TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ ĐẠI HỌC DUY TÂN
DTU Journal of Science and Technology 3(52) (2022) 41-50

TRƯỜNG ĐẠI HỌC DUY TÂN
DUYTAN UNIVERSITY

Nghiên cứu chiều dày lớp phủ plasma vật liệu gốm Al_2O_3 – TiO_2 bằng phương pháp kim tương học

Investigating the thickness of plasma coating from ceramic system Al_2O_3 – TiO_2 using metallography method

Vũ Dương[a,b*], Nguyễn Thanh Tùng[a,b]
Vu Duong[a,b*], Nguyen Thanh Tung[a,b]

[a]*Khoa Cơ khí, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*
[a]*Mechanical Engineering Faculty, Duy Tan University, 550000, Danang, Vietnam*
[b]*Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*
[b]*Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 28/4/2022, ngày phản biện xong: 17/5/2022, ngày chấp nhận đăng: 22/5/2022)

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu kết quả thực nghiệm xác định chiều dày lớp phủ plasma từ bột phun hệ gốm Al_2O_3 – 40% TiO_2 trên bề mặt lớp thép nền các bon C45 trong quy mô phòng thí nghiệm bằng phương pháp kim tương học, sử dụng kính hiển vi quang học Axiovert 25 MAT có tích hợp phần mềm phân tích ảnh kỹ thuật số. Kết quả cho thấy chiều dày trung bình của lớp phủ plasma phụ thuộc vào các thông số lựa chọn chế độ phun như cường độ dòng plasma (I_P), khoảng cách phun (L_P), số lượt phun (n_P), tốc độ di chuyển đầu súng phun theo quỹ đạo cho trước (v_P), trong đó ảnh hưởng của n_P là lớn nhất, tiếp theo là L_P; I_P; G_P và v_P.

Từ khóa: Phun plasma; vật liệu gốm Al_2O_3 – TiO_2; quy hoạch thực nghiệm.

Abstract

This paper presents the experimental research to determine the thickness of plasma coating from ceramic system Al_2O_3 - 40% TiO_2 on the substrate of the carbon steel SS 400 in laboratory conditions, using the metallography method with the optic microscope Axiovert 25 MAT integrating the digital picture processing software. The results demonstrated that the average thickness of the plasma coating depends on the process parameters such as the current of plasma (I_P), the distance of spraying (L_P), the number of coating (n_P), and the transverse speed of plasma gun alongside the trajectory(v_P), among which the most noticeable is n_P, following L_P; I_P ; G_P and v_P.

Keywords: Plasma spraying; ceramic material Al_2O_3 – TiO_2; design of experiment.

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới, công nghệ phun phủ nhiệt trong đó có phun bằng plasma đã được nghiên cứu ứng dụng để tạo lớp phủ gốm Al_2O_3 và tổ hợp bột phun như: bột phun Al_2O_3 lên bề mặt vật liệu y sinh Ti-6Al-4V [1]; Al_2O_3/TiO_2; Al_2O_3 + 3 mol% Y_2O_3-ZrO_2; bột thương mại Metco 130 với cấu trúc nano AT và cấu trúc nano AT biến tính; bột phun với hàm lượng %TiO_2 thay đổi ở các mức 13% TiO_2; 40%

[*]*Corresponding Author:* Vu Duong; Mechanical Engineering Faculty, Duy Tan University, 550000, Danang, Vietnam; Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam
Email: duongvuaustralia@gmail.com

TiO_2 và 50% TiO_2; bột phun Al_2O_3/cacbit Bo; Al_2O_3/Ni5Al; bột phun Ni18Cr5Al4B,… Những lớp phủ nối trên thường được phun lên bề mặt làm việc của các chi tiết xy lanh bằng thép các bon chế tạo máy và thép hợp kim không gỉ và nhiều hợp kim khác [2 ÷ 15]. Đến năm 2018, một số nghiên cứu khác về đặc điểm tổ chức tế vi và tính chất lớp vật liệu phun nguội cấu trúc nano nHA có đặc tính dẫn điện, nhiệt rất tốt bởi kết cấu từ các tinh thể nhỏ trên bề mặt lớp kim loại nền là TC4 ở nhiệt độ thấp là kỹ thuật rất lý tưởng vì các hạt Ti trong lớp đệm trung gian giữa lớp phủ nHA và kim loại nền làm tăng đáng kể tính năng chống gỉ của lớp phủ [16], [17].

Ở Việt Nam, một vài ứng dụng công nghệ phun phủ được triển khai từ những năm 2012 đến nay tại Viện Nghiên cứu Cơ khí (Bộ Công Thương) về lớp phủ plasma Ni18Cr5Al4B trên bề mặt lớp thép các bon chịu mài mòn cơ học [18], [19]; Viện Kỹ thuật Nhiệt đới (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) về lớp phủ kép NiCr5Al chống ăn mòn hóa học bằng công nghệ phun hồ quang điện [20].

Các yếu tố công nghệ chính ảnh hưởng đến chất lượng lớp phủ plasma từ vật liệu hệ gốm có ảnh hưởng đến chất lượng và hiệu quả phun phủ được nghiên cứu khảo sát gồm có: Độ côn luồng phun (φ_C), phụ thuộc vào loại súng phun; góc phun tạo bởi hướng phun và bề mặt lớp kim loại nền (α_n); đường kính vết phun (d_p); áp suất môi trường xung quanh (p); độ che phủ giữa các lớp phủ (ℓ_f), phụ thuộc vào quỹ đạo di chuyển của súng phun và số lượt phun; nhiệt độ của vật phun (T_p); khoảng cách phun (L_p); cường độ dòng phun plasma (I_p); lưu lượng cấp bột phun ($G_{b.p}$); tốc độ di chuyển đầu phun (v_p) và một số yếu tố điều kiện biên khác.

