

KHẢO SÁT CÔNG NGHỆ NHIỆT LUYỆN TẤM HỢP KIM NHÔM BIẾN DẠNG AK6

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE HEAT TREATMENT REGIMES FOR AK6 WROUGHT ALUMINUM ALLOY SHEET

PHÙNG TUẤN ANH^{1*}, NGUYỄN XUÂN PHƯƠNG²
BÙI THẾ HIỂN², NGUYỄN HOÀNG TÙNG²

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

²Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

*Email liên hệ: phungtuuananh@mta.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này trình bày về nghiên cứu thực nghiệm khảo sát cơ tính, độ dẫn điện của các tấm hợp kim nhôm biến dạng AK6 sau nhiệt luyện tôi và hóa già. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, sau gia công biến dạng ép chảy và dập nóng, nhiệt độ tôi hợp kim AK6 nằm trong khoảng (510-520)°C, nhiệt độ hóa già thích hợp là 165°C cho kết quả giới hạn bền, giới hạn chảy, độ dẫn điện cao, trong khi độ dẻo dai vẫn giữ được tương đối cao sau thời gian hóa già 9h. Khi đó, độ cứng của mẫu hợp kim đạt 134HV, giới hạn bền kéo đạt 412MPa, độ giãn dài tương đối đạt 16% và độ dẫn điện đạt 37,5%IACS. Những kết quả này là cơ sở bước đầu trong nghiên cứu ứng dụng các hợp kim nhôm AK6 trên cơ sở hệ Al-Cu-Mg-Si-Mn vào thực tiễn sản xuất, đặc biệt là sản xuất quốc phòng.

Từ khóa: Hệ Al-Cu-Mg-Si-Mn, hợp kim nhôm biến dạng AK6, hóa già nhân tạo, độ cứng, giới hạn bền, độ giãn dài tương đối, độ dẫn điện.

Abstract

This paper conducted experimental study on determining mechanical properties and electrical conductivity of AK6 wrought aluminum alloy sheets after quenching and artificial aging. The results showed that, after plastic deformation, the AK6 alloy was subjected to quenching at temperature in the range of (510-520)°C and artificial aging at 165°C. Then, hardness, tensile strength and electrical conductivity of the alloy reached high values, meanwhile elongation was still maintained at a quite high value after aging for 9 hours. These values were about 134HV, 412MPa, 37.5%IACS and 16%, respectively. These results provide a scientific basic for application researches of AK6 aluminum alloy based on Al-Cu-Mg-Si-Mn system to manufacture

mechanical products, especially in the field of defense production.

Keywords: Al-Cu-Mg-Si-Mn system, AK6 wrought aluminum alloy, artificial aging, hardness, tensile strength, elongation, electrical conductivity.

1. Đặt vấn đề

Hợp kim nhôm biến dạng AK6 theo tiêu chuẩn GOST (Nga) thuộc hệ hợp kim nhôm phức tạp Al-Cu-Mg-Si-Mn được phát triển từ những năm 1940 của thế kỷ XX [1]. Đây là hệ hợp kim vừa có đặc điểm giống các hợp kim Đura (hệ Al-Cu-Mg), vừa có đặc điểm giống các hợp kim Avian (hệ Al-Mg-Si). Hợp kim này có độ dẻo dai cao, độ bền khá cao, khả năng chịu rèn, ép và hàn khá tốt [1-4]. Công nghệ chế tạo chủ yếu đối với hợp kim AK6 là biến dạng rèn, ép và xử lý nhiệt thích hợp. Tổ chức tế vi của hợp kim AK6 sau nhiệt luyện gồm các hạt dung dịch rắn nền Al và các pha CuAl₂ và Mg₂Si phân tán [4-6]. Nhờ có tính dẻo cao ở trạng thái nóng nên hợp kim AK6 được sử dụng để chế tạo các chi tiết có hình dạng rất phức tạp trong nhiều lĩnh vực hàng không, vũ trụ, đặc biệt trong lĩnh vực chế tạo vũ khí như các loại cánh quạt, cánh động cơ phản lực, vỏ các thiết bị có thành mỏng, khung cánh nâng, khung cánh lái,...

