

## NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ THẨM NITƠ NHIỆT ĐỘ THẤP CHO MỘT SỐ MÁC THÉP KẾT CẤU

ĐOÀN THANH VÂN <sup>(1)</sup>, NGUYỄN VĂN THÀNH <sup>(2,3)</sup>,  
VŨ VĂN HUY <sup>(1)</sup>, NGÔ THANH BÌNH <sup>(1)</sup>, HOÀNG THANH LONG <sup>(1)</sup>

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực chế tạo máy, việc nâng cao giới hạn bền, khả năng chống mài mòn và ăn mòn của vật liệu là rất quan trọng, vì nó giúp cho việc sử dụng vật liệu hiệu quả hơn, qua đó làm giảm giá thành sản phẩm. Cùng với các giải pháp về thiết kế, các phương pháp hóa bền bề mặt như thấm cacbon, thấm nitơ (thấm N) được sử dụng rộng rãi để nâng cao tuổi thọ của chi tiết, trong đó thấm N, thấm cacbon-nitơ (thấm C-N) nhiệt độ thấp (nhỏ hơn nhiệt độ chuyển biến austenite) là phương pháp có ưu điểm nổi bật hơn cả về chất lượng lớp thấm cũng như giảm bớt các nguyên công phía sau do hạn chế được biến dạng và ít thay đổi kích thước, chất lượng bề mặt so với trước khi thấm.

Thấm N hoặc thấm C-N nhiệt độ thấp dựa trên nguyên lý làm bão hòa bề mặt của vật liệu bởi nguyên tố N, hoặc đồng thời C và N; các nguyên tử sẽ khuếch tán sâu vào bề mặt tạo thành lớp thấm. Theo môi trường cung cấp nguyên tử N, có thể chia thấm nitơ thành thấm thể rắn, thể khí, thể lỏng và thể plasma:

(1) Thấm nitơ thể rắn sử dụng các hợp chất cung cấp nitơ ở dạng bột, kết hợp với chất tạo keo, để hình thành lớp phủ bên ngoài sau đó đem nung trong lò;

(2) Thấm nitơ thể khí thông dụng hơn, dựa trên sự phân hủy của khí  $\text{NH}_3$  tạo ra N nguyên tử; thấm C-N thể khí có nguyên lý tương tự, tuy nhiên thành phần khí có thêm các khí cung cấp C, ví dụ  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,...

(3) Thấm nitơ thể lỏng thể hệ cũ sử dụng dung dịch chứa  $\text{CN}^-$  (xianua), hiệu quả thấm tốt nhưng lại rất độc hại vì thể hầu như không còn được sử dụng. Thay vào đó, công nghệ thấm nitơ sử dụng các hỗn hợp muối chứa  $\text{OCN}^-$  (xianat) hoặc kali ferrocyanid  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  được sử dụng rộng rãi hơn [1]. Ở trạng thái nóng chảy, quá trình hấp phụ và khuếch tán xảy mạnh hơn so với các môi trường khác và thấm đồng thời cả nguyên tố nitơ và cacbon, nên có thể gọi là thấm C-N. Thời gian thấm ở thể lỏng được rút ngắn từ 2 đến 4 lần so với thấm nitơ thể khí và thấm nitơ plasma [2];

(4) Thấm nitơ plasma sử dụng hiệu ứng điện tích bất thường (anormal discharge glow) được tạo bởi điện trường của nguồn điện cao áp (cỡ 550 V) trong chân không (cỡ 5 mbar) tạo ra hiệu ứng plasma bao trên bề mặt chi tiết thấm. Hỗn hợp khí sử dụng thường gồm  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  và  $\text{CH}_4$ . Trong điện trường, các phân tử khí bị phân cực, ion hóa, tăng tốc rồi bắn phá bề mặt chi tiết, một phần nguyên tử N đi vào trong bề mặt thép, một phần N kết hợp với nguyên tử Fe (và các nguyên tố hợp kim trong thép) rồi lắng đọng trở lại bề mặt thép, quá trình khuếch tán giúp tăng chiều dày lớp thấm và hình thành lớp khuếch tán. Ở trên bề mặt, nồng độ C và N tiếp tục tăng lên và hình thành lớp trắng (compound layer) [3].

Trên thế giới nhiều công nghệ thấm C-N thể lỏng đã được phát triển như, Tenifer, QPQ Tufftride, Melonite, Arcor, Palsonite,... Các nghiên cứu sử dụng nhiều biến thể muối thấm khác nhau cùng với các bí quyết về tái tạo xianat và kiểm soát nồng độ xianua trong bể làm việc [4-6].

Công nghệ thấm N plasma ra đời sau công nghệ thấm thể lỏng, nhưng được tập trung nghiên cứu khá hoàn thiện cho các loại thép kết cấu, thép không gỉ và cả thép luyện kim bột [7-11].

