

INFLUENCE OF TEMPERING TEMPERATURE ON STRUCTURE AND HARDNESS OF 29% Cr WHITE CAST IRON APPLICATION FOR MAKING SCREW SHAFT IN BRICK EXTRUSION MACHINE

Nguyen Ngoc Minh

School of Materials Science and Engineering - Hanoi University of Science and Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	26/5/2025	High-chromium white cast iron possesses excellent wear and corrosion resistance. To achieve these properties, the cast iron is typically quenched and then tempered at various temperatures to modify the density and size of the secondary carbide particles precipitated during the tempering process. In this study, high-chromium white cast iron containing 29% Cr, after being quenched at 950 °C, was tempered at temperatures ranging from 200 °C to 500 °C. Optical microscopy, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy were used to observe and evaluate the precipitation of carbide particles in the resulting microstructure. A hardness tester was also employed to assess the changes in hardness. The results indicate that tempering temperature affects the precipitation of secondary carbide particles, thereby altering the hardness of the cast iron. Within the tempering temperature range of 200 °C to 500 °C, an increase in temperature tends to result in higher hardness. This study also contributes to a better understanding of the influence of secondary carbide density on the hardness of 29%Cr white cast iron during the tempering process.
Revised:	20/8/2025	
Published:	20/8/2025	
KEYWORDS		
White cast iron		
Microstructure		
Tempering temperature		
Screw shaft		
Hardness		

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ RAM ĐẾN TỔ CHỨC VÀ ĐỘ CỨNG CỦA GANG TRẮNG 29%Cr ỨNG DỤNG ĐỂ CHẾ TẠO TRỤC VÍT SỬ DỤNG TRONG MÁY ĐÙN ÉP GẠCH

Nguyễn Ngọc Minh

Trường Vật liệu - Đại học Bách khoa Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	26/5/2025	Gang trắng Cr cao có khả năng chịu mài mòn và chống ăn mòn rất tốt. Để đạt được đặc tính như vậy, gang thường được tôi và sau đó ram ở các nhiệt độ khác nhau để thay đổi mật độ và kích thước các hạt cacbít thứ cấp tiết ra trong quá trình ram. Trong nghiên cứu này, gang trắng với 29%Cr sau khi tôi ở 950 °C sẽ được ram trong khoảng nhiệt độ từ 200 °C đến 500 °C. Kính hiển vi quang học, thiết bị nhiễu xạ tia X và kính hiển vi điện tử quét được sử dụng để quan sát và đánh giá sự tiết pha là các hạt cacbít trong tổ chức nhận được. Máy đo độ cứng cũng được sử dụng để đánh giá sự thay đổi độ cứng. Kết quả chỉ ra nhiệt độ ram có ảnh hưởng đến sự tiết ra các hạt cacbít thứ cấp, qua đó làm thay đổi độ cứng của gang. Trong vùng nhiệt độ ram từ 200 °C đến 500 °C, nhiệt độ ram tăng có xu hướng làm tăng độ cứng. Kết quả nghiên cứu cũng đã góp phần làm rõ hơn về ảnh hưởng của mật độ cacbít thứ cấp đến độ cứng gang trắng 29%Cr trong quá trình ram.
Ngày hoàn thiện:	20/8/2025	
Ngày đăng:	20/8/2025	
TỪ KHÓA		
Gang trắng		
Tổ chức tế vi		
Nhiệt độ ram		
Trục vít		
Độ cứng		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.12883>

Email: minh.nguyennhoc@hust.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

457

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Gang trắng với hàm lượng Cr cao thường được ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện cần độ cứng và tính chống mài mòn cao, khả năng chịu ăn mòn tốt [1] - [3]. Loại gang này thường chứa từ 2 đến 3,5%C, hàm lượng Cr từ 11 đến 30%Cr [4]. Ngoài ra, một lượng nhỏ các nguyên tố hợp kim để tạo cácbít như Mo, W và V cũng có thể được thêm vào nhằm tăng khả năng hình thành cácbít trong quá trình xử lý nhiệt [5]. Những nguyên tố không tạo cácbít như Ni, Cu và Si cũng có thể được cho thêm vào thành phần hạn chế để cải thiện độ cứng của austenit và thúc đẩy sự hình thành tổ chức péclit khi đúc [6].

Tổ chức tế vi của gang trắng Cr cao ở trạng thái sau đúc, dựa trên giản đồ pha ba cấu tử Fe-Cr-C thường bao gồm cácbít sơ cấp, cácbít cùng tinh phân bố trên nền austenit hoặc péclit (tùy thuộc vào tốc độ nguội của thỏi đúc) [7]. Sự phân bố cácbít kết hợp với tổ chức nền có ảnh hưởng lớn đến độ cứng và khả năng là việc chịu mài mòn của các chi tiết như trục vít trong máy đùn ép gạch. Trong hơn một thập kỷ trở lại đây, xu hướng nghiên cứu để cải thiện tính chất cho loại hợp kim này được chia ra hai nhóm: 1) thay đổi thành phần hóa học, tìm mối quan hệ giữa cấu trúc và tính chất; 2) dùng phương pháp xử lý nhiệt để tối ưu lựa chọn được thành phần cho cấu trúc tế vi phù hợp. Mặc dù quy trình xử lý nhiệt cho các hợp kim gang trắng với hàm lượng Cr cao đã được công bố trong nhiều báo cáo khoa học, tuy nhiên, kiểu quy trình nhiệt luyện và các thông số công nghệ thường phù hợp với một thành phần riêng biệt nhất định và cần phải có những nghiên cứu cụ thể phù hợp [6]. Do đó, trong nghiên cứu này, tác giả đã thực hiện việc đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ ram đến tổ chức và độ cứng của gang trắng chứa 29%Cr ứng dụng để chế tạo trục vít sử dụng trong máy đùn ép gạch. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy, mẫu sau khi tôi tại 950 °C và ram ở khoảng nhiệt độ 200 °C-500 °C trong thời gian 3 giờ cho giá trị độ cứng lớn nhất 58,8 HRC. Tổ chức ngoài cácbít sơ cấp còn có cácbít thứ cấp phân bố đều trên nền máctensit.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Thực hiện nghiên cứu này, gang trắng với hàm lượng Cr cao sử dụng có thành phần hóa học được biểu diễn trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng thành phần hóa học của gang trắng với hàm lượng Cr cao

Nguyên tố	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Fe
% Khối lượng	3,23	1,06	0,54	0,09	0,02	29,3	0,17	0,32	0,17	65,1

Để thực hiện được đánh giá về ảnh hưởng của nhiệt độ ram đến tổ chức và độ cứng, mẫu gang đúc được cắt thành các mẫu khối lập phương có kích thước (10×10×10) mm. Tất cả các mẫu sử dụng trong nghiên cứu, khi tiến hành nhiệt luyện đều được nung trong môi trường bảo vệ bằng than hoạt tính giúp cho dữ liệu thu được khi đánh giá có mức độ tin cậy cao. Chế độ nhiệt luyện theo đó được thực hiện bằng lò điện trở có điều khiển (Nabertherm, model N11/H) như sau: mẫu tôi ở nhiệt độ 950 °C sau đó được mang đi ram ở các nhiệt độ 200 °C, 300 °C, 400 °C và 500 °C trong thời gian 3 giờ. Ký hiệu các mẫu sử dụng trong nghiên cứu như thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Ký hiệu các mẫu sử dụng trong nghiên cứu

Ký hiệu	Loại mẫu	Chế độ tôi	Chế độ ram
M1	Mẫu sau đúc	-	-
M2	Mẫu nhiệt luyện	950 °C/1,5 giờ/Dầu	200 °C/3 giờ/Không khí
M3	Mẫu nhiệt luyện		300 °C/3 giờ/Không khí
M4	Mẫu nhiệt luyện		400 °C/3 giờ/Không khí
M5	Mẫu nhiệt luyện		500 °C/3 giờ/Không khí

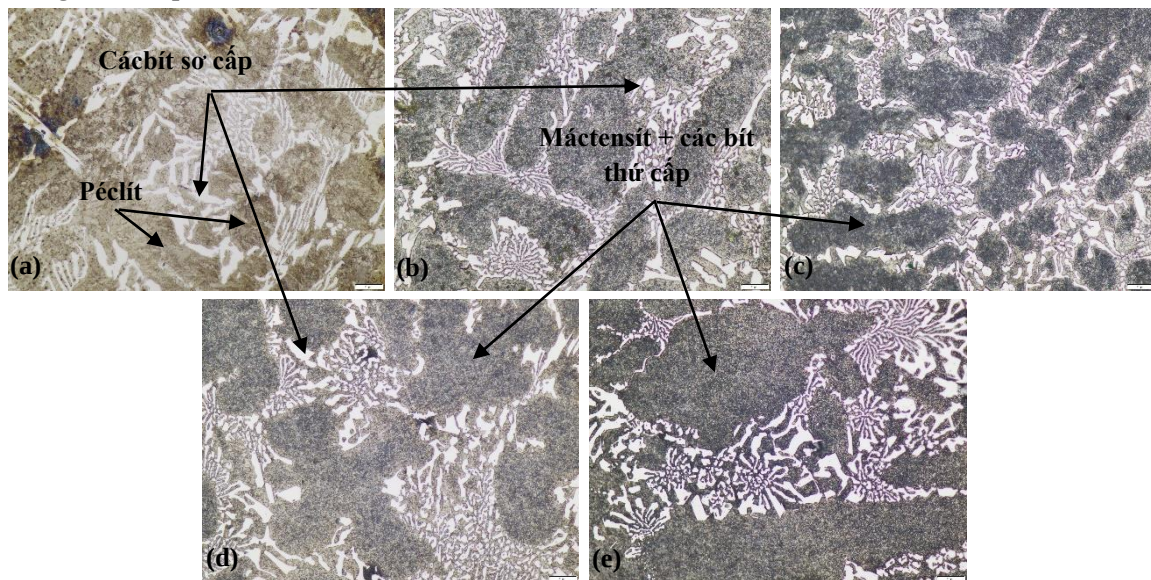
Để quan sát và đánh giá được sự thay đổi trong cấu trúc, các mẫu khối sau nhiệt luyện được mài phẳng, đánh bóng và tẩm thực trước khi quan sát dưới kính hiển vi quang học (Olympus GX53). Kính hiển vi điện tử quét (JEOL JSM-IT200) cũng đã được sử dụng để quan sát tổ chức ở mức độ lớn hơn và đồng thời kết hợp với kiểm tra phổ EDX nhằm làm rõ vấn đề tiết pha trong

quá trình ram. Sự thay đổi cấu trúc trong quá trình ram cũng được kiểm tra bởi nhiễu xạ tia X (XRD) trên thiết bị (XRD, ARL EQUINOX 5000) với ống phát tia X bằng Cu, bước sóng $\lambda = 1.540 \text{ \AA}$, góc quét thay đổi từ 30 đến 80° ; tốc độ quét $0.03^\circ.s^{-1}$. Giá trị độ cứng của các mẫu sau mỗi chế độ nhiệt luyện sẽ được ghi lại nhờ thiết bị đo độ cứng (Rockwell Mitutoyo HR-210MR).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiển vi quang học

Hình ảnh tổ chức tế vi của các mẫu gang dưới kính hiển vi quang học được thể hiện như trong Hình 1. Với mẫu sau đúc (Hình 1.a), tổ chức bao gồm hạt cacbít sơ cấp thô to và cacbít cùng tinh, màu sáng và được phân bố trên nền péclít. Kết quả này là do mẫu trong quá trình đúc đã được làm nguội với tốc độ khá lớn dẫn đến sự hình thành tổ chức péclít [8]. Tổ chức này cũng đã được xác nhận thông qua kết quả nhiễu xạ XRD. Ngoài ra, Cr là nguyên tố được biết đến có khả năng giúp mở rộng vùng ferít. Do đó, với hàm lượng Cr lớn cũng sẽ thúc đẩy hình thành pha ferít có trong tổ chức péclít [9].



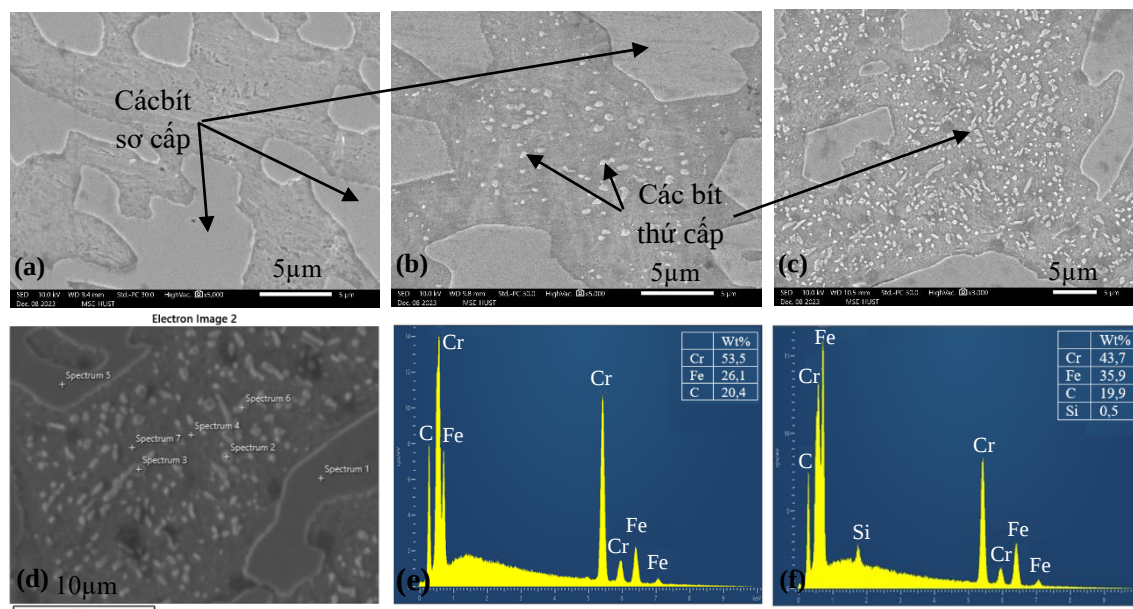
Hình 1. Ảnh quang học tổ chức tế vi của các mẫu gang ở độ phóng đại x500:
(a) mẫu M1; (b) mẫu M2; (c) mẫu M3; (d) mẫu M4; (e) mẫu M5

Quan sát tổ chức tế vi của các mẫu sau tôi và ram ở các nhiệt độ khác nhau (Hình 1.b-e) đều cho thấy có sự thay đổi trong tổ chức thu được. Cacbít sơ cấp và cacbít cùng tinh đều có sự suy giảm về kích thước và tỷ lệ. Điều này chứng tỏ cacbít đã được hòa tan một phần vào trong austenit ở quá trình tôi. Ngoài ra, việc quan sát cũng cho thấy có sự tiết ra cacbít thứ cấp là các hạt nhỏ màu sáng trên nền máctensít (vùng tối màu), và chúng có xu hướng tăng dần kích thước khi nhiệt độ ram tăng. Mặc dù vậy, việc đánh giá này cũng chưa thực sự rõ ràng do hạn chế về mức độ phóng đại của kính hiển vi quang học sử dụng. Điều này sẽ được làm rõ hơn ở kết quả SEM.

3.2. Kết quả hiển vi điện tử quét

Để làm rõ hơn việc tiết ra cacbít thứ cấp trong quá trình ram, một số mẫu cũng được lựa chọn để quan sát và phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét. Kết quả như thể hiện trên Hình 2. Ở mức độ phóng đại lớn hơn, tổ chức của mẫu gang sau đúc (Hình 2.a) cho thấy cacbít sơ cấp phân bố trên nền péclít. Không thấy có sự xuất hiện của các pha khác. Điều này có thể so sánh với các mẫu sau ram (Hình 2.b-c). Sự xuất hiện của các hạt cacbít thứ cấp trên nền máctensít đã được ghi nhận lại một cách rõ ràng.

Ảnh hưởng của nhiệt độ ram đến sự tiết pha cacbít thứ cấp cũng đã được chỉ ra thông qua hình ảnh về mật độ các hạt cacbít. Với mẫu ram ở 200 °C (Hình 2.b), đã có sự xuất hiện các hạt cacbít thứ cấp nhưng với mật độ nhỏ, phân bố rải rác trên nền máctensít. Mẫu ram ở nhiệt độ 500 °C (Hình 2.c), sự xuất hiện các hạt cacbít thứ cấp dày đặc trên nền đã chỉ ra rằng: khi tăng nhiệt độ ram, năng lượng nhiệt lớn sẽ thúc đẩy quá trình khuếch tán các nguyên tử Cr và C ra khỏi nền máctensít nhanh hơn [10], do đó, làm tăng khả năng tiết pha [11].



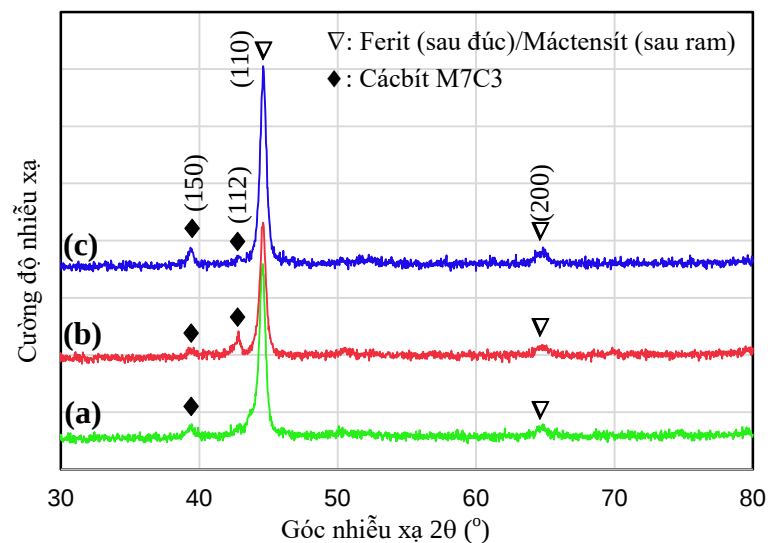
Hình 2. Ảnh SEM và phổ EDX của các mẫu gang: (a) mẫu M1; (b) mẫu M2; (c) mẫu M5; (d) điểm EDX mẫu M5; (e) phổ EDX của điểm 1; (f) phổ EDX của điểm 2

Để làm rõ hơn về các hạt cacbít thứ cấp, mẫu sau ram ở 500 °C cũng được kiểm tra phổ EDX với một số vị trí như trên Hình 2.d và kết quả được thể hiện trên Hình 2.e-f. Tại các vị trí kiểm tra, chỉ thấy sự hiện diện của các nguyên tố Cr, Fe, C và Si cũng đã chỉ ra sự tồn tại cacbít có trong tổ chức.

3.3. Kết quả XRD

Để làm rõ hơn các pha có trong tổ chức các mẫu nghiên cứu, một số mẫu cũng được mang đi kiểm tra XRD. Kết quả như thể hiện trên Hình 3.

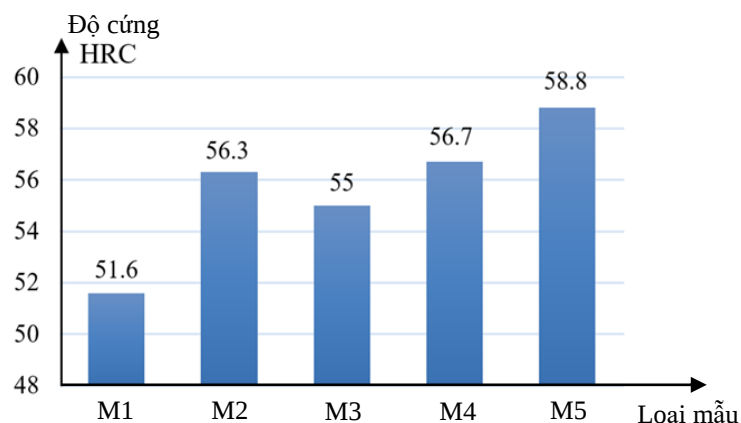
Trên giản đồ XRD, với mẫu sau đúc (Hình 3.a) chỉ thấy có sự tồn tại các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của ferít và cacbít (M7C3) mà không thấy xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của austenít. Kết quả này cũng góp phần khẳng định thêm về nhận định nền gang sau đúc nhận được là péc-lít (như đã nhận xét tại mục kết quả hiển vi quang học). Với các mẫu sau ram (Hình 3.b-c), sự tồn tại các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của máctensít và cacbít cũng đã được ghi nhận. Mặc dù vậy, so sánh vị trí và cường độ vạch nhiễu xạ đặc trưng giữa các mẫu khi ram ở nhiệt độ khác nhau cũng cho thấy: so sánh với mẫu ram ở nhiệt độ 200 °C, vạch nhiễu xạ đặc trưng của pha máctensít khi ram ở nhiệt độ 500 °C (Hình 3.c) có xu hướng dịch chuyển sang phải. Điều này là do khi ram ở nhiệt độ cao hơn sẽ làm tăng khả năng khuếch tán các nguyên tố hợp kim ra khỏi máctensít [10]. Kết quả là làm giảm mức độ xô lệch mạng và giảm hàng số mạng tinh thể. Hệ quả là làm tăng góc nhiễu xạ 2θ . Ngoài ra, các vạch nhiễu xạ đặc trưng của cacbít tại mẫu ram ở 500 °C cũng có cường độ nhiễu xạ lớn hơn (dù không nhiều) so với mẫu ram ở 200 °C. Nguyên nhân là do ở nhiệt độ ram cao hơn, khả năng tiết ra các pha cacbít thứ cấp diễn ra nhanh và nhiều hơn (như đã chỉ ra trên Hình 2.b-c). Hàm lượng cacbít tăng sẽ làm tăng cường độ nhiễu xạ XRD.



Hình 3. Phổ XRD của các mẫu: (a) mẫu M1; (b) mẫu M2; (c) mẫu M5

3.4. Kết quả đo độ cứng

Quan sát sự thay đổi độ cứng ở các chế độ nhiệt luyện khác nhau, các mẫu cũng được thực hiện kiểm tra độ cứng thô đại (HRC). Kết quả thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Độ cứng của các mẫu gang

So sánh giá trị độ cứng với mẫu ban đầu, giá trị độ cứng của tất cả các mẫu sau ram đều có sự cải thiện gia tăng rõ rệt. Tuy nhiên, ở vùng nhiệt độ ram thấp (dưới 300°C), giá trị độ cứng có xu hướng giảm nhẹ khi tăng nhiệt độ ram. Điều này là do khuếch tán nguyên tố hợp kim ra khỏi máctensít làm giảm mức độ xô lệch mạng trong khi sự hình thành các hạt cacbít thứ cấp vẫn còn ít (Hình 2.b) [10], do đó có xu hướng làm độ cứng giảm nhẹ. Khi ram ở vùng nhiệt độ cao (trên 300°C), tốc độ khuếch tán nhanh nhờ nhiệt độ cao đã thúc đẩy sự tiết pha cacbít thứ cấp trên nền máctensít với mật độ lớn và làm tăng độ cứng. Kết quả đã chỉ ra, khi tăng nhiệt độ ram từ 300°C đến 500°C , giá trị độ cứng tăng từ 56,7 HRC lên 58,8 HRC.

4. Kết luận

Gang trắng chứa 29%Cr sau khi tôi tại 950°C và ram ở khoảng nhiệt độ 200°C - 500°C trong thời gian 3 giờ đều nhận được tổ chức bao gồm cacbít sơ cấp và cacbít thứ cấp phân bố trên nền máctensít.

Nhiệt độ ram có ảnh hưởng rõ ràng đến tổ chức và độ cứng của gang trắng chứa 29%Cr. Nhiệt độ ram tăng có xu hướng làm tăng khả năng tiết ra các hạt cacbít thứ cấp. Do đó, có thể sử dụng nhiệt độ ram như là một thông số công nghệ để làm thay đổi tổ chức và cơ tính của gang trắng Cr cao nhằm mục tiêu điều chỉnh độ cứng của gang phù hợp với nhu cầu sử dụng.

Nghiên cứu trong khoảng nhiệt độ ram từ 200 °C đến 500 °C cho thấy giá trị độ cứng dao động trong khoảng từ 55 HRC đến 58,8 HRC. Giá trị độ cứng lớn nhất đạt được khi ram ở nhiệt độ 500 °C trong 3 giờ. Kết quả cho thấy vùng nhiệt độ ram đã nghiên cứu đều cho phép gang đạt được độ cứng chịu mài mòn. Tuy nhiên, mức độ chịu mài mòn sẽ tốt hơn khi ram ở nhiệt độ cao hơn. Kết quả nghiên cứu cho phép nhà sản xuất có thể cân nhắc lựa chọn nhiệt độ ram phù hợp để ngoài việc đảm bảo khả năng chịu mài mòn cho chi tiết thì vẫn duy trì được các tính chất cơ học khác ở mức cao khi làm việc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] Y. Zhao, Z. Li, Ye. Li, H. Chen, Z. Tang, Z. Yang, Y. Luo, C. Wu, Y. Liao, and J. Wu, "Effect of quenched-tempered heat treatment on the wear resistance mechanism of zirconia toughened alumina ceramic reinforced high chromium cast iron architecture composite," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 93, pp.288-298, 2023.
- [2] N. Poolthong, H. Nomura, and M. Takita, "Effect of Heat Treatment on Microstructure and Properties of Semi-solid Chromium Cast Iron," *Materials Transactions*, vol. 45, no. 3, pp. 880-887, 2004.
- [3] M. Gelfi, A. Pola, L. Girelli, A. Zacco, M. Masotti, and G. M. L. Vecchia, "Effect of heat treatment on microstructure and erosion resistance of white cast irons for slurry pumping applications," *Wear*, vol. 428-429, pp. 438-448, 2019.
- [4] R. C. Touhami, S. Mechachti, K. Bouhamla, A. Hadji, and A. Khetache, "Wear Behavior and Microstructure Changes of a High Chromium Cast Iron: The Combined Effect of Heat Treatment and Alloying Elements," *Metallography, Microstructure, and Analysis*, vol. 12, pp. 580-590, 2023.
- [5] B. N. Nelwalani, J. V. D. Merwe, V. Munyangane, Z. A. Cader, T. Rampaku, and D. Klenam, "On the influence of compositional variations in high chrome cast iron: an assessment of microstructure and mechanical behaviour," *Manufacturing Review*, vol. 11, no. 9, pp. 1-12, 2024.
- [6] P. Amorim, H. Santos, J. Santos, S. Coimbra, and C. Sá, "Soft Annealing of High Chromium White Cast Iron," *Materials Science Forum*, vol. 455-456, pp. 290-294, 2004.
- [7] A. Wiengmoon, J. T. H. Pearce, and T. Chairuangsi, "Relationship between microstructure, hardness and corrosion resistance in 20 wt.%Cr, 27 wt.%Cr and 36 wt.%Cr high chromium cast irons," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 125, pp. 739-748, 2011.
- [8] M. Ngqase and X. Pan, "An Overview on Types of White Cast Irons and High Chromium White Cast Irons," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1495, 2020, Art. no. 012023.
- [9] Z. Karoly, J. Szepvolgyi, W. Kaszuwara, O. Łabeć, and M. Bystrzejewski, "Influence of ferrite stabilizing elements and Co on structure and magnetic properties of carbon-encapsulated iron nanoparticles synthesized in thermal plasma jet," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 619, pp. 592-600, 2015.
- [10] L. E. Samuels, "Tempering of Martensite," *Metallography Microstructure and Analysis*, vol. 3, pp. 70-90, 2014.
- [11] B. Liu, T. Qin, W. Xu, C. Jia, Q. Wu, M. Chen, and Z. Liu, "Effect of Tempering Conditions on Secondary Hardening of Carbides and Retained Austenite in Spray-Formed M42 High-Speed Steel," *Materials*, vol. 12, 2019, Art. no. 3714.