

ẢNH HƯỞNG BIẾN TÍNH VÀ XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN TỔ CHỨC VÀ CƠ TÍNH CỦA THÉP ĐÚC HỢP KIM THẤP

INFLUENCE OF MODIFICATION AND HEAT TREATMENT ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW ALLOY CASTING STEEL

NGUYỄN DƯƠNG NAM*, LÊ VĂN CƯƠNG, PHẠM ĐỨC

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: namnd.khcs@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày những kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng đồng thời Al và Ti kết hợp với quá trình xử lý nhiệt phù hợp đến đến tổ chức và cơ tính của thép đúc hợp kim thấp. Khi thực hiện biến tính thép đồng thời bằng Al và Ti kết hợp với chế độ xử lý nhiệt nung mẫu lên 650°C giữ nhiệt trong 02 giờ sau đó tiếp tục nung đến 920°C giữ nhiệt 03 giờ nguội nhanh trong nước; sau đó mẫu được ram ở 250°C trong 06 giờ cho giá trị độ dai va đập cao nhất là 57,5J/cm² và giá trị độ cứng thu được là 50 HRC. Cấu trúc tổ chức được chỉ ra là tổ chức Bainite kết hợp với austenite dư; giá trị độ hạt tốt nhất là đạt độ hạt cấp 4.

Từ khóa: Bainite, biến tính, xử lý nhiệt, độ hạt.

Abstract

Influence of Al and Ti addition combined heat treatment on microstructure and mechanical properties of the low alloy casting steels is presented in this article. In this research, the samples were modified by Al and Ti then heat treatment as follows: heated and held at 650°C for 2 hours, then continued heating to 920°C for 3 hours before quenching in water; after that, they were tempered at 250°C for 06 hours. The results indicate that the highest values of impact strength and hardness were 57.5J/cm² and 50 HRC. The microstructure of the sample was bainite and residual austenite with grade 4 of the particle size.

Keywords: Bainite, modification, heat treatment, grain size.

1. Mở đầu

Thép hợp kim thấp có nhiều ứng dụng trong thực tế như phân nhóm AHSS để chế tạo các chi tiết được biến dạng thì còn có nhóm chuyên dụng để chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn bên cạnh đó cần đảm bảo độ dai nhất định. Những nhóm chi tiết cụ thể trong điều kiện làm việc ở trên là chi tiết răng cào

tuyệt và một số loại răng gầu xúc than,...

G. Golaeski và các tác giả khác [1], [2] đã trình bày những kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các hạt cacbit như M₃C, M₂C, M₂₃C₆, MC, M₇C₃ đến tổ chức của thép đúc L21HMF và L17HMF sau khi xử lý nhiệt. Các nghiên cứu đã chỉ ra sự dịch chuyển về cấu trúc của thép trước và sau khi nhiệt luyện.

Nghiên cứu của Y. A. Farzin và cộng sự [3] về ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép song pha ST52 đã chỉ ra cơ tính tốt nhất đạt được khi ủ ở 770°C trong 105 phút và tôi trong nước. Tổ chức nhận được là các hạt peclit nhỏ mịn, một lượng austenite dư và giá trị giới hạn bền đạt tới 1331MPa với giá trị độ cứng là 316HV30.

Nghiên cứu về sự phân tán của các hạt cacbit sau khi xử lý nhiệt và làm việc trong một thời gian dài đã được chỉ ra đối với thép đúc hợp kim thấp Cr-Mo-V [1], [2], [4], [5].

Nghiên cứu của R. C. Voigt [6] về ảnh hưởng của quá trình xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép hợp kim thấp Mn và thép HSLA. Bằng những phân tích của nhóm nghiên cứu đã xác định tổ chức của thép sau khi xử lý nhiệt là tổ chức ferrit-mactenxit ram. Giá trị độ dai và độ bền của thép tăng lên khi thực hiện quy trình xử lý nhiệt hai bước.

Trong công nghệ chế tạo vật liệu thì ảnh hưởng của Al và Ti được nghiên cứu khá nhiều trong những năm trở lại đây. Việc đưa các nguyên tố như Ti vào trong thép góp phần đáng kể trong việc tạo thép có độ hạt nhỏ; hơn nữa Ti sẽ tạo nên các cacbit như TiC phân tán bên trong nền sẽ làm tăng khả năng chống mài mòn cho thép. Ngoài ra, Al có tác dụng ngăn cản sự hình thành các rỗ khí [7]-[10].

