

Nghiên cứu giải pháp phục hồi cánh quạt công nghiệp làm việc trong điều kiện mài mòn và nhiệt độ cao bằng công nghệ phun phủ nhiệt plasma

Research on solutions to recover industrial fans operating in abrasive and high temperature conditions with air plasma thermal spray technology

Đặng Xuân Thao¹, Hoàng Văn Gọt², Phạm Đức Cường^{1,*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Nghiên cứu Cơ khí

*Email: phamcuong@hau.edu.vn

Tel: +8243-7655121; Mobile: 094891969

Tóm tắt

Từ khóa:

Phun phủ plasma; Phục hồi; Quạt công nghiệp.

Công nghệ phun phủ nhiệt được phát minh từ những năm đầu của thế kỷ 20 bởi Max Ulrich Schoop. Đến nay, phun phủ nhiệt đã và đang được nghiên cứu, phát triển, tối ưu và chứng tỏ được khả năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Bài báo trình bày nghiên cứu giải pháp ứng dụng công nghệ phun phủ plasma để phục hồi cánh quạt khói làm việc trong điều kiện mài mòn và nhiệt độ cao có tính ưu việt hơn so với các phương pháp phục hồi khác. Dữ liệu dùng để phục hồi được xác định trên cơ sở phân tích, khảo sát, từ đó định hướng và lựa chọn ra bộ thông số phù hợp cho việc phục hồi chi tiết một cách hiệu quả.

Abstract

Keywords:

Air Plasma thermal spray (APS); Recovery; Industrial fans.

Thermal spray was first invented in the early years of the 20th century by Max Ulrich Schoop. Since then, it has been researched, developed, optimized and proved to be applicable in a variety of fields. This article presents the research on solutions for the application of plasma thermal spray technology to restore industrial smoke extractor fans operating in abrasive and high temperature conditions, and these solutions are superior to other restoration methods. The data used for restoration is based on the analysis and survey in order to obtain appropriate set of spray parameters for effective restoration.

Ngày nhận bài: 18/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 11/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Trong các ngành công nghiệp nặng, các chi tiết máy thường phải làm việc trong các điều kiện hết sức khắc nghiệt (độ ẩm cao, tải trọng lớn, nhiệt độ cao, môi trường bụi, hóa chất...) dẫn đến các hiện tượng mài mòn, ăn mòn và cuối cùng là bị phá hủy. Theo một số tài liệu thống kê trên thế giới thì mỗi năm có khoảng 10 ÷ 15% khối lượng kim loại bị phá hủy do mòn trong các điều kiện khác nhau [1].

Mỗi khi các chi tiết bị mài mòn hoặc ăn mòn thì chi phí để thay thế là rất lớn. Ngoài ra còn kèm theo các chi phí cho công tháo, lắp, sửa chữa và các thiệt hại khác do dây chuyền sản xuất phải ngừng hoạt động. Phát triển khoa học công nghệ ứng dụng trong các ngành kỹ thuật công nghiệp nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm và kéo dài tuổi thọ của các chi tiết máy luôn được quan tâm của các nhà khoa học, kỹ sư [2, 3].

Đối với các chi tiết máy làm việc trong môi trường khắc nghiệt như chịu ăn mòn, mài mòn dưới nhiệt độ và tải trọng lớn thì tính chất vật liệu bề mặt chi tiết máy đó được đặt lên hàng đầu. Hiện nay có nhiều phương pháp xử lý bề mặt được ứng dụng nhằm đáp ứng các yêu cầu của chi tiết trong các điều kiện làm việc khác nhau. Phun phủ nhiệt là một trong những phương pháp có thể đáp ứng được yêu cầu làm việc của chi tiết trong điều kiện nói trên [4, 5]. Trong các công nghệ xử lý bề mặt được sử dụng, phun phủ nhiệt ngày càng được phát triển mở rộng về quy mô, cải thiện về chất lượng, thể hiện được những tính ưu việt so với các phương pháp xử lý bề mặt khác cả về kỹ thuật và kinh tế. Như chúng ta đã biết, các kim loại như Cr, Ni, Al có khả năng chịu nhiệt, chống ăn mòn, chịu mài mòn và có độ bền khá cao trong nhiều môi trường [5, 8]. Việc tạo ra các lớp phủ trên bề mặt chi tiết từ các kim loại như trên hoặc hợp kim của chúng cho phép bề mặt chi tiết có các đặc tính đặc biệt mà vật liệu nền (các loại thép) không thể có được và phù hợp với điều kiện làm việc của chi tiết đó.

