

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ TÔI CẬN TỚI HẠN VÀ NHIỆT ĐỘ RAM ĐẾN CƠ TÍNH VÀ TỔ CHỨC TẾ VI CỦA THÉP HỢP KIM THẤP 30CrMnSi CHẾ TẠO TỪ SẮT XỐP

EVALUATION OF EFFECT OF SUBCRITICAL QUENCHING TEMPERATURE AND TEMPERING TEMPERATURE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF 30CrMnSi LOW-ALLOY STEEL MADE FROM SPONGE IRON

Phùng Tuấn Anh^{1,*}, Trần Văn Chiến², Nguyễn Trường An¹, Bùi Công Đoàn³

¹Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

²Viện Kỹ thuật Cơ giới quân sự, Tổng cục Hậu cần – Kỹ thuật

³Cục Kỹ thuật, Quân chủng Phòng không – Không quân

*Email: phungtuuananhmta@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ tôi ở các vùng nhiệt độ khác nhau, bao gồm cả vùng nhiệt độ cận tới hạn và nhiệt độ ram đến tổ chức và cơ tính của thép hợp kim thấp 30CrMnSi được chế tạo từ sắt xốp. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm chỉ ra rằng, nhiệt độ tôi và ram ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của thép 30CrMnSi. Khi tôi ở nhiệt độ cận tới hạn (trong vùng Ac_1 đến Ac_3) từ (800-820)°C, tổ chức thu được sau tôi gồm martenxit và austenit dư và lượng ferit không chuyển biến, quá trình ram tiếp theo cho độ bền không cao nhưng độ dẻo dai tốt hơn so với khi tôi ở vùng nhiệt độ trên Ac_3 (840-880)°C, do sau tôi chỉ gồm martenxit và austenit dư và không còn ferit. Với cùng nhiệt độ tôi, khi tăng nhiệt độ ram, độ bền sẽ giảm xuống và ở 600°C, thép có độ dẻo dai cao nhất, độ bền thấp nhất. Tăng nhiệt độ tôi lên trên 900°C, hạt austenit có xu hướng thô to, không thích hợp để xử lý nhiệt cho các chi tiết kết cấu. Khi ram ở nhiệt độ trên 600°C, độ bền của thép giảm nhanh, không đáp ứng yêu cầu làm việc của chi tiết kết cấu. Các kết quả nghiên cứu này góp phần làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm cải thiện các tính chất của thép chế tạo từ sắt xốp trong sản xuất thực tiễn ở Việt Nam.

Từ khóa: Sắt xốp; Thép 30CrMnSi; Nhiệt độ tôi cận tới hạn; Nhiệt độ ram; Cơ tính; Tổ chức tế vi.

ABSTRACT

This paper presents the research results on the effects of quenching temperatures (including subcritical temperatures) and tempering temperatures on the microstructure and mechanical properties of low-alloy steel 30CrMnSi made from sponge iron. Experimental results show that quenching and tempering temperatures significantly affect on the properties of 30CrMnSi steel. At a subcritical quenching temperature of (800-820)°C, the microstructure after quenching still contains

a small amount of ferrite, and the tempering process results in lower strength but better toughness compared to quenching at A_{c3} higher temperature (840-880)°C (only austenite phase zone), because of no ferrite remains after quenching. At the same quenching temperature, increasing the tempering temperature reduces strength, with the highest toughness and lowest strength achieved at 600°C. When tempered above 600°C, the strength of steel decreases rapidly, failing to meet the operational requirements of structural components. These research results is the basis for further studies in order to improve the properties of steel made from sponge iron in practical production in Vietnam.

Keywords: *Sponge iron; 30CrMnSi steel; Subcritical quenching temperature; Tempering temperature; Mechanical properties; Microstructure.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép hợp kim thấp 30CrMnSi đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới bởi bởi cơ tính cao và độ dẻo dai tốt [1, 2]. Thép được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp hóa chất, vũ khí, các chi tiết máy chịu lực, các chi tiết trong thiết bị bay... chẳng hạn như: trục, bánh răng, mặt bích, vỏ máy, cánh máy nén, ròng rọc, các cấu trúc hàn quan trọng hoạt động dưới tải trọng đổi dấu... Công nghệ chế tạo thép 30CrMnSi rất đa dạng, từ nấu luyện truyền thống đến sử dụng sắt xốp, in 3D, phun phủ laser... [3-7]. Thép hợp kim này được nghiên cứu theo nhiều hướng khác nhau, bao gồm xử lý nhiệt thông thường đến xử lý cơ nhiệt

để thay đổi cơ tính, cũng như ứng dụng phun phủ để làm thay đổi tính chất bề mặt [8-11]. Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu thép 30CrMnSi bắt đầu phát triển mạnh ở Việt Nam [12-15]. Bài báo này trình bày nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ tôi và ram đến cơ tính và tổ chức tế vi của thép hợp kim thấp 30CrMnSi chế tạo từ sắt xốp.

