

# Nghiên cứu chế tạo lớp phủ composit Cu/TiB<sub>2</sub> trên nền thép làm khuôn H13 bằng phương pháp phủ laser

Trần Văn Nghĩa, Nguyễn Thanh Hùng, Phùng Tuấn Anh

**Tóm tắt**—Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu chế tạo thành công lớp phủ composit Cu/TiB<sub>2</sub> trên bề mặt nền thép làm khuôn dập nóng H13 bằng công nghệ phủ laser. Kết quả thí nghiệm cho thấy, lớp phủ có tổ chức tương đối đồng đều, các hạt hóa bền TiB<sub>2</sub> phân bố phân tán trên nền kim loại đồng. Chiều dày lớp phủ đạt khoảng (500–600) μm. Kết quả phân tích hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy, lớp phủ có liên kết dạng hàn với nền thép H13 đảm bảo khả năng liên kết chặt chẽ với nền. Độ cứng tế vi của lớp phủ đạt cao nhất lên đến hơn 700 HV0.2, lớn hơn rõ rệt so với độ cứng vật liệu nền (khoảng 220 HV0.2). Tuy vậy, phân bố độ cứng chưa đồng đều, độ cứng lớp phủ có xu hướng giảm không nhiều cho đến khoảng cách (500–600) μm so với bề mặt lớp phủ, sau đó giảm nhanh về độ cứng của nền

**Từ khóa**—Lớp phủ composit Cu/TiB<sub>2</sub>, công nghệ phủ laser, thép H13, độ cứng tế vi

## 1 GIỚI THIỆU

Trong sản xuất công nghiệp hiện nay, nâng cao tuổi thọ của khuôn ngày càng trở thành một vấn đề nổi trội và là tiêu chí đánh giá mức độ phát triển kỹ thuật công nghệ chế tạo khuôn [1].

Tuy nhiên, khuôn thường phải làm việc trong môi trường khắc nghiệt, nhất là với các loại khuôn dập

nóng, khuôn dập nguội, do vậy thường xảy ra các dạng phá hủy như biến dạng dẻo, nứt, mài mòn bề mặt làm việc của khuôn. Đối với các dây chuyền sản xuất liên tục khi đó bắt buộc phải dừng lại để tiến hành sửa chữa, thay thế. Điều này sẽ gây nên những thiệt hại to lớn về mặt kinh tế cho các nhà sản xuất [2, 4, 7].

Sự phá hủy khuôn thường xảy ra trên bề mặt khuôn, hơn nữa đối với khuôn dập nóng, trong các dạng phá hủy thì mài mòn là một dạng phá hủy thường gặp nhất và khó tránh khỏi. Vì vậy, nghiên cứu xử lý bề mặt nhằm nâng cao tính năng chống mài mòn của bề mặt khuôn từ đó kéo dài tuổi thọ làm việc của khuôn trở thành một vấn đề cấp thiết hiện nay.

Một trong những kỹ thuật bề mặt được ứng dụng nhiều hiện nay là kỹ thuật phủ laser. Đây là công nghệ bề mặt tiên tiến thay thế cho công nghệ hàn và phun phủ nhiệt truyền thống. Phương pháp này có ưu điểm ở chỗ nó sử dụng nguồn nhiệt là chùm tia laser tập trung làm nóng chảy kim loại nền, giúp tạo nên một liên kết kim loại giữa lớp phủ với nền có độ bám dính cao hơn và ít rỗ xốp hơn phun phủ nhiệt truyền thống. Hơn nữa, vùng bị ảnh hưởng nhiệt của kim loại nền khá nhỏ. Trong lĩnh vực chế tạo khuôn, kỹ thuật phủ laser có thể tiến hành chế tạo mới cũng như phục hồi các bề mặt chống mài mòn của khuôn, đặc biệt là các khuôn dập nóng [2, 3, 4, 7].

