

Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến cường độ mài mòn của lớp thấm nitơ plasma thép 40CrMo

Influence of technological parameters on the abrasion strength of 40CrMo steel plasma nitride

Hoàng Minh Thuận^{1,*}, Đào Quang Kế²,
Hoàng Văn Châu³, Đỗ Minh Chiến¹, Hoàng Việt Nam¹

¹Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng

²Khoa Cơ Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

³Hội KHKT Hàn Việt Nam: PTN trọng điểm Công nghệ Hàn và XLBM

*Email: hoangminhthuan@cic.edu.vn; dqke@vnua.edu.vn

Mobile: 0904116189; 0904365844

Tóm tắt

Từ khóa:

Cường độ mài mòn; lớp thấm nitơ; thấm nitơ plasma; thép 40CrMo.

Thấm nitơ plasma một công nghệ tiên tiến, nó ra đời để thay thế công nghệ thấm nitơ thể khí, được tiến hành trong môi trường ion hóa ở nhiệt độ thấp. Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày cơ chế hình thành lớp thấm, quá trình thấm nitơ plasma; ảnh hưởng của các thông số công nghệ như nhiệt độ thấm, thời gian thấm, tỷ lệ khí N₂/H₂ trong quá trình thấm nitơ plasma đến cường độ mài mòn của thép 40CrMo. Ứng dụng của kết quả trong việc làm bền bánh răng lắp trong máy in Offset 4 màu Daiya.

Abstract

Keywords:

Abrasive strength; nitriding layer; infiltration of plasma nitrogen; 40CrMo steel.

Nitriding plasma with advanced technology, it was born to replace nitrogen gas nitriding technology, which was carried out in an ionizing environment at permeability. In this paper, the authors present a mechanism for the formation of permeable layers, plasma nitriding; Influence of technological parameters such as infiltration temperature, infiltration time, N₂/H₂ ratio during plasma nitrogen infiltration to the abrasion strength of 40CrMo steel. Application of the result in gear endurance in the Daiya 4-color offset printing machine.

Ngày nhận bài: 26/7/2018

Ngày nhận sửa bài: 14/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm đầu của thế kỷ 20, Adolph Machlet (Mỹ) là một kỹ sư luyện kim làm việc tại công ty Elizabeth, NJ. Ông nhận ra rằng, bề mặt của lớp thấm cacbon bị biến dạng do thời gian thấm lâu ở nhiệt độ cao và bị làm nguội cưỡng bức trong môi trường nước hoặc dầu. Qua thử nghiệm, Machlet sớm phát hiện ra rằng nitơ không thể hòa tan trong sắt mà chỉ khuếch tán vào trong sắt. Nitơ khuếch tán tạo ra một bề mặt tương đối cứng trong sắt nguyên chất, thép hợp kim thấp và cải thiện đáng kể khả năng chống ăn mòn. Thực hiện được điều này mà không

cần đến nhiệt độ cao và không cần làm nguội cưỡng bức mà hạ nhiệt độ từ từ cùng với lò thấm trong khi vẫn cung cấp khí nitơ vào ngăn cách được sự xâm thực của khí quyển, do đó làm giảm nguy cơ biến dạng nhưng vẫn tạo được lớp bề mặt chống mài mòn, độ cứng cao với khả năng chống ăn mòn tốt [5, 6].

Thấm nitơ plasma là một công nghệ hiện đại, cho phép tạo lớp thấm trên bề mặt chi tiết có độ chống mài mòn, ăn mòn cao và tăng tính chống mỏi cho chi tiết. Thấm nitơ plasma được ứng dụng nhiều cho các chi tiết máy làm từ thép.

Các thông số công nghệ của quá trình thấm như nhiệt độ thấm, thời gian thấm, tỷ lệ hỗn hợp khí,... ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng lớp thấm. Thay đổi một hay các biến thông số công nghệ, có thể có được các cấu trúc khác nhau của lớp nitrit, đồng thời liên quan đến chiều dày các pha nitri của mặt trong lớp thấm.

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày về cơ chế hình thành lớp thấm, quá trình thấm và ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến cường độ mài mòn, ứng dụng kết quả trong việc chống mài mòn của bánh răng chế tạo từ thép 40CrMo.

