

## Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hóa già đến đặc trưng cơ học và ăn mòn của hợp kim nhôm 7075

Ngô Minh Tiến, Nguyễn Văn Bằng, Nguyễn Tài Trọng,  
Nguyễn Thị Hoài Phương, Ninh Đức Hà\*

Viện Hóa học-Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

\*Email: ninhducha1974@gmail.com

Nhận bài: 12/9/2023; Hoàn thiện: 11/11/2023; Chấp nhận đăng: 12/12/2023; Xuất bản: 25/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.92.2023.86-91>

### TÓM TẮT

Trong bài báo này, nghiên cứu ảnh hưởng của một số chế độ hóa già khác nhau đến đặc trưng cơ học và ăn mòn của tám hợp kim nhôm biến dạng độ bền cao hệ 7075 được chế tạo trong nước. Một số chế độ xử lý nhiệt được nghiên cứu như: hóa già tự nhiên (HGTN), hóa già truyền thống T6, quá hóa già T76, hóa già 3 cấp RRA và hóa già gián đoạn T6I6 được thực hiện nghiên cứu. Hợp kim nhôm hệ 7075 sau mỗi chế độ hóa già khác nhau được tiến hành đánh giá đặc trưng tính chất: cơ tính, ăn mòn phun muối và ăn mòn điện hóa. Tám hợp kim nhôm biến dạng độ bền cao hệ 7075 sau mỗi chế độ hóa già khác nhau cho các tính chất cơ học, hóa học khác nhau, tùy thuộc yêu cầu sử dụng, lựa chọn chế độ phù hợp: chế độ hóa già T6I6 cho độ bền cơ tính cao nhất, giới hạn bền kéo đạt 630 MPa, độ cứng 91 HRB; chế độ quá hóa già T76 cho khả năng chống ăn mòn môi trường nước biển tốt nhất; chế độ hóa già 3 cấp RRA đảm bảo đồng thời độ bền cơ tính và khả năng chống ăn mòn tốt.

**Từ khóa:** Hợp kim 7075; Hợp kim B95; Hóa già; Các tính chất cơ lý; Ăn mòn nước biển.

### 1. MỞ ĐẦU

Nhiều công trình nghiên cứu về ứng dụng và phát triển các vật liệu hợp kim nhôm biến dạng độ bền cao. Trong các hợp kim nhôm loại này, hợp kim nhôm hệ Al-Zn-Mg-Cu được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau [1]. Trong đó, các mác hợp kim nhôm 7075 (Mỹ) hay B95 (Nga) được sử dụng phổ biến nhất, chúng ứng dụng trong lĩnh vực hàng hải, các chi tiết hàng không như: thân máy bay, khung máy bay, cánh máy bay, khuôn thổi nhựa, ván trượt tuyết, dụng cụ golf,... [2]. Các đặc trưng tính chất của hợp kim bị ảnh hưởng nhiều bởi các chế độ xử lý nhiệt, đặc biệt là chế độ hóa già. Hợp kim này hóa già chế độ phù hợp cho cơ tính cao, tuy nhiên khả năng chống ăn mòn khi đó thấp và ngược lại [3-5]. Chính vì vậy, hợp kim nhôm 7075 được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu, một số chế độ hóa già khác nhau như: chế độ hóa già truyền thống T6; hóa già 3 cấp RRA; quá hóa già T76; hóa già tự nhiên (HGTN) và hóa già gián đoạn T6I6 đã và đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu [2, 6, 7]. Trong bài báo này, các tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của một số chế độ hóa già khác nhau đến đặc trưng tính chất cơ học, hóa học của hợp kim nhôm 7075 nhằm đưa ra sự lựa chọn phù hợp trong quá trình sử dụng hệ vật liệu này.