Khuôn dập nóng thường phải làm việc trong môi trường nhiệt độ cao, chịu ma sát mạnh với phôi và do đó thường bị mài mòn mãnh liệt, hơn nữa khuôn còn phải chịu sự tác động của ăn mòn nhiệt, ứng suất nhiệt... nên tuổi thọ giảm trông thấy.

Đồng (Cu) là kim loại có khả năng dẫn nhiệt, dẫn điện tốt và có khả năng chống ăn mòn ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, đồng là kim loại có độ cứng thấp, khả năng chống mài mòn kém, dễ xảy ra biến dạng dẻo và dẫn đến phá hủy. Do đó cần phải pha tạp vào nền đồng một pha thứ hai cứng hơn để

*Bài báo này được gửi vào ngày 19 tháng 06 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 1 tháng 10 năm 2017.*

Trần Văn Nghĩa, Đại học Khoa học và Kỹ thuật Nanjing, Trung Quốc.

Nguyễn Thanh Hùng, Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

Phùng Tuấn Anh, 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội (Email: phungtuanhmta@gmail.com)

cải thiện tính năng chống mài mòn của lớp phủ. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, các pha cứng phụ thêm như oxit, sunfit, cacbit, borit (chẳng hạn như  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{TiB}_2$ ...) khi đưa vào nền đồng sẽ hình thành các composit có tính tự bôi trơn và có khả năng chống mài mòn cao. Khi dùng các composit này để chế tạo một lớp phủ trên bề mặt khuôn dập nóng sẽ cải thiện được rõ rệt khả năng tản nhiệt của khuôn, cũng như tính chất tự bôi trơn sẽ làm giảm ảnh hưởng của ma sát trong quá trình làm việc [8-10]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn pha hóa bền là  $\text{TiB}_2$  bởi hạt  $\text{TiB}_2$  có khả năng dẫn nhiệt tương đối tốt [3, 5, 6], vì vậy sự pha tạp của nó không làm mất đi tính dẫn nhiệt của lớp phủ đồng.

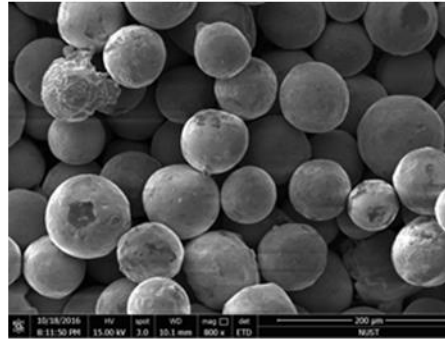
Nhóm tác giả sử dụng phương pháp phủ laser chế tạo một lớp phủ composit  $\text{Cu/TiB}_2$  trên nền thép làm khuôn dập nóng H13 để nâng cao tuổi thọ của khuôn.

## 2 THÍ NGHIỆM

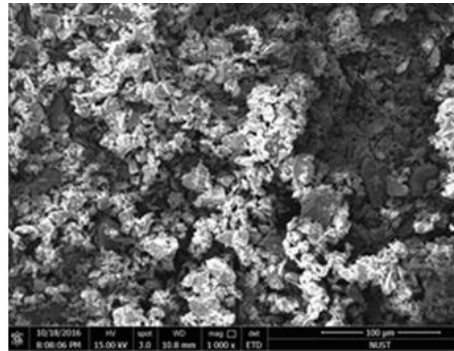
Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng thép làm khuôn dập nóng H13 dạng tấm làm vật liệu nền, vật liệu phủ đầu vào là bột  $\text{TiB}_2$  (độ tinh khiết 99,95% theo khối lượng) có kích thước hạt khoảng 5  $\mu\text{m}$  và bột kim loại đồng (độ tinh khiết 99,95% theo khối lượng) dạng cầu có kích thước (70-150)  $\mu\text{m}$ . Các vật liệu thí nghiệm được cung cấp bởi Công ty Beijing Changsha Tianjiu (Trung Quốc). Thành phần hóa học của thép H13 và hình thái đầu vào của các loại bột được chỉ ra trong bảng 1 và hình 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học vật liệu nền (thép H13)

