

Nghiên cứu công nghệ sản xuất phôi thép TRIP có độ bền cao - tính dẻo tốt

Study on process for manufacturing billets
of a high strength and good ductility TRIP steel

Đinh Bá Trụ^{1,*}, Đinh Văn Hiến²

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Viện Khoa học và công nghệ Quân sự

*Email: trudinbha39@gmail.com

Mobile: 01632375110

Tóm tắt

Từ khóa:

Thép độ bền cao tiên tiến; thép AHSS; thép TRIP; thép độ bền cao và tính dẻo tốt.

Thép TRIP là một trong các nhóm thép độ bền cao tiên tiến AHSS. Thép có tổ chức đa pha F, B, M, Ô dư, có tỷ phần các pha nhất định và độ lớn hạt siêu mịn, hạt F nhỏ hơn 15 μ m. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tạo được mác thép vừa có độ bền cao và vừa tính dẻo tốt, hơn hẳn thép HSLA có cùng thành phần. Thép được luyện từ sắt xốp có độ sạch tạp chất cao, tiếp sau, rèn, cán và xử lý nhiệt tại vùng 2 pha (F và Ô), nguội đẳng nhiệt tạo B. Nghiên cứu đã tạo được thép có độ bền cao trên 800MPa, độ dãn dài lớn trên 30% nhờ tạo được tổ chức đa pha theo yêu cầu. Công nghệ đã được kiểm nghiệm, có thể dùng xây dựng quy trình công nghệ tạo phôi cho các chi tiết chịu lực lớn trong ô tô và vũ khí.

Abstract

Keywords:

Advanced high strength steels; AHSS; TRIP steels; high strength and good ductility steels.

Transformation induced plasticity (TRIP) steel is a grade of advanced high strength steels (AHSS). The steel has a multiphase microstructure of ferrite, bainite, martensite and retained austenite with a certain volume fraction and extrafine grain size of phases, in which, grain size of ferrite is less finer than 15 μ m. This paper shows studied results of making a TRIP steel with high strength and good ductility which exceeds those of HSLA steels in same chemical composition. The sponge iron melted-TRIP steel has low level of impurities, forged and rolled, then, heat treated in inter-critical temperature that has two phases (ferrite and austenite) and isothermal-cooled in bainitic temperature to generate the transformation of austenite to bainite. The study has created the steel with ultimate tensile strength over 800 MPa and elongation over 30% through creating a desired multiphase microstructure. The process was experimentally confirmed and can be used for building processing procedures to make billets for manufacturing high forced-parts of cars and weapon.

Ngày nhận bài: 01/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 14/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cuối thế kỷ 20, ngành thép thế giới đã có nhiều cuộc cách mạng về khoa học công nghệ như cách mạng công nghệ luyện gang phi cốc tạo nguyên liệu sạch dùng luyện thép (sắt xấp SI hoặc gang hoàn nguyên nấu chảy SR); công nghệ luyện thép lò điện và tinh luyện thứ cấp khử sâu tạp chất và các khí; công nghệ xử lý cơ - nhiệt tạo các hiệu ứng tổ chức đặc biệt... Nhờ đó, thép độ bền cao tiên tiến - thép AHSS đã ra đời, trong đó, có phân nhóm thép TRIP với đặc thù độ bền cao kết hợp độ dẻo tốt (xem Hình 1). Thép rất hữu ích dùng làm các kết cấu khung dầm chịu tải nặng, hấp thụ năng lượng va đập lớn hoặc các ống thành mỏng chịu áp lực trong, nhưng cần tính dẻo tốt để gia công tạo hình với số nguyên công ít, tiết kiệm khuôn và thời gian công nghệ ...

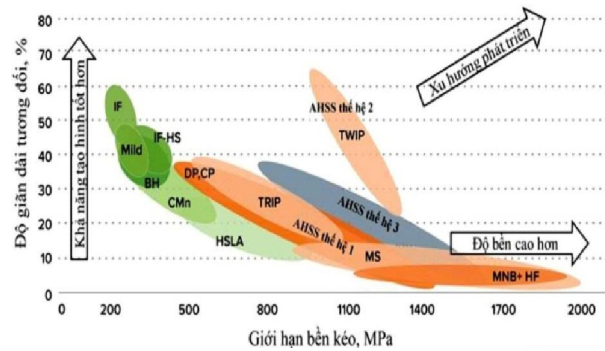
Tính năng cơ học đặc biệt của thép TRIP là do thép sạch (thấp tạp chất phi kim và khí) và quan trọng là do thép có tổ chức đa pha đặc thù gồm ferit (F), bainit (B) và ôstenit dư (Ô dư), các pha có tỷ phần thể tích nhất định, độ hạt nhỏ siêu mịn. Để đạt được tổ chức như vậy, phải sử dụng quá trình xử lý cơ - nhiệt chuyên biệt (xem Hình 2) bằng gia công biến dạng lớn, tiếp sau, xử lý nhiệt với công nghệ nung tối trong vùng nhiệt độ có hai pha F và Ô nằm giữa A_{c1} và A_{c3} , sau đó, nguội đẳng nhiệt ở vùng có chuyển biến bainit để Ô chuyển thành B và còn lưu lại một phần đáng kể Ô dư giàu cacbon (khoảng 5 - 20% Ô dư). Để khống chế tổ chức, ngoài việc khống chế thành phần hợp kim thích hợp (C ~ 0,2% và Mn, Si từ 1 - 2%), cần thiết phải khống chế các thông số công nghệ cơ - nhiệt gồm chế độ gia công biến dạng, nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt khi nung, tốc độ nguội, nhiệt độ và thời gian nguội đẳng nhiệt bainit.