Trong nước đã có một số đơn vị nghiên cứu và doanh nghiệp đầu tư trang bị các thiết bị phun phủ nhiệt nhằm tạo các lớp phủ trên bề mặt chi tiết hoặc phục hồi các chi tiết bị hư hỏng. Tuy nhiên, việc đưa các kết quả nghiên cứu vào ứng dụng trong thực tế sản xuất chưa nhiều và còn nhiều hạn chế. Với các chi tiết lớn trong các lĩnh vực nhiệt điện, khai thác khoáng sản ..., việc phục hồi có ý nghĩa quan trọng, bên cạnh hiệu quả kinh tế mang lại. Bài báo này có mục đích cung cấp các thông tin giúp những người làm công tác bảo dưỡng, sửa chữa trong các nhà máy xí nghiệp có thêm một cái nhìn cũng như có sự đánh giá cụ thể hơn cho việc phục hồi sửa chữa các chi tiết bị mòn hỏng có giá trị kinh tế cao.

Việc chọn vật liệu và phương pháp phủ nói chung phụ thuộc vào điều kiện làm việc của từng chi tiết và kết cấu. Ngoài ra sự cải thiện chất lượng bề mặt của vật liệu cũng cho phép thiết kế và chế tạo máy móc và thiết bị năng suất hơn. Trong bài báo này chúng tôi nghiên cứu các đặc điểm của chi tiết quạt khói công nghiệp và giải pháp sử dụng công nghệ phun phủ plasma, ứng dụng vào phục hồi và làm mới chi tiết quạt bị mòn làm việc trong điều kiện nhiệt độ cao và khói bụi tro.

2. CÔNG NGHỆ PHUN PHỦ PLASMA

2.1. Nguyên lý của công nghệ phun phủ plasma

Công nghệ phun plasma nhờ năng lượng cao của nguồn nhiệt hồ quang plasma gián tiếp của đầu phun mà vật liệu được nung chảy và phun vào chi tiết. Khái niệm hồ quang plasma gián tiếp ở đây có nghĩa là hồ quang được tạo nên trong các bộ phận cathode và anode của đầu phun, còn chi tiết không được tiếp với nguồn điện. Khí trơ hoặc các chủng loại khí khử dưới áp lực lớn được thổi vào khoảng giữa cathode và anode, dưới tác động của hồ quang bị ion hoá ở nhiệt độ rất lớn (khoảng 17.000°C). Luồng plasma được phun qua đầu phun với vận tốc cao, bột phun được hút vào luồng khí này, nóng chảy và bay ra liên kết lại thành lớp phủ lên bề mặt chi tiết. Sự liên kết giữa các hạt nhờ quá trình kết tinh và bám dính lên bề mặt chi tiết phủ bằng lực cơ học. Bề mặt vật phủ có nhiệt độ thấp nên không xảy ra quá trình khuếch tán [6].

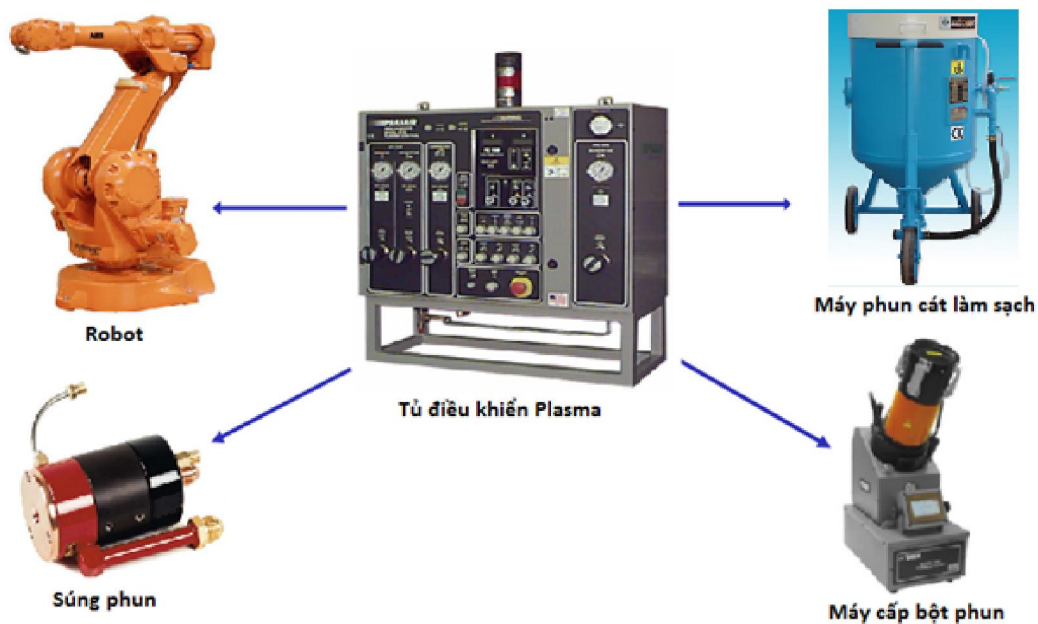
Lớp phủ cần phải có độ bám dính cao với bề mặt chi tiết phủ và có độ xốp thấp. Khi thực hiện phun phủ, nhiệt dẫn xuống bề mặt càng ít càng tốt để tránh rộp tế vi và biến dạng bề mặt.

