làm việc trong nước biển. Các đặc trưng tính chất của lớp phủ được khảo sát bao gồm độ xốp, độ cứng tế vi, khả năng bám dính trượt trên nền thép, thành phần pha và độ bền ăn mòn mài mòn. Có 3 thông số công nghệ chế tạo lớp phủ đã được khảo sát, bao gồm dòng điện tạo plasma, khoảng cách phun và lưu lượng cấp bột. Trên cơ sở các kết quả phân tích trong phòng thí nghiệm, lớp phủ gốm với chế độ phun phủ phù hợp đã được ứng dụng để phủ chống mòn các chi tiết của 2 hệ thống máy bơm tuần hoàn nước biển của Nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn 1 và cho các kết quả tốt sau hơn 1 năm đưa vào sử dụng.

Từ khóa: Phun phủ plasma, Lớp phủ $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$; Bơm tuần hoàn.

Application of plasma sprayed Cr_3C_2 ceramic coating to improve the durability of pumps operating in aggressive environments.

Abstract: The paper resumes the research results of fabrication of $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ ceramic coatings by plasma spray technology, which was used to improve the service lifetime of circulating pump parts working in seawater. The investigated coating properties include porosity, microhardness, slipping adhesion on steel substrates, phase composition and corrosion wear resistance. Three coating technology parameters were investigated, including plasma forming current, spray distance and powder feeding rate. Based on the results of laboratory analysis, the ceramic coating with suitable spraying mode has been applied to two seawater circulation pump systems of Nghi Sơn Thermal Power Plant No1 and give great results after more than 1 year in use.

Keywords: Air Plasma Spray; $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ coating; Circulating pump.

1. Giới thiệu

Trong số các vật liệu dùng trong công nghệ phun phủ nhiệt, crom cacbit được kết hợp với một số kim loại có vai trò vật liệu liên kết, phổ biến có hợp kim NiCr với tỉ lệ hợp kim có thể dao động trong khoảng 20-50% khối lượng.

Hệ lớp phủ gồm này có độ bền chống mài mòn cao, độ bền nhiệt lên đến 800-900°C và khả năng chống ăn mòn trong các môi trường có tác nhân gây xói mòn. Lớp phủ Cr₃C₂-NiCr chế tạo bằng các phương pháp công nghệ phun phủ nhiệt có thể thay thế lớp mạ crom cứng do các vấn đề trong sản xuất ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường.

Crom cacbit là vật liệu rất cứng và có tính trơ về mặt hóa học. Crom cacbit có thể tồn tại ở 3 dạng cấu trúc tinh thể khác nhau, tương ứng với 3 thành phần hóa học [1]: Cr₂₃C₆, Cr₇C₃ và Cr₃C₂, trong đó Cr₃C₂ có độ bền cao nhất, độ cứng lên đến 2280 HV và là dạng crom cacbit được sử dụng nhiều nhất trong thực tế.

Trong nội dung chính của bài báo này trình bày tổng hợp một số kết quả đánh giá tính chất của lớp phủ Cr₃C₂-25NiCr chế tạo bằng phương pháp phun phủ plasma. Lớp phủ đã được ứng dụng thử nghiệm để tạo lớp phủ chịu mòn cho bề mặt các chi tiết nền gang hợp kim và thép không gỉ SUS316 của máy bơm tuần hoàn nước biển tại Nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn 1.

2. Thực nghiệm

2.1. Chế tạo lớp phủ

Bột Cr₃C₂-NiCr với kích thước hạt 25-40 μm được sử dụng làm vật liệu phun, có thành phần hóa học bao gồm 75% Cr₃C₂ và 25% NiCr20. Lớp phủ Cr₃C₂-NiCr được chế tạo bằng thiết bị phun phủ plasma PRAXAIR-TAFA (Mỹ) trên nền thép tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt. Bảng 1 trình bày giá trị của các thông số công nghệ chính chế tạo lớp phủ, trong đó có 3 thông số công nghệ được nghiên cứu khảo sát thực nghiệm trong dải rộng để xác định chế độ công nghệ phù hợp, làm cơ sở để áp dụng thực tế lên các chi tiết máy bơm.