Tác động của thông số cơ-nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép TRIP được nhiều nghiên cứu tiên hành, tuy vậy, nghiên cứu tác động của đa thông số cơ - nhiệt và tìm các bộ thông số công nghệ có ý nghĩa sản xuất hầu như không có công bố. Ở Việt Nam, chưa có các nghiên cứu chuyên sâu về nhóm thép này, ngoài các nghiên cứu mở đầu [1], [2], [3] của nhóm tác giả. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu tác động của 4 thông số cơ - nhiệt là nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt khi nung trong vùng hai pha và nhiệt độ và thời gian nguội đẳng nhiệt bainit đến một số đặc trưng tổ chức và cơ tính thông dụng của một mác thép CMnSi được luyện từ sắt xấp.

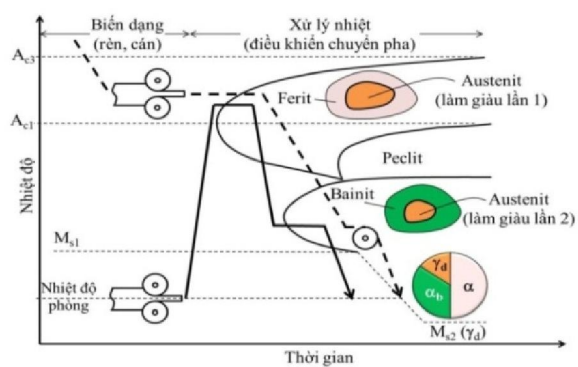
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐỘ BỀN VÀ ĐỘ DẼO CỦA THÉP TRIP

2.1. Luật trộn pha áp dụng cho thép TRIP

Độ bền và độ dẻo của thép TRIP quan hệ với các pha thành phần thông qua luật trộn pha [4], [5], [7], [8]:



Hình 1. Quan hệ độ bền và độ dẻo một số thép kết cấu



Hình 2. Sơ đồ cơ nhiệt sản xuất thép TRIP

$$\sigma = f_{\alpha} \cdot \sigma_{\alpha} + f_{ab} \cdot \sigma_{ab} + f_{\gamma d} \cdot \sigma_{\gamma d} + f_{\alpha'} \cdot \sigma_{\alpha'} \quad (1)$$

$$\varepsilon = f_{\alpha} \cdot \varepsilon_{\alpha} + f_{ab} \cdot \varepsilon_{ab} + f_{\gamma d} \cdot \varepsilon_{\gamma d} + f_{\alpha'} \cdot \varepsilon_{\alpha'} \quad (2)$$

trong đó: $f_{\alpha} + f_{ab} + f_{\gamma d} + f_{\alpha'} = 1$; và $f_{\gamma d} + f_{\alpha'}$ là không đổi.

Từ (1) và (2) cho thấy, độ bền và độ dẻo của thép TRIP phụ thuộc độ bền và độ dẻo mỗi pha và tỷ phần pha. Các tham số này có thể điều khiển thông qua phân bố độ hòa tan các nguyên tố hợp kim bằng điều khiển các thông số công nghệ cơ - nhiệt. Do vậy, có thể tác động từ thông số cơ - nhiệt để điều khiển độ bền và độ dẻo của thép TRIP để thu được độ bền cao hoặc độ dẻo cao hoặc hài hòa độ bền và độ dẻo.

2.2. Hai nguyên lý tăng bền và tăng dẻo bằng chuyển biến pha trong thép TRIP

Một trong các hiệu ứng vật lý tăng bền và tăng dẻo trong thép TRIP là sử dụng hóa bền chuyển biến pha với hai chuyển biến đặc trưng:

1. Chuyển biến $\hat{O} \rightarrow B$ để tạo pha B và \hat{O} dư nhỏ mịn phân bố trong nền F, tăng cường tác nhân hãm lệch để tăng bền, thỏa hiệp độ bền và độ dẻo thông qua thỏa hiệp độ bền và độ dẻo mỗi pha và tỷ phần pha;

2. Chuyển biến \hat{O} dư $\rightarrow M$ để tạo pha M cứng hơn, tăng cường tác nhân hãm lệch, tăng dẻo nhờ đóng góp của ứng suất chuyển pha và tốc độ chuyển pha.

Đóng góp của pha B, \hat{O} dư và sự tạo thành pha M đến biến cứng (hóa bền) của thép TRIP có thể thấy qua quan hệ rút ra từ luật trộn pha:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = f_{\alpha} \cdot \frac{d\sigma_{\alpha}}{d\varepsilon} + f_{ab} \cdot \frac{d\sigma_{ab}}{d\varepsilon} + f_{\gamma d} \cdot \frac{d\sigma_{\gamma d}}{d\varepsilon} + f_{\alpha'} \cdot \frac{d\sigma_{\alpha'}}{d\varepsilon} + \frac{df_{\alpha'}}{d\varepsilon} (\sigma_{\alpha'} - \sigma_{\gamma d}) \quad (3)$$

Từ (3) cho thấy, nhờ có pha rắn với tỷ phần nhất định và chuyển pha \hat{O} dư thành M đã góp phần làm tăng tốc độ biến cứng của thép TRIP, tức là đóng góp đến hiệu quả tăng bền và tăng dẻo nhờ trì hoãn cục bộ biến dạng xuất hiện khi $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$.

2.3. Nguyên lý tăng bền và tăng dẻo bằng tạo hạt F, B, \hat{O} dư nhỏ mịn trong thép TRIP

Hạt F càng nhỏ mịn càng làm tăng độ bền thép TRIP theo nguyên lý Hall-Petch [6]:

$$\sigma_c = \sigma_{0c} + K \cdot d^{-1/2} \quad (4)$$

Về mặt vật lý, hiệu ứng hóa bền do hạt nhỏ là hệ quả của việc tăng tác nhân hãm lệch bằng tăng diện tích phân giới hạt. Hạt F nhỏ, cùng với độ sạch phân giới hạt cao còn góp phần tăng tính dẻo của thép TRIP nhờ tăng xác xuất các hạt cùng biến dạng, tạo điều kiện để chuỗi hạt cùng tham gia biến dạng nhờ có khả năng làm xô dịch các lệch dư trên phân giới sang hạt mới hoặc theo phân giới hạt.

