

Nghiên cứu yếu tố ảnh hưởng đến quá trình grafit hóa khi đúc gang

■ TS. NGUYỄN THỊ THU LÊ

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Gang xám là một loại gang có tổ chức tế vi grafit. Đây là loại gang phổ biến nhất và là vật liệu đúc được sử dụng rộng rãi nhất dựa trên trọng lượng. Do khả năng về độ bền nén, gang xám thường được sử dụng cho khung vỏ máy móc, vỏ bơm, thân van, hộp điện. Nhờ có grafit gang xám còn có khả năng chịu mài mòn tốt, gang xám còn được làm những chi tiết quan trọng như khối xi-lanh động cơ đốt trong, ổ trượt, bánh răng, bánh đà, phanh đĩa, ống dẫn. Cũng nhờ độ dẫn nhiệt và nhiệt dung riêng của gang xám cao nên gang xám có thể chế tạo thiết bị như rô-to. Ngoài ra, trong đời sống gang xám còn được khai thác để làm các dụng cụ nấu ăn và khối đúc trang trí. Trong quá trình đúc có thể xảy ra hiện tượng biến trắng ảnh hưởng đến tổ chức và tính chất của gang xám. Để có được tổ chức chứa grafit trong gang cần tuân thủ một số yêu cầu về thành phần hóa học, phương pháp đúc và chế độ nguội. Bài báo sẽ cung cấp những giản đồ tổ chức khi đúc gang không những cho biết về tổ chức, thành phần và tốc độ làm nguội mà còn chỉ ra mối liên quan giữa những yếu tố đó, từ đó đúc rút ra những kinh nghiệm thực tế trong đúc sản phẩm cơ khí bằng gang xám.

TỪ KHÓA: Gang xám, cacbon, grafit, thành phần hóa học, phương pháp đúc cát, tốc độ nguội, peclit, ferit, giản đồ pha.

ABSTRACT: Gray cast iron is a type of cast iron that has a graphite microstructure. It is the most common cast iron and the most widely used cast material based on weight. Gray cast iron is often used for machinery casings, pump housings, valve bodies, electrical boxes. Gray cast iron is also used to make more important parts such as the internal combustion engine cylinder blocks, bearings, gears, flywheels... by the presence of graphite. Gray cast iron can be used to make devices such as rotors by heat conductivity and specific heat. In addition, gray cast iron is also used to make cooking devices and casting decorations. In casting processes, the phenomenon of whiteness can be occurred, affecting organizations, and properties of gray cast iron. Requirements of chemical composition, casting method and cold mode are adhere to have graphitization in cast iron. This article provides a structural diagram, which encompasses not only structure, chemical composition, and cooling rate but also the relationship between those factors.

From that practical experience in casting gray cast iron can be inferred.

KEYWORDS: Gray cast iron, carbon, graphite, chemical composition, sand casting, cooling rate, pearlite, ferritic, phase diagrams.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rất nhiều chi tiết hoặc bộ phận máy đều được chế tạo bằng gang xám, đó là nhờ đặc điểm cơ tính và tính công nghệ của gang xám. Grafit là một loại tổ chức có mặt trong gang xám, đã giúp gang xám có được những cơ tính và tính công nghệ mà một số loại vật liệu khác không có. Đó là khả năng giảm rung động và dao động cộng hưởng, khả năng chịu mòn và có tính gia công cắt gọt tốt. Tính chất trên sẽ bị giảm đi nếu gang xám phải chịu một quá trình làm nguội không đều hoặc quá nhanh làm cho vật đúc trở nên giòn cứng và dòn tại một số điểm được gọi là hiện tượng biến trắng. Ngoài ra, trong quá trình đúc, nhiều khi đã tuân thủ mọi chế độ công nghệ, nhưng hiện tượng này vẫn bị xảy ra, đó là do thành phần hóa học đã ảnh hưởng đến. Việc nghiên cứu mối liên hệ giữa thành phần hóa học và chế độ nguội khi đúc gang xám có một ý nghĩa vô cùng quan trọng, nó giúp cho việc giảm các tỷ lệ phế phẩm vật đúc gang trong các nhà máy, phân xưởng đúc.

