

PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH LỚP PHỦ HVOF ĐƯỢC TẠO THÀNH TRÊN BỀ MẶT TRONG MỘT SỐ CHI TIẾT TRỤ CỐ ĐƯỜNG KÍNH KHÁC NHAU

Đinh Văn Chiến^{1,2}, Nguyễn Tuấn Hải³

¹Trường Đại học Kinh Tế - Công nghệ Thái Nguyên

²Trường Đại Học Mỏ Địa chất

³Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai

*Tác giả liên hệ: Đinh Văn Chiến, vanchien.dinh@gmail.com

THÔNG TIN CHUNG

Ngày nhận bài: 14/11/2024

Ngày nhận bài sửa: 18/12/2024

Ngày duyệt đăng: 08/01/2025

TỪ KHOÁ

Bề mặt trong;

HVOF;

Lớp phủ phun nhiệt;

WC-10Co-4Cr.

TÓM TẮT

Hiện nay, công nghệ phun Oxy – nhiên liệu tốc độ cao (High velocity oxygen fuel - HVOF) đang phát triển phát triển trên thế giới và đã được ứng dụng rộng rãi ở Việt Nam. Công nghệ phun phủ HVOF đang dần trở thành giải pháp bảo vệ bề mặt trong chi tiết thay thế cho công nghệ mạ crom cứng có tác động xấu đến môi trường. Về bản chất, quá trình tạo ra các lớp phủ bề mặt trong như lòng khuôn, van, đường ống... vô cùng phức tạp so với bề mặt ngoài do ảnh hưởng của không gian phun. Trong bài báo này tác giả trình bày đặc tính lớp phủ WC-10Co-4Cr được phun lên bề mặt trong vật liệu nền thép CT38 của 3 chi tiết hình trụ có đường kính lần lượt là 350mm, 400mm và 450mm bằng phương pháp phun HVOF. Nghiên cứu nhằm xác định tác động của sự thay đổi đường kính chi tiết đến cấu trúc vi mô, thành phần pha, một số tính chất cơ học của lớp phủ được phun. Kết quả cho thấy lớp phủ Ø350 có độ cứng thấp và độ xốp cao, lớp phủ Ø400 có đặc tính cơ tốt nhất. Lớp phủ Ø450 có lượng cacbit pha η cao hơn các lớp phủ khác. Việc xác định đặc tính lớp phủ phù hợp làm cơ sở để xác định độ gá và kích thước súng phun cho các ứng dụng phục hồi, tạo lớp phủ bề mặt trong ID-HVOF

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ phun phủ HVOF đã được đánh giá cao về khả năng bảo vệ chi tiết máy trong các môi trường điều kiện làm việc khắc nghiệt như mài mòn, ăn mòn, chịu nhiệt... Tuy nhiên khác với các quy trình phun bề mặt ngoài, khả năng tạo lớp phủ đạt chất lượng đối với bề mặt trong chi tiết hiện nay còn nhiều vấn đề cần nghiên cứu giải quyết, đặc biệt là phun trong không gian bề mặt trong nhỏ, hẹp. Giải quyết được vấn đề này sẽ mở rộng khả năng công nghệ cho các ứng dụng tiềm năng phun nhiệt bề

mặt trong bằng công nghệ phun HVOF. Đồng thời mở ra cho công nghệ phun HVOF các thị trường mới mà trước đây phun nhiệt HVOF không khả thi. Không gian phun bề mặt trong phụ thuộc rất lớn vào đường kính trong chi tiết phun. Do đó khoảng cách phun đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng lớn đến cấu trúc vi mô và cơ tính lớp phủ. Việc tạo lớp phủ ở khoảng cách phun nhỏ gặp nhiều thách thức đáng kể do yêu cầu gia tốc hạt phải lớn hơn để tạo ra lớp phủ tốt. Theo lý thuyết phun phủ, vấn đề này có thể phần nào được khắc phục bằng cách sử dụng

nguyên liệu bột có kích thước nhỏ hơn, nhưng điều này lại tạo ra sự quá nhiệt trong các hạt tăng lên.