Nguyên tố	Hàm lượng %
C	0,32-0,45
Si	0,80-1,20
Mn	0,20-0,50
Cr	4,75-5,50
Mo	1,10-1,75
V	0,80-1,20
S	$\leq 0,30$
P	$\leq 0,30$
Fe	Còn lại



a) Bột Cu, x800



b) Bột  $\text{TiB}_2$ , x1000

Hình 1. Hình thái đầu vào của các vật liệu phủ

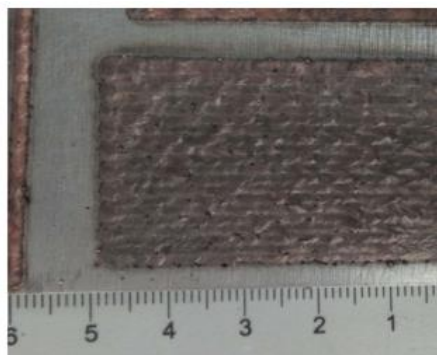
Vật liệu thép H13 (vật liệu nền) được cắt thành các mẫu có kích thước 75×50×15 mm (dài × rộng × dày), được mài thô để loại bỏ lớp oxit hóa bề mặt, sau đó được rửa sạch bằng dung dịch axeton. Các loại bột vật liệu phủ là Cu và  $\text{TiB}_2$  được trộn đều với nhau theo các tỉ lệ bao gồm kim loại đồng Cu và 10%  $\text{TiB}_2$ , 15%  $\text{TiB}_2$ , 20%  $\text{TiB}_2$ , 25%  $\text{TiB}_2$  (% khối lượng) và sau đó được phủ đều trên bề mặt mẫu nền bằng công nghệ phủ laser, chiều dày lớp bột phủ khoảng 0,8 mm.

Nguyên công phủ laser được tiến hành với các tham số công nghệ như sau: năng lượng laser 800 W, tốc độ quét 15 mm/s, độ chồng lấn giữa các dải phủ là 30%.

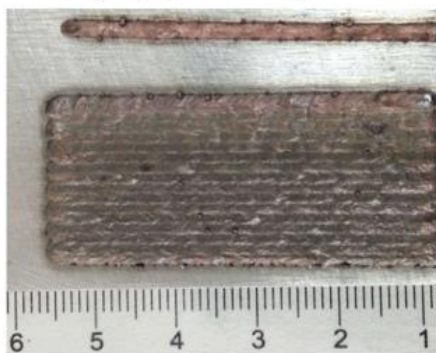
Mẫu sau khi phủ được cắt dây thành các mẫu nhỏ 15×15×15 mm (dài × rộng × dày) để phân tích tổ chức và tính chất của lớp phủ.

## 3 KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

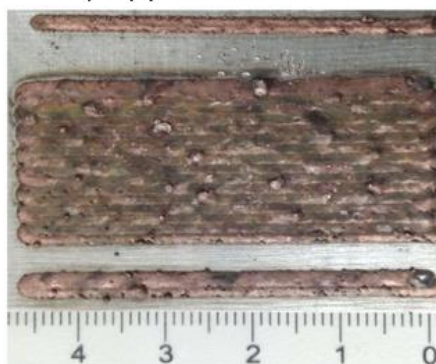
Hình thái bề mặt mẫu thu được sau khi tiến hành phủ laser được chỉ ra trên hình 2.



