

# ẢNH HƯỞNG CỦA TỔ CHỨC VẬT LIỆU ĐẾN CƠ TÍNH LỚP PHỦ Ni-Cr TRONG NGHIÊN CỨU PHỤC HỒI TRỰC KHUYU ĐỘNG CƠ TÀU THỦY

## INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF Ni-Cr THERMAL SPRAY COATING OF CRANK-SHAFT IN MARINE ENGINES

TRẦN THẾ NAM<sup>\*1</sup>, PHẠM QUỐC VIỆT<sup>2</sup>, ĐỖ VĂN ĐOÀN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: thenam@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt

Bài báo này trình bày những kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của tổ chức đến cơ tính lớp phủ Ni-Cr lên thép C45 khi phun phủ phục hồi chi tiết trục khuỷu động cơ tàu thủy. Những kết quả nghiên cứu cho thấy rằng: Trước khi xử lý nhiệt, tổ chức tế vi của lớp phủ có sự tách lớp so với kim loại nền. Sau khi xử lý nhiệt bằng phương pháp ủ đồng đều hóa thì đã có sự khuếch tán và hình thành lớp liên kết giữa nền và lớp phủ. Chính sự thay đổi về tổ chức này đã ảnh hưởng đến cơ tính của lớp phủ và nâng cao hiệu quả công tác sửa chữa phục hồi trục khuỷu của các động cơ. Giá trị độ cứng của lớp phủ tăng lên đến 300HV; mức độ bám dính của lớp phủ lên đến xấp xỉ 30MPa; mức độ mài mòn giảm xuống còn khoảng  $1,1 \cdot 10^9 \text{kg/N.m}$

**Từ khóa:** Phun phủ, công nghệ sửa chữa, trục khuỷu, cơ tính, lớp liên kết, pha liên kim.

### Abstract

This article presents about influence of microstructure on the mechanical properties of Ni-Cr thermal spray coating on C45 steel applied for repairing the crankshaft of marine engines. The research results show that: Before heat treatment, the microstructure of the coating has separation compared to the base metal. After heat treatment by full annealing, there were diffusion and formation of a bond layer between the matrix and coating layer. It is this changing about microstructure that affects the mechanical properties of the coating, resulting to improve the effectiveness of maintenance of marine engine's crankshaft. The hardness value of the coating increases up to 300HV; the adhesion of the coating is up to approximately 30MPa; the value of wearing is reduced to about  $1,1 \cdot 10^9 \text{kg/N.m}$

**Keywords:** Spray coating, repaire engineering, crankshaft, mechanical properties, intermetallic phases, bond layer.

### 1. Mở đầu

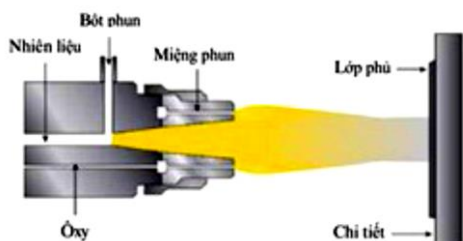
Phun phủ kim loại được phát hiện ra từ rất sớm. Ban đầu nó chỉ dùng với mục đích trang trí, nhưng về sau nó càng được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp như sử dụng để chống gỉ cho vật liệu, chi tiết, vừa làm tăng khả năng làm việc vừa đem lại tuổi thọ cao cho sản phẩm. Một trong những công dụng quan trọng của phương pháp này là xử lý và phục hồi các chi tiết máy hỏng hóc do bị ăn mòn hoặc mất chính xác. Nguyên liệu dùng trong phục hồi chỉ cần một lượng nhỏ so với khối lượng toàn bộ chi tiết mới phải sản xuất lại, ngoài ra công lao động cần thiết để phục hồi cũng rất nhỏ. Trong một số trường hợp phục hồi lại các chi tiết máy có chất lượng và tuổi thọ cao hơn các chi tiết mới.