### 2. THỰC NGHIỆM

#### 2.1. Nguyên vật liệu, thiết bị nghiên cứu

- Hoá chất: HCl, HNO<sub>3</sub>, HF, nước cất,...
- Mẫu nghiên cứu là các tấm hợp kim nhôm độ bền cao được sản xuất tại trong nước có thành phần tương đương mác 7075, thành phần hóa học như trong bảng 1.
- Lò nung Nabertherm nhiệt độ 30 ÷ 3000 °C, độ chính xác ± 5 °C của Đức;
- Lò hóa già DHG-9240B nhiệt độ 30 ÷ 300 °C, độ chính xác ± 0,1 °C của Trung Quốc;

**Bảng 1.** Thành phần hóa học mẫu hợp kim nhôm 7075.

Mẫu Hợp kim	Thành phần hợp kim nhôm, khối lượng								
	Al	Zn	Mg	Cu	Cr	Ti	Fe	Ni	Mn
7075	Còn lại	6,0	2,30	1,63	0,225	0,0422	0,28	0,0992	0,36
7075 (Mỹ)	Còn lại	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	0,18-0,28	Max 0,2	Max 0,5	-	Max 0,3
B95 (Nga)	Còn lại	5,0-7,0	1,8-2,8	1,4-2,0	0,1-0,25	Max 0,05	Max 0,5	Max 0,1	0,2-0,6

- Máy cắt mẫu Struers tốc độ cắt từ 100 - 400 vòng/phút của Đan Mạch;
- Máy đánh bóng Beta hãng Buehler, tốc độ quay 400 - 500 vòng/phút của Mỹ;
- Giấy ráp hạt SiC có cấp độ hạt khác nhau từ 400 đến 2000;
- Bột đánh bóng mẫu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kích thước cỡ 0,03 - 0,05 μm;
- Thiết bị đo độ cứng Rockwell TK-2, Liên Xô cũ;
- Thiết bị thử kéo, giãn dài M500 - 100AT, Đức;
- Thiết bị phun muối ERICHSEN, Đức;
- Thiết bị đo ăn mòn Autolab PGSTAT12/30/302, Hà Lan.

## 2.2. Chế tạo và phân tích mẫu

### 2.2.1. Chế tạo mẫu nghiên cứu

Các mẫu được ủ đồng đều ở 415 °C trong 2,5 h, nguội cùng lò, sau đó tôi cùng chế độ 470 °C, giữ nhiệt 2 h, làm nguội trong nước lạnh ở nhiệt độ thường, sau đó được xử lý nhiệt ở các chế độ hóa già khác nhau theo thông kê ở bảng 2.

**Bảng 2.** Các chế độ hóa già khác nhau của hợp kim nhôm 7075.

TT	Ký hiệu	Chế độ xử lý nhiệt
1	HGTN	Hóa già tự nhiên sau 6 tháng.
2	T6	Hóa già một cấp tại 120 °C, giữ nhiệt 24 h.
3	T76	- Hóa già cấp 1 tại 120 °C, giữ nhiệt 10 h. - Hóa già cấp 2 tại 165 °C, giữ nhiệt 15 h.
4	RRA	- Hóa già cấp 1 tại 120 °C, giữ nhiệt 16 h. - Hóa già cấp 2 tại 200 °C, giữ nhiệt 10 phút, nguội nhanh trong nước nguội. - Hóa già cấp 3 tại 120 °C, giữ nhiệt 20 h.
5	T6I6	- Hóa già cấp 1 tại 120 °C, giữ nhiệt 1,5 h. - Hóa già cấp 2 tại 65 °C, giữ nhiệt 240 h. - Hóa già cấp 3 tại 120 °C, giữ nhiệt 15 h.