a) Lớp phủ 10%TiB<sub>2</sub>



b) Lớp phủ 15%TiB<sub>2</sub>



c) Lớp phủ 20%TiB<sub>2</sub>

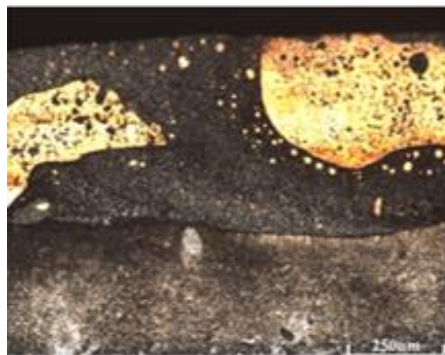


d) Lớp phủ 25%TiB<sub>2</sub>

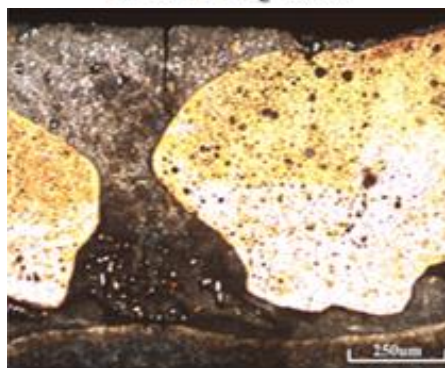
Hình 2. Hình thái bề mặt mẫu sau phủ laser

Hình 2 cho thấy kết quả hình thái bề mặt thô đại đối với các mẫu thu được sau phủ laser với các tỉ lệ thành phần vật liệu phủ khác nhau, hàm lượng TiB<sub>2</sub> càng lớn, bề mặt có càng nhiều cấu trúc dạng cầu, bề mặt lớp phủ nhấp nhô, rõ rệt nhất khi hàm lượng TiB<sub>2</sub> là 25%.

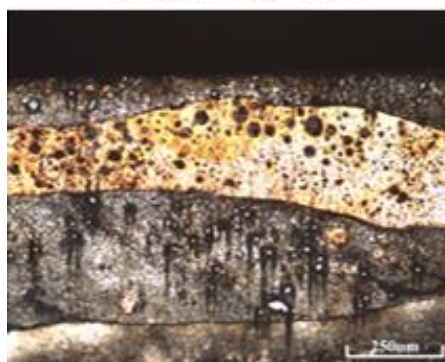
Tổ chức tế vi của lớp phủ được thể hiện như trong hình 3.



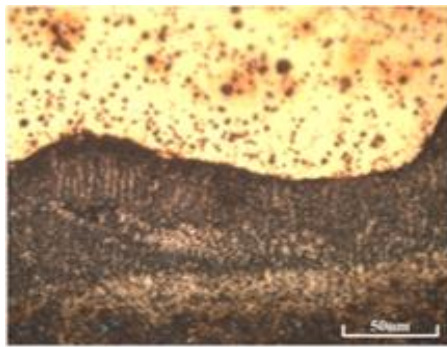
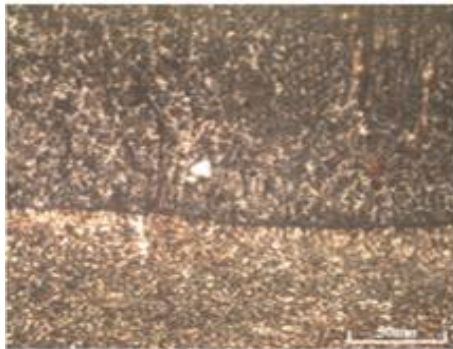
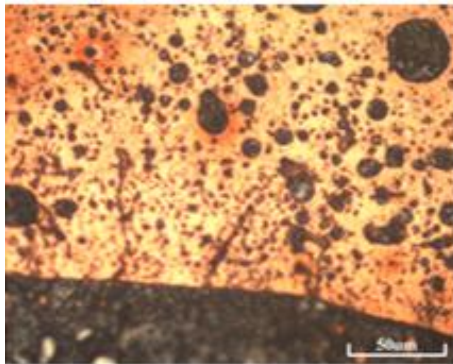
a. 10%TiB<sub>2</sub> - x55