Một vài nghiên cứu điển hình trong nước chủ yếu đi vào hướng ứng dụng kỹ thuật phun plasma dựa vào các thông số cơ bản theo khuyến cáo của nhà cung cấp thiết bị phun plasma để lựa chọn chế độ phun ở quy mô phòng thí nghiệm và sản xuất thử nghiệm đối với các chi tiết máy làm việc dưới tải trọng có mài mòn cơ học [18], [19], [20]. Vì vậy, trong công trình này đưa ra đề xuất nghiên cứu khảo sát bằng thực nghiệm ảnh hưởng của một số chế độ phun plasma tạo lớp phủ gốm hệ gốm Al_2O_3 – 40%wt. TiO_2 (sử dụng bột thương mại) đến chiều dày lớp phủ nhằm mục tiêu định hướng cho ứng dụng để chế tạo các chi tiết cơ khí làm việc ở điều kiện chịu mài mòn cơ học trong môi trường nhiệt ẩm và chịu tải trọng cơ học vừa và nhỏ.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết bị phun tạo lớp phủ plasma Al_2O_3 - TiO_2

Thiết bị phun plasma để phun tạo lớp phủ plasma trên các mẫu dạng tấm phẳng và dạng đĩa đã được Phòng Thí nghiệm (PTN) trọng điểm Quốc gia "Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt" (Viện Nghiên cứu Cơ khí) sử dụng, thiết bị được nhập khẩu từ Mỹ. Ảnh toàn cảnh thiết bị phun plasma và đầu súng phun cho trên Hình 2.1. Các thiết bị phụ trợ sử dụng để gá lắp mẫu và đầu sung phun trong quá trình thí nghiệm đều có sẵn tại xưởng thực nghiệm trực thuộc PTN "Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt" (Hình 2.2 và Hình 2.4).

a)

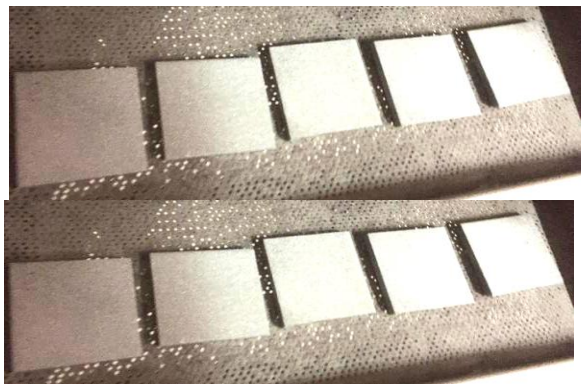
b)

Hình 2.1. Ảnh toàn cảnh thiết bị phun plasma (a) và súng phun plasma do Mỹ chế tạo sử dụng cho thí nghiệm phun tạo lớp phủ plasma hệ gốm Al_2O_3 - TiO_2 (b) hiện có tại Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

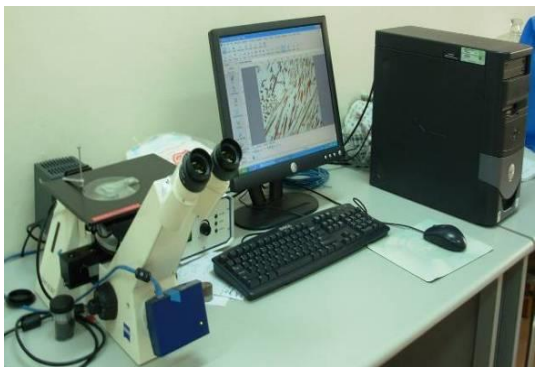
a)

b)

Hình 2.2. Ảnh tại một thời điểm thí nghiệm phun tạo lớp phủ hợp kim hệ gốm Al_2O_3 – TiO_2 trên mẫu thép SS400 trong phòng thí nghiệm



Hình 2.3. Ảnh một số phôi composite thép C.45- Al_2O_3/TiO_2 sau khi phun plasma



Hình 2.4. Kính hiển vi quang học Axiovert 25 MAT dùng cho thí nghiệm

2.2. Phương pháp thực hiện thí nghiệm

Mẫu dạng tấm phẳng từ thép C.45 thường hóa, có chiều dày δ = 4 ÷ 5mm, với kích thước các chiều cạnh hình vuông là 50 x 50mm (Hình 2.3). Vật liệu phun tạo lớp phủ sử dụng là bột hợp kim hệ gốm Al_2O_3 - 40 wt%TiO_2 thương mại được nhập khẩu và có sẵn trên thị trường ở Việt Nam (ký hiệu theo nhà cung cấp là hãng PARAMAX).