Cho đến nay, hợp kim này vẫn được quan tâm nghiên cứu [7-11]. V. Trifonov và các cộng sự [7] nghiên cứu ảnh hưởng của biến dạng siêu dẻo đến động học quá trình hóa già. N. Belov và N. Avksent'eva [8] sử dụng phần mềm The Thermo-Calc để tính toán các mặt cắt đẳng nhiệt các hợp kim hệ Al-Cu (2xxx) trong đó có hợp kim AK6, còn I. Konstantinov và các cộng sự [9] sử dụng phần mềm để mô phỏng quá trình rèn khuôn kim loại hợp kim AK6. Trong khi đó, A. Shanyavskii [10] nghiên cứu cơ chế phá hủy môi của hợp kim này. Tác giả P. Reznik và các cộng sự [11] sử dụng phương pháp phân

tích nhiệt và vi phân tích đầu dò điện tử để nghiên cứu quá trình nấu chảy và đồng đều hóa thành phần các mẫu hợp kim AK6 công nghiệp.

Mặc dù vậy, các công trình mang tính công nghệ chế tạo theo hướng hóa bền, cải thiện tính chất dẫn điện của hợp kim AK6 khi ứng dụng trong thực tiễn chưa được đề cập hoặc công bố nhiều. Đây là những tính chất rất quan trọng của hợp kim, đặc biệt khi ứng dụng trong chế tạo các chi tiết vũ khí. Chính vì vậy, bài báo này tiến hành nghiên cứu khảo sát thực nghiệm công nghệ nhiệt luyện (bao gồm tôi và hóa già nhân tạo) nhằm xác định cơ tính, độ dẫn điện của các hợp kim nhôm biến dạng AK6. Những kết quả này là cơ sở để nghiên cứu các hợp kim nhôm nói chung và hợp kim AK6 thuộc hệ hợp kim nhôm Al-Cu-Mg-Si-Mn nói riêng nhằm nâng cao khả năng ứng dụng vào thực tiễn, đặc biệt là trong sản xuất quốc phòng.

2. Thực nghiệm

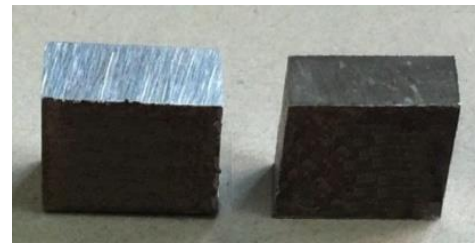
Hợp kim nhôm AK6 theo tiêu chuẩn Nga GOST 4784-97 có thành phần hóa học được cho trong Bảng 1 [12]. Thành phần hóa học hợp kim thực nghiệm được cho trong Bảng 2.

Rõ ràng, thành phần hóa học của hợp kim thực nghiệm trong Bảng 2 hoàn toàn nằm trong giới hạn của hợp kim AK6 theo tiêu chuẩn Nga GOST 4784-97 (Bảng 1).

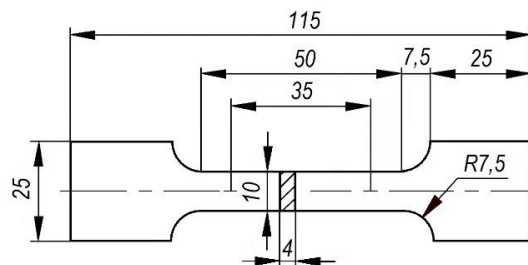
Các mẫu hợp kim nhôm AK6 ở dạng bán thành phẩm đã qua gia công biến dạng là ép chảy và dập nóng. Quá trình dập nóng được tiến hành trên các mẫu đã qua ép chảy ở nhiệt độ (430-450)°C với 2 bước biến dạng lần lượt là 45% và 80%. Sau đó, các mẫu hợp kim nghiên cứu được cắt ra từ phôi cung cấp gồm mẫu kim tương cho phân tích tổ chức tế vi, đo độ cứng (xem Hình 1) có kích thước là 8x6x4 mm (dài x rộng x dày) và mẫu thử kéo cho xác định các đặc trưng vật liệu (xem Hình 2).

