

## Nghiên cứu sản xuất thép song pha DP

### Study on manufacturing a dual phase steel (DP)

Trần Công Thức<sup>1,\*</sup>, Đinh Bá Trụ<sup>2</sup>, Nguyễn Trường An<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Thái Bình

<sup>2</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự

\* Email: tranconghuc1980@gmail.com

Mobile: 0988587787

---

#### Tóm tắt

##### Từ khóa:

Thép độ bền cao tiên tiến; Thép AHSS; Thép song pha; Thép độ bền cao và tính dẻo tốt.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tạo phôi thép song pha DP họ CMnSi, cho độ bền cao và tính dẻo tốt, có thể thay thế thép 10GNA nhập ngoại. Nghiên cứu đã thiết lập được quan hệ giữa các thông số công nghệ với cơ tính của thép, thông qua điều khiển tổ chức pha F và M có độ hạt siêu mịn nhỏ hơn 15 $\mu$ m, tỷ phần pha M từ 15 - 30%. Thép DP được luyện từ sắt xốp MIREX có độ sạch tạp chất cao, được hợp kim hóa bằng một số nguyên tố vi lượng và xử lý cơ nhiệt ở nhiệt độ giữa AC<sub>1</sub> và AC<sub>3</sub>, nguội nhanh. Công nghệ có thể áp dụng sản xuất quy mô công nghiệp để tạo phôi thép cho sản xuất các khung dầm ô tô và chi tiết vũ khí.

#### Abstract

##### Keywords:

Advanced high strength steel; AHSS; Dual phase steels; High strength and good ductility steels.

This paper shows studied results of making billets of a CMnSi dual phase steel (DP) with high strength and good ductility which can be used instead of the imported 10GNA steel. The study established the relation between processing parameters and mechanical properties through controlling microstructure of ferrite and martensite with grain size less finer than 15  $\mu$ m and volume fraction of martensite of 15 to 30%. The MIREX sponge iron melted-DP steel has low level of impurities, alloyed by several micro-alloying elements and thermo-mechanical processed in a range of temperature AC<sub>1</sub> to AC<sub>3</sub> and rapid-cooled in different environments. The studied process can be applied in industry to manufacture steel billets for producing car members and parts of weapon.

---

Ngày nhận bài: 01/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 10/9/2018

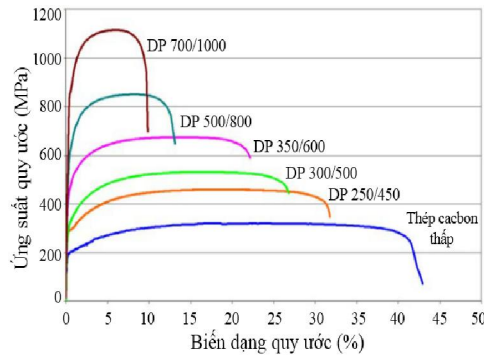
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

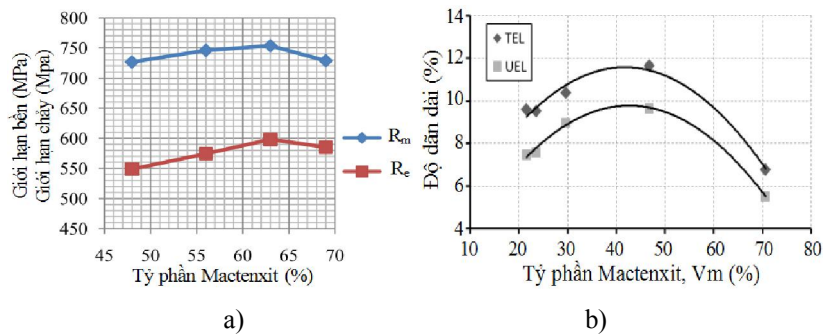
Thép song pha (DP) là một trong các mác thép thuộc nhóm độ bền cao tiên tiến (AHSS), mác thép có tổ chức hai pha ferit (F) và mactenxit (M); pha F dẻo làm nền và pha M rắn nằm xen kẽ trên phân giới hạt của pha F, có độ lớn hạt siêu mịn. Hai pha F và M có tỷ phần thể tích nhất định, trong đó F chiếm 70 ÷ 85% có hình dạng đa cạnh phân bố liên tục giữ vai trò pha nền, M chiếm 30 ÷ 15% có dạng các đảo cô lập phân bố trên nền F đóng vai trò pha hóa bền. [4]