Ở Việt Nam, một số nghiên cứu đã trình bày thấm C-N thể khí cho thép 18CrMnTi và 20CrMo sử dụng hỗn hợp khí gas công nghiệp [12], thấm C-N thể lỏng cho thép SKD 11, SDK61 sử dụng hỗn hợp muối  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , cacbonat và clorua [13], thấm C-N thể lỏng cho thép 80W18Cr4V, 210Cr12, 12Cr18Ni10Ti, 40Cr và CT38, sử dụng hỗn hợp muối  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  và cacbonat [2]. Nhìn chung, số lượng công bố về thấm C-N thể lỏng của Việt Nam còn khá ít, việc ứng dụng vào thực tế sản xuất còn hạn chế.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thấm C-N thể lỏng nhiệt độ thấp theo công nghệ QPQ và thấm N plasma cho 3 mác thép C50, 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA. Đây là 3 mác thép sử dụng phổ biến trong cơ khí chế tạo với độ bền tăng dần.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

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

Đối tượng nghiên cứu là các phôi thép rèn C50, 30XH3A, 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA có đường kính lần lượt là 60 mm, 50 mm và 40 mm. Các mẫu thử nghiệm được cắt thành các lát mỏng cỡ 8 mm, đem mài bằng giấy nhám có độ nhám 120 grit. Thành phần hóa học của thép được đo bằng kỹ thuật OES (Optical Emission Spectrum) trên thiết bị TASMAN G4 tại Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 theo tiêu chuẩn ASTM E415-17 [14]. Kết quả đo được thể hiện trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của các mác thép thử nghiệm

| Mác thép                           | Hàm lượng nguyên tố theo GOST 4543-2016 (% khối lượng)  |           |           |         |         |        |           |           |         |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|--------|-----------|-----------|---------|
|                                    | C                                                       | Si        | Mn        | S       | P       | Cu     | Cr        | Ni        | W       |
| C50                                | 0,47-0,55                                               | ≤ 0,4     | 0,6-0,9   | ≤ 0,045 | ≤ 0,045 | -      | -         | ≤ 0,4     | -       |
| 30XH3A                             | 0,27-0,34                                               | 0,17-0,37 | 0,30-0,60 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | ≤ 0,20 | 0,60-0,90 | 2,80-3,20 | -       |
| 25X <sub>2</sub> H <sub>4</sub> BA | 0,21-0,28                                               | 0,17-0,37 | 0,25-0,55 | ≤ 0,03  | ≤ 0,035 | ≤ 0,25 | 1,35-1,65 | 4,0-4,5   | 0,8-1,2 |
|                                    | Hàm lượng nguyên tố đo theo ASTM E415-17 (% khối lượng) |           |           |         |         |        |           |           |         |
|                                    | C                                                       | Si        | Mn        | S       | P       | Cu     | Cr        | Ni        | W       |
| C50                                | 0,502                                                   | 0,254     | 0,745     | 0,006   | 0,017   | 0,053  | 0,136     | 0,074     | 0,002   |
| 30XH3A                             | 0,236                                                   | 0,289     | 0,353     | 0,012   | 0,015   | 0,011  | 0,841     | 3,08      | 0,008   |
| 25X <sub>2</sub> H <sub>4</sub> BA | 0,217                                                   | 0,291     | 0,357     | 0,019   | 0,013   | 0,169  | 1,544     | 4,043     | 0,620   |

Kết quả tại bảng 1 cho thấy tỷ lệ của các nguyên tố hóa học trong cả ba loại thép cơ bản đáp ứng theo tiêu chuẩn GOST 4543-2016, trừ hàm lượng W ở thép 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA thấp hơn so với tiêu chuẩn khoảng 0,18%.

Trước khi nhiệt luyện, các mẫu thử được quét lớp sơn chống thoát cacbon Tinderex. Các mẫu thử nghiệm sau đó được tôi trong dầu và ram, nhiệt độ tôi và ram được chọn theo tiêu chuẩn GOST 4543-2016 [15], chi tiết quá trình nhiệt luyện được trình bày trong bảng 2. Thiết bị sử dụng là lò nung Nabertherm 40l L40/11 (Đức) và lò ram Selecta Horn TFT (Tây Ban Nha).

**Bảng 2.** Thông số quá trình nhiệt luyện

| Thông số                   | Thép C50 | Thép 30XH3A | Thép 25X <sub>2</sub> H <sub>4</sub> BA |
|----------------------------|----------|-------------|-----------------------------------------|
| Nhiệt độ tôi (°C)          | 840      | 830         | 870                                     |
| Thời gian giữ nhiệt (phút) | 30       | 30          | 30                                      |
| Môi trường làm nguội       | dầu      | dầu         | dầu                                     |
| Nhiệt độ ram (°C)          | 425      | 530         | 560                                     |
| Thời gian giữ nhiệt (phút) | 60       | 60          | 60                                      |
| Môi trường làm nguội       | nước     | nước        | nước                                    |

Sau nhiệt luyện, mẫu được đem mài bằng giấy nhám có độ nhám lần lượt là 240, 320, 400, 600, 800 và đem xử lý bề mặt - thấm C-N theo công nghệ QPQ Tufftride tại Công ty TNHH Heat Metal Kawasaki và thấm N plasma xung ngăn sử dụng thiết bị Eltropuls, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công thương. Thông số công nghệ quá trình thấm C-N được thể hiện ở bảng 3, thông số quá trình thấm N plasma thể hiện ở bảng 4.