Chế độ phun plasma cho trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Điều kiện thí nghiệm phun plasma tạo lớp phủ Al_2O_3 – TiO_2

Thông số CN chủ yếu	Ký hiệu	Mức 0	Mức 1	Mức 2	Bước điều chỉnh
Khoảng cách phun, L_p, mm	X_1	100	150	200	50
Cường độ dòng plasma, I_p, A	X_2	400	500	600	100
Lưu lượng cấp bột, G_p, kg/h	X_3	1,7	1,9	2,1	0,2
Tốc độ phun, v_p, mm/ph	X_4	50	60	-	10
Môi trường phun: không khí					

Phôi vật liệu sau khi phun được làm nguội trong không khí và cắt lấy mẫu để nghiên cứu khảo sát tổ chức tế vi, đo chiều dày lớp phủ Al_2O_3 - TiO_2 theo đúng quy trình gia công mẫu soi chụp tổ chức tế vi của PTN "Kim loại học và Nhiệt luyện" tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

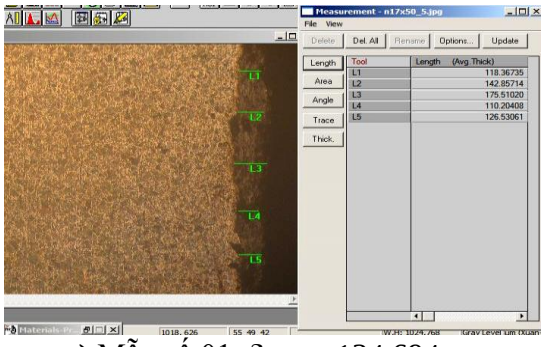
3. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

3.1. Nhóm mẫu số 1

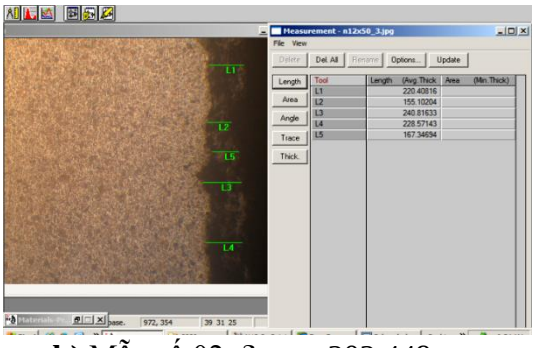
Kết quả thí nghiệm đo chiều dày lớp phủ nhóm mẫu thăm dò định hướng công nghệ cho trong Bảng 3.1 và Hình 5.1.

Bảng 3.1. Kết quả đo chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 - TiO_2 trên các mẫu nhóm 1

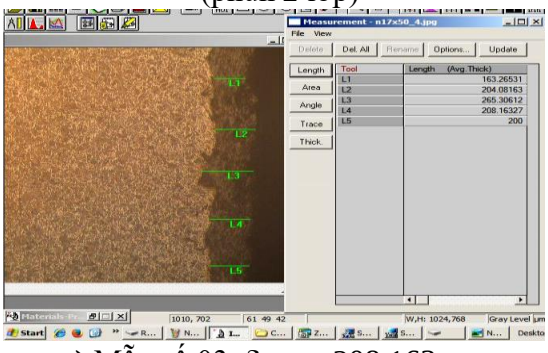
Số TN	Mã số	Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 - TiO_2, δ_p, µm					Trung bình, $\delta_{p.t\,b}$, µm
		Vị trí 1	Vị trí 2	Vị trí 3	Vị trí 4	Vị trí 5	
01	000	118,36735	142,85714	175,51020	110,20408	126,53061	134,69390
02	010	220,40816	155,10204	240,81633	228,57143	167,34694	202,44898
03	020	163,26531	204,08163	265,30612	208,16327	200,00000	208,16327
06	120	248,97050	220,40816	240,81633	208,16327	228,57143	229,38776
07	200	236,73469	277,55102	240,81633	244,89796	253,06122	250,61224
08	210	281,63266	318,36735	293,87755	261,22449	273,46939	285,71430



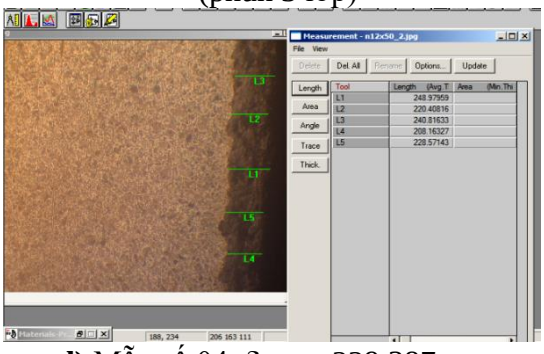
a) Mẫu số 01, $\delta_{p.01}$ = 134,694µm (phun 2 lớp)



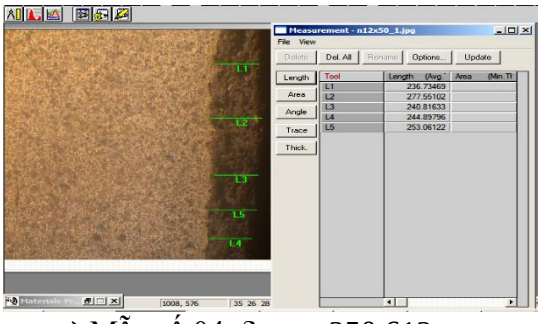
b) Mẫu số 02, $\delta_{p.02}$ = 202,449µm, (phun 3 lớp)



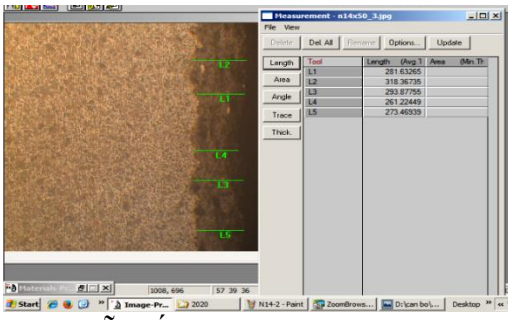
c) Mẫu số 03, $\delta_{p.03}$ = 208,163µm, (phun 3 lớp)



d) Mẫu số 04, $\delta_{p.04}$ = 229,387µm, (phun 4 lớp)



e) Mẫu số 04, $\delta_{p.05}$ = 250,612µm, (phun 4 lớp)



f) Mẫu số 05, $\delta_{p.06}$ = 285,714µm, (phun 4 lớp)

