NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA BIẾN DẠNG NGUỘI VÀ XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN ĐỘ CỨNG, ĐỘ DẪN ĐIỆN VÀ TỔ CHỨC TẾ VI CỦA HỢP KIM NHÔM BIẾN DẠNG AMg6

Phùng Tuấn Anh[1*], Đậu Vinh An[2], Phạm Ngọc Thuật[3]

Tóm tắt: *Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của biến dạng cán nguội và xử lý nhiệt đến độ cứng, độ dẫn điện và tổ chức tế vi của hợp kim nhôm AMg6. Thực nghiệm chỉ ra rằng, hợp kim nhôm AMg6 có tính dẻo dai cao, mức độ cán nguội có thể lên đến 75% mà các mẫu hợp kim không bị nứt vỡ và phá hủy. Khi mức độ cán nguội tăng từ (0-75)%, độ cứng của hợp kim tăng từ 76,3 HV3 đến 185,3 HV3, nhưng độ dẫn điện giảm từ 29,2%IACS đến 25,8%IACS. Tổ chức tế vi thay đổi rõ rệt, các hạt bị kéo dài theo phương cán, đặc biệt là các mẫu có mức độ cán nguội đến 75%. Sau ủ kết tinh lại, độ cứng của hợp kim giảm nhẹ trong vùng nhiệt độ (100-200) ^oC và giảm rất nhanh trong trong vùng nhiệt độ (300-400) ^oC sau 4 h. Ngược lại, độ dẫn điện của hợp kim lại tăng nhanh trong 1 h ủ đầu tiên, sau đó tăng chậm dần. Sau 4 h ủ ở (100-200) ^oC, độ dẫn diện tăng nhẹ và hầu như không đáng kể, trong khi ở (300-400) ^oC độ dẫn điện tăng gần đạt giá trị mẫu ban đầu. Trên ảnh tổ chức tế vi, các hạt bị biến dạng dần được thay thế bởi các hạt mới, thể hiện rõ hơn nhiệt độ cao (300-400) ^oC. Các kết quả này là cơ sở lựa chọn thông số công nghệ khi chế tạo hợp kim AMg6 và là tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm cải thiện các tính chất của hợp kim, phục vụ sản xuất các chi tiết mang tính lưỡng dụng, đặc biệt là các chi tiết vũ khí.*

Từ khóa: Hợp kim nhôm AMg6; Cán nguội; Xử lý nhiệt; Ủ kết tinh lại; Độ cứng; Độ dẫn điện; Tổ chức tế vi.

1. MỞ ĐẦU

Các hợp kim nhôm biến dạng hệ Al-Mg là các hợp kim không hóa bền được bằng nhiệt luyện, được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp ô tô, hàng không vũ trụ, công nghiệp đóng tàu và nhiều lĩnh vực khác bởi trọng lượng nhẹ và kết hợp được độ bền và tính dẻo cao, tính chống ăn mòn tốt [1]. Mg có độ hòa tan cao trong dung dịch rắn của nhôm, nâng cao khả năng hóa bền. Hiệu quả hóa bền của Mg lớn nhất trong số tất cả các nguyên tố bổ sung trong dung dịch rắn của nhôm [1-5]. Mg còn làm giảm tốc độ lớn lên của hạt và kích thước hạt sau cùng [1, 6, 7]. Tuy nhiên, khi hàm lượng Mg vượt quá 8 %, các hợp kim Al-Mg rất nhạy cảm với ăn mòn dưới ứng suất, độ dẻo dai giảm nhanh rõ rệt và mất khả năng ứng dụng trong thực tế [8-10].

Trong số các hợp kim nhôm biến dạng hệ Al-Mg, hợp kim nhôm AMg6 (AMr6 theo tiêu chuẩn Nga) với hàm lượng Mg lên đến 6% có nhiều ưu điểm và được ứng dụng khá nhiều trong thực tế. Hợp kim có thể chế tạo bằng phương pháp biến dạng nóng hoặc nguội và được ứng dụng để chế tạo các chi tiết trong công nghiệp ô tô như khung ô tô, giá để hàng, trong đóng tàu như cột buồm, vỏ (thân) tàu (xuồng), trong xây dựng như vách ngăn, thang máy, trong sản xuất vũ khí trang bị như anten đài radar,... Tuy nhiên, các nghiên cứu về hợp kim này được công bố không đầy đủ và rõ ràng. Bài báo này trình bày khảo sát thực nghiệm xác định ảnh hưởng của cán nguội và xử lý nhiệt đến độ cứng, độ dẫn điện và tổ chức tế vi của hợp kim nhôm biến dạng AMg6 và khả năng gia công chế tạo của hợp kim này trong điều kiện sản xuất bán thành phẩm ở Việt Nam.