Hình 1 cho thấy giới hạn bền của một số mác thép DP cao hơn thép cacbon thấp, có nghĩa là khả năng chịu tải lớn trước khi phá hủy, nhưng đồng thời giới hạn chảy đánh giá khả năng biến dạng dẻo của thép DP cũng lớn hơn. Hai tiêu chí được dùng làm chỉ số mác thép để phân biệt. Thép DP có độ dẻo tốt hơn thép cacbon thấp, theo lý thuyết, nguyên nhân cơ bản là do thành phần hóa học, tạo cho thép có thể hình thành được tổ chức cho độ dẻo tốt. Nhưng quan trọng tiếp sau là sự tác động của thông số công nghệ, làm cho tổ chức nhỏ mịn hơn, các tác nhân hóa bền hạt nhỏ và phân tán.



**Hình 1.** Biểu đồ ứng suất - biến dạng quy ước của thép DP và HSLA [4]

Độ bền và độ dẻo của thép DP không chỉ phụ thuộc độ bền và độ dẻo của các pha thành phần F và M, mà còn phụ thuộc theo tỷ phần thể tích của chúng. Hình 2a cho thấy, khi tăng tỷ phần M, giới hạn bền và giới hạn chảy của thép DP tăng và đạt giá trị lớn nhất khi tỷ phần M đạt ~ 60%, tiếp sau giới hạn bền và giới hạn chảy giảm. Trong khi đó (hình 2b), độ giãn dài của thép DP đạt giá trị max khi tỷ phần M trong khoảng 35 - 45%.



**Hình 2.** Biểu đồ quan hệ giới hạn bền (a) [5] và độ giãn dài (b) với tỷ phần mactenxit [3] của thép DP

Độ bền và độ dẻo của thép là hai chỉ số thường mâu thuẫn nhau. Đối với các thép thông thường để tăng độ bền và tăng tính dẻo thường dùng các nguyên tố hợp kim, nhưng đối với thép DP có thể dùng công nghệ đặc thù để cho tính dẻo tốt khi gia công biến dạng và độ bền cao khi sử dụng.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Thép DP có tổ chức hai pha F, M. Độ bền và độ dẻo của thép DP có thể tính được theo luật cộng tác dụng pha bằng tổng các tích của tỷ phần và độ bền, độ dẻo của từng pha.

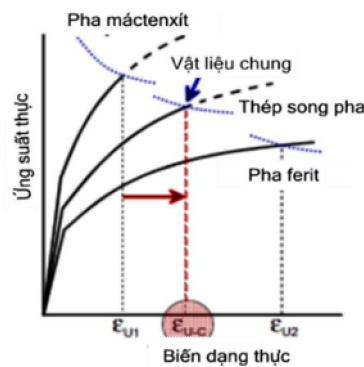
Theo lý thuyết cộng pha: Thép DP là hỗn hợp hai pha F và M nên cơ tính của thép có tính cộng được. (công thức 1 và 2) [3]

$$\sigma = \sigma_M \cdot V_M + \sigma_F \cdot V_F = \sigma_M \cdot V_M + \sigma_F \cdot (1 - V_M) \quad (1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_M \cdot V_M + \varepsilon_F \cdot V_F = \varepsilon_M \cdot V_M + \varepsilon_F \cdot (1 - V_M) \quad (2)$$