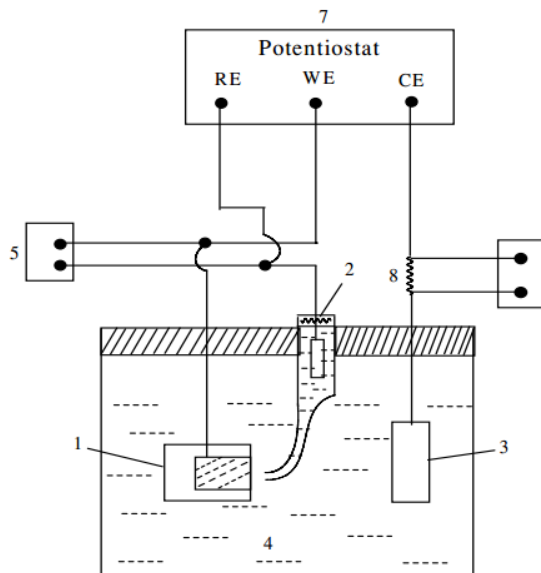
### 2.2.2. Phân tích mẫu nghiên cứu

- Xác định cơ tính: Độ cứng được xác định trên thiết bị đo độ cứng Rockwell TK-2. Mẫu xác định độ cứng kích thước (D × R × C): 20 × 20 × 4 mm. Giới hạn bền kéo, độ giãn dài tương đối được xác định trên thiết bị thử kéo, giãn dài M500 - 100AT theo tiêu chuẩn TCVN 197-1:2014 tương đương ISO 6892-1:2009. Các giá trị độ cứng, giới hạn bền kéo, độ giãn dài tương đối được lấy theo giá trị trung bình của 5 mẫu nghiên cứu tại cùng chế độ. Sai số các phương pháp đo: độ cứng ± 1 HRB, giới hạn bền kéo ± 1 MPa, độ giãn dài tương đối ± 2%.

- Đánh giá ăn mòn bằng phương pháp phun muối theo TCVN 7699-2-52:2007 [8] trên thiết bị phun muối ERICHSEN, Đức. Mẫu được chế tạo theo tiêu chuẩn, có diện tích bề mặt làm việc 2,25 cm<sup>2</sup>, sau 4 chu kỳ phun trong thiết bị phun muối được lấy ra, rửa bằng nước chảy liên tục để làm sạch nước muối bám trên bề mặt. Sấy khô bề mặt, chụp ảnh bề mặt bằng máy ảnh kỹ thuật số.

- Đánh giá ăn mòn điện hóa: đo đường cong phân cực theo phương pháp thế tĩnh (Potentiostat) được thực trên thiết bị Autolab PGSTAT12/30/302.

Sơ đồ đo đường cong phân cực theo phương pháp thế tĩnh được bố trí trên hình 1.



**Hình 1.** Sơ đồ thiết bị đo đường phân cực theo phương pháp thế tĩnh [9].

Trong đó: 1. Điện cực làm việc (WE) - hợp kim nhôm nghiên cứu; 2. Điện cực so sánh (RE) - điện cực Ag/AgCl; 3. Điện cực phụ trợ (CE) bằng Pt; 4. Dung dịch chất điện li (dung dịch NaCl 3,5%); 5, 6. Cácmilivol; 7. Potentionstat; 8. Điện trở mẫu đã có giá trị biết trước.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Độ bền cơ tính

Độ bền cơ tính của các mẫu hợp kim sau khi xử lý nhiệt chế độ hóa già thay đổi cho các chỉ tiêu cơ lý tính khác nhau. Kết quả xác định đặc trưng cơ tính của các mẫu hợp kim khi hóa già khác nhau được thể hiện trên bảng 3.