Chuyển pha trong thép nói chung và thép Mn nói riêng hiện đang là vấn đề được quan tâm bởi lẽ xác định chính xác các chuyển biến pha trong các điều kiện cụ thể sẽ góp phần nâng cao khả năng làm việc và tuổi thọ của thép nghiên cứu. Các chuyển biến pha này ảnh hưởng rất nhiều bởi quá trình xử lý nhiệt [11]-[15].

Bảng 1. Thành phần nguyên tố hợp kim chính

Mẫu	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Al	Ti
M0	0,255	0,887	1,631	1,676	0,251	0,040	0,053	-
M1	0,282	0,883	1,433	1,602	0,218	0,369	0,211	-
M2	0,249	0,869	1,479	1,579	0,219	0,365	0,192	0,151

Tuy nhiên việc đưa Al và Ti vào trong thép đúc được hợp kim hóa thêm các nguyên tố như Mn, Cr; Si, Mo và quá trình xử lý nhiệt để tăng được lại chưa thực sự được quan tâm.

Trong công trình nghiên cứu này, chúng tôi trình bày ảnh hưởng của biến tính Al và Ti cũng như ảnh hưởng của quá trình ram đến tổ chức và cơ tính của thép đúc hợp kim thấp. Từ đó, xác định chế độ xử lý nhiệt phù hợp với yêu cầu đặt ra của chi tiết được làm trong điều kiện chịu mài mòn với độ cứng trên bề mặt của mẫu trong khoảng 42 - 52HRC và độ dai va đập đạt tối thiểu 32J/cm² ở nhiệt độ phòng.

2. Phương pháp nghiên cứu

Các mẫu thép được tiến hành nấu trong lò trung tần có khối lượng mẻ nấu trung bình là 250kg với mục đích để các mẫu thép nghiên cứu đảm bảo tính đồng đều thành phần và ổn định. Kết quả này được tiến hành tại Công ty TNHH Thăng Lợi. Mẫu nghiên cứu được lấy trên sản phẩm là răng gầu xuất khẩu của công ty. Vị trí lấy mẫu được lấy ở vị trí lưỡi răng gầu xúc nơi chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn và đảm bảo độ dai nhất định.

Thành phần mỗi mẻ nấu được tiến hành phân tích thành phần trên thiết bị phân tích nguyên tố ARL-3460 của hãng Fisons Thụy Sĩ cho kết quả như trong Bảng 1.

Mẫu sau đúc được tiến hành xử lý nhiệt theo quy trình sau: nung thép đến 650°C giữ nhiệt trong 02 giờ nung tiếp đến 920°C giữ nhiệt trong 03 giờ và nguội nhanh trong nước. Quá trình này nhằm đảm bảo khi thực hiện nung ở 920°C tổ chức của thép là hoàn toàn ở trạng thái austenite; nguội nhanh trong nước sẽ hình thành nên tổ chức mactenxit và austenite dư. Sau đó tiến hành ram ở các nhiệt độ và thời gian khác nhau với mong muốn tổ chức cuối cùng thu được là bainite với austenite dư (Bảng 2). Quá trình xử lý nhiệt được tiến hành trên thiết bị nhiệt luyện CF-1400 tại Trung tâm Thực hành thí nghiệm, Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Các mẫu sau đúc và nhiệt luyện được tiến hành phân tích tổ chức tế vi trên kính hiển vi quang học Axiovert 25A; VHX và kính hiển vi điện tử FESEM

Jeol 7600 - Đại học Bách Khoa Hà Nội. Ngoài ra, để đánh giá thành phần bằng phương pháp phân tích EDS trên thiết bị FESEM Jeol 7600.

Bảng 2. Các chế độ xử lý nhiệt

Thứ tự	Nhiệt độ ram, °C	Thời gian ram, giờ
1	200	3
2	200	5
3	200	6
4	220	3
5	220	5
6	220	6
7	250	3
8	250	5
9	250	6

Để đánh giá cơ tính của hợp kim nghiên cứu mẫu được tiến hành đo độ cứng trên thiết bị đo độ cứng ATKF 1000 của hãng Mitutoyo và độ dai va đập trên máy đo JBS-300.