Ưu điểm của công nghệ phun phủ nhiệt là không bị hạn chế bởi độ lớn, nhỏ của vật hay bề mặt được phủ do thiết bị phun dễ dàng di động và có thể xách tay. Công nghệ này rất thích hợp cho việc tạo lớp phủ mới hoặc phục hồi các chi tiết, kết cấu có kích thước lớn cũng như các chi tiết máy móc nhỏ. Các lớp phủ bề mặt có thể tạo được độ dày như ý muốn.

2.2. Thiết bị phun phủ Plasma

Có rất nhiều thiết bị phun phủ plasma khác nhau, dưới đây tác giả xin được giới thiệu thiết bị phun plasma SG-100 (Praxair Thermal SG-100 Spray System) hiện có tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu Cơ khí.

Để thực hiện được cần có một tổ hợp các thiết bị (Hình 1). Các chế độ phun thay đổi được trong phạm vi rộng hoặc hẹp dần để lựa chọn những chế độ thích hợp nhất cho phép nhận được lớp phun có độ bám, độ cứng và độ xít chặt (hoặc độ xốp) theo yêu cầu của các lớp phun.



Hình 1. Tổ hợp thiết bị phun phủ plasma.

* Các đặc tính kỹ thuật chính của thiết bị phun phủ plasma SG-100.

- Công suất nguồn: 60kW
- Kích thước bột phun: 40 - 120 μ m
- Năng suất phun: $Q_{kl} = 2 - 10$ kg; $Q_{ceramic} = 1 - 6$ kg
- Trọng lượng đầu phun: 1,8 kg
- Hệ thống làm lạnh: 30,3 l/min
- Bộ phận phối khí (lọc khí vào): 80 PSI(550 kPa)
- Bộ điều khiển: 220 VAC, 50Hz
- Nguồn plasma: 60kW
- Bộ khởi động cao tần: 220VAC, 2,75A, 50Hz
- Bộ phận phun 1264
- Làm mát: 31kW, 106BTU/hr

2.3. Vật liệu dùng trong phun phủ plasma

- Bột gồm kim loại (hỗn hợp cơ học giữa oxyt với kim loại và hợp kim).
- Bột hợp kim cứng (cacbit W, Cr, Ti,... và hỗn hợp chúng với Co, Ni).
- Vật liệu siêu cứng, gồm cả kim cương.

2.4. Chế độ công nghệ phun

Bảng 1. Bảng thông số chế độ phun đối với một số vật liệu khác nhau [7,10]