**Bảng 3.** Một số chỉ tiêu cơ tính của các mẫu hợp kim 7075 xử lý nhiệt chế độ khác nhau.

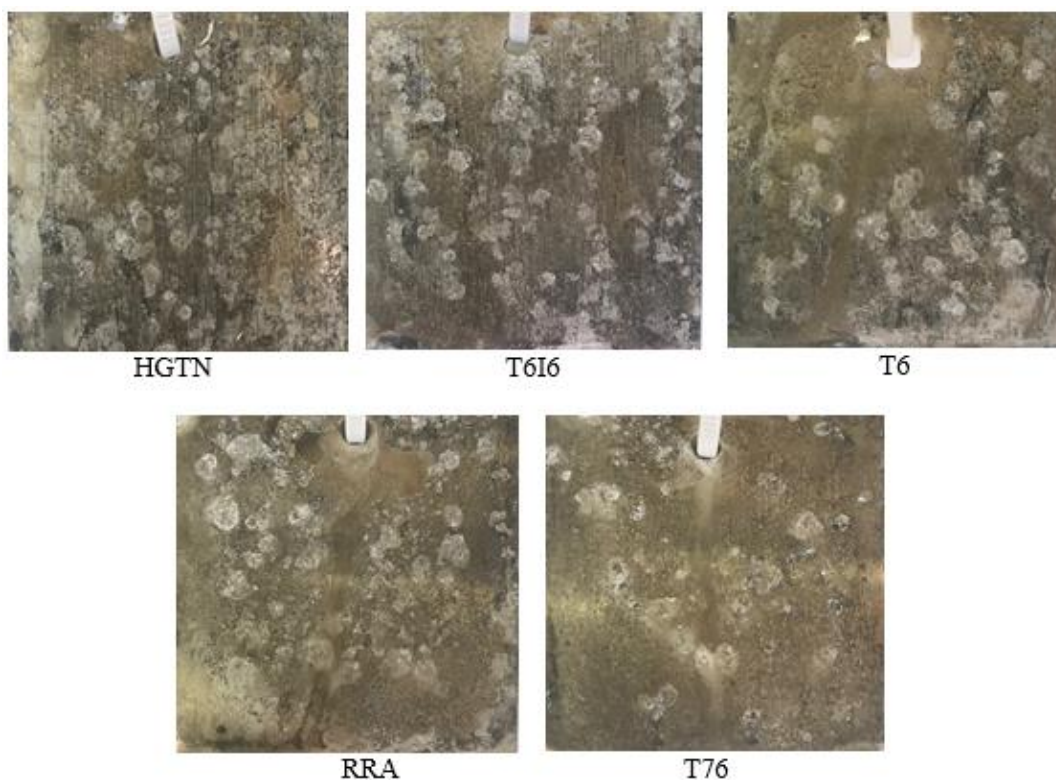
STT	Chế độ xử lý nhiệt	Độ cứng trung bình (HRB)	Giới hạn bền kéo trung bình, $\sigma_b$ (Mpa)	Độ giãn dài tương đối trung bình, $\delta$ (%)
01	HGTN	82,5	530	12,5
02	T6	90,5	585	13,5
03	T76	82,0	520	12,8
04	RRA	89,5	584	12,3
05	T6I6	91,0	630	12,8

Bảng 3 cho thấy, trong 5 chế độ hóa già nghiên cứu, chế độ hợp kim hóa già T6I6 có cơ tính cao nhất, giới hạn bền kéo đạt 630 Mpa, độ cứng 91 HRB. Trong khi đó, chế độ hóa già T76 có cơ tính thấp nhất, giới hạn bền kéo chỉ đạt 520 Mpa, độ cứng thấp 82 HRB. Chế độ hóa già tự nhiên (HGTN), sau 6 tháng hóa già có giới hạn bền kéo và độ cứng chưa cao. Các chế độ hóa già T6 và RRA có các chỉ tiêu cơ lý tính tương đương nhau, lần lượt giới hạn bền kéo đạt 585 MPa, 584 MPa và độ cứng đạt 90,5 HRB, 89,5 HRB. Điều này được lý giải do chế độ hóa già T6I6 các pha hóa bền tiết ra có kích thước nhỏ, mật độ cao hơn nhất so với các chế độ còn lại. Chế độ hóa già T76 hay còn gọi là chế độ quá hóa già tiết pha do hóa già cấp 2 tại nhiệt độ 165 °C, thời gian dài đến 15 h nên các pha hóa bền đã được sinh ra ở hóa già cấp 1, kích thước nhỏ mịn sẽ có