3. Kết quả và bàn luận

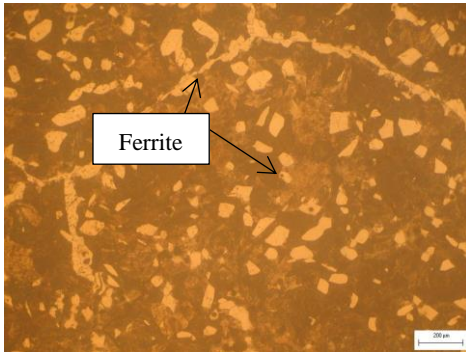
3.1. Kết quả phân tích về tổ chức tế vi

Hợp kim sau đúc không biến tính (M0)

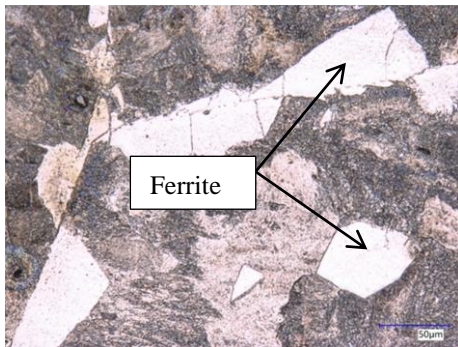
Đánh giá tổ chức tế vi của hợp kim sau đúc nhận thấy ngay cả với độ phóng đại 50 lần cũng cho thấy độ hạt của hợp kim khá lớn; với chế độ phóng đại này cũng không xác định được biên giới hạt của hợp kim nghiên cứu. Phân tích kích thước hạt bằng phần mềm Image Pro-Plus tại Đại học Bách khoa Hà Nội cho thấy kích thước hạt nhỏ nhất sau đúc có thể đạt được là 1,055mm. Ở biên giới hạt là các hạt ferit màu sáng đa cạnh nằm dọc biên giới hạt; bên trong hạt ở trạng thái đúc thấy xuất hiện những hạt màu sáng (Hình 1a).

Các kết quả nghiên cứu cho thấy có sự xuất hiện của các ferit được tiết ra từ austenite khi làm nguội từ trạng thái lỏng (Hình 1b). Các hạt ferrite này có biên giới rõ ràng so với nền Peclit (austenite chuyển biến thành). Như vậy các hạt này không phải được tiết ra từ nền P khi làm nguội xuống.

Phân tích phổ nguyên tố các vùng sáng bên trong hạt được nghi ngờ ở phân tích hiển vi quang học cho thấy thành phần hóa học chủ yếu là Fe và một số nguyên tố vi lượng Cr; Si và Mo. Như vậy, pha màu sáng ở trong hạt là các hạt ferit được tiết ra từ trạng thái lỏng khi làm nguội hay còn gọi là ferit delta.



a) Phân tích bằng kính Axiovert 25A (×50)



b) Phân tích bằng kính hiển vi VHX (×1000)
Hình 1. Tổ chức tế vi hợp kim M0 sau đúc

Biến tính hợp kim sau đúc bằng Al (M1)

Phân tích tổ chức tế vi của hợp kim sau biến tính bằng Al ở trạng thái đúc cho thấy:

Tổ chức tế vi của hợp kim sau đúc là nền Peclit với các hạt ferit ở biên giới hạt.

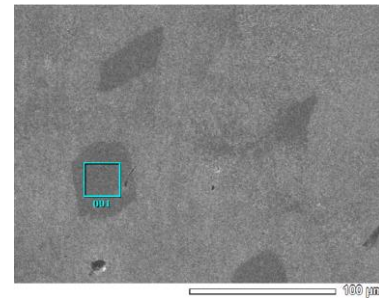
Tương tự với phân tích tổ chức mẫu M0; các hạt màu sáng bên trong hạt của mẫu sau đúc là các hạt ferit delta.