Các hạt rắn B, \hat{O} dư nhỏ mịn, phân tán đều góp phần tăng bền và tăng dẻo cho thép TRIP nhờ tạo ra diện tích bề mặt hạt rắn lớn, tăng tác nhân cản trở lệch và phân bố biến dạng đều trong một đơn vị thể tích các hạt.

3. THỰC NGHIỆM KHOA HỌC

3.1. Nấu luyện và rèn - cán phôi

Nấu luyện: Thép được nấu luyện trong lò cảm ứng trung tần sử dụng nguyên liệu là sắt xốp MIREX và thép phế loại 1, FeMn, FeSi,... Thép được tinh luyện và đúc trong khuôn kim loại. Thành phần thép đạt được trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học thép nghiên cứu (% khối lượng)

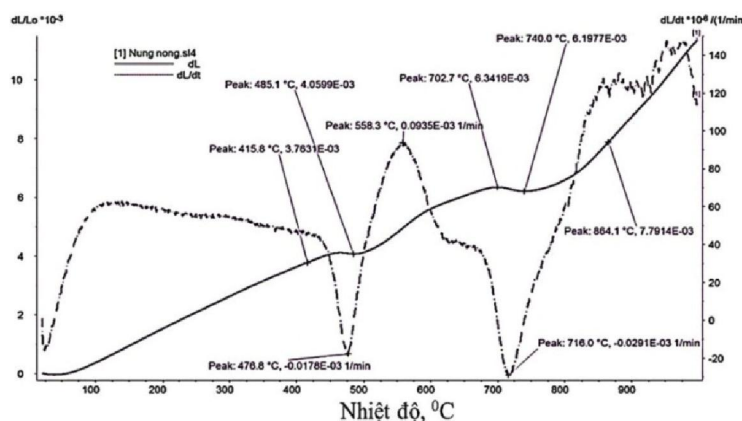
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
0,2200	1,6007	0,0089	0,0212	1,3978	0,0456	0,0101	0,0062	0,0053
Cu	W	Ti	Sn	Co	Al	Pb	Zr	Zn
0,0399	0,0046	0,0260	0,0027	0,0065	0,0605	0,0081	0,0024	0,0042

Rèn - cán phôi: Phôi thép được rèn, cán nóng và cán nguội. Chế độ rèn, cán nóng được thiết kế đảm bảo cho được tổ chức hạt nhỏ đồng đều với tỷ số biến dạng $y = 8$, kết thúc biến dạng nóng ở nhiệt độ khoảng 900°C , chiều dày phôi đạt 10 mm. Tiếp sau phôi thép được cán nguội với mức độ biến dạng lớn, $\varepsilon_n = 80\%$ đến chiều dày 2 mm để tạo tiền đề cho kết tinh lại khi xử lý nhiệt sau đó nhằm thu được tổ chức hạt siêu mịn.

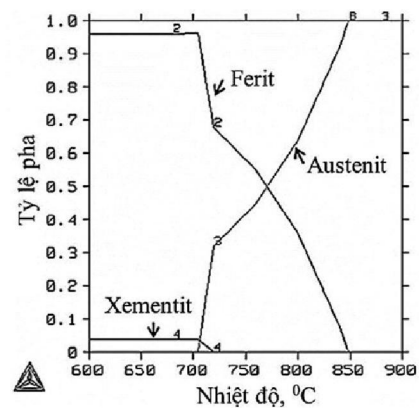
3.2. Xử lý nhiệt

Chế độ xử lý nhiệt được thiết kế đảm bảo nhiệt độ nung đúng trong vùng hai pha F và Ô, tỷ phần pha F dao động trong phạm vi rộng từ 40 - 75%, hạt F và Ô nhỏ mịn khi nung; nhiệt độ nguội đẳng nhiệt nằm trong phạm vi vùng có chuyển biến bainit, không chế thời gian để không chế tỷ phần pha B và Ô dư.

Xác định các nhiệt độ tới hạn: Các nhiệt độ tới hạn được xác định bằng đo giãn nở nhiệt DIL và kết hợp sử dụng phần mềm Thermo-Calc (xem Hình 3 và 4). Kết quả cho phạm vi nhiệt độ tới hạn $A_{c1} \div A_{c3}$ khoảng $740 - 870^{\circ}\text{C}$.



Hình 3. Biểu đồ đo giãn nở nhiệt thép nghiên cứu



Hình 4. Quan hệ tỷ lệ pha với nhiệt độ nung

Phạm vi chế độ xử lý nhiệt khảo sát:

- Nhiệt độ nung: $750 - 780 - 810^{\circ}\text{C}$;
- Thời gian giữ nhiệt khi nung: 5 - 10 - 15 phút;
- Nhiệt độ nguội đẳng nhiệt: $350 - 400 - 450^{\circ}\text{C}$;
- Thời gian nguội đẳng nhiệt: 5 - 10 - 15 phút.

Nung phôi được thực hiện trong lò điện trở và làm nguội trong nồi muối nóng chảy. Hỗn hợp muối được chọn là 45%NaOH + 30%NaNO₃ + 25%NaNO₂ có tốc độ nguội lớn hơn tốc độ nguội tới hạn. Các nhiệt độ nung và làm nguội được khống chế bằng hệ thống đo nhiệt gồm can nhiệt và đồng hồ chỉ thị.