Các công bố liên quan đến công nghệ phun HVOF tạo lớp phủ có độ bền bám dính, độ xốp, độ cứng cao phù hợp với nhiều loại vật liệu, nhiều công trình công bố sử dụng các loại vật liệu như NiCrBSiFe (Phạm Văn Liệu, 2016), $75\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-}25\text{Ni}$ (Nguyễn Chí Bảo, 2016) cho lớp phủ chịu mài mòn. Ngoài ra, độ xốp thấp là đặc trưng của lớp phủ HVOF, nhờ đó lớp phủ hợp kim NiCr cùng bằng chất bột phát nhôm (Nguyễn Văn Tuấn, et al., 2017), (Nguyễn Văn Tuấn, 2017), mang đến giải pháp chống ăn mòn khá hoàn hảo. Một số nghiên cứu với vật liệu phun WC-Co cho thấy đây là vật liệu có độ cứng cao, chất lượng lớp phủ tốt mang đến giải pháp chống mài mòn rất hiệu quả. Các nghiên cứu tương tự cũng cải thiện khả năng chịu mài mòn bề mặt nhờ công nghệ phun phủ nhiệt HVOF cho bề mặt ngoài trục (Trần Văn Dũng, 2012) và bề mặt gang (Đỗ Quang Chiến, 2018). Đối với tạo lớp phủ bề mặt trụ trong thì ít nghiên cứu đã công bố. Các nghiên cứu đã được thực hiện là áp dụng công nghệ phun phủ hồ quang điện và ứng dụng trong việc chế tạo các lớp phủ babbitt thiếc, thép không gỉ AISI 316 và hợp kim 37MXC (dựa trên Fe-Cr-B-C). Các lớp phủ này được ứng dụng cho bề mặt bên trong của các chi tiết dạng ống trụ tròn như bạc lót và xy lanh, với mục tiêu nâng cao khả năng chịu mài mòn và khả năng chống ăn mòn khi hoạt động trong các môi trường khác nhau. (Phùng Anh Tuấn, et al., 2015). Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ phun đến độ bám dính của lớp phủ WC-12Co cho thấy khoảng cách phun, lưu lượng và vận tốc súng phun ảnh hưởng lớn đến chất lượng lớp phủ (Nguyễn Tuấn Hải, et al., 2024)

Khác với phun bề mặt ngoài, một số vấn đề khó khăn liên quan đến kiểm soát quy trình phun nhiệt bề mặt trong so với phun bề mặt ngoài. Cụ thể như quá trình làm mát vật liệu nền và sự tích tụ các nguyên liệu phun còn sót lại trong không gian phun. Việc gia nhiệt quá mức vật liệu nền trong quá trình phun có thể ảnh hưởng đến các đặc tính của lớp phủ, bao gồm

thay đổi ứng suất dư và thành phần pha trong lớp phủ. Sự không đồng nhất hệ số giãn nở nhiệt giữa lớp phủ và vật liệu nền sẽ dẫn đến ứng suất nhiệt cao hơn tồn tại trong lớp phủ. Kết quả là dẫn đến ứng suất dư kéo không mong muốn lớn hơn trong lớp phủ phun nhiệt HVOF. Các giải pháp nhằm kiểm soát sự quá nhiệt vật liệu nền trong quy trình phun nhiệt bề mặt trong được thực hiện nhưng cấu trúc vi mô, đặc tính của lớp phủ, cũng như ứng suất dư của lớp phủ bị ảnh hưởng như thế nào quá trình phun nhiệt bề mặt trong vẫn còn nhiều vấn đề đặt ra cần nghiên cứu.

Trong nghiên cứu này, công nghệ phun nhiệt HVOF sẽ được sử dụng để tạo lớp phủ WC-10Co-4Cr lên bề mặt bên trong của các chi tiết hình trụ trong để nghiên cứu ảnh hưởng của đường kính trong chi tiết đến cấu trúc vi mô, một số tính chất cơ học của lớp phủ được tạo ra sau phun.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Tạo lớp phủ thử nghiệm

Hình 1 là hình thái bột phun cacbit WC-10Co-4Cr của hãng Amperit có cấu trúc vi mô mặt cắt ngang lớp phủ được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét Nova Nano SEM 450 FEI (Nhật Bản). Thành phần pha của bột phun theo nhà sản xuất bao gồm: WC, Co, Cr_3C_2 , W, $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ (Amperit Technical Data Sheets)

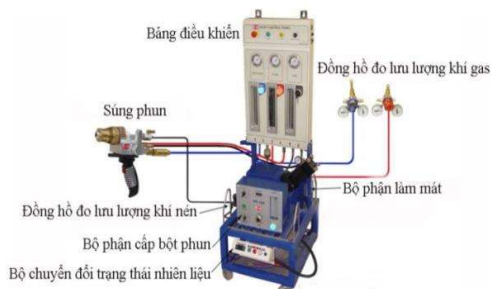
Bảng 1. Thông số phun (Nguyễn Tuấn Hải, et al., 2024)