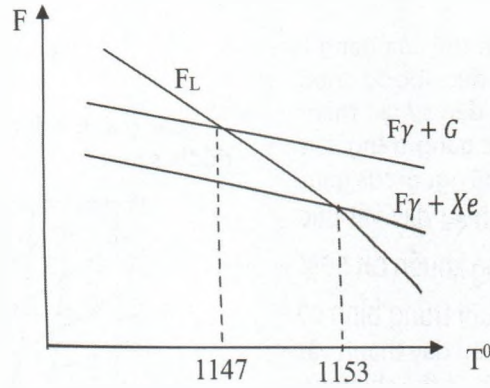
Khi nghiên cứu sự hình thành tổ chức của gang có thể dùng giản đồ pha Fe-C (sử dụng giản đồ pha Fe - Gr cho gang có grafit và Fe- Fe₃C cho gang không có grafit), tuy nhiên ngoài Fe và C trong gang còn có các nguyên tố khác và đặc biệt một số nguyên tố ảnh hưởng đến sự hình thành Grafit, đó là Si và Mn, vì vậy ta cần xét đến giản đồ pha ba cấu tử Fe-C-Si và Fe-C-Mn. Ngoài ra, khi đúc còn có thể sử dụng các biện pháp để thúc đẩy sự tạo mầm Grafit theo hướng tạo mầm tự sinh hoặc ký sinh. Dựa trên những lý lẽ như trên, sau đây là những khảo sát cho từng yếu tố để xây dựng mối liên quan giữa chúng.

2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN QUÁ TRÌNH GRAFIT HÓA TRONG GANG

2.1. Năng lượng tự do và công tạo mầm grafit

- Về năng lượng tự do của grafit luôn nhỏ hơn của xementit ở mọi khoảng nhiệt độ (Hình 2.1).

Như vậy, về phương diện này, sự tạo mầm grafit là có lợi hơn nhưng năng lượng tự do chỉ là yếu tố quyết định chiều hướng của quá trình sự kết tinh ra grafit có thực hiện được hay không còn phụ thuộc vào công tạo mầm.



Hình 2.1: Đồ thị năng lượng tự do pha L, $\gamma + G$ và $\gamma + Xe$

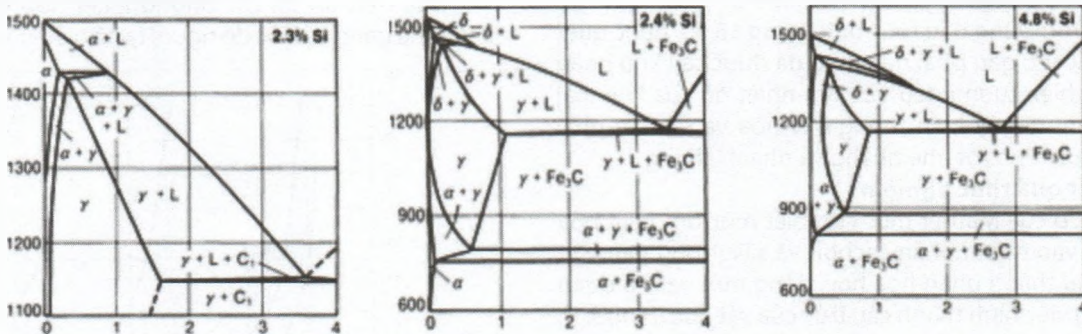
Về công tạo mầm, ta nhận thấy:

Grafit có 100%C, xementit có 6,67%C, gang lỏng có khoảng 3 - 4%C, auxtenit có dưới 2,14%C. Từ đó thấy rằng, so với gang lỏng và auxtenit, grafit có sai khác thành phần lớn hơn xementit. Vì vậy, từ gang lỏng và từ auxtenit, để tạo nên xementit, cacbon phải khuếch tán, ba động ít hơn so với khi tạo nên grafit. Xét về cấu tạo mạng tinh thể, thấy rõ auxtenit có dạng lập phương gần với xementit có dạng tám mặt hơn là grafit có dạng mạng lục giác.

Kết hợp cả hai yếu tố trên thì khả năng tạo thành grafit từ gang lỏng trong hợp kim Fe-C nguyên chất chỉ xảy ra trong khoảng nhiệt độ 1.153°C đến 1.147°C, ở dưới 1.147°C cả hai hỗn hợp Auxtenit + Xementit và Auxtenit + Grafit đều có năng lượng tự do thấp hơn pha lỏng, do đó pha lỏng kết tinh ra Auxtenit + Xementit với công tạo mầm bé hơn.