3.3. Xác định tổ chức tế vi và các đặc trưng cơ tính

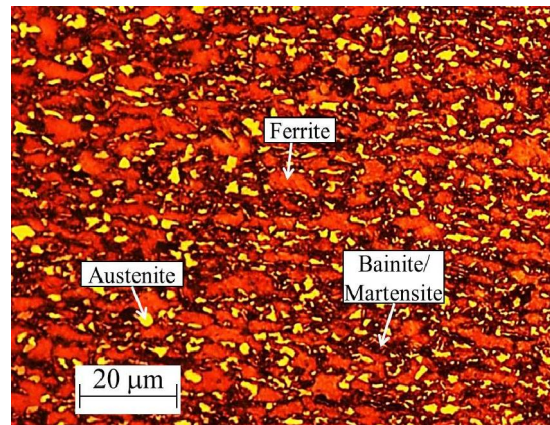
Các mẫu thép được chuẩn bị theo đúng quy trình làm mẫu kim tương và tẩm thực màu để nhận diện pha, chụp ảnh tế vi trên kính hiển vi quang học AXIO-A2M. Tỷ lệ các pha, độ lớn hạt được xác định bằng kỹ thuật phân tích ảnh trên phần mềm ImageJ. Các chỉ tiêu cơ tính được xác định bằng thử kéo trên máy kéo nén WP300.

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

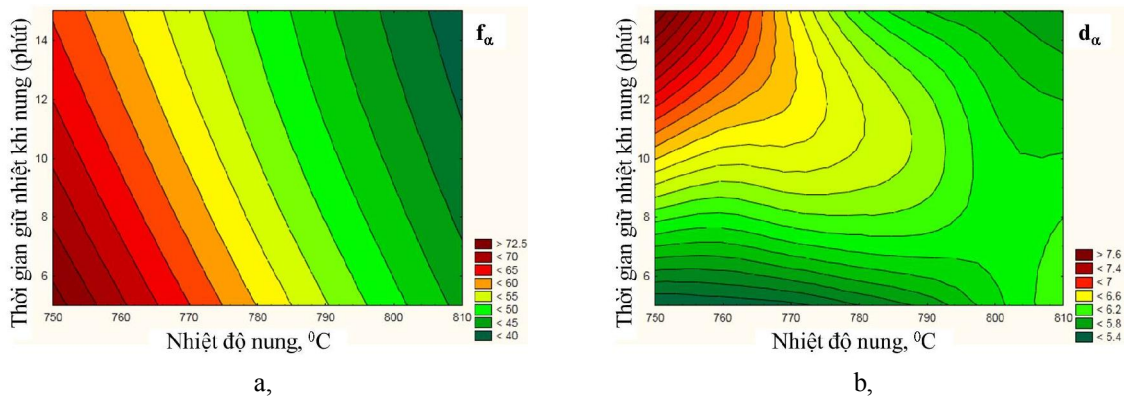
4.1. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tổ chức

Tổ chức tế vi thép TRIP nghiên cứu sau xử lý cơ-nhiệt có 3 pha F, B và Ô dư (xem Hình 5). Các pha rắn B và Ô dư nhỏ mịn phân tán đều trong nền pha F nhỏ. Pha Ô dư ở dạng đảo độc lập, có kích thước siêu nhỏ, chủ yếu nằm tiếp giáp với phân giới hạt ferit và một phần nhỏ nằm trong vùng B. Tỷ phần và cỡ hạt các pha phụ thuộc vào trạng thái xử lý nhiệt, trong đó, tỷ phần F từ 38,4 - 73,7%, B từ 19,9 - 57,7%, Ô dư từ 3,8 - 15,8% và cỡ hạt F từ 5,4 - 7,7%, hạt Ô dư từ 0,89 - 1,94%.

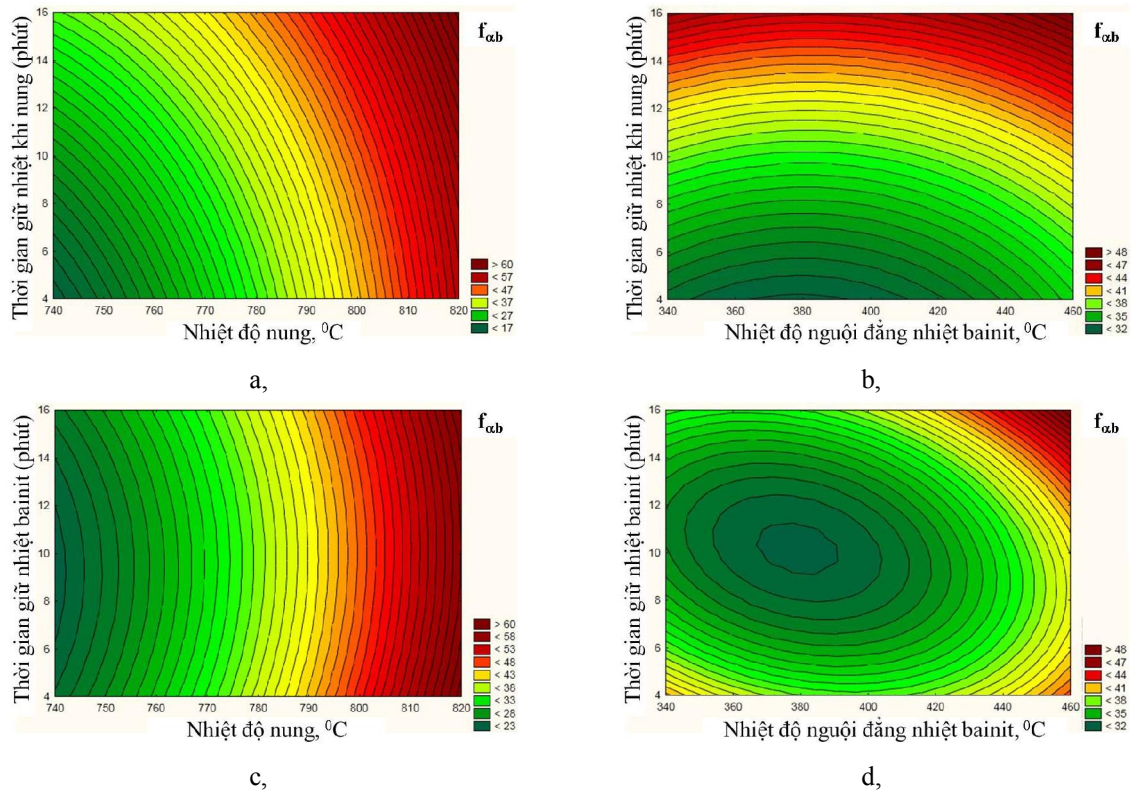
- Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tỷ phần và cỡ hạt pha F trình bày trên Hình 6. Thấy rằng, tỷ phần F giảm khi tăng nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt. Quy luật tuân theo động học chuyển biến pha trong vùng hai pha. Cỡ hạt F chịu ảnh hưởng phức tạp của nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt khi nung như trên Hình 6b. Có thể lập luận là do hạt F không chỉ chịu động học lớn lên của hạt, mà còn chịu tác động của tỷ phần pha thứ hai (B và Ô) choán chỗ khi thay đổi nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt khi nung.



