

CHẾ TẠO LỚP PHỦ CỨNG TiN BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỒ QUANG CATOT, ỨNG DỤNG TRÊN KHUÔN ĐÚC ÁP LỰC HỢP KIM NHÔM ĐỂ SẢN XUẤT CHI TIẾT VÒNG ÔM

Đình Thanh Bình^{1*}, Lưu Thuý Chung²,

Nguyễn Thị Phương Mai³, Phạm Hồng Tuấn⁴

Tóm tắt: Trong khuôn đúc áp lực hợp kim nhôm, các chi tiết chốt tạo lỗ cho sản phẩm có tốc độ hỏng nhanh gấp 10 lần khuôn. Tác động của vận tốc dòng chảy lớn, nhiệt độ kim loại lỏng và áp lực đúc cao là các nguyên nhân chính gây phá huỷ bề mặt chốt như xói mòn, dính bám nhôm. Các tác động này làm giảm chất lượng vật đúc và tăng chi phí sản xuất đúc. Lớp phủ cứng trên cơ sở nitrit có tác dụng bảo vệ bề mặt thép khuôn chống lại xói mòn, dính bám nhôm và hạn chế môi nhiệt. Bài báo trình bày công nghệ chế tạo lớp phủ TiN lên nền khuôn từ thép SKD61 bằng phương pháp hồ quang catot. Kết quả đạt được lớp phủ TiN có chiều dày 1,52 μm , hợp thức xấp xỉ 1:1; số lượng hạt macro kích thước rất lớn ($9 \div 15 \mu\text{m}$) trên bề mặt ít. Khi sử dụng chi tiết khuôn đúc áp lực có phủ TiN để đúc chi tiết máy từ hợp kim nhôm trong sản xuất, số lượng chi tiết đúc đạt yêu cầu tăng gấp 2 lần so với khuôn sử dụng lõi/ chốt khuôn không phủ TiN. Lớp phủ TiN chế tạo được có độ cứng cao, hệ số ma sát nhỏ, giảm dính bám nhôm và có khả năng làm việc ở 700^oC trong điều kiện sản xuất.

Từ khóa: Hồ quang catot, Khuôn đúc áp lực, TiN, SKD61.

1. GIỚI THIỆU

Khuôn đúc áp lực cao hợp kim nhôm được sử dụng để đúc loạt lớn các chi tiết với hình dáng phức tạp có độ bền và độ chính xác và chất lượng bề mặt cao. Khuôn làm việc liên tục trong điều kiện khắc nghiệt với tuổi thọ từ 100.000 đến 300.000 chu kỳ. Kim loại lỏng được phun vào khuôn ở nhiệt độ trong khoảng 670 ÷ 710 ^oC với vận tốc 30 ÷ 100 m/s, áp lực phun 50 ÷ 80 MPa [1].

Tuổi thọ khuôn giảm do các tác động của điều kiện đúc với các nguyên nhân làm hỏng bề mặt khuôn ở các dạng: nứt do môi cơ, nhiệt; xói mòn do dòng chảy; ăn mòn và hàn dính của nhôm lỏng; biến dạng, nứt vỡ; tính chất cơ học suy giảm [2].

Thực tế sản xuất tại nhà máy Z117- Bộ Quốc phòng cho thấy: khuôn đúc áp lực hợp kim nhôm thường xảy ra hỏng ở các chi tiết chốt tạo lỗ cho vật đúc. Khi làm việc, chốt chịu tác động của dòng kim loại trực tiếp, vận tốc dòng chảy lớn, khả năng truyền nhiệt của chốt kém. Chốt bị dính bám nhôm, xói mòn bề mặt làm giảm chất lượng vật đúc. Quá trình thay chốt phải dừng sản xuất dẫn đến giảm năng suất lao động và tăng chi phí sản xuất đúc.

Chế tạo lớp phủ TiN trên khuôn bằng phương pháp hồ quang chân không có các tính chất cơ, lý, hoá vượt trội do có hệ số ma sát thấp, độ cứng cao, độ bền bám cao làm tăng khả năng chống mài mòn [4-9].

Các nghiên cứu ứng dụng lớp phủ nâng cao tuổi thọ khuôn đều tập trung vào thí nghiệm đối với chi tiết chốt trong khuôn [5,10-12]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới dừng lại ở đánh giá mô phỏng trong phòng thí nghiệm một số điều kiện làm việc đơn lẻ của khuôn, chưa mô tả hết được các điều kiện thực tế xảy ra trong khuôn.

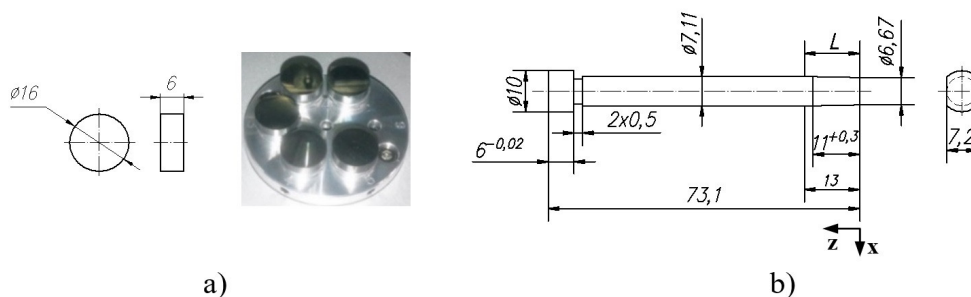
Bài báo trình bày nghiên cứu chế tạo lớp phủ TiN bằng phương pháp hồ quang chân không trên nền thép SKD61, ứng dụng vào thực tế sản xuất trong khuôn đúc áp lực hợp

kim nhôm. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ chủ yếu (nồng độ khí nitơ và năng lượng hồ quang) lên hợp thức, hình thái bề mặt và chiều dày lớp phủ cho thấy khả năng làm việc của chi tiết khuôn có phủ tốt hơn không phủ TiN.