2. THỰC NGHIỆM

Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AMg6 theo tiêu chuẩn Nga và hợp kim nghiên cứu được cho trong bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. *Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AMg6 theo tiêu chuẩn Nga (ГОСТ 4784-2019).*

Thành phần hóa học, %										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	Al	Tạp chất khác	
									Mỗi loại	Tổng
0,4	0,4	0,1	0,5-0,8	5,8-6,8	0,2	0,02-0,10	0,0002-0,005	Còn lại	0,05	0,1

Bảng 2. *Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AMg6 nghiên cứu.*

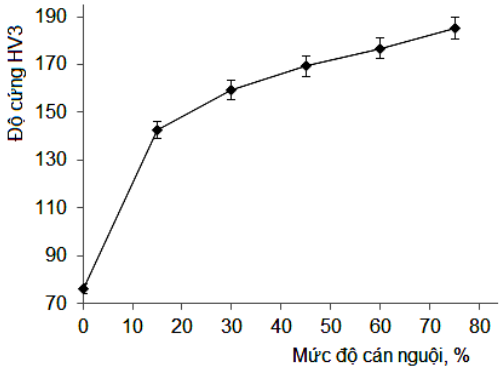
Thành phần hóa học, %								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Li	Al
0,1	0,14	0,03	0,69	6,3	0,02	0,04	0,0002	Còn lại

Hợp kim nhôm biến dạng AMg6 ở trạng thái cung cấp dạng tấm ép đùn được cắt thành các mẫu có kích thước 60x10x6 mm (dài x rộng x dày) và ủ ở nhiệt độ 320 ± 10 ^{o}C trong 1 h sau đó nguội theo lò để đảm bảo sự đồng đều của mẫu nghiên cứu. Sau đó, tiến hành cán nguội các mẫu với các mức độ cán nguội khác nhau từ 15 đến 75% và xác định sự thay đổi độ cứng, độ dẫn điện cũng như sự thay đổi tổ chức tế vi của hợp kim. Các thiết bị thực nghiệm được sử dụng bao gồm lò ram và hóa già (Nabertherm - Đức), máy cán tiểu hình, máy đo độ cứng Vickers Wilson Wolpert (Trung Quốc), thiết bị đo điện trở thanh kim loại Megger DLRO-10 (Anh).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

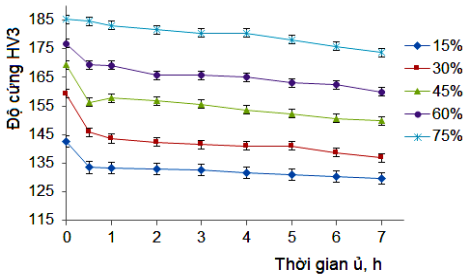
3.1. Khảo sát độ cứng

Sự phụ thuộc độ cứng của hợp kim vào mức độ cán nguội được chỉ ra trên hình 1. Kết quả cho thấy, độ cứng của hợp kim tăng lên theo mức độ cán nguội. Với mức độ cán nguội 75%, khả năng mẫu bị nứt và phá hủy vẫn chưa xảy ra. Điều đó cho thấy khả năng gia công cán nguội rất cao của hợp kim nhôm AMg6. Độ cứng của hợp kim AMg6 sau cán nguội 75% từ trạng thái ủ tăng từ 76,3 lên đến 185,3 HV3.

