

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN TỔ CHỨC
VÀ CƠ TÍNH THÉP Mn15Cr2V DÙNG LÀM RĂNG GÀU PC1250
INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND
MECHANICAL OF Mn15Cr2V STEEL USING FOR BUCKET TEETH PC1250

NGUYỄN DƯƠNG NAM^{1*}, ĐOÀN XUÂN TRƯỞNG¹, HOÀNG ANH TUẤN²

¹Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

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

Tóm tắt

Bài báo này trình bày những kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của quy trình xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép Mn15Cr2V được sử dụng chế tạo răng gầu PC1250. Các kết quả nghiên cứu cho thấy: Khi thép được xử lý nhiệt với việc nung trung gian ở 650°C giữ nhiệt trong 02 giờ làm nguội ngoài không khí sau đó tiếp tục nung đến 1100°C giữ nhiệt trong 02 giờ và làm nguội nhanh trong nước cho được tổ chức hoàn toàn austenite; không có cacbit thô nằm ở biên giới hạt. Bằng phân tích hiện đại đã chỉ ra các cacbit nhỏ mịn như VC phân tán trong nền austenite. Giá trị độ dai va đập thu được của thép đạt tới 115J/cm². Giá trị độ cứng của pha nền sau xử lý nhiệt là 223HB.

Từ khóa: Sustenite, cacbit, độ cứng, độ dai va đập, thép mangan cao.

Abstract

The article presents the research results on the influence of heat treatment process on the microstructure and mechanical properties of Mn15Cr2V steel used to make PC1250 bucket teeth. The research results show that: When the steel was heated with intermediate heating at 650°C, was kept in 02 hours, then cool in the air, then continue, the steel was heated at 1100°C, was kept in 02 hours and cool down quickly in water. The microstructure of this steel was held full austenite; There are not carbides which were located at the grain boundaries. By modern analysis, there are has shown that fine carbides such as (Fe,Cr)₇C₃ VC are dispersed in the austenite matrix. The value of impact toughness obtained of steel reaches 115J/cm². The hardness value of the base phase after heat treatment is 223HB.

Keywords: Austenite, carbide, impact toughness, high manganese steel.

1. Mở đầu

Răng gầu xúc PC1250 dùng trong các loại máy xúc thủy lực được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp khai khoáng. Đây là một chi tiết trong gầu xúc thường xuyên phải thay thế do bị mài mòn trong quá trình làm việc dưới tác dụng của lực xúc răng gầu bị va đập và chà sát với đất đá, khoáng sản. Khi phần mũi mòn của răng gầu mòn tới giới hạn không có tác dụng xúc phải thay răng gầu mới. PC1250 là chi tiết phải làm việc trong điều kiện chịu áp lực cao, tải trọng thay đổi, chịu va đập và mài mòn mạnh. Vì vậy, yêu cầu cơ tính đối với răng gầu PC1250 là phải có độ bền và độ dai va đập cao, chịu mài mòn tốt, sản phẩm sau đúc có chất lượng tốt, không xuất hiện rỗ co, xộp co, bề mặt vật đúc đẹp đảm bảo không hình thành vết nứt tế vi trong quá trình làm việc.

Cơ sở để nghiên cứu quy trình nhiệt luyện là giản đồ trạng thái 2 nguyên với mặt cắt là 15% Mn. Theo giản đồ hàm lượng V trong khoảng 1-2%, ở nhiệt độ dưới 700°C, có mặt các pha austenite, VC, M₇C₃, trên 1000°C, hầu như chỉ còn lại austenite và VC. Cacbit là pha có độ cứng cao và vì thế có tính chống mài mòn rất tốt. Trong tổ chức làm việc của thép mangan cao nếu cacbit nằm ở biên giới hạt austenite sẽ gây giòn nhưng nếu chủ động tạo ra một lượng cacbit không ở biên giới mà phân bố đều trong hạt austenite thì độ mài mòn và tuổi thọ của chi tiết sẽ tăng lên. Loại cacbit này phải có độ cứng cao và có thể tồn tại, không tan hết sau khi nung ở nhiệt độ tôi.