Bảng 1. Chế độ công nghệ chế tạo lớp phủ Cr₃C₂-NiCr

TT	Thông số phun	Chỉ số chế độ
1	Dòng điện	400-600 A
2	Khoảng cách phun	100-200 mm
3	Lưu lượng cấp bột	10-50 g/phút
4	Tốc độ dịch chuyển súng phun	0,5 m/giây
5	Bước dịch chuyển	3,2-5 mm
6	Góc phun	90 ± 15°

2.2. Phương pháp đánh giá chất lượng lớp phủ

Bột phun Cr₃C₂-NiCr, hình thái học bề mặt và tổ chức mặt cắt ngang lớp phủ được nghiên cứu phân tích trên kính hiển vi điện tử quét Nova Nano SEM 450 FEI (Nhật).

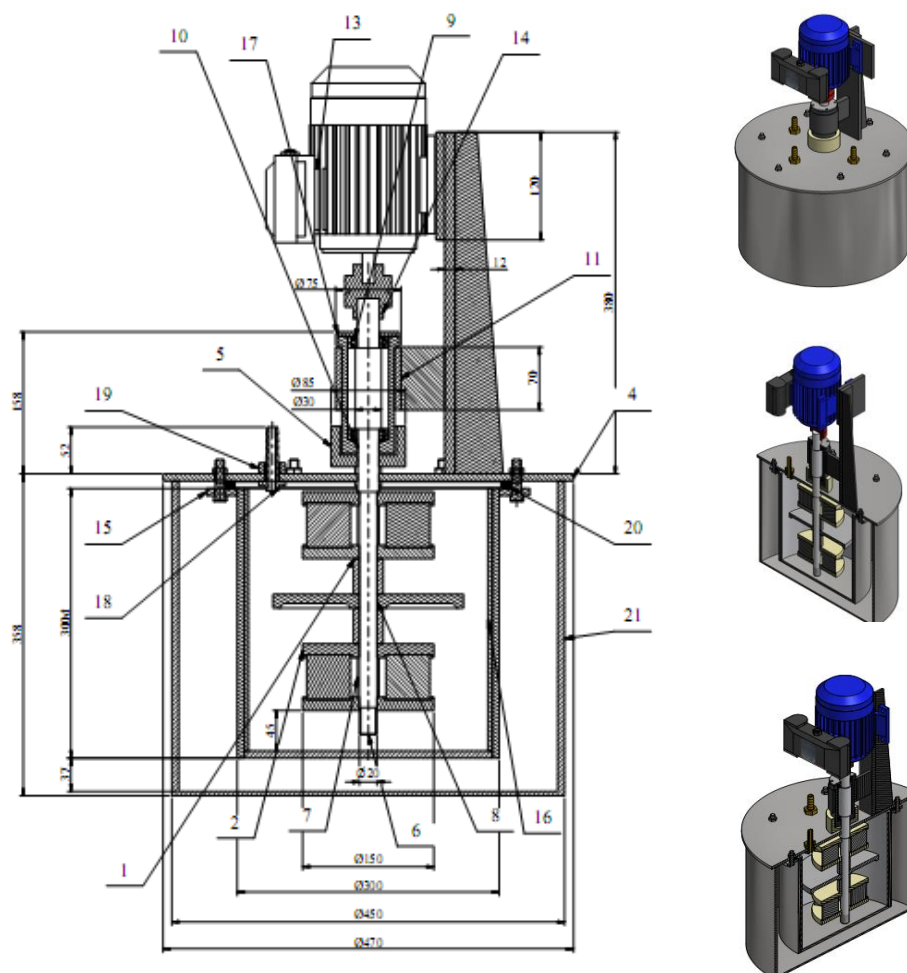
Độ xốp của lớp phủ được xác định bằng phương pháp phân tích ảnh hiển vi quang học theo tiêu chuẩn ASTM B276 dưới kính hiển vi quang học Axio Observer D1m (Đức).

Thành phần pha của lớp phủ được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ Ronghen (XRD) trên thiết bị X-RAY D5005/ SIEMENS (Đức) với chế độ và điều kiện đo cụ thể như sau: nhiệt độ 25°C, góc 2 θ được quét từ 10° đến 70°, bước đo 0,03°, bước quét 1 s, sử dụng anot Cu.