2. THỰC NGHIỆM

Thép 30CrMnSi thuộc loại thép hợp kim thấp với thành phần hóa học được cho trong bảng 1 (ГОСТ 4543-2016). Thép hợp kim nghiên cứu chế tạo từ sắt xốp có thành phần hóa học được cho trong bảng 2.

Bảng 1. Thành phần hóa học (%) của mác thép 30CrMnSi (ГОСТ 4543-2016)

Mác thép	Thành phần hóa học, % (Khối lượng)								
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Fe	S	P
30CrMnSi	0,28-0,34	0,90-1,20	0,80-1,10	≤ 0,3	0,8-1,1	≤ 0,3	Còn lại	≤ 0,035	≤ 0,035

Bảng 2. Thành phần hóa học (%) của mác thép 30CrMnSi nghiên cứu

Thành phần hóa học, % (Khối lượng)								
C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Fe	S	P
0,309	1,038	0,986	0,112	0,987	0,083	96,549	0,021	0,029



Thép 30CrMnSi là thép hợp kim thấp trước cùng tích, cần xác định nhiệt độ tới hạn Ac_1 và Ac_3 để lựa chọn nhiệt độ tôi. Theo một số tài liệu đã công bố với thép hợp kim thấp, nhiệt độ Ac_1 và Ac_3 có thể được tính theo công thức:

1) Kunitake & Katou (1964) [16]:

$$Ac_1 (^{\circ}C) = 754.83 - 32.25C - 17.76Mn + 23.32Si + 17.3Cr + 4.51Mo + 15.62V.$$

$$Ac_3 (^{\circ}C) = 920.21 - 394.75C - 14.40Mn + 54.99Si + 5.77Cr + 24.49Mo + 83.37V.$$

2) Kasatkin et al. (1984) [17]:

$$Ac_1 (^{\circ}C) = 723 - 7.08Mn + 37.7Si + 18.1Cr + 44.2Mo + 8.95Ni + 50.1V + 21.7Al + 3.18W + 297S - 830N - 11.5CSi - 14.0MnSi - 3.10SiCr - 57.9CMo - 15.5MnMo - 5.28CNi$$

$$- 6.0MnNi + 6.77SiNi - 0.80CrNi - 27.4CV + 30.8MoV - 0.84Cr^2 - 3.46Mo^2 - 0.46Ni^2 - 28V^2.$$

$$Ac_3 (^{\circ}C) = 912 - 370C - 27.4Mn + 27.3Si - 6.35Cr - 32.7Ni + 95.2V + 190Ti + 72Al + 65.6Nb + 5.57W + 332S + 276P + 485N - 900B + 16.2CMn + 32.3CSi + 15.4CCr + 48CNi + 4.32SiCr - 17.3SiMo + 18.6SiNi + 4.8MnNi + 40.5MoV + 174C^2 + 2.46Mn^2 - 6.86Si^2 + 0.322Cr^2 + 9.9Mo^2 + 1.24Ni^2 - 60.2V^2.$$

3) Hougardy (1984) [18]:

$$Ac_1 (^{\circ}C) = 739 - 22C - 7Mn + 2Si + 14Cr + 13Mo - 13Ni.$$

$$Ac_3 (^{\circ}C) = 902 - 255C + 19Si - 11Mn - 5Cr + 13Mo - 20Ni + 55V.$$

Nhiệt độ Ac_1 và Ac_3 tính toán cụ thể đối với thép 30CrMnSi được cho trong bảng 3.

