

## **Ứng dụng lớp phủ plasma SiC-50Cu để bảo vệ chống mòn cho quạt công nghiệp và bơm hóa chất**

**Ngô Xuân Cường<sup>1</sup>, Lê Thu Quý<sup>1</sup>, Nguyễn Tuấn Anh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu Cơ khí

<sup>2</sup>Viện Kỹ thuật nhiệt đới - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Email: ncuongts@yahoo.com

**Tóm tắt:** Trong nghiên cứu này, lớp phủ composite SiC-50Cu được lắng đọng trên nền thép bằng công nghệ phun phủ plasma trong khí argon. Các thông số phun plasma là (I) 50SiC: nguyên liệu bột 50Cu, (ii) tốc độ cấp liệu bột 40 g/phút, (iii) tốc độ phun không khí 200 L/phút, (iv) dòng điện plasma 400 A, (v) 50 mm phun khoảng cách. Sau khi phun phủ plasma, lớp phủ composite được đặc trưng bởi nhiều kỹ thuật khác nhau. Lớp phủ composite có cường độ bám dính 36 MPa, độ xốp 1,29%, độ cứng 307 HV và hàm lượng pha SiC là 65%. Thử nghiệm ăn mòn trong buồng hỗn hợp được sử dụng để đánh giá tính năng của lớp phủ SiC-50Cu để bảo vệ chống ăn mòn cho cánh quạt công nghiệp và buồng bơm trong môi trường ăn mòn có chứa flo.

**Từ khóa:** Lớp phủ SiC-50Cu, phun plasma, chống ăn mòn, độ bền bám dính, độ cứng

### **Application of SiC-50Cu plasma spray coating for corrosion protection of components of chemical pumps and fans**

**Abstract:** In this study, SiC-50Cu composite coatings were deposited on steel substrate by plasma spray technique in argon gas. The plasma spray parameters were (I) 50SiC: 50Cu powder feedstock, (ii) 40 g/min powder feed rate, (iii) 200 L/min air spray rate, (iv) 400 A plasma current, (v) 50 mm spraying distance. After plasma spraying, composite coatings were characterized by various techniques. The composite coating has an adhesion strength of 36 MPa, porosity of 1.29%, hardness of 307 HV, and the content of SiC phase of 65%. The corrosion test in a mixed chamber was used to evaluate the performance of the SiC-50Cu coating for anticorrosion protection of the propeller fan and pump chamber in fluorine-containing corrosion environments.

**Keywords:** SiC-50Cu coating, plasma spray, anticorrosion, adhesion strength, hardness

#### **1. Đặt vấn đề**

Mòn và ăn mòn kim loại là tình trạng phá hủy thiết bị, công trình diễn ra liên tục theo cơ chế mài mòn và oxy hóa do ảnh hưởng từ môi trường làm việc gây thiệt hại về kinh tế và sức lao động [1].

Qua khảo sát, đánh giá tại một số nhà máy hóa chất cho thấy, các thiết bị trong dây chuyền sản xuất thường rất nhanh hỏng do bị ăn mòn hóa học, đặc biệt, các thiết bị làm việc trong điều kiện khắc nghiệt: môi trường có chứa các yếu tố oxy hóa mạnh, các axit và

hiệt độ cao. Tại nhà máy Supe phốt phát và Hóa chất Lâm Thao, các thiết bị thường bị hỏng do bị ăn mòn gây mất cân bằng, hao mòn, biến dạng như tua-bin, quạt công nghiệp, bơm dung dịch [2].

Một trong những phương pháp bảo vệ chống mòn và ăn mòn cho thiết bị máy móc làm việc trong môi trường hóa chất khắc nghiệt đó là lớp phun phủ nhiệt [3] nhằm ngăn cách đảm nhiệm 2 tính năng: chống mòn cơ học và chống ăn mòn hóa học. Nhiều công trình trên thế giới tập trung nghiên cứu tạo ra những lớp phun phủ nhiệt tốt hơn để bảo vệ thiết bị làm việc trong môi trường khắc nghiệt đó. Đây chính là nhu cầu sử dụng cấp thiết tại nhiều nhà máy hóa chất.

Ở Việt Nam trong những năm gần đây, các công trình nghiên cứu về phun phủ mới chỉ tập trung vào các lớp phủ nhiệt chịu mài mòn cơ là chủ yếu, rất ít những công trình nghiên cứu về lớp phun phủ nhiệt chống mòn trong môi trường hóa chất khắc nghiệt.