TT	Thông số phun	Giá trị
1	Áp suất O_2	0,98 (Mpa)
2	- Áp suất C_3H_8	0,69 (Mpa)
	- Lưu lượng C_3H_8	40 (l/phút)
3	- Áp suất N_2	0,4 (Mpa)
	- Lưu lượng N_2	20 (l/phút)
4	- Áp suất không khí	0,69 (Mpa)
	- Lưu lượng	550 (l/phút)
5	Lưu lượng phun	26 g/phút
6	Vận tốc tương đối súng phun	0,15 m/s
7	Bước di chuyển	4 mm
8	Góc phun	$90 \pm 10^\circ$

Hình 4 là hình dạng mẫu thí nghiệm lớp phủ được tạo thành trên bề mặt trụ trong. Vật

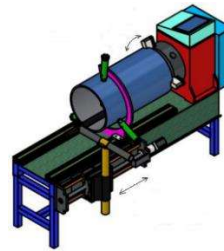
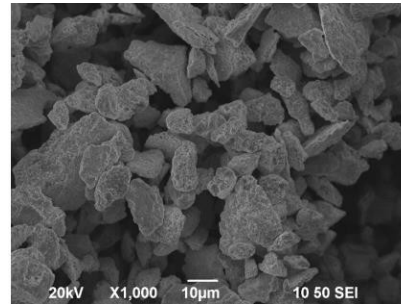
liệu nền dùng thí nghiệm là thép ống CT38 có đường kính lần lượt 350mm, 400mm và 450mm, được đặt theo các ký hiệu tương ứng ID350, ID400 và ID450.

Hệ thống thiết bị HVOF cầm tay HP-2700M chế tạo bởi công ty Metallizing (hình 2) kết hợp với đồ gá chuyên dùng được thiết kế đặc biệt phun bề mặt trong được dùng để tạo lớp phủ (hình 3). Bảng 1 thể hiện các thông số phun dùng trong chế tạo mẫu



Hình 2. Hệ thống thiết bị phun nhiệt HVOF HP-2700M.

Hình 1. Hình thái bột WC-10Co-4Cr



Hình 3. Đồ gá phun bề mặt trong



Hình 4. Hình dạng mẫu phun thực nghiệm

2.2. Phương pháp kiểm tra đánh giá chất lượng lớp phủ

Đánh giá cấu trúc của lớp phủ dùng kính hiển vi điện tử quét (SEM/EDX) Jeol 6490 JMS JED 2300, sản xuất bởi JEOL (Nhật Bản), được sử dụng để chụp ảnh mặt cắt ngang của lớp phủ tại biên giới với bề mặt nền và bên trong lớp phủ. Kính hiển vi này cho phép phân tích hình thái bề mặt ở độ phóng đại cao và phân tích thành phần hóa học.



Hình 5. Thiết bị SEM/EDX/EDS Jeol 6490

Việc xác định thành phần pha của lớp phủ dùng phương pháp nhiễu xạ tia X được áp dụng với việc sử dụng chùm tia X hẹp, đơn sắc và

song song hướng vào mẫu. Trong nghiên cứu này, thiết bị D8-Advance của hãng Bruker (Đức) đã được sử dụng để phân tích các thành phần pha của lớp phủ và nhằm đưa ra những thông tin chi tiết về cấu trúc tinh thể và các tính chất khác của lớp phủ.

Xác định cấu trúc và tổ chức cũng như chiều dày và độ xốp của lớp phủ, kính hiển vi quang học Axioplan 2 đã được sử dụng để chụp ảnh lớp phủ với các mức độ phóng đại khác nhau. Kết quả giúp quan sát chi tiết bề mặt và cấu trúc bên trong của lớp phủ. Đặc biệt, độ xốp của lớp phủ được đo theo tiêu chuẩn ASTM B276-05 (2015), giúp đảm bảo tính chính xác và đồng nhất trong quy trình xác định thuộc tính vật liệu và cung cấp những thông tin quan trọng về khả năng chịu mài mòn cũng như các tính chất cơ học khác của lớp phủ. Tiêu chuẩn ASTM E384-22 được sử dụng để đánh giá độ cứng của lớp phủ. Quá trình đo độ cứng được thực hiện trên thiết bị IndentaMet 1106 (hình 6).