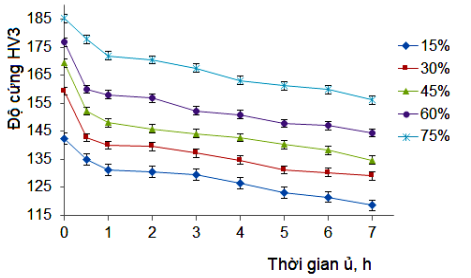


Hình 1. *Sự thay đổi độ cứng của hợp kim AMg6 sau cán nguội.*

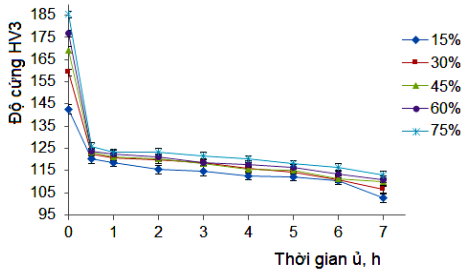
Độ cứng của các mẫu biến dạng sau ủ kết tinh lại tại các nhiệt độ khác nhau từ (100-400) ^{o}C được chỉ ra trên hình 2 đến hình 5. Có thể thấy rằng, với các mẫu bị biến dạng được ủ ở nhiệt độ thấp (100-200) ^{o}C, độ cứng sau ủ giảm dần theo thời gian ủ nhưng trị số độ cứng giảm không nhiều (hình 2 và 3). Với nhiệt độ ủ tăng lên (300-400) ^{o}C, độ cứng giảm nhanh rõ rệt chỉ sau 1 h ủ và giảm chậm sau 4 h ủ đến giá trị gần cân bằng như trước khi được biến dạng (hình 3 và 4).



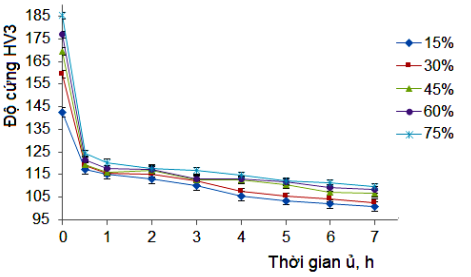
Hình 2. *Sự thay đổi độ cứng của hợp kim AMg6 sau ủ kết tinh lại ở nhiệt độ 100 ^oC với các mức độ cán nguội khác nhau.*



Hình 3. *Sự thay đổi độ cứng của hợp kim AMg6 sau ủ kết tinh lại ở nhiệt độ 200 ^oC với các mức độ cán nguội khác nhau.*



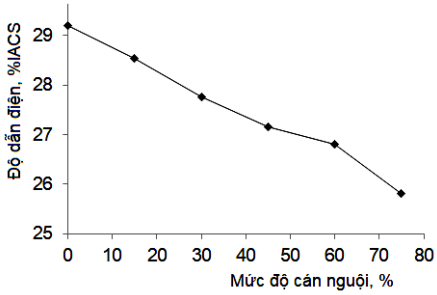
Hình 4. *Sự thay đổi độ cứng của hợp kim AMg6 sau ủ kết tinh lại ở nhiệt độ 300 ^oC với các mức độ cán nguội khác nhau.*



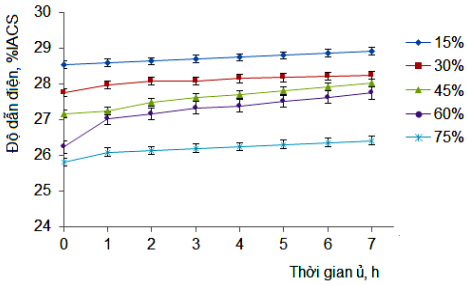
Hình 5. *Sự thay đổi độ cứng của hợp kim AMg6 sau ủ kết tinh lại ở nhiệt độ 400 ^oC với các mức độ cán nguội khác nhau.*

3.2. Khảo sát độ dẫn điện

Khảo sát độ dẫn điện của hợp kim cho thấy, độ dẫn điện giảm dần theo mức độ cán nguội, từ 29,2 xuống 25,8%IACS. Sự phụ thuộc của độ dẫn điện vào mức độ cán nguội được chỉ ra trên hình 6. Biến dạng dẻo tạo ra sự sai lệch mạng tinh thể, làm tính liên tục của điện trường trong tinh thể bị phá vỡ, mật độ lệch và nồng độ nút trống tăng lên tạo những màng chắn cản trở sự chuyển động tự do của điện tử, do đó, làm tăng điện trở của kim loại [11, 12].