Tổ chức của thép sau đúc không đáp ứng yêu cầu làm việc vì lượng cacbit, lớn, phân bố ở biên giới hạt, gây giòn, tổ chức austenite hạt lớn. Ngoài ra trong các chi tiết còn chứa ứng suất, vì vậy nhiệt luyện là khâu bắt buộc. Chính vì vậy, bài báo trình bày những kết quả nghiên cứu về sự thay đổi của tổ chức thép Mn15Cr2V khi xử lý ở các quy trình xử lý nhiệt khác nhau cũng như nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến cơ tính của thép. Một quy trình xử lý nhiệt hợp lý cho thép này sẽ góp phần rất lớn cho việc tạo được nền với hạt austenite nhỏ mịn và các hạt cacbit rất nhỏ mịn phân tán bên trong nền. Tạo được các hạt

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim nghiên cứu (% về khối lượng)

Fe	C	Mn	Cr	V	Si	P	S	Fe	C
80,5	1,40	14,7	1,85	1,09	0,78	0,08	0,02	80,5	1,40

austenite nhỏ mịn sẽ tăng định hướng song tinh dưới tác dụng của tải trọng từ đó tăng được khả năng hóa bền của chi tiết khi làm việc. Ngoài ra các hạt cacbit rất nhỏ mịn phân bố đồng đều trong các hạt austenite sẽ có tác dụng cản trở sự chuyển động của lệch và các hạt cacbit này còn có tác dụng tăng khả năng chịu mài mòn cho thép.

2. Vật liệu và phương pháp

Lựa chọn mẫu vật liệu Mn15Cr2V để nghiên cứu ảnh hưởng của quy trình công nghệ đến tổ chức và cơ tính của chi tiết làm từ thép austenite mangan cao. Thép mangan cao được nấu trong lò cảm ứng trung tần tại Công ty TNHH Đúc Thắng Lợi - Nam Định (Vico). Mẫu sau đúc được kiểm tra thành phần trên máy quang phổ phát xạ ARL-3460 của hãng Fisons Thụy Sĩ.

Mẫu sau đúc được thực hiện các quy trình xử lý nhiệt sau:

Bảng 2. Quy trình xử lý nhiệt thép Mn15Cr2V

TT	Quy trình	Nội dung
1	Nhiệt luyện 1 (NL1)	Nâng nhiệt 1050°C giữ nhiệt trong 02 giờ; nguội nhanh trong nước
2	Nhiệt luyện 2 (NL2)	Nâng nhiệt 1100°C giữ nhiệt trong 02 giờ; nguội nhanh trong nước; tiếp tục nâng lên 650°C và nguội ngoài không khí
3	Nhiệt luyện 3 (NL3)	Nâng đến 650°C giữ nhiệt trong 2h rồi làm nguội ngoài không khí. Sau đó được tiếp tục nung đến 1100°C giữ nhiệt trong 2h và làm nguội trong môi trường nước.

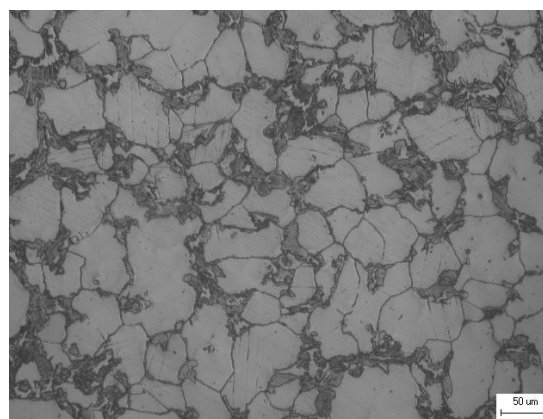
Các mẫu sau đúc và sau áp dụng các quy trình xử lý nhiệt trên được tiến hành soi hiển vi quang học xác định cỡ hạt và đo độ cứng. Các mẫu sau xử lý nhiệt sẽ tiến hành các thí nghiệm SEM, EDS, đo độ dai va đập và tính chống mài mòn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tổ chức tế vi

Sau đúc thép có thành phần tổ chức bao gồm austenite do vùng austenite được mở rộng đến nhiệt

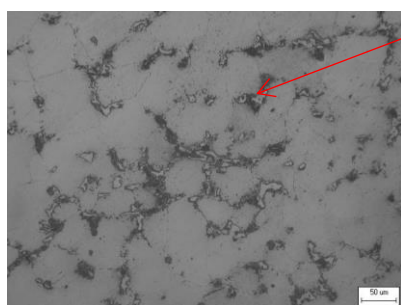
độ thường và cacbit được tiết ra từ trạng thái nóng chảy cùng với cacbit tiết ra khi nguội chậm trong khuôn hoặc trong không khí. Cacbit ở trạng thái đúc thường có kích thước lớn. Độ hạt; sự phân bố cacbit và hình thái cacbit là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng của thép. Phân tích tổ chức Hình 1 cho thấy độ hạt của thép sau đúc theo tiêu chuẩn ASTM là cấp 5; ngoài ra trong tổ chức xuất hiện các cacbit thô ở biên giới hạt chính những cacbit này sẽ ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của thép khi làm việc đặc biệt là với chi tiết răng gầu làm việc trong điều kiện chịu mài mòn và va đập lớn.