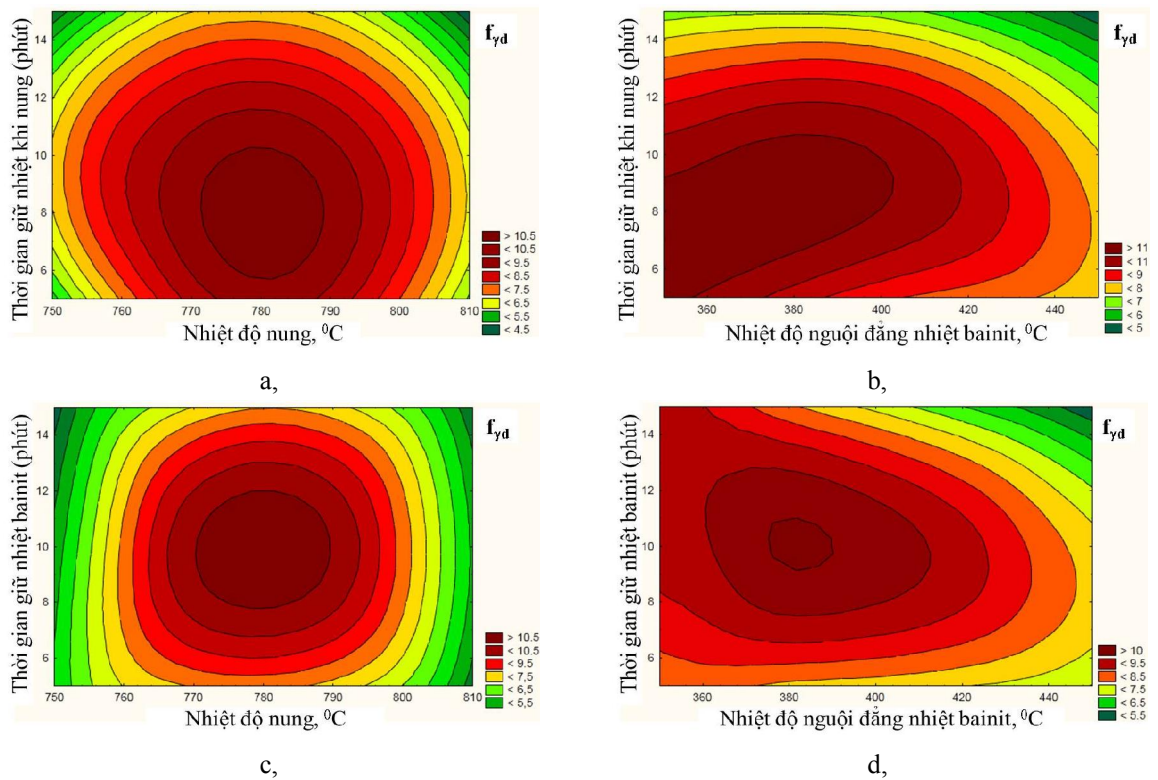
Hình 5. Tổ chức tế vi một mẫu đại diện ở chế độ xử lý nhiệt 780^oC/10'/400^oC/10'



Hình 6. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tỷ phần (a) và cỡ hạt (b) pha F



Hình 7. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tỷ phần pha B



Hình 8. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tỷ phần pha Ô dư

- Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tỷ phần pha B trình bày trên Hình 7. Thấy rằng, tăng nhiệt độ và thời gian nung đều có tác dụng làm tăng tỷ phần B. Quy luật này là tất yếu, do khi tăng nhiệt độ và thời gian nung làm tăng tỷ phần \hat{O} khi nung, nên sản phẩm chuyển biến của nó là B tăng lên. Nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt bainit cũng ảnh hưởng mạnh mẽ đến tỷ phần B và tuân theo quy luật động học của chuyển biến $\hat{O} \rightarrow B$.