Trục khuỷu động cơ trên tàu thủy là chi tiết làm việc trong điều kiện chịu tải trọng va đập do tải động cơ thay đổi thường xuyên và không ổn định. Kiểm tra, đánh giá độ mài mòn các cổ trục của trục khuỷu là một trong những công việc bắt buộc trong các kỳ bảo trì, sửa chữa động cơ. Khi mức độ mài mòn trục khuỷu lớn hơn giới hạn cho phép, công nghệ sửa chữa truyền thống áp dụng chủ yếu là hàn đắp đối với mức độ mài mòn lớn hoặc mạ đối với mài mòn nhỏ. Tuy nhiên, công nghệ hàn đắp có hạn chế rất lớn khi không xử lý được cấu trúc vật liệu tại ranh giới lớp hàn, dẫn đến sự bong tróc và không ổn định của lớp vật liệu hàn, đặc biệt đối với các trục khuỷu có đường kính nhỏ của các động cơ cao tốc. Do đó, công nghệ sửa chữa cho các dạng trục khuỷu này thường là thay thế mới, kéo theo tăng chi phí và kéo dài thời gian sửa chữa. Chính vì vậy việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ phun phủ, trong đó nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng tổ chức lớp vật liệu đến cơ tính lớp phủ là một trong những vấn đề có ý nghĩa quan trọng trước khi triển khai thử nghiệm trên trục khuỷu thực tế.

Lớp phủ bằng kim loại có tính chất và thành phần khác hẳn với kim loại ban đầu. Đặc trưng cơ sở của cấu trúc này là những tấm kim loại với kích thước 0,1-0,2 (mm) và chiều dày 0,005-0,01 (mm). Các

phân tử này có độ biến dạng khác nhau và bị phân cách bằng một lớp oxit mỏng với chiều dày 0,001 mm. Đặc điểm của phun phủ sẽ cải thiện được tính chất của vật liệu nền như cải thiện khả năng chống ăn mòn; khả năng chống mài mòn và một số tính chất khác của vật liệu nền. Hiện có nhiều phương pháp phun phủ khác nhau nhưng phương pháp phun nhiệt là một trong số phương pháp phổ biến hơn cả [1]-[3].

Trong các nhóm của phương pháp phun nhiệt có phương pháp phun bằng ngọn lửa thông thường; phun bằng hồ quang điện và phun bằng dòng plasma. Tuy nhiên, đối với nhóm chi tiết trục khuỷu là chi tiết có kích thước lớn và phức tạp nên phương pháp phổ biến là phương pháp phun phủ bằng dòng khí cháy [4], [5].



**Hình 1. Sơ đồ nguyên lý về phun phủ bằng khí cháy**

Hiện nay có rất nhiều công trình nghiên cứu về công nghệ phun phủ; các biện pháp xử lý trước khi phun phủ cũng như ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng lớp phun phủ. Ngoài ra, còn một số các công trình nghiên cứu ảnh hưởng về thành phần lớp phun phủ cũng như ảnh hưởng của các pha liên kim đến tổ chức và tính chất của lớp phun phủ. Như công trình nghiên cứu của Nuria Cinca [3] nghiên cứu đã chỉ ra ảnh hưởng của pha liên kim NiTi đến tổ chức và cơ tính của lớp phun phủ. Kumar [6] và Dejang [7] đã chỉ ra ảnh hưởng của công nghệ phun phủ đến tổ chức và tính chất của lớp phủ Ni-Cr.

Tuy nhiên, những nghiên cứu về cấu trúc lớp phun phủ để từ đó đưa ra những giải pháp nâng cao chất lượng lớp phun phủ thì chưa được nghiên cứu.

Trong công trình này, trình bày những nghiên cứu về đặc điểm cấu trúc lớp phun phủ; tính chất của lớp phun phủ cũng như đưa ra những giải pháp nâng cao chất lượng lớp phun phủ khí cháy lên vật liệu chế tạo trục khuỷu. Ngoài ra, nguồn nguyên liệu để phun phủ lên chi tiết là các hạt Niken có kích thước cỡ micro được chế tạo từ trong nước với mục đích tăng chất lượng của lớp phủ.

## 2. Thực nghiệm

Thép dùng để nghiên cứu thực hiện quá trình phun phủ là thép C45, cùng vật liệu với thép chế tạo trục khuỷu.

