

NGHIÊN CỨU CƠ TÍNH VÀ TỔ CHỨC TẾ VI VÙNG BIÊN GIỚI LIÊN KẾT GIỮA LỚP PHUN PHỦ HVOF HỢP KIM 67Ni18Cr5Si4B VÀ NỀN THÉP C45

STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE AT THE INTERFACE BETWEEN 67Ni18Cr5Si4B HVOF THERMAL SPRAY COATING AND C45 STEEL SUBSTRATE

Phạm Văn Liệu

TÓM TẮT

Bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B được phủ trên nền thép C45 bằng phương pháp phun oxy - nhiên liệu tốc độ cao HVOF với chiều dày lớp phủ khoảng 0,5mm. Các đặc tính của lớp phủ bao gồm độ cứng và tổ chức tế vi được nghiên cứu và phân tích. Kết quả cho thấy độ cứng tế vi của lớp phủ hợp kim lớn hơn độ cứng của kim loại nền, đồng thời kết hợp với việc phân tích tổ chức tế vi bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM) khẳng định chất lượng lớp phủ thông qua vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ với kim loại nền.

Từ khóa: Phun phủ, HVOF, lớp phủ 67Ni18Cr5Si4B, bám dính, tổ chức tế vi.

ABSTRACT

67Ni18Cr5Si4B alloy powder is coated on C45 steel substrate by high velocity oxygen-fuel method (HVOF) with a coating thickness of about 0.5mm. The properties of coatings including hardness and microstructure was studied and analyzed. The results show that the micro hardness of the alloy coating is greater than that of the substrate, and combined with the analysis of microstructure by scanning electron microscopy (SEM) confirms the quality of coating through border region linking the coating to the substrate.

Keywords: Thermal spray, HVOF, 67Ni18Cr5Si4B coating, adhesion, microstructure.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Email: phamvanlieu@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 21/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/6/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Độ bền của các chi tiết máy là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến tuổi thọ của thiết bị. Do đó, việc phục hồi lại hình dáng kích thước và quan trọng hơn nữa là tạo lớp bề mặt có các tính năng đặc biệt đáp ứng tốt yêu cầu làm việc của các chi tiết là vấn đề rất cấp thiết đã được nhiều nhà khoa học và các nhà sản xuất quan tâm đến. Có rất nhiều công nghệ sử dụng để phục hồi chi tiết như: hàn đắp [1], mạ [2], phun phủ nhiệt [3-5]. Trong đó, phun phủ nhiệt ngày càng được phát triển và mở rộng về quy mô, cải thiện

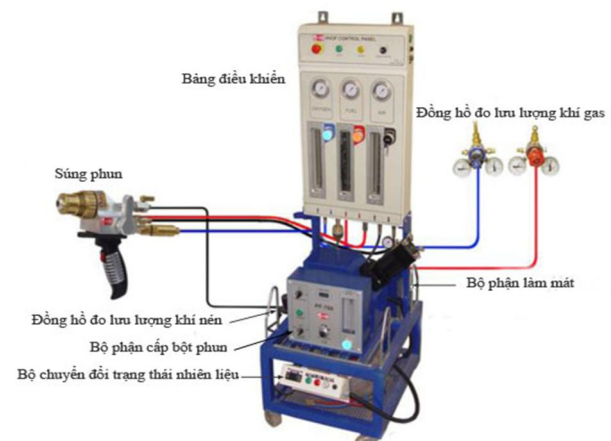
về chất lượng, thể hiện tính ưu việt so với các công nghệ tạo lớp phủ khác.

