

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG LỚP PHỦ MẠ XOA COMPOSITE Ni/nano-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ĐỂ  
PHỤC HỒI KÍCH THƯỚC BỊ MÒN CHO TRỤC MÁY PHÁT ĐIỆN CỦA NHÀ MÁY  
THỦY ĐIỆN

RESEARCH ON APPLICATION OF BRUSH-PLATING Ni/nano-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COMPOSITE  
COATING FOR DIMENSION RESTORATION OF GENERATOR SHAFTS IN  
HYDROPOWER PLANTS

Đỗ Thanh Tùng\*, Lê Thu Quý, Ngô Xuân Cường, Nguyễn Anh Tuấn

Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí

\* Email: dttung1010@gmail.com

Tel: 024.38370354; Mobile: 0918122993

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu ứng dụng lớp phủ composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lên bề mặt chi tiết cổ trục máy phát điện của nhà máy thủy điện bằng phương pháp mạ xoa, nhằm khôi phục lại kích thước đường kính ban đầu và đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của cổ trục bị mòn hỏng. Kế thừa các nghiên cứu trước của nhóm chúng tôi về mạ xoa, trên cơ sở ứng dụng kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp đến tốc độ hình thành lớp mạ, 2 cổ trục máy phát điện đường kính 300<sub>-0,02</sub> mm đã được phục hồi về kích thước 300<sup>+0,03</sup> mm, với lớp phủ mạ xoa nanocomposite có độ cứng tương thích với vật liệu nền.

Từ khóa: Mạ xoa; Lớp phủ nanocomposite; Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Trục máy phát điện.

## ABSTRACT

The paper presents the research results of applying Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coating on worn generator shafts of hydropower plants, in order to restore the original diameter dimension ensuring the technical requirements of the shafts. Based on our previous studies in the brush-plating technique, specifically, the results of the influence of the plating voltage on the coating formation rate, 2 worn generator shafts of diameter 300<sub>-0,02</sub> mm were restored to size 300<sup>+0,03</sup> mm by the nanocomposite coating with the hardness compatible with the shaft material.

Keywords: Brush plating; Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Nanocomposite coating; Generator shaft.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mạ xoa là một trong những phương pháp công nghệ xử lý bề mặt tiên tiến với cơ chế hình thành lớp phủ tương đồng với mạ điện [1]. Mạ xoa cho phép vừa phục hồi kích thước bị hao mòn, vừa tạo được chất lượng bề mặt về độ cứng, khả năng chịu mài mòn, chịu ăn mòn v.v...[2]. Hiện nay, mạ xoa đã được ứng dụng trong việc phục hồi bề mặt các chi tiết bị hư hỏng, tạo nên một lớp kim loại có độ bền cao trên bề mặt của chi tiết, bảo vệ bề mặt các chi tiết không bị xước, bị mòn, chống lại sự ăn mòn hoá học [3]. Với phương pháp này, có thể bù đắp kim loại cho các chi tiết máy bị mài mòn tại chỗ. Phương pháp mạ xoa có thể tạo lớp phủ từ 19 kim loại tiêu chuẩn và hợp kim như đồng, niken, crom... [1]. Lớp phủ mạ xoa nanocomposite là lớp phủ mạ xoa được bổ xung thêm các hạt gốm với kích thước nano nhờ vào sự phân tán và thấm ướt. Lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> được hình thành từ việc phân tán các hạt nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vào bên trong lớp mạ nền ni ken bằng phương pháp mạ xoa.

Lớp phủ nanocomposite cũng đang được rất nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm, các nghiên cứu của Lingzhong Du và cộng sự về Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite cho biết độ cứng lớp mạ gia tăng khi mật độ hạt nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gia tăng, Với giá trị hàm lượng hạt nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20g/l thì độ cứng, độ chịu mài mòn của lớp phủ cao hơn 60% so với lớp mạ Ni tinh khiết [12].