**Bảng 3.** Thông số quá trình thấm C-N QPQ

| TT | Các bước        | Nhiệt độ (°C) | Thời gian (phút) | Hóa chất (% khối lượng)                                                                          |
|----|-----------------|---------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Nung nóng sơ bộ | 400           | 30               | -                                                                                                |
| 2  | Thấm C-N        | 560           | 120              | xianat OCN <sup>-</sup> 70%, cacbonat CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 29,9%, SeO <sub>2</sub> 0,1% |
| 3  | Oxi hóa         | 350           | 30               | NaNO <sub>3</sub> 50%, NaNO <sub>2</sub> 35%, NaOH 15%                                           |
| 4  | Rửa nước nóng   | 80 ÷ 90       | 3                | Nước sạch                                                                                        |
| 5  | Rửa nước lạnh   |               | 3                | Nước sạch                                                                                        |
| 6  | Phun cát        | -             | 5                | Cát oxit nhôm                                                                                    |
| 7  | Oxi hóa         | 350           | 15               | NaNO <sub>3</sub> 50%, NaNO <sub>2</sub> 35%, NaOH 15%                                           |
| 8  | Rửa nước nóng   | 80 ÷ 90       | 3                | Nước sạch                                                                                        |
| 9  | Rửa nước lạnh   |               | 3                | Nước sạch                                                                                        |

**Bảng 4.** Thông số quá trình thấm nitơ plasma

| Các bước  | Nhiệt độ (°C) | Thời gian (h) | Áp suất (Pa) | Độ dài xung (μs) | Khoảng cách xung (μs) | Điện áp (V) | Lưu lượng khí (l/h) |                |
|-----------|---------------|---------------|--------------|------------------|-----------------------|-------------|---------------------|----------------|
|           |               |               |              |                  |                       |             | H <sub>2</sub>      | N <sub>2</sub> |
| Phún xạ   | 480           | 0,5           | 80           | 75               | 180                   | 800         | 20                  | 2              |
| Thấm nitơ | 500           | 15            | 280          | 75               | 140                   | 530         | 24                  | 8              |

## 2.2. Thử nghiệm phân tích đặc tính lớp thấm

Các mẫu thử nghiệm sau xử lý bề mặt được phân tích bằng các kỹ thuật khác nhau: Phân tích tổ chức tế vi, đo độ cứng bề mặt, phân bố độ cứng tế vi, đo độ nhám bề mặt.

Mẫu kim tương được chuẩn bị qua các bước: Cắt mẫu, đúc mẫu trong bột bakelit, mài thô, mài tinh, đánh bóng và tẩy thực. Dung dịch tẩy thực là Nital 3% (dung dịch axit nitric trong ethanol với tỷ lệ 3% axit). Ảnh chụp tổ chức tế vi mặt cắt ngang mẫu được thực hiện trên kính hiển vi kim tương LEICA DMI8M, chiều dày lớp trắng của lớp thấm C-N và lớp thấm N được xác định trên ảnh chụp sử dụng phần mềm LAS V4.13 đi cùng kính hiển vi.

Độ cứng bề mặt Vickers (tải 1 kg.f) và phân bố độ cứng tế vi theo mặt cắt ngang (tải 50 g.f) được thực hiện trên thiết bị đo độ cứng HV-1000ZDT. Các mẫu thép sử dụng có đặc điểm là khi tẩy thực khó phân biệt về màu sắc giữa lớp khuếch tán với nền, nên việc xác định tổng chiều dày lớp thấm bằng phương pháp kim tương ít chính xác. Vì vậy tổng chiều dày lớp thấm được xác định dựa trên đo phân bố độ cứng tế vi theo mặt cắt theo tiêu chuẩn DIN 50190-3 [17]. Theo tiêu chuẩn này, độ dày lớp thấm được xác định bằng giao điểm của đường phân bố độ cứng tế vi theo chiều sâu lớp thấm và đường nằm ngang:  $y = \text{giá trị độ cứng của lõi} + 50$  (đơn vị HV0,05).

Các thông số chất lượng bề mặt được xác định theo tiêu chuẩn ISO 4288-1996 [16] sử dụng thiết bị Mitutoyo SJ-412 với thông số đo  $\lambda_s = 2,5 \mu\text{m}$ ,  $N = 5$ , cut-off = 0,8 mm. Các thiết bị trên được đặt tại Phòng Độ bền Nhiệt đới, Chi nhánh Phía Nam.