Ưu điểm chính của phun phủ nhiệt, đặc biệt là phương pháp phun HVOF, có thể tạo ra lớp phủ có độ xốp thấp và bền bám dính cao, đồng thời, ít gây ra ứng suất nhiệt. Do đó, việc nghiên cứu cơ tính và tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ và kim loại nền là một vấn đề mang tính thực tiễn cao được nhiều ngành và các nhà kỹ thuật quan tâm đến.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Chế tạo mẫu

Trong quá trình nghiên cứu và thử nghiệm tác giả sử dụng vật liệu phun là bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B được cung cấp bởi Công ty Surface engineering alloy (Mỹ), với độ hạt trung bình từ 22 μ m đến 270 μ m (ký hiệu theo tiêu chuẩn ngành của Nga là 67H18X5C4P); Vật liệu nền là thép C45 với thành phần hóa học và cơ tính nêu trong TCVN 8301: 2009, các mẫu thử nghiệm có cùng một kích thước $\varnothing \times L = 60 \times 20$ mm, số lượng mẫu là 27 mẫu [6].



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thiết bị phun nhiệt tốc độ cao HVOF

Mẫu thí nghiệm được tiến hành phun tạo lớp phủ có chiều dày khoảng 0,5mm, theo chế độ quy hoạch thực nghiệm với các thông số chính như sau: khoảng cách phun

$L = 100 \div 300\text{mm}$, lưu lượng cấp bột phun $m = 300 \div 500\text{g/ph}$, tốc độ trung bình dòng kim loại phun $V = 800 \div 1200\text{m/s}$, sử dụng thiết bị phun HVOF- Model MP-2100 Manual HVOF Control Panel, của hãng General Metal Alloys Intl (GMA) (hình 1).

2.2. Đánh giá chất lượng lớp phủ

*** Phương pháp xác định độ cứng tế vi**

Để xác định độ cứng tế vi trên bề mặt cắt ngang, các mẫu phủ được cắt và mài bóng không còn các vết xước trên bề mặt. Quá trình đo được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM E384 với tải trọng 100g trên máy đo độ cứng tế vi Duramin 2 (Đan Mạch) thuộc Phòng Thí nghiệm kim loại học và nhiệt luyện - Đại học Bách khoa Hà Nội, mẫu được lắp cố định trên bộ giá đảm bảo độ bằng phẳng, giúp cho quá trình đo chính xác.

*** Phân tích tổ chức vật liệu bằng kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FE-SEM)**

Việc tạo mẫu chụp SEM khảo sát tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ và kim loại nền được tiến hành như sau:

Mẫu sau khi phun phủ được cắt ra thành các miếng nhỏ có kích thước (10 x 10 x 5)mm và được mài bóng đảm bảo không còn vết xước. Tiến hành tẩy thực trên toàn bộ bề mặt đã được chuẩn bị, sau đó rửa sạch bằng nước và được sấy khô. Mẫu sau khi chuẩn bị xong phải được bảo quản cẩn thận nhằm tránh sự xâm nhập của hơi nước trong không khí.

Để khảo sát sự phân bố của tổ chức, cấu trúc tế vi vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45, mẫu được lắp cố định trên đồ giá và đưa vào thiết bị (FE-SEM). Model JSM 7600F của hãng Oxford Instrument (UK) thuộc Viện tiên tiến khoa học và công nghệ - Đại học Bách khoa Hà Nội để tiến hành chụp với nhiều mức phóng đại khác nhau (500; 1000; 1500; 2000; 2500; 3000) lần.

3. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

3.1. Kết quả đo độ cứng tế vi trên mặt cắt ngang các mẫu lớp phủ

Quá trình đo độ cứng được thực hiện trên máy Duramin 2 với tải trọng được cài đặt là 100g và được thực hiện theo thứ tự từ ngoài lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B vào trong lõi thép C45, kết quả đo được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả đo độ cứng lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B trên nền trục thép C45

TT	Ký hiệu mẫu	Tốc độ dòng khí V (km/s)	Lưu lượng phun m (kg/ph)	Khoảng cách phun L (m)	Độ cứng theo thứ tự vết đo (HV)		
					Lớp nền thép C45 (từ ngoài vào vị trí 01)	Lớp biên giới liên kết (vị trí 02)	Lớp phủ (từ ngoài vào lõi vị trí 03)
1.	000	0,8	0,3	0,1	191±10	313±10	507±101
2.	010	0,8	0,3	0,2	201±10	325±10	504±101

3.	020	0,8	0,3	0,3	201±10	330±10	484±101
4.	100	0,8	0,4	0,1	223±10	340±10	580±101
5.	110	0,8	0,4	0,2	219±10	334±10	548±101
6.	120	0,8	0,4	0,3	218±10	352±10	568±101
7.	200	0,8	0,5	0,1	229±10	418±10	569±101
8.	210	0,8	0,5	0,2	215±10	427±10	569±101
9.	220	0,8	0,5	0,3	224±10	421±10	564±101
10.	001	0,9	0,3	0,1	204±10	281±10	562±101
11.	011	0,9	0,3	0,2	203±10	284±10	554±101
12.	021	0,9	0,3	0,3	201±10	273±10	554±101
13.	101	0,9	0,4	0,1	229±10	418±10	557±101
14.	111	0,9	0,4	0,2	231±10	405±10	508±101
15.	121	0,9	0,4	0,3	234±10	409±10	482±101
16.	201	0,9	0,5	0,1	231±10	282±10	434±101
17.	211	0,9	0,5	0,2	235±10	300±10	427±101
18.	221	0,9	0,5	0,3	239±10	312±10	455±101
19.	002	1,0	0,3	0,1	237±10	522±10	583±101
20.	012	1,0	0,3	0,2	235±10	521±10	532±101
21.	022	1,0	0,3	0,3	242±10	472±10	565±101
22.	102	1,0	0,4	0,1	220±10	356±10	553±101
23.	112	1,0	0,4	0,2	211±10	379±10	559±101
24.	122	1,0	0,4	0,3	205±10	354±10	557±101
25.	202	1,0	0,5	0,1	192±10	352±10	617±101
26.	212	1,0	0,5	0,2	293±10	348±10	566±101
27.	222	1,0	0,5	0,3	293±10	346±10	577±101

Các số liệu trong bảng 1 cho thấy, độ cứng lớp phủ đạt giá trị trong khoảng hơn 500HV, độ cứng vùng biên giới liên kết giữa hai lớp đạt giá trị trong khoảng 400HV, các giá trị độ cứng của lớp phủ và vùng biên giới liên kết giữa hai lớp được phân bố không đều lắm trên các mẫu. Đồng thời, trên ảnh chụp tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ hợp kim và nền thép C45 (hình 2) cho thấy, các vết lõm có kích thước tăng dần từ phần lớp phủ sang phần lõi thép, lớp phủ nhận được trên các mẫu thực nghiệm khảo sát có độ mịn, tỷ lệ tạp chất ở bên trong lớp phủ ít.

Độ cứng lớp nền thép C45, lớp biên giới liên kết và lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B trên 3 mẫu được khảo sát ngẫu nhiên, đạt giá trị trung bình tương ứng là:

Nền thép $(1) = 191,3\text{HV}$; biên giới liên kết $(1) = 313,3\text{HV}$ và lớp phủ $(1) = 506,6\text{HV}$

Nền thép $(10) = 203,7\text{HV}$; biên giới liên kết $(10) = 280,5\text{HV}$ và lớp phủ $(10) = 561,7\text{HV}$

Nền thép $(27) = 193,0\text{HV}$; biên giới liên kết $(27) = 346,3\text{HV}$ và lớp phủ $(27) = 577\text{HV}$.

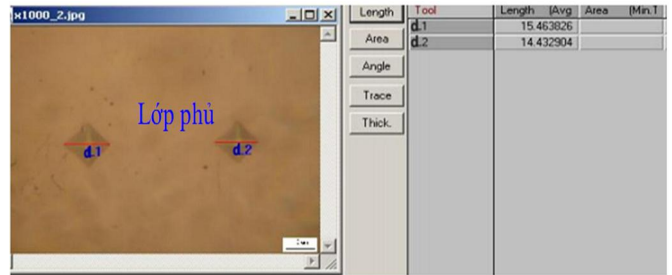
Từ kết quả khảo sát của các mẫu cho thấy, độ cứng lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B có giá trị trung bình cao hơn khoảng gần 3 lần so với độ cứng nền thép C45 và có giá trị giảm dần theo hướng kính. Có thể giải thích hiện tượng

này là do lớp phủ hợp kim ở phía ngoài của mẫu có khả năng tản nhiệt ra môi trường xung quanh nhanh hơn nên chúng được làm nguội nhanh hơn so với các lớp phủ ở phía bên trong. Độ cứng vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ bột hợp kim và nền thép C45 đạt giá trị trung bình trong khoảng từ 300 ÷ 400HV, cao hơn độ cứng nền thép.

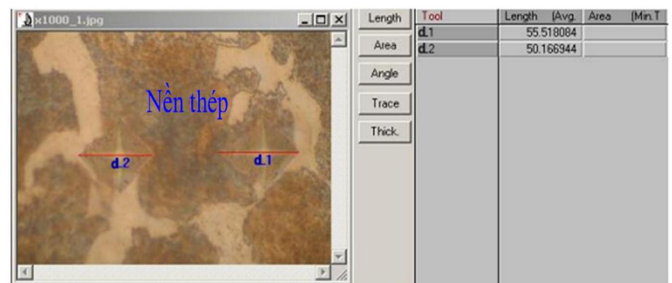
Kết quả đo độ cứng vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45 trên hai mẫu khảo sát ngẫu nhiên cho ở hình 2.

Từ ảnh chụp tổ chức tế vi trên mẫu thực nghiệm hình 2a cho thấy vùng biên giới giữa lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45 có ít tạp chất, tổ chức tế vi khá tương đồng trên toàn bộ chiều dài mẫu khảo sát, điều đó chứng tỏ rằng lớp phủ có độ bám dính tốt. Các vết lõm của mũi đâm nhận được trong hai lớp vật liệu được khảo sát có kích thước hình học khác nhau đó là: kích thước các vết lõm trong lớp phủ hợp kim có giá trị nhỏ hơn kích thước vết lõm trong nền thép C45, điều đó chứng tỏ độ cứng của lớp phủ hợp kim lớn hơn độ cứng của nền thép.

Trên mẫu thực nghiệm hình 2b cho thấy vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45 trên toàn bộ chiều dài mẫu được khảo sát lượng tạp chất cũng rất ít, điều đó chứng tỏ rằng lớp phủ có độ bền bám dính rất tốt. Khi đo độ cứng của hai lớp vật liệu trên mẫu thực nghiệm cho thấy kích thước vết lõm trong nền thép lớn hơn kích thước vết lõm trong lớp phủ hợp kim điều đó chứng tỏ độ cứng lớp phủ hợp kim lớn hơn độ cứng nền thép.



b1)



b2)

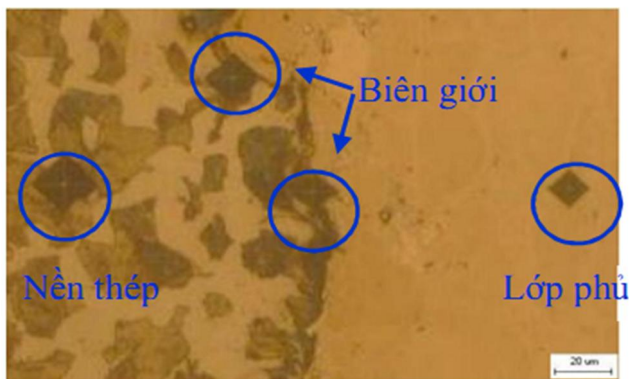
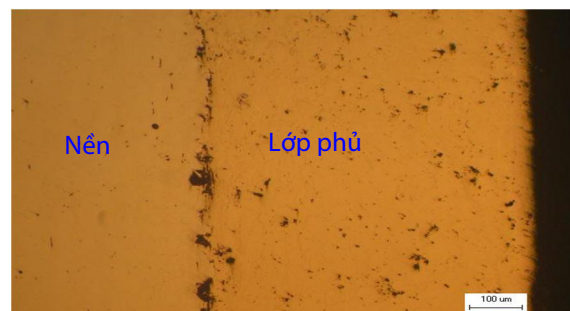
Hình 2. Ảnh chụp tổ chức tế vi vùng liên kết giữa nền thép C45 và lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B