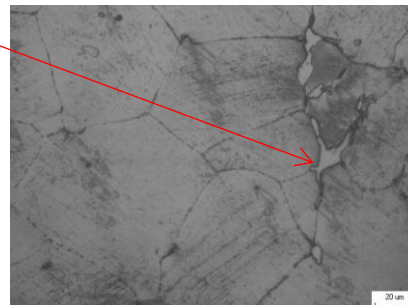
Hình 1. Tổ chức thép sau đúc

Quy trình 1 là quy trình nhiệt luyện truyền thống, cho đến nay vẫn được áp dụng khá phổ biến. Thời gian giữ phụ thuộc vào kích thước chi tiết. Tổ chức mong đợi là austenite tương đối đồng nhất, đảm bảo độ dai dưới tải trọng va đập. Cacbit tồn tại ở biên giới là điều cần tránh nhất vì tổ chức này sẽ gây phá hủy giòn tại biên giới, dẫn đến giảm tuổi thọ chi tiết.

Phân tích tổ chức tế vi của thép khi thực hiện xử lý nhiệt theo quy trình 1 cho thấy vẫn còn các cacbit nằm ở biên giới hạt; thành phần của thép với những nguyên tố Cr; V tạo cacbit mạnh làm chậm quá trình tạo thành những cacbit dạng $(Fe,Cr)_3C$ và $(Fe,Cr)_7C_3$, còn V có khả năng tạo ra VC. Chúng đều là những cacbit tương đối ổn định và khó hòa tan lại khi nung. Việc các cacbit hình thành sau đúc hòa tan được vào trong nền và tạo những cacbit nhỏ mịn có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao chất lượng của thép Mn15Cr2V khi làm việc dưới điều kiện chịu mài mòn và va đập.



cacbit



Hình 2. Tổ chức thép sau khi xử lý nhiệt theo quy trình 1

Hình 3. Tổ chức tế vi thép sau nhiệt luyện theo quy trình 2

Tổ chức tế vi của thép sau khi xử lý nhiệt theo quy trình 1 chưa đảm bảo việc hòa tan cacbit cũng như tạo tổ chức thuần austenite.

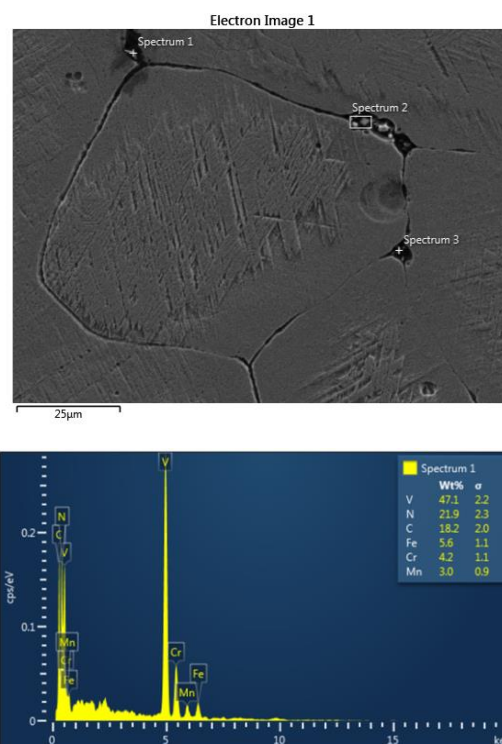
Do tốc độ lớn lên của ausenite khá lớn, kích thước hạt austenite khoảng 80μm. Đây chưa phải là tổ chức mong muốn vì nó chắc chắn không đáp ứng được yêu cầu về tính chống mài mòn và thậm chí cả độ dai cho chi tiết. Phân tích tổ chức với cacbit còn thô và ở biên giới hạt ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của thép sau khi đúc.