Bảng 3. Nhiệt độ Ac_1 và Ac_3 tính toán của thép 30CrMnSi nghiên cứu

Tác giả	Nhiệt độ Ac_1 , $^{\circ}C$	Nhiệt độ Ac_3 , $^{\circ}C$
Kunitake & Katou (1964) [16]	~767	~837
Kasatkin et al. (1984) [17]	~734	~832
Hougardy (1984) [18]	~739	~823

Trong khi đó, nhiệt độ Ac_1 và Ac_3 được công bố đối với thép 30CrMnSi theo ГОСТ của Nga thường khoảng $760^{\circ}C$ và $830^{\circ}C$, tương ứng [19]. Do vậy, nhiệt độ tôi đối với thép nghiên cứu được lựa chọn trong khoảng 800 đến $880^{\circ}C$, tức là bao gồm cả nhiệt độ trong vùng cận tới hạn (Ac_1 đến Ac_3) và vùng 1 pha (trên Ac_3).

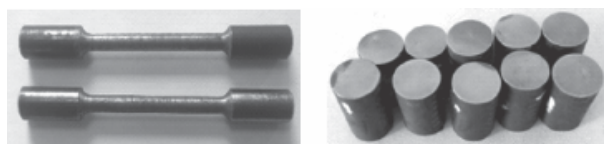
Mẫu thép nghiên cứu được chế tạo từ sắt xốp có dạng hình trụ với đường kính 18 mm. Để đảm bảo sự đồng đều của các mẫu thép trước khi nghiên cứu, tất cả các mẫu được thường hóa sơ bộ bằng cách nung các mẫu ở $880^{\circ}C$ trong 1h, sau đó lấy ra để nguội trong

không khí tĩnh. Tiếp theo tiến hành tôi và ram ở các nhiệt độ khác nhau, cụ thể:

- Nhiệt độ nung tôi lựa chọn bao gồm vùng cận tới hạn dưới Ac_3 ($800^{\circ}C$, $820^{\circ}C$) và vùng trên Ac_3 gồm 840 , 860 và $880^{\circ}C$ với môi trường nguội là dầu.

- Nhiệt độ ram ngay sau tôi được lựa chọn là 200 , 300 , 400 , 500 và $600^{\circ}C$. Thời gian ram thông thường được xác định theo thực nghiệm. Để đảm bảo tính đồng đều và dễ dàng so sánh, với đường kính mẫu thử 18 mm, thời gian ram cho tất cả các mẫu sau tôi được lựa chọn là 90 phút [20, 21].

Sau xử lý nhiệt, tiến hành khảo sát cơ tính và tổ chức tế vi của thép. Các mẫu thí nghiệm thử kéo và kiểm tra độ cứng, tổ chức tế vi được cho trên hình 1.

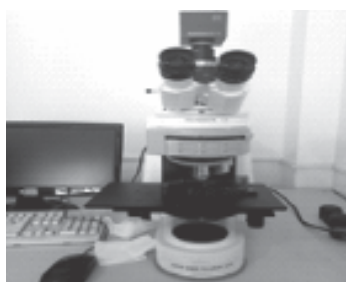


a) b)
Hình 1. Mẫu thử kéo (a) và mẫu kiểm tra tổ chức tế vi (b).

Thiết bị nhiệt luyện tôi và ram NABERTHERM (Đức) (Hình 2), kính hiển vi Axio Imager A2M (Hình 3) để chụp ảnh tổ chức tế vi được tại Phòng Thí nghiệm Vật liệu – Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự. Thí nghiệm thử kéo được thực hiện trên thiết bị thử kéo nén vạn năng TT-HW2-1000 (Canada) đặt tại Trung tâm Đo lường – Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng (Hình 4).



a) b)
Hình 2. Lò nhiệt luyện tôi (a) và ram (b) của hãng Nabertherm.



Hình 3. Kính hiển vi quang học Axio Image A2M.

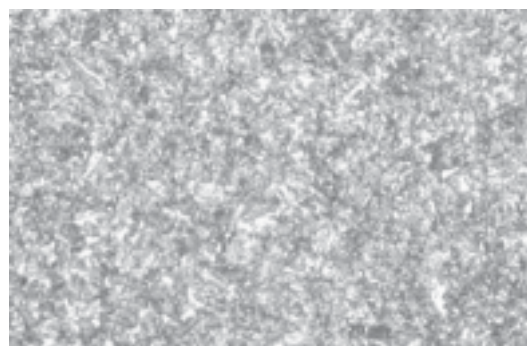


Hình 4. Thiết bị thử kéo nén vạn năng TT-HW2-1000.