b. 15%TiB<sub>2</sub> - x55



c. 25%TiB<sub>2</sub> - x55

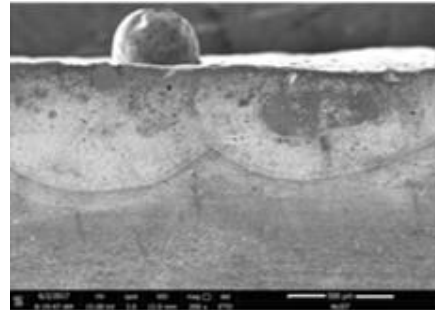
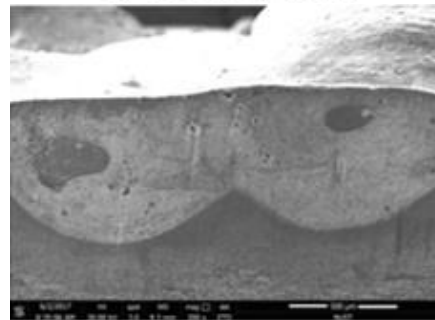
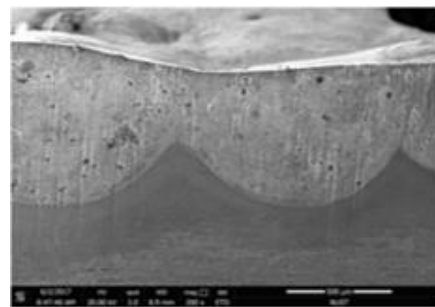
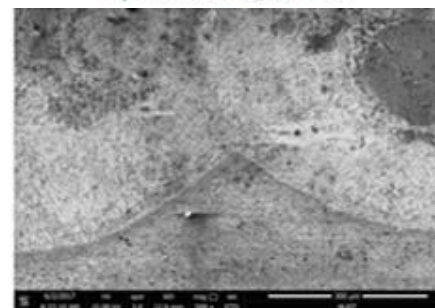
d. 10%TiB<sub>2</sub> - x543e. 15%TiB<sub>2</sub> - x543f. 25%TiB<sub>2</sub> - x543

Hình 3. Tổ chức tế vi lớp phủ theo mặt cắt ngang

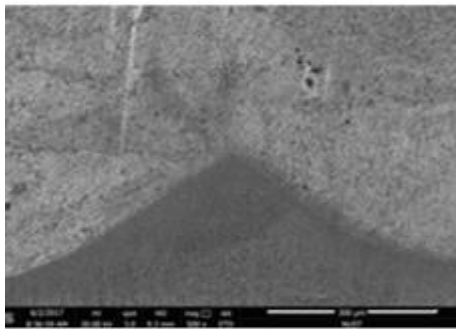
Từ hình 3 cho thấy, lớp phủ có tổ chức tương đối đồng đều, một phần vật liệu nền đã được hòa tan vào lớp phủ tạo ra một lớp phủ tổng hợp. Các hạt TiB<sub>2</sub> hóa bền (dạng hạt màu đen) phân tán đồng đều trên nền kim loại đồng (màu sáng hơn), nhưng vẫn còn một vài vùng xảy ra hiện tượng thiên tích nhẹ. Một phần vật liệu nền bị hòa tan vào lớp phủ tại những vị trí chổng lún giữa hai dải phủ (vùng tổ chức màu đen giữa các dải đồng). Chiều dày lớp phủ vào khoảng (500–600 µm), chiều dày vùng ảnh hưởng nhiệt khoảng 200 µm.