Với các hạt kích thước nm trong lớp phủ Ni composite, việc đưa các hạt nano có độ cứng rất lớn (SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kim cương) vào bên trong lớp phủ Ni-P thì độ cứng của composite được

cải thiện rất nhiều, qua đó nâng cao độ bền mài mòn [13]. Khi đưa các hạt nano-SiO<sub>2</sub> vào lớp phủ Ni-P (2% thể tích) thì độ cứng của lớp mạ cũng tăng lên từ 785 HV đến 970 HV [10], có thể đạt tới giá trị 1340 HV [11].

Các nghiên cứu trước đây của tác giả và cộng sự đã có một số kết quả như chế tạo thành công lớp mạ nanocomposite nền Ni có chứa hạt nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bằng công nghệ mạ xoa. Đánh giá ảnh hưởng của 3 thông số công nghệ mạ tới độ bền mài mòn đã được khảo sát, bao gồm mật độ dòng điện mạ, nhiệt độ dung dịch mạ và hàm lượng hạt nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tác giả cũng chỉ ra rằng, với sự có mặt của hạt nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, độ bền mài mòn của lớp mạ nanocomposite có thể nâng cao hơn 2 lần so với độ bền của lớp mạ niken thường [7].

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu ứng dụng để tạo lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lên bề mặt chi tiết cố trục máy phát điện của nhà máy thủy điện nhằm phục hồi lại kích thước bị hao mòn của cố trục. Đây là một giải pháp công nghệ mới vừa có tính khoa học vừa đem lại hiệu quả kinh tế cho ngành sản xuất công nghiệp.

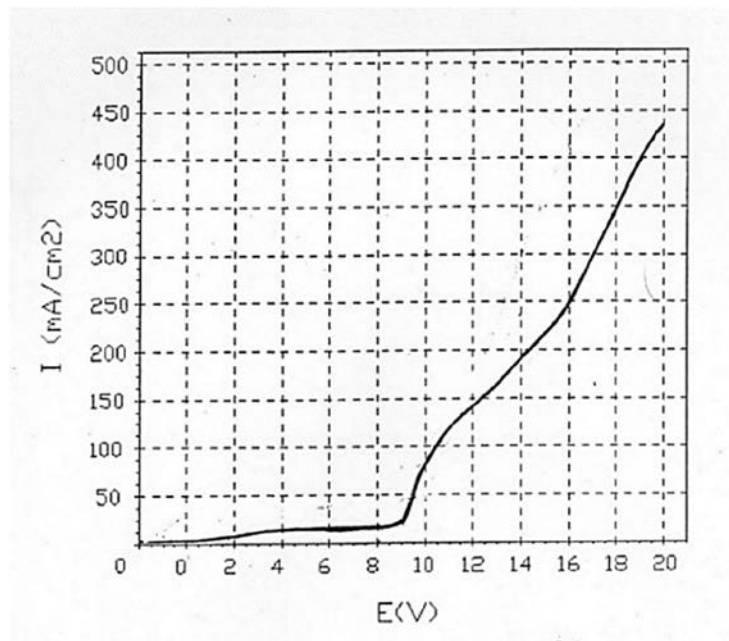
## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Nghiên cứu thực nghiệm

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trước của tác giả và cộng sự, các nghiên cứu ứng dụng của công nghệ mạ điện và các nghiên cứu về lớp phủ composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> để thực hiện các thí nghiệm nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng. Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện trên các mẫu thí nghiệm nhằm khảo sát ảnh hưởng của điện áp đến chất lượng lớp phủ đến tốc độ hình thành lớp phủ mạ xoa, làm cơ sở để nghiên cứu ứng dụng thực tế. Đánh giá ảnh hưởng của điện áp mạ đến tốc độ hình thành lớp mạ cũng được nhắc đến trong nhiều nghiên cứu cơ bản. Tốc độ hình thành lớp phủ mạ xoa sẽ tăng lên khi điện áp tăng dần [3].