2. THÍ NGHIỆM

2.1. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Lớp phủ TiN được lắng đọng trên nền thép SKD61 theo tiêu chuẩn JIS. Mẫu thí nghiệm để đánh giá tính chất lớp phủ ứng dụng trong sản xuất gồm hai loại mẫu: 1. Mẫu dùng để đánh giá tính chất của lớp phủ hình 1a, kích thước $\phi 16$, $H = 6$ mm; 2. Chi tiết thử nghiệm trong thực tế sản xuất hình 1b, phần làm việc quan trọng được đánh dấu L, có kích thước $L = 13$ mm. Quy trình xử lý bề mặt trước khi phủ: sau khi gia công đạt kích thước, chi tiết được nhiệt luyện, thấm nitơ với chiều sâu lớp thấm $0,1 \div 0,2$ mm, độ cứng đạt 58 HRC, mài đánh bóng đạt $Ra = 0,08 \div 0,16$ μm .



Hình 1. Mẫu thép SKD61 thí nghiệm: a) Mẫu đo tính chất lớp phủ; b) Chi tiết thử nghiệm sản xuất.

2.2. Lắng đọng lớp phủ

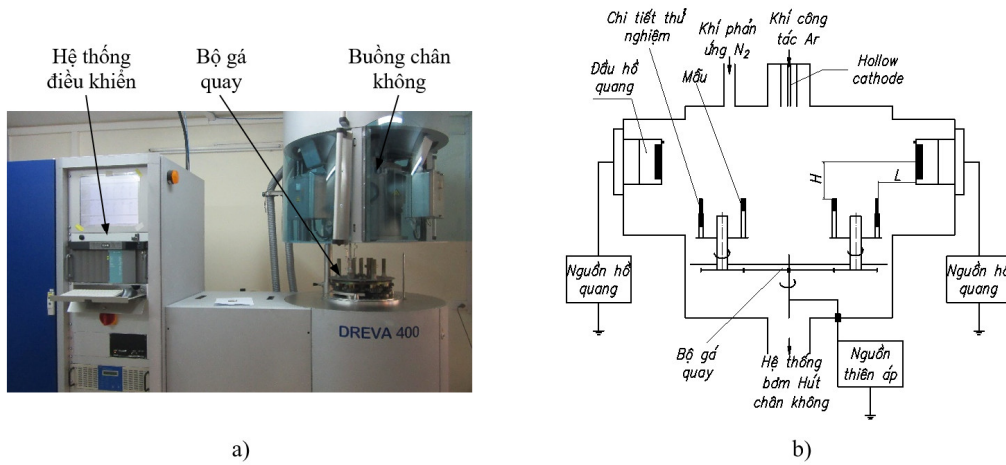
Lớp phủ TiN được chế tạo bằng phương pháp PVD hồ quang chân không sử dụng thiết bị DREVAR 400-VTD (Viện Ứng dụng công nghệ). Buồng chân không hình trụ hình 2 có kích thước $\phi = 400$ mm, $L = 400$ mm, độ chân không đạt 6×10^{-5} mbar. Trong buồng chân không được lắp 3 đầu hồ quang cách đều nhau với góc 120° , một bia hình tròn kích thước $\phi 70$ mm làm từ titan (99,99%) được đặt ở chính giữa.

Mẫu sau khi làm sạch được gá đặt vào buồng chân không như trên hình 2b. Chi tiết quay cùng gá với tốc độ 12 vòng/phút; khoảng cách gần nhất từ mẫu đến tâm bia: $H = 70$ mm, $L = 70$ mm.

Trước khi thực hiện lắng đọng, chi tiết được làm sạch bằng ion Ar^+ , với lưu lượng khí $\text{Ar} = 50$ sccm, nguồn catot rỗng chạy ở chế độ $I = 120$ A, $U = 15$ V. Thế bias để $U_b = 200$ V, áp suất buồng $P_b = 1,0 \times 10^{-2}$ mbar, nhiệt độ để $T_d = 200$ $^\circ\text{C}$, thời gian làm sạch 20 phút.

Một lớp lót bằng titan có chiều dày khoảng 150 nm được lắng đọng trên nền thép trước khi phủ TiN. Khi lắng đọng Ti, duy trì lưu lượng khí $\text{Ar} = 10$ sccm, $\text{N}_2 = 0$ sccm, thời gian là 1 phút. Sau khi lắng đọng lớp Ti, điều chỉnh lưu lượng khí nitơ vào buồng tăng từ 0 ÷ 250 sccm tiến hành tạo lớp phủ TiN. Lớp titan mỏng này giúp cho lớp phủ TiN dính bám tốt với nền SKD61 [5].

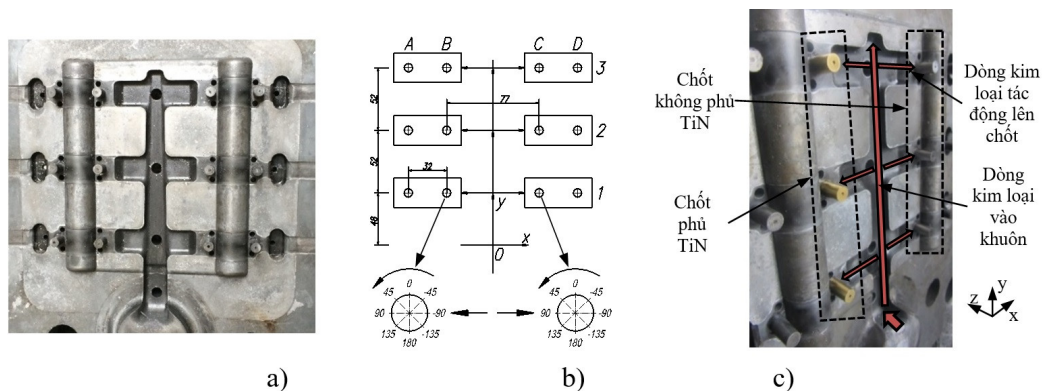
Trong quá trình lắng đọng TiN duy trì áp suất buồng chân $P_b = 2,5 \times 10^{-2}$ mbar. Lưu lượng khí nitơ và argon $\text{N}_2 = 250$ sccm, $\text{Ar} = 10$ sccm, nhiệt độ để $T_d = 200$ $^\circ\text{C}$, tốc độ quay chi tiết 12 vòng/phút. Nguồn hồ quang làm việc ở chế độ $I = 70$ A, $U = 20$ V, thế bias để $U_b = 100$ V được giữ cố định. Thời gian lắng đọng TiN là 10 phút. Chế độ công nghệ chế tạo lớp phủ TiN được thử nghiệm, lựa chọn thông số tối ưu khi lắng đọng trên dụng cụ cắt [20] và chi tiết khuôn đúc áp lực hợp kim kẽm [9].