Cacbit silic (SiC) được biết đến như một vật liệu đặc biệt ứng dụng vào lớp phủ cho thiết bị làm việc trong môi trường ăn mòn vì nó có khả năng chịu mài mòn và chống ăn mòn rất tốt. Tuy nhiên, phun phủ nhiệt với SiC rất khó do vật liệu này có nhiệt độ nóng chảy cao tới 2.730°C và dễ bị phân hủy trong quá trình phun.

Đồng (Cu) là kim loại đứng cuối dãy hoạt động hóa học, có khả năng chống oxy hóa cũng tương đối cao. Khả năng hình thành lớp phủ đồng rất tốt cả về độ bám dính cũng như tốc độ hình thành lớp phủ do nhiệt độ nóng chảy của đồng không cao (1.085°C).

Việc nghiên cứu thành công lớp phủ SiC-50Cu đã đem lại sự ứng dụng hiệu quả cho các thiết bị quạt và bơm làm việc trong môi trường hóa chất.

## 2. Chế tạo lớp phủ plasma SiC-50Cu trên nền thép C45

### 2.1. Xác định các thông số công nghệ

\* Kích thước hạt: Kích thước hạt của SiC và Cu phải chọn phù hợp trên cơ sở:

- Cỡ hạt SiC được tham khảo theo một số loại bột phun gốm và các bit dùng cho phun phủ plasma như:  $Al_2O_3$  và  $Cr_3C_2$  là 45÷15  $\mu m$

- Tạo ra đồng tốc để tránh sự phân li SiC-Cu.

Vì Cu nặng hơn SiC gần 3 lần nên có thể chọn kích thước hạt Cu nhỏ hơn SiC từ 2÷3 lần. Từ đó, chọn cỡ hạt SiC và Cu cho thí nghiệm như sau: SiC 25÷65  $\mu m$ ; Cu 20÷55  $\mu m$ .

\* Tỷ lệ phối trộn: Tỷ lệ phối trộn nhằm đáp ứng:

- Hình thành lớp phủ đạt chiều dày > 100  $\mu m$ ;

- Đảm bảo hàm lượng SiC cao trong lớp phủ.

Theo [8] đối với bột 2 thành phần chính, tỷ lệ trộn là: Ni - 20Cr; Cr- 50Co. Ở đây Ni, Co hay Cu đều đóng vai trò chất kết dính. Từ đó chọn tỷ lệ bột SiC/Cu là 50/50,

\* Chế độ công nghệ phủ composite SiC-Cu trên nền thép:

Đối với bột composite SiC-Cu, khi phun cần giảm cường độ dòng điện vì Cu nóng chảy ở nhiệt độ 1.085°C, thấp hơn nhiều so với SiC (nóng chảy ở 2.730°C).

Chế độ phun áp dụng đối với bột phun plasma SiC-Cu được chọn theo chế độ phun plasma với bột đồng Cu. Mặt khác dựa trên hướng dẫn của thiết bị đối với phun vật liệu đồng, nhôm, niken, kết hợp với các công trình nghiên cứu về plasma SiC.

Qua phun thăm dò, phun thử nghiệm, phân tích sang lọc và đánh giá kết quả bằng quy hoạch thực nghiệm Taguchi [9] xác định được chế độ công nghệ phun plasma cho bột SiC-50Cu như bảng 1.

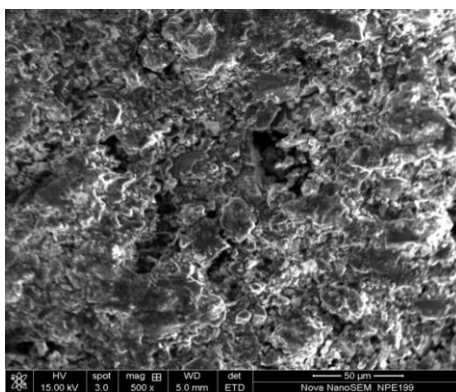
Bảng 1. Chế độ plasma SiC-50Cu trên thép C45

| Thông số                                         |                   |
|--------------------------------------------------|-------------------|
| Cường độ dòng điện, A                            | 400               |
| Điện áp, V                                       | 58                |
| Tốc độ khí sơ cấp (Ar), L/phút                   | 35                |
| Tốc độ khí thứ cấp (khí H <sub>2</sub> ), L/phút | 12                |
| Tốc độ dòng khí mang (Ar), L/phút                | 2                 |
| Tốc độ cấp bột, g/phút                           | 40                |
| Khoảng cách phun, mm                             | 50                |
| Kích thước hạt, $\mu\text{m}$                    | 50 (SiC); 30 (Cu) |
| Thành phần bột                                   | SiC-50Cu          |

## 2.2. Kết quả

\* Cấu trúc lớp phủ SiC-50Cu trên nền thép C45:

Hình 1 là ảnh chụp bề mặt lớp phủ SiC-50Cu. Các hạt SiC phân tán trong ma trận lớp phủ, sự có mặt của các hạt sub-micro Cu trên bề mặt các hạt SiC (với vai trò là chất kết dính).