khuyh hướng phát triển mạnh, trở lên thô hóa, nồng độ các nguyên tố hợp kim hóa như Cu, Zn, Mg hòa tan, hóa bền cho dung dịch rắn nền nhôm (pha  $\alpha$ ) giảm mạnh. Do đó, chế độ quá hóa già T76 có giới hạn bền kéo và độ cứng giảm mạnh. Chế độ hóa già tự nhiên, do nhiệt độ hóa già thấp ở nhiệt độ phòng (25 - 35 °C) nên khả năng khuếch tán các nguyên tố hợp kim để hóa bền tiết pha diễn ra chậm, mặt khác thời gian hóa già chưa đủ dài (6 tháng), các pha hóa bền tiết ra chưa đủ nhiều để cải thiện được giới hạn bền kéo của hợp kim, để đạt giới hạn bền kéo cao nhất cần nghiên cứu hóa già tự nhiên với thời gian dài hơn. Như vậy, hợp kim nhôm 7075 khi xử lý nhiệt chế độ hóa già T6I6 cho độ bền cơ tính cao nhất.

### **3.2. Độ bền ăn mòn mù muối**

Đánh giá khả năng chống ăn mòn của hợp kim 7075 ở các chế độ xử lý nhiệt hóa già khác nhau trong môi trường nước biển bằng phương pháp gia tốc ăn mòn trên thiết bị phun muối. Các mẫu hóa già chế độ khác nhau được tiến hành phun muối trong cùng điều kiện. Quan sát bề mặt các mẫu sau 4 chu kỳ phun muối được thể hiện trên hình 2.

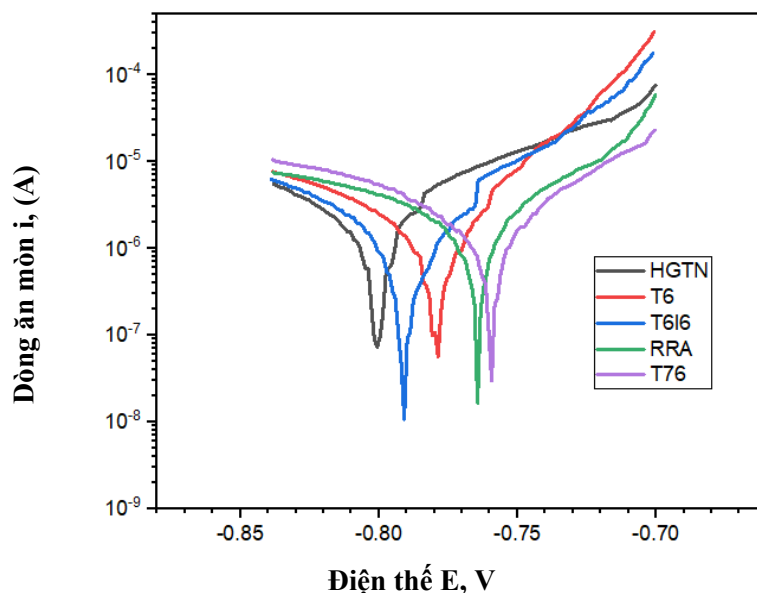


**Hình 2.** Ảnh kỹ thuật số bề mặt các mẫu hóa già khác nhau sau 4 chu kỳ phun muối.

Hình 2 cho thấy, các mẫu hóa già chế độ khác nhau có mức độ ăn mòn trong môi trường sương muối khác nhau. Sau 4 chu kỳ thử nghiệm phun muối, mẫu hóa già chế độ hóa già tự nhiên (HGTN), hóa già T6I6 bị ăn mòn mạnh hơn so với các mẫu hóa già chế độ T6, RRA và T76. Hai chế độ hóa già tự nhiên và hóa già T6I6 có mức độ ăn mòn bề mặt không khác nhau nhiều, mức độ ăn mòn rất mạnh, toàn bộ bề mặt chuyển sang màu xám, đen và nhiều vị trí xuất hiện ăn mòn mạnh, tạo thành lỗ sâu. Đối với hai mẫu chế độ hóa già RRA và T76 có mức độ ăn mòn bề mặt nhỏ nhất, tuy toàn bộ bề mặt đã chuyển sang màu xám do ăn mòn tạo ra, nhưng chỉ có một số ít vị trí xuất hiện ăn mòn mạnh. Như vậy, sau 4 chu kỳ thử nghiệm phun muối, chế độ quá hóa già T76 có mức độ phá hủy bề mặt do ăn mòn sương muối là ít nhất. Điều này chứng tỏ hợp kim nhôm hệ 7075 khi xử lý nhiệt chế độ quá hóa già T76 cho khả năng chống ăn mòn nước biển tốt nhất.