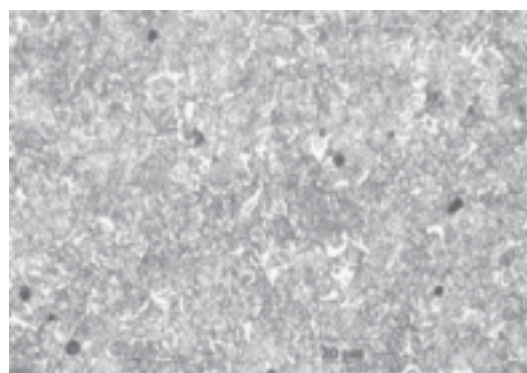
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tổ chức tế vi

Tổ chức tế vi của thép ở các chế độ nhiệt luyện khác nhau được cho trong các hình 5 đến 18.

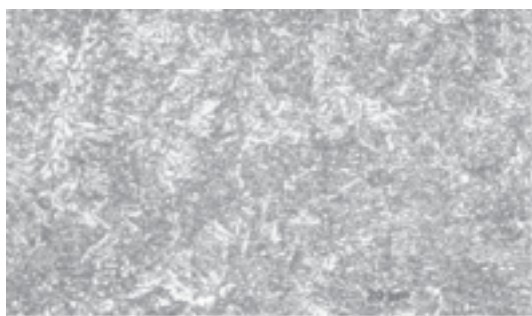


Hình 5. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 800°C và ram ở 400°C/1,5h, x200.

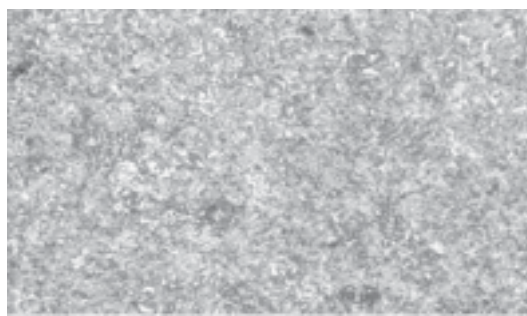


Hình 6. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 820°C và ram ở 400°C/1,5h, x200.

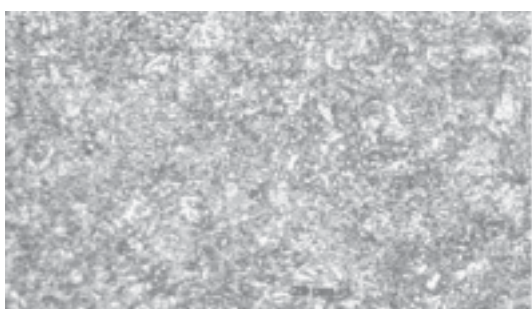




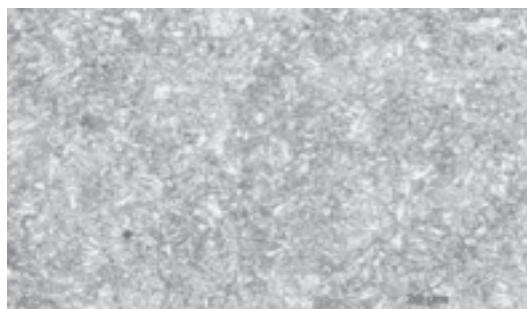
Hình 7. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 840°C và ram ở 200°C/1,5h, x200.



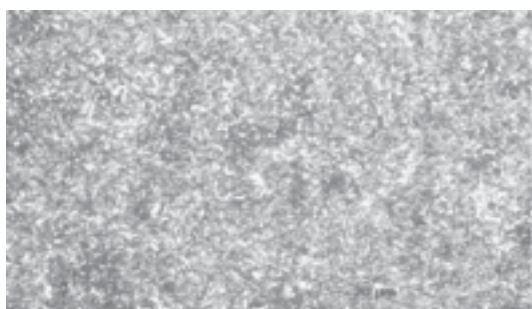
Hình 11. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 860°C và ram ở 200°C/1,5h, x200.



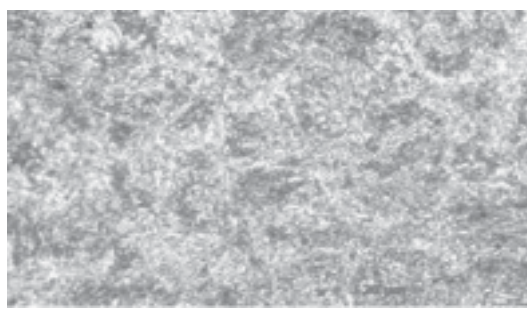
Hình 8. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 840°C và ram ở 400°C/1,5h, x200.