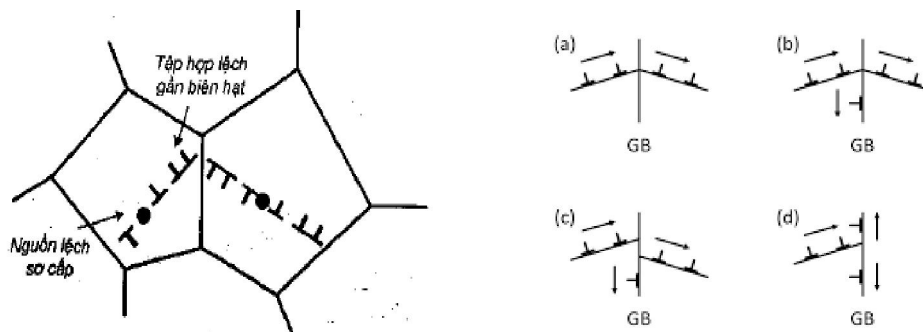
Từ công thức (1) và (2) cho thấy Độ bền, độ dẻo của thép DP phụ thuộc vào tỷ phần pha, độ bền các pha và độ dẻo các pha. Mỗi tham số này lại là hàm của các thông số công nghệ (TSCN). Chính vì vậy để khống chế tỷ phần pha thông qua khống chế thông số công nghệ ( $T, \tau, v_n$ ). Đây là cơ sở để điều khiển cơ tính của thép DP.

Hình 3 cho thấy đường cong ứng suất - biến dạng của thép DP tuân theo lý thuyết cộng pha.



**Hình 3.** Đường cong biến dạng thép song pha theo lý thuyết cộng pha [2]

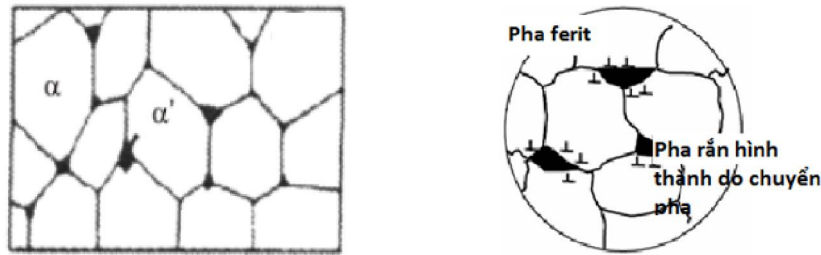
Theo lý thuyết hóa bền hạt nhỏ, trong trường hợp hạt F có kích thước siêu mịn (ultrafine grained - UFG), có nhiều hạt có phương tinh thể và mặt gần trùng với phương trượt và mặt trượt, có nghĩa là, tỷ lệ các hạt tham gia trượt tăng. Mặt khác, do phân giới hạt không có các tạp chất phi kim, khi lệch chuyển đến đó, chúng dễ truyền chuyển động sang hạt bên cạnh và tiếp tục gây biến dạng nhờ làm chuyển động lệch trên phân giới hạt (hình 4).



**Hình 4.** Các dạng chuyển động của lệch truyền sang các hạt khác qua phân giới hạt [1]

Theo lý thuyết hóa bền do chuyển pha tạo pha mactenxit xen kẽ. Trong điều kiện hạt pha F và M nhỏ siêu mịn, làm thay đổi cơ chế tăng bền do thay đổi cơ chế chuyển động lệch từ chuyển động trong một hạt, có thể truyền qua nhiều hạt, nên tác nhân cản trở lệch không chỉ là các pha

phân tán trong mạng của một hạt, mà còn thêm các pha xen kẽ M nằm xen kẽ giữa các hạt của pha nền. Hình 5 cho thấy, các pha M xen kẽ giữa pha F là kết quả của quá trình chuyển biến pha khi xử lý nhiệt nung trong vùng 2 pha. Khi nung phôi ở vùng 2 pha pha ôstenit (Ô) hình thành và lớn lên tùy theo nhiệt độ nung và thời gian giữ nhiệt, ta có thể khống chế hàm lượng C% trong các pha F và Ô và tỷ phần các pha, khống chế độ lớn hạt F và Ô. Khi làm nguội nhanh, ôstenit chuyển biến thành mactenxit. Pha M sẽ là tác nhân tích tụ lệch và hãm lệch (hình 5).