TT	Vật liệu phun	Dòng điện (A)	Điện thế (V)	Lưu lượng khí sơ cấp Ar (l/ph)	Lưu lượng khí thứ cấp H ₂ (l/ph)	Cỡ hạt, (µm)
1	Co	400	29	30	10	40 ÷ 120
2	MoSi	400	26	22,5	9	40 ÷ 120
3	MoS	400	30	30	8	40 ÷ 120
4	TiSi	400	30	37,5	9	40 ÷ 120
5	Monel	450	29	30	10	40 ÷ 120
6	Mo	450	29	30	10	40 ÷ 120
7	Cr	500	30	37,5	9	40 ÷ 120
8	TiN	500	29	37,5	11	40 ÷ 120
9	WC+C	500	25	30	10	40 ÷ 120
10	WC	525	25	30	7	40 ÷ 120
11	TiB	550	27	30	10	40 ÷ 120
12	ZrO ₂	600	32	50	12	40 ÷ 120
13	Ni	650	29	30	14	40 ÷ 120
14	TiC	725	27	25	8	40 ÷ 120
15	ZrC	725	27	30	9	40 ÷ 120
16	MgO	750	30	30	9	40 ÷ 120
17	TiO ₂	750	27	17,5	10	40 ÷ 120
18	Cr-Ni-B	300÷600	30÷85	35,1÷120	8÷14	40 ÷ 120
19	Ni-Cr	300÷750	29÷85	35,1÷130	8÷14	40 ÷ 120
20	CrB ₂	300÷800	28÷85	35,1÷140	8÷14	40 ÷ 120
21	Cr ₃ C ₂ -NiCr	400÷600	24,8÷76,8	35,1÷140	8÷14	40 ÷ 120

3. GIỚI THIỆU VỀ CHI TIẾT QUẠT KHÓI CÔNG NGHIỆP VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP PHỤC HỒI SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ PHỦ PLASMA

3.1. Khảo sát điều kiện làm việc và hư hỏng của quạt khói

Trong các nhà máy nhiệt điện than, nhà máy xi măng có rất nhiều các chi tiết làm việc trong môi trường khắc nghiệt dẫn đến các chi tiết bị phá hủy nhanh một trong số các chi tiết đó điển hình là cánh quạt khói. Yêu cầu đặt ra là cần có một giải pháp công nghệ hiệu quả và kinh tế để phục hồi, đáp ứng cấp bách hiện nay.

Trong quá trình khảo sát, nhóm tác giả lựa chọn đối tượng cho nghiên cứu là cánh quạt khói công nghiệp sử dụng trong Nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh. Cánh quạt hút khói bụi này có cấu tạo dạng tấm, làm từ vật liệu thép 16Mn; với độ dày 30mm; số lượng cánh là 14 cánh, đường kính bánh công tác Ø2800 mm. Chân cánh quạt được hàn trên thân côn cong, toàn bộ bánh công tác được lắp trên một trục có ổ bi ở hai đầu trục, trong đó một đầu trục được lắp nối trục để nối với động cơ điện (Hình 2).



Hình 2. Cánh quạt khói bụi công nghiệp tại Nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh



Hình 3. Cánh quạt khói bụi công nghiệp bị mòn hỏng

Cánh quạt khói bụi công nghiệp làm việc trong các nhà máy xi măng, nhà máy nhiệt điện, gang thép... thường phải làm việc trong điều kiện rất khắc nghiệt như: Chịu mài mòn cao, chịu nhiệt độ, hóa chất, khói bụi... Vì vậy cánh thường bị hư hỏng như: mòn cánh, nứt cánh, gãy cánh... dẫn tới mất cân bằng động nên không thể hoạt động ổn định được. Mất cân bằng động gây ra rung động dẫn tới hư hỏng chi tiết máy khác, quan trọng là làm ảnh hưởng tới sản xuất, nó gây ra tiếng ồn lớn. Đặc biệt mất cân bằng cánh quạt còn có thể dẫn đến giảm hiệu suất hoạt động và hư hỏng nghiêm trọng khác.

Với đối tượng quạt khói khảo sát, khi quạt quay hút khói bụi tro ra ngoài thì cánh cánh chém vào các hạt rắn bay trong không khí gây ra xói mòn tại vùng đỉnh cánh, mòn tại vùng chân cánh là do các hạt bụi va đập vào bề mặt cánh bị trượt theo bề cong cánh xuống chân cánh điều đó làm mòn tại vùng chân cánh quạt.

Vận tốc quạt 750 v/p, áp suất gió 2900 - 4000 Pa, tác dụng lên cánh quạt theo hướng song song với trục, nhiệt độ môi trường khí 140 - 150⁰C, gây biến dạng nhiệt, hàm lượng bụi tro than trong không khí: 200 mg/m³ gây mài mòn cho cánh quạt đặc biệt là vùng đỉnh (Hình 3), và chân cánh quạt khi bụi tro va đập vào bề mặt cánh lập tức tro bụi bị trượt theo hình dạng cong xoắn trượt đập vào chân cánh dẫn tới xói mòn. Đồng thời cánh bị mòn một phần do ăn mòn hóa học, do quạt hút khói than có chứa lưu huỳnh, khi đốt sinh ra các khí mang tính axit là SO₂ và SO₃, gặp môi trường ẩm sẽ hình thành môi trường axit gây ăn mòn thép.