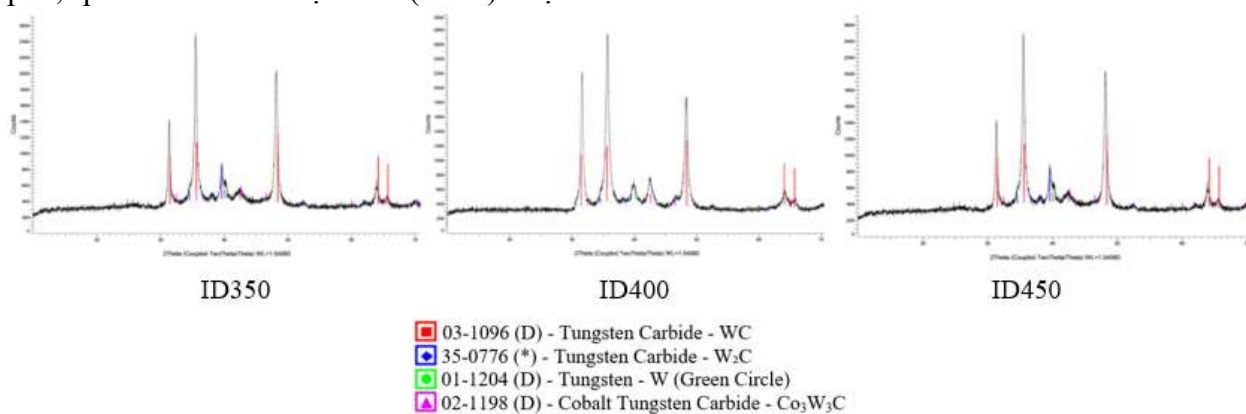


Hình 6. Thiết bị IndentaMet 1106

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1 Phân tích pha

Để đánh giá thành phần pha của các lớp phủ, phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) được sử dụng với kết quả trình bày trong Hình 7. So sánh biểu đồ XRD của lớp phủ và của bột phun cho thấy sự hình thành W_2C đã xảy ra trong quá trình phun. Co_6W_6C không có trong lớp phủ mà thay vào đó là Co_3W_3C . Các đỉnh nhiễu xạ trong khoảng $2\theta = 37^\circ - 46^\circ$ mở rộng cho thấy vật liệu vô định hình có thể có trong cấu trúc vi mô. Hàm lượng W_2C trong lớp phủ ID350, ID400 và ID450 lần lượt là 6,76%, 6,81% và 4,68% theo trọng lượng. Lớp phủ ID450 chứa Co_3W_3C với hàm lượng cao nhất là 8,19%, trong khi ID350 và ID400 có hàm lượng tương ứng là 6,66% và 6,81%.



Hình 7. Kết quả phân tích pha của các mẫu lớp phủ

3.2. Tính chất cơ học và cấu trúc vi mô của lớp phủ

Kết quả đo đặc tính lớp phủ các mẫu thể hiện trong Bảng 2

Bảng 2. Thông số đo trên các mẫu

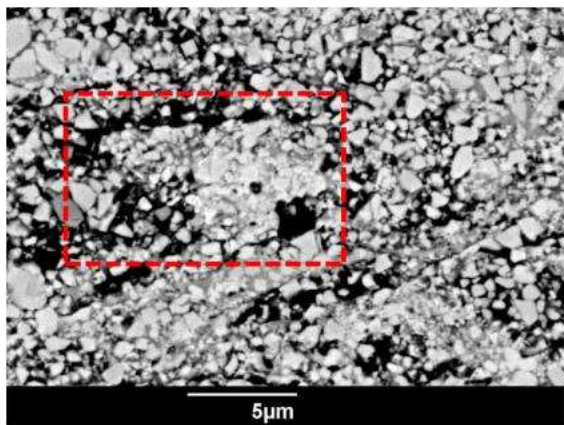
Lớp phủ	Độ dày (μm)	Độ cứng (HV 0.3)	Mô đun đàn hồi (GPa)	Độ xốp (%)
ID350	224 $\pm$ 7	1201 $\pm$ 64	375 $\pm$ 82	1.6 $\pm$ 0.8
ID400	214 $\pm$ 7	1319 $\pm$ 40	419 $\pm$ 52	1.4 $\pm$ 0.4
ID450	129 $\pm$ 4	1310 $\pm$ 51	342 $\pm$ 74	1.4 $\pm$ 0.5

Độ dày của ba lớp phủ có sự khác biệt đáng kể, trong đó lớp phủ ID450 có độ dày thấp hơn so với hai mẫu lớp phủ còn lại. Nguyên nhân có

thể giải thích do vận tốc tương đối của súng phun so với bề mặt nền lớn hơn khi phun chi tiết có đường kính lớn. Phân tích hình ảnh SEM độ phóng đại thấp của ba lớp phủ (Hình 10 a,b,c) cho thấy rõ sự khác biệt về độ dày với các vùng trong cấu trúc vi mô của các mẫu lớp phủ còn lại, đặc biệt là trong lớp phủ ID350. Phân tích EDX tại các khu vực này cho thấy pha này chủ yếu là Fe, lượng nhỏ Si và Mn, cho thấy đây là tạp chất trong cấu trúc lớp phủ.