## 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Thay đổi các thông số chất lượng bề mặt

Kết quả xác định các thông số chất lượng bề mặt của mẫu thử nghiệm trước và sau khi thấm N, C-N thể hiện ở bảng 5 cho thấy các thông số Ra, Rq, RSm, Rt và Rz sau khi thấm C-N QPQ đều tăng lên khá rõ rệt so với mẫu nhiệt luyện, trong khi thấm N plasma làm tăng nhẹ giá trị các thông số này. Sự thay đổi về chất lượng bề mặt đối với mẫu thấm C-N có thể giải thích do quá trình ăn mòn, hấp phụ và khuếch tán xảy ra liên tục trên bề mặt mẫu thấm trong môi trường muối nóng chảy. Đối với mẫu thấm N plasma, quá trình phún xạ làm sạch bề mặt, các quá trình hấp phụ, lắng đọng và khuếch tán trong chân không cũng làm thay đổi độ nhám bề mặt, nhưng ở mức độ nhẹ hơn thấm thể lỏng.

**Bảng 5.** Kết quả đo các thông số chất lượng bề mặt

| Thông số                                   | Ra   | Rq   | RSm   | Rt   | Rz   |
|--------------------------------------------|------|------|-------|------|------|
| <b>Thép C50</b>                            |      |      |       |      |      |
| Nhiệt luyện                                | 0,44 | 0,56 | 51,71 | 4,62 | 3,50 |
| Thấm N plasma                              | 0,48 | 0,62 | 55,73 | 4,88 | 3,78 |
| Thấm C-N QPQ                               | 0,51 | 0,66 | 75,89 | 5,31 | 3,99 |
| <b>Thép 30XH3A</b>                         |      |      |       |      |      |
| Nhiệt luyện                                | 0,27 | 0,35 | 89,20 | 3,09 | 2,23 |
| Thấm N plasma                              | 0,41 | 0,53 | 72,64 | 4,18 | 3,27 |
| Thấm C-N QPQ                               | 0,63 | 0,81 | 88,78 | 5,93 | 4,53 |
| <b>Thép 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA</b> |      |      |       |      |      |
| Nhiệt luyện                                | 0,27 | 0,35 | 74,20 | 2,72 | 2,11 |
| Thấm N plasma                              | 0,27 | 0,35 | 67,37 | 2,67 | 2,06 |
| Thấm C-N QPQ                               | 0,35 | 0,46 | 83,49 | 3,96 | 2,88 |