Hình 3.1. Ảnh kết quả đo chiều dày lớp phủ plasma $Al_2O_3 – TiO_2$ bằng phương pháp kim tương học (mẫu nhóm 1)

Phân tích số liệu thực nghiệm cho trong Bảng 3.1 và các ảnh minh họa trên Hình 3.1 đối với nhóm mẫu thí nghiệm số 1 cho thấy có đặc điểm như sau:

- Mẫu số 01, mã số (000), nhận được sau khi phun 2 lớp ở chế độ L_p =100mm; I_p = 400A; G_p = 1,7kg/h, v_p = 50mm/ph (Hình 3.1,a), chiều dày trung bình của lớp phủ plasma, đo được tại 05 vị trí khác nhau giá trị $\delta_{p.01}$ = 134,6939µm.

- Mẫu số 02, mã số (010), nhận được sau khi phun 3 lớp ở chế độ L_p =100mm; I_p = 500A; G_p = 1,7 kg/h; v_p = 50 mm/ph (Hình 3.1,b). Chiều dày lớp phủ plasma trung bình là $\delta_{p.02}$ = 202,44898 µm, tăng thêm 67,755µm (tăng 50,3%) so với chiều dày của nó ở mẫu số 01 kể trên.

- Mẫu số 03, mã số (020) sau khi phun 3 lớp ở chế độ L_p = 100mm; I_p = 600A; G_p = 1,7kg/h; v_p = 50mm/ph (Hình 3.1,c). Chiều dày lớp phủ plasma trung bình là $\delta_{p.03}$ = 208,16327, tăng thêm 73,469µm so với mẫu số 01 (tăng 54,54%).

- Mẫu số 04, mã số (100), nhận được sau khi phun 4 lớp với chế độ L_p = 150mm; I_p = 400A; G_p = 1,7kg/h; v_p = 50mm/ph (Hình 3.1 d). Chiều dày lớp phủ plasma trung bình có giá trị bằng $\delta_{p.04}$ = 229,387µm, tăng thêm 21,224µm (tăng 10,19%) so với mẫu số 03 trên đây.

- Mẫu số 05 mã số (110), nhận được sau khi phun phun 4 lớp ở chế độ L_p =150mm; I_p = 500A; G_p = 1,7 kg/h;v_p = 50 mm/ph (Hình 3.1,e). Chiều dày lớp phủ plasma trung bình là $\delta_{p.05}$ = 250,612µm, tăng thêm 21,224µm (tăng 9,25%) so với chiều dày của nó ở mẫu số 04. Trên Hình 3.1,e cho thấy hình dáng giống lớp phủ trong thí nghiệm này tương tự như mẫu số 04 đã xét.

- Mẫu số 06 mã số (120), nhận được sau khi phun 4 lớp ở chế độ: L_p =150mm; I_p = 600A, G_p = 1,7kg/h;v_p = 50mm/ph. Ảnh trên Hình 3.1,f cho thấy chiều dày lớp phủ plasma có giá trị bằng $\delta_{p.06}$ = 285,714µm, tăng thêm 53,326µm (tăng 24,55%) so với mẫu số 05 đã xét.

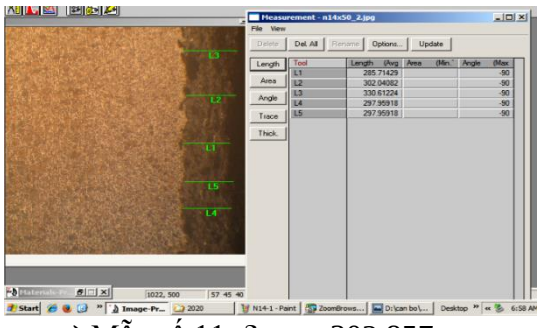
3.2. Nhóm mẫu số 2

Gồm có 06 mẫu điển hình có ký hiệu số 11 ÷ 17. Kết quả thí nghiệm cho trong Bảng 3.2 và trên Hình 3.2.

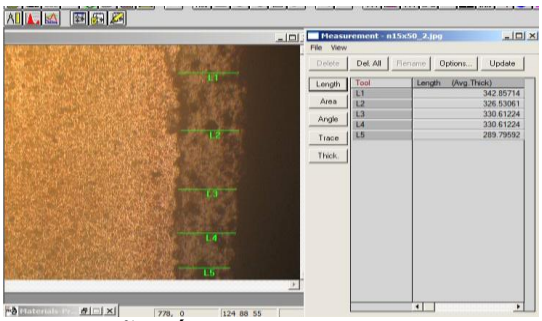
Bảng 3.2. Kết quả đo chiều dày lớp phủ plasma $Al_2O_3 – TiO_2$ trên các mẫu thuộc các nhóm 2 & 3

Số TN	Mã số	Chiều dày lớp phủ gồm $Al_2O_3 – TiO_2$, δ_p, µm					Trung bình, $\delta_{p.t.b}$, µm
		Vị trí 1	Vị trí 2	Vị trí 3	Vị trí 4	Vị trí 5	
11	011	285,71429	302,04082	330,61224	297,95918	297,95918	302,85714
12	021	342,85714	326,53061	330,61224	330,61224	289,79592	324,08160