2. VẬT LIỆU VÀ THIẾT BỊ NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Thép 40CrMo là một loại thép được dùng phổ biến trong chế tạo các chi tiết chịu tải trọng tĩnh, va đập cao và chịu mài mòn tốt.

Thành phần hóa học của thép 40CrMo gồm 0,402%C; 0,971%Cr; 0,252%Mo; 0,852%Mn; 0,254%Si; 0,024%P; 0,017%S; 0,0239%Al; 0,0037%Co; 0,0115%Cu; 0,0012%Sn; 0,002%Ti; 0,0071%V; 0,0034%W; 0,0008%Pb; 0,0008%Zn; 0,0003%Zr.

2.2. Thiết bị



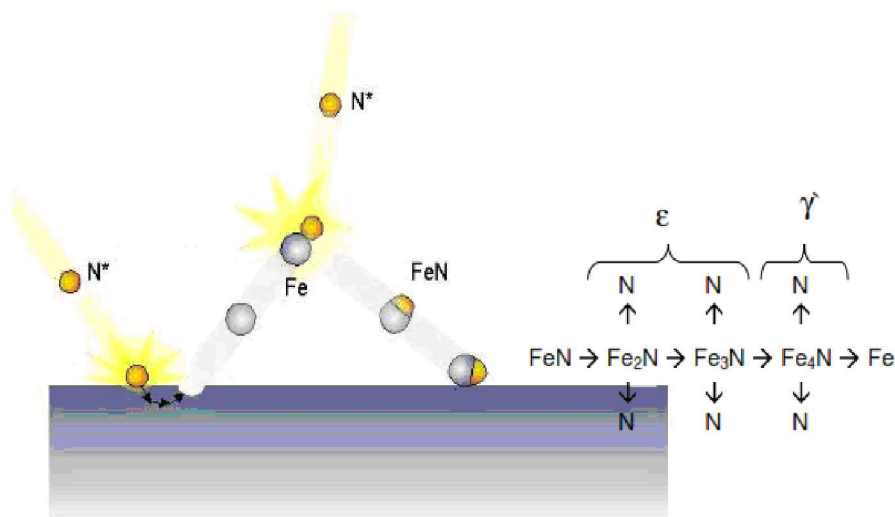
Hình 1. Thiết bị thấm nitơ plasma Eltropuls

Trong quá trình nghiên cứu, nhóm tác giả sử dụng Thiết bị thấm nitơ plasma Eltropuls H045x080 của hãng ELTRO GmbH (Thiết bị được đặt tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu Cơ khí).

3. CƠ CHẾ HÌNH THÀNH LỚP THẨM

Theo Koelbel, các nguyên tử sắt từ phun xạ kết hợp với các nitơ, phản ứng trong plasma ngay cả trong các khu vực lân cận với bề mặt cực âm, tạo thành nitrit sắt (FeN) ngưng tụ trên bề mặt mẫu (hình 2).

Các FeN tạo thành ở nhiệt độ từ $350^{\circ}\text{C} \div 600^{\circ}\text{C}$ và phân tách ra để hình thành các pha ổn định hơn (Fe_2N , Fe_3N , Fe_4N) và nitơ nguyên tử. Một phần của nitơ nguyên tử này trở lại vào dòng plasma và một phần khuếch tán vào trong cấu trúc tinh thể của chất nền tạo thành một vùng khuếch tán. Quá trình này về cơ bản là do gradient khuếch tán do va chạm không đàn hồi theo thời gian và dòng plasma [1, 2, 3, 4].