Kết quả phân tích hiển vi điện tử quét SEM (hình 4) cho thấy rõ hơn về cấu trúc lớp phủ cũng như

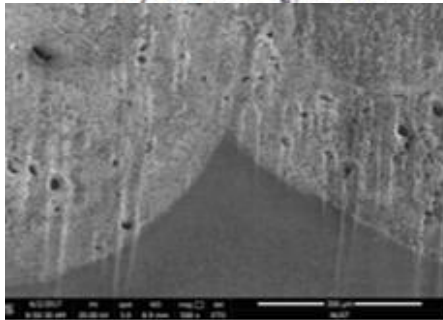
trạng thái liên kết giữa lớp phủ và nền. Ta thấy, giữa vật liệu phủ và nền không phát hiện các vết gãy, bong tróc, các vùng chuyển tiếp rõ ràng, liên tục. Điều này thể hiện giữa lớp phủ và nền đã hình thành một liên kết dạng hàn, đảm bảo lớp phủ có tính bám dính cao.

a) 10%TiB<sub>2</sub>, x200b) 20%TiB<sub>2</sub>, x200c) 25%TiB<sub>2</sub>, x200d) 10%TiB<sub>2</sub>, x500





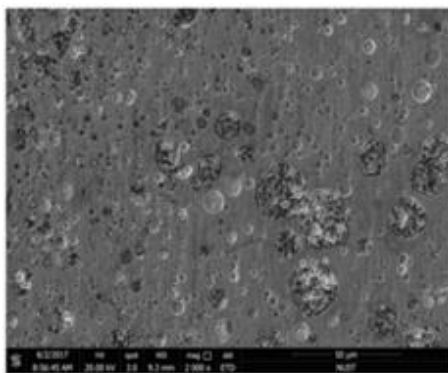
e) 20%TiB<sub>2</sub>, x500



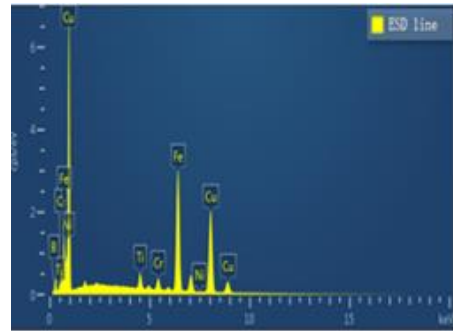
f) 25%TiB<sub>2</sub>, x500

Hình 4. Cấu trúc lớp phủ theo mặt cắt ngang

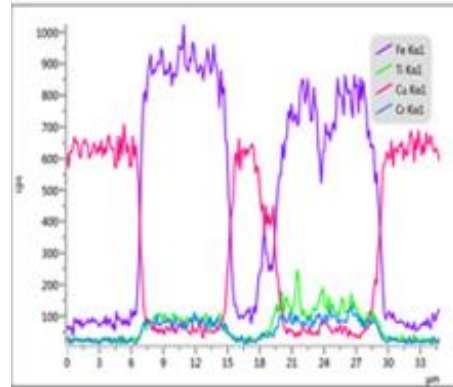
Tổ chức và thành phần bên trong lớp phủ khi phân tích SEM kết hợp phân tích phổ tán sắc năng lượng EDS được chỉ ra trên hình 5. Kết quả này một lần nữa khẳng định rằng, lớp phủ có tổ chức tương đối đồng đều, các hạt hóa bền TiB<sub>2</sub> được bao quanh bởi kim loại đồng, đồng thời trong lớp phủ cũng xuất hiện các thành phần của vật liệu nền, điều này chứng tỏ, một phần nền đã được hòa tan vào lớp phủ, tạo ra vùng chuyển tiếp, đảm bảo cho sự hình thành liên kết hàn giữa lớp vật liệu phủ và nền.