#### 2.1.1. Dung dịch mạ

Dung dịch mạ xoa được sử dụng trong các nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng được chế tạo trong nước, pha chế tại Phòng TNTĐ CN Hàn và Xử lý bề mặt – Viện nghiên cứu Cơ khí. Với công thức pha chế được trình bày trong các nghiên cứu trước đây của tác giả [9] và tham khảo tài liệu [1].



Hình 1. Đường cong phân cực dung dịch mạ xoa niken nhanh tại 50<sup>0</sup>C [7]

Bảng 1 là các bước công nghệ của quá trình mạ xoa chính[8,9] .

Bảng 1. Các bước công nghệ và dung dịch của quá trình mạ xoa

Bước thực hiện	#1. Làm sạch điện phân	#2. Hoạt hóa lần 1	#3. Hoạt hóa lần 2	#4. Nước rửa làm sạch	#5. Mạ lót	#6. Mạ Ni/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Loại dung dịch	Dung dịch làm sạch số 1	Dung dịch làm sạch số 2	Dung dịch làm sạch số 3	Nước tinh khiết	Niken đặc biệt	Niken nhanh

Dung dịch niken nhanh được bổ sung thêm các hạt nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> có dạng nano  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (độ tinh khiết 99,85%; kích thước hạt ~100 nm) [8]. Với điện áp trong khoảng 6÷10 V, dung dịch niken nhanh cho thấy sự ổn định [7]. Ta có đường cong phân cực của dung dịch tại nhiệt độ 50<sup>0</sup>C như Hình 1 [7].

### 2.1.2. Mẫu thí nghiệm

Các mẫu thí nghiệm dạng đĩa phẳng, có đường kính 60 mm, dày 5 mm (Hình 2), vật liệu là thép C45, mài phẳng hai mặt đạt độ nhám cấp 8.



Hình 2. Mẫu thí nghiệm nghiên cứu thực nghiệm

### 2.1.3. Thiết bị mạ xoa và phụ trợ

Các thí nghiệm trong nghiên cứu này sử dụng hệ thống thiết bị mạ xoa LDC-100A của Mỹ với các điện cực phẳng làm bằng graphit có kích thước là 50 x 50 x 20 mm.

Sử dụng thiết bị khuấy từ ARE (Ý) với khả năng gia nhiệt đến 300<sup>0</sup>C và tốc độ khuấy 8000 rpm dùng để gia nhiệt dung dịch và khuấy phân tán hạt nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vào dung dịch.

Các thiết bị kiểm tra chất lượng lớp mạ: máy đo độ dày lớp phủ Mitutoyo DIGI-DERM 745 và thiết bị đo độ cứng Mitutoyo của Nhật Bản.

Tốc độ mạ của từng mẫu thí nghiệm sẽ được tính theo tốc độ mạ trung bình bằng cách đo độ dày lớp phủ tại nhiều vị trí khác nhau (5 vị trí) và lấy độ dày lớp phủ trung bình chia cho thời gian mạ:

$$V = m_{tb}/t \quad (\mu\text{m}/\text{phút}) \quad (1)$$

### 2.1.4. Kế hoạch thực nghiệm

Nhóm nghiên cứu thực hiện các thí nghiệm khảo sát thăm dò ảnh hưởng của điện áp mạ đến tốc độ hình thành lớp phủ mạ xoa. Lý do lựa chọn điện áp mạ để khảo sát bởi vì điện áp mạ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng lớp mạ. Nếu điện áp cao, dòng điện mạ xoa lớn, tốc độ mạ nhanh, dễ hình thành lớp mạ thô xốp. Dòng điện lớn làm phát sinh nhiệt, tăng nhiệt độ dung dịch mạ xoa, tốc độ mạ xoa càng nhanh, bề mặt lớp mạ càng khô nhanh, làm tốn nhiều dung dịch mạ, dương cực dễ bị cháy khiến cho lớp mạ bị đen và thô rám, thậm chí bong ra do quá

hiệt. Nếu điện áp quá thấp, tốc độ hình thành lớp mạ quá chậm, đồng thời tính năng lớp mạ cũng xấu. Muốn cho lớp mạ đảm bảo cần xác định phạm vi sử dụng của điện áp và mật độ dòng điện phù hợp với dung dịch [3-6].