Lớp phủ ID350 có độ cứng vi mô thấp nhất, độ xốp cao nhất và sự không đồng nhất cao trong toàn bộ cấu trúc vi mô lớp phủ. Lớp phủ ID400 có mô đun đàn hồi cao nhất trong khi ID450 có giá trị mô đun đàn hồi thấp nhất.

Cấu trúc vi mô với độ phóng đại cao của ba lớp phủ có thể quan sát trong các ảnh SEM ở Hình 10d, 10e, 10f. Các hạt WC được nhúng trong pha kết dính với độ tương phản thay đổi. Trong ảnh SEM của lớp phủ ID350 (Hình 10d), có thể quan sát thấy các hạt phun của lớp phủ giữ hình dạng giống như bột phun ban đầu, so sánh ảnh SEM lớp phủ và bột phun hình 8 và hình 1. Sự hiện diện của các hạt này cho thấy các hạt đã không đủ biến dạng khi va chạm với bề mặt, dẫn đến sự bất thường trong cấu trúc lớp phủ dạng lớp. Trong cấu trúc lớp phủ ID400 và ID450 không xảy ra hiện tượng này, có thể do ảnh hưởng của khoảng cách phun ngắn hơn.



Hình 8. Ảnh SEM lớp phủ ID350

3.3. Ảnh hưởng của đường kính trong của chi tiết đến cấu trúc vi mô lớp phủ và hàm lượng pha

Từ các thông số phun được cài đặt trong nghiên cứu (hình 9), kết quả cho thấy đường kính trong của chi tiết hình trụ có ảnh hưởng đến vi cấu trúc, tính chất cơ học của lớp phủ.

Kết quả phân tích XRD cho thấy sự khác biệt trong thành phần pha của các lớp phủ ở cả ba mẫu phun. Sự xuất hiện của pha W_2C trong cả ba mẫu phun, tuy nhiên pha này xuất hiện với hàm lượng thấp hơn trong lớp phủ ID450 so với hai lớp phủ còn lại. Kết quả này trái ngược với

các dự đoán trước đó cho rằng việc sử dụng khoảng cách phun xa hơn sẽ dẫn đến tăng pha W_2C , vì các hạt trong quá trình bay có nhiệt độ cao trong thời gian lâu hơn nên quá trình khử cacbon diễn ra nhiều hơn (V. Katranidis et al., 2019). Quá trình phân tích pha cũng xác định rằng lớp phủ ID450 chứa một lượng pha Co_3W_3C cao hơn so với hai lớp phủ ID350 và ID400. Pha này không xuất hiện trong bột nguyên liệu phun và đã hình thành trong quá trình phun.

Về lý thuyết pha W_2C không ổn định ở nhiệt độ dưới $1250^\circ C$ và sẽ phân hủy ở trạng thái rắn khi nhiệt độ thấp hơn mức này. Do quá trình đông đặc nhanh của các hạt sau khi va chạm với bề mặt trong chi tiết trong quá trình phun nhiệt nên các hạt có rất ít thời gian để quá trình phân hủy diễn ra. Kết quả pha W_2C vẫn hiện diện trong lớp phủ rắn cuối cùng. Nếu nhiệt độ lớp phủ nguội chậm hoặc trải qua xử lý nhiệt, các cacbit pha η bền sẽ được hình thành. Sơ đồ pha của hệ W-Co-C cho thấy các cacbit M_6C hình thành ở nhiệt độ vượt quá $1150^\circ C$. Trong quá trình phun nhiệt HVOF, nhiệt độ hạt có thể vượt quá $1150^\circ C$ nên tạo điều kiện cho quá trình hình thành cacbit M_6C .

Hàm lượng W_2C thấp hơn và Co_3W_3C cao hơn của lớp phủ ID450 có thể liên quan đến sự khác nhau trong trạng thái nhiệt của các hạt trong quá trình phun. Có hai nguyên nhân để giải thích sự khác biệt pha này: một là các hạt ở khoảng cách phun xa hơn bắt đầu nguội trước khi va chạm bề mặt phun dẫn đến hình thành cacbit pha η , hai là nhiệt độ bề mặt khi phun lớp phủ ID450 cao hơn dẫn đến quá trình nguội chậm hơn sau khi lắng đọng và thúc đẩy hình thành cacbit pha η .