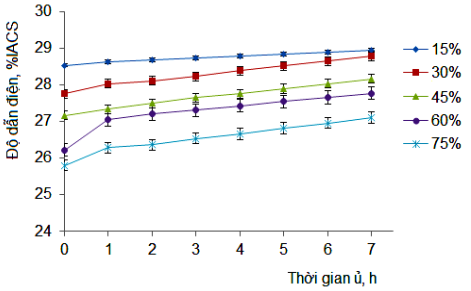
Hình 6. *Sự thay đổi độ dẫn điện của hợp kim AMg6 sau cán nguội.*



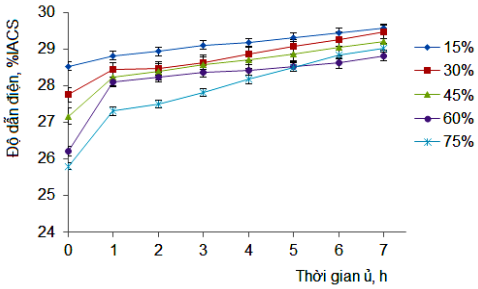
Hình 7. *Sự thay đổi độ dẫn điện của hợp kim AMg6 sau ủ ở 100 ^oC với các mức độ cán nguội khác nhau.*

Sau ủ kết tinh lại, độ dẫn điện tăng dần theo thời gian ủ (hình 7 đến 11). Độ dẫn điện của hợp kim tăng nhanh trong 1 h ủ đầu tiên. Sau 4 h ủ ở (100-200) ^oC, độ dẫn diện của hợp kim tăng nhẹ và hầu như không đáng kể, trong khi (300 - 400) ^oC, độ dẫn điện của hợp kim tăng mạnh và gần đạt tương đương với mẫu ban đầu. Việc loại bỏ các lỗ trống và giảm mật độ khuyết tật mạng trong quá trình hồi phục và kết tinh lại là nguyên nhân

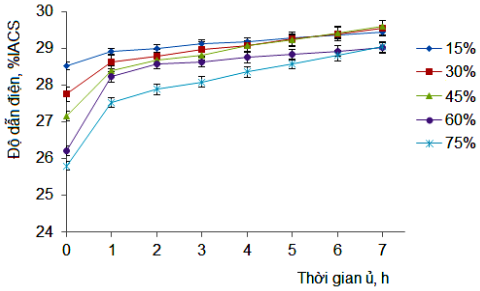
làm làm tăng độ dẫn điện.



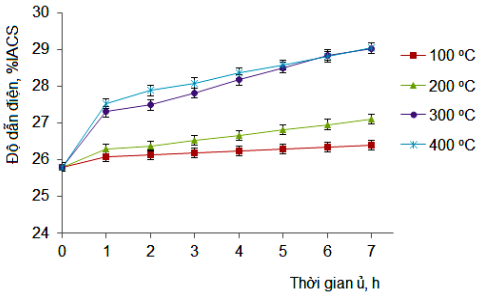
Hình 8. *Sự thay đổi độ dẫn điện của hợp kim AMg6 sau ủ ở 200 °C với các mức độ cán nguội khác nhau.*



Hình 9. *Sự thay đổi độ dẫn điện của hợp kim AMg6 sau ủ ở 300 °C với các mức độ cán nguội khác nhau.*



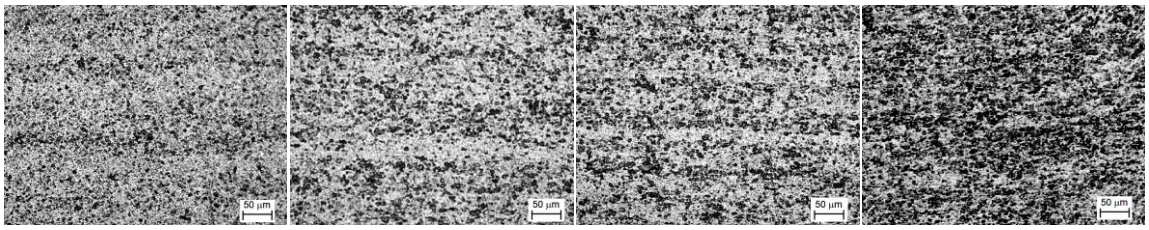
Hình 10. *Sự thay đổi độ dẫn điện của hợp kim AMg6 sau ủ ở 400 °C với các mức độ cán nguội khác nhau.*



Hình 11. *Sự thay đổi độ dẫn điện khi ủ các mẫu đã qua cán nguội 75% ở các nhiệt độ ủ khác nhau.*