Để tăng tính chống mài mòn cho thép, bài báo có tiến hành khảo sát quy trình nhiệt luyện số 2. Tổ chức austenite nhận được sau khi tôi, trong quá trình hóa già từ austenite, pha cacbit có độ cứng cao sẽ được tiết ra. Nhiệt độ hóa già là xử lý ở 650°C.

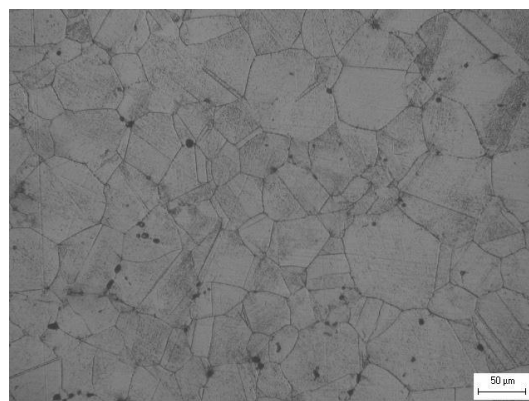
Phân tích tổ chức của thép sau nhiệt luyện theo quy trình 2 (Hình 3) cho thấy mặc dù cacbit đã không còn thô và tập trung liên tục ở biên giới hạt nữa nhưng vẫn còn một số hạt cacbit nằm phân tán ở trên biên làm ảnh hưởng đến tính chất của thép. Theo giản đồ pha của thép austenite mangan thì ở nhiệt độ hóa già 650°C, tổ chức bao gồm nền là austenite cùng với các loại của cacbit V, Cr hoặc dạng cacbit VC và chủ yếu là cacbit phức dạng M_7C_3 .

Hình 4 là kết quả phân tích kết quả ảnh SEM và EDS. Nghiên cứu các hình ảnh trên Hình 4 có thể nhận thấy rằng ở biên giới có tồn tại các hạt. Trên Hình 4 khi phân tích EDS thấy xuất hiện các nguyên tố V, Cr. Đây là những nguyên tố tạo cacbit mạnh. Việc xuất hiện các nguyên tố này chứng tỏ rằng nhiệt luyện theo quy trình 2 đã tạo ra cacbit ở biên giới hạt.

Về kích thước pha nền: Theo quy trình 2 hạt austenite sau khi đúc được phát triển kích thước tự do trong quá trình nung để tôi nên có kích thước khá lớn. Kích thước hạt của mẫu xử lý theo quy trình nhiệt luyện số 2 có kích thước trung bình khoảng 50-60μm. Một tổ chức nhận được trước khi làm việc với hạt austenite hạt tương đối lớn và có cacbit phân bố trên biên giới không phải là một tổ chức thực sự mong đợi cho thép Mn15Cr2V.



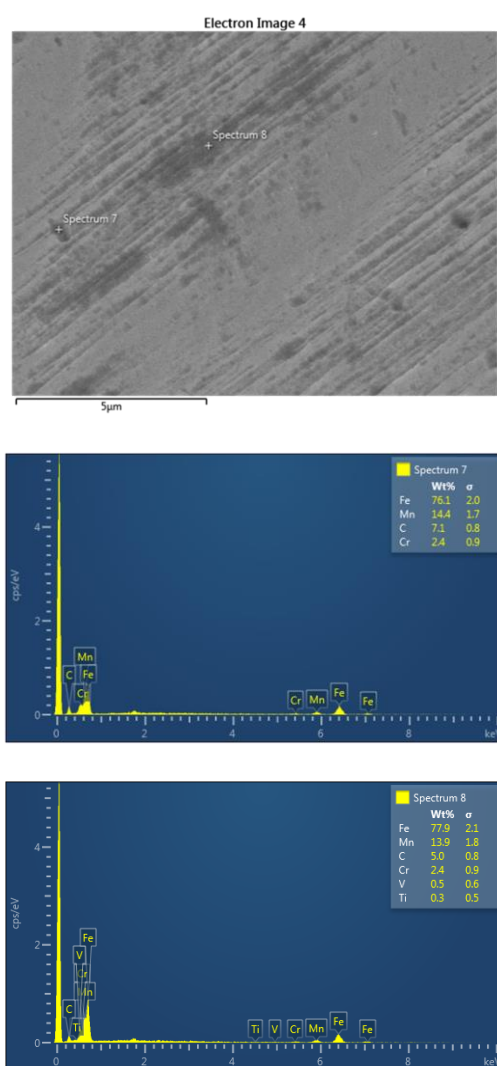
Hình 4. Ảnh SEM và EDS nhiệt luyện theo quy trình 2



Hình 5. Tổ chức tế vi thép nhiệt luyện theo quy trình 3

Tiếp tục nghiên cứu, bài báo trình bày những kết quả nghiên cứu về tổ chức của thép khi được xử lý theo quy trình 3. Nung trung gian nhằm tới hai mục đích: tạo ra cacbit bên trong hạt austenite để tăng tính chống mài mòn và làm nhỏ hạt austenite.