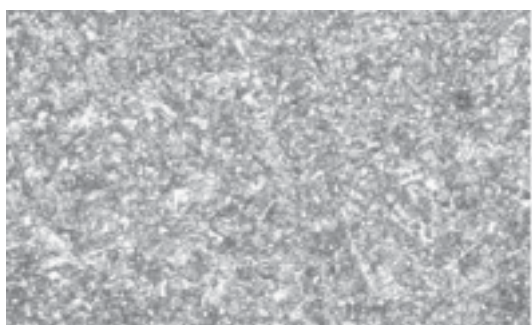
Hình 12. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 860°C và ram ở 400°C/1,5h, x200.



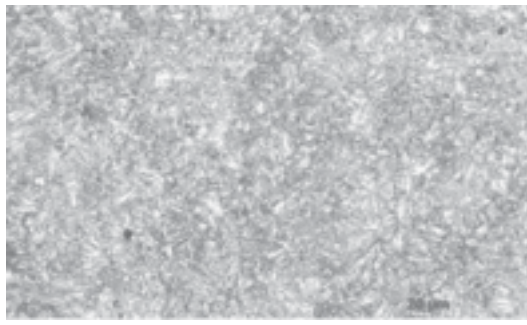
Hình 9. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 840°C và ram ở 500°C/1,5h, x200.



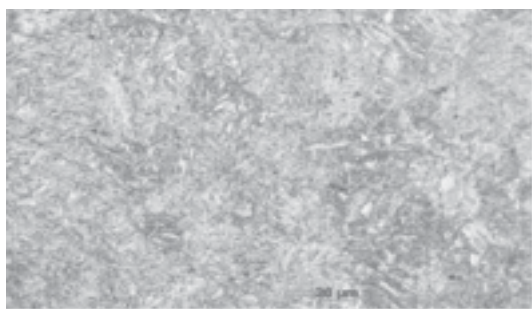
Hình 13. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 860°C và ram ở 600°C/1,5h, x200.



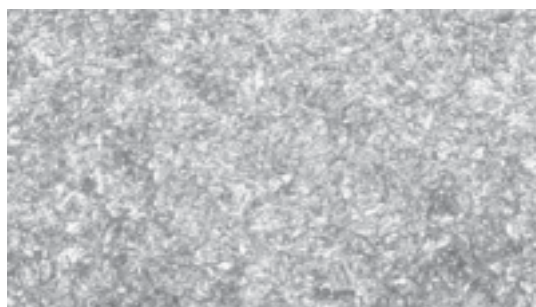
Hình 10. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 840°C và ram ở 600°C/1,5h, x200.



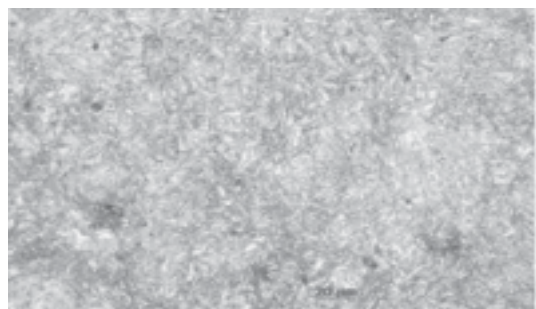
Hình 14. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 880°C và ram ở 200°C/1,5h, x200.



Hình 15. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 880°C và ram ở 400°C/1,5h, x200.



Hình 16. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 880°C và ram ở 500°C/1,5h, x200.



Hình 17. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 900°C và ram ở 200°C/1,5h, x200.



Hình 18. Tổ chức của thép 30CrMnSi sau tôi ở 900°C và ram ở 400°C/1,5h, x200.

Từ các ảnh tổ chức tế vi có thể thấy, khi nung tôi ở vùng nhiệt cận tới hạn 800-820°C (trong vùng nhiệt độ giữa Ac_1 và Ac_3), tổ chức tế vi thu được nằm trong vùng hỗn hợp hai pha austenit và ferit, tức là các pha thứ hai hòa tan chưa hết vào austenit. Sau quá trình tôi trong dầu, phần austenit được chuyển thành martenxit, trong khi lượng ferit vẫn giữ nguyên không chuyển biến (Hình 5, 6). Chính lượng ferit này làm cho thép mềm hơn, cơ tính sẽ thấp hơn nhưng độ dẻo dai khá cao.