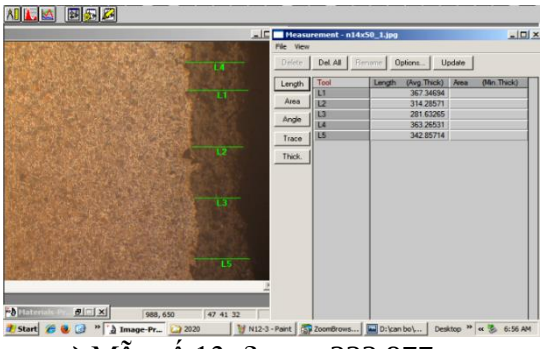
13	101	367,34694	314,28571	281,63265	363,26531	342,85714	333,87755
15	121	318,36735	342,85714	355,10204	334,69388	371,42857	344,48979
16	201	338,77551	306,12245	400,00000	326,53061	363,26531	346,93878
17	211	383,67347	338,77551	375,51020	371,42857	334,69388	360,81657
18	211	391,83673	379,59184	436,93878	351,01041	379,59184	369,79590
21	022	542,85714	481,63265	432,65306	497,95918	481,63265	487,34690
22	102	816,32653	791,83673	804,08163	771,42857	795,91837	795,91837
24	122	791,83673	800,00000	804,08163	808,16327	808,16327	802,44898
25	202	800,00000	808,16327	820,40816	767,34694	808,16327	808,81633
Môi trường phun: không khí; Tốc độ di chuyển đầu súng phun plasma v_p = 50 ÷ 60mm/ph							



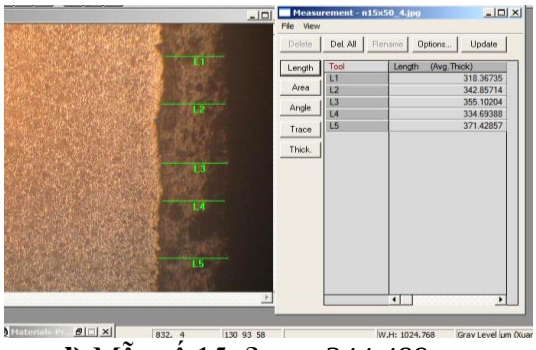
a) Mẫu số 11, $\delta_{p.11}$ = 302,857µm, (phun 5 lớp)



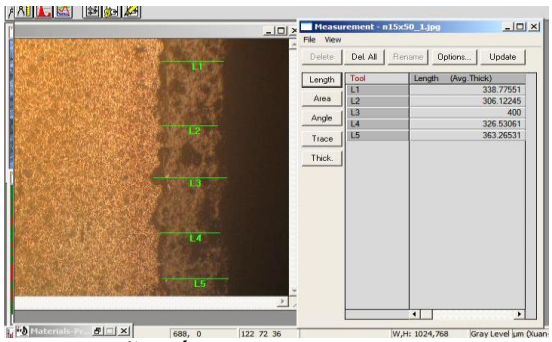
b) Mẫu số 12, $\delta_{p.12}$ = 324,081µm, (phun 5 lớp)



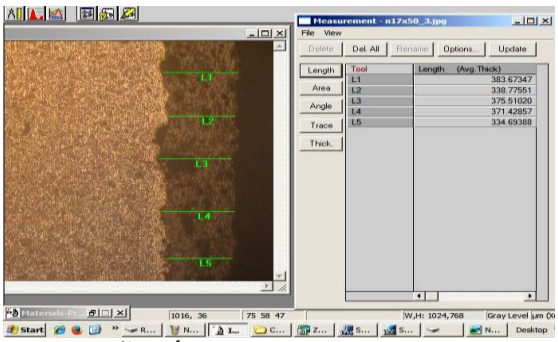
c) Mẫu số 13, $\delta_{p.13}$ = 333,877µm, (phun 5 lớp)



d) Mẫu số 15, δ_{p15} = 344,489µm, (phun 6 lớp)



e) Mẫu số 16, $\delta_{p.16}$ = 346,939µm, (phun 6 lớp)



f) Mẫu số 17, $\delta_{p.17}$ = 360,8165µm, (phun 6 lớp)

Hình 3.2. Ảnh kết quả đo chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 bằng phương pháp kim tương học (mẫu nhóm 2)

Phân tích số liệu thí nghiệm đối với nhóm mẫu số 2 cho trong Bảng 3 và các ảnh trên Hình 6 ta thấy:

- Mẫu số 11, mã số (011), sau khi phun 5 lớp ở chế độ L_p = 100mm; I_p = 500A; G_p = 1,9kg/h; v_p = 60mm/ph, (Hình 3.2,a). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình là $\delta_{p.11}$ = 302,857µm, tăng thêm 17,142µm (tăng 5,99 %) so với mẫu số 06 đã xét ở trên ($\delta_{p.06}$ = 285,714µm).

- Mẫu số 12, mã số (021), sau khi phun 5 lớp ở chế độ L_p =100mm; I_p = 600A; G_p = 1,9kg/h và v_p = 60mm/ph (Hình 3.2,b). Chiều dày lớp phủ plasmaAl_2O_3 – TiO_2 trung bình có giá trị $\delta_{p.12}$ = 324,08µm, tăng thêm 21,22µm (tăng khoảng 7%) so với chiều dày của nó ở mẫu số 11 ở trên ($\delta_{p.11}$ = 302,857µm).

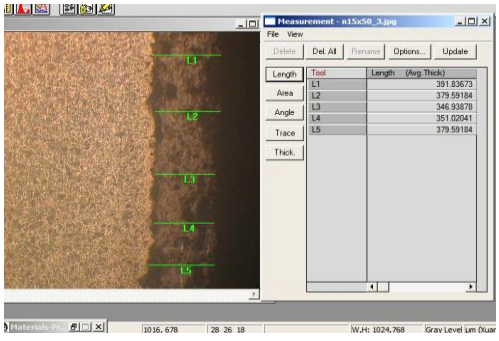
- Mẫu số 13, mã số (101), sau khi phun 5 lớp với các thông số L_p = 150mm; I_p = 400A; G_p = 1,9kg/h và v_p = 60mm/ph (Hình 3.2,c). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình có giá trị là $\delta_{p.13}$ = 333,877µm, tăng thêm 31,02µm (tăng 10,24%) so với mẫu số 11.