Thực hiện các thí nghiệm với các thông số chính được cố định như sau:

- Hàm lượng nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ :  $M = 20 \text{ g/l}$  [6,9]
- Nhiệt độ dung dịch mạ:  $T = 50^\circ\text{C}$  [6,9]
- Thời gian mạ:  $t = 30 \text{ phút}$

Thông số được khảo sát là điện áp mạ với các giá trị từ 6-10 V phù hợp với dung dịch niken nhanh mà nhóm tác giả sử dụng và chọn thêm 2 mức giá trị cao hơn 10 V (khảo sát tăng tốc độ hình thành lớp mạ): Điện áp mạ  $U = 6-14 \text{ V}$ , với 5 giá trị có bước thay đổi là 2 V.

Kết thúc mỗi thí nghiệm nhóm tác giả tiến hành đánh giá chất lượng lớp mạ bằng ngoại quan và đo độ dày lớp mạ với 5 vị trí để tính toán tốc độ mạ trung bình của mỗi thí nghiệm.

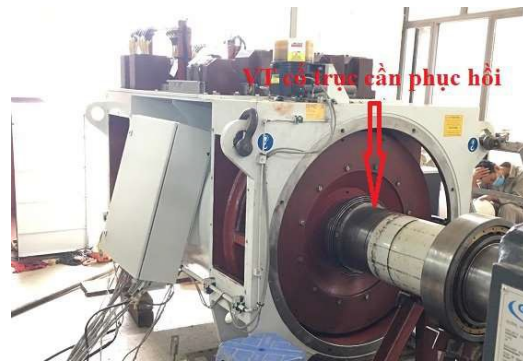
Thí nghiệm kiểm chứng được thực hiện sau khi 5 thí nghiệm khảo sát hoàn thành, nhằm đánh giá lại chất lượng lớp phủ mạ xoa trên cơ sở các chỉ tiêu: kiểm tra ngoại quan, độ dày, độ cứng với thời gian mạ sẽ tăng lên 60 phút. Bảng 2 thể hiện phương án thực hiện các thí nghiệm.

Bảng 2. Bảng phương án thực nghiệm

TT	Ký hiệu mẫu	U (V)	M (g/l)	T ( $^\circ\text{C}$ )	t (phút)	Ghi chú
1	TN1	6	20	50	30	
2	TN2	8	20	50	30	
3	TN3	10	20	50	30	
4	TN4	12	20	50	30	
5	TN5	14	20	50	30	
6	TN6	X	20	50	60	TN Kiểm chứng

## 2.2. Nghiên cứu ứng dụng

Nghiên cứu ứng dụng lớp phủ mạ xoa được thực tại một nhà máy thủy điện vừa và nhỏ ở tỉnh Lào Cai (Hình 3). Nhóm tác giả chế tạo lớp phủ mạ xoa composite lên bề mặt chi tiết cổ trục máy phát điện của thiết bị thủy điện, nhằm phục hồi kích thước bị mòn. Cổ trục máy phát điện cần phục hồi được chế tạo bằng thép S45C có độ cứng bề mặt từ 42 – 45 HRC ( tương đương với ( 420 – 450 HV) và kích thước đường kính ban đầu  $300^{+0,03} \text{ mm}$ , sau thời gian sử dụng đã bị hao mòn về kích thước đường kính  $300_{-0,02} \text{ mm}$ .



Hình 3. Máy phát điện có cổ trục bị mòn tại Nhà máy thủy điện Bản Xèo

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Nghiên cứu thực nghiệm

#### 3.1.1. Thí nghiệm thăm dò

Nhóm tác giả thực hiện mạ xoa tạo lớp phủ composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lên bề mặt các mẫu thí nghiệm với tiến trình công nghệ theo tài liệu [8,9] và thông số như Bảng 2. Tiến hành kiểm tra ngoại quan (Hình 4) và đo độ dày lớp phủ mạ xoa và tính toán tốc độ hình thành lớp mạ cho kết quả nêu ở Bảng 3 (độ dày được đo ở nhiều điểm khác nhau trên mẫu thử).