Trên Hình 5 là ảnh tổ chức tế vi của các mẫu áp dụng quy trình nhiệt luyện 3 cho thấy không có cacbit tập trung ở biên giới hạt; tổ chức nền là hoàn toàn austenite; có kích thước nhỏ mịn khoảng $30\mu\text{m}$. Quan sát kỹ hơn thấy rằng trong các hạt austenite đều có những hạt cacbit vô cùng nhỏ mịn.



Hình 6. Phân tích SEM, EDS điểm sau nhiệt luyện theo quy trình 3

Hình 6 là ảnh phân tích điểm EDS với mẫu đã nhiệt luyện theo quy trình 3. Phân tích thành phần EDS của các điểm trên ảnh nhận thấy tại điểm 7 và 8 có thành phần của các nguyên tố hợp kim cao hơn so với nền. Có thể dự đoán rằng đây là các pha cacbit của có kích thước nhỏ mịn phân tán trong nền. Từ kết quả phân tích về thành phần hóa học có thể dự đoán đây là cacbit phức $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ hoặc dạng cacbit VC. Những pha cacbit này có kích thước khoảng dưới $1\mu\text{m}$. Bằng các phương pháp phân tích có thể nhận thấy tổ chức của thép sau khi xử lý nhiệt theo quy trình 3 là nền austenite thuần nhất; trong đó có các pha cacbit với kích thước nhỏ mịn phân tán đều trong nền. Đây là những yếu tố rất quan trọng trong việc nâng cao cơ tính của thép khi làm việc trong điều kiện chịu mài mòn và va đập. Phân tích và so sánh về tổ chức được thể hiện trên Bảng 3 đã cho thấy sự khác biệt về tổ chức giữa các quy trình xử lý nhiệt khác nhau.

3.2. Phân tích cơ tính

a) So sánh độ cứng

Từ kết quả độ cứng nhận thấy khi mẫu được nhiệt luyện theo quy trình 2 có giá trị độ cứng cao nhất so với các mẫu còn lại (Bảng 4). Tuy nhiên, đối với mẫu thép Mn15Cr2V thì giá trị độ cứng chỉ là một yếu tố; yếu tố quyết định là giá trị độ dai và đập. Giá trị độ cứng sau xử lý nhiệt phản ánh về tổ chức của thép sau xử lý nhiệt đã đảm bảo được sự đồng đều. Điều này phù hợp với những kết quả phân tích về tổ chức đã được trình bày ở trên.

b) So sánh độ dai và đập

Các mẫu đo độ dai và đập được chế tạo theo tiêu chuẩn ASTM với khía chữ V trên máy CHAPPY thu được kết quả như sau (Bảng 5):

Phân tích kết quả xác định giá trị độ dai và đập cho thấy: Mẫu nhiệt luyện theo quy trình 3 cho giá trị độ dai và đập là lớn nhất đạt tới $115\text{J}/\text{cm}^2$. Điều này phù hợp với những phân tích về mặt tổ chức đã được trình bày ở trên. Khi mẫu nhiệt luyện theo quy trình 3 tổ chức là thuần nhất austenite với các hạt cacbit nhỏ mịn có kích thước dưới $1\mu\text{m}$; nằm phân tán ở trong nền đã làm tăng giá trị độ dai và đập của mẫu nghiên cứu. Với giá trị độ dai và đập đảm bảo cho mẫu làm việc trong điều kiện vừa chịu mài mòn vừa chịu va đập.

