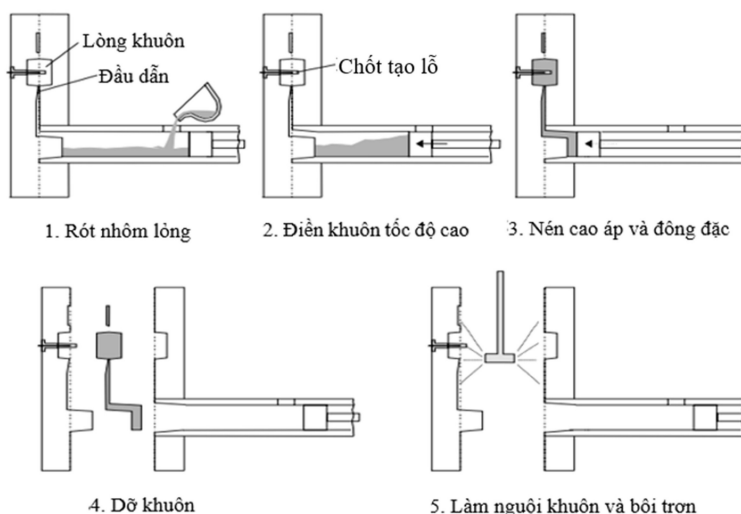


NGHIÊN CỨU KẾT HỢP CÔNG NGHỆ THẨM NITƠ THỂ KHÍ VÀ PHỦ PVD CHO THÉP BỀN NÓNG SKD61

NGUYỄN VĂN THÀNH^(1,3), ĐOÀN THANH VÂN⁽²⁾, TRỊNH VĂN TRUNG⁽³⁾,
VŨ VĂN HUY⁽²⁾, NGUYỄN MẠNH HIẾU⁽⁴⁾

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chốt tạo lỗ trong khuôn đúc nhôm áp lực cao được chế tạo từ thép bền nóng SKD61 theo tiêu chuẩn Nhật Bản. Vị trí của chốt và một chu trình làm việc của khuôn đúc áp lực cao máy đúc 250 tấn Toshiba được mô tả như trong hình 1 dưới đây. Mỗi chu trình dập thực hiện trong khoảng 60 giây, bước cuối của chu trình đúc, kim loại bị ép với áp suất 78 MPa. Tốc độ ép khoảng 50 m/s trong điều kiện nhiệt độ trung bình khoảng 680°C [1]. Như vậy trong các khuôn đúc áp lực, các chốt làm việc trong điều kiện chịu mài mòn liên tục ở nhiệt độ cao nên yêu cầu bề mặt có độ cứng lớn và hệ số ma sát nhỏ.



Hình 1. Vị trí của chốt và sơ đồ quy trình làm việc của khuôn đúc áp lực cao [1]

Trong quá trình đúc nhôm áp lực cao, hiện tượng hàn dính (Soldering effect) được các nhà sản xuất và nghiên cứu đặc biệt quan tâm. Cụ thể, tại nhiệt độ cao, sau khi nhôm nóng chảy tác dụng trực tiếp với lòng khuôn thép sinh ra pha liên kim giòn (Al_4FeSi , $Al_{15}Fe_6Si_5$, $Al_{12}Fe_6Si_5$), làm mất đi khả năng chống bám dính và chống ăn mòn của lớp bề mặt khuôn. Hiện tượng hàn dính chiếm tới 60% thời gian ngừng sản xuất để khắc phục các lỗi trong thực tế đúc nhôm áp lực cao [1-2]. Để nâng cao tuổi thọ của chi tiết khuôn, một số phương pháp xử lý bề mặt như thẩm nitơ, phủ PVD đã được ứng dụng.

Giải pháp cho vấn đề này đã được các nước tiên tiến nghiên cứu từ lâu và hiện nay vẫn tiếp tục được hoàn thiện. Nguyên lý chung là dựa trên việc lựa chọn và sử dụng vật liệu khuôn phù hợp (thường là thép SKD61) kết hợp với biến tính bề mặt vật liệu bằng các kỹ thuật khác nhau. Giải pháp hiện đại nhất đang được sử dụng là:

- Thấm nitơ hoặc phủ PVD cho chốt tạo lỗ sau nhiệt luyện.

- Xử lý bề mặt chốt tạo lỗ bằng công nghệ duplex, đó là kết hợp công nghệ hóa nhiệt luyện (thấm N, thấm C, v.v.) làm lớp nền, tiếp theo là phủ màng cứng (TiN, CrN, AlTiN, AlTiBN, v.v.) bằng phương pháp PVD [3-8]. Trong đó công nghệ phủ đa lớp, ví dụ nhiều lớp Cr-CrN trên nền thép nhiệt luyện đã chứng tỏ khả năng chống dính nhôm cho mẫu chốt thử nghiệm. Tuy nhiên ở Việt Nam chưa thấy công trình nào công bố ứng dụng công nghệ này đối với thép SKD61.

Nghiên cứu này tập trung so sánh đặc tính bề mặt mẫu sau thấm nitơ, phủ PVD truyền thống và ứng dụng công nghệ duplex (phủ PVD trên nền thép SKD61 thấm nitơ).