Hình 5. Chuyển biến tạo pha rắn [6]

Như vậy, điều khiển các thông số nhiệt độ nung trong vùng 2 pha và thời gian giữ nhiệt, để khống chế sự hòa tan của các NTHH và độ lớn hạt của các pha để cỡ hạt F và Ô nhỏ mịn, sau khi làm nguội nhanh, pha M có kích thước nhỏ mịn ( $< 10\mu\text{m}$ ), nằm xen kẽ trên phân giới các hạt pha F, tạo nên vùng tích tụ lệch và cản trở sự chuyển động lệch, từ đó, thép DP được hóa bền.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả thực nghiệm

Phôi thép được luyện từ sắt xộp và tinh luyện trong lò chân không đạt thành phần hóa học 0,098%C; 0,886%Si; 1,241%Mn; tạp chất thấp nhất 0,024%P; 0,012%S, thép được rèn từ  $\Phi 250\text{mm}$  xuống  $\Phi 14\text{mm}$  để làm mẫu thí nghiệm. Phôi thép sau rèn có tổ chức hạt đồng đều, hạt F có dạng đa cạnh, cỡ hạt nhỏ khoảng  $20\mu\text{m}$ , các nhóm peclit phân bố đều hơn. Tiến hành xử lý nhiệt theo các chế độ công nghệ trong bảng 1, chuẩn bị mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn TCVN 197-1: 2014. Kết quả xác định giới hạn bền ( $R_{mTB}$ ), độ giãn dài ( $A_{TB}$ ) của thép nghiên được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng kết quả thực nghiệm và Mác 10ГHA

STT	Ký hiệu mẫu	Thông số công nghệ			Chỉ tiêu cơ tính	
		T (°C)	$\tau$ (phút)	$v_n$ (°C/s)	$R_{mTB}$ (MPa)	$A_{TB}$ (%)
01	D-1	740	10	50	624,6	24,5
02	D-2	740	15	50	627,6	23,7
03	D-3	740	20	50	691,5	22,7
04	D-4	760	10	50	663,5	25,6
05	D-5	760	15	50	638,8	20,1
06	D-6	760	20	50	712,2	18,2
07	D-7	780	10	50	669,9	24,0
08	D-8	780	15	50	693,9	26,7
09	D-9	780	20	50	704,7	24,3
10	N-1	740	10	100	609,0	23,7

11	N-2	740	15	100	639,7	20,8
12	N-3	740	20	100	700,7	20,5
13	N-4	760	10	100	671,5	19,9
14	N-5	760	15	100	685,2	18,6
15	N-6	760	20	100	763,6	17,6
16	N-7	780	10	100	678,3	25,5
17	N-8	780	15	100	706,3	23,7
18	N-9	780	20	100	804,5	16,9
19	M-1	740	10	150	631,6	25,4
20	M-2	740	15	150	636,4	21,3
21	M-3	740	20	150	735,9	20,0
22	M-4	760	10	150	654,4	24,7
23	M-5	760	15	150	688,4	22,6
24	M-6	760	20	150	747,9	18,2
25	M-7	780	10	150	765,6	23,5
26	M-8	780	15	150	795,5	18,2
27	M-9	780	20	150	819,3	17,0
10ГHA TY 14-1-2376-78	Sau tôi 1000 <sup>0</sup> C/nước				≥ 589	25

**Bảng 2.** Bảng giá trị, độ tin cậy của các đặc trưng cơ tính thép nghiên cứu

STT	Tên đặc trưng cơ tính của thép nghiên cứu	Các giá trị		Độ tin cậy sperman
		Max	Min	
1	Giới hạn bền ( $R_m$ ), MPa	819,3	624,6	0,98
2	Độ giãn dài tương đối (A), %	25,4	17,0	0,97

### 3.2. Bàn luận kết quả thực nghiệm

Thành phần hóa học của mác thép DP nghiên cứu nằm trong giới hạn yêu cầu, có hàm lượng C thấp, đặc biệt thành phần P% và S% rất thấp. Bảng 1 cho thấy, mác thép DP nghiên cứu có cơ tính tổng hợp cao hơn hẳn mác thép 10ГHA, có giới hạn bền cao hơn trong dải từ  $624,6 \div 819,3$ MPa, độ giãn dài tương đương từ  $17,0 \div 25,4$ %.