Tuy nhiên đối với hợp kim sau biến tính bằng nhôm cho thấy kích thước hạt có giảm so với mẫu không biến tính bằng Al (kích thước hạt giảm xuống còn 0,65mm). Tuy nhiên đối với mẫu sau đúc thì giá trị này rất lớn để có thể thực hiện chế độ nhiệt luyện (Hình 3).

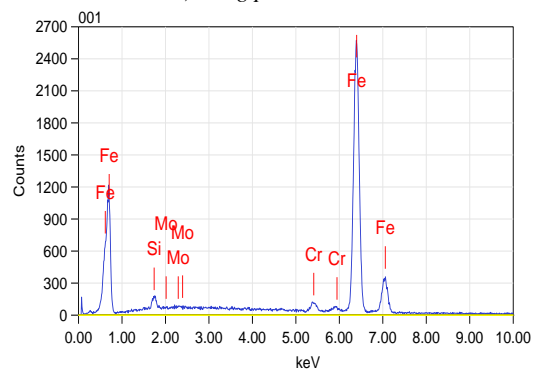
Biến tính bằng Al kết hợp với Titan

Đối với hợp kim được tiến hành biến tính bằng Al kết hợp với Ti cho thấy độ hạt của hợp kim sau đúc có kích thước nhỏ mịn. Với độ phóng đại 500 lần như ở Hình 4 cho thấy thu được hạt có kích thước nhỏ. Không

thấy sự xuất hiện của các hạt ferit delta ở trong hạt của hợp kim nghiên cứu. Trên biên giới hạt thấy xuất hiện rất ít các ferit được hình thành.

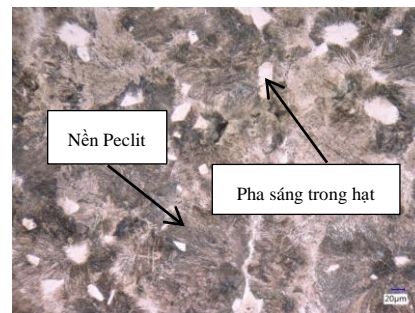


a) Vùng phân tích EDS



b) Phổ nguyên tố

Hình 2. Phân tích phổ nguyên tố



Hình 3. Tổ chức tế vi hợp kim M1 sau đúc (×500)

Phân tích kích thước hạt bằng phần mềm Image Pro-Plus tại Đại học Bách Khoa Hà Nội xác định độ

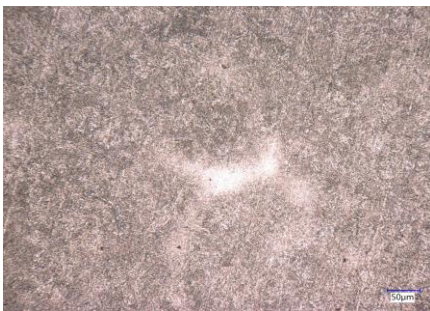
hạt trung bình là cấp 3,45 theo tiêu chuẩn ASTM. Như vậy, với phương pháp biến tính bằng Al kết hợp với Ti cho hiệu quả cao nhất về độ hạt cũng như khả năng khử khí của hợp kim nghiên cứu.



Hình 4. Tổ chức tế vi hợp kim M2 sau đúc ($\times 500$)



a) $\times 1000$



b) $\times 500$

Hình 5. Tổ chức tế vi hợp kim M2 sau xử lý nhiệt

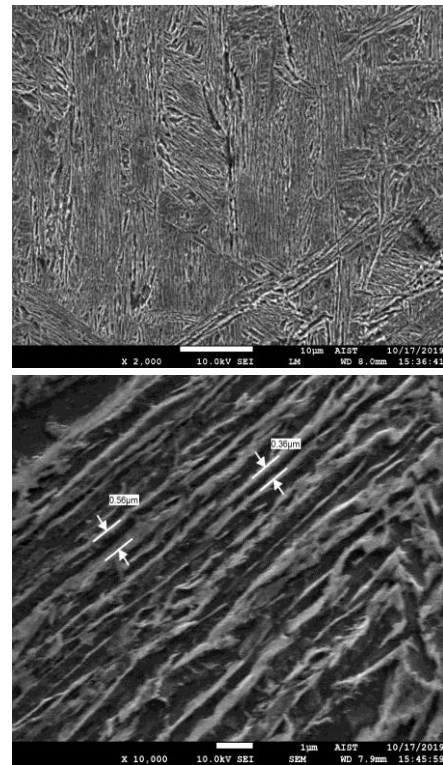
Đánh giá tổ chức tế vi sau khi xử lý nhiệt