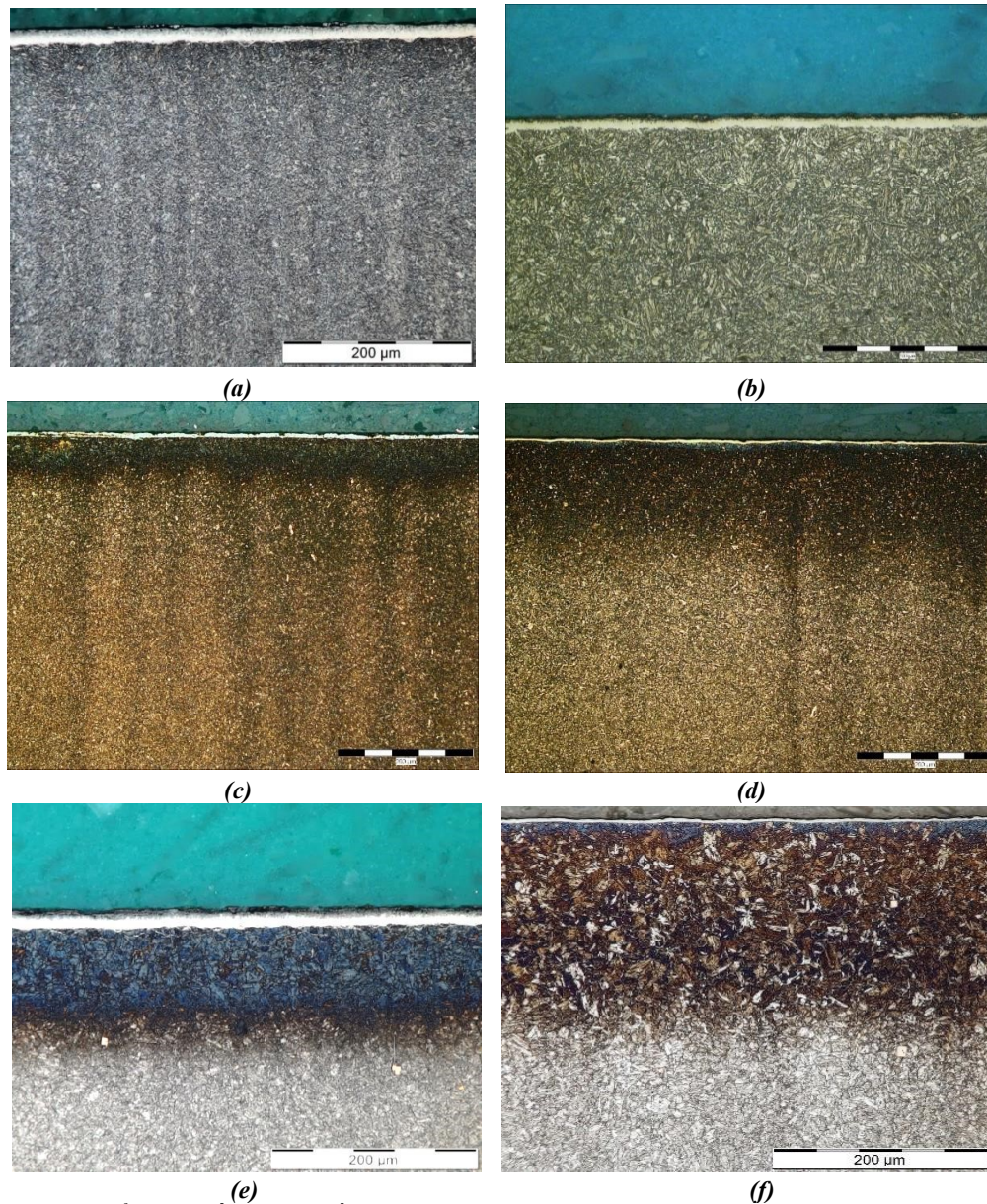
### 3.2. Tổ chức tế vi

Sau khi nhiệt luyện hóa tốt, tổ chức nhận được ở lõi mẫu thép C50 (hình 1a, 1b), 30XH3A (hình 1c, 1d) và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA (hình 1e, 1f) là mactenxit ram. Cấu trúc lớp thấm C-N gồm 3 vùng: Lớp oxit ngoài cùng, tiếp theo là lớp trắng và lớp khuếch tán ngay dưới lớp trắng với chiều dày lớn hơn. Lớp oxit tạo ra khoảng 5  $\mu\text{m}$  với thành phần chính là oxit sắt Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> với đặc tính chống ăn mòn tốt [4, 18, 19]. Theo quy trình công nghệ QPQ Tufftride, sau khi thấm C-N trong bể muối nóng chảy, lớp oxit tạo thành khá dày (có thể tới 15  $\mu\text{m}$ ) nhưng độ xốp cao, người ta thường phun cát bề mặt, đối với các chi tiết có hình dạng phức tạp, có thể sử dụng máy rung kết hợp với cát, sau đó ôxi hóa lần thứ 2 để có lớp oxit đồng nhất và độ nhám bề mặt thấp. Lớp trắng được tạo thành bởi các pha  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N}, \text{C})$  và  $\gamma'\text{-Fe}_4(\text{N}, \text{C})$ , lớp khuếch tán được tạo bởi pha  $\alpha_{\text{N}, \text{C}}$  [3]. Cơ tính và khả năng chống ăn mòn của bề mặt thép thấm nitơ được quyết định bởi thành phần và phân bố pha trong lớp thấm. Khả năng chống ăn mòn của pha giàu nitơ  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N}, \text{C})$  được chứng minh là tốt hơn  $\gamma'\text{-Fe}_4(\text{N}, \text{C})$  và  $\alpha\text{-Fe}_{\text{N}, \text{C}}$  [10, 11].

Cấu trúc lớp thấm N plasma gồm 2 vùng: Lớp trắng và lớp khuếch tán. Thành phần pha tương tự như lớp trắng và lớp khuếch tán của lớp thấm C-N. Tuy nhiên ở phương pháp thấm N plasma, lớp trắng mỏng, ít xốp hơn và thành phần các pha là  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ ,  $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$  và  $\alpha\text{-Fe}_{\text{N}}$  [20].

### 3.3. Độ cứng bề mặt và phân bố độ cứng theo chiều sâu lớp thấm

Độ cứng bề mặt của các mẫu thử nghiệm được thể hiện trong hình 2a. Độ cứng của mẫu thấm C-N, thấm N tăng lên gấp khoảng 2 lần so với mẫu chỉ qua nhiệt luyện hóa tốt, tuy nhiên hiệu quả tăng độ cứng của từng công nghệ lên các mác thép là khác nhau: Đối với thép C50, thấm C-N QPQ tăng độ cứng cho thép tốt hơn thấm N plasma.