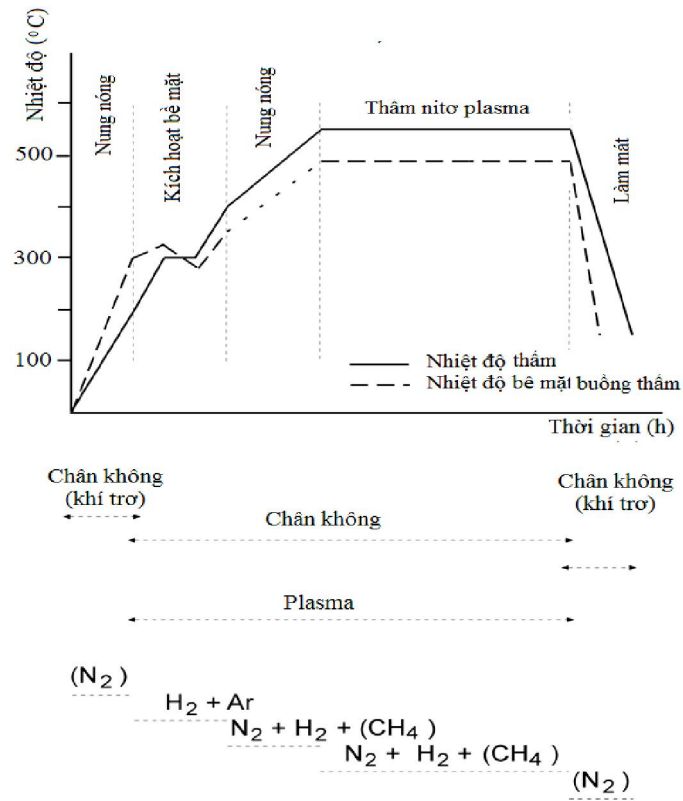


Hình 2. Cơ chế hình thành lớp nitrit trong quá trình thấm nitơ plasma

4. QUÁ TRÌNH THẨM

Thấm nitơ plasma là một công nghệ thấm nitơ tiên tiến, nó ra đời như một phương án thay thế của công nghệ thấm nitơ thể khí. Thấm nitơ plasma được tiến hành trong môi trường ion hóa ở nhiệt độ thấp (khoảng $450 \div 600^{\circ}\text{C}$). Phương pháp này giúp giải quyết được các nhược điểm mà phương pháp thấm nitơ thể khí và thể lỏng gặp phải. Trên hình 3 thể hiện quá trình thấm nitơ plasma và các khí sử dụng trong quá trình thấm; các khí thường là các khí trơ, an toàn cho con người và thiết bị.

Sự khác biệt cơ bản giữa thấm nitơ thể khí và thấm nitơ plasma là quá trình thấm nitơ thể khí phụ thuộc vào sự phân hủy amoniac thành nitơ nguyên tử và hydro, trong khi thấm nitơ plasma sử dụng trực tiếp nitơ và hydro. Công nghệ thấm nitơ plasma cho phép điều chỉnh được thành phần nitơ và hydro vì thế có thể điều chỉnh được thành phần lớp trắng (lớp hợp chất hay chiều dày các pha ϵ và γ') theo ý mong muốn [1, 2, 3, 4].



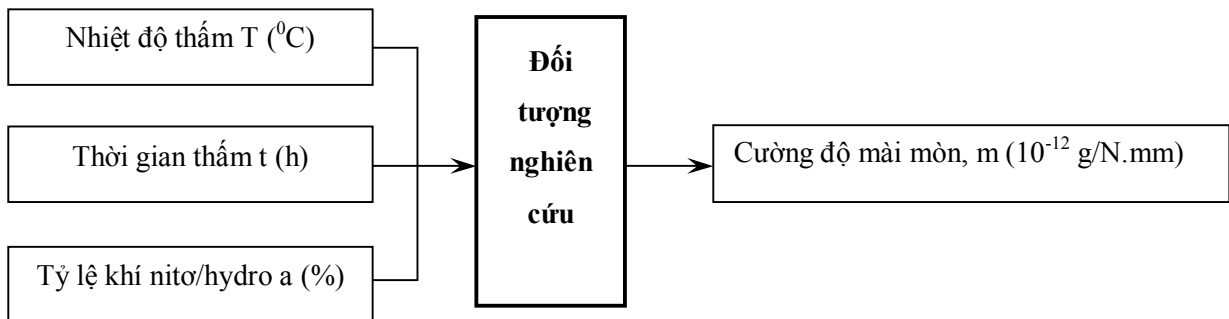
Hình 3. Quá trình thấm nitơ plasma

5. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

5.1. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

+ Xây dựng bài toán quy hoạch thực nghiệm

Xây dựng mô hình hồi quy thực nghiệm về đối tượng nghiên cứu là một nội dung cơ bản của phân tích hồi quy, mà trong đó sẽ dẫn đến một nhiệm vụ tất yếu phải giải quyết là dùng phân tích hồi quy để thiết lập mối quan hệ dạng công thức toán học giữa các chỉ tiêu đề ra và các thông số ảnh hưởng [5].