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Chế tạo mẫu, nhiệt luyện và xử lý bề mặt

Phôi thép bền nóng SKD61 có đường kính Ø22 của nhà cung cấp Daido (Nhật) có thành phần về khối lượng các nguyên tố như sau: 0,379 %C, 13,49 %Cr, 0,833 %Si, 0,219 %V, 0,1 %Mo, 0,427 %Mn, còn lại là Fe. Tiến hành cắt dây phôi thép thành các mẫu thép nhỏ có kích thước Ø22x 7 mm.

Tiến hành tôi (1030°C/90 phút) và ram hai lần (580°C/2 giờ) trong lò tôi chân không Turbo Treater M. Chi tiết và khuôn đúc nhôm áp lực cao thường được nhiệt luyện tôi và ram cao để đạt độ cứng trong khoảng 44÷48 HRC [9].

Sau khi nhiệt luyện mẫu, mẫu thử nghiệm và chi tiết được mài đến giấy nhám 1200 grit và đánh bóng bằng bột Cr₂O₃ sao cho độ nhám bề mặt mẫu sau ram nhỏ hơn 0,63 µm. Thấm nitơ thể khí được thực hiện ở 520 ° trong 5 giờ, sử dụng khí thấm NH₃ với thể thấm cao (độ phân hủy thấp 65±5 %).

Các loại mẫu trước khi phủ PVD đều được mài qua giấy nhám # 800, 1000, 1200, 2000, sau đó được đánh bóng bằng bột kim cương cỡ hạt 1 µm để đảm bảo độ nhám bề mặt chi tiết Ra khoảng 0,03 µm để đảm bảo khả năng che phủ của lớp phủ PVD vốn chỉ dày khoảng 2 µm. Trước khi phủ, mẫu được làm sạch bằng cơ học, đặt trong cón và tẩy rửa bằng sóng âm. Thực hiện phủ CrN bằng máy phủ hồ quang Drevva-400 (Đức). Quá trình phủ được thực hiện ở nhiệt độ 300°C, áp suất nền $2,4 \times 10^{-2}$ Pa, lưu lượng khí Ar 20 sccm. Dòng hồ quang được duy trì khoảng 60 A, thiên áp để -40 V. Thiên áp để được lựa chọn nhằm giảm hạt macro trên bề mặt mẫu phủ. Thực hiện phủ đa lớp 10 lần (Cr/CrN) với thời gian tạo lớp lót Cr và lớp CrN như sau:

+ Phủ lớp lót Cr trong khoảng 2 phút, không cấp khí N₂;

+ Phủ lớp CrN trong thời gian 5 phút, cấp khí N₂ với lưu lượng 350 sccm để tạo lớp phủ đúng hợp thức CrN.

Để đơn giản, trong bài báo tạm gọi lớp phủ đa lớp theo quy trình trên là “lớp phủ CrN”.

Bảng 1 quy ước kí hiệu các mẫu nghiên cứu trong bài báo này.

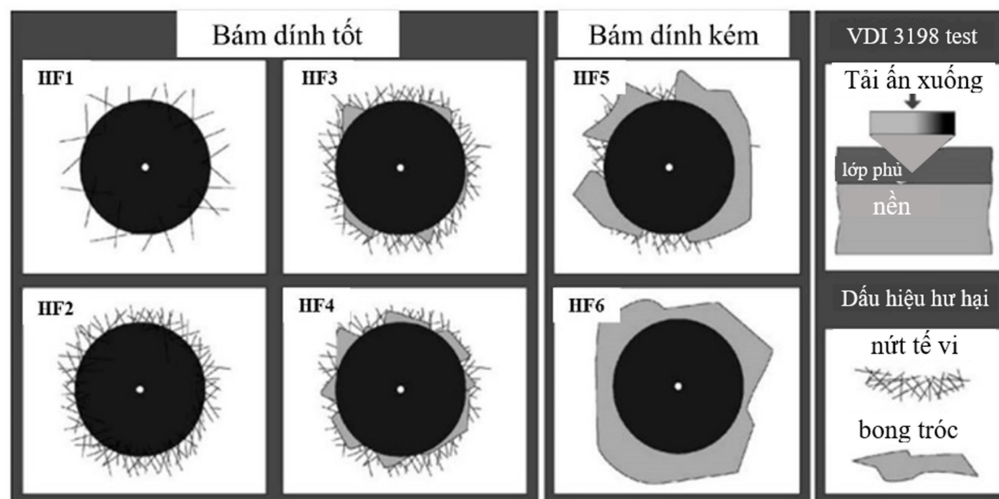
Bảng 1. Kí hiệu mẫu nghiên cứu

Mẫu	Mẫu thép ở trạng thái nhà cung cấp	Mẫu thép sau tôi	Mẫu thép sau tôi-ram	Mẫu thép thấm nito	Mẫu phủ PVD trên nền thép nhiệt luyện	Mẫu phủ PVD trên nền thép thấm nito
Kí hiệu	CC	T	H	H-N	H-CrN	H-N-CrN