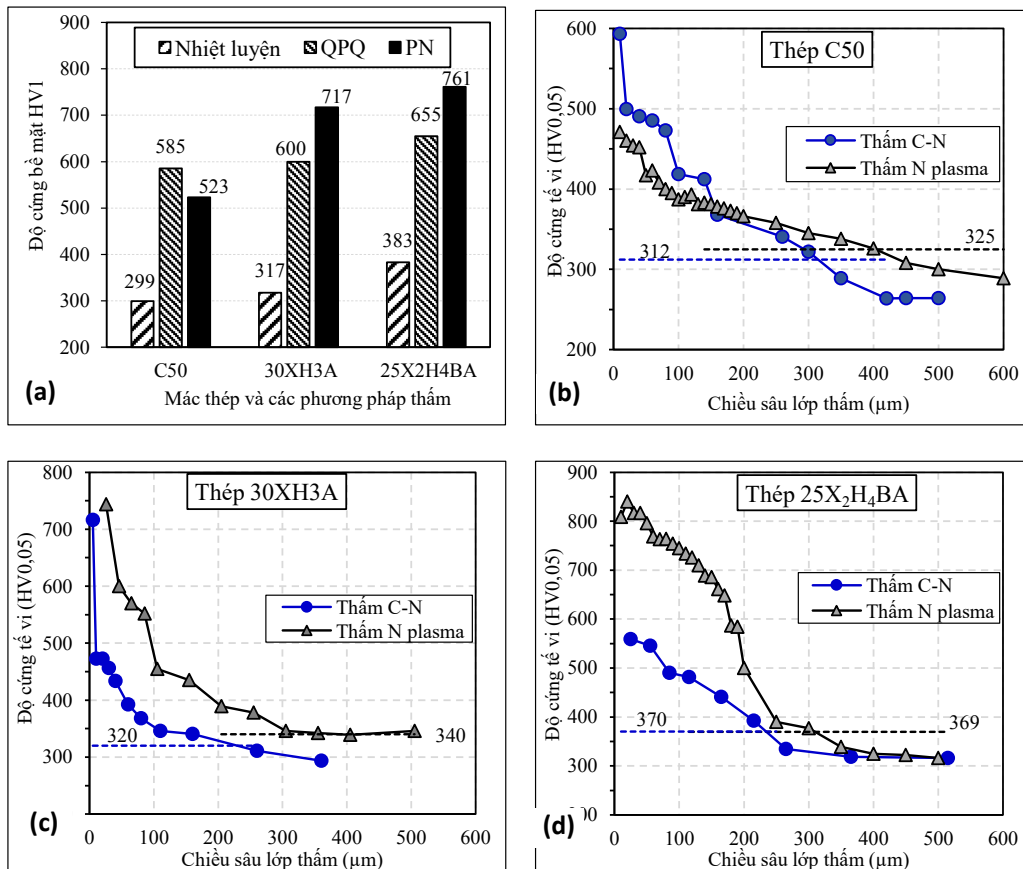
**Hình 1.** Tổ chức tế vi lớp thấm C-N của thép: (a) C50, (c) 30XH3A, (e) 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA và lớp thấm N plasma của thép: (b) C50, (d) 30XH3A, (f) 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA

Chênh lệch độ cứng của 2 phương pháp này là 62 HV1; đối với 2 mức thép 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA, độ cứng sau thấm N cao hơn thấm C-N khoảng 110 HV1.

Ngoài ra, so với thấm C-N, thấm N có hiệu quả tăng độ cứng cho 2 mức thép hợp kim 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA tốt hơn: Thấm C-N cho độ cứng bề mặt của mẫu thép 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA lần lượt là 600, 655 HV1, trong khi thấm N plasma cho độ cứng của 2 mức thép này lần lượt là 717, 761 HV1.



Kết quả đo phân bố độ cứng theo chiều sâu lớp thấm của từng mẫu thép được thể hiện trong hình 2b, 2c, 2d. Đường nằm ngang thể hiện giá trị trung bình độ cứng của lõi mẫu thử cộng thêm 50 đơn vị HV0,05 (đường NHT theo DIN 50190-3), quy ước màu giống của đường phân bố độ cứng tế vi. Đối với thép C50 (hình 2b), độ cứng từ bề mặt đến khoảng 150  $\mu\text{m}$ , lớp thấm C-N QPQ có độ cứng cao hơn lớp thấm N plasma, sau 150  $\mu\text{m}$ , đường độ cứng của lớp thấm N plasma ở trên. Đối với 2 mác thép 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA, độ cứng sau thấm N plasma luôn cao hơn thấm C-N QPQ theo chiều sâu lớp thấm. Hình dạng đường phân bố độ cứng sau thấm N plasma có thể giải thích do thời gian thấm N plasma (15 giờ) dài hơn so với thời gian thấm C-N (2 giờ) đã giúp quá trình khuếch tán N vào sâu hơn và với nồng độ lớn hơn nên đã góp phần làm phân bố độ cứng ít bị dốc hơn so với thấm C-N QPQ. Tuy nhiên, nếu tăng thời gian thấm C-N thì nguyên tử C và N vẫn có thể khuếch tán vào sâu hơn nữa và tạo lớp thấm dày hơn.