Khối lượng quạt tương đối lớn (1500kg) tạo nên momen uốn, chế độ làm việc liên tục gây mỏi cho chi tiết của cánh quạt.

3.2. Đề xuất giải pháp công nghệ

Để chống mài mòn, ăn mòn cho chi tiết làm việc trong điều kiện khói bụi và có nhiệt độ, có thể sử dụng hai giải pháp cơ bản sau:

- Sử dụng vật liệu có khả năng chống mài mòn cao để chế tạo.
- Sử dụng các lớp phủ bề mặt bảo vệ có khả năng chống mài mòn.

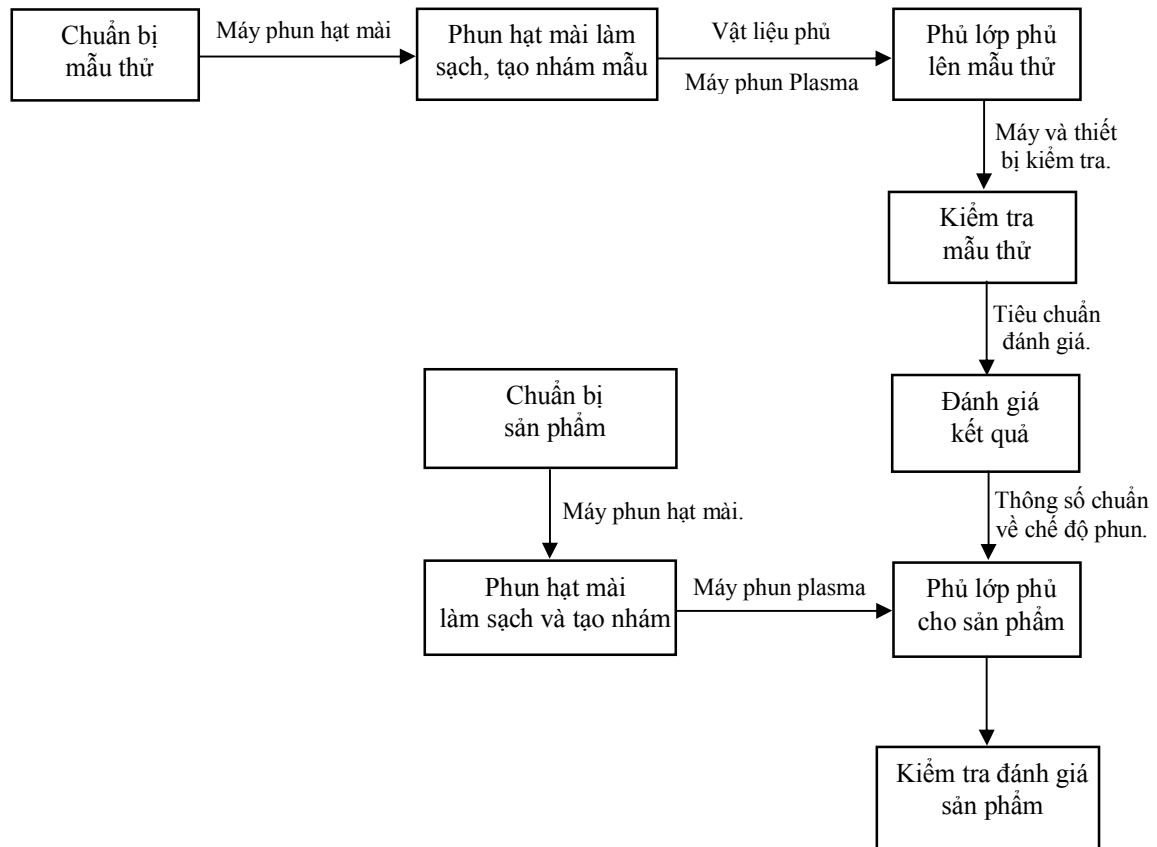
Tùy vào phạm vi và điều kiện cụ thể để áp dụng một trong hai giải pháp trên.

Đối với giải pháp dùng vật liệu có khả năng chống lại sự mòn và ăn mòn cao như các loại thép hợp kim có chứa crom, để gia công chế tạo cho cả chi tiết lớn thì có giá thành quá cao; ngoài ra, vật liệu gốm có tính chống mài mòn và ăn mòn tốt nhưng không thể dùng để chế tạo chi tiết do nhược điểm giòn, khó gia công và tạo hình với kích thước lớn.

Sử dụng các lớp phủ bề mặt bảo vệ là một giải pháp hiệu quả, nhiều trường hợp là sự lựa chọn chính để áp dụng cho việc chống mòn và ăn mòn chi tiết máy làm việc trong môi trường khắc nghiệt. Lớp phủ nhiệt đang được nghiên cứu, phát triển mạnh mẽ và ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp.

Qua phân tích điều kiện làm việc, cấu tạo cánh quạt cũng như khả năng công nghệ và thiết bị, nhóm tác giả đề xuất giải pháp công nghệ cho chi tiết dùng lớp phủ nhiệt để bảo vệ vừa có khả năng chống mài mòn, ăn mòn và chịu nhiệt của cánh quạt làm việc trong Nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh. Giải pháp cho phép cánh quạt được phục hồi đảm bảo các thông số kỹ thuật làm việc đồng thời giá thành thấp so với mua cánh quạt mới, nâng cao hiệu quả kinh tế cho doanh nghiệp.

3.3. Các bước công nghệ tạo lớp phủ trên mẫu thử và cánh quạt



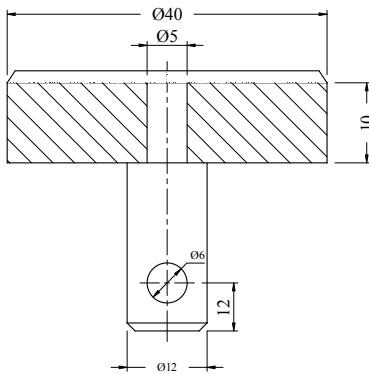
Hình 4. Sơ đồ các bước công nghệ tạo lớp phủ trên mẫu thử và sản phẩm

Sơ đồ các bước công nghệ thực hiện phun phủ lên bề mặt mẫu và cánh quạt được đưa ra trên (Hình 4). Yêu cầu tạo lớp phủ lên bề mặt dạng cánh quạt với hệ lớp phủ chống lại sự mài mòn trong môi trường nhiệt độ có khói bụi tro. Do đó cần lựa chọn được vật liệu phủ đáp ứng được là rất quan trọng. Qua quá trình đánh giá điều kiện làm việc của chi tiết tác giả đưa ra một số loại vật liệu phù hợp để phun thẩm dò và đánh giá trên mẫu thử trước khi phủ lên sản phẩm chính. Đối với vật liệu thép nền 16Mn, một số vật liệu phủ có thể sử dụng như Cr₃C₂-NiCr, Ni₂₀Cr, WC-Co-Cr, hoặc NiCrBoSiFe. Trong nghiên cứu này, chọn Cr₃C₂-NiCr là vật liệu phủ do vật liệu này đã được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và ứng dụng trong sản xuất cho một số sản phẩm tương tự.

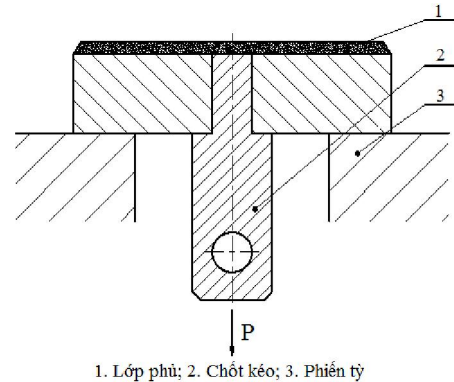
Chế độ phun phủ được thực hiện bằng súng phun plasma SG100 với kênh anốt kiểu mở rộng. Với yêu cầu lớp phủ 0,2 ÷ 0,3 mm, những thông số phun như sau [5]:

Bảng 2. Các thông số công nghệ và chế độ phủ đề xuất [10]

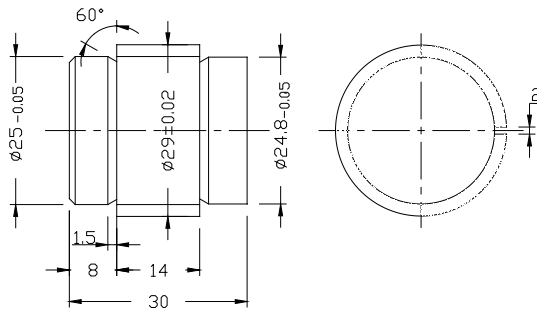
Thông số công nghệ		Chế độ phun			
		Cr ₃ C ₂ -NiCr	Ni ₂₀ Cr	WC-Co-Cr	NiCrBoSiFe
1	Dòng điện I	550A	380 A	525 A	300 A
2	Điện áp U	77 V	58 V	30 V	30 V
3	Lưu lượng khí sơ cấp Ar	43 (l/phút)	50 (l/phút)	37,5 (l/phút)	37,5 (l/phút)
4	Lưu lượng khí thứ cấp H ₂	9,5 (l/phút)	8 (l/phút)	8 (l/phút)	8 (l/phút)
5	Lưu lượng khí mang bột Ar	5 (l/phút)	8 (l/phút)	8 (l/phút)	3,2 (l/phút)
6	Lưu lượng cấp bột	30 (g/phút)	42 (g/phút)	42 (g/phút)	42 (g/phút)
7	Khoảng cách phun	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm
8	Góc phun	90°	90°	90°	90°



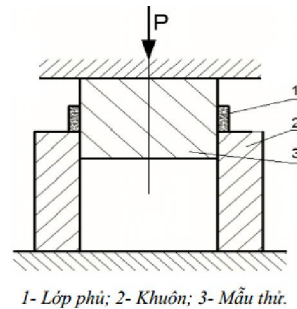
Hình 5. Mẫu thử độ bám dính



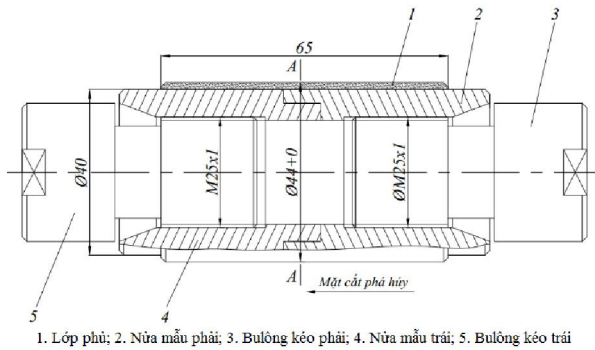
Hình 6. Sơ đồ nguyên lý mẫu thử độ bám dính



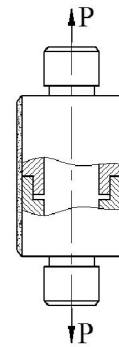
Hình 7. Mẫu thử độ bám trượt



Hình 8. Sơ đồ nguyên lý mẫu thử bám trượt



Hình 9. Mẫu thử kéo



Hình 10. Sơ đồ nguyên lý mẫu thử bền kéo

Để đánh giá các đặc tính quan trọng của lớp phủ, mẫu thử được thiết kế để có thể đánh giá chất lượng lớp phủ đáp ứng được điều kiện làm việc của sản phẩm. Theo sự tìm hiểu của nhóm tác giả qua các công trình nghiên cứu trong nước và nước ngoài, đối với đa số các hệ lớp phủ, một số chỉ tiêu đặc trưng và quan trọng cần phải được đánh giá. Thứ nhất là độ bền bám dính, mẫu thử được chế tạo như nêu trên (Hình 5), sơ đồ nguyên lý thử mẫu nêu trên (Hình 6). Thứ hai là độ bền bám trượt, mẫu thử được chế tạo như nêu trên (Hình 7), sơ đồ nguyên lý thử mẫu nêu trên (Hình 8). Đối với điều kiện làm việc của quạt như đã được phân tích ở trên khi cánh quạt làm việc gây ra ứng suất kéo và nén của cánh chính vì vậy khi phủ lên bề mặt cánh một lớp phủ cần phải được đánh giá chỉ tiêu này bằng phương pháp thử độ bền kéo của lớp phủ, mẫu thử được chế tạo như nêu trên (Hình 9), sơ đồ nguyên lý thử mẫu nêu trên (Hình 10) [6]. Sơ đồ trên (Hình 4) đưa ra các bước công nghệ tuần tự về lý thuyết. Trên thực tế, căn cứ vào kết quả kiểm tra đánh giá đặc tính lớp phủ, sẽ có các xử lý kỹ thuật nếu lớp phủ chưa đạt yêu cầu. Các xử lý này tùy thuộc vào kết quả cụ thể nên sẽ không trình bày trong khuôn khổ bài báo này.