a) 20%TiB<sub>2</sub>, x2000



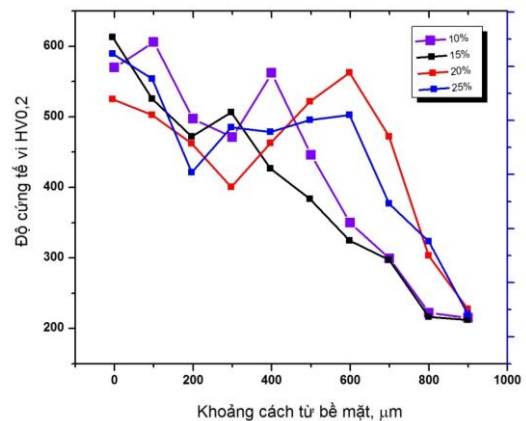
b) EDS



c) Biểu đồ cường độ EDS

Hình 5. Ảnh phân tích SEM kết hợp phân tích phổ tán sắc năng lượng EDS

Để đánh giá khả năng chống mài mòn của lớp phủ, sau khi tiến hành phủ laser, mẫu được xử lý bề mặt và sau đó được đo độ cứng tế vi. Phép đo được tiến hành trên máy đo độ cứng tế vi, thang đo HV0.2 và thời gian đặt tải 10s. Kết quả đo độ cứng được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Phân bố độ cứng tế vi theo chiều dày lớp phủ

Từ hình 6 ta thấy, lớp phủ có độ cứng tương đối cao, cao hơn rõ rệt với độ cứng của nền (khoảng 220 HV0.2) điểm cao nhất có giá trị lên đến trên

700 HV0.2 độ cứng có xu hướng giảm dần theo dày lớp phủ (chiều dày khoảng 500–600  $\mu\text{m}$ ). Độ cứng giảm dần khi vào đến vùng chuyển tiếp (hay còn gọi là vùng ảnh hưởng nhiệt) và giảm nhanh khi vào đến phần vật liệu nền. Tuy vậy, lớp phủ có phân bố độ cứng chưa đồng đều, nguyên nhân có thể do độ thấm ướt giữa kim loại lỏng Cu và  $\text{TiB}_2$  thấp, dẫn đến sự phân bố không đồng đều của pha hóa bền  $\text{TiB}_2$ . Điều đó chỉ ra rằng, lớp phủ có tác dụng nâng cao khả năng chống mài mòn của vật liệu nền.

#### 4 KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã chế tạo thành công lớp phủ composit Cu/ $\text{TiB}_2$  trên bề mặt thép làm khuôn H13.

Lớp phủ có tổ chức tương đối đồng đều, các hạt hóa bền  $\text{TiB}_2$  phân bố phân tán trên nền kim loại đồng, một phần vật liệu nền được hòa tan vào lớp phủ, tạo ra liên kết hàn bền chặt giữa lớp phủ và nền. Chiều dày lớp phủ vào khoảng (500–600)  $\mu\text{m}$ .

Độ cứng tế vi của lớp phủ tương đối cao, cao nhất lên đến hơn 700 HV0.2 và độ cứng có xu hướng giảm dần theo dày lớp phủ, tuy vậy, lớp phủ có phân bố độ cứng chưa đồng đều, khi vào đến vùng vật liệu nền, độ cứng sẽ giảm nhanh về độ cứng của nền

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Qu Qingwen, Dang Jianjun, Guo Xiuping. Mould life and tribology design [J]. *Journal of Shandong University of Technology*, Vol 18, No. 1, 2004, 0034 – 0037.
- [2] Pham Thi Hong Nga. Laser cladding  $\text{TiC}$  particles reinforced Co-based alloy coating on H13 steel surface and its high-temperature wear property [D]. Kunming University Of Science And Technology, China, 2013.
- [3] Guo Xiaoqin, et. Properties of Insitu  $\text{TiB}_2/\text{Cu}$  Composite Coating by Laser Cladding [J]. *Foundry Technology*, Vol 32 No. 11, 2011, 958 – 961.
- [4] Tang Guangping. Study on Laser Surface Modification of Mould Steel [J]. *Material protection*, Vol 35 No. 2, 2002, 37 – 40.
- [5] Du Baoshuai, et. In situ synthesis of  $\text{TiB}_2/\text{Fe}$  composite coating by laser cladding [J]. *Materials Letters* 62, 2008, 689–691.