**Hình 2.** Độ cứng bề mặt (a) và phân bố độ cứng theo chiều sâu lớp thấm (b), (c), (d)

### 3.4. Chiều dày lớp thấm

Kết quả xác định chiều dày lớp trắng được xác định bằng đo phương pháp phân tích ảnh chụp mặt cắt được thể hiện trong bảng 6. Chiều dày lớp trắng sau khi thấm N plasma ở cả ba mác thép đều nhỏ hơn hẳn so với thấm C-N QPQ. Điều này có thể được giải thích do thấm thể lỏng cung cấp môi trường thấm rất giàu nitơ, pha  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N}, \text{C})$ , thành phần chính của lớp trắng, được tạo ra với số lượng lớn hơn hẳn so với pha  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$  khi thấm N plasma. Vì vậy, độ dày lớp trắng sau thấm C-N thể lỏng lớn hơn quá trình thấm N plasma.

Kết quả xác định tổng độ dày lớp thấm (lớp trắng + lớp khuếch tán) được thể hiện trong bảng 6. Độ dày lớp thấm N plasma lớn hơn thấm C-N QPQ ở thép C50, 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA lần lượt là 84  $\mu\text{m}$ , 85  $\mu\text{m}$  và 75  $\mu\text{m}$ . Tuy nhiên nếu so sánh về thời gian thì hiệu quả tạo lớp thấm của công nghệ thấm C-N QPQ tốt hơn nhiều so với thấm N plasma: Thời gian thấm trong bể muối chỉ mất 2 giờ so với 15 giờ trong buồng chân không thấm N plasma. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy, chiều dày của lớp thấm ở mẫu thép C50 lớn hơn so với 2 mác thép hợp kim còn lại, điều này có thể được giải thích bởi các quá trình tạo nitrit và cacbit với các nguyên tố hợp kim làm ngăn cản quá trình khuếch tán nguyên tử C và N và như vậy làm giảm độ dày lớp thấm.

**Bảng 6.** Kết quả đo chiều dày lớp thấm

| Xử lý bề mặt | Chiều dày lớp trắng ( $\mu\text{m}$ ) |        |                                    | Tổng chiều dày lớp thấm ( $\mu\text{m}$ ) |        |                                    |
|--------------|---------------------------------------|--------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------|------------------------------------|
|              | C50                                   | 30XH3A | 25X <sub>2</sub> H <sub>4</sub> BA | C50                                       | 30XH3A | 25X <sub>2</sub> H <sub>4</sub> BA |
| Thấm C-N     | 14,7                                  | 14,9   | 16,6                               | 310                                       | 225    | 235                                |
| Thấm N       | 4,3                                   | 2,9    | 2,6                                | 394                                       | 310    | 310                                |

### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lớp thấm tạo bởi công nghệ thấm C-N QPQ và công nghệ thấm N plasma cho 3 mác thép C50, 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA. Kết quả thực nghiệm cho thấy:

- Sau khi thấm C-N QPQ và thấm N plasma, độ nhám bề mặt của mẫu thử nghiệm tăng lên, trong đó thấm C-N QPQ tăng độ nhám bề mặt nhiều hơn so với bề mặt đã thấm N plasma.

- Độ cứng bề mặt của thép sau thấm N và thấm C-N tăng lên đáng kể so với mẫu thép chỉ qua nhiệt luyện: Đối với thép C50, độ cứng trong khoảng 523÷585 HV1, đối với thép 30XH3A 600÷717 HV1, đối với thép 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA là 655÷761 HV1. Tuy nhiên, hiệu quả tăng độ cứng đối với các mác thép là khác nhau. Đối với thép C50, độ cứng sau thấm C-N cao hơn thấm N nhưng đối với thép 30XH3A và 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA, độ cứng sau thấm N cao hơn sau thấm C-N. Bên cạnh đó, phân bố độ cứng tế vi theo chiều sâu của lớp thấm C-N có độ dốc lớn hơn thấm N plasma và giá trị độ cứng tế vi cũng nhỏ hơn thấm N plasma.



- Thép cacbon C50 có độ dày lớp thấm lớn hơn thép hợp kim 30XH3A, 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA nhưng độ cứng thấp hơn đáng kể so với 2 mác thép này. Thấm N plasma có thể cho lớp trắng mỏng, chiều sâu lớp thấm lớn, tuy nhiên thời gian thấm kéo dài.

**Lời cảm ơn:** Bài báo được sự hỗ trợ kinh phí của Trung tâm Nhiệt đới Việt-Nga theo đề tài "Nghiên cứu, xây dựng quy trình công nghệ tạo lớp thấm - phủ kép sử dụng trong phục hồi, chế tạo mới một số chi tiết súng bộ binh".