Ngoài ra cần đánh giá thêm một số chỉ tiêu khác như độ bền nhiệt, độ bền mài mòn của lớp phủ, tùy theo điều kiện về trang thiết bị đánh giá.

Các tham số phủ có thể được thay đổi, tìm và đưa ra bộ thông số phủ tối ưu để lớp phủ phù hợp với từng đối tượng và điều kiện ứng dụng.

Quá trình áp dụng tạo lớp phủ trên chi tiết thực tế như cánh quạt khói trong nghiên cứu này cần thêm các điều kiện và thiết bị phụ trợ nhằm đảm bảo lớp phủ tạo nên có độ đồng đều trên toàn bộ bề mặt. Các thiết bị này sẽ được đề cập cụ thể trong các nghiên cứu sau, khi tác giả đi sâu vào công nghệ phủ và đánh giá các đặc tính.

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã phân tích điều kiện làm việc của quạt hút khói bụi tại Nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh, từ đó đánh giá được tình trạng mòn hỏng của chi tiết, chủ yếu là do các hạt rắn trong bụi tro bay trong không khí và làm việc trong môi trường nhiệt độ cao. Khi quạt quay hút khói bụi tro ra ngoài thì cạnh cánh chém vào các hạt rắn bay trong không khí gây ra xói mòn tại vùng đỉnh cánh, mòn tại vùng chân cánh là do các hạt bụi va đập vào bề mặt cánh bị trượt theo bề cong cánh xuống chân cánh điều đó làm mòn tại vùng chân cánh quạt.

Công nghệ phun phủ plasma đã được phân tích và đề xuất sử dụng để phục hồi sửa chữa chi tiết quạt, phù hợp với điều kiện về công nghệ, thiết bị và kinh tế tại Việt Nam, đồng thời đưa ra được các bước công nghệ bao gồm cả việc nghiên cứu phun thử trên các mẫu, hoàn thiện công nghệ và chế độ phủ để áp dụng trên sản phẩm cho công tác phục hồi sửa chữa chi tiết quạt.

Nhóm tác giả đã phân tích một số hệ lớp phủ như: Cr₃C₂-NiCr; Ni₂₀Cr; WC-Co-Cr; NiCrBoSiFe để đánh giá thông qua trên mẫu thử phù hợp với điều kiện làm việc của chi tiết quạt, từ đó đề xuất lựa chọn vật liệu và các thông số phủ cho quạt khói.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Tư. *Ăn mòn và bảo vệ vật liệu*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [2]. Hoàng Tùng. *Phục hồi và bảo vệ bề mặt bằng phun phủ*, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1993.
- [3]. Nguyễn Văn Thông. *Công nghệ phun phủ bảo vệ và phục hồi*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006
- [4]. Nguyễn Văn Tư. *Xử lý bề mặt*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1999.
- [5]. Hoàng Tùng. *Công nghệ phun phủ và ứng dụng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [6]. Hoàng Văn Gọt. *Công nghệ phun phủ bằng phương pháp thực nghiệm*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2012.
- [7]. Lục Vân Thương, Hoàng Văn Châu. *Ứng dụng công nghệ phun phủ plasma vật liệu hợp kim-gốm tăng độ bền mòn, chịu mài mòn của trục chính máy khoan, doa CNC và một số chi tiết máy*.
- [8]. P. Hanneforth. “*The global thermal spray industry - 100 years of success: So what’s next*”. International thermal spray and surface engineering, Vol. 1, Issue1, 2006.
- [9]. V.Sreenivasulu, M.Manikandan. “*High-temperature corrosion behaviour of air plasma sprayed Cr₃C₂-25NiCr and NiCrMoNb powder coating on alloy 80A at 900°C*”. Surface & Coatings Technology 337 (2018) 250–259.
- [10]. Amirsaman Farrokhpahanah, Thomas W. Coyle, Javad Mostaghimi. “Numerical Study of Suspension Plasma Spraying” J Therm Spray Tech 26 (2017) 12–36