Vật liệu phun phủ là vật liệu dạng bột được trộn với thành phần như bảng sau:

**Bảng 1. Thành phần hóa học của bột phun phủ**

Bột	Thành phần hóa học		
	Ni	Cr	C
Ni-20Cr	75-68	22-23	< 0,15

Bột phun phải được chuẩn bị trước. Công đoạn chuẩn bị bột phun phủ bao gồm các bước: Sấy bột và phân cấp hạt.

- Sấy hạt: Thông thường bột kim loại phun thường được sấy ở nhiệt độ 120°C-150°C trong khoảng thời gian từ 1-3 (giờ). Đối với bột gốm, nhiệt độ sấy cao hơn 700 °C-800°C và thời gian sấy từ 4-5 (giờ);

- Phân cấp hạt của bột phun thường dùng bộ dây sàng có kích thước nhỏ hơn 100mm.

Thiết bị phun phủ là thiết bị MARK-61.

Mẫu sau phun phủ được chia thành hai nhóm:

Nhóm thứ nhất được tiến hành phân tích tổ chức và cơ tính sau khi phun phủ.

Nhóm thứ hai được tiến hành ủ khuếch tán ở 1000°C để đảm bảo các nguyên tố có thể khuếch tán và hình thành lớp liên kết giữa lớp phủ và kim loại nền. Sau đó, các mẫu được tiến hành phân tích tổ chức và cơ tính.

Về phân tích tổ chức được thực hiện trên kính hiển vi quang học Axiovert 25A; hiển vi điện tử quét FESEM - Jeol 7600. Chiều dày lớp phủ được xác định bằng phần mềm Image-Plus.

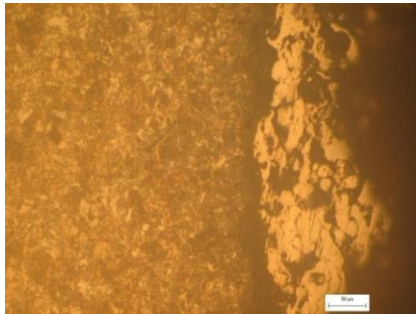
Về độ cứng được tiến hành bằng phương pháp đo độ cứng Vicker trên thiết bị của Duramin-Struers; độ mài mòn được xác định trên thiết bị của hãng Tribotech. Để xác định mức độ bám dính của lớp phủ được xác định bằng thiết bị DLR.

## 3. Kết quả và bàn luận

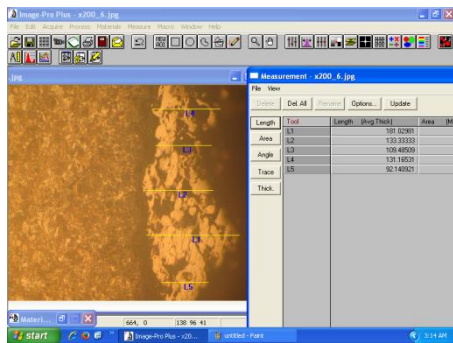
### 3.1. Phân tích tổ chức

Mặc dù quá trình phun phủ với nhiệt độ nóng chảy cao, lớp bề mặt thép đã được tạo độ nhám để tăng mức độ bám dính cho quá trình phun phủ nhưng giữa bề mặt lớp nền và lớp phun phủ dường như không có sự liên kết chặt chẽ về mặt tổ chức. Chiều dày lớp phun phủ tối đa đạt được trong điều kiện

chưa xử lý nhiệt là khoảng 180µm. Tổ chức tại vùng ranh giới cho thấy giữa lớp phủ và nền ở đây chỉ có sự liên kết về mặt cơ học. Chính chỉ có sự bám dính về mặt cơ học mà không có sự khuếch tán giữa lớp phủ và kim loại cơ bản do vậy giá trị độ cứng có thể cao nhưng độ bám dính sẽ kém. Ngoài ra, trong tổ chức còn xuất hiện các lỗ xốp do quá trình phun phủ mang lại. Việc xuất hiện các lỗ xốp sẽ giảm mức độ liên kết trong vật liệu phủ cũng như liên kết giữa vật liệu phủ và nền.

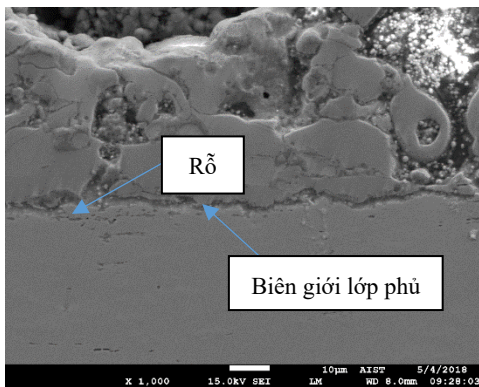


a) Tổ chức tế vi lớp phủ



b) Chiều dày lớp phun phủ

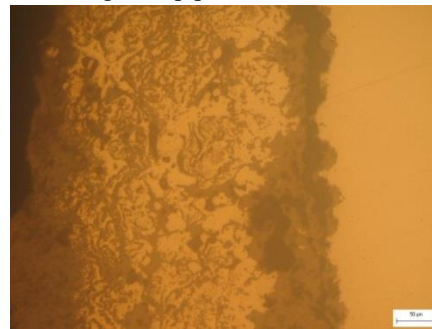
**Hình 2. Tổ chức tế vi lớp phun phủ trước khi xử lý nhiệt**



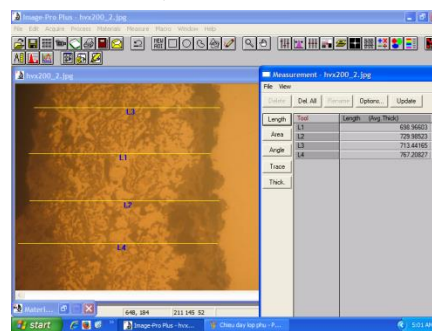
**Hình 3. Ảnh SEM lớp phủ trước khi xử lý nhiệt**

Mẫu chưa xử lý nhiệt có sự phân tách một cách rõ ràng giữa lớp phủ và kim loại nền. Chính sự phân tách này sẽ dẫn đến lớp phun phủ bị bong tróc khi làm việc. Như vậy cho thấy một cách rõ ràng về sự phân tách

giữa lớp phủ kim loại và kim loại nền. Các nguyên tố lớp phủ tập trung toàn bộ phía phủ không hình thành lớp khuếch tán giữa lớp phủ và kim loại nền.



a) Tổ chức tế vi



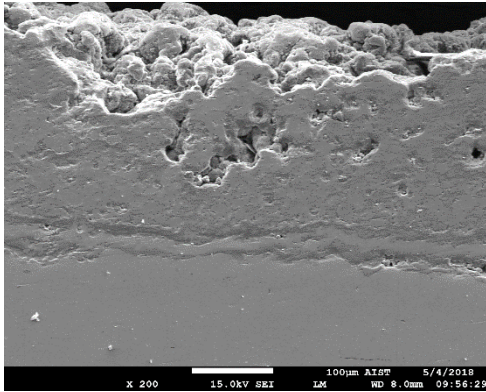
b) Chiều dày lớp phủ sau xử lý nhiệt

**Hình 4. Tổ chức tế vi lớp phun phủ sau khi xử lý nhiệt**

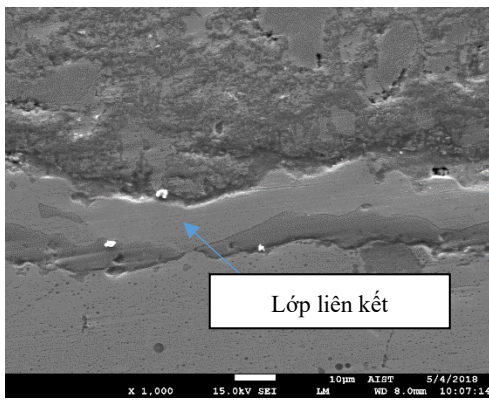
Các mẫu sau khi xử lý nhiệt chiều sâu lớp phủ đều tăng lên. Chiều dày lớp phủ khuếch tán có thể đạt tới 750µm. Điều này có thể giải thích là do đã có sự khuếch tán tạo ra sự liên kết về mặt tổ chức của lớp phủ với lớp kim loại nền. Hơn thế nữa, phân tích chiều sâu lớp phủ cho thấy đã có sự tăng lên so với mẫu khi chưa thực hiện quá trình xử lý nhiệt.