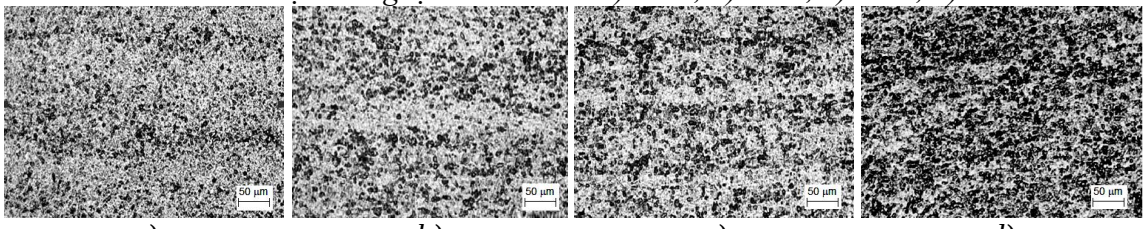
3.3. Khảo sát tổ chức tế vi

Tổ chức tế vi của mẫu hợp kim sau cán nguội được đặc trưng bởi các hạt bị kéo dài theo phương cán (hình 12). Khi mức độ cán nguội tăng lên, các hạt bị kéo dài rõ rệt hơn, đặc biệt là các mẫu có mức độ cán nguội lên đến 75% (hình 12d).



a) *b)* *c)* *d)*

Hình 12. *Tổ chức tế vi của hợp kim AMg6 sau cán nguội với các mức độ cán nguội khác nhau: a) 30%; b) 45%; c) 60%; d) 75%.*



a) *b)* *c)* *d)*

Hình 13. *Tổ chức tế vi của hợp kim AMg6 sau ủ kết tinh lại ở nhiệt độ 400 °C sau 4h ủ với các mức độ cán nguội khác nhau: a) 30%; b) 45%; c) 60%; d) 75%.*

Sau ủ kết tinh lại, tổ chức hạt bị biến dạng kéo dài theo phương biến dạng được thay thế dần bằng các hạt mới ít bị biến dạng, mật độ lệch giảm dần về trạng thái cân bằng, tương ứng với độ cứng của mẫu cũng giảm theo. Khi nhiệt độ ủ lên đến 400 ^{o}C, sự hồi phục tổ chức dần về trạng thái cân bằng diễn ra càng nhanh (hình 13).

4. KẾT LUẬN

Công nghệ cán nguội và xử lý nhiệt sau cán nguội có ảnh hưởng rất lớn đến độ cứng, độ dẫn điện và tổ chức tế vi của hợp kim nhôm biến dạng AMg6, cụ thể như sau:

- Khi mức độ cán nguội tăng từ 15% đến 75%, độ cứng của hợp kim tăng lên tương ứng từ 76,3 HV3 lên 185,3 HV3, trong khi độ dẫn điện giảm từ 29,2%IACS xuống 25,8%IACS. Các hạt bị kéo dài theo phương cán, thể hiện rõ rệt trong các mẫu có mức độ cán nguội lên đến 75%.

- Sau ủ kết tinh lại, độ cứng giảm dần, giảm nhẹ khi ủ ở khoảng (100-200) ^{o}C và giảm nhanh về gần độ cứng ban đầu khi ủ ở khoảng (300-400) ^{o}C sau 4 h ủ. Độ dẫn điện tăng nhanh trong 1 h ủ đầu tiên và sau đó tăng chậm dần theo thời gian ủ. Sau 4 h ủ ở (100-200) ^{o}C, độ dẫn diện tăng hầu như không đáng kể, trong khi ở (300-400) ^{o}C độ dẫn điện tăng gần đạt giá trị mẫu ban đầu. Các hạt bị biến dạng dần được thay thế bằng các hạt mới ít bị biến dạng, tổ chức dần trở về trạng thái cân bằng.

Các kết quả nghiên cứu này là cơ sở lựa chọn mức độ cán nguội và nhiệt độ ủ kết tinh lại phù hợp với mục đích sử dụng hợp kim nhôm AMg6, đồng thời mở ra hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm cải thiện các tính chất của hợp kim này, ứng dụng trong nhiều lĩnh vực kinh tế và quốc phòng, đặc biệt là trong sản xuất vũ khí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. L. F. Mondolfo. *"Aluminium Alloys: Structure and Properties"*. Boston, Butterworths-Heinemann (1976), 982 pages.