### 3.3. Đánh giá ăn mòn điện hóa

Phương pháp đo đường cong phân cực được tiến hành để đánh giá khả năng chống ăn mòn điện hóa của các chế độ xử lý nhiệt khác nhau. Mật độ dòng ăn mòn ( $j_{\text{am}}$ ), điện thế ăn mòn ( $E_{\text{am}}$ ), tốc độ ăn mòn và khả năng chống phân cực được đánh giá bằng dữ liệu ghi lại từ phép đo đường cong phân cực. Kết quả đo được thể hiện trên hình 3.



**Hình 3.** Giảm đồ đường cong phân cực của hợp kim 7075 ở các chế độ xử lý nhiệt khác nhau trong dung dịch muối NaCl 3,5% tại nhiệt độ phòng.

**Bảng 4.** Một số thông số ăn mòn điện hóa của các mẫu xử lý nhiệt chế độ khác nhau.

TT	Chế độ xử lý nhiệt	Thế ăn mòn, $E_{\text{am}}$ (V)	Mật độ dòng ăn mòn, $j_{\text{am}}$ ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	Dòng ăn mòn, $I_{\text{am}}$ (A)	Tốc độ ăn mòn, $v_{\text{am}}$ (mm/năm)	Tổng trở ăn mòn, $R_{\text{am}}$ ( $\Omega$ )
1	Tự nhiên	-0,806	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$2,62 \cdot 10^{-6}$	0,01272	3519,7
2	T6I6	-0,790	$1,08 \cdot 10^{-6}$	$2,43 \cdot 10^{-6}$	0,01114	4003,6
3	T6	-0,779	$9,52 \cdot 10^{-7}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	0,01037	4472,3
4	RRA	-0,765	$8,84 \cdot 10^{-7}$	$1,98 \cdot 10^{-6}$	0,00963	7524,9
5	T76	-0,759	$8,20 \cdot 10^{-7}$	$1,84 \cdot 10^{-6}$	0,00893	8017,3

Kết quả đo từ hình 3 cho thấy, tất cả các đường cong đều có dạng giống nhau mặc dù được xử lý nhiệt ở các chế độ khác nhau, điều này chứng tỏ các phản ứng ăn mòn là trùng khớp. Các thông số ăn mòn tương ứng rút ra từ đường cong này được trình bày trong bảng 4 để so sánh khuynh hướng ăn mòn của từng mẫu. Kết hợp các giá trị được liệt kê trong bảng, rõ ràng mẫu hóa già tự nhiên có điện thế ăn mòn âm nhất, mật độ dòng ăn mòn lớn nhất, tốc độ ăn mòn theo năm lớn nhất so với các mẫu theo thứ tự lần lượt là  $\text{HG TN} > \text{T6I6} > \text{T6} > \text{RRA} > \text{T76}$ . Điều đó chứng tỏ rằng, mẫu HG TN (6 tháng) có độ bền, khả năng chống ăn mòn điện hóa kém nhất và mẫu T76 có mức độ chống ăn mòn điện hóa là cao nhất.

### 4. KẾT LUẬN

Hợp kim nhôm 7075 hóa già chế độ T6I6 có cơ tính cao nhất, giới hạn bền kéo đạt 630 MPa, độ cứng 91 HRB. Trong khi đó, chế độ quá hóa già T76 có cơ tính thấp nhất, giới hạn bền kéo chỉ

đạt 520 MPa, độ cứng 82 HRB. Chế độ hóa già tự nhiên có cơ tính chưa cao. Các chế độ hóa già T6 và RRA có các chỉ tiêu cơ lý tính tương đương nhau, lần lượt giới hạn bền kéo đạt 585 MPa, 584 MPa và độ cứng đạt 90,5 HRB, 89,5 HRB. Chế độ hóa già tự nhiên, nhiệt độ hóa già thấp ở nhiệt độ phòng (25 - 35 °C), thời gian hóa già chưa đủ dài (6 tháng) nên độ cứng và độ bền chưa cao, để đạt giới hạn bền kéo cao nhất cần nghiên cứu hóa già tự nhiên với thời gian dài hơn.