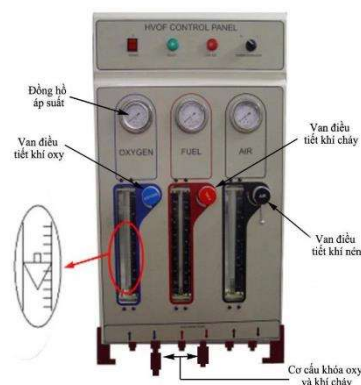
Độ dày lớp phủ của ID450 thấp hơn nhiều so với hai lớp phủ còn lại là ID350 và ID400. Nhiệt độ của các hạt trong quá trình bay trước khi va vào bề mặt đã được chứng minh là ảnh

hưởng đến hiệu quả quá trình lắng đọng. Khi mức độ nóng chảy của các hạt trong quá trình bay thấp hơn, các hạt có xu hướng là văng ra khỏi bề mặt mà không lắng đọng, dẫn đến lớp phủ mỏng hơn và độ rỗng cao hơn (W. Tillmann, et al., 2008). Tuy nhiên, độ xốp của lớp phủ này thực tế lại thấp hơn so với lớp phủ ID350, và độ cứng tương tự như lớp phủ ID400. Do đó, sự khác biệt về thành phần pha của lớp phủ ID450 là do nhiệt độ của bề mặt tăng lên trong quá trình phun.

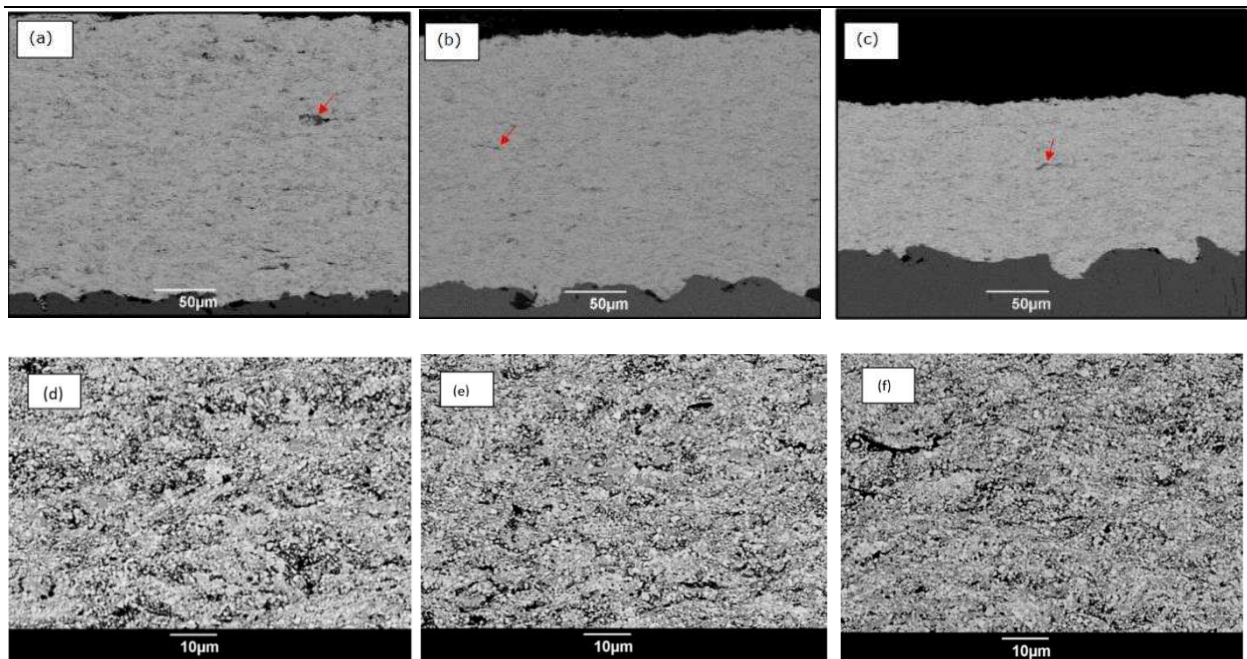
Tính chất cơ học của ba lớp phủ có sự khác nhau trong các mẫu thử nghiệm. Độ cứng của lớp phủ ID350 là thấp hơn so với hai lớp phủ còn lại và có độ xốp cao nhất. Độ xốp liên quan đến việc giảm độ cứng trong các lớp phủ phun nhiệt. Điều này giải thích cho sự khác biệt về độ cứng giữa lớp phủ ID350 và hai lớp phủ kia. Ngoài ra, khả năng giảm độ cứng lớp phủ này liên quan đến nhiệt độ và vận tốc của các hạt trong quá trình bay. Độ cứng của các lớp phủ phun nhiệt liên hệ chặt chẽ với vận tốc của các hạt trong quá trình bay, với vận tốc cao hơn dẫn đến lớp phủ có độ cứng tăng lên (T. Varis, et al., 2014). Với khoảng cách phun ngắn được sử dụng khi phun lớp phủ ID350 các hạt trong quá trình bay vẫn đang trong giai đoạn tăng tốc, nghĩa là vận tốc tại thời điểm va chạm với bề mặt thấp hơn so với khi phun ở khoảng cách xa hơn. Độ xốp tăng lên trong lớp phủ ID350 do vận tốc thấp dẫn đến sự biến dạng dẻo thấp hơn của các hạt khi va chạm từ đó hình thành các lỗ xốp. Các bề mặt hạt trong lớp phủ ID350 vẫn