Tiến hành đo kích thước vết lõm của lớp phủ và kim loại nền, trên mỗi loại vật liệu thực hiện đo 2 lần, kết quả đo được biểu diễn trên hình 2(b1) và hình 2(b2) với độ phóng đại lớn (mức x1000), trên hình 2(b1) cho thấy vết lõm lần đo thứ nhất có giá trị $d_1 = 14,432\mu\text{m}$, vết lõm lần đo thứ hai có giá trị $d_2 = 15,463\mu\text{m}$, trên hình 2(b2) cho thấy vết lõm lần đo thứ nhất có giá trị $d_1 = 50,166\mu\text{m}$, vết lõm lần đo thứ hai có giá trị $d_2 = 55,518\mu\text{m}$. Từ các giá trị đo ở trên càng làm rõ thêm những nhận xét đối với cả hai mẫu thực nghiệm trên hình 2 (a, b).

3.2. Phân tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết

Kết quả phân tích tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45 trên hai mẫu khảo sát ngẫu nhiên cho ở hình 3.

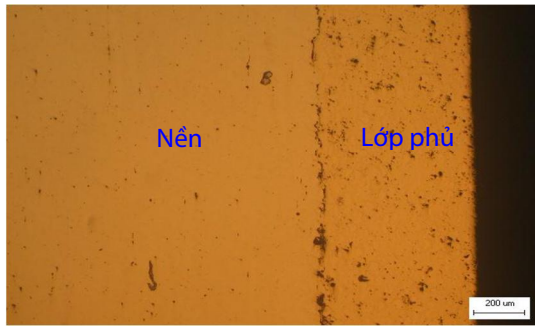
Tổ chức tế vi trên mẫu thực nghiệm ở hình 3 (có độ phóng đại x 100 và x 200). Biên giới liên kết giữa nền thép C45 (ở phía trái) và lớp phủ bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B (ở phía phải) tương đối tốt. Tuy nhiên, trên ảnh chụp tổ chức tế vi mẫu thực nghiệm này phát hiện thấy trên vùng biên giới liên kết của hai lớp và ở trong lớp phủ hợp kim có một vài vị trí có cấu trúc cục bộ mẫu đen, có thể đây là lỗ xốp, hiện tượng này sẽ làm giảm đáng kể độ bền bám dính giữa hai lớp và đây cũng chính là tính chất đặc trưng của lớp phủ.



a)



b)

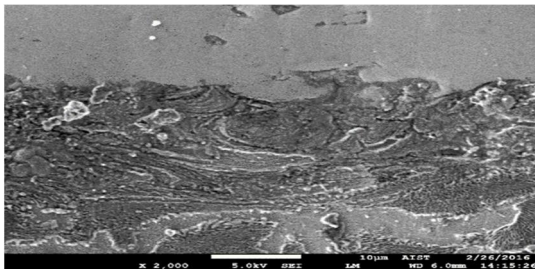


Hình 3. Ảnh chụp tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa nền thép C45 và lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B