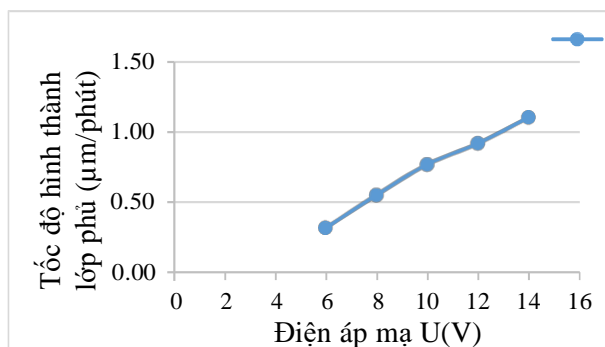
Bảng 3. Kết quả thí nghiệm nghiên cứu thực nghiệm

TT	Ký hiệu mẫu	Dòng điện I (A)	Độ dày m (μm)	Kiểm tra ngoại quan	Tốc độ mạ trung bình v (μm/phút)
1	TN1	6,8 ÷ 7,9	8 ÷ 11	Mịn, nhẵn bóng	0.32
2	TN2	9,1 ÷ 10,8	14 ÷ 19	Mịn, nhẵn bóng	0.55
3	TN3	11,2 ÷ 15,6	22 ÷ 24	Mịn, nhẵn bóng	0.77
4	TN4	14,5 ÷ 19,8	26 ÷ 29	Sần sùi, có hiện tượng gai	0.92
5	TN5	17,1 ÷ 25	27 ÷ 39	Sần sùi, có hiện tượng gai	1.1

Đồ thị Hình 5 cho thấy khi tăng điện áp thì tốc độ mạ tăng. Kết quả kiểm tra ngoại dạng ở Bảng 3 cho thấy ở điện áp mạ 10 V, lớp mạ xoa thu được có bề mặt mịn, nhẵn bóng và tốc độ mạ cao nhất 0,77 μm/phút.



Hình 4. Mẫu thí nghiệm sau khi mạ



Hình 5. Ảnh hưởng của điện áp mạ đến tốc độ hình thành lớp mạ

### 3.1.2. Thí nghiệm kiểm chứng

Tiến hành thực hiện thí nghiệm kiểm chứng với thông số mạ xoa tương ứng với thông số mạ xoa ở thí nghiệm số 3 (TN3): điện áp 10 V, hàm lượng nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: M = 20 g/l, nhiệt độ dung dịch mạ: T = 50°C. Kết thúc thí nghiệm, tác giả tiến hành kiểm tra đánh giá chất lượng lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cho ra kết quả sau (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả chất lượng lớp phủ trên mẫu TN6

TT	Ký hiệu mẫu	Độ cứng (HV)	Độ dày (μm)	Kiểm tra ngoại quan	Thời gian (phút)	Tốc độ mạ trung bình (μm/phút)
1	TN6	643	48 ÷ 55	Mịn, bóng	60	0.86