Hình 4. Mô hình hồi quy thực nghiệm

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố:

Áp dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố nhằm nghiên cứu ảnh hưởng riêng của từng yếu tố đến các thông số mục tiêu, qua đó xác định được mức biến thiên, khoảng

biến thiên và miền nghiên cứu của các yếu tố làm cơ sở cho phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố.

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố:

Áp dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố nhằm tìm ra phương trình hồi qui biểu diễn mối quan hệ giữa các yếu tố ảnh hưởng với các thông số hàm mục tiêu, làm cơ sở cho việc xác định giá trị tối ưu của các thông số.

- Phương pháp nghiên cứu tối ưu tổng quát:

Áp dụng phương pháp tối ưu tổng quát lập hàm mong muốn của E. C. Harrington để xác định giá trị tối ưu chung của các yếu tố đầu vào cho tất cả các thông số đầu ra, làm cơ sở cho việc hoàn thiện quy trình công nghệ nhằm triển khai ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn sản xuất.

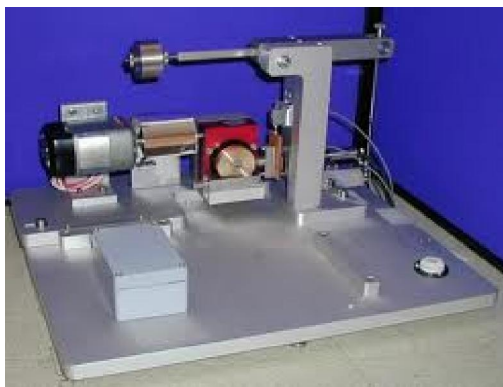
- Phương pháp xử lý số liệu nghiên cứu:

Trong quá trình tính toán tối ưu và xử lý số liệu thí nghiệm được, tác giả đã ứng dụng phần mềm Excel, Pascal và Matlab. Đây là những phần mềm có chức năng phân tích thí nghiệm, quản lý, phân tích thống kê cơ bản, phân tích phương sai hồi qui và các số liệu trong các kết quả thực nghiệm.

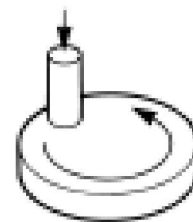
Về các đồ thị ta dùng phần mềm Statistica và Matlab để vẽ đồ thị thể hiện cực trị của hàm, tương ứng là các giá trị tối ưu.

5.2. Phương pháp xác định độ mài mòn

Hệ số ma sát và cường độ mài mòn được tiến hành đo trên máy TE97 Friction & Wear Demonstrator do hãng Phoenix Tribolog (Anh), sử dụng phần mềm Compend 2000 (hình 5) (Phòng thí nghiệm Công nghệ cao, Viện Cơ khí năng lượng và mỏ, Tập đoàn Than khoáng sản Việt Nam - TKV) và trên một số thiết bị nghiên cứu khác tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu cơ khí.



a)



b)

Hình 5. Máy TE97 Friction & Wear Demonstrator (a) và phương pháp thử (b)

Phương pháp đo: Pin on Disc (chốt trên đĩa).

Mẫu gồm có thanh trụ (chốt) có kích thước $\varnothing 4 \times 20\text{mm}$ được chế tạo từ thép 40CrMo được hóa tốt, thấm nito plasma hoặc không thấm và một đĩa có kích thước $\varnothing 50 \times 12\text{mm}$ được chế tạo từ thép C45, nhiệt luyện đạt độ cứng 45 HRC. Máy có thiết bị để giữ cố định chốt theo phương vuông góc với bề mặt của đĩa. Đĩa được gắn vào một bộ phận quay với các tốc độ khác nhau, một bộ phận cảm biến lực để đo lực ma sát và một phần mềm máy tính cho phép hiển thị các thông số, lưu trữ dữ liệu để phân tích. Cường độ mài mòn được xác định trên sự hao hụt khối lượng của mẫu sau khi nhập vào chương trình các thông số của quá trình đo.