Bảng 3. So sánh đặc điểm tổ chức

Mẫu	Nền austenite	Cacbit
Sau đúc	Hạt austenite thô	Biên giới hạt
Quy trình 1	80µm	Biên giới hạt
Quy trình 2	50-60µm	Biên giới hạt
Quy trình 3	30µm	Phân tán

Bảng 4. Giá trị độ cứng của mẫu ở các quy trình khác nhau

Mẫu	Độ cứng
Sau đúc	175HB
Quy trình 1	156HB
Quy trình 2	280HB
Quy trình 3	223HB

Bảng 5. Giá trị độ dai va đập của mẫu ở các quy trình khác nhau

Quy trình nhiệt luyện	Kết quả độ dai đập (J/cm ²)
NL1	17
NL2	60
NL3	115

Bảng 6. Kết quả độ cứng của răng gầu PC1250

Độ cứng	Vùng đo	HV	
		Vết đo 1	Vết đo 2
	Mặt làm việc	203	201,6
	Mặt lắp ráp	200,3	198
	Lõi	196,8	203,4
Độ dai va đập		110J/cm ²	

Kết quả đo độ cứng cho thấy chi tiết có độ cứng tương đối thấp là đặc trưng của thép austenite mangan cao trước khi hóa bền biến dạng. Độ cứng trên toàn bộ chi tiết là tương đối gần nhau cho thấy sự đồng nhất về tổ chức giữa các phần mặt làm việc, mặt lắp ráp và lõi chi tiết răng gầu PC1250. Giá trị độ dai va đập cao cho thấy chi tiết có đủ khả năng làm việc trong điều kiện chịu va đập lớn. Giá trị đáp ứng được yêu cầu cơ tính của răng gầu PC1250 (Bảng 6).

5. Kết luận

Như vậy, từ những nghiên cứu ở trên cho thấy quy trình xử lý nhiệt phù hợp cho thép Mn15Cr2V là nâng nhiệt thép lên 650°C giữ nhiệt sau đó tiếp tục nung đến nhiệt độ austenite hóa ở 1100°C rồi làm nguội nhanh trong nước cho kết quả về tổ chức và cơ tính là tốt nhất.

Tổ chức của thép sau xử lý nhiệt là các pha austenite thuần nhất với các hạt cacbit nhỏ mịn phân tán bên trong nền. Tổ chức austenite nhỏ mịn với nhiều vùng biên giới cũng là tổ chức có khả năng hóa bền cho thép khi chi tiết chịu va đập. Lựa chọn mức Mn15Cr2V để chế tạo các sản phẩm chịu va đập và mài mòn mạnh nói chung và răng gầu xúc PC1250 nói riêng là phù hợp với điều kiện làm việc và giá thành sản phẩm của răng gầu, phù hợp với công nghệ thiết bị nấu luyện tại các doanh nghiệp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.34**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Chemingui et al. (2018), *Effect of heat treatment on microstructure, hardening and plasticity of a commercial Al-Zn-Mg-Cu alloy*, Int. J. Mater. Res., Vol.109, pp.1113-1121.
- [2] G. H. Srijbos and W. H. Kool (1995), *Superplastic behaviour of a rapidly solidified 7475 aluminium alloy*, Mater. Sci. Eng. A, Vol.194, No.2, pp.129-136.
- [3] J. Yang, E. Giraud, P. Dal Santo, S. Boude, and J. L. Lebrun (2019), *Prediction of superplastic forming of 7475 aluminium alloy sheets*, Materials Science and Engineering, Vol.576, No.1, pp.1-10.
- [4] S. Li, Z. Huang, and S. Jin (2019), *Superplastic behavioral characteristics of fine-grained 5A70 aluminum alloy*, Metals (Basel), Vol.9, No. 1, pp.1-21.
- [5] K. T. Kashyap and T. Chandrashekar (2001), *Effects and mechanisms of grain refinement in aluminium alloys*, Bull. Mater. Sci., Vol.24, No.4, pp.345-353.
- [6] V. V. Bryukhovetsky, D. E. Myla, V. P. Poyda, and A. V. Poyda (2020), *Effect of Homogenization on the Superplasticity and Microsuperplasticity of the Al-Zn-Mg-Cu Aluminum Alloy*, J. Nano- Electron. Phys., Vol.12, No.6, pp.06025-1-06025-8.

- [7] R. K. Mahidhara (1995), *Superplastic flow and failure in a fine-grained 7475 al alloy*, Materials Letters, Vol. 25, No.3-4. pp.111-116.
- [8] A. Kumar, A. K. Mukhopadhyay, and K. S. Prasad (2010), *Superplastic behaviour of Al-Zn-Mg-Cu-Zr alloy AA7010 containing Sc*, Materials Science and Engineering A, Vol.527, No.3, pp.854-857.

Ngày nhận bài:	23/10/2022
Ngày nhận bản sửa:	31/10/2022
Ngày duyệt đăng:	07/11/2022