Khi thực hiện ủ khuếch tán phân tích ảnh tổ chức tế vi cho thấy (Hình 5a và b) hình thành lớp liên kết giữa kim loại nền và lớp phủ. Lớp liên kết được chỉ ra trên Hình 5b; theo phân tích thì chiều dày lớp liên kết là khoảng 15µm. Các nguyên tố được khuếch tán đều từ phía lớp phủ sang đến bên kim loại liên kết và ngược lại. Nguyên lý chung của quá trình khuếch tán được giải thích dựa vào định luật Fick II về khuếch tán các nguyên tố khi ủ khuếch tán. Chính sự khuếch tán này sẽ góp phần hình thành lớp liên kết và tránh được sự bong tróc trong quá trình làm việc của chi tiết. Ngoài ra, nhờ sự khuếch tán này dẫn đến hình thành các pha liên kim của vật liệu phủ với kim loại nền; điều này dẫn đến giá trị độ cứng của mẫu sau xử lý nhiệt tăng lên. Các pha liên kim hình thành là của các nguyên tố kim loại; ngoài ra có sự kết hợp của cacbon với Cr để tạo cacbit tăng khả năng chống mài mòn cho

chi tiết. Điều này đúng với những phân tích về sự hình thành pha liên kim loại của tác giả Cinca [3].



a) Lớp phủ sau khi xử lý nhiệt (x200)



b) Lớp phủ sau khi xử lý nhiệt (x1000)

**Hình 5. Ảnh SEM lớp phủ sau khi xử lý nhiệt**

### 3.2. Phân tích cơ tính

#### a. Phân tích độ cứng

Phân tích độ cứng nhận thấy: Giá trị độ cứng lớp phủ trước khi xử lý nhiệt là thấp. Giá trị này thấp được giải thích do chưa thực sự tạo được các pha liên kim của Fe với Cr và Ni của lớp này nên giá trị độ cứng thấp. Tuy nhiên, sau khi xử lý nhiệt do có sự khuếch tán hình thành các pha ở lớp phủ nên giá trị độ cứng của mẫu được tăng lên; các pha liên kim của Fe với Cr và Ni; ngoài ra có sự hình thành của cacbit Cr. Điều này được phân tích thông qua các kết quả về tổ chức của lớp phủ trước và sau khi xử lý nhiệt.

**Bảng 2. Giá trị độ cứng lớp phun phủ**

Độ cứng (HV 0,05)	Trước khi xử lý nhiệt	Sau khi xử lý nhiệt
Lần 1	162	302
Lần 2	140	290
Lần 3	191	292

#### b. Phân tích mức độ bám dính

Phân tích mức độ bám dính cho thấy: Mẫu sau khi xử lý nhiệt có độ bám dính cao hơn so với mẫu không xử lý nhiệt ở tất cả các lần đo. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả phân tích về mặt tổ chức; trước khi xử lý nhiệt không xuất hiện lớp liên kết về tổ chức giữa lớp phủ và kim loại nền mà chỉ có lớp liên kết cơ học.

**Bảng 3. Độ bám dính của lớp phủ**

	Trước xử lý nhiệt K, MPa	Sau xử lý nhiệt K, MPa
L1	23,15	26,82
L2	24,28	27,92
L3	24,81	28,98

Như vậy với phương pháp xử lý nhiệt sau phun phủ sẽ tạo được một lớp liên kết hoàn chỉnh giúp tăng khả năng làm việc cho chi tiết. Kết quả này phản ánh đúng tổ chức của mẫu mà đã có sự khuếch tán tạo nên một lớp phun phủ hoàn chỉnh tăng khả năng bám dính trên chi tiết. Do đó, về mặt cơ tính và tổ chức của mẫu trước và sau khi xử lý nhiệt có sự tương đồng về tổ chức và cơ tính của chi tiết.