Độ cứng của lớp phủ được xác định bằng phương pháp đo độ cứng tế vi theo tiêu chuẩn ISO 6507-2, sử dụng thiết bị đo độ cứng FM-100 (Nhật).

Khả năng bám dính trượt của lớp phủ được đo theo tiêu chuẩn JIS H8666 trên thiết bị kéo nén vạn năng model HT-2101A - 300.

Độ bền ăn mòn mài mòn của lớp phủ đã được thử nghiệm với thiết bị thử nghiệm (Hình 1) được tiến hành trong dung dịch muối NaCl 3,5% có chứa 0,25% SiO₂ hạt rắn ở nhiệt độ phòng trong 168 giờ, áp dụng tốc độ quay 2000 vòng/phút (tương đương 15 m/s) lên các mẫu phủ. Bề mặt mẫu được quan sát theo thời gian thử nghiệm.

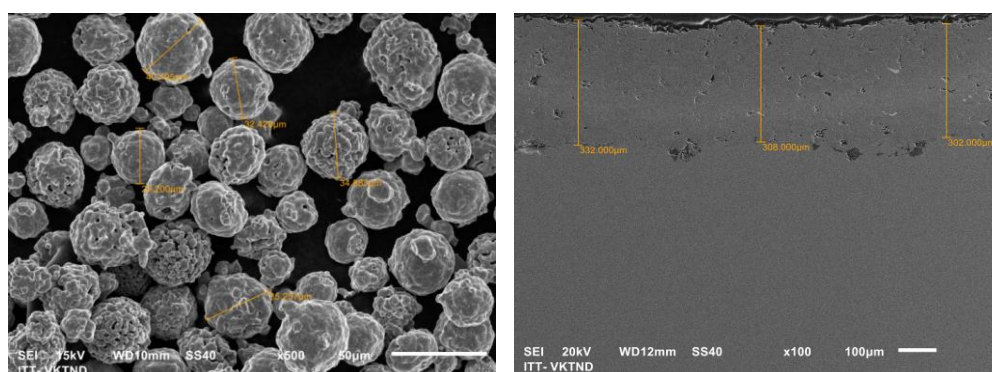


Hình 1. Sơ đồ thiết kế thiết bị thử ăn mòn mài mòn

3. Kết quả và thảo luận

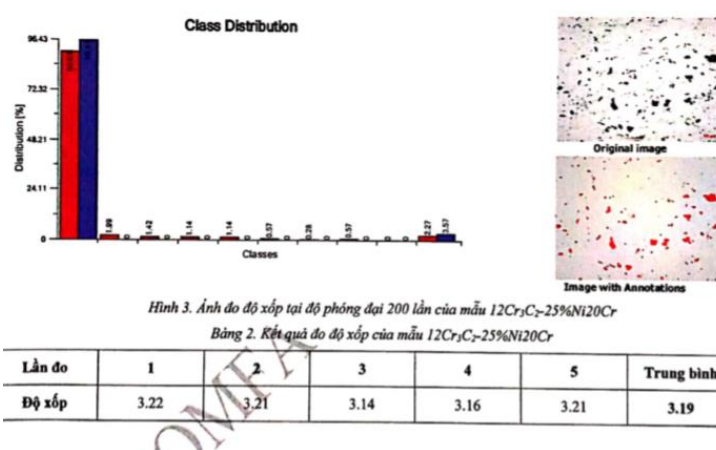
3.1. Hình thái học của bột phun và tổ chức mặt cắt ngang lớp phủ Cr_3C_2-NiCr

Hình thái học của bột phun và lớp phủ Cr_3C_2-NiCr quan sát trên ảnh hiển vi điện tử quét SEM (Hình 2) cho thấy, bột được sử dụng trong quá trình chế tạo lớp phủ bằng phương pháp APS có dạng hình cầu với kích thước hạt dao động trong khoảng 25-40 μm ; lớp phủ có chiều dày khoảng 300-350 μm ; tổ chức lớp phủ không đồng nhất, có chứa các lỗ rỗng (sẫm màu), các vùng phân cách và oxit (sáng màu) [2].



Hình 2. Ảnh SEM của bột phun (bên trái) và lớp phủ Cr_3C_2-NiCr (bên phải)

3.2. Độ xốp của lớp phủ



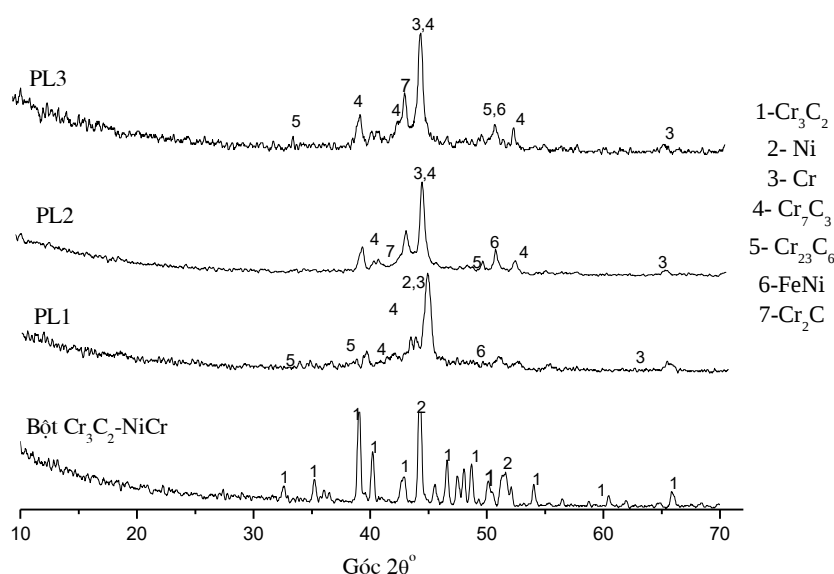
Hình 3. Ảnh mặt cắt ngang chụp dưới kính hiển vi quang học với độ phóng đại x200 và kết quả phân tích độ xốp của lớp phủ Cr_3C_2-NiCr

Độ xốp của lớp phủ được xác định bằng phương pháp phân tích ảnh hiển vi quang học (Hình 2) được xác định theo tiêu chuẩn ASTM B276 dưới sự hỗ trợ của phần mềm phân tích cấu trúc pha AxioVision Microscope Software. Giá trị độ xốp đo được là giá trị trung

biên được đo tại 5 vị trí khác nhau trên cấu trúc mặt cắt ngang của lớp phủ. Kết quả phân tích độ xốp của các mẫu lớp phủ được thể hiện trên Hình 3. Kết quả đo độ xốp cho thấy, các lớp phủ có độ xốp khác nhau tùy thuộc vào chế độ phun phủ plasma, dao động trong khoảng từ 3,1-3,9% [3]. Mẫu có độ xốp thấp nhất khi lớp phủ được phun với dòng điện plasma là 600 A với lưu lượng cấp bột là 10 g/lít và khoảng cách phun là 100 mm. Trong khi đó, mẫu có độ xốp cao nhất 3,9% khi lớp phủ được phun với dòng điện plasma là 400 A với lưu lượng cấp bột là 50 g/lít và khoảng cách phun là 200 mm. Độ xốp là một trong những yếu tố quan trọng của lớp phủ, trong quá trình phun khi các hạt chưa nóng chảy hết chúng sẽ bị đông đặc và co ngót thể tích tạo thành các rỗ xốp tế vi. Ngoài ra, do sắp xếp các hạt phun sau không đồng đều sinh rỗ xốp, độ xốp của lớp phủ thể hiện trên (Hình 3) ảnh chụp tổ chức tế vi. Độ xốp còn phụ thuộc vào việc lựa chọn tối ưu hóa các thông số phun như: kích thước hạt phun, tốc độ phun, lưu lượng bột phun và khoảng cách phun,...

3.3. Thành phần pha

Thành phần pha của các lớp phủ được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia rơn ghen (XRD) cùng với bột Cr_3C_2 -25NiCr. Kết quả phân tích được thể hiện trên (Hình 4) cho thấy, trong thành phần bột Cr_3C_2 -25NiCr sử dụng để chế tạo lớp phủ chủ yếu bao gồm 2 thành phần pha chính là Cr_3C_2 và Ni [3].



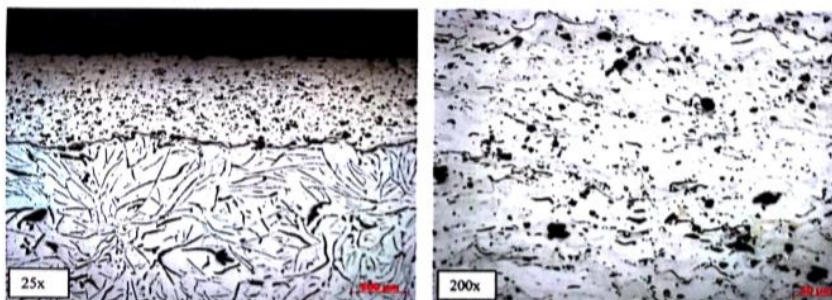
Hình 4. Phổ XRD phân tích thành phần của bột phun và lớp phủ Cr_3C_2 -NiCr

Kết quả phân tích thành phần pha có trong các mẫu lớp phủ cho thấy, pha tinh thể Cr_3C_2 không còn xuất hiện trong các lớp phủ, tinh thể này đã bị biến đổi thành các pha khác nhau, tùy theo chế độ phun. Cụ thể, các pha tinh thể Cr_7C_3 và Cr_{23}C_6 đã được tìm thấy trong một số mẫu lớp phủ. Đặc biệt, pha liên kim FeNi cũng đã được tìm thấy trong cả 3 mẫu lớp phủ được phun với chế độ công nghệ khác nhau. Do ảnh hưởng của nhiệt độ trong quá trình

phun, dẫn đến có sự tương tác giữa lớp phủ với bề mặt thép nền, tạo thành pha liên kim hình thành trong các mẫu lớp phủ. Pha liên kim này sẽ góp phần làm tăng khả năng bám dính của lớp phủ với nền thép.

3.4. Độ cứng của lớp phủ

Độ cứng tế vi của các mẫu lớp phủ đo theo tiêu chuẩn ISO 6507-2 (Hình 5). Kết quả độ cứng cao nhất đo được trên mẫu đạt giá trị là 988 HV, tương đương 68 HRC, trong khi mẫu có độ cứng thấp nhất chỉ đạt 668 HV [4]. Lớp phủ crom cacbit có cấu trúc không đồng nhất, luôn chứa ôxít và các lỗ rỗng. Độ cứng lớp phủ có giá trị thấp hơn so với các vật liệu tương đương khi đúc hoặc rèn. Độ cứng phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trước hết là phương pháp phun và khi phun cùng một phương pháp các điều kiện phun như chế độ làm việc của đầu phun, khoảng cách phun, các tính chất vật lý của vật liệu nền, các tính chất của vật liệu phun, tốc độ cấp vật liệu phun, tốc độ di chuyển của đầu phun hay vật liệu nền... Mặc dù quá trình oxy hóa có thể làm tăng độ cứng của lớp phủ, nhưng quá trình này lại làm giảm cường độ bền bên trong của lớp phủ, do đó có thể làm giảm hiệu quả của lớp phủ. Thông thường độ cứng các hạt tạo thành lớp phủ cao hơn độ cứng vật liệu phun, vì vậy, lớp phủ có độ chịu mài mòn tốt.



Hình 2. Ảnh tổ chức tế vi của mẫu 23Cr₃C₂-25%Ni20Cr

2. Độ cứng tế vi

Bảng 1. Kết quả đo độ cứng tế vi của mẫu, 0.3 HV

Lần đo	1	2	3	4	5	Trung bình
Mẫu 12Cr ₃ C ₂ -25%Ni20Cr	668.2	721.9	602.1	685.3	757.2	686.94
Mẫu 23Cr ₃ C ₂ -25%Ni20Cr	988.1	953	906.9	913.3	926.2	937.5

Hình 5. Độ cứng tế vi của lớp phủ Cr₃C₂-NiCr

3.5. Khả năng bám dính trượt của lớp phủ

Độ bền bám dính trượt của lớp phủ được xác định theo tiêu chuẩn JIS-H8666, theo đó mẫu được thiết kế dạng hình trụ và được phun lớp phủ đạt chiều dày khoảng 400 μm, sau đó mẫu được gia công cơ khí để đạt các kích thước theo yêu cầu. Kết quả xác định khả năng bám dính cho thấy, mẫu có độ bám dính trượt cao nhất 60 MPa được phun với dòng điện plasma 400 A, khoảng cách phun 125 mm, lưu lượng cấp bột 15 g/phút [4, 5].