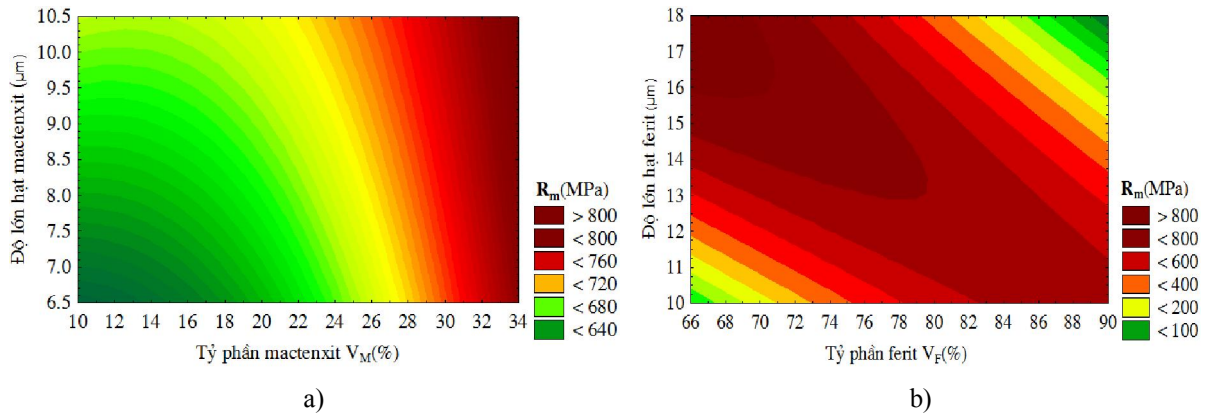
Bảng 2 cho thấy, giá trị độ tin cậy lớn, các giá trị độ tin cậy đều lớn hơn 0,96 do đó số liệu thực nghiệm có tính ổn định cao giữa các lần đo, đủ bảo đảm tính quy luật. Từ kết quả trong bảng 1 sử dụng phần mềm Statistica xây dựng các ảnh đồ đồng mức về quan hệ giữa các thông số công nghệ với giới hạn bền, độ giãn dài tương đối.

- Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến giới hạn bền:

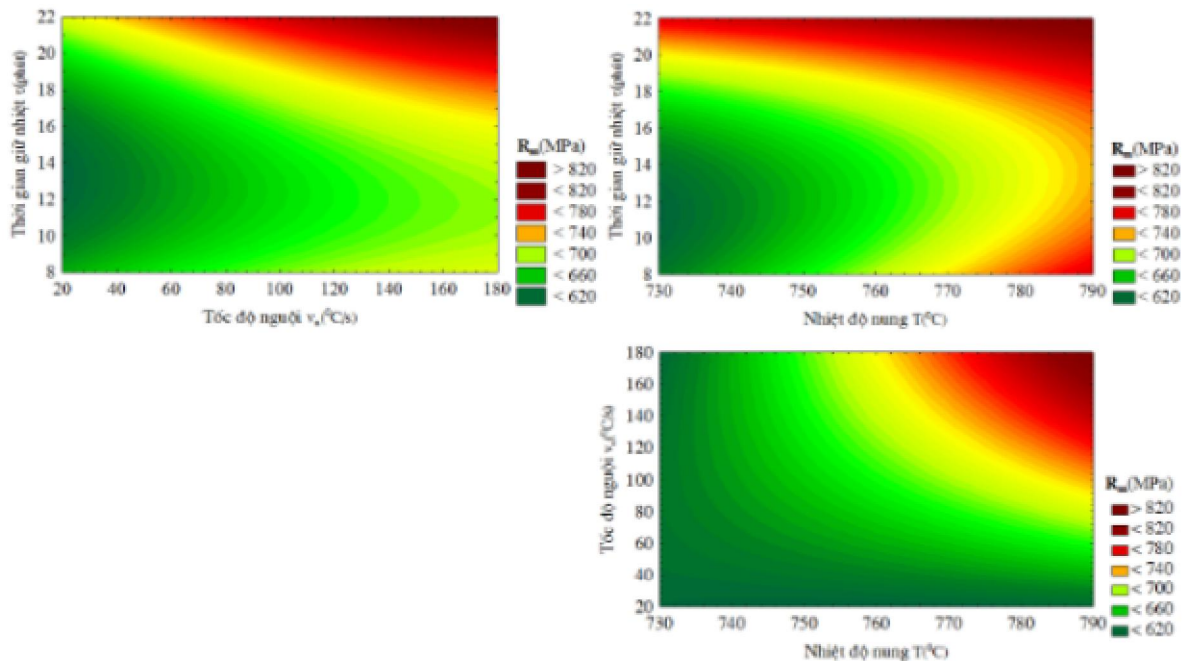
Hình 6 cho thấy, giới hạn bền cao nhờ tỷ phần  $V_M$  cao (trên  $25 \div 34$ %), tỷ phần F khoảng 70% và độ lớn hạt M nhỏ từ  $6,5 \div 10,5\mu m$  và  $d_F$  từ  $12 \div 18\mu m$ . Điều đó phù hợp với luật cộng pha và cơ chế tăng bền do hãm lệch. Khi tỷ phần  $V_M$  từ  $10 \div 20$ % và độ lớn hạt M từ  $6,5 \div 8\mu m$ , giới hạn bền dưới 680MPa và cho độ giãn dài cao.

Hình 7 cho thấy, khi tăng nhiệt độ nung từ  $730 \div 790^{\circ}C$  thì giới hạn bền luôn tăng. Tăng thời gian giữ nhiệt từ  $8 \div 12$  phút làm giảm giới hạn bền, tiết tục tăng thời gian giữ nhiệt làm giới hạn bền tăng, tốc độ nguội càng tăng độ bền tăng. Tồn tại vùng cho giới hạn bền lớn nhất  $R_m = 800 \div 820$ MPa tương ứng với bộ TSCN  $T = 760 \div 790^{\circ}C$ ,  $\tau = 18 \div 22$  phút,  $v_n = 100 \div 180^{\circ}C/s$ .

Giới hạn bền lớn nhất tính theo hàm hồi quy  $R_m = 817\text{MPa}$  trong điều kiện  $T = 780^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 20\text{phút}$ ,  $v_n = 150^\circ\text{C/s}$ ; nằm trong vùng giá trị max.