2.2. Thành phần hóa học trong gang đúc

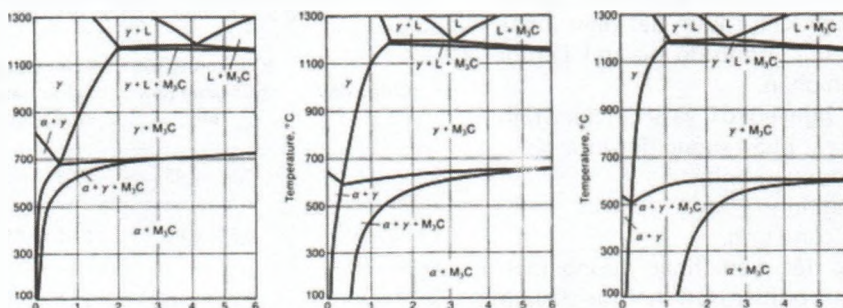
Như đã biết, gang là hợp kim ngoài Fe, C, còn có chứa nhiều các nguyên tố khác như Mn, Si, P, S... chúng có ảnh hưởng khác nhau đến sự tạo thành grafit. Trong các nguyên tố này, trừ Fe và C ra thì Si là nguyên tố ảnh hưởng nhiều đến sự grafit hóa trong gang, thể hiện ở giản đồ pha ba cấu tử Fe-C-Si. Các mặt cắt đứng của giản đồ này với lượng Si khác nhau ở mặt cắt đứng được nêu trên Hình 2.2.



Hình 2.2: Mặt cắt dọc giản đồ pha ba cấu tử Fe-C-Si ở 2,3, 2,4 và 4,8% Si

Các mặt cắt cho thấy Si là nguyên tố thu hẹp vùng auxtenit. Khi lượng Si lớn hơn 8% thì vùng auxtenit thực tế không còn tồn tại được nữa. Si còn tạo ra khoảng nhiệt độ cho vùng ba pha ferit + auxtenit + grafit nằm ngay sát trên đường A₁ làm cho gang rất dễ grafit hóa khi chuyển biến cùng tích, làm phức tạp cho quá trình nhiệt luyện sau này. Như vậy, Si làm giảm khả năng hòa tan của cacbon ở trong gang lỏng và trong auxtenit. Để điều chỉnh mức độ tạo thành grafit, lượng silic trong các loại gang thay đổi trong phạm vi rất rộng từ 0.3 - 0.5% đối với gang trắng và 1 - 3% đối với các gang còn lại.

Xét nguyên tố mangan (Mn): Giản đồ pha Fe-C-Mn (Hình 2.3) cho thấy cacbit M₃C (FeMn)₃C, ổn định trên một loạt các hàm lượng mangan và sắt, kéo dài ở 1.000°C từ Mn₃C đến Fe₃C gần như nguyên chất. Ở hàm lượng mangan cao (ví dụ, trên 40% Mn), cacbit mangan khác như M₅C₂, M₇C₃, M₂₃C₆, và M₄C₁ + (ε) có thể hình thành. Điều đó cho thấy Mn trong gang thúc đẩy sự tạo thành gang trắng và ngăn cản grafit hóa. Tuy nhiên, không thể giảm lượng Mn xuống quá vì Mn là nguyên tố tăng tính chịu mài mòn, tăng độ bền, giảm tác hại của lưu huỳnh (S). Do đó, trong thực tế, gang trắng thường chứa 2 ~ 2,5% Mn, trong gang xám lượng Mn không quá 1,3%.