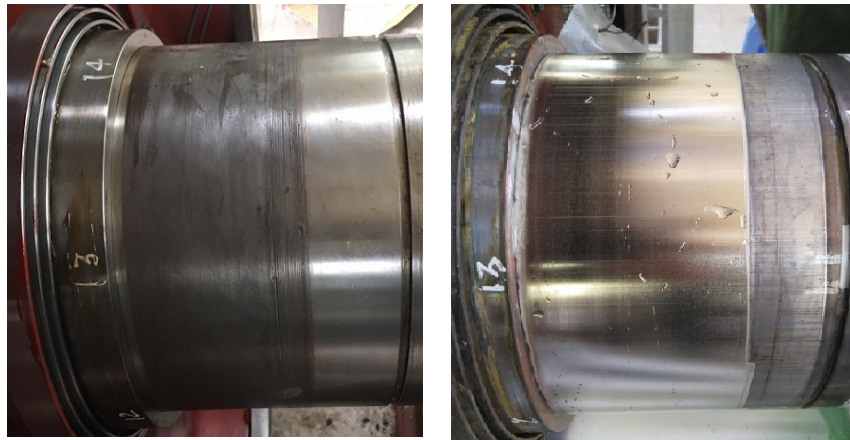


Hình 6. Mẫu thí nghiệm TN6 – mạ kiểm chứng

Bề mặt ngoại quan của mẫu thử TN6 sau khi mạ xoa tạo lớp phủ composite Ni/nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  lên bề mặt (Hình 6). Kết quả đo các chỉ tiêu đánh giá lớp phủ của mẫu TN6 được thể hiện trong Bảng 4 cho thấy lớp phủ composite Ni/nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  được tạo lên bề mặt mẫu có chất lượng tương đồng với các lớp phủ được tạo trong các nghiên cứu trước đây. Kết quả đo tốc độ mạ đạt 0,86 ( $\mu\text{m}/\text{phút}$ ) và độ cứng tế vi của lớp phủ có giá trị 643 HV.

### 3.2. Nghiên cứu ứng dụng

Thực hiện mạ xoa tạo lớp phủ composite Ni/nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  tại vị trí cổ trục máy phát điện đường kính 300 mm với bộ thông số mạ xoa đã thực hiện ở thí nghiệm kiểm chứng (TN6): điện áp 10 V, hàm lượng nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ :  $M = 20 \text{ g/l}$ , nhiệt độ dung dịch mạ:  $T = 50^\circ\text{C}$ , thời gian mạ được thực hiện cho đến khi đạt đủ kích thước phục hồi. Sau khi cổ trục được phục hồi, Nhà máy thủy điện đã kiểm tra đánh giá chất lượng công việc đạt kết quả tốt, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật của trục máy phát với kích thước cổ trục bị mòn có đường kính  $300_{-0,02} \text{ mm}$  đã được phục hồi đến kích thước  $300^{+0,03} \text{ mm}$  và đã đưa vào vận hành ổn định trở lại.



a) Trước khi phục hồi

b) Sau khi mạ xoa phục hồi

Hình 7. Cổ trục máy phát điện bị mòn trước và sau khi phục hồi

## 4. KẾT LUẬN

Qua các nghiên cứu ứng dụng và nghiên cứu thực nghiệm khảo sát ảnh hưởng thông số điện áp mạ trong quy trình công nghệ chế tạo lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  đến tốc độ hình thành lớp phủ mạ xoa, chúng ta rút ra một số kết luận như sau:

- Các thí nghiệm thực nghiệm đã đánh giá được ảnh hưởng của thông số điện áp mạ U (V) trong quy trình công nghệ chế tạo lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  đến tốc độ hình thành lớp phủ mạ xoa. Với bộ thông số chế độ mạ xoa: Điện áp mạ  $U = 10 \text{ (V)}$ ; Hàm lượng hạt  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $M = 20 \text{ g/l}$ ; Nhiệt độ dung dịch mạ  $T = 50^\circ\text{C}$ , đã tạo lớp phủ composite Ni/nano-

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lên bề mặt thép có độ cứng 643 HV, đánh giá ngoại quan lớp phủ mịn, sáng bóng, đồng đều, tốc độ hình thành lớp mạ đạt mức 0,86 μm/phút.

- Nhóm tác giả đã thành công trong việc chế tạo lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lên bề mặt 2 cổ trục máy phát điện của nhà máy phát điện vừa và nhỏ tại Lào Cai. Trục máy phát điện được phục hồi về kích thước ban đầu đường kính 300<sup>+0,03</sup> mm và độ cứng tương thích với vật liệu nền. Các tổ máy phát điện của nhà máy thủy điện được sửa chữa phục hồi trục máy phát đã hoạt động bình thường với các chỉ số giám sát nằm trong mức cho phép. Công tác phục hồi sửa chữa trục máy phát tại nhà máy được đơn vị sử dụng đánh giá cao.