Trái lại, khi tôi trong các khoảng nhiệt độ từ (840-880)°C, tổ chức tế vi thu được là martenxit và lượng nhỏ austenit dư. Ferit gần như không còn trong tổ chức của thép sau tôi. Khi ram, tổ chức phân rã dần từ martenxit ram (<300°C) sang tổ chức xoocbit ram ở nhiệt độ trên 400°C rất đặc trưng. Trong vùng nhiệt độ ram 400-600°C, tổ chức này có cơ tính tổng hợp tốt, độ bền cao kết hợp với độ dẻo dai tốt (Hình 12, 13, 15 và 16). Khi nhiệt độ ram trên 600°C, thép thải bền rất nhanh do quá trình phân rã hoàn toàn martenxit thành ferit và xementit diễn ra cũng rất nhanh, hạt có xu hướng thô hơn.

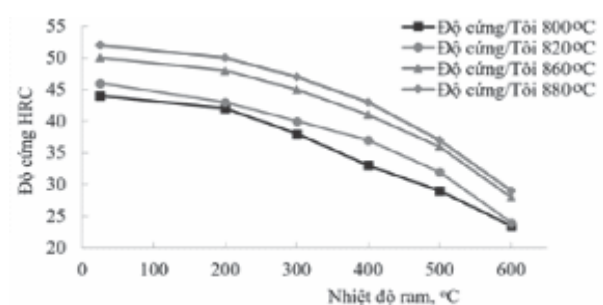
Khi tôi ở nhiệt độ cao trên 900°C, xu hướng hạt austenit lớn lên dẫn đến hạt càng thô to, quá trình ram tiếp theo sẽ ảnh hưởng đến tính chất sau cùng của thép (Hình 17, 18).

3.2. Các đặc trưng thử kéo

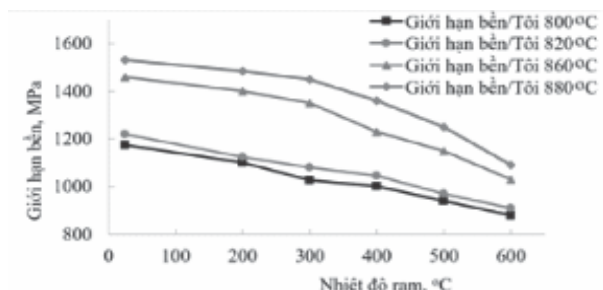
Sự thay đổi tính chất của thép 30CrMnSi còn thể hiện rõ hơn thông qua quá trình thử kéo. Hình 19 đến 22 mô tả sự phụ thuộc độ cứng, giới hạn bền, giới hạn chảy và độ giãn dài vào nhiệt độ tôi lựa chọn là 800, 820, 860 và 880°C và ram ở các nhiệt độ khác nhau.

Thông qua các đặc trưng thử kéo, rõ 

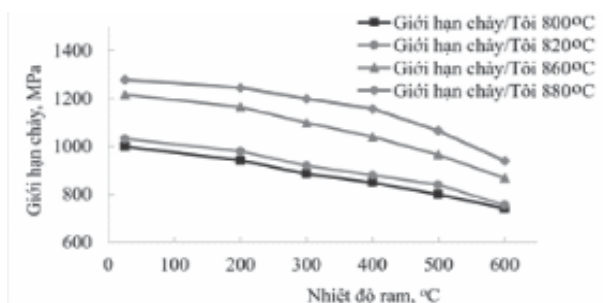
ràng, khi tôi trong vùng nhiệt độ giữa Ac_1 và Ac_3 (800-820°C) và ram ở các vùng nhiệt độ khác nhau từ (200-600)°C, độ bền của thép đạt được không cao (do trong tổ chức có ferit) nhưng độ dẻo cao so với tôi ở nhiệt độ trên Ac_3 (860-880°C) (trong tổ chức không còn ferit). Ở cùng nhiệt độ tôi, khi tăng nhiệt độ ram, độ bền của thép giảm và độ dẻo dai tăng lên. Với quá trình ram ở nhiệt độ thấp, tuy độ bền cao hơn nhưng độ dẻo khá thấp (dưới 10%).