Hình 2.3: Mặt cắt dọc giản đồ pha ba cấu tử Fe-C-Mn ở 4,92; 12,8 và 19,7% Mn

2.3. Khuôn và chế độ làm nguội

Yếu tố ảnh hưởng đến cấu trúc tinh thể của gang là điều kiện đông đặc và làm nguội của vật đúc. Tốc độ nguội khi kết tinh lúc đúc gang có ảnh hưởng đến sự tạo thành grafit. Tốc độ nguội nhanh thì thu được gang trắng, làm nguội chậm thì thu được gang xám. Tốc độ nguội của gang đúc phụ thuộc vào loại khuôn đúc và chiều dày vật đúc. Hiện nay, sử dụng phương pháp đúc trong khuôn cát hoặc cát furan để đúc gang, thời gian làm nguội trung bình có thể từ 12 - 48h tùy thuộc loại gang và chiều dày thành vật đúc, với sản phẩm nhỏ thời gian làm nguội có thể chỉ trong vài giờ. Để xét đến sự thay đổi tốc độ làm nguội, chiều dày thành vật đúc sẽ được thay đổi.

3. GIẢN ĐỒ TỔ CHỨC KHI ĐÚC GANG XÁM

3.1. Điều kiện thực nghiệm

Đối với quá trình đúc các sản phẩm gang xám, một trong những ứng dụng chính của nhiệt động lực học là giản đồ pha Fe-C và sự tính toán các mối tương quan về tổ chức - thành phần để thiết lập giản đồ tổ chức khi đúc gang.

Điều kiện thực nghiệm:

- Đúc trong khuôn cát, làm nguội ở các tốc độ nguội khác nhau;

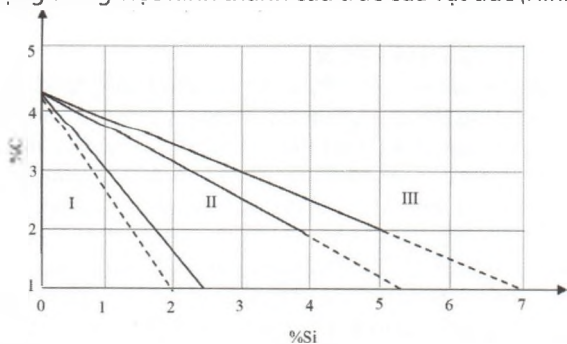
- Các mẫu đúc có chiều dày đến 100 mm;

- Nhiệt độ gang lỏng 1.250°C - 1.450°C.

- Cách rót: Dùng gầu rót trọng lượng 15 kg, được quét một lớp đất sét, gầu phải đảm bảo đã được sấy khô hoàn toàn tránh hiện tượng gầu ướt làm nhiệt độ của kim loại lỏng bị giảm đi gây hiện tượng oxy hóa và rỗ. Cần phải đảm bảo quá trình rót nhẹ nhàng và nhanh chóng.

3.2. Kết quả thực nghiệm

- Giản đồ của Maurer mức cho biết mức độ grafit hóa phụ thuộc vào thành phần cacbon và silic trong gang: tỷ lệ, cũng như thành phần hóa học, đóng một vai trò quan trọng trong việc hình thành cấu trúc của vật đúc (Hình 3.1).



Hình 3.1: Giản đồ tổ chức của gang xám khi chiều dày thành 50 mm

- Giản đồ tổ chức của Laplanche có xét đến ảnh hưởng của tốc độ nguội thông qua kích thước tiết diện (hoặc đường kính thanh) của vật đúc. Trong đó, giá trị k là một hàm thực nghiệm của thành phần.

Mức độ bão hòa của các nguyên tố C và Si (S_c) được tính theo công thức đơn giản tại các phân xưởng đúc thực tế:

SC < 1 đối với gang trước cùng tinh;

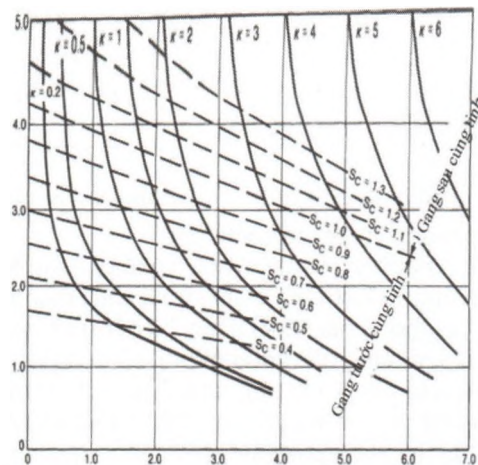
SC = 1 đối với gang cùng tinh;

SC > 1 đối với gang sau cùng tinh.