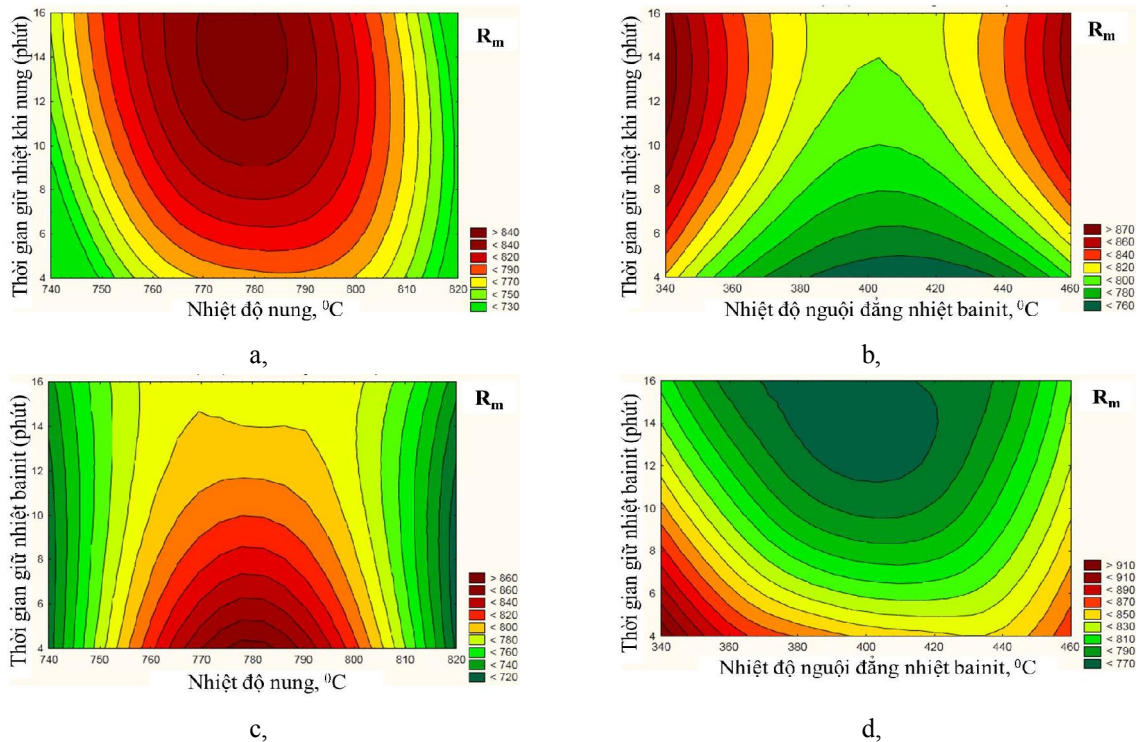
- Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến tỷ phần \hat{O} dư trình bày trên Hình 8. Có thể thấy, tồn tại phạm vi nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt khi nung và nhiệt độ và thời gian giữ nhiệt bainit nằm trung gian trong miền khảo sát để thu được tỷ phần \hat{O} dư lớn nhất.

4.2. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến cơ tính

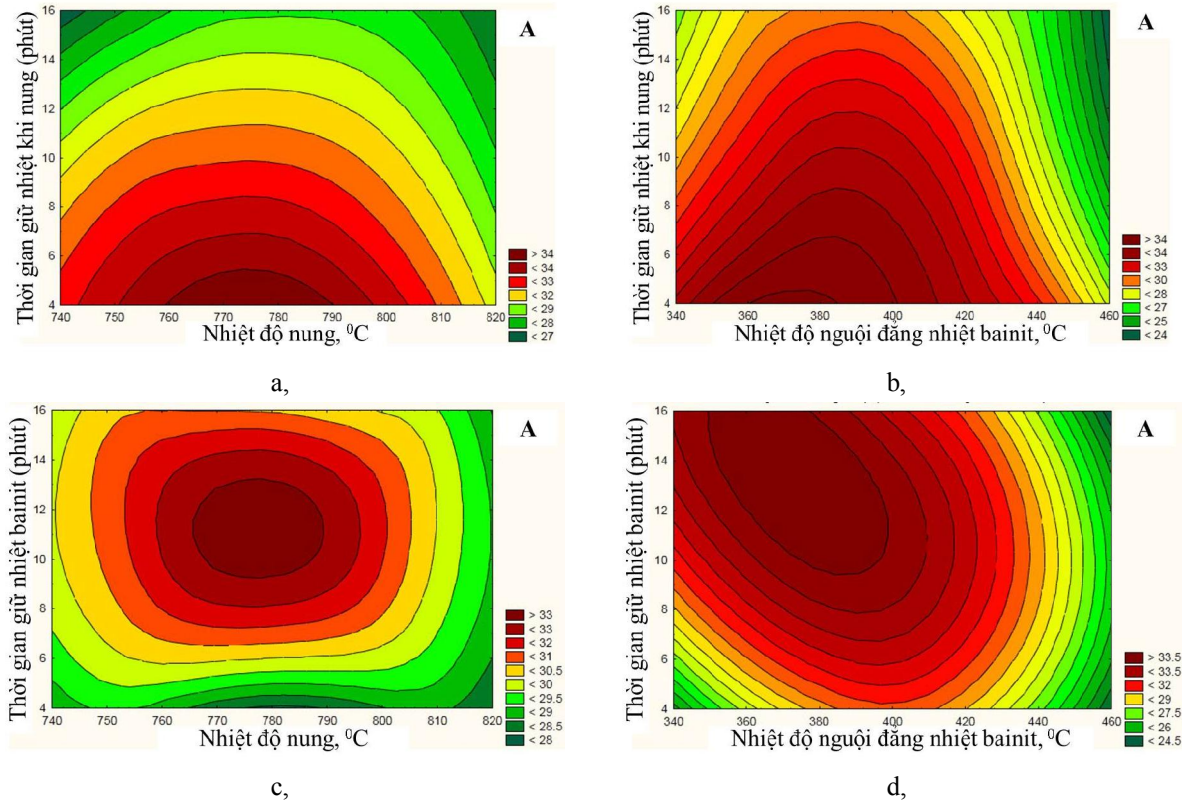
Bảng 2 so sánh một số chỉ tiêu cơ tính thu được của thép TRIP nghiên cứu với hai thép HSLA dùng làm vỏ động cơ tên lửa là 10ГHA và 30ХГСА và thép TRIP450/800 theo tiêu chuẩn. Có thể thấy, thép TRIP nghiên cứu có độ bền và độ dẻo kết hợp vượt trội so với hai thép 10ГHA và 30ХГСА, có thể thỏa mãn yêu cầu của thép TRIP tiêu chuẩn.