Phân tích tổ chức tế vi sau nhiệt luyện ở chế độ 2,9 cho thấy:

Sau xử lý nhiệt, tổ chức tế vi của hợp kim có cấu trúc dạng tấm (với cấu trúc này có thể là các mactenxit hoặc bainite). Ngoài ra, còn có một số cacbit nhỏ mịn phân tán bên trong nền.

Phân tích độ hạt sau khi xử lý nhiệt cho thấy độ hạt sau nhiệt luyện có thể đạt tới cấp 4. Với độ hạt này đảm bảo yêu cầu làm việc cho chi tiết.

Ảnh chụp SEM (Hình 6) cho thấy với độ phóng đại cao hơn cho thấy tổ chức là các tấm Ferrite song song với nhau. Đây là dạng tổ chức đặc trưng của bainite - tổ chức hình thành với tốc độ nguội chậm hơn.



Hình 6. Phân tích SEM hợp kim M2 sau xử lý nhiệt

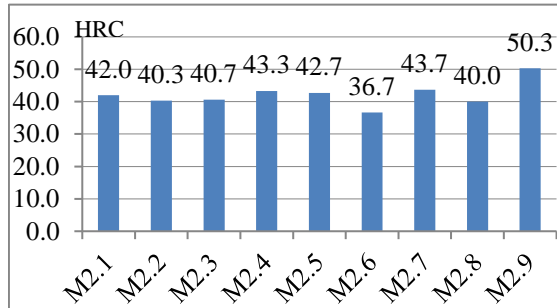
Các tấm Ferrite song song với nhau ở trong cùng một hạt khoảng cách giữa các tấm là dao động từ 0,36 đến 0,56µm.

3.2. Phân tích về cơ tính

Phân tích về độ dai va đập:

So sánh giá trị độ dai va đập của mẫu sau các chế độ xử lý nhiệt (Hình 7) cho thấy: giá trị độ dai va đập đạt lớn nhất là 57,5J/cm² khi mẫu được nung ở 650°C giữ nhiệt trong 02 giờ sau đó nâng tiếp lên 920°C giữ nhiệt trong 03 giờ và nguội nhanh trong nước; sau đó mẫu được ram ở 250°C trong 06 giờ để đảm bảo các chuyển

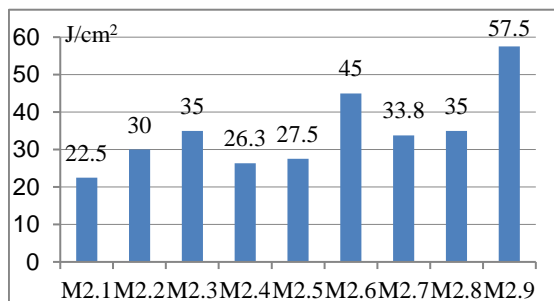
biến xảy ra hoàn toàn. Với chế độ trên thu được giá trị độ dai và đập là lớn nhất trong các chế độ xử lý. Với tổ chức đặc trưng là bainite xen kẽ là austenite dư đảm bảo được giá trị độ dai và đập của mẫu thép nghiên cứu.



Hình 7. Phân tích giá trị độ dai và đập

Ảnh hưởng đến độ cứng

Phân tích giá trị độ cứng trên bề mặt của mẫu cho thấy các chế độ M2,4; M2,7 và M2,9 có giá trị độ cứng xấp xỉ nhau và với giá trị độ cứng này đảm bảo yêu cầu làm việc của chi tiết răng gầu. Tuy nhiên, kết hợp với giá trị độ dai và đập cho thấy chế độ M2,9 thỏa mãn các yêu cầu đặt ra ban đầu của hợp kim nghiên cứu. Với chế độ M2,9 đảm bảo được về tổ chức thỏa mãn các yêu cầu ban đầu.