[2]. John E. Hatch. *"Aluminium: properties and Physical Metallurgy"*. ASM International, Metals Park, Ohio, 1984, 424 Pages.

[3]. B. Wang, X.H. Chen, F.S. Pan, J.J. Mao, Y. Fang. *"Effects of cold rolling and heat treatment on microstructure and mechanical properties of 5052 alloy (J)"*. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 25 (2015), pp. 2481.2489.

[4]. Ko Y.G. Loorentz. *"Effect of differential speed rolling strain on microstructure and mechanical properties of nanostructured 5052 Al alloy [J]"*. Journal of Alloys and Compounds, 586 (2014), pp. 205-209.

[5]. G.B. Burger, A.K. Gupta, P.W. Jeffrey, D.J. Lloyd. *"Microstructural control of aluminum sheet used in automotive applications (J)"*. Mat. Characterization, 35 (1995), pp. 23-29.

[6]. N. Ryum and J.D. Embury. *"A comment on the recrystallization behaviour of Al-Mg alloys (J)"*. Scand. J. Metall., 1982, vol. 11, pp. 51-54.

[7]. F.J. Humphreys M. Hatherly. *"Recrystallization and Related Annealing Phenomena"*. 1st Edition, Pergamon Publisher, November 1996, 522 pages.

[8]. Christian Vargel. *"Corrosion of Aluminium"*. 1st Edition, Elsevier Science, October 2004.

[9]. Seifi Mohsen, N.J. Henry Holroyd, Lewandowski John J. *"Deformation Rate and Sensitization Effects on Environmentally Assisted Cracking of Al-Mg Naval Alloys (J)"*. Corrosion, Vol. 72, Issue 2 (Feb. 2016), pp. 264-283.

[10]. Roger Lumley. *"Fundamentals of Aluminium Metallurgy"*. 1st Edition, Woodhead Publishing, May 2018, 592 pages.

[11]. Nguyễn Khắc Xương. *"Vật liệu kim loại màu"*. Hà Nội: NXB KHKT, 2003, 460 trang.

[12]. Б.А. Калачев, Б.А. Ливанов, В.И. Елагин. *"Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов"*. М.: МИСиС, 2005 г., 432 с.

ABSTRACT

EFFECTS OF COLD ROLLING AND HEAT TREATMENT ON HARDNESS, ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND MICROSTRUCTURE OF AMg6 ALUMINUM ALLOY

In this paper the effects of cold rolling and heat treatment on the hardness, electrical conductivity and the microstructure of AMg6 wrought aluminum alloy was studied. The experimental data shows that, AMg6 aluminum alloy is a highly malleable wrought aluminum alloy, which can be cold rolled up to 75% without being cracked or broken. As the rolling reduction increases from 0 to 75%, hardness increases respectively from 76.3 HV3 to 185.3 HV3, and electrical conductivity decreases slightly from 29.2%IACS to 25.8%IACS. The microstructure of the alloy changes strongly, the particles are stretched along the rolling direction, especially the samples with the level of cold rolling up to 75%. After recrystallization annealing, the hardness decreased slightly after annealing at about (100-200) ^oC and decreased quickly after annealing at about (300-400) ^oC for 4 hours. Conversely, the electrical conductivity increases rapidly when annealed for the first hour, then increases slightly. After 4 hours of annealing at (100-200) ^oC for, the electrical conductivity increases almost not significantly, meanwhile at (300-400) ^oC, the electrical conductivity increases significantly, the value is almost equal to value of the original specimen. The deformed particles are gradually replaced by new ones, which are more obvious when annealing at high temperature, about (300-400) ^oC. These research results are the basis for selecting technological parameters in fabricating AMg6 alloy and are the premise for further studies to improve the properties of this alloy, serving to manufacture dual-purpose parts, especially weapon parts.

Keywords: AMg6 aluminum alloy; Cold rolling; Heat treatment; Recrystallization annealing; Hardness; Electrical conductivity; Microstructure.

Nhận bài ngày 28 tháng 7 năm 2021
Hoàn thiện ngày 20 tháng 9 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: [1]Học viện Kỹ thuật quân sự;
[2]Viện Công nghệ/Tổng cục Công nghiệp quốc phòng;
[3]Nhà máy X52 - Cục Kỹ thuật hải quân/Quân chủng Hải quân.
*Email: phungtuananhmta@gmail.com.