Hình 1. Ảnh SEM của lớp phủ SiC-50Cu (phóng đại 500 lần)

Thành phần các nguyên tố khác được tổng hợp trong bảng 2, với các hàm lượng như C (30,03%); O (9,6%); Al (0,36%); Si (35,69%); Fe (1,08%) và Cu (22,91%). Dựa theo kết quả phân tích XRD (Hình 2), hàm lượng các pha SiC chiếm cỡ 53 %, trong đó các pha tinh thể là 42% và pha vô định hình chiếm cỡ 11%. Hàm lượng Cu trong lớp phủ chiếm cỡ 47% (tính toán với phần mềm Dquant software có độ sai số  $\pm 3\%$ ).



Nhược điểm chính là lớp phủ luôn tồn tại lỗ xốp nên khó chống lại sự thẩm thấu của môi trường ăn mòn. Để hoàn thiện lớp phủ làm việc tốt hơn trong môi trường ăn mòn xâm thực cần dùng giải pháp thẩm thấu bịt lỗ xốp trong lớp phủ bằng dung dịch PTFE tiến hành gia nhiệt. PTFE là loại polyme trơ với mọi axit, bazơ.

Để đánh giá lớp phủ về khả năng bảo vệ chống ăn mòn, cần phải thực nghiệm tính chất điện hóa và tổn hao khối lượng tổng hợp theo thời gian của các lớp phủ này trong môi trường ăn mòn đặc trưng.

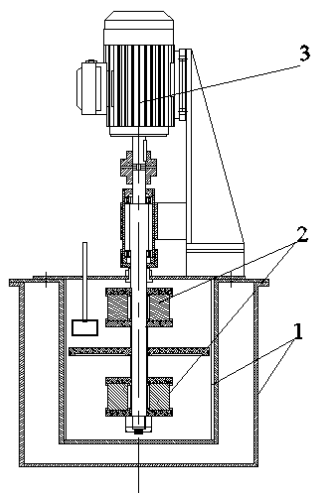
Bảng 3. Kết quả cơ tính lớp phủ SiC-50Cu

| Độ bám dính $\sigma$ (MPa) | Độ xốp $\gamma$ (%) | Độ cứng (HV) | Hàm lượng SiC (%) |
|----------------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| 36,00                      | 1,29                | 307          | 65                |

\* Kết quả chống mòn hỗn hợp:

So sánh khả năng chống ăn mòn hỗn hợp với một dạng môi trường thực tế tại Công ty Supe phot phát và Hóa chất Lâm Thao trên thiết bị thử mòn hỗn hợp (Hình 4).

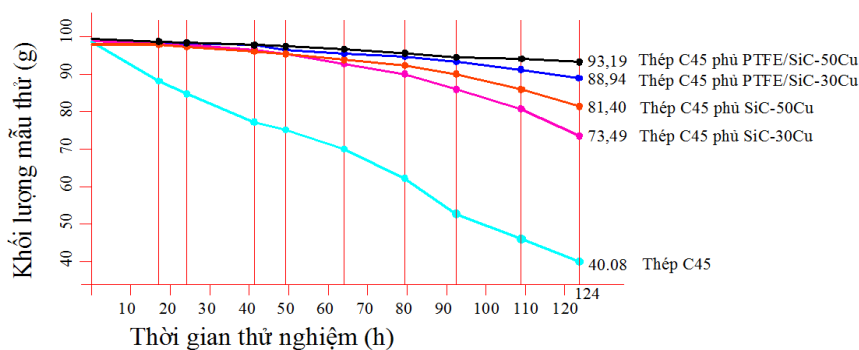
Điều kiện thử: Dung dịch axit chứa hỗn hợp 10% HF + 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 40% hạt mài SiC 0,2 mm trong điều kiện nhiệt độ 70°C. Mẫu được gắn phân bố hình dẻ quạt trên các tầng chứa mẫu (2) quay với tốc độ 1000 v/ph. Mẫu gắn trên hai tầng đĩa và ngâm quay trong dung dịch này 124 giờ sau đó lấy ra rửa sạch sấy khô rồi cân.