- Mẫu số 15, mã số (121), nhận được sau khi phun 6 lớp với các thông số L_p = 150mm; I_p = 600A; G_p = 1,9kg/h và v_p = 60mm/ph (Hình 3.2,d). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 có giá trị trung bình bằng $\delta_{p.15}$ = 344,489µm, tăng thêm 10,61µm (tăng 3,17%) so với chiều dày của nó ở mẫu số 13 ở trên.

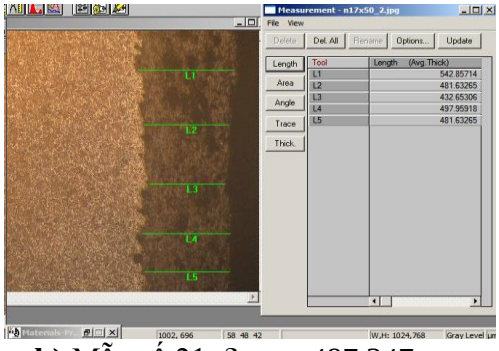
- Mẫu số 16, mã số (201), sau khi phun 6 lớp với các thông số L_p = 200mm; I_p = 600A; G_p = 1,7kg/h và v_p = 60mm/ph (hình 3.2,e). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình có giá trị bằng $\delta_{p.16}$ = 346,938µm, tăng thêm 16,326µm (tăng 2,45%) và không đáng kể so với chiều dày của nó ở mẫu số 15 ($\delta_{p.15}$ = 344,489µm).

- Mẫu số 17 có mã số (211), sau khi phun 6 lớp ở chế độ L_p = 200mm; I_p = 500A; G_p = 1,8 kg/h và v_p = 60mm/ph (Hình 3.2,f). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình là $\delta_{p.17}$ = 360,816µm, tăng thêm 16,326µm (tăng 4,739%) so với mẫu số 16.

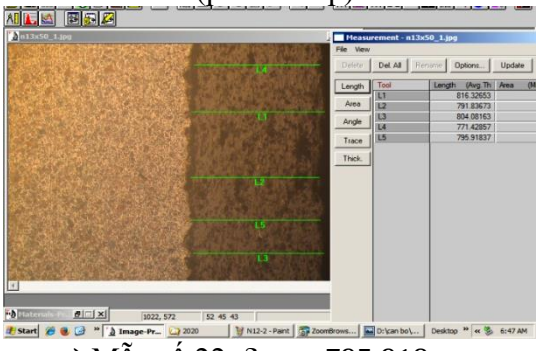
3.3. Nhóm mẫu số 3



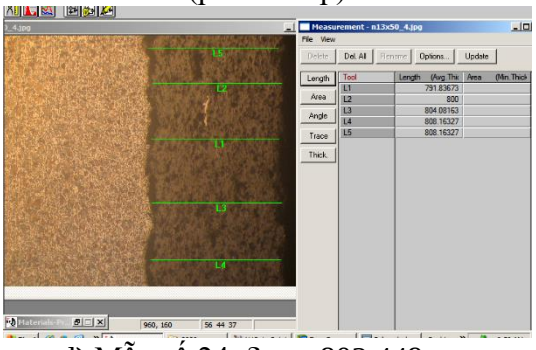
a) Mẫu số 18, δ_{p18} = 369,795µm, (phun 6 lớp)



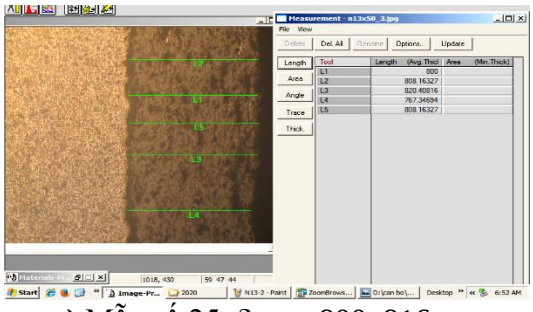
b) Mẫu số 21, $\delta_{p.21}$ = 487,347µm, (phun 8 lớp)



c) Mẫu số 22, δ_{p22} = 795,918µm, (phun 12 lớp)



d) Mẫu số 24, δ_{p24} =802,449µm, (phun 12 lớp)



e) Mẫu số 25, δ_{p25} = 800, 816µm, (phun 12 lớp)

Hình 3.3. Ảnh kết quả đo chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 bằng phương pháp kim tương học (mẫu nhóm 3)

Gồm có 05 mẫu điển hình có ký hiệu số 18 ÷ 25. Kết quả thí nghiệm cho trong Bảng 3.2 và trên Hình 3.3. Từ đó cho thấy các đặc điểm như sau:

- Mẫu số 18, mã số (211), sau khi phun 6 lớp với các thông số L_p = 200mm; I_p = 500A; G_p = 1,9kg/h và v_p = 60mm/ph (Hình 3.3,a). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình có giá trị $\delta_{p.18}$ = 369,796µm, tăng thêm 25,306 µm (tăng 7,346%) là đáng kể so với mẫu số 15 ($\delta_{p.15}$ = 344,489µm).