Hình 2. Thiết bị chân không DREVAR 400-VTD: a) Thiết bị chế tạo lớp phủ; b) Sơ đồ thiết bị và gá mẫu.

2.3. Thiết bị đo và đánh giá các thông số của lớp phủ

Đo trên mẫu thí nghiệm: sử dụng thiết bị JEOL-JSM-7600F đánh giá hình thái học bề mặt lớp phủ TiN thông qua ảnh hiển vi điện tử quét SEM (Scanning Electron Microscopy); Đồng thời, xác định được số lượng và kích thước hạt macro trên bề mặt lớp phủ thông qua ảnh SEM với diện tích $380 \times 280 \mu\text{m}^2$ hình 5. Thành phần hoá học lớp phủ TiN được xác định qua phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) với nguồn phát xạ 10 kV hình 4. Chiều dày lớp phủ được xác định qua ảnh cắt ngang lớp phủ hình 6c.



Hình 3. Sơ đồ chốt thử nghiệm trên khuôn đúc áp lực: a) Chốt lắp trên khuôn đúc áp lực; b) Vị trí dòng kim loại tác động lên chốt; c) Toạ độ chốt trong quá trình làm việc.

Thử nghiệm chốt có phủ trong sản xuất thực tế: đánh giá tuổi thọ chốt có phủ và không phủ TiN trong sản xuất và đánh giá chất lượng bề mặt sản phẩm được tạo thành. Các chốt được lắp trong khuôn đúc chi tiết vòng ôm theo sơ đồ trên hình 3a, chốt có phủ TiN tại vị trí cột B, chốt không phủ tại vị trí cột A, D, C hình 3b, c.

Xác định dòng chảy kim loại lỏng tác động đến các vị trí trên chốt trong quá trình làm việc từ hệ toạ độ $(0, x, y, z)$: tại gốc toạ độ $O(0, 0, 0)$ là vị trí kim loại lỏng được đưa vào khuôn, trục y là hướng dòng kim loại vào khuôn, trục x là hướng dòng kim loại vào lòng khuôn tác động lên chốt, trục z là chiều cao chốt trong khuôn với toạ z_0 tại mặt đầu của

chốt hình 3c, kích thước làm việc của chốt trong khuôn là $z = L = 13$ mm hình 1b. Vị trí tác động của dòng kim loại tác động lên chốt được xác định theo trục x với các góc tác động khác nhau hình 3c.

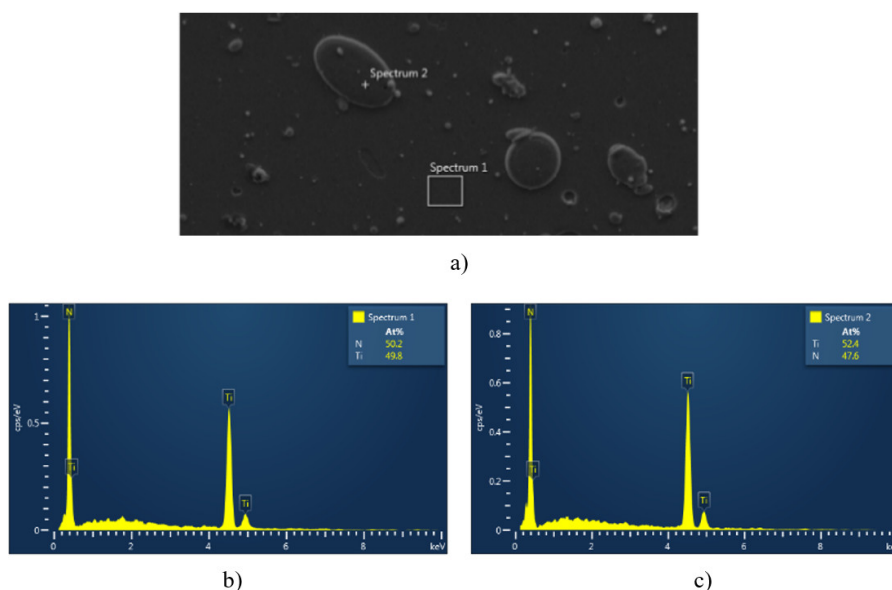
Xác định các vị trí hỏng trên chốt có phủ và không phủ TiN sau thử nghiệm. Đo kích thước các vị trí xảy ra mòn trên chốt sử dụng kính hiển vi vạn năng YIM21 (độ phân giải 0,001 mm). Quan sát vị trí hỏng trên kính hiển vi quang học Olympus - BX51M-BX51RF-Japan (độ phân giải 0,01 mm).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá hợp thức lớp phủ

Hợp thức của lớp phủ quyết định đến pha và cấu trúc pha cũng như cơ tính lớp phủ được tạo thành. Số lượng hạt titan và nitơ đến và kết hợp trên bề mặt để phải cân bằng để đạt được hợp thức với tỷ lệ Ti_1N_1 . Quá trình này bị ảnh hưởng bởi các thông số công nghệ như: năng lượng nguồn hồ quang, lưu lượng khí nitơ đưa vào, thể bias để.

Kết quả đo phổ tán xạ năng lượng EDS của lớp phủ TiN và đo hạt macro trên bề mặt hình 4b,c, cho thấy tỷ lệ thành phần Ti và N tương ứng 50,2:49,8 và 52,4:47,6. Như vậy, khả năng kết hợp của titan và nitơ trong quá trình lắng đọng là tốt, hợp thức lớp phủ TiN đạt được gần 1:1, với lưu lượng khí $N_2 = 250$ scem. Điều này cho thấy các thông số công nghệ lựa chọn để lắng đọng lớp phủ TiN trên nền thép SKD61 là phù hợp để tạo ra hợp thức Ti_1N_1 .