**Hình 6.** Quan hệ độ bền với tỷ phần và độ lớn hạt mactenxit (a), ferit (b)

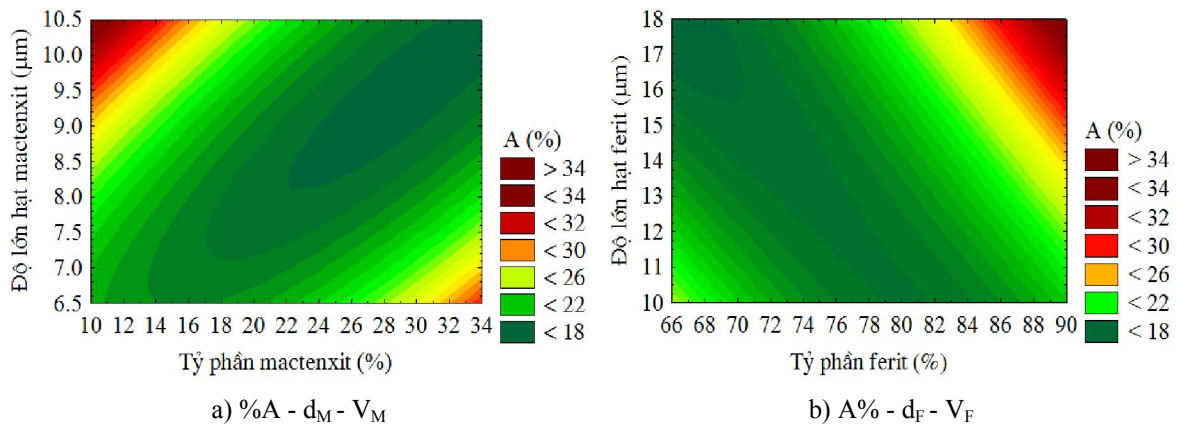


**Hình 7.** Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến giới hạn bền

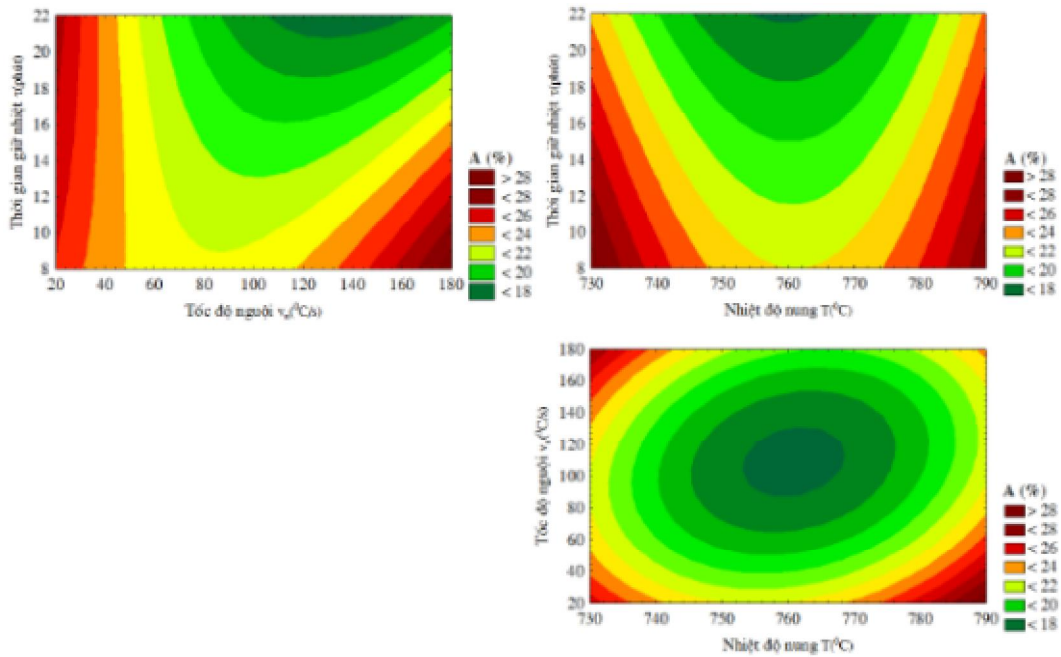
- Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến độ giãn dài tương đối:

Hình 8a cho thấy, tồn tại hai vùng cho độ giãn dài lớn nhất trên 30%, vùng 1 xuất hiện khi tỷ phần M từ 10 đến 15% và độ lớn hạt từ  $9,5 \div 10,5\mu\text{m}$  và vùng 2 khi  $V_M$  khoảng  $33 \div 34\%$  và độ lớn hạt  $d_M$  khoảng  $6,5 \div 7\mu\text{m}$ .

Hình 8b cho thấy, khi độ lớn hạt ferit từ  $15 \div 18\mu\text{m}$ , tỷ phần ferit trên 84% cho độ giãn dài cao lớn nhất trên 30%.