5.3. Kết quả và thảo luận

Trên cơ sở khoa học, để lựa chọn chế độ công nghệ thấm nitơ plasma cho thép, tạo được một lớp thấm có cấu trúc pha $Fe_{2-3}N$, có độ cứng cao chống mài mòn tốt, chống ăn mòn hóa học tốt, nhất là lớp thấm có ứng suất dư có lợi cho chống mỏi của chi tiết. Sử dụng plasma làm nguồn nhiệt, cho phép thấm ở nhiệt độ thấm dưới nhiệt độ ram của thép, tạo được trường ion nitơ, khống chế được mật độ ion nitơ thông qua tỷ lệ N_2/H_2 [5, 6]

Qua nghiên cứu thực nghiệm ứng dụng công nghệ thấm nitơ plasma, nhóm tác giả chọn trước các điều kiện tối ưu cho việc hình thành plasma, chỉ thay đổi các thông số công nghệ thông thường là nhiệt độ thấm T , thời gian thấm t và tỷ lệ khí nitơ/hydro a [5,6].

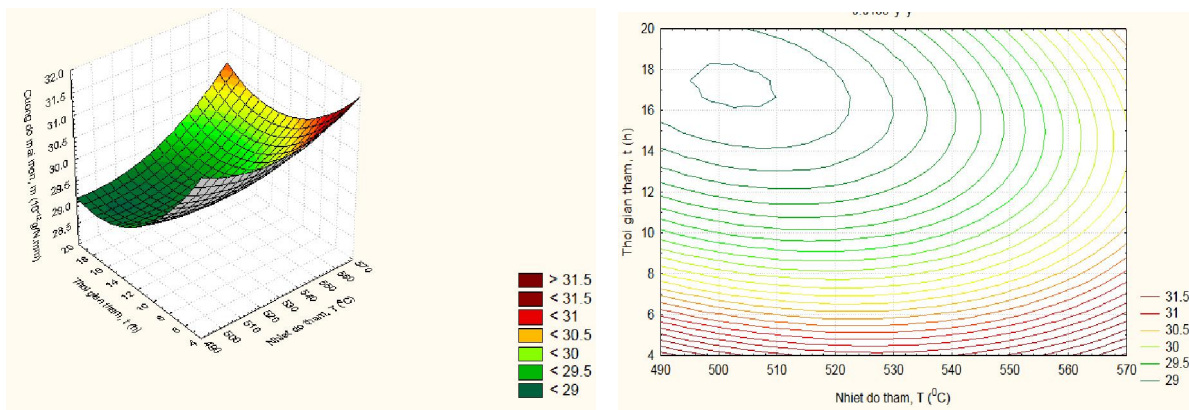
Bằng việc nghiên cứu khảo sát và quy hoạch thực nghiệm, đã xác định quan hệ đơn yếu tố ảnh hưởng để tìm vùng tối ưu, trên cơ sở khoanh vùng xử lý số liệu thực nghiệm theo phương pháp xét ảnh hưởng của đa yếu tố. Nhóm tác giả đã sử dụng Ma trận thí nghiệm và kết quả thí nghiệm theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 2 Box - Willson.

Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong bảng.

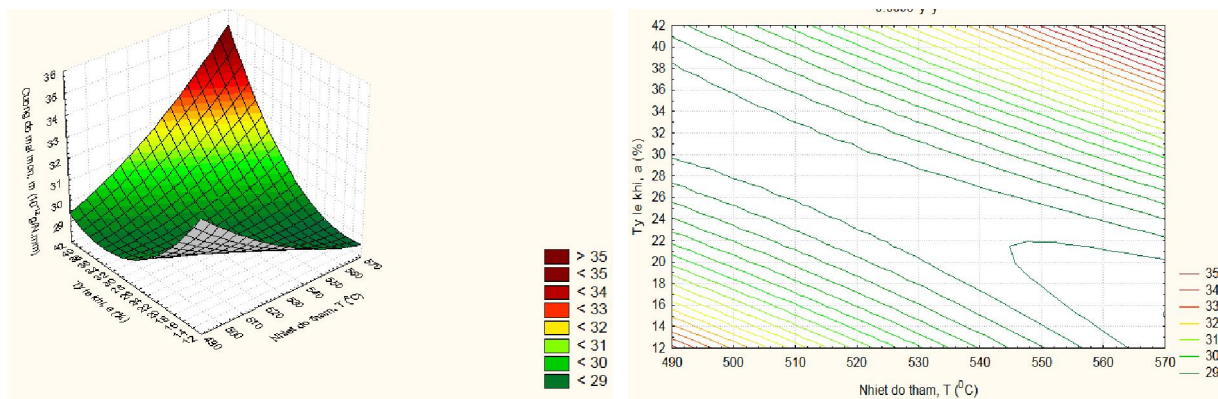
Bảng 1. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến cường độ mài mòn