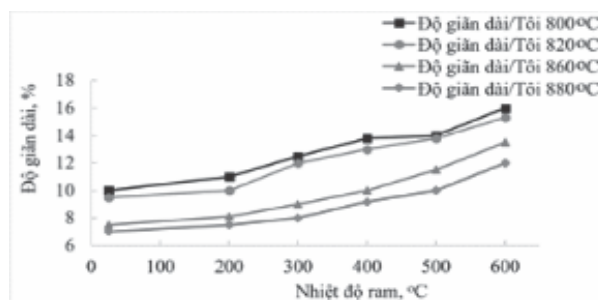
Hình 19. Sự phụ thuộc độ cứng của thép 30CrMnSi vào nhiệt độ tôi và ram.



Hình 20. Sự phụ thuộc giới hạn bền của thép 30CrMnSi vào nhiệt độ tôi và ram.



Hình 21. Sự phụ thuộc giới hạn chảy của thép 30CrMnSi vào nhiệt độ tôi và ram.



Hình 22. Sự phụ thuộc độ giãn dài của thép 30CrMnSi vào nhiệt độ tôi và ram.

Khi ram ở nhiệt độ cao (400-600)°C, độ dẻo đều tăng lên (lên đến 15% ở 600°C), nhưng độ bền vẫn đạt giá trị khá cao, thích hợp cho các chi tiết chịu tải trọng nặng và va đập. Khi ram ở nhiệt độ trên 600°C, tổ chức hạt trở nên thô hơn dẫn đến độ bền của thép giảm nhanh. Điều đó cho thấy, việc lựa chọn nhiệt độ tôi và ram thích hợp đối với thép 30CrMnSi sẽ căn cứ vào điều kiện làm việc cụ thể của chi tiết.

4. KẾT LUẬN

Qua khảo sát xử lý nhiệt đối với thép 30CrMnSi có thể thấy, nhiệt độ tôi và ram có ảnh hưởng rất lớn đến tổ chức và cơ tính của thép 30CrMnSi chế tạo từ sắt xộp. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, khi tôi và ram ở nhiệt độ trong vùng Ac_1 và Ac_3 (800-820°C) sau đó ram ở các nhiệt độ khác nhau trong khoảng (200-600)°C cho độ bền thấp hơn nhưng có độ dẻo cao hơn khi tôi trong khoảng nhiệt độ (860-880)°C và ram ở các nhiệt độ tương tự. Ở cùng nhiệt độ tôi, khi tăng nhiệt độ ram, độ bền của thép giảm xuống nhưng độ dẻo dai tăng lên. Khi nhiệt độ giảm của thép trên 600°C, độ bền giảm rất nhanh, không đáp ứng yêu cầu của chi tiết kết cấu. Các kết quả khảo sát thực nghiệm này cho phép lựa chọn vùng nhiệt độ tôi và ram dựa vào yêu cầu làm việc của từng chi tiết cụ thể, đáp ứng nhu cầu đa dạng trong chế tạo các kết cấu cơ khí. ❖