- Mẫu số 21, mã số (022), nhận được sau khi phun 8 lớp ở chế độ L_p = 100mm; I_p = 600A; G_p = 1,9kg/h) và v_p = 60mm/ph (Hình 3.3,b). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 có giá trị bằng $\delta_{p.21}$ = 487,346µm, tăng thêm 117,795µm (tăng 31,78%) là rất đáng kể so với chiều dày của nó ở mẫu số 18 ($\delta_{p.18}$ = 369,795µm).

- Mẫu số 22, mã số (102), sau khi phun 12 lớp với các thông số L_p =150mm; I_p = 600A; G_p = 1,9kg/h và v_p = 60 mm/ph (Hình 3.3,c). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình là $\delta_{p.22}$ = 795,918µm, tăng thêm 117,795µm (tăng 31,78%), rất đáng kể so với mẫu số 21 đã xét trên đây.

- Mẫu số 24, mã số (122), sau khi phun 12 lớp với các thông số L_p = 100mm; I_p = 600A; G_p = 2,1kg/h và v_p = 60mm/ph (Hình 3.3,d). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình có giá trị $\delta_{p.24}$ = 802,449µm, tăng thêm gần 6,63µm (tăng 0,84%), tức là hầu như không đáng kể so với chiều dày lớp phủ nhận được trên mẫu số 22 kể trên.

- Mẫu số 25, mã số (202), nhận được sau khi phun 12 lớp ở chế độ L_p = 200mm; I_p = 400A; G_p = 2,1kg/h; và v_p = 60mm/ph (Hình 3.3,e). Chiều dày lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 trung bình là $\delta_{p.25}$ = 808,816µm, tăng thêm 6,357µm (tăng 0,79%), tức là hầu như không đáng kể so với chiều dày lớp phủ nhận được trên mẫu số 24 đã xét.

Phân tích các kết quả thực nghiệm trên ba nhóm mẫu thí nghiệm trên đây cho thấy đặc điểm chung là quá trình phun plasma với bộ thông số đã chọn đều khá ổn định và khi số lượt phun càng tăng thì chiều dày lớp phủ nhận được càng lớn. Hình dạng của lớp phủ plasma Al_2O_3 – TiO_2 tương đối đồng đều theo mặt cắt ngang lớp phủ và có hình dạng lồi lõm mô tả theo lớp phủ trên cùng tương đối đều theo chiều dọc các mẫu khảo sát (Hình 3.1, a÷f ; các Hình 3.2, a÷f; các Hình 3.2, a÷f). Quá trình phun với dòng plasma khi tăng cường độ nguồn từ I_p = 400A đến I_p = 600A khi đồng thời khoảng cách phun được tăng dần trong khoảng L_p = 100 ÷ 150 mm là khá ổn định. Các thông số G_p = 1,7 ÷ 2,1kg/h; v_p = 50 ÷ 60mm/ph không ảnh hưởng nhiều đến chiều dày lớp phủ, mà số lượt phun mới đóng vai trò quan trọng hơn cả cho sự hình thành toàn bộ lớp phủ cuối cùng có chiều dày càng tăng. Có thể cho rằng khi tăng các thông số phun như I_p

và G_p lên mức cao nhất trong miền quy hoạch, đảm bảo điều kiện thuận lợi hơn cho vận chuyển lượng bột phun đến bề mặt lớp thép nền C45 với động năng và lưu lượng lớn hơn, kết quả cuối cùng làm cho chiều dày lớp phủ plasma tăng lên.

4. Kết luận

1) Chiều dày trung bình của lớp phủ plasma $Al_2O_3 – TiO_2$ tất cả các mẫu thí nghiệm có giá trị trong khoảng từ $\delta_{p.01}$ = 134,693µm đến $\delta_{p.06}$ = 285,714µm (nhóm 1); từ $\delta_{p.11}$ = 302,857µm đến δ_{p18} = 369,795µm (nhóm 2) và từ $\delta_{p.21}$ = 302,857µm đến $\delta_{p.25}$ = 808,816µm (nhóm 3) với quy luật nhìn chung là tăng tỷ lệ thuận theo chiều tăng của thông số L_p; I_p; G_p và n_p. Trong đó, thứ tự ảnh hưởng của chúng tới chiều dày lớp phủ mạnh nhất là n_p, tiếp theo đó là L_p, I_p và G_p;

2) Ảnh hưởng của thông số L_p có đặc điểm phức tạp hơn nên cần có nghiên cứu toàn diện hơn theo điều kiện quy hoạch thực nghiệm đầy đủ với 27 thí nghiệm để có đủ số liệu thống kê toán học xây dựng mô hình toán học thực nghiệm. Vấn đề này nhóm nghiên cứu sẽ giới thiệu trong khuôn khổ một bài báo khác.

Tài liệu tham khảo

[1] *"Delaed Failure of Plasma –Sprayed Al_2O_3 Applied to Metallic Substrates",* The American Ceramic Society (1981), Oak Ridge National Laboratory (Oak Ridge, Tenessce 37830) and Department of Ceramic Engineering, Illinoi (University of Illinois at Urbana- Champaign, Urbana, Illinois 61801).

[2] K. H. Zum Gahr, W. Bundschuh và B. Zimmerlin (1993), *"Effect of grain size on friction and sliding wear of oxide ceramics"*, Elsevier Sequoia, Jour. Wear.

[3] You Wang, Stephen Jiang, Meidong Wang, Shihe Wang, T. Danny Xiao, Peter R. Strutt (2000): *"Abrasive wear characteristics of sprayed nanostructured alumina/titania coatings"*, Wear – Elsevier (Wear (2000) 176-185, www.elsevier.com/locate/wear).