Bảng 2. So sánh cơ tính thép TRIP nghiên cứu với một số thép

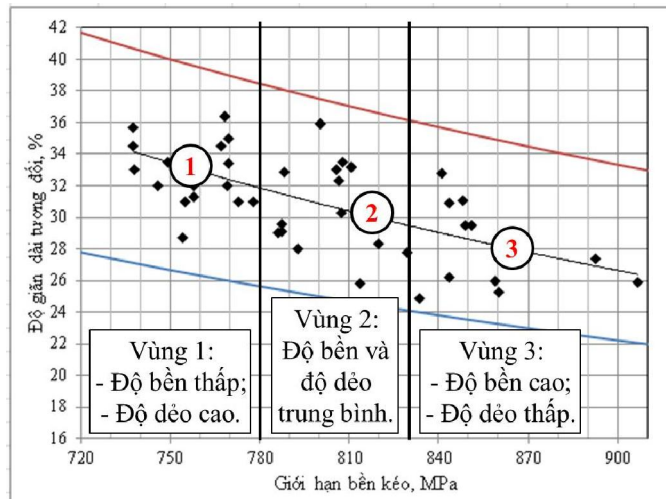
Loại thép	R_p (MPa)	R_m (MPa)	R_m/R_p	A (%)	n	Ghi chú	Tham khảo
10ГHA (10MnNiA)	≥ 375	≥ 490	1,31	≥ 25	-	Thường hóa	TY14-1-2376-78
30ХГСА(30CrMnSiA)	≥ 490	≥ 740	1,51	≥ 20	-	Thường hóa	ГОСТ 11269-76
TRIP 450/800	≥ 450	≥ 800	1,78	26-32	0,24		[10]
Thép NC	410-480	737-906	1,53-2,03	24,9-36,4	0,18-0,26		



Hình 9. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến giới hạn bền



Hình 10. Ảnh hưởng của thông số công nghệ đến độ giãn dài tương đối



Phân vùng	Tỷ phần pha (%)			Thông số công nghệ			
	f_a	f_{ob}	$f_{\gamma l}$	$T_{\alpha+\gamma}$ °C	$t_{\alpha+\gamma}$ phút	T_B , °C	t_B , phút
Vùng 1	53-58	30-40	≥ 10	775-785	5-8	370-400	8-14
	67-74	20-26	5-8	750-760	5-7	350-370	10-14
Vùng 2	53-62	32-40	6-10	765-780	5-10	350-370	7-10
Vùng 3	49-53	40-47	≤ 6	775-790	11-15	440-450	5-7
	49-58	40-47	6-10	770-790	11-15	350-370	5-7

Hình 11. Phân vùng tổ chức và thông số công nghệ theo tương quan độ bền - độ dẻo

Các Hình 9 và 10 biểu diễn quy luật ảnh hưởng của 4 thông số công nghệ khảo sát đến giới hạn bền và độ giãn dài tương đối của thép TRIP nghiên cứu. Từ các quan hệ này, bằng phương pháp đóng biểu đồ có thể chọn được phạm vi thông số công nghệ theo các chỉ tiêu cơ tính yêu cầu.

Từ các quan hệ thông số công nghệ nghiên cứu với tổ chức và cơ tính có thể xác định các bộ thông số công nghệ cho tương quan độ bền (giới hạn bền) - độ dẻo (độ giãn dài tương đối) như Hình 11. Có thể thấy:

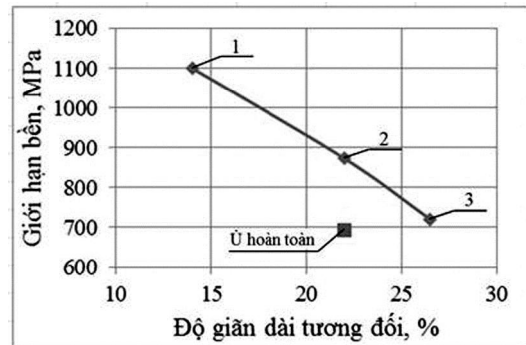
- Vùng 1 (vùng độ bền thấp, độ dẻo cao) là vùng hoặc tỷ phần pha dẻo austenit dư ($\geq 10\%$) hoặc tỷ phần ferit (67 - 74%) lớn nhất, còn tỷ phần pha rắn bainit thấp hơn trong 3 phân vùng. Như vậy, sự giảm đi về tỷ phần pha rắn bainit và sự tăng lên về tỷ phần pha dẻo ferit và austenit dư giúp cho thép có độ dẻo (độ giãn dài) cao nhất, song độ bền cũng thấp nhất. Vùng có tỷ phần austenit dư trên 10% cho độ dẻo cao nhất cũng phù hợp với công bố trong [9], [11].

- Vùng 2 (vùng độ bền và độ dẻo trung bình) là vùng có tỷ phần pha rắn bainit khoảng 32 -40% thấp hơn so với vùng 1, nhưng tỷ phần ferit cao hơn, còn tỷ phần austenit dư khoảng 6 - 10%. Như vậy, sự giảm đi về tỷ phần pha rắn bainit và sự tăng lên về tỷ phần pha dẻo ferit điều tiết tương quan độ bền và độ dẻo, làm giới hạn bền giảm đi, song độ giãn dài của thép tăng lên.

- Vùng 3 (vùng độ bền cao, độ dẻo thấp) là vùng thép có tỷ phần pha rắn bainit khoảng 40 - 47% cao nhất trong 3 phân vùng và tỷ phần austenit dư $\leq 10\%$. Kết quả này phù hợp với công bố của H. Takechi [11].