giữ hình dạng tương tự như dạng bột phun ban đầu được quan sát thấy ở một số vị trí trong cấu trúc vi mô, do sự biến dạng chưa đủ của các hạt thiếu vận tốc khi va chạm. Hầu hết các hạt trong lớp phủ ID350 xuất hiện phẳng đều trên toàn bộ cấu trúc vi mô, chỉ có một số ít xuất hiện với độ biến dạng thấp như quan sát trong Hình 8.

Ảnh hưởng của độ dày lớp phủ đến tính chất của lớp phủ phun nhiệt WC-10Co-4Cr đã được nghiên cứu trước đó (G. Bolelli et al., 2009). Theo các nghiên cứu, lớp phủ mỏng có độ dày 59 μ m khi tăng độ dày lên 80 μ m đã giúp độ cứng tăng gần 250 HV0.3. Tuy nhiên, khi độ dày vượt quá 150 μ m thì độ cứng chỉ tăng nhẹ và các lớp tiếp theo hầu như không cải thiện độ cứng. Độ dày của ba lớp phủ trong nghiên cứu này đều nằm trong phạm vi mà việc tăng lớp phủ thêm ít ảnh hưởng đến độ cứng. Do đó, sự khác biệt về độ dày khó có thể giải thích các biến đổi về độ cứng.



Hình 9. Bảng cài đặt thông số phun



Hình 10. Ảnh SEM có độ phóng đại thấp của lớp phủ (a) ID350 (b) ID400 (c) ID450 và ảnh SEM có độ phóng đại cao (d) ID350 (e) ID400 (f) ID450

4. KẾT LUẬN

Các lớp phủ được tạo thành trên bề mặt trong các chi tiết trụ có đường kính khác nhau sẽ có thành phần pha, tính chất cơ học khác nhau. Lớp phủ ID350 có độ cứng vi mô thấp nhất và độ xốp cao nhất. Nguyên nhân là do các hạt không thể tăng tốc đủ khi phun bên trong chi tiết đường kính nhỏ.

Lớp phủ ID400 được phát hiện có tính chất cơ học tốt nhất. Kết quả này cho thấy các thông số phun nên được sử dụng để tối ưu hóa tại giá trị đường kính này nhằm xác định cơ tính tốt nhất của lớp phủ như độ xốp, độ cứng, chiều dày lớp phủ...

Lớp phủ ID450 có chứa lượng W_2C thấp hơn và lượng cacbit pha η Co_3W_3C cao hơn so với các lớp phủ khác. Các cacbit pha η này được hình thành khi quá trình làm mát chất nền không đủ và sự xuất hiện của pha này trong lớp

phủ tăng khả năng nứt lớp phủ. Nhiệt độ chất nền lớp phủ này cao hơn trong quá trình khi phun các mẫu còn lại.

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc phun lớp phủ WC-10Co-4Cr lên bề mặt bên trong là khả thi. Tuy nhiên việc kiểm soát nhiệt độ chất nền trở lên rất quan trọng vì quá nhiệt chất nền có thể dẫn đến tăng khả năng nứt của lớp phủ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Phạm Văn Liệu (2016), Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng phục hồi bề mặt trục có hình dáng phức tạp bị mòn bằng công nghệ phun phủ, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ - Địa chất.