- Ứng dụng lớp phủ mạ xoa composite Ni/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cho việc phục hồi, sửa chữa và nâng cao tính chịu mòn cho chi tiết có kích thước lớn tại hiện trường đã trở thành hướng phát triển mới trong ngành cơ khí. Phương pháp mạ xoa đã mang đến hiệu quả kinh tế lớn, giảm giá thành, dễ dàng và chủ động trong việc phục hồi, sửa chữa các chi tiết, giảm được thời gian, chi phí đầu tư và dễ dàng triển khai rộng rãi trong các cơ sở phục hồi, sửa chữa.

### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn các đồng nghiệp tại Viện nghiên cứu Cơ khí, Nhà máy thủy điện Bản Xèo - Lào Cai đã hỗ trợ, giúp đỡ trong quá trình nghiên cứu và ứng dụng.

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Văn Lộc (2012), Công nghệ mạ đặc biệt, NXB Bách khoa, Hà Nội.
- [2]. L. Du, B. Xu, S. Dong, H. Yang, Y. Wu (2005), Preparation, microstructure and tribological properties of nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni brush plated composite coatings, Surface & Coatings Tech., (192), 311-316.
- [3]. Y. Qian, J. Tan, Q. Lui, H. Yu, R. Xing, H. Yang (2011), Preparation, microstructure and sliding - wear characteristics of brush plating copper nikel multilayer films, Surface & Coatings Tech. (205), 3909-3915.
- [4]. B. Wu, B.Xu, B.Zhang, Y.H. Lu (2007), Preparation, and properties of Ni/ nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings by automatic brush plating, Surface & Coatings Tech., (201), 6933–6939.
- [5]. G. Jiaqiang, L. Lei, W. Yating, S. Bin, H. Wenbin (2006), Electroless Ni–P–SiC composite coatings with superfine particles, Surface & Coatings Tech., (200), 5836-5842.
- [6]. H. Ashassi-Sorkhabi, H. Aminikia, R. Bagheri (2014), Electroless deposition of Ni-Cu-P coatings containing nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles and study of its corrosion protective behaviour in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Intern. Journal of Corrosion, Vol. 2014, 1-9.
- [7]. Cao Minh Loan và các cộng sự (2007), Nghiên cứu chế tạo dung dịch mạ xoa, Đề tài cấp Bộ Công Thương, Phòng thí nghiệm trọng điểm công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện nghiên cứu cơ khí, Hà Nội.
- [8]. Đỗ Thanh Tùng, Lê Thu Quý, Nguyễn Anh Dũng, Lê Đức Thành (2018), Nghiên cứu chế tạo lớp mạ nanocomposite nền Ni bền mài mòn bằng phương pháp mạ xoa, Kỷ yếu Hội nghị KHCN cơ khí toàn quốc lần thứ V, tr 316-324; NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [9]. Đỗ Thanh Tùng và các cộng sự (2020), Nghiên cứu chế tạo lớp phủ mạ xoa nanocomposite nền niken bền ăn mòn mài mòn trong môi trường hóa chất, Đề tài cấp Bộ Công Thương, Phòng TNTĐ công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện nghiên cứu cơ khí, Hà Nội.
- [10]. U.S. Patents 4,547,407 and 4,906,532.
- [11]. D.Dong,X.H.Chen,W.T.Xiao, G.B. Yang, P.Y. Zhang (2009), “Preparation and properties of electroless Ni–P–SiO<sub>2</sub> composite coatings”, Applied Surface Science, 7051–7055.
- [12]. Lingzhong Du, Binshi Xu, Shiyun Dong, Hua Yang, Yixiong Wu, (2005), “Preparation, microstructure and tribological properties of nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni brush plated composite coatings”, (192), 311 – 316.
- [13]. Taher Rabizadeh, Saeed Reza Allahkaram, (2011), “Corrosion resistance enhancement of Ni–P electroless coatings by incorporation of nano-SiO<sub>2</sub> particles”, Materials and Design, (32), 133–138.