Hình 8. Phân tích giá trị độ cứng trên bề mặt

5. Kết luận

Những kết quả nghiên cứu của công trình này đã cho thấy sự ảnh hưởng của chất biến tính Al và Ti và chế độ ram đến tổ chức và cơ tính của thép Mn thấp ứng dụng trong điều kiện mài mòn và đảm bảo độ dai nhất định. Chế độ xử lý của thép nghiên cứu như sau: sử dụng đồng thời hai chất biến tính là Al và Ti kết hợp với quy trình xử lý nhiệt phù hợp. Quy trình xử lý nhiệt cho thép nghiên cứu là nung đến 650°C giữ nhiệt trong 02 giờ sau đó nung tiếp đến 920°C giữ nhiệt trong 03 giờ và nguội nhanh trong nước. Cuối cùng thép được tiến hành ram ở 250°C giữ nhiệt trong 06 giờ. Với quá trình xử lý nhiệt như trên cơ tính của thép đạt được là:

giá trị độ dai và đập cao nhất đạt 57,5J/cm² và giá trị độ cứng trên bề mặt là 50,3HRC. Tổ chức tế vi của thép sau biến tính kết hợp với xử lý nhiệt là tổ chức bainite kết hợp với austenite dư. Khoảng cách giữa các tâm Ferrite là từ 0,36 đến 0,56μm. Giá trị độ hạt hiệu quả khi xử lý nhiệt với quy trình trên là cấp 4.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT20-21.30.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Golański and P. Wiczorek, *Precipitation of carbides in Cr - Mo - V cast steel after service and regenerative heat treatment*, Arch. Foundry Eng., Vol.9, No.1, pp.97-102, 2009.
- [2] G. Golanski, *Regenerative Heat Treatment of Low Alloy Cast Steel*, Heat Treat. - Conv. Nov. Appl., no. September 2006, 2012.
- [3] Y. A. Farzin, A. Najafizadeh, and E. H. Nejad, *Effect of temperature in intercritical treatment on microstructure, tensile properties and hardness in dual phase ST52 steel*, J. Mater. Environ. Sci., Vol.7, No.5, pp.1716-1722, 2016.
- [4] A. Zieliński, J. Dobrzański, and H. Krztoń, *Structural changes in low alloy cast steel Cr-Mo-V after long time creep service*, Vol.25, No.1, pp.33-36, 2007.
- [5] J. Dobrzański, A. Zieliński, and H. Krztoń, *Mechanical properties and structure of the Cr-Mo-V low-alloyed steel after long-term service in creep condition*, Vol.23, No.1, pp.39-42, 2007.
- [6] R. C. Voigt, *Analysis of intercritical heat treatment of cast steels*, J. Heat Treat., Vol.7, No.2, pp.95-105, 1989.
- [7] W. S. Yang and C. M. Wan, *The influence of aluminium content to the stacking fault energy in Fe-Mn-Al-C alloy system*, J. Mater. Sci., Vol.25, pp.1821-1823, 1990.
- [8] N. I. Medvedeva, M. S. Park, D. C. Van Aken, and J. E. Medvedeva, *First-principles study of Mn, Al and C distribution and their effect on stacking fault energies in fcc Fe*, J. Alloys Compd., Vol.582, pp.475-482, 2014.
- [9] J. D. Verhoeven, *Cast Irons*. 2019.
- [10] N. I. Medvedeva, M. S. Park, D. C. Van Aken, and J. E. Medvedeva, *First-principles study of the Mn, Al and C distribution and their effect on the stacking fault energies in austenite*, 2012.

- [11] B. I. S. [13:43], BAINITE.IN.STEELS.
- [12] A. S. M. I. Handbook, *ASM handbook (Heat treating of Irons and Steels)*, ASM Int., 2005.
- [13] ASM International Handbook Committee, *ASM Handbook: Materials Characterization, Volume 10, Book*, 1998.
- [14] D. Krizan and B. C. D. E. Cooman, *Mechanical Properties of TRIP Steel Microalloyed with Ti* *Mechanical Properties of TRIP Steel Microalloyed with Ti*, No. July, 2014.
- [15] E. De Moor, *Advanced High Strength Steels*, 2015.

Ngày nhận bài:	07/3/2021
Ngày nhận bản sửa:	19/3/2021
Ngày duyệt đăng:	29/3/2021