Thông qua kích thước tiết diện (hoặc đường kính thanh) của vật đúc, hàm thực nghiệm k ở một tốc độ làm nguội nhất định được xác định như sau:

$$k = 4 / 3Si \left(1 - \frac{5}{3C + Si} \right)$$

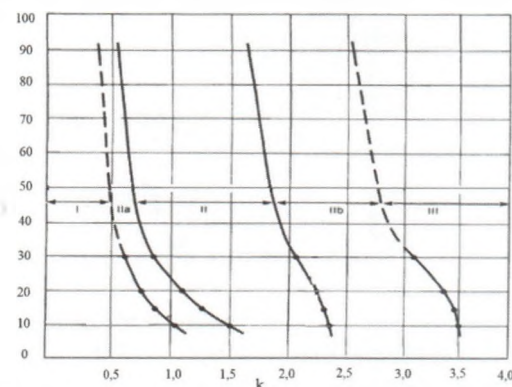
Các giá trị k được xác định phụ thuộc vào C và Si theo đồ thị sau:



Hình 3.2: Đồ thị đường k phụ thuộc thành phần C và Si

Nhận xét: Các giá trị k tạo thành các đường k có độ dốc và liên tục, tuân theo quy luật, vì vậy có thể áp dụng nó suy cho những trường hợp bất kỳ các giá trị k.

Dựa trên đồ thị các đường k kết hợp với giản đồ tổ chức của gang với tốc độ nguội ta có giản đồ sau (Hình 3.3).



Hình 3.3: Giản đồ mức độ grafit hóa phụ thuộc và chiều dày vật đúc

Trong đó:

Vùng I: Vùng gang biến trắng, tổ chức là Ledeburit.

Vùng IIa: Vùng gang hoa râm, tổ chức là Ledeburit + Peclit

Vùng II: Vùng gang xám Peclit.

Vùng IIb: Vùng gang xám Peclit + ferit.

Vùng III: Vùng gang xám ferit.

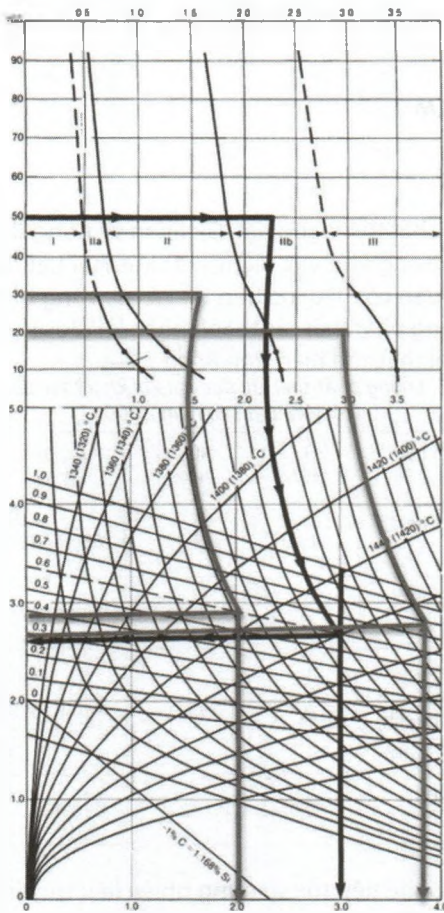
Giá trị mức độ grafit hóa cho các vùng cấu trúc ở các chiều dày 20, 30, 50 mm.

Bảng 3.1. K cho các phạm vi tổ chức khác nhau

Chiều dày	K cho vùng tổ chức gang hoa râm	K cho vùng tổ chức gang xám peclit	K cho vùng tổ chức gang xám peclit - ferit
50	0,85 - 0,95	0,95 - 1,95	1,95 - 2,95
30	0,65 - 0,85	0,85 - 2,05	2,05 - 3,10
20	0,75 - 1,10	1,10 - 2,25	2,25 - 3,40

3.3. Giản đồ tổ chức khi đúc gang xám

Kết hợp các giản đồ của Maurer và Laplanche, ta có giản đồ trong đó biểu diễn mối liên quan giữa các yếu tố tổ chức tế vi, thành phần và tốc độ làm nguội.