Tùy theo yêu cầu tính năng sản phẩm (hoặc bán thành phẩm) khác nhau, người công nghệ lựa chọn các bộ thông số công nghệ trên để xử lý sản phẩm.

Kiểm chứng vùng thông số công nghệ tối ưu độ bền-độ dẻo: Để khẳng định tính phổ quát của kết quả nghiên cứu, thực nghiệm kiểm chứng được tiến trên một mác thép TRIP CMnSi có thành phần gần tương tự (0,18%C - 1,8%Mn - 2,0%Si - 0,023%P - 0,014%S), thép được luyện từ sắt xốp và tinh luyện chân không. Phôi thép được gia công biến dạng và được xử lý nhiệt tương ứng với 3 chế độ thuộc các vùng 1, 2 và 3 như trên Hình 11. Kết quả kiểm chứng trình bày trên Hình 12 đã khẳng định sự phù hợp của quy luật rút ra từ nghiên cứu. Như vậy, kết quả nghiên cứu về các phân vùng tối ưu độ bền - độ dẻo đã rút ra có thể áp dụng vào thực tế sản xuất.



Hình 12. Quan hệ độ bền - độ dẻo thép TRIP CMnSi nghiệm chứng

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Bài báo đã báo cáo một số kết quả nghiên cứu về sản xuất một mác thép TRIP CMnSi với yêu cầu độ sạch tạp chất cao được đảm bảo nhờ dùng nguyên liệu sạch sắt xốp và tinh luyện, tiếp sau xử lý cơ - nhiệt TRIP đúng tổ chức ba pha F, B, Ô dư, cho cơ tính phù hợp yêu cầu tiêu chuẩn.

- Đã đưa ra quy luật về bộ thông số công nghệ tối ưu cho phép nhận được cơ tính thép theo yêu cầu độ bền cao khi sử dụng, độ dẻo tốt khi cần gia công biến dạng. Kết quả được nghiệm chứng, khẳng định tính đúng đắn của quy luật, có thể sử dụng bộ thông số công nghệ vào điều kiện sản xuất thực ở Việt Nam.

Nhóm tác giả kiến nghị nhà nước đầu tư nghiên cứu sản xuất mác thép TRIP dùng thay thế thép nhập ngoại chế tạo các sản phẩm dạng ống thành mỏng chịu lực (vỏ động cơ tên lửa, bình áp lực) trong quốc phòng.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Dự án Khoa học công nghệ cấp nhà nước - MIREX và nhóm nghiên cứu thép hợp kim từ sắt xốp đã luyện mác thép TRIP đúng yêu cầu và hỗ trợ thực nghiệm cho nhóm tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

DANH MỤC DANH PHÁP/KÝ HIỆU

F, B, M và Ô: Viết tắt của từ ferit, bainit, mactenxit và ôstenit.

HSLA: Viết tắt của từ High Strength Low Alloy, nghĩa là “Hợp kim thấp độ bền cao”.

α , α_b , γ_d và α' : Tương ứng ký hiệu của ferit, bainit, ôstenit dư và mactenxit.

f , σ và ε : Tỷ phần, ứng suất và biến dạng của các pha.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đinh Văn Hiến, Trần Công Thức, Lê Văn Long và Đinh Bá Trụ, “Nghiên cứu chế tạo thép chuyển pha do biến dạng dẻo họ CMnSiAl có nguồn gốc sắt xốp”, *Tạp chí nghiên cứu KH&CN quân sự - Viện KH&CN quân sự*, số kỷ niệm 55 năm Viện KHCNQS, tr. 160-167, Hà Nội, 10-2015.
- [2]. Đinh Văn Hiến, Đinh Bá Trụ và Nguyễn Văn Chúc, “Nghiên cứu ứng xử cơ học của thép chuyển pha do biến dạng dẻo họ MnSi dưới điều kiện xử lý cơ - nhiệt”, *Tạp chí nghiên cứu KH&CN quân sự - Viện KH&CN quân sự*, số đặc san Tên lửa, tr. 276-282, Hà Nội, 09-2016.
- [3]. Đinh Văn Hiến, Đinh Bá Trụ, Nguyễn Văn Chúc và Lê Văn Long, “Ảnh hưởng của cán nguội đến tổ chức và cơ tính của thép 0,22C-1,4Mn-1,6Si được xử lý cơ-nhiệt”, *Kỷ yếu Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí Động lực 2016*, tr. 468-473 Hà Nội, 10-2016.
- [4]. B.C. De-Cooman, "Structure-properties relationship in TRIP steels containing carbide-free bainite," *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol. 8, 2004.
- [5]. N Fonstein, “Advanced High Strength Sheet Steels, 1st ed.”, *Springer International Publishing*, 2015.
- [6]. Halfa Hossam, "Recent Trends in Producing Ultrafine Grained Steels", Helwan, Egypt , 2014.
- [7]. P Jacques, "Transformation-induced plasticity for high strength formable steels", *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol. 8, 2004.
- [8]. P Jacques et al., "Micromechanical characterisation of TRIP-assisted multiphase steels by in situ neutron diffraction", *Philosophical Magazine*, vol. 86, no. 16, 2006.
- [9]. S J Kim, C G Lee, Choi I, and S Lee, "Effects of Heat Treatment and Alloying Elements on the Microstructures and Mechanical Properties of 0.15 Wt Pct C Transformation-Induced Plasticity-Aided Cold-Rolled Steel Sheets", *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 32A, 2001.
- [10]. K. Stuart and K. Menachem, "Advanced High-Strength Steels Application Guidelines - Version 5.0," 2014.
- [11]. H. Takechi, “Transformation hardening of steel sheet for automotive applications”, *Solid-State Phase Transformations*, Vol. 60, no. 12, 2008.