**Hình 8.** Ảnh đồ quan hệ độ giãn dài tương đối với đặc trưng tổ chức



**Hình 9.** Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến độ giãn dài

Hình 9 biểu diễn quan hệ độ giãn dài với 3 thông số công nghệ cho thấy có 3 vùng cho giá trị độ giãn dài lớn nhất  $A > 24\%$ :

- Vùng 1: Khi  $T = 730 \div 740^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 8 \div 15$  phút và  $v_n = 160 \div 180^{\circ}\text{C/s}$ , độ lớn hạt ferit  $d_F = 10\mu\text{m}$ , tỷ phần  $V_F = 84\%$ ;
- Vùng 2: Khi  $T = 780 \div 790^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 8 \div 15$  phút và  $v_n = 50^{\circ}\text{C/s}$ , độ lớn hạt  $d_F = 15\mu\text{m}$ , tỷ phần  $V_F = 80\%$ .
- Vùng 3: Khi  $T = 730 \div 740^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 8 \div 15$  phút,  $v_n = 50^{\circ}\text{C/s}$ , độ lớn hạt  $d_F = 12\mu\text{m}$ , tỷ phần  $V_F = 85\%$ .

Tóm lại, độ giãn dài đạt giá trị tốt nhất khi tạo được tổ chức F có độ lớn hạt từ 10 đến 15µm và tỷ phần F từ 80 đến 85%, tương ứng với giá trị thực nghiệm kiểm chứng  $A = 24\%$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Phôi thép được gia công biến dạng dẻo và xử lý nhiệt với bộ thông số công nghệ: Nhiệt độ nung từ  $740 \div 780^{\circ}\text{C}$ , thời gian giữ nhiệt  $10 \div 20$  phút và tốc độ nguội  $50 \div 150^{\circ}\text{C/s}$ . Kết quả cho giới hạn bền từ 625 đến 820MPa, độ giãn dài từ 17 đến 26%, thỏa mãn mục tiêu về độ bền và độ dẻo của thép song pha.

Với 3 TSCN nghiên cứu cho giới hạn bền từ 625 đến 820MPa; trong đó, miền thông số cho giá trị giới hạn bền lớn nhất trên 800MPa là  $T^{\circ}\text{C} = 760 \div 790^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 18 \div 22$  phút,  $v_n = 100 \div 150^{\circ}\text{C/s}$ .

Miền thông số cho độ giãn dài lớn nhất trên 26% khi xử lý ở hai vùng nhiệt độ dưới  $750^{\circ}\text{C}$  và  $780 \div 790^{\circ}\text{C}$ , thời gian giữ nhiệt từ  $8 \div 15$  phút, tốc độ nguội  $v_n = 150^{\circ}\text{C/s}$ .

#### DANH MỤC DANH PHÁP/KÝ HIỆU

$R_m$	: Giới hạn bền (MPa)
$A$	: Độ giãn dài (%)
$T$	: Nhiệt độ nung trong vùng 2 pha ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\tau$	: Thời gian giữ nhiệt (phút)
$v_n$	: Tốc độ nguội ( $^{\circ}\text{C/s}$ )
$d_F, d_M$	: Độ lớn hạt ferit và mactenxit ( $\mu\text{m}$ )
$V_F, V_M$	: Tỷ phần ferit và mactenxit (%)

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đỗ Minh Nghiệp, Trần Quốc Thắng (2012), *Độ dẻo và độ bền kim loại*, NXB KH&KT, Hà Nội
- [2]. Azuma, Masafumi; Huang, Xiaoxu; Winther, Grethe, 2013. *Structural control of void formation in dual phase steels*, Section for Materials Science and Advanced Characterization Department of Wind Energy, Technical University of Denmark.
- [3]. Majid Pouranvari, 2010. *Tensile strength and ductility of ferrite martensite dual phase steels*, Islamic Azad University.
- [4]. Stuart Keeler, Sc.D. mechanical metallurgy, 2014. *Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines*. Version 05.
- [5]. Sudersanan. P.D, Nagaraj Kori, Aprameyan. S and Dr. Kempaiah. U.N, 2012. *The Effect of Carbon Content in Martensite on the Strength of Dual Phase Steel*, Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science.
- [6]. Van Mil. P.H.E.O (2007), *Micromechanical modeling of a dual phase steel*, Bachelor End Project.