Hình 4. Thiết bị thử mòn hỗn hợp

1. Thùng đựng hóa chất; 2. Mẫu thử; 3. Bộ phân quay ly tâm

Kết quả đo tổn hao khối lượng sau 124 giờ thử nghiệm (Hình 5.) trong hỗn hợp axit 10% HF và 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cho thấy khối lượng tổn hao khối lượng của các mẫu thử lần lượt như sau: 58,17 g (thép trần C45); 15,36 g (SiC-30Cu/thép); 18,66 g (SiC-50Cu/thép); 10,47 g (PTFE/SiC-50Cu/thép); 6,43 g (PTFE/SiC-50Cu/thép). Mẫu PTFE/SiC-50Cu/thép ít bị ăn mòn nhất. Đây chính là kết quả của lớp phủ SiC-50Cu nhằm mục đích bảo vệ chống ăn mòn cho thép làm việc trong môi trường axit chứa flo.



Hình 5. Đồ thị tổn hao khối lượng mẫu thử khi thử 124 giờ trong dung dịch axit 10% HF / 20%  $H_2SO_4$

### 3. Ứng dụng

Khảo sát tại Công ty Supe phốt phát và Hóa chất Lâm Thao cho thấy các thiết bị phải đối mặt với môi trường phá ăn mòn hóa chất khốc liệt do sự có mặt của các axit mạnh  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SiF_6$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ... Đối với các cấu kiện tĩnh, có thể sử dụng những vật liệu chống mòn phi kim loại, ví dụ: Cao su, nhựa. Đối với những thiết bị hoạt động chịu sự tác động của hạt rắn, dòng chảy, áp lực, nhiệt độ như: bơm, quạt công nghiệp cần phải có những vật liệu, hay lớp phủ bảo vệ đặc biệt để vừa chống được mài mòn cơ học và chống được ăn mòn hóa học.

Với bơm bùn, môi trường hóa học chính là axit sunfuric  $H_2SO_4$  là môi trường gây ăn mòn hóa học tương đối mạnh.

Với quạt hút khí flo, môi trường hóa học là các chất hóa học cộng thêm áp lực khí và cho cánh quạt bị ăn mòn khốc liệt, gây mất cân bằng và xảy ra rung lắc không làm việc được. Đây chính là đối tượng ứng dụng cho lớp phủ plasma SiC-50Cu để bảo vệ chống mòn.

Kết quả ban đầu được ứng dụng tại Công ty Supe phốt phát và Hóa chất Lâm Thao



Hình 6. Bồng bơm sau khi phun plasma SiC-50Cu



*Hình 7. Cánh quạt hút khí flo sau khi phun plasma SiC-50Cu và thẩm thấu PTFE*

Trong quá trình chạy khảo nghiệm, chất lượng làm việc của các chi tiết thử nghiệm vẫn đảm bảo các thông số kỹ thuật.

Các đánh giá trên từ Công ty cổ phần Cơ khí Supe Lâm Thao dựa trên thời gian làm việc và lịch trình hoạt động của máy trên cơ sở kiểm tra đánh giá về độ ồn thiết bị, thông số điện áp của động cơ.

Việc ứng dụng lớp phủ plasma SiC-50Cu lên hai dạng chi tiết điển hình làm việc trong môi trường hóa chất khắc nghiệt chứa flo nhận được sự đánh giá cao của đơn vị sử dụng. Thời gian làm việc tăng vượt hơn 3 lần so với sản phẩm cùng loại của nhà máy làm từ thép không gỉ SUS304 tính tới thời điểm tháo để kiểm tra. Thực tế cho thấy, đối với quạt hút khí flo làm từ SUS304 trong điều kiện làm việc hỗn hợp các loại axit  $H_2SiF_6$ ,  $H_2SO_4$ , HF, F ở nhiệt độ 80-120°C có mức độ gây ăn mòn rất mạnh thì tuổi thọ trung bình là 1 tháng. Như vậy lớp phủ plasma SiC-50Cu chống mòn bề mặt tốt hơn vật liệu SUS304 trong điều kiện ăn mòn thực tế tại nhà máy.

Khi chịu tải xung, va đập thì khả năng chống mòn không hiệu quả do đặc điểm liên kết lớp phủ, liên kết lớp phủ với nền yếu hơn liên kết mạng tinh thể của kim loại nền. Vì thế khi áp dụng lớp phủ bảo vệ SiC-50Cu cần đánh giá đúng điều kiện làm việc của chi tiết máy.

Về mặt hiệu quả: giá thành chế tạo cánh quạt hút khí flo làm từ SUS304 có phủ plasma SiC-50Cu dày 0,4 mm cao gấp 1,7 lần so với không có lớp phủ; nếu phủ trên nền thép C45 thì giá chế tạo tổng chỉ bằng 1,2-1,3 lần cánh quạt làm từ SUS304.