TT	Nhiệt độ thấm T ($^{\circ}C$)	Thời gian thấm t (h)	Tỷ lệ khí N_2/H_2 a (%)	Cường độ mài mòn m ($10^{-12}g/N.m$)
1	510	8	20	29,90
2	530	8	20	30,40
3	510	16	20	28,70
4	530	16	20	29,70
5	510	8	40	30,00
6	530	8	40	31,60
7	510	16	40	29,10
8	530	16	40	30,80
9	496	12	30	29,60
10	564	12	30	30,10
11	530	5.28	30	30,20
12	530	18.72	30	28,60
13	530	12	13.2	29,50
14	530	12	36.8	31,50
15	530	12	30	28,40
16	530	12	30	28,60
17	530	12	30	29,30
18	530	12	30	28,50
19	530	12	30	28,60
20	530	12	30	28,50

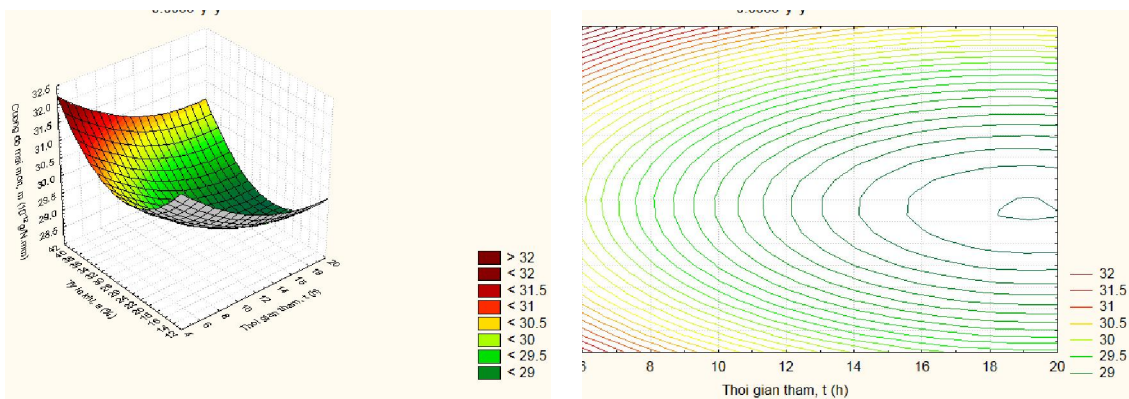
Sử dụng phần mềm Statistica, thông qua các mô hình 3D, ta xác định ảnh hưởng của các cặp thông số công nghệ đến cường độ mài mòn (hình 6, 7, 8).



Hình 6. Ảnh hưởng của cặp yếu tố nhiệt độ thấm và thời gian thấm đến cường độ mài mòn.



Hình 7. Ảnh hưởng của cặp yếu tố nhiệt độ thấm và tỷ lệ khí nito/hydro đến cường độ mài mòn.



Hình 8. Ảnh hưởng của cặp yếu tố thời gian thấm và tỷ lệ khí nito/hydro đến cường độ mài mòn.

Sử dụng mô hình toán của hàm hồi quy dạng tổng quát, kết quả giải bài toán tối ưu tổng quát theo phương pháp E.C.Harrington ta xác định được giá trị tối ưu của các yếu tố vào và các thông số ra. Kết quả tính toán trên máy tính thông qua các giá trị thực nghiệm và thông qua các đồ thị 3D ta thấy: Khi nhiệt độ thấm nằm trong khoảng $525 \div 545^{\circ}\text{C}$, thời gian thấm nằm trong khoảng $12 \div 15\text{h}$ và tỷ lệ khí nito/hydro nằm trong khoảng $30 \div 40\%$ thì cường độ mài mòn là hàm cực tiểu. Tùy thuộc vào yêu cầu của sản phẩm ta có thể chỉ định bộ thông số thích hợp [6].