Chế độ quá hóa già T76 cho khả năng chống ăn mòn nước biển tốt nhất. Thử nghiệm gia tốc ăn mòn phun muối sau 4 chu kỳ cho thấy, trên bề mặt chỉ xuất hiện một số ít vị trí ăn mòn mạnh. Mức độ bị ăn mòn điện hóa thấp nhất so với các mẫu theo thứ tự lần lượt là HGTD > T6I6 > T6 > RRA > T76.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ về trang thiết bị của Viện Hóa học-Vật liệu và Bộ môn Vật liệu và Công nghệ Vật liệu/Khoa Cơ khí cho công trình nghiên cứu.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. G. E. Totten, D. Scott MacKenzie, "Handbook of Aluminum: Volume 1 Physical Metallurgy and Processes", Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, (2003).
- [2]. A. Azarniya, A. K. Taheri and K. K. Taheri, "Recent advances in ageing of 7xxx series aluminum alloys: A physical metallurgy perspective", J Alloys Compd, Vol. 781, pp. 945 – 983, (2019).
- [3]. Y. Wang, L. Cao, X. Wu, X. Tong, B. Liao, G. Huang, Z. Wang, "Effect of retrogression treatments on microstructure, hardness and corrosion behaviors of aluminum alloy 7085", J Alloys Comp, 814, 152264, (2020).
- [4]. X. Peng, Y. Li, G. Xu, J. Huang and Z. Yin, "Effect of Precipitate State on Mechanical Properties, Corrosion Behavior, and Microstructures of Al-Zn-Mg-Cu Alloy", Met Mater Int, Vol. 24, pp. 1046 - 1057, (2018).
- [5]. X. Chen, S. Zhai, D. Gao, Y. Liu, J. Xu and Y. Liu, "Enhanced stress corrosion cracking resistance and electrical conductivity of a T761 treated Al-Zn-Mg-Cu alloy thin plate", Mater Res Express, Vol. 5, pp. 1 – 18, (2018).
- [6]. A. D. Isadare, B. Aremo, M. O. Adeoye, O. J. Olawale, M. D. Shittu, "Effect of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of 7075 Aluminium Alloy", Mat. Res 16(1), pp. 190-194, (2013).
- [7]. R. Su, T. Liu, Y. Qu, G. Bai, R. Li, "Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Spray-Formed 7075 Alloy with One-Stage Aging", Jou. Mat. Eng. Per, (2019).
- [8]. TCVN 7699-2-52:2007 "Thử nghiệm môi trường - Phần 2-52: Các thử nghiệm - Thử nghiệm Kb: Sương muối, chu kỳ (dung dịch natri clorua)", (2007).
- [9]. Trịnh Xuân Sến, "Ăn mòn và Bảo vệ kim loại", Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, tr. 153, (2006).

### ABSTRACT

#### **Effect of different aging conditions on the mechanical and corrosion properties of 7075 aluminum alloy**

*In this paper, the effects of some aging treatments on the characteristic properties of the high strength-deformation 7075 aluminum alloy plate are studied. Some heat treatments such as natural aging, traditional aging T6, over-aging T76, re-aging RRA and interrupted aging T6I6 are studied. The 7075 alloy system, after aging, is evaluated for characteristic properties: mechanical properties, salt spray corrosion, and electrochemical corrosion. The high strength-deformation 7075 aluminum alloy plate, after different aging, has various mechanical and chemical properties depending on usage requirements, select process concordant: T6I6 can increase the ultimate strength, tensile strength up to 630 MPa, hardness 91 HRB; T76 can increase ability corrosion resistance optimal in seawater environment; RRA ensure simultaneously mechanical properties and ability corrosion resistance good.*

**Keywords:** 7075 alloy; B95 alloy; Aging; Mechanical properties; Sea corrosion.