2.2. Phân tích đặc tính lớp thấm, phủ

Các lớp thấm, phủ sau đó được phân tích, sử dụng các kỹ thuật khác nhau. Thành phần pha của lớp thấm, phủ được thực hiện bằng kỹ thuật phân tích nhiễu xạ tia X (XRD), sử dụng thiết bị PANalytical X'Pert Pro. Mẫu kim tương của mặt cắt ngang mẫu thử nghiệm được tẩm thực và quan sát trên kính hiển vi quang học Axiovert 40 MAT, kính hiển vi điện tử quét JSM-6510LV với phổ kế tán xạ năng lượng EDS (INCAx-act). Kính hiển vi soi nổi Keyence (VHX-7000) được sử dụng để chụp ảnh bề mặt mẫu sau phủ và xác định độ nhám bề mặt mẫu sau phủ.

Độ cứng bề mặt và độ cứng tế vi được đo trên thiết bị Furture FM- 700e. Độ bám dính của lớp phủ được đo theo tiêu chuẩn VDI 3198 với đầu đo HRC gia tải 150 kg lên bề mặt mẫu nghiên cứu, sử dụng thiết bị 751-Wilson Wolpert, sau đó chụp ảnh bề mặt vết ấn bằng kính hiển vi quang học Axioplan 2. Hình ảnh chụp vết ấn được đối chiếu với thang phân loại của tiêu chuẩn VDI 3198 [10] như hình 2. Tiêu chí đối chiếu với thang phân loại dựa trên hình dạng, số lượng vết nứt tế vi xuyên tâm, mức độ bong tróc của lớp phủ ở vị trí xung quanh đường bao tròn bên trên của vết ấn. Giá trị HF càng nhỏ thì độ bám dính của lớp phủ càng tốt. Phương pháp đo này đôi khi cũng được gọi là “Mercedes test” trong các tài liệu nước ngoài.



Hình 2. Xác định độ bám dính theo tiêu chuẩn VDI 3198 [10]

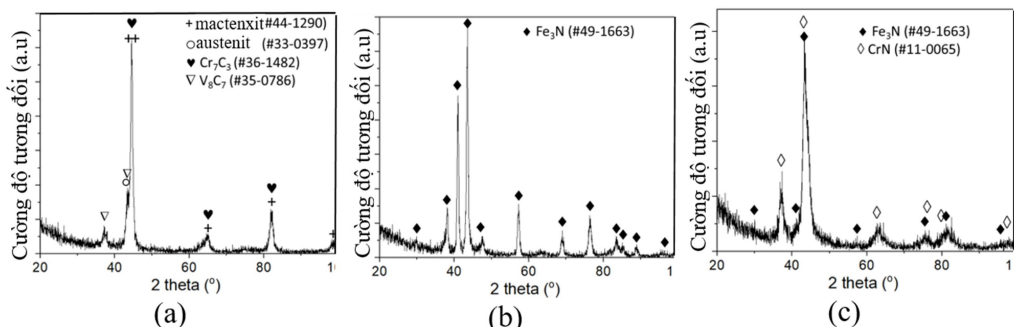
Đo điện hóa quét đường cong phân cực được thực hiện trên thiết bị AUTOLAB PGSTAT302N. Dung dịch điện ly NaCl 3,5 % được khử oxi bằng cách sục khí nitơ trong 60 phút. Bình đo điện hóa sử dụng là loại ba điện cực tiêu chuẩn với một điện cực đối bằng platin và điện cực so sánh calomel bão hòa, điện cực làm việc nối với mẫu cần đo. Trước khi đo, mẫu được lắp vào hệ điện cực và ngâm 5 phút trong bình chứa dung dịch điện ly. Diện tích tiếp xúc của mẫu là $1,7663 \text{ cm}^2$ với khoảng quét từ -0,6 V đến 1,5 V so với thế mạch hở V_{OCP} . Thử nghiệm được thực hiện với tốc độ quét 1 mV/s. Từ đường cong phân cực, điện thế ăn mòn E_{corr} và mật độ dòng ăn mòn j_{corr} được xác định bằng phương pháp ngoại suy biểu đồ Tafel.

Thử nghiệm ma sát bi trên tấm phẳng (ball on flat) được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM G133-05, sử dụng thiết bị CETR UMT-2 với độ lớn của tải là 1 N, biên độ chuyển động của bi 10 mm, tần số 5 Hz.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Phân tích thành phần pha

Kết quả chụp nhiễu xạ tia X được thể hiện trong hình 3. Đối với mẫu thép nhiệt luyện *H*, thành phần pha ngoài mactenxit còn có austenit dư do chuyển biến austenit thành mactenxit chưa xảy ra hoàn toàn. Cacbit sơ cấp (tồn tại trong mẫu thép ở trạng thái nhà cung cấp) Cr_7C_3 và V_8C_7 chưa bị hòa tan vào nền thép ở nhiệt độ austenit hóa 1030°C .