Độ bám dính của lớp phủ phụ thuộc vào những yếu tố chính, bao gồm độ nhám bề mặt, nhiệt độ nóng chảy của các hạt. Với kết quả thí nghiệm thu được, có thể nhận thấy rằng, với mỗi giá trị độ nhám khác nhau đều có giá trị lực bám dính tương ứng. Sự sắp xếp của các hạt nóng chảy khi va đập với bề mặt mẫu phun là một yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến khả năng bám dính của lớp phủ với bề mặt chi tiết đồng thời ảnh hưởng đến sự tiêu hao nguyên vật liệu trong quá trình phun. Độ bám dính là một trong những thông số quan trọng nhất khi triển khai ứng dụng thực tế. Do quá trình làm nguội nhanh, sự khuếch tán qua lại giữa lớp phủ và vật liệu nền chỉ xảy ra ở mức độ hạn chế, do đó, sự bám dính chủ yếu mang tính chất vật lý, không mang tính chất luyện kim hay hóa học.

3.6. Độ bền ăn mòn mài mòn của lớp phủ

Thử nghiệm được tiến hành trong nước muối NaCl 3,5% có chứa các hạt rắn SiO_2 gây mòn, các mẫu phủ được gắn chặt trên gá và quay với tốc độ 2.000 vòng/phút trong thời gian 168 giờ. Cứ sau mỗi 24 giờ, các mẫu được chụp ảnh bề mặt quan sát sự xuất hiện các khuyết tật (điểm gỉ, vết nứt, vết phòng rộp). Kết quả thử nghiệm trên các mẫu phủ phun ở các chế độ khác nhau cho thấy, bề mặt các mẫu đều không có hiện tượng bong tróc, thời gian xuất hiện điểm gỉ là khác nhau, mẫu có độ xốp cao thì thời gian xuất hiện điểm gỉ sớm hơn nhiều so với các mẫu có độ xốp thấp [6].

3.7. Ứng dụng lớp phủ để phục hồi và nâng cao độ bền mòn cho các chi tiết máy bơm nước biển tuần hoàn

Kết quả nghiên cứu đánh giá các chỉ tiêu tính chất lớp phủ gốm đã được sử dụng để phục hồi mòn và nâng cao độ bền cho các chi tiết của hệ thống bơm tuần hoàn dùng để bơm nước biển làm mát tuabin tại Nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn 1 [7].



Cánh hướng

Bánh công tác

Vành áo bơm

Hình 6. Ảnh chụp các chi tiết máy bơm tuần hoàn trước và sau khi xử lý phủ gốm chống mòn

- Thông số kỹ thuật của hệ thống: động cơ 1.200 kW; lưu lượng bơm 22.000 m³/h; tốc độ quay 423 vòng/phút; áp suất làm việc 186 KPa; dung dịch bơm là nước biển có nhiệt độ 13-35°C.

- 3 chi tiết được xử lý: cánh hướng dòng bằng gang hợp kim 2NiFC (đường kính 1.600 mm, cao 1.000mm); cánh động bằng thép không gỉ SUS 316 (đường kính 1.116 mm, cao 550 mm); vành áo bơm bằng thép không gỉ SUS 316 (Hình 6).

- Số lượng: 02 bơm.

- Thời gian đưa vào lắp đặt sau khi phủ: tháng 10/2019.

- Kết quả khảo nghiệm sau 12 tháng: lớp phủ không bị mòn, đảm bảo các tính năng làm việc của cả 2 hệ thống bơm.

Với kết quả khảo nghiệm sau 12 tháng vận hành, nhà máy đã tin tưởng và đặt nhóm đề tài xử lý tiếp 2 bơm tuần hoàn của Tổ máy số 2, các sản phẩm đã được đưa vào vận hành từ tháng 11/2020 và đang tiếp tục được theo dõi đánh giá.

4. Kết luận

Lớp phủ gốm Cr₃C₂-NiCr chế tạo bằng phương pháp phun phủ plasma đã được nghiên cứu đánh giá và thử nghiệm thực tế. Có 3 thông số công nghệ chế tạo lớp phủ đã được khảo sát, bao gồm dòng điện tạo plasma, khoảng cách phun và lưu lượng cấp bột:

- Độ xốp của lớp phủ có giá trị nhỏ nhất đạt 3,2% khi lớp phủ được phun với lưu lượng cấp bột 15 g/phút, dòng điện tạo plasma là 400 A và khoảng cách phun 120 mm.

- Độ cứng tế vi và độ bền bám dính trượt của lớp phủ có giá trị cao nhất đạt tương ứng là 68 HRC và 60 MPa.

- Phân tích XRD cho thấy sự hình thành mới của một số pha cacbit như Cr₂₃C₆ và Cr₇C₃.

- Thử nghiệm ăn mòn mài mòn cho kết quả tương thích với các thử nghiệm đánh giá cơ tính.

- Trên cơ sở các kết quả phân tích trong phòng thí nghiệm, lớp phủ gốm với chế độ phun phủ phù hợp đã được ứng dụng để phủ các chi tiết của 2 hệ thống máy bơm tuần hoàn nước biển của Nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn 1 và cho các kết quả tốt sau hơn 1 năm đưa vào sử dụng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí nghiên cứu KHCN từ Bộ Công thương và Tập đoàn Điện lực Việt Nam các năm từ 2018 đến 2021.

Tài liệu tham khảo

- [1] Vũ Minh Thành và các đồng sự (2017). *Lớp phủ vô cơ*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.
- [2] Phạm Thị Ha, Nguyễn Văn Tuấn, Lê Thu Quy, Nguyễn Tuấn Anh, Phạm Thị Ly, Lý Quốc Cường, Đào Bích Thủy (2018). "A study on erosion and corrosion behavior of Cr₃C₂-NiCr cermet coatings". *Journal of Science and Technology*, 56(3B), 42-49, 2018. DOI: 10.15625/2525-2518/56/3B/12785.
- [3] Tuấn Nguyễn Văn, Tuấn Anh Nguyễn, Quy Lê Thu, Hà Phạm Thị (2019). "Influence of plasma spraying parameters on microstructure and corrosion resistance of Cr₃C₂-25NiCr cermet carbide coating". *Anti-Corrosion Methods and Materials*, <https://doi.org/10.1108/ACMM-09-2018-2003>.

- [4] Đỗ Quang Chiến và các cộng sự (2018). “Nghiên cứu chế tạo hệ lớp phủ có chứa crôm cacbid trên nền gang bằng công nghệ phun phủ nhiệt để nâng cao độ bền mài mòn khi làm việc trong các môi trường khắc nghiệt”. Đề tài cấp Bộ Công thương, 2018-2019.
- [5] Van Tuan Nguyen, Tuan Anh Nguyen, Thi Ha Pham, Thu Quy Le, Quang Chien Do (2019), “Plasma spray Cr_3C_2 -NiCr coating: fabrication and characterisation of properties”. *The 4th International Workshop on Welding & Joining*, HUST, March 29th, 2019.
- [6] Ha Pham Thi, Tuan Nguyen Van, Tuan Anh Nguyen, Quy Le Thu, Ly Pham Thi, Thuy Dao Bich, Trung Trinh Van, Cuong Ly Quoc (2021). “ Cr_3C_2 -25NiCr cermet coating: preparation, PTFE sealant, wear and corrosion resistances”. *Journal of Thermal Spray Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11666-021-01155-5>
- [7] Vũ Đình Hải, Nguyễn Văn Tuấn và các cộng sự (2019). “Nghiên cứu chế tạo lớp phủ Cr_3C_2 -25NiCr bằng công nghệ phun phủ plasma ứng dụng để phục hồi và nâng cao tuổi thọ cho các chi tiết trong các nhà máy nhiệt điện”. Đề tài Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN) 2019-2021.