Hình 3.4: Giản đồ tổ chức khi đúc gang

3.4. Ứng dụng giản đồ

Xác định thành phần và chế độ công nghệ cho các mẫu đúc sau:

Mẫu 1:

- Mẫu gang chiều dày 20 mm;
 - Nội suy đường k, xác định $k=3,1$;
 - Đường k giao với mức độ bão hòa $S_C, S_{Si}=0,8$.
 - Xác định được thành phần của Si và C:
- C = 2,7% và Si = 3,8%, nhiệt độ của gang lỏng là 1.470 - 1.450°C.

- Tổ chức: gang xám ferit.

Mẫu 2:

- Gang chiều dày 30 mm;
 - Nội suy đường k, xác định $k=1,5$;
 - Đường k giao với mức độ bão hòa $S_C, S_{Si}=0,6$;
 - Xác định được thành phần của Si và C:
- C = 2,9% và Si = 2%, nhiệt độ của gang lỏng là 1.435 - 1.415°C.

- Tổ chức: Gang xám Peclit.

Mẫu 3:

- Gang chiều dày 50 mm, xác định thông số theo giản đồ thực hiện như sau:
- Nội suy đường k, xác định $k=2,2$;
- Đường k giao với mức độ bão hòa $S_C, S_{Si}=0,6$;
- Từ điểm giao kẻ các đường song song với trục x và y

được thành phần của Si và C: C = 2,6% và Si = 3%, nhiệt độ của gang lỏng là 1.460 - 1.440°C.

- Tổ chức: Gang xám Peclit + ferit.

4. KẾT LUẬN

Thông qua giản đồ tổ chức khi đúc gang xám, có thể kết luận như sau:

- Để đạt được tổ chức tế vi grafit, thành phần hóa học điển hình của hợp kim sắt-carbon (Fe-C) là 2,5 - 4,0% carbon và 1 - 3% silic theo trọng lượng. Grafit có thể chiếm 6 - 10% khối lượng gang xám. Silic là nguyên tố rất quan trọng để tạo ra gang xám thay vì gang trắng, vì silic là nguyên tố ổn định graphit, giúp tạo ra cấu trúc grafit thay vì xementit (Fe_3C) trong hợp kim. Khi nồng độ silic đạt đến 3% khối lượng, hầu như không có carbon tồn tại ở dạng hóa học như xementit.

- Một yếu tố khác ảnh hưởng đến hiện tượng grafit hóa là tốc độ đông đặc; tốc độ càng chậm, thời gian để carbon khuếch tán và tách ra tích tụ dưới dạng grafit càng lớn. Tốc độ làm nguội chậm vừa phải giúp tạo thành cấu trúc peclit nhiều hơn, trong khi tốc độ làm nguội nhanh sẽ tạo thành cấu trúc ferit. Nếu làm nguội nhanh sẽ ngăn chặn quá trình grafit hóa một phần hoặc hoàn toàn, đồng thời dẫn đến sự hình thành xementit.

- Dựa vào giản đồ đã xây dựng có thể xác định được thành phần và tốc độ nguội để đạt được các tổ chức gang theo chiều dày của chi tiết. Điều này có ý nghĩa vô cùng quan trọng khi đúc các sản phẩm làm bằng gang xám cần phải tránh biến trắng gây phế phẩm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT21-22.28.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Văn Cương (2018), *Giáo trình Vật liệu kỹ thuật*, NXB. Hàng hải.
- [2]. Lê Công Dưỡng (2000), *Vật liệu học*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [3]. Nghiêm Hùng (1979), *Kim loại học và nhiệt luyện*, NXB. Đại học và Trung học chuyên nghiệp Hà Nội.
- [4]. B.N.Arzamakov (2000), *Vật liệu học*, NXB. Giáo dục.
- [5]. H. Laplanche (1948), *The Maurer Diagram and Its Evolution and a New Structural Diagram for Cast Iron*, Foundry Trade J., no.1669-1671.
- [6]. Metallography, Structures and Phase Diagrams (1973), vol.8, 8th ed., *Metals Handbook*, American Society for Metals.
- [7]. F. Neumann and E. Dötsch (1975), *Thermodynamics of Fe-C-Si Melts With Particular Emphasis on the Oxidation Behavior of Carbon and Silicon*, in *The Metallurgy of Cast Iron*, B. Lux et al., Ed., Georgi Publishing.

Ngày nhận bài: 15/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 17/7/2022

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Dương Nam
TS. Nguyễn Tiến Dũng**