- [6] Lin Yinghua, et. Microstructure and properties of  $\text{TiB}_2\text{-TiB}$  reinforced titanium matrix composite coating by laser cladding [J]. *Optics and Lasers in Engineering* 86, 2016, 216–227.
- [7] Guo Na. A Thesis in Condensed Matter Physics Investigation on Microstructure and Properties of Gradient Coating Prepared by Laser cladding on H13 Steel [D]. Northeastern University, China, June 2014.
- [8] Runguo Zheng, Xinxing Zhang. Effect of load on the tribology behavior of Cu-based self-lubricating Composite (J). *Applied Mechanics and Materials*, Vols 423-426 (2013), pp 24-27.
- [9] Tongkun Cao, Shuting Lei, Meng Zhang. The friction and wear behavior of Cu/Cu-MoS2 self-lubricating coating prepared by electrospark deposition (J). *Surface & Coatings Technology*, Vol. 270 (2015) 24-32.
- [10] Saikumar Gadakary, Asit Kumar Khanra, Maharajan Joseph Davidson. *Workability behaviour of Cu-TiB<sub>2</sub> powder-metallurgy preforms during cold upsetting (J)*. *Materials and technology*, Vol. 50 (2016) 3, pp. 373-380



**Trần Văn Nghĩa**, Kỹ sư, giảng viên Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Ông nhận bằng kỹ sư chuyên ngành Kỹ thuật Vật liệu năm 2011 tại trường Đại học Khoa học và Công nghệ Nam Kinh, Trung Quốc, hiện nay tác giả đang học cao học năm cuối chuyên ngành Kỹ

thuật Vật liệu tại trường Đại học Khoa học và Công nghệ Nam Kinh, Trung Quốc.

Các hướng nghiên cứu chủ yếu bao gồm công nghệ nhiệt luyện, ăn mòn và bảo vệ kim loại.



**Phùng Tuấn Anh**, Tiến sĩ, giảng viên Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Ông nhận bằng kỹ sư chuyên ngành Công nghệ Vật liệu năm 2000 tại học viện Kỹ thuật Quân sự; tiến sĩ chuyên ngành kim loại học và nhiệt luyện năm 2008 tại trường Đại học Tổng hợp Kỹ thuật

Thép và Hợp kim Moskva, LB Nga.



**Nguyễn Thanh Hùng**, Thạc sĩ, giảng viên Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Ông nhận bằng kỹ sư chuyên ngành Công nghệ Vật liệu năm 2008 tại Học viện Kỹ thuật Quân sự; thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật vật liệu năm 2011 tại Học viện Kỹ thuật Quân sự; hiện nay tác giả đang

làm Nghiên cứu sinh tại trường Đại học Khoa học và Công nghệ Nam Kinh, Trung Quốc.

Các hướng nghiên cứu chủ yếu bao gồm công nghệ xử lý nhiệt, công nghệ và thiết bị đúc.

# Investigation of Cu/TiB<sub>2</sub> composite coating prepared by laser cladding on H13 die steel

Tran Van Nghia, Nguyen Thanh Hung, Phung Tuan Anh

**Abstract**—In this study, the Cu/TiB<sub>2</sub> composite coating was successfully prepared by laser cladding on H13 hot work die steel. The experimental results show that the microstructure of the coating is relatively homogeneous distributed and the TiB<sub>2</sub> hard particles are dispersed in the copper Cu coating. The coating thickness of approximately 500–600 μm. Scanning electron microscopy (SEM) analysis showed that there is a metallurgical bond between the coating and the substrate, which ensure a strong binding ability. The

maximum microhardness of the coating is up to 700 HV0.2, which is significantly greater than the hardness of substrate (about 220 HV0.2). However, the hardness distribution is not uniform, and show a slow decreasing trend to the depth of (500–600) μm off the surface, then, quickly reduce to the matrix hardness

*Keywords*—Cu/TiB<sub>2</sub> composite coating, laser cladding, H13 steel, microhardness