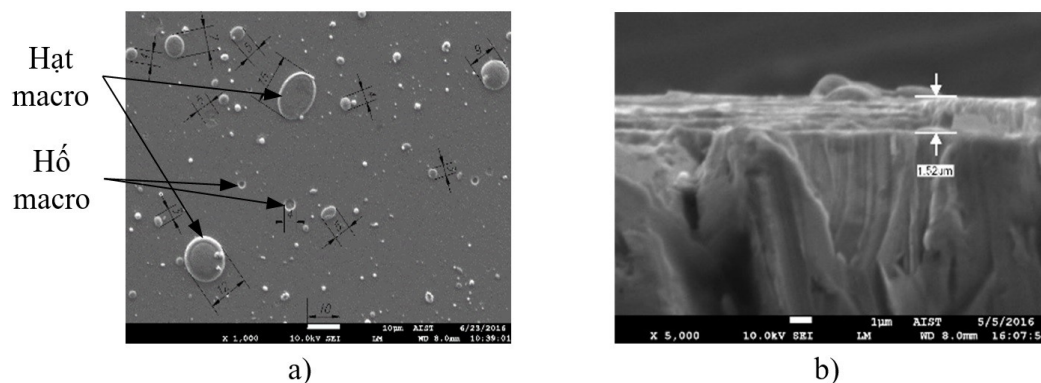
Hình 4. Phổ tán xạ năng lượng EDS bề mặt lớp phủ TiN:

- a) Vị trí đo phổ tán xạ năng lượng;
- b) Phổ tán xạ năng lượng trên bề mặt lớp phủ;
- c) Phổ tán xạ năng lượng trên bề mặt hạt macro.

3.2. Hình thái học bề mặt lớp phủ TiN

Khi chế tạo lớp phủ bằng phương pháp hồ quang catot với điểm catot luôn tạo ra các giọt kim loại macro đọng trên bề mặt đế. Theo [13] hạt và hồ macro có thể là nguồn của vết nứt trên bề mặt lớp phủ, dẫn đến hình thành các lỗ xốp làm giảm tính chống ăn mòn, do đó giảm ưu thế của lớp phủ khi ứng dụng trong thực tế. Ảnh SEM chụp bề mặt lớp

phủ TiN được nghiên cứu chế tạo hình 5a, cho thấy có sự tồn tại của cả hố và hạt macro với kích thước khác nhau từ $< 3 \mu\text{m}$ đến $12 \mu\text{m}$, tuy nhiên, số lượng hạt có kích thước nhỏ $< 3 \mu\text{m}$ chiếm số lượng lớn; hạt kích thước lớn rất ít. Hạt và hố macro này làm giảm sự đồng đều của bề mặt cũng như cấu trúc, thành phần hoá học và làm tăng độ nhấp nhô bề mặt lớp phủ.



Hình 5. Ảnh SEM bề mặt lớp phủ TiN: a) Ảnh bề mặt lớp phủ; b) Ảnh mặt cắt ngang lớp phủ.

3.3. Số lượng và kích thước hạt macro

Theo [14] số lượng hạt macro phụ thuộc vào vật liệu làm bia (catot) và lưu lượng khí nitơ đưa vào. Nhóm nghiên cứu xác định số lượng và kích thước hạt macro trên bề mặt lớp phủ CrN thông qua ảnh SEM với diện tích $440 \times 330 \mu\text{m}^2$. Tổng số lượng hạt macro là 3410, trong đó, các hạt có kích thước từ $0 \div 1$, $1 \div 3$, $3 \div 8 \mu\text{m}$ tương ứng là 2012, 1185 và 213. Từ bảng 1 cho thấy số lượng và kích thước hạt macro có sự khác biệt so với [14] khi cùng sử dụng phương pháp hồ quang catot để lắng đọng lớp phủ. Nguyên nhân là do có sự khác biệt về loại lớp phủ, lưu lượng khí đưa vào cũng như diện tích quan sát. Tuy nhiên, với lớp phủ TiN chế tạo được, quan sát thấy có ít hạt macro với kích thước lớn nhưng xuất hiện cả hạt macro có kích thước rất lớn ($9 \div 12 \mu\text{m}$) hình 5b. Tính chống mài mòn của lớp phủ bị ảnh hưởng bởi kích thước và số lượng hạt macro do liên kết hạt macro với lớp phủ yếu, độ bền lớp phủ giảm [13].

Bảng 1. Số lượng hạt macro trên bề mặt lớp phủ TiN.

	Kích thước (μm)					Tổng
	$0 \div 3$	$3 \div 6$	$6 \div 9$	$9 \div 12$	$12 \div 15$	
Số lượng	352	5	1	1	2	361

3.4. Chiều dày lớp phủ

Hình 5b là ảnh SEM của mặt cắt ngang chi tiết mẫu, chiều dày lớp phủ đo được là $1,52 \mu\text{m}$ với thiết bị và chế độ công nghệ hồ quang chân không sử dụng 3 bia như trình bày ở trên, tốc độ lắng đọng là $0,152 \mu\text{m}/\text{phút}$. Trong trường hợp mẫu đứng yên [13,14] tốc độ hình thành lớp phủ là $0,2 \mu\text{m}/\text{phút}$, cao hơn so với chi tiết quay. Ảnh SEM bề mặt lớp phủ CrN khi mẫu đứng yên cho thấy kích thước và sự phân bố các hạt macro trên bề mặt đồng đều hơn so với mẫu quay.

3.5. Cơ tính lớp phủ

3.5.1. Độ cứng

Độ cứng lớp phủ TiN từ 24 ÷ 28 GPa ở nhiệt độ 500 °C theo [6]. Độ cứng tế vi lớp phủ TiN lớn nhất đo được là 2927 HV_{0,001} [18]. Nghiên cứu của nhóm tác giả [19] chế tạo lớp phủ TiN trên nền thép SKH57 bằng phương pháp phun xạ magnetron cho thấy: độ cứng lớp phủ giảm từ 75 ÷ 35 GPa khi nhiệt độ để tăng từ 330 ÷ 470 °C trong quá trình lắng đọng. Độ cứng lớp phủ TiN giảm khi nhiệt độ làm việc tăng, tương tự khi tăng nhiệt độ nền thép khi lắng đọng.

3.5.2. Mòn của lớp phủ

Kết quả khảo sát mòn của nhóm tác giả [15] khi phun hạt SiC trên mẫu phẳng bằng vật liệu thép 4140 có phủ các lớp CrN, TiAlN theo các góc 30°, 45°, 60° và 90° trong thời gian 10 phút cho thấy: khối lượng vật liệu mẫu mất đi giảm từ 0,0572 ÷ 0,0267 g khi tăng góc tác động từ 30° ÷ 90° đối với lớp phủ TiAlN.

Thử nghiệm mài mòn bằng phương pháp chốt tỳ trên đĩa quay (pin-on-disc) đối với lớp phủ TiN [18] sau 7500 vòng quay của đĩa có kết quả: thể tích vật liệu mất đi tăng từ 0,052 ÷ 0,706 mm³ khi nhiệt độ tăng từ 20 ÷ 500 °C.

Nhóm tác giả [19] thử nghiệm phun các hạt ôxit nhôm có kích thước 1,2 μm với vận tốc 100 m/s ở góc tác động 90° lên bề mặt lớp phủ TiN đã chỉ ra: tốc độ mòn của lớp phủ TiN giảm từ 0,25 ÷ 0,16 μm/phút khi tăng nhiệt độ nền trong quá trình chế tạo lớp phủ từ 330 ÷ 470 °C.

Các nghiên cứu cho thấy khả năng chống mòn của lớp phủ TiN phụ thuộc vào nhiều yếu tố: nhiệt độ chế tạo, nhiệt độ làm việc và góc tác động các hạt rắn lên bề mặt lớp phủ.

3.5.3. Hệ số ma sát

Theo nghiên cứu của nhóm tác giả [4] đưa ra hệ số ma sát của lớp phủ TiN là 0,42 khi thử nghiệm bằng phương pháp rạch trên bề mặt lớp phủ. Hệ số ma sát của lớp phủ TiN tăng từ 0,5 lên 0,6 khi nhiệt độ thử nghiệm tương ứng là 20 °C tăng lên 500 °C [18].

Thử nghiệm cắm các chốt H13, H13 + nitrit và H13 + phủ TiN vào nhôm lỏng, khi nhôm đông đặc tiến hành rút các chốt khỏi khối nhôm để xác định lực rút chốt [12]. Nhóm nghiên cứu chỉ ra chốt có phủ TiN có lực rút chốt nhỏ nhất 55 MPa và dính bám nhôm ít nhất, đối với chốt H13 + nitrit và H13 lực rút chốt tương ứng là 78 và 195 MPa.

Các nghiên cứu cho thấy hệ số ma sát của lớp phủ TiN nhỏ, giảm dính bám nhôm, giảm lực rút chốt. Tuy nhiên, hệ số ma sát không là đại lượng xác định tính mòn hoặc dính bám của lớp phủ [4].

3.6. Thử nghiệm sản xuất

Các chi tiết chốt có phủ và không phủ TiN được lắp vào cùng một bộ khuôn đúc nhôm trên máy đúc áp lực ZDC250T dùng để chế tạo chi tiết HOLDER M/C (vòng ôm) tại Nhà máy cơ khí 17 - Bộ Quốc phòng hình 3c. Bộ thông số chính trong khi sản xuất: nhiệt độ nhôm 680 ÷ 720 °C; Áp lực bắn 135 ÷ 250 kG/cm²; Áp suất khí nén 5,5 ÷ 7 kG/cm²; Áp suất nước làm mát 1 ÷ 2 kG/cm².

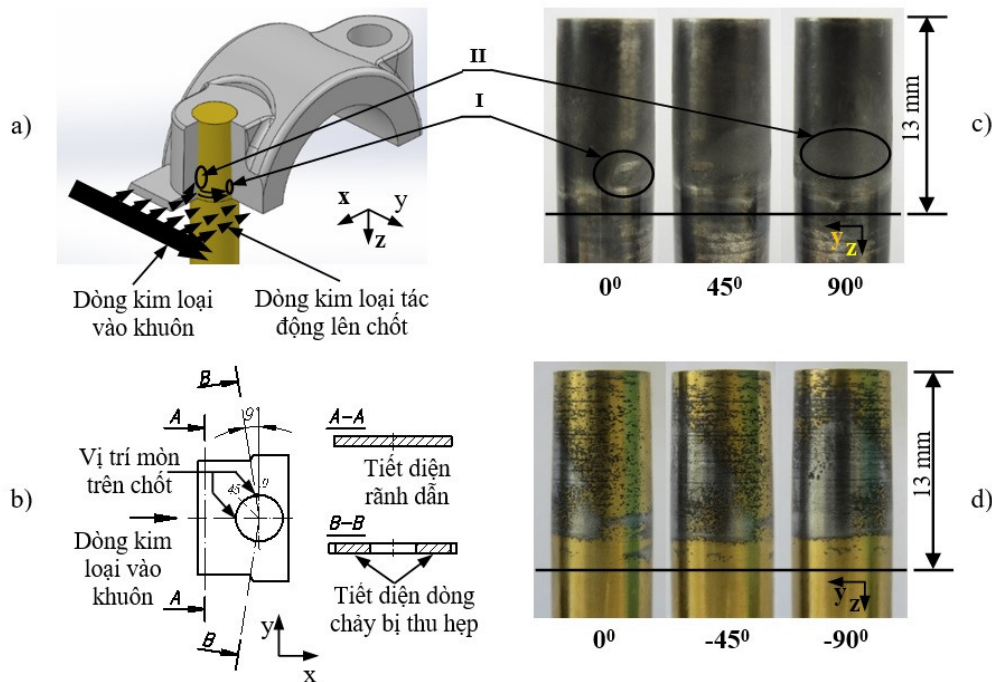
Sản phẩm được công nhận là đạt yêu cầu kỹ thuật là sản phẩm có kích thước lỗ đạt φ6,67; chiều dài làm việc với kích thước L= 13 mm, đường kính lỗ phải nằm trong giới hạn dung sai kích thước cho phép.

Khi sản phẩm xuất hiện lỗi về bề mặt và kích thước mà quá trình sửa khuôn (đánh bóng lại) không khắc phục được thì chốt thử nghiệm được xác định là hỏng. So sánh số lượng sản phẩm đúc được đạt yêu cầu khi sử dụng khuôn với chốt có phủ và không phủ TiN được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Số lượng sản phẩm đạt yêu cầu kỹ thuật trong quá trình thử nghiệm chốt có phủ và không phủ.

Loại chốt	Số sản phẩm (chiếc)
Phủ TiN	40.000 ÷ 45.000
Không phủ TiN	20.000 ÷ 25.000

Thử nghiệm trong sản xuất công nghiệp [11] với chốt có phủ TiN bằng phương pháp PACVD, số lượng sản phẩm đạt được đối với chốt không phủ và có phủ là 7.000 ÷ 12.500 và 16.000 ÷ 46.000.

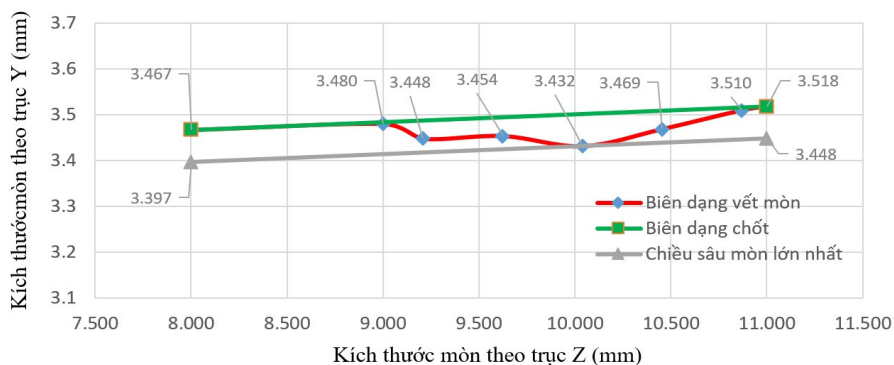


Hình 6. Dòng kim loại tác động lên chốt trong quá trình làm việc: a) Dòng kim loại vào khuôn; b) Tiết diện dòng chảy bị thu hẹp; c) Vị trí mòn trên chốt không phủ (chốt C1); d) Vị trí mòn trên chốt có phủ (chốt B1).

Trên hình 6 là sơ đồ dòng kim loại tác động vào chốt trong quá trình làm việc. Với công nghệ sản xuất ổn định vị trí mòn trên chốt có phủ và không phủ do dòng kim loại tác động là giống nhau. Tuy nhiên, mòn xảy ra mạnh trên chốt không phủ, đặc điểm vết mòn khác nhau về kích thước và chiều sâu. Trên chốt có phủ là các vùng lớp phủ bảo vệ đã bị bong với mức độ khác nhau. Vết mòn bắt đầu xuất hiện theo chiều cao z trên chốt, từ (z = 11 mm) đến (z = 9 mm). Trên hình 6 cũng thấy chốt bị mòn mạnh tại vị trí dòng kim loại hướng lên, từ vị trí góc 9° với chốt không phủ và -9° đối với chốt có phủ TiN.

3.6.1. Mòn trên chốt không phủ TiN

Trên hình 3b và hình 6c khảo sát vị trí dòng kim loại tác động trực tiếp lên chốt theo góc tác động: ở góc 90°, vùng mòn rộng, chiều sâu mòn nhỏ; vị trí dòng tiếp tuyến (0÷45°), dòng kim loại bị thu hẹp hình 6b,c, vết mòn nhỏ, chiều sâu vết mòn lớn. Tuy nhiên, tại vị trí góc 180° trên chốt không xảy ra mòn. Điều này có thể thấy dòng kim loại có áp lực và vận tốc lớn là dòng vào chốt và hướng lên trên theo trục y. Chiều sâu vết mòn lớn nhất đo được là 0,07 mm, trên chốt C1, tại vị trí góc 9° như trên hình 6b và hình 7.

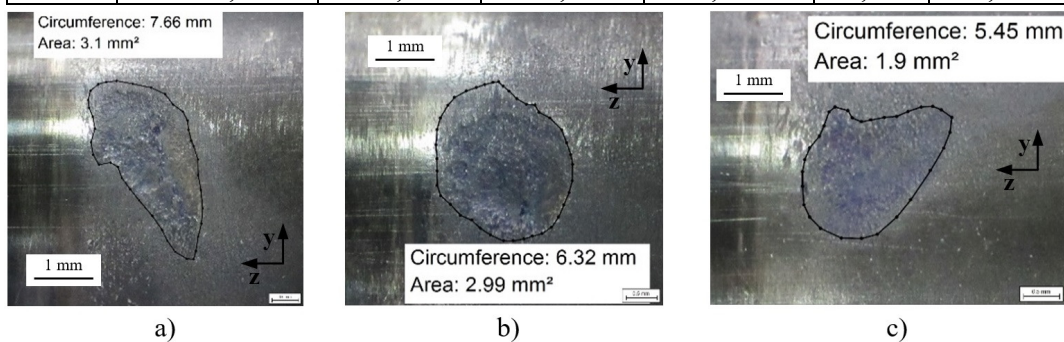


Hình 7. Chiều sâu vết mòn trên chốt không phủ.

So sánh với kết quả của [15], khảo sát mòn khi phun hạt SiC trên mẫu phẳng bằng vật liệu thép 4140 có phủ các lớp CrN, TiAlN theo các góc 30°, 45°, 60° và 90°. Kết quả thử nghiệm đối với chốt không phủ trong khuôn đúc vòng ôm cho thấy: hình dáng vết mòn thay đổi từ dạng ô van tới tròn khi góc phun thay đổi từ 30 đến 90°; Diện tích vết mòn và thể tích vật liệu nền bị mòn giảm tương ứng.

Bảng 3. Mòn trên chốt ở các vị trí khác nhau trong khuôn.

Vị trí chốt	Khoảng cách từ vị trí phun (mm)	Kích thước vết mòn		Chiều sâu vết mòn (mm)	Chu vi mòn (mm)	Diện tích mòn (mm ²)
		Trục z (mm)	Trục y (mm)			
C1	81,5	1,59	2,5	0,070	7,66	3,10
C2	133,5	1,77	1,8	0,057	6,32	2,99
C3	185,5	1,6	1,5	0,038	5,45	1,90



Hình 8. Vết mòn chốt ở các vị trí khác nhau trên khuôn:

a) Chốt C1; b) Chốt C2; c) Chốt C3.

Đánh giá hồng của chốt thử nghiệm trên khuôn vòng ôm quan sát được: hình dáng vết mòn thay đổi theo tiết diện và góc tác động của dòng chảy kim loại. Vị trí chốt trong khuôn khác nhau thì chiều sâu mòn khác nhau. Từ bảng 3 và hình 8 cho thấy: khoảng cách gần vị trí phun thì vận tốc và áp lực dòng chảy lớn; diện tích, chiều sâu lớn nhất đo được là 3,10 mm² và 0,070 mm. Tại vị trí xa vị trí phun thì vận tốc và áp lực dòng chảy giảm, kích thước và chiều sâu vết mòn giảm.

Nhận xét:

Bề mặt khuôn đúc bị mòn trong quá trình làm việc nguyên nhân là do sự hoà tan và mất vật liệu khuôn vào kim loại lỏng [16]. Quá trình hàn dính kim loại đúc trên bề mặt khuôn không phủ theo cơ chế hoá lý [17]. Trong quá trình làm việc nhôm bám dính trên bề mặt

chốt, các lớp mỏng hình thành liên kim với vật liệu nền. Lớp dính bám ảnh hưởng xấu đến độ bóng bề mặt vật đúc hoặc gây xước bề mặt.

Lớp dính bám phát triển đến chiều dày nhất định dưới tác động của dòng chảy trong khuôn bong ra khỏi bề mặt khuôn kéo theo một lớp kim loại nền. Qua nhiều chu kỳ đúc, quá trình mất vật liệu trên bề mặt chốt gây hụt kích thước lỗ dẫn đến vật đúc không đạt yêu cầu kỹ thuật.

Kết quả nhận được so sánh với kết quả của [15] cho thấy vết mòn dài ở vị trí tác động của dòng kim loại phun vào bề mặt khuôn có góc nhỏ hơn 45° , tại vị trí tiết diện dòng chảy bị thu hẹp. Bề mặt chốt trong thử nghiệm chịu tác động của dòng chảy kim loại nhôm ít gây mòn tại vị trí kim loại phun trực tiếp. Mòn trên bề mặt chốt không có lớp phủ do tác động tổng hợp của dòng chảy, dính bám kim loại nhôm lỏng tạo liên kim với nền và lớp liên kim bong ra khỏi bề mặt khuôn.

3.6.2. Mòn trên chốt có phủ TiN

Khi có lớp phủ TiN, kim loại nhôm nóng chảy trên bề mặt lớp phủ, thay vì chảy trực tiếp trên bề mặt khuôn bằng thép SKD61. Cơ chế phá huỷ lớp phủ trên bề mặt khuôn là do quá trình hình thành, phát triển và tạo các điểm vỡ cục bộ trên bề mặt lớp phủ. Các nguyên nhân ảnh hưởng như quá trình tạo lớp phủ, tác động cơ học, hoá học của kim loại lỏng, chu kỳ nhiệt của khuôn trong quá trình đúc chi tiết [5]. Mòn trên chốt có phủ bị ảnh hưởng bởi khả năng làm việc, bảo vệ của lớp phủ, khả năng dính bám của lớp phủ với nền.

Đánh giá mòn trên chốt có phủ TiN được quan sát sau thử nghiệm sản xuất trên khuôn vòng ôm. Lớp phủ TiN bong mạnh và chủ yếu ở góc tác động trực tiếp 90° hình 6d. Vùng bong rộng có thể quan sát thấy các nhấp nhô bề mặt chốt do quá trình gia công đánh bóng chốt trước khi phủ. Các góc tác động nhỏ vùng bong nhỏ hơn và không xuất hiện vết mòn sâu như chốt không phủ. Cũng tương tự như các chốt không phủ, kích thước vết mòn giảm khi vị trí chốt xa vị trí phun kim loại vào khuôn. Điều này có thể thấy lớp phủ chống dính bám nhôm lỏng tốt, đồng thời giảm ma sát giữa lớp phủ và kim loại vật đúc giúp quá trình rút chốt khỏi vật đúc dễ dàng.

Ngoài sự bong tróc do tác động trực tiếp của dòng kim loại, lớp phủ còn bị hỏng trong quá trình làm việc do ứng suất trong xuất hiện khi nung nóng và làm nguội khuôn gây ra các vết nứt tế vi, các vết nứt này phát triển và kim loại đúc điền đầy vết nứt. Khi tăng số lần phun khuôn, kim loại đúc tiếp xúc với kim loại nền hình thành liên kim. Kết hợp với ứng suất sau một số quá trình làm việc lớp phủ mất khả năng dính bám và bong ra khỏi bề mặt khuôn, được nhắc đến trong [5]. Điều này phù hợp với kết quả quan sát trên chốt được phủ TiN sử dụng trong thử nghiệm sản xuất tại nhà máy Z117 - Bộ Quốc phòng.

Các nghiên cứu về vị trí mòn, quy luật mòn, ảnh hưởng của dòng chảy là cơ sở xác định dòng chảy trong khuôn, hướng tác động, vị trí chịu tác động lớn nhất, từ đó ứng dụng lớp phủ TiN trên các chi tiết có xu hướng xảy ra hỏng lớn nhất nhằm nâng cao tuổi thọ và năng suất cũng như chất lượng vật đúc.

4. KẾT LUẬN

Lớp phủ TiN trên chi tiết khuôn đúc áp lực hợp kim nhôm chế tạo bằng phương pháp hồ quang chân không trên thiết bị DREVAR 400-VTD đạt được: hợp thức của lớp phủ TiN xấp xỉ 1:1 đồng đều trên toàn bộ bề mặt, chiều dày lớp phủ $1,52 \mu\text{m}$. Số lượng hạt macro có kích thước lớn trên bề mặt ít nhưng vẫn còn hạt macro kích thước rất lớn ($9\div 12 \mu\text{m}$). Với chi tiết khuôn có phủ TiN, số lượng chi tiết đúc được đạt yêu cầu kỹ thuật tăng gấp 2 lần so với chi tiết khuôn không phủ TiN. Chốt không phủ TiN bị xói mòn mạnh ở vị trí dòng kim loại bị thu hẹp, góc tác động nhỏ hơn 45° . Chốt có phủ TiN bị bong mạnh ở vị trí dòng kim loại tác động trực tiếp (90°); lớp phủ TiN có khả năng làm việc ở nhiệt độ 700°C , chống dính tốt và ma sát với nhôm nhỏ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. D. Klobčar, L. Kosec, B. Kosec, J. Tušek, “*Thermo fatigue cracking of die casting dies*”, Engineering Failure Analysis, **Vol. 20**, (2012), pp. 43-53.
- [2]. D. Klobčar, J. Tušek, “*Thermal stresses in aluminium alloy die casting dies, Computational Materials Science*”, **Vol. 43**, (2008), pp. 1147-1154.
- [3]. D. Klobčar, J. Tušek, B. Taljat, “*Thermal fatigue of materials for die-casting tooling*”, Materials Science and Engineering, **Vol. 472**, (2008), pp. 198-207.
- [4]. O. Salas, K. Kearns, S. Carrera, J.J. Moore, “*Tribological behavior of candidate coatings for Al die casting dies*”, Surface and Coatings Technology, **Vol. 172**, (2003), pp. 117-127.
- [5]. J. Lin, S. Carrera *et al*, “*Design methodology for optimized die coatings: The case for aluminum pressure die-casting*”, Surface and Coatings Technology, **Vol. 201**, (2006), pp. 2930-2941.
- [6]. Gabriela Strnad, Joseph Buhagiar, “*Latest developments in PVD coatings for tooling*”, Scientific Bulletin of the Petru Maior University of Targu Mures, **Vol. 7**, No.1 (2010), pp 32-37.
- [7]. Vladimir I. Gorokhovskiy, Deepak G. Bhat *et al*, “*Characterization of large area filtered arc deposition technology: Part II - coating properties and applications*”, Surface and Coatings Technology, **Vol. 140**, (2001), pp. 215-224.
- [8]. Luu Thuy Chung, Dinh Thanh Binh, Pham Hong Tuan, Nguyen Thi Phuong Mai, “*Nitrite hard coating layers applied to aluminium die casting based on SKD61*”, the 15th International Symposium on Eco-materials Processing and Design, (2014), pp. 294-297.
- [9]. Đinh Thanh Bình, Lư Thuỷ Chung, Phạm Hồng Tuấn, Nguyễn Thị Phương Mai, “*Ứng dụng lớp phủ cứng TiN trên khuôn đúc áp lực để chế tạo chi tiết máy từ hợp kim kẽm*”, Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về Cơ khí- Động lực 2016, **Quyển 2**, (2016), pp. 23-28.
- [10]. S. Gulizia, M.Z. Jahedi, E.D. Doyle, “*Performance evaluation of PVD coatings for high pressure die casting*”, Surface and Coatings Technology, **Vol. 140**, (2001), pp. 200-205.
- [11]. C. Mitterer, F. Holler, F. Ustel, D. Heim, “*Application of hard coatings in aluminium die casting-soldering, erosion and thermal fatigue behaviour*”, Surface and Coatings Technology, **Vol. 125**, (2000), pp. 233-239
- [12]. V. Joshi *et al*, “*Dissolution and soldering behavior of nitrated hot working steel with multilayer LAFAD PVD coatings*”, Surface and Coatings Technology, **Vol 146-147**, (2001), pp. 338-343.
- [13]. V.D. Ovcharenko, A.S. Kuprin, G.N. Tolmachova, I.V. Kolodiy, “*Deposition of chromium nitride coatings using vacuum arc plasma in increased negative substrate bias voltage*”, Vacuum, **Vol. 117**, (2015), pp. 27-34.
- [14]. V.D. Ovcharenko, A.S. Kuprin, G.N. Tolmachova, “*Deposition of chromium nitride coatings from vacuum arc plasma in increased nitrogen pressure*”, Plasma Physics, **Vol. 20**, (2014), pp. 204-207.
- [15]. J.R. Laguna-Camacho, L.A. Cruz-Mendoza *et al*, “*Solid particle erosion on coatings employed to protect die casting molds*”, Progress in Organic Coatings, **Vol. 74**, (2012), pp. 750-757.
- [16]. V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri, “*Intermetallic formation and its relation to interface mass loss and tribology in die casting dies*”, Wear, **Vol. 256**, (2004), pp. 1232-1235.

- [17]. Hanliang Zhu, Jingjie Guo, Jun Jia, "Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting", Journal of Materials Processing Technology, **Vol. 123**, (2002), pp. 229-235.
- [18]. M. Polok-Rubinić, L.A. Dobrzański, K. Lukaszewicz, M. Adamiak, "Comparison of the structure, properties and wear resistance of the TiN PVD coatings" Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, **Vol. 27**, (2008), pp. 87-90.
- [19]. Y. Iwai *et al.*, "Evaluation of erosive wear resistance of TiN coatings by a slurry jet impact test", Wear, **Vol. 261**, (2006), pp. 112-118.
- [20]. Nguyễn Thành Hợp, Đinh Thanh Bình, Nguyễn Thị Phương Mai, Phạm Hồng Tuấn, "Chế tạo lớp phủ cứng TiN, ZrN, TiCN trên dụng cụ cắt và chi tiết khuôn mẫu bằng công nghệ hồ quang chân không", Hội nghị khoa học - công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ IV, **Quyển 2**, (2015), pp. 607-613.

ABSTRACT

DEPOSITED THE TiN HARD COATING BY VACUUM CATHODE ARC, USING FOR ALUMINUM DIE-CASTING OF HOLDER M/C COMPONENT

In the aluminum alloy die cast mold, the pins for creating holes in the product have a failure speed 10 times faster than that of the mold. The effects of high flow velocities, liquid metal temperatures and high molding pressures are the main causes of surface damage such as erosion, adhesion to aluminum. These effects reduce the quality of the castings and increase the cost of molding. Nitrile-based hard coatings protect the steel surface against erosion, aluminum adhesion and reduce thermal fatigue. This paper presents the technology of manufacture TiN coating on the SKD61 steel mold base by vacuum cathode arc method. Results obtained was the TiN coating with a thickness of 1.52 μm , congruence approximate 1: 1; The number of very large macro particles (9-15 μm) on the surface is low. When using TiN coated die castings for casting machine parts from aluminum alloy for production, the required number of molded parts is doubled compared to TiN coated cores/latches. TiN coatings were made of high hardness, low coefficient of friction, reduced adhesion to aluminum and capable of working at 700^oC under production conditions.

Keywords: Cathodic arc, Aluminium die casting, TiN, SKD61.

Nhận bài ngày 08 tháng 6 năm 2017

Hoàn thiện ngày 01 tháng 8 năm 2017

Chấp nhận đăng ngày 20 tháng 12 năm 2017

Địa chỉ: ¹ Khoa Dạy nghề, Cao đẳng Công nghiệp quốc phòng;
² Khoa Cơ khí, Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh;
³ Viện Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội;
⁴ Trung tâm Quang điện tử, Viện Ứng dụng Công nghệ.
* E-mail: thanhbinh2183@gmail.com.