[4] B. H. Kear, Z. Kaiman, R.K. Sadangi, G.Skandan, J. Colaizzi, and W.E. Mayo (2000), "*Plasma-Sprayed Nanostructured* Al_2O_3/TiO_2 *Powder and Coatings"* được đăng tải trên diễn đàn khoa học chuyên ngành JTTEE5 9: 483-487 © ASM International.

[5] E.H. Jordan, M. Gell, Y.H. Sohn, D. Goberman, L. Shaw, S. Jiang, M. Wang, T.D. Xiao, Y. Wang, P.Strutt (2000), *"Fabrication and evalution of plasma sprayed nanostructured alumina – titania coatings with super properties"* Elsevier, Materials science & Engineering A301 (2001) 80-89 (Ishaw@mail.ims.uconn.edu (L. Shaw).

[6] Michigan Institute of Technology (Houghton, MI 49931, USA (2003), *"Plasam spray fabrication of near-shape ceramic objects",* Journal of Minerals and Materials Characterization & Engineering, Vo. 2, No. 2, pp.145-150 / http://www.jmmce.org).

[7] Mokhtar Bounazef, Sofiane Guessasma*, Ghislain Montavon, Christian Coddet (2004): *"Effect of APS process parameters on wear behaviour of alumina-titania coatings",* J. Elsevier, Materials letters, 58 (2004), pp. 2451-2455.

[8] R. Yilmaz, A. O. Kurt, A. Demir, Z. That (2007): *"Effects of TiO_2 on the mechanical properties of the Al_2O_3 - TiO_2 plasma sprayed coating",* Elsevier, Science Direct (www.eisevier.com/locate/ieurceramsoc) and "Journal of the Ceramic Society", 27 (2007), pp. 1319 – 1323.

[9] Meidong Wang, Leon L. Shaw (2007), *"Effects of the powder manufacturing method on microstructure and wear performance of plasma sprayed alumina - titania coatings"*, Surface and Coatings Technology", Elsevier, Available online at www.sciencedirect.com.

[10] J. Rodriguez, A. Rico, E. Otero, W. M. Rainforth (2009), *"Indentation properties of plasma sprayed Al_2O_3 - 13% TiO_2 nanocoatings"*, Elsevier, ScienceDirect, J."Acta Materialia", số 57, trang 3148-3156, (www.eisevier.com/locate/actamat).

[11] N. Hegazy, M. Shoeib, Sh. Abdel -Samea, H. Abdel –Kader (2009): *"Effect of Plasma Sprayed Alumina Coating on Corrosion Resistance"*, ASAT 13, Mart 26-29, 2009, Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt- Email: asat@mtc.edu.eg).

[12] A. Rico, J. Rodriguez, E. Otero (2010): *"High Temperature Oxidation Behaviour of Nanostructured Alumina - Titania APS Coatings*", trên Tạp chí chuyên ngành © Springer Science + Bisiness Media, LLC 2010 (Oxid Met 73-531-550/ DOI: 10.1007/s11085-010-9191-9).

[13] M. Ramazani, J. Khalil-Allafi and R. Mozaffarinia (2010), *"Grindability Evalution and Fatigue and Wear Behavior of Conventional and Nanostructured Al_2O_3 - 13 wt.% TiO_2 Air Plasma Sprayed Coatings"*, ASM International, "Journal of Thermal Spray Technology.

[14] Y. Wang*, W. Tian, T. Zhang and Y. Yang (2010), *"Electrochemical corrosion behavior of plasma sprayed Al_2O_3- !3%TiO_2 coatings in aqueous hydrochloric acid solution"*, Jour. Materials and Corision, 2010, No61 (DOI: 10.1002/maco.200905335).

[15] J. J. Zhang, Z. H. Wang, P. H. Lin, L. Q. Si, G. J. Shen, Z. H. Zhou, S. Q. Jiang and W. H. Lu (2012), *"Corrosion of plasma sprayed NiCrAl / Al_2O_3 – 13%*

kh.l TiO_2 coatings with and without sealing", Surface Engineering, Vol. 28, No 5 (DOI 10.1179/1743294412Y.0000000004).

[16] Xiao Chen, Gangchang Ji, Xiaobo Bai, Hailong Yao, Qingyu Chen (2018), *"Microstructures and Properties of Cold Spray Nanostructured HA Coatings",* CrossMark, J. Therm. Spray Technologies (2018) 27: 1344-1355, http://doi.org/10.1007/s11666-018-0776-1

[17] Yu Bai, Sheng-Jian Zhou, Li Shi, Wen Ma, Cai-wen Liu (2018), *Fabrication and Characterization of Suspension Plasma-Sprayed Fluoridated Hydroxyapatite Coating for Biomedical Applications*, CrossMark: J. Therm Spray Tech 27:1322-1332, https://doi.org/10.1007/s11666-018-0747-6.

[18] Trần Văn Dũng (2012), *"Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ phun và gia công nhiệt tới độ bền bám dính lớp phun plasma",* Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật ngành "Công nghệ tạo hình vật liệu", Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.

[19] Bùi Văn Khoản, Hà Minh Hùng, Lê Thu Quý, Hoàng Thị Ngọc Quyên (2021), "*Nghiên cứu đặc tính ma sát học vật liệu lớp phủ plasma hệ gốm $Al_2O_3 – TiO_2$ ứng dụng cho chi tiết máy chịu mài mòn cơ học",* Tạp chí *Cơ khí Việt Nam* số 06/T6-2021.

[20] Nguyễn Thanh Phú (2020), *"Nhiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ phun phủ HVOF đến chất lượng lớp phủ bề mặt chi tiết làm việc trong điều kiện khắc nghiệt bị mòn",* Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật Cơ khí, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.