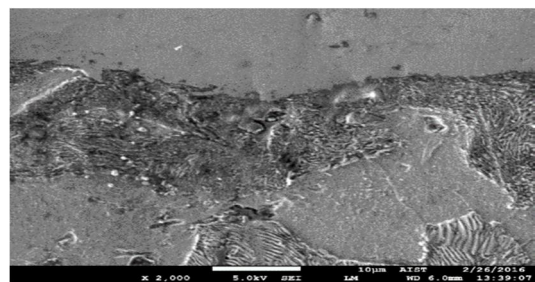
Từ các ảnh SEM với độ phóng đại 2000 lần (hình 4) có thể thấy, tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ và nền thép không có sự khuếch tán kim loại, điều này có thể giải thích như sau:

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, nên sự bám dính chủ yếu mang tính chất vật lý chứ không mang tính chất luyện kim hay hóa học.

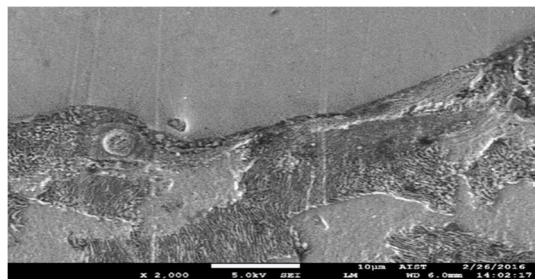
Các hạt nóng chảy của bột phun kết hợp với áp lực của dòng khí nén, khi va đập và lắng đọng trên kim loại nền đã phần nào làm biến dạng độ nhám của bề mặt vật liệu nền được tạo nhám từ trước, tạo thành liên kết cơ học.



a)



b)



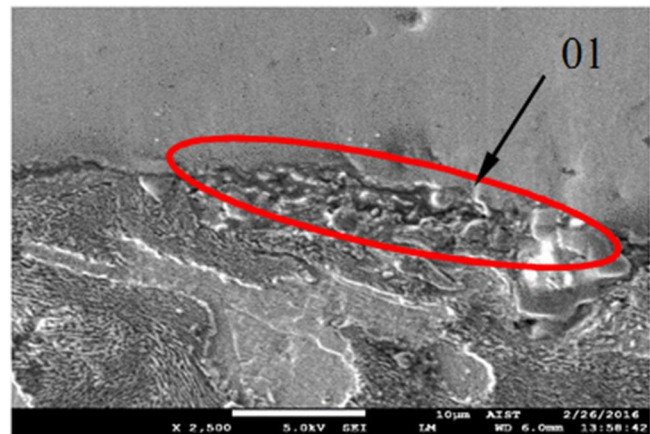
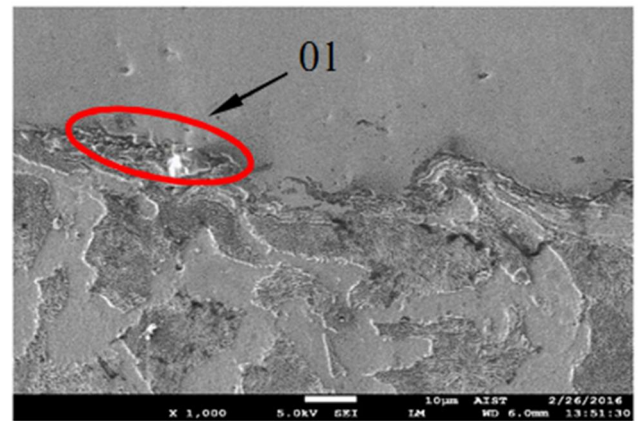
c)

Hình 4. Vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và thép nền C45 trên mẫu chụp ảnh SEM