Ngày nhận bài: 16/6/2025

Ngày phản biện: 30/6/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Ning Li, Weifang Zhang, Hai Xu, Yikun Cai and Xiaojun Yan, “Corrosion Behavior and Mechanical Properties of 30CrMnSiA High-Strength Steel under an Indoor Accelerated Harsh Marine Atmospheric Environment”. *Materials* 2022, 15(2), 629. <https://doi.org/10.3390/ma15020629>.
- [2]. Liu Zhiqiang, Li Xiaohong, Ma Biao, et al., “Effect of heat treatment on impact property of 30CrMnSi steel”. *Heat Treatment of Metals*, 2015, 40(4), pp. 74-76. <https://doi.org/10.13251/j.issn.0254-6051.2015.04.017>.
- [3]. Wang Yu-fei, Zhi Ai-juan et al., “Heat treatment process of forged bucket tooth and its microstructure and properties”. *Heat Treatment of Metals*, Vol. 45, Issue (1), 2020, pp. 188-192. <https://doi.org/10.13251/j.issn.0254-6051.2020.01.037>.
- [4]. Liu Zhiqiang, Li Chunjie et al., “Improvement on heat treatment process of 30CrMnSi steel”. *Hot Working Technology*, 2016, 45(4), pp. 168-170.
- [5]. Lin-zhi Wang and et. al., “SLM-manufactured 30CrMnSiA alloy: Mechanical properties and microstructural effects of designed heat treatment”. *Optics & Laser Technology*, Volume 107, November 2018, Pages 89-98 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.05.020>.
- [6]. Ziwei Feng and et. al., “Effect of laser texturing on the surface characteristics and bonding property of 30CrMnSiA steel adhesive joints”. *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 47, November 2019, Pages 219-228 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.09.046>.
- [7]. Huiyuan Xiao, Yongxiang Geng, Haizhong Zheng, Yixin Xiao, “Microstructure evolution mechanisms and mechanical properties of 30CrMnSiA steel repaired by laser cladding”. *Materials Today Communications* 40, 2024(8):109845. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109845>.
- [8]. Lin-Zhi Wang, Wen-Hou Wei, “Selective Laser Melting of 30CrMnSiA Steel: Laser Energy Density Dependence of Microstructural and Mechanical Properties”. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)* 2018, 31 (8), pp. 807-814. <https://doi.org/10.1007/s40195-018-0717-5>.
- [9]. Wu, Rongda and Geng, Yongxiang and Zheng, Haizhong and Xiao, Yixin and Xiao, HuiYuan, “Enhancing Structure and Properties of Laser Repairing 30CrMnSiA Alloy Assisted by Ultrasound and Heat Treatment”. *Materials Today Communications*, 8 Oct 2024, 26 Pages. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4978504>.
- [10]. Kong Yao, Zongde Liu, Liu Quanbing, “Effect of Laser Power on Microstructure and Properties of Ni-based Alloy Coatings on 30CrMnSiA Steel”. *Journal of Thermal Spray Technology* 31 (1), July 2022, pp. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1007/s11666-022-01416-x>.
- [12]. Nguyễn Trường An, Nguyễn Mạnh Tiến, Nguyễn Quốc Việt, “Nghiên cứu nấu luyện mác thép 30CrMnSi từ nguyên liệu sắt xộp trong lò cảm ứng”. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, No. 10, 2016, trang 43-48.
- [13]. Đinh Bá Trữ, Trần Văn Đoàn, Phan Thanh Bình, Đinh Văn Hiến, Trần Công Thúc, Lê Văn Long, Nguyễn Tiến An, “Nghiên cứu luyện và xử lý nhiệt một số mác thép độ bền cao tiên tiến”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 61(8) 8.2019, trang 49-53.
- [14]. Lại Đăng Giang, Nguyễn Trường An, Nguyễn Quốc Việt, Bùi Công Đoàn, “Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ cơ nhiệt đến cơ tính của thép 30CrMnSi được nấu luyện từ sắt xộp”. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, số 1+2 năm 2019, trang 28-34.
- [15]. Trần Danh Vũ, Phạm Thế Hùng, Lê Nhật Bằng, Tạ Thị Yến, Đinh Duy Phương, Phạm Sỹ Liên, Nguyễn Trung Kiên, Hoàng Thị Kim Dung, Trần Công Thúc, “Nghiên cứu công nghệ luyện thép mác 30CrMnSi từ sắt xộp bằng lò điện cảm ứng”. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, số 8 năm 2021, trang 45.
- [16]. Kunitake, T. & Katou, T., “Effect of Various Alloying Elements on Si-Cr-Mo-V Steel”. *Tetsu-to-Hagané*, 50:4, 1964, pp. 666-668.
- [17]. Kasatkin, O.G. et al., “Calculation Models for Determining the Critical Points of Steel”. *Metal Science and Heat Treatment*, 26:1-2, January-February 1984, pp. 27-31.
- [18]. Hougardy, H.P., “*Werkstoffkunde Stahl – Band 1: Grundlagen*”. Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 1984, p. 229.
- [19]. Сорокин В.Г., Гervасьев М.А., “*Стали и сплавы*”. Марочник: Справочник. Издательство:Интермет; Год: 2001, 608с.
- [20]. William E. Bryson, “*Heat Treatment, Selection, and Application of Tool Steels*”. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2009, p. 35. ISBN: 978-3-446-41941-4 (eISBN: 978-3-446-43670-1).
- [21]. Nong Wan, Weihao Xiong and Jinping Suo, “Mathematical Model for Tempering Time Effect on Quenched Steel Based on Hollomon Parameter”. *J. Mater. Sci. Technol.*, Vol.21, No.6, 2005, pp. 803-806.