#### c. Phân tích độ mòn

Từ kết quả phân tích về cường độ mòn cho thấy cùng một chế độ thử mài mòn mẫu trước khi xử lý nhiệt cường độ mòn trung bình lớn hơn rất nhiều so với mẫu sau khi xử lý nhiệt. Điều này được giải thích là: Do trước khi xử lý nhiệt mức độ liên kết giữa lớp phủ và kim loại nền kém nên lớp phủ dễ bong ra mức độ hao mòn nhanh (sau khi thử nghiệm lớp phủ có hiện tượng bong). Khi thực hiện xử lý nhiệt đã có sự khuếch tán nguyên tố từ lớp phủ vào bên trong nền tạo lớp liên kết chặt chẽ giữa kim loại nền và lớp phủ nên cải thiện đáng kể chất lượng chống mài mòn.

**Bảng 4. Cường độ mòn trung bình của mẫu tính theo khối lượng**

	Kết quả (kg/N.m)
Mẫu trước xử lý nhiệt	$6,21 \cdot 10^9$
Mẫu sau khi xử lý nhiệt	$1,81 \cdot 10^9$

### 5. Kết luận

Các kết quả phân tích cho thấy sự ảnh hưởng về tổ chức đến cơ tính của mẫu khi thực hiện phun phủ Ni-Cr lên thép C45, vật liệu tương đồng với thép chế tạo trục khuỷu động cơ diesel tàu thủy là khá rõ rệt. Sau khi phun phủ, lớp phủ chỉ hình thành liên kết về

mặt cơ học với nền và quá trình hình thành lớp liên kết về mặt tổ chức chỉ hình thành sau khi ủ khuếch tán, tổ chức tế vi hình thành pha liên kim ở trong lớp phủ. Quá trình này ảnh hưởng lớn đến cơ tính của lớp phủ: Giá trị độ cứng tế vi; mức độ bám dính của lớp phủ được tăng lên trong khi đó cường độ mòn của lớp phủ giảm đi đáng kể. Những kết quả nghiên cứu trên đây là cơ sở để tiến hành nghiên cứu thử nghiệm lớp phủ trên trục khuỷu động cơ diesel tàu thủy trong giai đoạn kế tiếp của nghiên cứu.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.19.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Amin, H. Panchal, and A. Professor, *A Review on Thermal Spray Coating Processes*, Int. J. Curr. Trends Eng. Res. Sci. J. Impact Factor, Vol.2, No.4, 2016.
- [2] M. Aghasibeig, F. Tarasi, R. S. Lima, A. Dolatabadi, and C. Moreau, *A Review on Suspension Thermal Spray Patented Technology Evolution*, Journal of Thermal Spray Technology, Vol.28, No.7. 2019.
- [3] N. Cinca, C. R. C. Lima, and J. M. Guilemany, *An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings*, Journal of Materials Research and Technology, Vol.2, No.1. 2013.
- [4] V. Senthilkumar, B. Thiyagarajan, M. Duraiselvam, and K. Karthick, *Effect of thermal cycle on Ni-Cr based nanostructured thermal spray coating in boiler tubes*, Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed)., Vol.25, No.5, 2015.
- [5] C. U. Hardwicke and Y. C. Lau, *Advances in thermal spray coatings for gas turbines and energy generation: A review*, Journal of Thermal Spray Technology, Vol.22, No.5, 2013.
- [6] M. Kumar, H. Singh, and N. Singh, "Study of Ni-20Cr coatings for high temperature applications - A review," *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol.58, No.2, 2013.
- [7] N. Dejang, P. Kuntasudjai, and S. Jiansirisomboon, *Effect of thermal spray processes on microstructures and properties of Ni-20%Cr coatings*, Songklanakarin J. Sci. Technol., Vol. 28, No.3, 2006.

Ngày nhận bài:	13/12/2021
Ngày nhận bản sửa:	21/12/2021
Ngày duyệt đăng:	28/12/2021