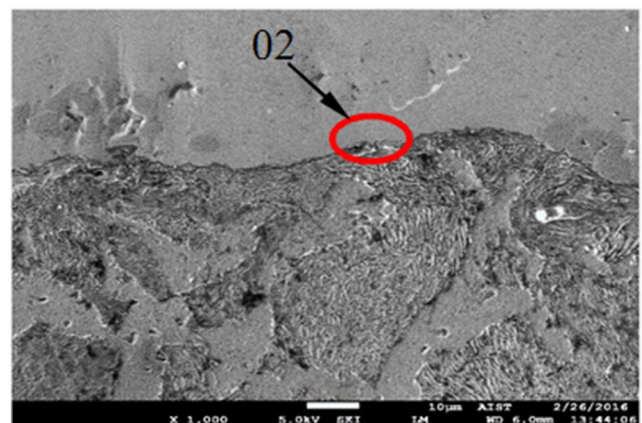
Từ Hình 5 có độ phóng đại 1000 và 2500 lần cho thấy, vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45 có ít tạp chất, cấu trúc tế vi khá tương đồng, điều đó cho thấy lớp phủ có độ bám dính tốt.

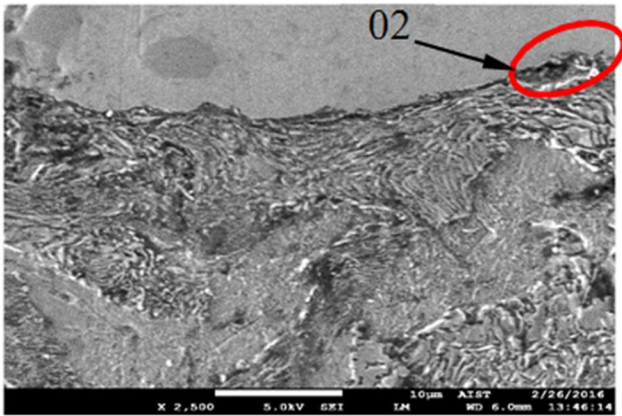
Tuy nhiên, trên mẫu thực nghiệm (hình 5a), trong suốt chiều dài của mẫu khảo sát, tại vị trí số 01 có vết nứt cục bộ, nguyên nhân có thể là do quá trình phun lớp phủ được làm nguội nhanh lên xảy ra hiện tượng co ngót kim loại đột ngột gây ra hiện tượng ứng suất dư trong lớp phủ.

Trên mẫu thực nghiệm (hình 5b), trong suốt chiều dài của mẫu khảo sát, tại vị trí số 02 cho thấy sự liên kết giữa lớp phủ và vật liệu nền kém có thể đây là tạp chất mà trong quá trình chuẩn bị bề mặt mẫu chưa được làm sạch.



a)





b)

Hình 5. Phân tích vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B với bề mặt thép C45 trên mẫu chụp ảnh SEM

4. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm được đo trên các thiết bị chuyên dùng về một số chỉ tiêu như: độ cứng HV của lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B, lớp trung gian và nền thép C45; phân tích tổ chức tế vi của lớp phủ, chụp ảnh SEM vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ và kim loại nền bằng phương pháp phun HVOF.

Từ các mẫu chụp ảnh SEM cho thấy vùng biên giới liên kết giữa lớp phủ hợp kim 67Ni18Cr5Si4B và nền thép C45 có ít tạp chất, tổ chức tế vi mịn, điều đó mang lại độ xốp thấp cho lớp phủ và độ bền bám dính cao phù hợp với quan điểm của phân lý thuyết về tính chất, tổ chức của lớp phủ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Tùng, 2006. *Giáo trình Vật liệu và công nghệ hàn*. NXB Giáo dục.
- [2]. Nguyễn Văn Lộc, 2007. *Công nghệ mạ điện*. NXB Giáo dục.
- [3]. Hoàng Tùng, 2006. *Công nghệ phun phủ và ứng dụng*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Đinh Văn Chiến, Đinh Bá Trụ, 2014. *Kỹ thuật phun nhiệt tốc độ cao HVOF, HVOF, D-Gun*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Văn Thông, 2006. *Công nghệ phun phủ bảo vệ và phục hồi*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [6]. 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, Hà Nội.

AUTHOR INFORMATION

Pham Van Lieu

Hanoi University of Industry