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Branzei M., Cojocaru M. O., Druga L. N., Tudose F., and Trusca R., *Non-toxic environment for ferritic nitrocarburising process*, Revista de Chimie, 2018, **69**(9):2416-2419.
2. Nguyễn Khắc Cường, Lê Trọng Hậu, Lý Quốc Cường, *Một số kết quả nghiên cứu ban đầu về thấm C-N thể lỏng nhiệt độ thấp*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Kim loại, 2005, **3**:21-24.
3. Pye D., *Practical nitriding and ferritic nitrocarburizing*, ASM International Materials Park, Ohio, USA 2003, 251 p.
4. Li Y. H., Luo D. F., Wu S. X., *QPQ salt bath nitriding and corrosion resistance*, Solid State Phenomena, 2006, **118**:131-136.
5. Zhang L., Gao W., *Microstructure and properties of 1Cr12Ni2WMoVNb (GX-8) steel bored barrels with and without QPQ treatment*, Surface and Coatings Technology, 2017, **315**:95-104.
6. Campagnolo A., Dabalà M. and Meneghetti G., *Effect of salt bath nitrocarburizing and postoxidation on static and fatigue behaviours of a construction steel*, Metals, 2019, **9**(12):1-19.
7. Kusmic D., Hruby V., *Corrosion resistance of plasma nitrided structural steels and modern methods of testing*, Advances in Military Technology, 2008, **3**(1):65-75.
8. Dobrocký D., Studený Z., Pokorný Z., Pospíchal M., Šmida O., *Effect of plasma nitriding on the notch toughness of spring steel*, METAL, 2016, p.1037-1044.
9. Basu A., Dutta Majumdar J. et al, *Corrosion resistance improvement of high carbon low alloy steel by plasma nitriding*, Materials Letters, 2008, **62**:3117-3120.
10. Holemar A., Hruby V., *Iontová nitridace v praxi*, SNTL, Praha 1989, 242 p.
11. Kusmic D., Van D. T., Hruby V., *Corrosion and wear resistance of plasma nitrided and duplex treated 42CrMo4 steel*, Manufacturing Technology, 2018, **18**(2):259-265.
12. Lê Thị Chiêu, Nguyễn Anh Sơn, *Công nghệ thấm cacbon-nitơ sử dụng khí gas công nghiệp và xử lý nhiệt sau thấm cho thép 20CrMo và 18CrMnTi*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Kim loại, 2006, **8**:32-36.
13. Nguyễn Văn Hiên, Lê Thị Chiêu, *Tạo lớp thấm cacbon-nitơ với pha thép hóa bền phân tán cho thép dụng cụ SKD61 và SKD11 trong môi trường lỏng ở nhiệt độ thấp*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Kim loại, 2007, **10**:25-29.

14. ASTM E415-17, *Standard test method for analysis of carbon and low-alloy steel by spark atomic emission spectrometry*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
15. ГОСТ 4543-2016, *Металлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия*.
16. ISO 4287:1996, *Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and parameters of surface texture*.
17. DIN 50190-3, *Härtetiefe wärmebehandelter Teile; Ermittlung der Nitrierhärtetiefe*.
18. Doan T. V., Kusmič D., Pospíchal M., Dobrocký D., *Improvement of wear resistance for C45 steel using plasma nitriding, nitrocarburizing and nitriding/manganese phosphating duplex treatment*, In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, **179**(1):12017.
19. Kusmič D., Doan T. V., *Tribological and corrosion properties of plasma nitrided and nitrocarburized 42CrMo4 steel*, Materials Science and Engineering, 2017, **179**(1):12046.
20. Li H. Y., Luo D. F., Yeung C. F. and Lau K. H., *Microstructural studies of QPQ complex salt bath heat-treated steels*, Journal of Materials Processing Technology, 1997, **69**(1-3):45-49.

## SUMMARY

### A RESEARCH ON THE LOW-TEMPERATURE NITRIDING FOR SOME STRUCTURAL STEEL GRADES

This article presents the QPQ low temperature nitrocarburizing and plasma nitriding technologies for three steel grades C50, 30XH3A and 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA. Various tests were carried out to determine the influence of these technologies on the change of surface quality parameters, surface hardness, hardness distribution according to the nitrided layers. In addition, the image of the microstructure and thickness of the nitrided layers were also investigated. The experimental results confirmed the possibility to create nitrided layer with improved mechanical properties using nitriding and nitrocarburizing technologies on all three steel grades.

**Keywords:** *Nitrocarburizing, plasma nitriding, C50, 30XH3A, 25X<sub>2</sub>H<sub>4</sub>BA, thấm cacbon-nitơ, thấm nitơ plasma.*

*Nhận bài ngày 12 tháng 9 năm 2021*

*Phản biện xong ngày 21 tháng 9 năm 2021*

*Hoàn thiện ngày 09 tháng 10 năm 2021*

<sup>(1)</sup> *Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga*

<sup>(2)</sup> *Viện Khoa học và Kỹ thuật Vật liệu, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

<sup>(3)</sup> *Trung tâm Quang điện tử, Viện Ứng dụng công nghệ, Bộ KHCN*