Từ kết quả nghiên cứu các thông số ảnh hưởng, nhóm tác giả đã ứng dụng vào sản phẩm thực tế là các bánh răng được chế tạo từ thép 40CrMo, lắp trong máy in Offset 4 màu Daiya của hãng Mitsubishi.



Hình 9. Bánh răng trong lắp trong máy in Offset 4 màu Daiya của hãng Mitsubishi



Hình 10. Máy in Offset 4 màu Daiya của hãng Mitsubishi

Bánh răng trong máy in Offset 4 màu Daiya của hãng Mitsubishi (hình 7 và 8) có tại Công ty TNHH In & Quảng cáo Truyền thông Viễn Đông - Hà Nội làm việc trong điều kiện bền mòn, máy thường làm việc liên tục và cần sự ổn định cao trong khi phụ tùng thay thế khan hiếm. Nhóm tác giả phối hợp cùng công ty nghiên cứu và chế tạo bánh răng tương đương và được thấm nito plasma. Với thời gian chạy thử là 10 tháng, mỗi tháng làm việc trung bình 26 ngày, mỗi ngày trung bình 18 giờ, bánh răng chế tạo được lắp, chạy thử nghiệm, so sánh kết quả với bánh răng của hãng Mitsubishi; Kết quả cho thấy bánh răng được chế tạo tại Việt Nam đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, chất lượng tương đương với bánh răng nhập khẩu của hãng Mitsubishi, đáp ứng được yêu cầu sản xuất của công ty.

6. KẾT LUẬN

Thấm nito plasma là một công nghệ hiện đại, cho phép tạo lớp thấm trên bề mặt chi tiết có độ chống mài mòn, ăn mòn cao và tăng tính chống môi cho chi tiết. Trong giới hạn bài báo này, nhóm tác giả đã:

- Nghiên cứu cơ chế hình thành lớp thấm nito plasma;
- Ảnh hưởng của các thông số Nhiệt độ thấm, thời gian thấm, tỷ lệ khí N_2/H_2 đến cường độ mài mòn;
- Sử dụng ma trận thí nghiệm và kết quả thí nghiệm theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 2 Box - Willson để xác định các thông số ảnh hưởng;
- Sử dụng Mô hình toán của hàm hồi quy dạng tổng quát, kết quả giải bài toán tối ưu tổng quát theo phương pháp E.C.Harrington ta xác định được giá trị tối ưu của các yếu tố vào và các thông số ra;
- Sử dụng phần mềm Statistica, thông qua các mô hình 3D, ta xác định ảnh hưởng của các cặp thông số công nghệ đến cường độ mài mòn.

Thấm nito plasma được ứng dụng nhiều cho các chi tiết máy làm từ thép. Việc nghiên cứu và ứng dụng công nghệ thấm nito plasma trên thép 40CrMo đã mở ra hướng công nghệ mới, có tính ứng dụng cao tại Việt Nam. Tùy thuộc vào yêu cầu thực tế của chi tiết ta có thể lựa chọn và điều chỉnh 1 hay nhiều cặp thông số công nghệ để đạt được giá trị tốt nhất. Với kết quả đạt được, có thể áp dụng cho nhiều mác thép khác nhau khi thấm nito plasma.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Baranowska J. (2008), *Plasma nitriding and plasma immersion ion implantation*.
- [2]. Huchel U. et al (2003), *Short description of pulsed plasma nitriding*, ELTRO GmbH, Baesweiler, Germany.
- [3]. Huchel U. et al (2005), *Pulsed Plasma Nitriding of Tools*, ELTRO GmbH, Baesweiler, Germany .
- [4]. Pye D. (2003), *Practical NITRIDING and Ferritic Nitrocarburizing*, ASM International, Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing.
- [5]. Hoàng Minh Thuận, Đào Quang Kế, Hoàng Văn Châu (2012), *Tối ưu hóa chế độ thấm nito plasma thép 40CrMo Trên thiết bị Eltropuls H045x080*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam số 06 (tháng 6/2012).
- [6]. Hoàng Minh Thuận (2012), *Nghiên cứu lựa chọn một số thông số công nghệ thấm nito plasma cho thép 40CrMo*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật.