

# Công nghệ ủ mềm gang crôm cao để gia công cắt gọt

## Soft Annealing Technology of High Chromium White Cast Iron for Machinability

*Nguyễn Ngọc Minh*

*Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội  
Đến Tòa soạn: 24-5-2019; chấp nhận đăng: 27-9-2019*

### Tóm tắt

Mục tiêu trong nghiên cứu này là tìm ra được các thông số xử lý nhiệt cần thiết để áp dụng làm mềm gang trắng Cr cao về khoảng độ cứng thấp hơn nhằm bảo đảm thuận lợi cho quá trình gia công cắt gọt. Các mẫu gang được ủ mềm ở các điều kiện khác nhau bằng lò buồng điện trở. Việc đánh giá sự chuyển pha của vật liệu trong suốt quá trình ủ mềm đã được thực hiện bởi việc sử dụng kính hiển vi quang học, kính hiển vi điện tử quét, nhiễu xạ X-ray và thiết bị đo độ cứng tế vi. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh rằng: việc ủ mềm gang trắng Cr cao là hoàn toàn có thể thực hiện được thông qua việc điều chỉnh được mức độ phân bố các-bít thứ cấp Cr trên nền Fe<sub>α</sub>.

Từ khóa: Gang trắng Cr cao, ủ mềm, gia công kim loại

### Abstract

The objective of the present work is to establish the heat treating parameters necessary to impose high chromium white cast iron a lower range of hardness, acceptable to guarantee a reasonable machinability of the material. Samples are soft annealing under different conditions by a resistor furnace. Evaluation of the phase transformations during soft annealing was carried out by using optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and microhardness tester. The results of this study have shown that soft annealing of high chromium white cast iron can be done by controlling the distribution of secondary chromium carbide on ferrite matrix.

Keywords: high chromium white cast iron, soft annealing, metal processing

### 1. Mở đầu

Trong lĩnh vực làm việc chịu mài mòn, gang Cr cao đang được sử dụng ở khá nhiều phạm vi như: làm cánh bơm bùn trong công nghiệp khai khoáng và công nghiệp mỏ [1-8], sản xuất bi nghiền xi măng [2,5], một số chi tiết trong hệ thống bơm công nghiệp vận chuyển và sản xuất mía đường, sản xuất giấy [5,7,9]. Với nhóm gang Cr cao, để có thể làm việc được trong điều kiện chịu mài mòn, chúng thường có hàm lượng lượng C từ 1.8% tới 3.6% và lượng Cr dao động trong khoảng từ 12% tới 36%. Ở mức độ thành phần hóa học đã nêu, tổ chức tế vi của gang sau đúc sẽ bao gồm các-bít cùng tinh thô to, rất cứng có thể tồn tại ở các dạng dạng (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, (CrFe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> hoặc (CrFe)<sub>6</sub>C kết hợp với tổ chức nền nhận được sẽ làm cho độ cứng của khối vật liệu rất cao, thường trên 52 HRC nên rất khó khăn trong việc tiến hành gia công cắt gọt cho chi tiết sau đúc [6,9]. Để giải quyết vấn đề này, công nghệ ủ mềm gang Cr cao sau đúc đã được tiến hành nghiên cứu và áp dụng. Mặc dù đã có nhiều thông tin về các công nghệ xử lý nhiệt ủ mềm áp dụng cho loại hợp kim này. Tuy nhiên, các thông

tin có được đôi khi bị xung đột và thường chỉ phù hợp với một thành phần riêng biệt nhất định [6]. Do đó, trong nghiên cứu này, tác giả đã tiến hành xây dựng một quy trình ủ mềm áp dụng cho một mác hợp kim có thành phần cụ thể. Kết quả cho thấy, gang trắng Cr cao khi được áp dụng quy trình ủ mềm thích hợp có thể giảm độ cứng đáng kể về được dưới 42 HRC, qua đó góp phần tạo thuận lợi cho quá trình cắt gọt

### 2. Vật liệu và phương thức thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, mẫu gang sau đúc đã được mang đi kiểm tra thành phần hóa học và kết quả có được thể hiện trong bảng 1. Để thực hiện các quy trình xử lý nhiệt, mẫu thí nghiệm được chia ra thành các khối nhỏ kích thước 100x100x100mm và được nung trong lò buồng điện trở có điều khiển. Mẫu cũng được đặt trong hộp kín bằng thép không gỉ để bảo vệ bề mặt trong suốt quá trình xử lý nhiệt. Các quy trình ủ mềm được thực hiện theo các thông số như trong bảng 2. Các mẫu sau mỗi giai đoạn xử lý nhiệt sẽ được mang đi kiểm tra độ cứng để đánh giá và lựa chọn chế độ phù hợp. Để đánh giá sự thay đổi tổ chức pha, nhiễu xạ X-ray đã được áp dụng trong khi kính hiển vi quang học và hiển vi điện tử quét với độ phân giải cao cho phép quan sát sự tiết các-bít thứ cấp cũng đã được thực hiện.

\*Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 972.231.280  
Email: minh.nguyennngoc@hust.edu.vn

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của gang Cr cao

Nguyên tố	Fe	C	Cr	Mn	Si	W	Ni
% Khối lượng	62,51	2,55	29,21	0,74	1,70	0,44	2,36

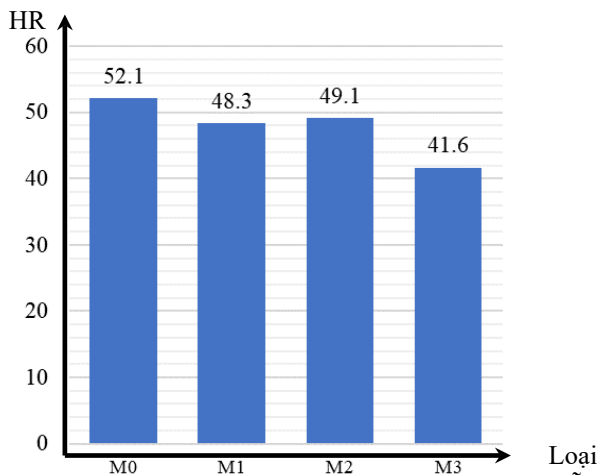
**Bảng 2.** Các thông số nhiệt luyện

Loại mẫu	Giai đoạn 1	Giai đoạn 2	Giai đoạn 3
M1(*)	Nung tới 970°C/7h/nguội ngoài không khí tĩnh	Nung tới 520°C/3h/nguội ngoài không khí tĩnh	Nung tới 950°C/1h/nguội xuống 810°C trong 1h/nguội xuống 610°C/2h/nguội ngoài không khí tĩnh
M2(*)	Nung tới 900°C/2h/nguội xuống 700°C/8h/nguội cùng lò đến nhiệt độ phòng		
M3(**)	Nung tới 970°C/8h/nguội ngoài không khí tĩnh	Nung tới 650°C/2h/nung lên 700°C/7h/ nguội ngoài không khí tĩnh	

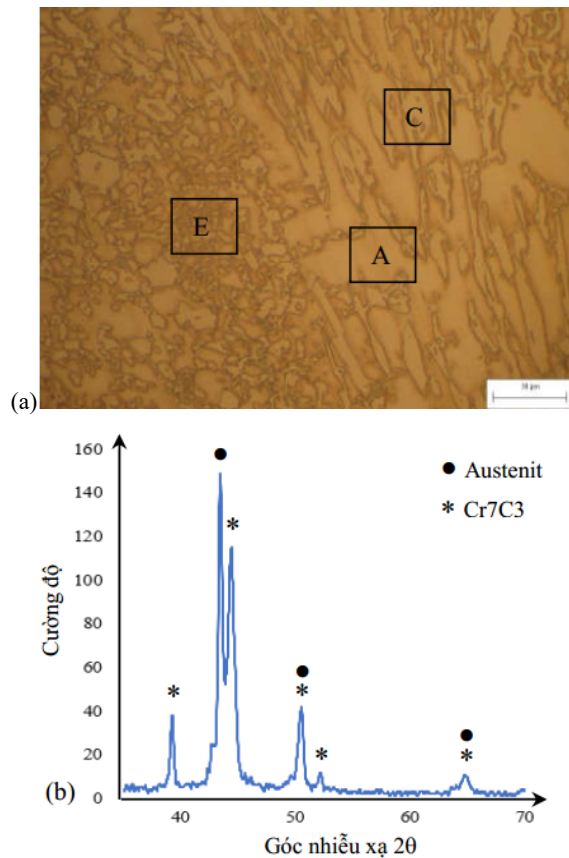
Chú thích: (\*) thử nghiệm chế độ theo các công nghệ đã được công bố [6,9]; (\*\*) đề xuất quy trình mới

### 3. Kết quả và thảo luận

**Kết quả đo độ cứng:** Các mẫu trước và sau xử lý nhiệt đều được kiểm tra độ cứng thô đại với mũi đâm kim cương trên máy đo độ cứng Mitutoyo ATK-600 của hãng Mitutoyo. Kết quả kiểm tra độ cứng thô đại của mẫu sau đúc và mẫu sau xử lý nhiệt được thể hiện như trên đồ thị tại hình 1 đã cho thấy: giá trị độ cứng trung bình của mẫu sau khi áp dụng quy trình mới (mẫu M3) cho kết quả giảm độ cứng lớn nhất (~ 10,5HRC). Với quy trình áp dụng cho mẫu M1 và M2, giá trị độ cứng có giảm. Tuy nhiên mức độ giảm độ cứng là rất thấp (3 ÷ 3,8) HRC. Do đó, có thể thấy quy trình áp dụng cho mẫu M1 và M2 không phù hợp với mác gang Cr cao có thành phần như trong bảng 1 mặc dù các chế độ này áp dụng thành công cho mác hợp kim gang Cr cao với thành phần khác đi [6,9].



**Hình 1.** Biểu đồ so sánh độ cứng mẫu sau các chế độ nhiệt luyện: M0 – mẫu sau đúc; M1, M2, M3 là các mẫu áp dụng các chế độ xử lý như trong bảng 2.



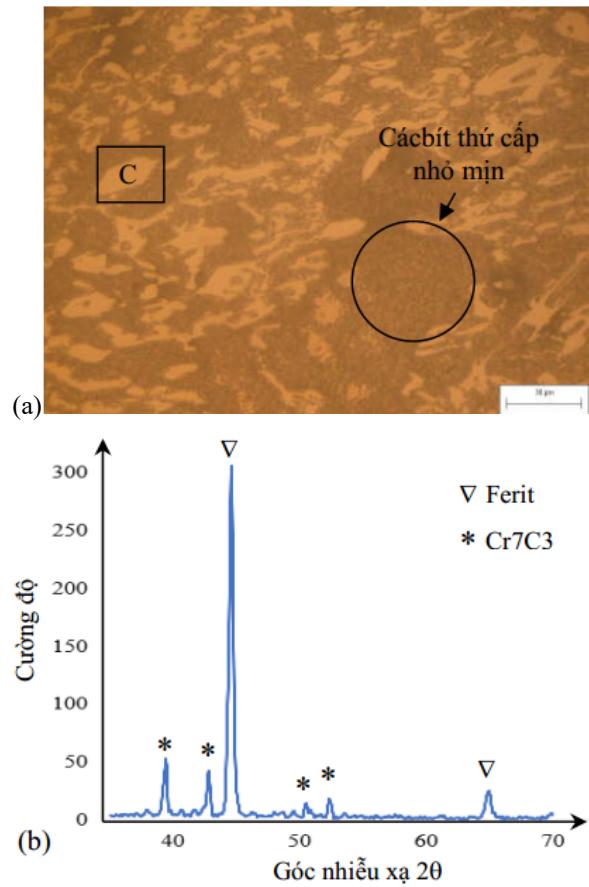
**Hình 2.** Kết quả đánh giá tổ chức của mẫu đúc: (a) Ảnh tổ chức tế vi với độ phóng đại 500 lần; (b) Phân tích thành phần pha bằng nhiễu xạ X-ray; (E – tổ chức cùng tinh, C – các-bít sơ cấp, A – austenit)

**Kết quả quan sát trên kính hiển vi quang học và nhiễu xạ X-ray:** việc quan sát đánh giá tổ chức tế vi của mẫu hợp kim sau đúc (mẫu trước khi áp dụng quy

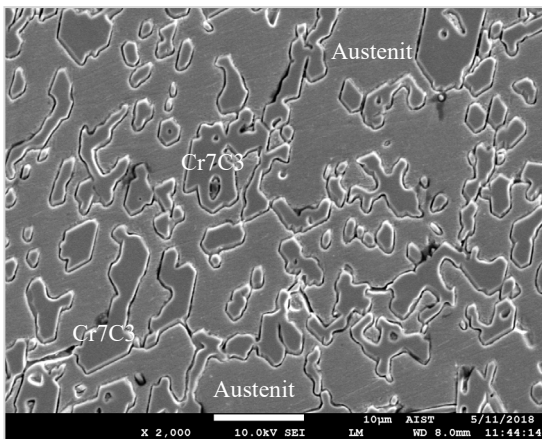
trình xử lý nhiệt M3) cũng đã được thực hiện trên kính hiển vi quang học Axiovert 25 CA/6V 25W của hãng Carl Zeiss. Thiết bị nhiễu xạ X-ray thực hiện trên máy X-ray Model D5005 của hãng SIEMENS. Kết quả được thể hiện như trên hình 2a. Từ kết quả quan sát trên ảnh hiển vi quang học cho thấy tổ chức tế vi của gang Cr cao sau khi đúc bao gồm: tổ chức cùng tinh (các-bít cùng tinh Cr7C3 trên nền austenit), các-bít sơ cấp (Cr7C3) thô to và austenit.

Điều này là phù hợp khi các kết quả công bố đã chứng minh rằng: với hàm lượng Cr cao như trên, mẫu được đúc trong khuôn cát có tốc độ nguội khá chậm thì trong tổ chức tế vi, ngoài tổ chức cùng tinh có chứa các-bít phân bố trên nền austenit thì một lượng lớn các-bít sơ cấp thô to cũng xuất hiện và tồn tại [3,6]. Việc pha austenit tồn tại ở ngay cả nhiệt độ phòng sau khi đúc được cho là ảnh hưởng của Ni và Si khi hai nguyên tố này cũng có hàm lượng khá cao và được biết đến như những nguyên tố làm mở rộng vùng austenit. Xác nhận về sự tồn tại của các pha cũng đã được làm rõ hơn khi nhiễu xạ X-ray được thực hiện đối với mẫu sau đúc và cho kết quả như trên hình 2b. Kết quả cũng cho thấy: các-bít Cr tồn tại chủ yếu dưới dạng Cr7C3 trong khi pha nền của hợp kim là austenit. Như vậy có thể thấy rằng: mặc dù cấu trúc tế vi của hợp kim chỉ bao gồm các hạt các-bít Cr thô to phân bố trên pha nền austenit có độ dẻo cao nhưng lại có độ cứng khá cao sau đúc. Kết quả này cho phép nhận định: giá trị độ cứng cao của mẫu sau đúc có được là do ảnh hưởng của các hạt các-bít Cr thô to phân bố ở cả trong tổ chức cùng tinh và trên nền austenit. Do đó, biện pháp để giảm độ cứng cho hợp kim sau đúc là điều chỉnh lại kích thước các hạt các-bít Cr tiết ra nhỏ mịn hơn. Để thực hiện điều này, tác giả đã tiến hành xử lý nhiệt theo quy trình của mẫu M3 như trong bảng 2. Mẫu sau xử lý nhiệt cũng

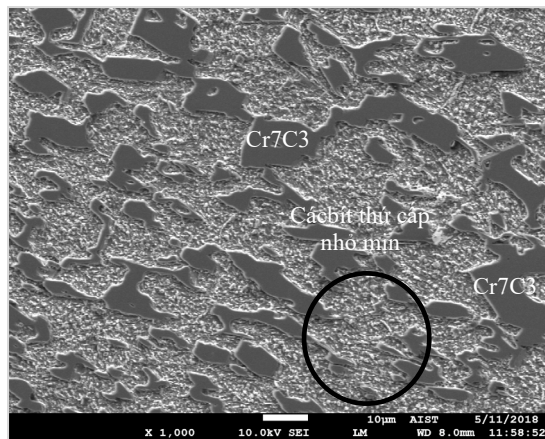
được quan sát đánh giá tổ chức tế vi và sự tiết pha. Kết quả đánh giá được thể hiện như trên hình 3.



**Hình 3.** Kết quả đánh giá tổ chức của mẫu M3 sau xử lý nhiệt: (a) Ảnh tổ chức tế vi với độ phóng đại 500 lần; (b) Phân tích thành phần pha bằng nhiễu xạ X-ray; (C – các-bít sơ cấp)



(a)



(b)

**Hình 4.** Ảnh hiển vi điện tử quét: (a) mẫu sau đúc; (b) mẫu sau xử lý nhiệt theo chế độ M3

Với quy trình đã thực hiện trên mẫu M3. Để đẩy nhanh quá trình tiết các-bít thứ cấp phân tán trên nền, trước tiên giai đoạn đầu sẽ tạo ra dung dịch rắn quá bão hòa có tác dụng làm cho tổ chức kém ổn định trước. Để làm được điều này, mẫu đã được nung lên trạng thái austenit nhằm mục đích hòa tan một phần các-bít hợp kim thô to ban đầu vào trong austenit. Trong nghiên cứu này, nhiệt độ austenit hóa được thực hiện tại 970°C, giữ nhiệt sau đó làm nguội ngoài không khí tĩnh. Giai đoạn ổn định nền và tiết các-bít tiếp theo sẽ được thực hiện qua 2 bước gồm: giữ ở nhiệt độ 650°C để phân hủy austenit dư sau đó mẫu được nung lên 700°C và giữa nhiệt để tiết các-bít thứ cấp nhỏ mịn. Đối với hợp kim gang Cr cao, nhiệt độ tối thiểu để ổn định austenit khoảng 650°C. Do đó, việc giữ nhiệt bước đầu tại vùng nhiệt độ này sẽ giúp austenit dư phân hủy được thuận lợi. Nếu xử lý ở nhiệt độ thấp hơn, quá trình phân hủy austenit sẽ đòi hỏi thời gian phải kéo dài không mong muốn. Sau khi nung và giữa nhiệt tại 650°C, quá trình tiết các-bít thứ cấp tiếp theo sẽ được khuyến khích tiến hành ở vùng nhiệt độ càng gần điểm  $A_{c1}$  càng tốt. Nếu nhiệt độ quá thấp sẽ làm chậm quá trình tiết các-bít nên thời gian giữ nhiệt sẽ phải rất dài. Trong khi nếu nung ở nhiệt độ quá cao (trên  $A_{c1}$ ), sự xuất xuất của austenit ở vùng nung trên nhiệt độ  $A_{c1}$  có thể làm tăng giới hạn hòa tan của các-bon trong pha nền dẫn đến hệ quả là giảm khả năng tiết các-bít thứ cấp như mong muốn. Vì lý do đó, trong trường hợp này, hợp kim được xử lý tại nhiệt độ 700°C.

Trên hình 3a, mẫu sau xử lý nhiệt cho thấy đã có sự phân bố lại tổ chức của mẫu. Các hạt các-bít sơ cấp thô to sinh ra sau đúc đã có sự giảm kích thước rõ rệt trong khi các-bít thứ cấp phân bố nhỏ mịn đã được tiết ra đều trên nền ferit của hợp kim. Kết quả nhiễu xạ X-ray trên hình 3b cũng xác nhận rằng: các-bít thứ cấp tiết ra trong trường hợp này vẫn là Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> trong khi nền hợp kim là kết quả của sự phân hóa dung dịch rắn austenit quá bão hòa các nguyên tố cho phép tiết ra các-bít thứ cấp trên nền ferit [8].

*Kết quả quan sát trên kính hiển vi điện tử quét (SEM):* để quan sát rõ hơn sự tiết ra các-bít thứ cấp sau xử lý nhiệt. Các mẫu sau đúc và sau xử lý đều được mang đi quan sát tổ chức trên kính hiển vi điện tử quét Model JSM 7600F của hãng Oxford Instrument. Kết quả thể hiện như trên hình 4.

Ở mức độ phóng đại cao hơn, kết quả chụp ảnh SEM của mẫu sau đúc trên hình 4a cho thấy chỉ có sự tồn tại của các-bít Cr sơ cấp trên nền austenit. Trong khi đó, với mong muốn tiết ra được các-bít Cr thứ cấp phân bố nhỏ mịn, mẫu đã được tiến hành theo quy trình đề xuất như trong bảng 2. Kết quả chụp ảnh SEM của mẫu M3 trên hình 4b thực hiện theo quy trình đã chứng minh được sự tiết ra các-bít thứ cấp (hạt mịn màu sáng) phân bố nhỏ mịn trên nền ferit.

Như vậy có thể khẳng định mục tiêu đặt ra ban đầu là sử dụng quy trình nhiệt luyện theo đề xuất để điều chỉnh lại sự phân bố các-bít trong tổ chức, qua đó hạ thấp được độ cứng mẫu sau đúc là hoàn toàn phù hợp.

#### 4. Kết luận

- Gang trắng với hàm lượng Cr cao (~29%Cr) có thể thực hiện ủ mềm nhờ điều chỉnh được mức độ phân bố các-bít thứ cấp Cr trên nền Ferit.

- Mức độ giảm độ cứng đạt được trên 10HRC sau đúc nếu gang được ủ mềm theo quy trình hai giai đoạn gồm: giai đoạn 1 thực hiện austenit hóa ở 970°C trong 8h rồi nguội ngoài không khí, giai đoạn 2 ủ tại 650°C trong 2h rồi nung lên 700°C trong 7 giờ và nguội ngoài không khí.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) trong đề tài mã số T2018-PC-090

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Hua Chen, Zhang Ling, Wang Sheng Ming; Microstructure Refinement of Hypereutectic High Chromium Cast Iron with Electric Current Pulse; Advanced Materials Research, Vols. 690-693, pp 147-152
- [2] S. Imurai, Ch. Thanachayanont, J.T.h. Pearce, T. Chairuangstri; Microstructure and erosion-corrosion behaviour of as-cast high chromium white irons containing molybdenum in aqueous sulfuric-acid slurry; Archives of Metallurgy and Materials, Volume 60, Issue 2, pp 919-923
- [3] Mirjana Filipovic, Zeljko Kamberovic, Marija Korac; Solidification of High Chromium White Cast Iron Alloyed with Vanadium; Materials Transactions, Vol. 52, No. 3 (2011) pp. 386-390
- [4] Studnicki, J. Kilariski, M. Przybył, J. Suchoń, D. Bartocha; Wear resistance of chromium cast iron – research and application; Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 16 Issue 1-2 May-June 2006, pp 63-73
- [5] Zhang Zhiguo, Yang Chengkai, Zhang Peng, Li Wei; Microstructure and wear resistance of high chromium cast iron containing niobium; Research & Development, China Foundry, Vol 11, No 3-May 2015, pp 179-184
- [6] D. Kopyciński, E. Guzik, D. Siekaniec, A. Szczęsny; Analysis of the High Chromium Cast Iron Microstructure after the Heat Treatment; Archives of Foundry Engineering, Vol 14, Issue 3/2014, pp 43-46
- [7] E Zumelzu, O Opitz, C Cabezas; High-chromium (22-34 percent) Cast Iron Alloys and Their Simulated Behaviour at the Sugar Industry, Journal of

- Scientific & Industrial Research, Vol. 62, June 2003, pp 583-588
- [8] E. Karantzalis, A. Lekatou, H. Mavros; Microstructure and properties of high chromium cast irons: effect of heat treatments and alloying additions; International Journal of Cast Metals Research, Vol 22, No 6. pp 448-456
- [9] P. Amorim, H. Santos, J. Santos, S. Coimbra, C. Sá; Soft Annealing of High Chromium White Cast Iron; Materials Science Forum Vols. 455-456 (2004), pp 290-294