Nguyễn Chí Bảo (2016), Nghiên cứu ảnh hưởng của lưu lượng và tốc độ chuyển động tương đối giữa đầu phun với chi tiết đến chất lượng bề mặt phun phủ bằng công

- nghe phun nhiệt khí tốc độ cao - HVOF, Luận án tiến sĩ, Đại học Mỏ - Địa chất
- Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Thị Hà, Phạm Thị Lý, Lê Thu Quý (2017), Nghiên cứu khả năng chống ăn mòn mài mòn của lớp phủ hợp kim NiCr20 được thấm thấu với phốt phát nhôm trong môi trường axit, Tạp chí Hóa học, số 55, trang 43-47
- Nguyễn Văn Tuấn (2017), Nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến hệ lớp phủ hợp kim niken crom kết hợp với chất bột phốt phát nhôm, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.
- Trần Văn Dũng (2012), Nghiên cứu ứng dụng công nghệ phun phủ để nâng cao chất lượng bề mặt chi tiết máy, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện Nghiên cứu Cơ khí.
- Phùng Tuấn Anh (2016), chế tạo lớp phủ chống ăn mòn và mài mòn trên mặt trong các chi tiết dạng ống trụ tròn bằng công nghệ phun phủ hồ quang điện, Tạp chí khoa học công nghệ hàng hải
- Nguyễn Tuấn Hải (2024), Nghiên cứu tạo lớp phủ gốm WC-12Co bề mặt trụ trong làm việc trong môi trường khắc nghiệt bằng phương pháp phun phủ HVOF, Tạp chí cơ khí Việt Nam
- Đỗ Quang Chiến (2018), Nghiên cứu chế tạo hệ lớp phủ có chứa crom carbide 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 khoa học, Bộ Công Thương
- W. Tillmann, E. Vogli, I. Baumann, G. Matthaeus, T. Ostrowski, Influence of the HVOF gas composition on the thermal spraying of WC-Co submicron powders ($-8 + 1\mu\text{m}$) to produce superfine structured cermet coatings, in: J. Therm. Spray Technol., 2008. <https://doi.org/10.1007/s11666-008-9234-9>.
- V. Katranidis, S. Kamnis, B. Allcock, S. Gu, Effects and Interplays of Spray Angle and Stand-off Distance on the Sliding Wear Behavior of HVOF WC-17Co Coatings, J. Therm. Spray Technol. 28 (2019) 514–534.
- T. Varis, T. Suhonen, A. Ghabchi, A. Valarezo, S. Sampath, X. Liu, S.P. Hannula, Formation mechanisms, structure, and properties of HVOF-sprayed WC-Co-Cr coatings: An approach toward process maps, J. Therm. Spray Technol. 23 (2014) 1009–1018. <https://doi.org/10.1007/s11666-014-0110-5>
- G. Bolelli, L. Lusvarghi, M. Barletta, HVOF-sprayed WC-Co-Cr coatings on Al alloy: Effect of the coating thickness on the tribological properties, Wear. 267 (2009) 944–953. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.12.066>.

ANALYSIS OF HVOF COATING CHARACTERISTICS FORMED ON THE SURFACE OF SEVERAL CYLINDRICAL COMPONENTS WITH DIFFERENT DIAMETERS

Dinh Van Chien^{1,2*}, Nguyen Tuan Hai³

¹Thai Nguyen University of Economics - Technology

²Ha Noi University of Mining and Geology

³Dong Nai Technology University

*Corresponding author: Dinh Van Chien, vanchien.dinh@gmail.com

GENERAL INFORMATION

Received date: 14/11/2024

Revised date: 18/12/2024

Published date: 08/01/2025

KEYWORD

HVOF;

Internal surface;

Thermal spray coatings;

WC-10Co-4Cr.

ABSTRACT

Nowaday, the high-velocity oxygen fuel (HVOF) spraying technology is developing and gradually being widely applied in Vietnam. HVOF coating technology is slowly becoming a surface protection solution for components, replacing hard chrome plating, which has adverse effects on the environment. Essentially, the process of creating internal surface coatings, such as those for molds, valves, and pipes, is extremely complex compared to external surfaces due to the influence of the spraying environment. This paper presents the characteristics of a WC-10Co-4Cr coating sprayed onto the internal surface of CT38 steel for three cylindrical components with diameters of 350mm, 400mm, and 450mm using the HVOF spraying method. The study aims to determine the effect of varying diameters on the microstructure, phase composition, and mechanical properties of the sprayed coatings. The results show that the Ø350 coating has low hardness and high porosity, while the Ø400 coating exhibits the best mechanical properties. The Ø450 coating contains a higher amount of η -carbide phase than the other coatings. Identifying suitable coating characteristics serves as a basis for determining the fixtures and spray gun dimensions for restoration applications, creating internal surface coatings using ID-HVOF.