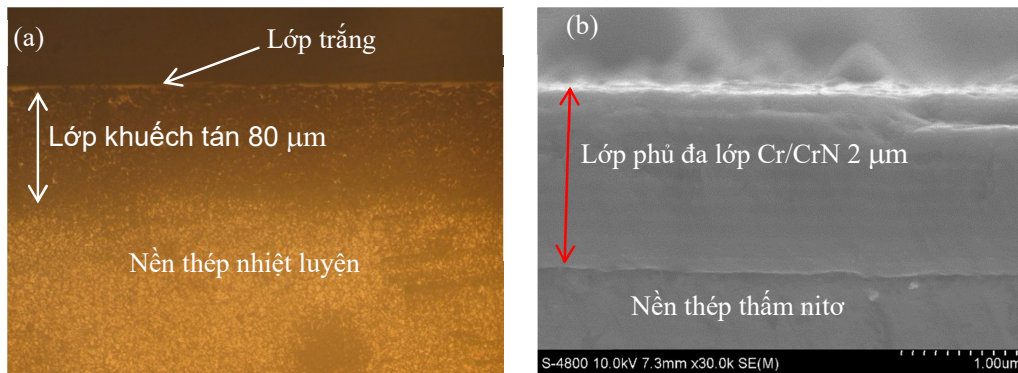


Hình 3. Kết quả phân tích XRD. (a) *H*; (b) *H-N*; (c) *H-N-CrN*

Đối với mẫu thép sau thấm nitơ *H-N* chỉ phát hiện pha sắt giàu nitơ Fe_3N , đây là thành phần pha của lớp trắng. Trong khi đó trên giản đồ nhiễu xạ XRD mẫu phủ CrN trên nền thấm nitơ *H-N-CrN*, ngoài pha nền còn xuất hiện tín hiệu của CrN của lớp phủ. Như vậy chế độ phủ sử dụng tạo ra đúng hợp thức CrN. Do lớp phủ mỏng (cỡ 2 μm) nên trên giản đồ nhiễu xạ vẫn xuất hiện thành phần pha của nền thép Fe_3N .

3.2. Phân tích mặt cắt ngang

Hình 4 thể hiện ảnh chụp mẫu kim tương mặt cắt ngang của lớp thấm và lớp phủ. Chiều dày lớp thấm nitơ đạt được là 80 μm , sau khi mài và đánh bóng thì lớp thấm ở mẫu *H-N-CrN* có độ dày khoảng 75 μm . Lớp thấm có cấu trúc gồm lớp trắng mỏng ở ngoài cùng, tiếp đến là lớp khuếch tán. Do ngoài cùng là lớp trắng nên khi phân tích XRD (hình 3), thành phần pha thu được của lớp thấm chỉ có pha giàu nitơ ($\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$). Lớp phủ đa lớp Cr/CrN có độ dày khoảng 2 μm (hình 4b).



Hình 4. Hình ảnh mặt cắt ngang của mẫu thử nghiệm

a) Mẫu thấm nitơ H-N; b) Mẫu xử lý kép H-N-CrN

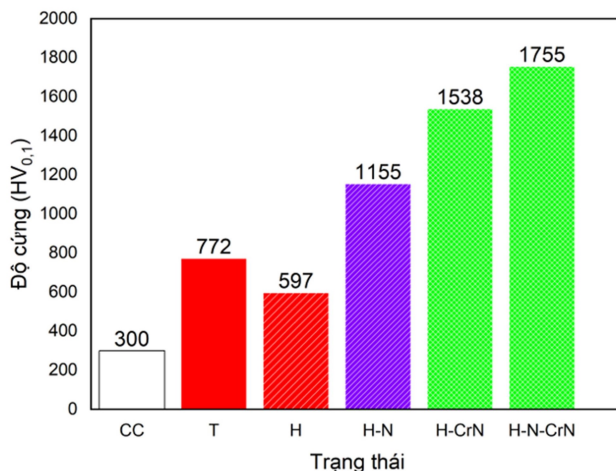
3.3. Kết quả xác định độ cứng

Độ cứng các mẫu nghiên cứu được thể hiện trong hình 5. Mẫu sau tôi đạt độ cứng tối đa khoảng 772 $HV_{0,1}$ (tương đương 55 HRC) của thép SKD61. Tuy nhiên thép sau tôi thường không được sử dụng vì giòn và ứng suất dư lớn. Do vậy thép được ram để có độ cứng thấp hơn (597 $HV_{0,1}$) nhưng độ bền tăng nhằm đảm bảo cho những ứng dụng yêu cầu độ dai va đập cao như chốt tạo lỗ.

Thép sau thấm nitơ có độ cứng khoảng 1155 $HV_{0,1}$ giúp chi tiết thấm có khả năng chống mài mòn cao. Ngoài ra lớp thấm với thành phần pha gồm các nitrua sẽ giảm phần trăm sắt ở trên bề mặt, từ đó làm giảm khả năng tạo pha liên kim sắt với nhôm. Nói cách khác, thấm nitơ là một phương pháp xử lý bề mặt hiệu quả để nâng cao khả năng chống dính nhôm.

Sau khi phủ CrN, độ cứng bề mặt đều tăng lên so với nền. Lớp phủ PVD cứng trên thị trường thường có chiều dày không quá 5 μm . Do đó độ cứng đo trên bề mặt lớp phủ như hình 5 bị ảnh hưởng bởi độ cứng của nền. Giá trị độ cứng đo trên bề mặt mẫu phủ trực tiếp trên nền nhiệt luyện *H-CrN* và nền thấm nitơ *H-N-CrN* lần lượt là 1538 $HV_{0,1}$ và 1755 $HV_{0,1}$. Điều này có thể giải thích do giá trị độ cứng của mẫu *H-CrN* và *H-N-CrN* chịu ảnh hưởng của nền thép, nền thép nhiệt luyện có độ cứng thấp hơn nền thép thấm nitơ nên giá trị độ cứng bề mặt của mẫu phủ *H-CrN* cũng thấp hơn *H-N-CrN*. Về cơ bản, độ cứng tuyệt đối của lớp phủ CrN trên hai mẫu phải bằng nhau. Việc so sánh có thể thực hiện bằng phép đo độ cứng nano (nanohardness, đơn vị GPa), nhưng ở trong nước, chúng tôi chưa tìm được đơn vị nào thực hiện được thử nghiệm này.

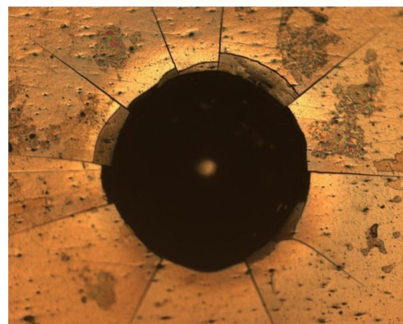
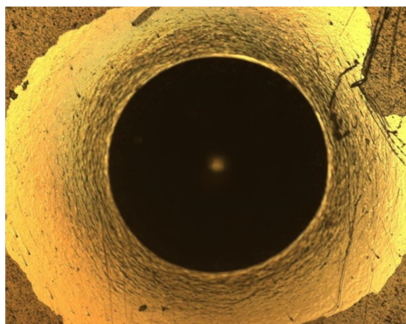
Lớp thấm với các pha nitrua có độ cứng tương đối cao (1115 $HV_{0,1}$) có vai trò chuyển tiếp độ cứng từ lớp phủ có độ cứng rất cao (cỡ 1700 $HV_{0,1}$) đến nền thép nhiệt luyện (579 $HV_{0,1}$), và giúp cải thiện độ bám dính giữa lớp phủ với nền thép nhiệt luyện (kết quả mục 3.4).



Hình 5. Độ cứng bề mặt của mẫu nghiên cứu

3.4. Kết quả xác định độ bám dính

Độ bám dính của mẫu phủ kép *H-N-CrN* tốt hơn mẫu phủ thông thường *H-CrN* (hình 6): Đối chiếu hình ảnh vết ấn theo tiêu chuẩn VDI 3198, mẫu phủ *H-N-CrN* đạt độ bám dính HF1-HF2, trong khi đó mẫu *H-CrN* chỉ đạt độ bám dính HF6. Nguyên nhân được giải thích do lớp thấm nitơ có vai trò làm giảm chênh lệch độ cứng giữa lớp phủ với nền. Cụ thể chênh lệch độ cứng giữa lớp phủ so với nền ở mẫu *H-CrN* và *H-N-CrN* lần lượt là 941 HV_{0,1} và 600 HV_{0,1}.

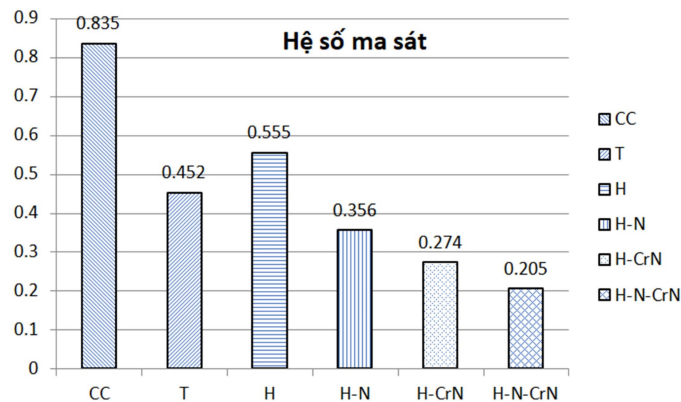


Hình 6. Hình ảnh sau thử nghiệm bám dính theo tiêu chuẩn VDI 3198
a) Mẫu H-CrN; b) Mẫu H-N-CrN (Độ phóng đại 500x)

3.5. Kết quả đo hệ số ma sát

Kết quả đo hệ số ma sát được thể hiện ở hình 7 cho thấy hệ số ma sát các mẫu tỷ lệ thuận với độ cứng bề mặt của các mẫu. Như vậy độ cứng và hệ số ma sát là hai tiêu chí đặc trưng cho khả năng chống mài mòn của mẫu. Khả năng chống mài mòn của mẫu tăng theo thứ tự CC (trạng thái cung cấp), T (tôi), H (nhiệt luyện tôi-ram), H-N (thấm nitơ), H-CrN (phủ CrN trên nền thép nhiệt luyện) và H-N-CrN (phủ CrN trên nền thép thấm nitơ).

Một điểm đáng chú ý là mẫu phủ CrN trên nền nhiệt luyện *H-CrN* có hệ số ma sát lớn hơn so với mẫu phủ kép *H-N-CrN*. Hệ số ma sát của mẫu phủ đơn *H-CrN* và kép *H-N-CrN* lần lượt là 0,274 và 0,205. Nguyên nhân có thể giải thích là do mẫu phủ trên nền nhiệt luyện có độ bám dính kém, trong quá trình thử ma sát, lớp phủ có thể bị bong tróc ra làm tăng độ nhám trên bề mặt tiếp xúc, ngoài ra lớp phủ bong tróc, vỡ ra có thể đóng vai trò là hạt mài và chuyển cơ chế mòn dính (adhesive wear) thành mòn hạt mài (abrasive wear). Trong điều kiện các mẫu thử có độ nhám bề mặt tương đồng, lớp phủ kép có độ bám dính cao hơn lớp phủ đơn và độ cứng tương đối bề mặt cao hơn nên có hệ số ma sát nhỏ nhất.



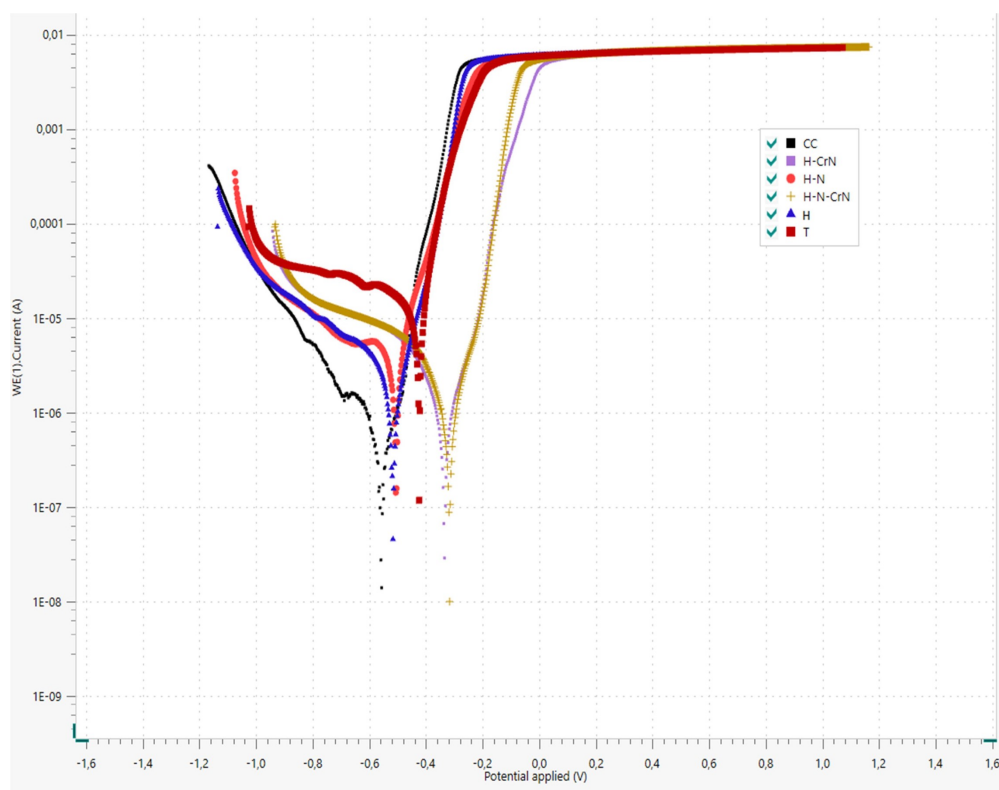
Hình 7. Kết quả xác định hệ số ma sát mẫu thép ở các trạng thái xử lý bề mặt khác nhau

3.6. Kết quả thử nghiệm điện hóa bằng phương pháp quét thế động

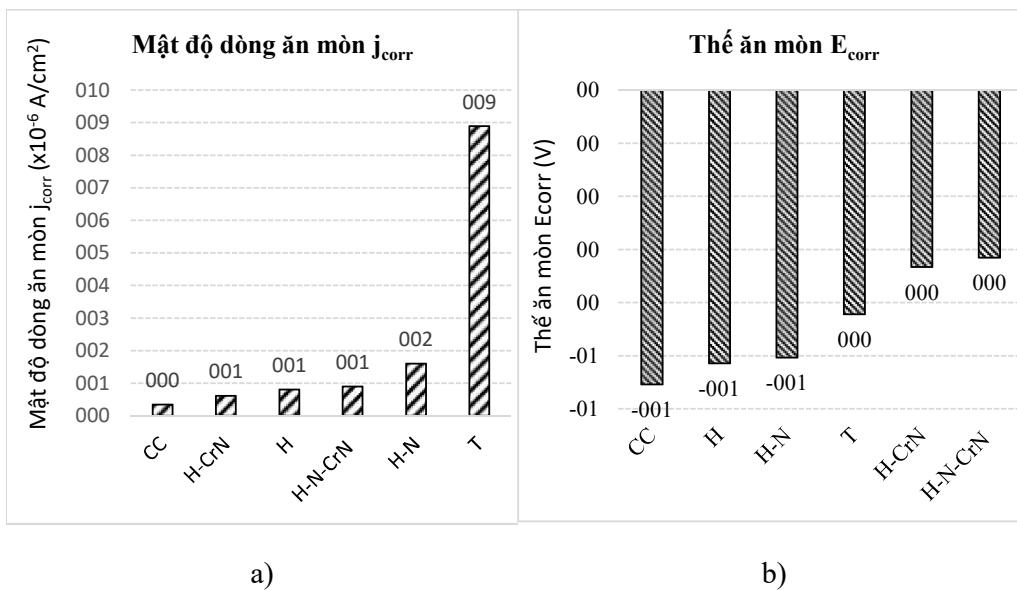
Kết quả đo ăn mòn điện hóa bằng phương pháp quét thế động được thể hiện trên hình 8. Bằng kỹ thuật ngoại suy đường phân cực Tafel có thể xác định mật độ dòng ăn mòn (hình 9a) và hiệu điện thế ăn mòn (hình 9b).

Kết quả xác định mật độ dòng ăn mòn cho thấy mẫu ở trạng thái cung cấp *CC* (đã ủ) có mật độ dòng ăn mòn thấp nhất ($0,35 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$), mẫu ram *H* có mật độ dòng ăn mòn lớn hơn ($0,81 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$) ngược lại mẫu tôi *T* có dòng ăn mòn lớn nhất. Điều này có thể giải thích do mẫu cung cấp ở trạng thái ủ, các hạt đồng nhất và được phân bố đều nên mật độ dòng ăn mòn nhỏ nhất. Ở trạng thái tôi, các pha xen lẫn giữa mactenxit, austenit dư và cacbit chưa hoà tan hoàn toàn dẫn đến việc chênh lệch về thế ăn mòn, ngoài ra ứng suất dư sau khi tôi cũng làm cho quá trình ăn mòn xảy ra nhanh nhất; đối với mẫu ram, có hiện tượng tiết cacbit ở biên hạt dẫn tới chênh lệch về nồng độ các nguyên tố hoá học ở biên hạt và bên trong hạt, do đó cũng làm tăng tốc độ ăn mòn so với trạng thái ủ.

Mẫu thép thấm nitơ *H-N* có dòng ăn mòn lớn hơn mẫu thép ram *H*. Điều này có thể giải thích do quá trình thấm ở 520°C trong 5 giờ, một phần các nguyên tố có ái lực cao với cacbon và nitơ như crom đã tiết ra dạng cacbit hoặc tạo thành hợp chất nitrit làm nghèo crom ở các vùng lân cận, do đó đặc tính chống ăn mòn của mẫu thép thấm nitơ bị suy giảm so với thép ram.



Hình 8. Đường cong phân cực các mẫu thử nghiệm



Hình 9. Kết quả ngoại suy đường Tafel
a) Mật độ dòng ăn mòn; b) Điện thế ăn mòn

Xét ảnh hưởng của lớp phủ CrN tới độ bền ăn mòn của nền thép ram và nền thép thấm nitơ, có thể thấy rằng mật độ dòng ăn mòn của mẫu sau khi phủ CrN (*H-CrN* và *H-N-CrN*) đều nhỏ hơn đáng kể so với mẫu nền tương ứng, tức mẫu thép ram *H* và thép thấm nitơ *H-N*. Ngoài ra, so sánh khả năng chống ăn mòn của lớp phủ CrN trên nền thép ram, tức mẫu *H-CrN*, và mẫu phủ CrN trên nền thép thấm nitơ *H-N-CrN* cho thấy mẫu *H-CrN* có mật độ dòng ăn mòn nhỏ hơn mẫu *H-N-CrN*. Điều này có thể giải thích do trong thí nghiệm ăn mòn điện hoá, dung dịch NaCl 3,5% đã xâm nhập vào các khuyết tật dạng lỗ sau khi phủ CrN, mà trong cùng điều kiện phủ CrN, số khuyết tật dạng lỗ trên bề mặt mẫu *H-CrN* và *H-N-CrN* là tương đương nhau, cho nên khả năng chống ăn mòn của mẫu phủ CrN chỉ phụ thuộc vào nền; mặt khác, kết quả ở trên đã cho thấy nền thép ram *H* có mật độ dòng ăn mòn nhỏ hơn nền thép thấm nitơ *H-N*, nên mẫu *H-CrN* có mật độ dòng ăn mòn nhỏ hơn mẫu *H-N-CrN*.

4. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã tiến hành thấm nitơ thể khí trên nền thép nhiệt luyện SKD61. Các kết quả cho thấy lớp thấm nitơ được tạo thành với độ dày khoảng 80 μm và độ cứng khoảng 1155 $\text{HV}_{0,1}$ với thành phần pha của lớp trắng là $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$. Lớp phủ đa lớp 10 lần Cr-CrN có độ dày khoảng 2 μm được phủ lên trên nền thép SKD61 nhiệt luyện và nền thép thấm nitơ bằng phương pháp hồ quang catot. Phân tích XRD chứng tỏ chế độ phủ đã chọn tạo đúng hợp thức CrN trên nền thép thấm nitơ.