Kết quả này cho thấy khả năng ứng dụng tích cực của lớp phủ SiC-50Cu vào việc bảo vệ chống ăn mòn cho các thiết bị hóa chất, đặc biệt là các chi tiết chịu tải phân bố trên bề mặt và các công trình tĩnh.

## **4. Kết luận và kiến nghị**

### **4.1. Kết luận**

- Đây là công trình đầu tiên tại Việt Nam nghiên cứu về công nghệ tạo lớp phủ SiC/Cu plasma lên bề mặt thép, đã xác lập được các thông số công nghệ phun phủ plasma: Với vật liệu SiC-50Cu; cỡ hạt 50  $\mu m$  (SiC), 30  $\mu m$  (Cu); Chế độ phun  $I = 400$  A,  $L = 50$  mm,  $M = 40$  g/ph. Kết quả cơ tính lớp phủ đạt yêu cầu.

- Hoàn thiện lớp phủ SiC/Cu trên bề mặt thép bằng thẩm thấu PTFE nâng cao khả năng bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường chứa HF.

- Lớp phủ plasma PTFE/SiC-50Cu là lớp phủ có thể ứng dụng để bảo vệ chống ăn mòn cho thép C45 trong môi trường axit chứa flo.

Đã tiến hành ứng dụng được lớp phủ plasma SiC-50Cu cho cánh quạt công nghiệp và buồng bơm làm việc trong điều kiện của môi trường khắc nghiệt: ăn mòn, mài mòn có nhiệt độ cao tại Công ty CP Cơ khí Supe Lâm Thao.

#### 4.2. Kiến nghị

- Một số vấn đề chưa được nghiên cứu sâu sắc vì đây là một lĩnh vực mới về phun phủ vật liệu composite. Vấn đề này cần phải được đi sâu vào nghiên cứu về vật liệu tổng hợp để có thể tạo ra loại vật liệu phù nhất áp dụng vào sản phẩm cụ thể.

- Qua việc ứng dụng vào thực tế cần phải thử nghiệm đánh giá và đưa ra những giải pháp hoàn thiện công nghệ để nâng cao hiệu quả kinh tế khi sử dụng.

- Với những ưu điểm chống ăn mòn của lớp phủ plasma SiC-50Cu có thể nghiên cứu sâu về công nghệ chế tạo lớp phủ plasma SiC/Cu có cơ tính tốt để áp dụng cho các sản phẩm tương tự hoặc các sản phẩm trong các lĩnh vực khác ngoài hóa chất như cho các máy bơm thoát nước trong khai thác mỏ hầm lò (tính chất của nước mỏ có độ PH = 4-5, lẫn tạp chất).

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Trương Ngọc Liên (2010). “Ăn mòn và bảo vệ kim loại”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội
- [2]. Tài liệu quản lý, kỹ thuật, cơ khí của Xí nghiệp và Công ty Supe phốt phát và Hoá chất Lâm Thao.
- [3]. Hoàng Tùng (1994). “Phun phủ và ứng dụng”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Văn Tư (1999). “Xử lý bề mặt”. Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Hoàn Sơn (2002). “Cơ tính vật liệu”. Nhà xuất bản Giáo dục Hà Nội.
- [6]. Hà Minh Hùng, Hoàng Văn Châu (2004). “Công nghệ phun phủ và Xử lý bề mặt trong Chế tạo máy”. Giáo trình đào tạo SDH - Viện NC Cơ khí, Hà Nội.
- [7]. Thermal Spraying in the Chapter 28 of the Welding handbook (1995). Americal Welding Society (8 Edition), p. 864-889.
- [8]. Plasma Sprayed Thermal Barrier Coatings. Characterization and Testing. Klostermann Metselaar et al.
- [9]. Taguchi G, Chowdhury S, Wu Y (2007). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Taguchi's Qual Eng Handb. doi: 10.1002/9780470258354
- [10]. P.Hanneforth (2006). *The global thermal spray industry – 100 years of success*. International thermal spray and surface engineering, 1(1).
- [11]. J.C.Prie (1998). *The application of thermal spraying technology in the oil and gas industry*. Proceedings of the 15<sup>th</sup> International thermal spray conference, 1103-1107..
- [12]. Edited by J.R.Davis (2004)., *Handbook of thermal technology*, ASM International.
- [13]. Van der Berg N G, Malherbe J B, Botha A J, Friedland E (2012), *Thermal etching of SiC*.
- [14]. Goldberg Y, Levinshtein M, Rumyantsev S (2001). *Silicon carbide (SiC)*, in “Properties of advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, Bn, SiC, SiGe”.