- Độ bám dính của lớp phủ CrN có quan hệ chặt chẽ với độ chênh lệch giữa độ cứng của lớp phủ và nền: Độ bám dính lớp phủ trên nền thép thấm nitơ đạt giá trị HF1-HF2, trong khi độ bám dính lớp phủ trên nền thép nhiệt luyện là HF6.

- Lớp phủ đa lớp Cr/CrN có khả năng cải thiện khả năng chống ăn mòn của nền thép nhiệt luyện hoặc nền thép thấm nitơ. Kết quả thử nghiệm cũng ghi nhận sự suy giảm khả năng chống ăn mòn của thép SKD61 sau nhiệt luyện và thấm nitơ thể khí.

Lời cảm ơn: Bài báo được hỗ trợ kinh phí từ Bộ Khoa học và Công nghệ trong khuôn khổ đề tài “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ xử lý bề mặt tiên tiến (thấm nitơ và mạ PVD) chế tạo chốt trong khuôn đúc áp lực cao hợp kim nhôm”.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Gulizia S., Jahedi M. Z., *Evaluation of PVD coatings for industrial applications*, 6th International Tooling Conference, 2002, p. 881-892.
2. Joshi V., Srivastava A., Shivpuri R., *Investigation tribochemical behavior of nitrided die casting die surfaces*, 6th International Tooling Conference, 2002, p. 961-977.
3. Fazlalipour F., Naghashnejad M., Niki Nushari M., *Evaluation of adhesion and erosion/ corrosion resistance of nano-composite and nano-multilayer thin films in molten aluminum alloy*, SN Applied Sciences, 2019, **10**(1):1-11.
4. Sun Y., Bell T., *Combined Plasma Nitriding and PVD Treatments*, Transactions of the IMF, 1992, **70**(1):38-44.
5. Jehn H.A., *Improvement of the corrosion resistance of PVD hard coating-substrate systems*, Surface and Coatings Technology, 2000, **125**:212-217.

6. Faghani G., Rabiee S. M., Nourouzi S., Elmkhah H., *Corrosion behavior of TiN-CrN nanoscale multi-layered coating in Ringer's solution*, International Journal of Engineering, 2020, **33**(2):329-336.
7. Chaolin T., Kesong Z., Tongchun K., LiY., MaW., *Novel performances of in situ plasma nitriding-PVD duplex-treated nanocrystalline TiN coatings*, Surface Engineering, 2018, **34**:520-526.
8. Eugenia L. D., Cabo A., Halabi J., Moreira R. D., Silva K., Bruhl S. P., *Mechanical and corrosion behavior of TiN coatings deposited on nitrided AISI 420 stainless steel*, Key Engineering Materials, 2019, **813**:135-140.
9. Wallace J., Schwam D., *Extending H13 die life through heat treat optimization*, Die Casting Engineer(USA), **46**(3):73-75.
10. *Verein Deutscher Ingenieure Normen VDI 3198*, VDI-Verlag, Dusseldorf, 1991.

SUMMARY

A RESEARCH ON THE COMBINATION OF GAS NITRIDING AND PVD COATING FOR SKD61 HOT WORKING STEEL

This article presents the results of research on surface treatments for SKD61 steel aiming to fabricate the core-pin used in high pressure aluminum casting. The tempered SKD61 sample with a surface hardness of 597 HV_{0,1} was nitrided to obtain a surface hardness of 1155 HV_{0,1} and the thickness of the nitrided layer was 80 µm. The Cr/CrN multilayer coatings were deposited by cathodic Arc-PVD on nitrided and tempered SKD61 substrates so that the hardness reached 1538 and 1755 HV_{0,1} respectively. The coating thickness obtained was approximately 2 µm for both coating samples. The results showed that the Cr/CrN multilayer coating significantly improved the corrosion and abrasion resistance of the tempered steel substrate and the gas-nitrided substrate. The PVD coating on nitrided substrate exhibited adhesion to the substrate HF1-HF2 level, while the coating on the tempered substrate only obtained HF6 level according to VDI 3198 standard.

Keywords: Core-pin, duplex treatment, multilayer coating, nitriding; Chốt tạo lỗ, xử lý bề mặt kép, phủ đa lớp, thấm nito.

Nhận bài ngày 03 tháng 7 năm 2022

Phản biện xong ngày 10 tháng 8 năm 2022

Hoàn thiện ngày 18 tháng 10 năm 2022

⁽¹⁾ Trung tâm Quang - Điện tử, Viện Nghiên cứu Ứng dụng, Bộ KHCN

⁽²⁾ Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

⁽³⁾ Viện Khoa học và Kỹ thuật Vật liệu, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

⁽⁴⁾ Viện Hóa học Môi trường quân sự, Bình chủng Hóa học

Liên hệ: **Đoàn Thanh Vân**

Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

Số 3, đường 3 tháng 2, Phường 11, Quận 10, TP.HCM

Điện thoại: 0961.674.489; Email: doanvan.ttnvdn@gmail.com