Quá trình thực nghiệm được thực hiện bằng cách tôi ở nhiệt độ (515±5)°C, giữ nhiệt 40 phút; sau đó hóa già ở 150°C, 165°C và 195°C với các thời gian khác

nhau. Sau hóa già, các mẫu thực nghiệm được tiến hành độ cứng HV5, giới hạn bền, độ giãn dài tương đối, độ dẫn điện và tổ chức tế vi của hợp kim.



Hình 1. Mẫu cho phân tích tổ chức tế vi, đo độ cứng



a)



b)

Hình 2. Kích thước mẫu thử kéo (a) và mẫu thử kéo thực nghiệm (b)

Các thiết bị sử dụng để nghiên cứu bao gồm thiết bị đo độ cứng Vickers (HV - Wilson Wolpert), thiết bị thử kéo nén vạn năng TT-HW2-1000, thiết bị đo điện trở Megger DLRO-10, kính hiển vi quang học Axio Imager A2M.

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AK6 (GOST 4784-97)

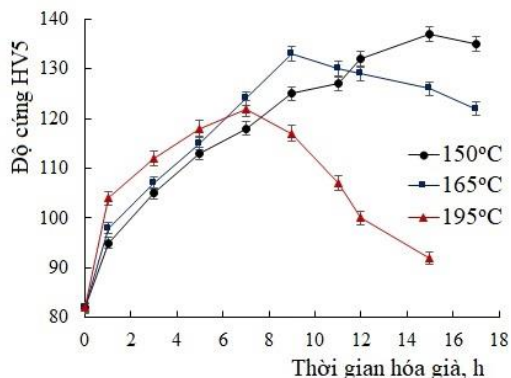
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Tạp chất khác		Al
									Mỗi loại	Tổng	
0,7-1,2	0,7	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	-	0,3	0,1	0,1	0,05	0,1	Còn lại

Bảng 2. Thành phần hóa học hợp kim thực nghiệm

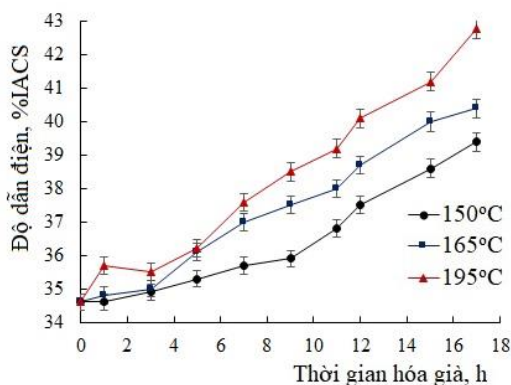
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Al
0,98	0,22	2,18	0,61	0,63	0,03	0,1	0,01	Còn lại

3. Kết quả và thảo luận

Một số công trình nghiên cứu đã chỉ ra rằng, với hợp kim AK6, nhiệt độ tối tốt nhất nên chọn trong khoảng (490-530)°C [1-3], do vậy, nhóm tác giả lựa chọn nhiệt độ tối đối với các mẫu hợp kim AK6 nghiên cứu là 515°C với thời gian xử lý hòa tan (giữ nhiệt trước khi tôi) là 40 phút, sau đó tôi trong nước. Tổ chức của hợp kim AK6 sau tôi là dung dịch rắn quá bão hòa với độ cứng trung bình đạt 82HV5.



a)



b)

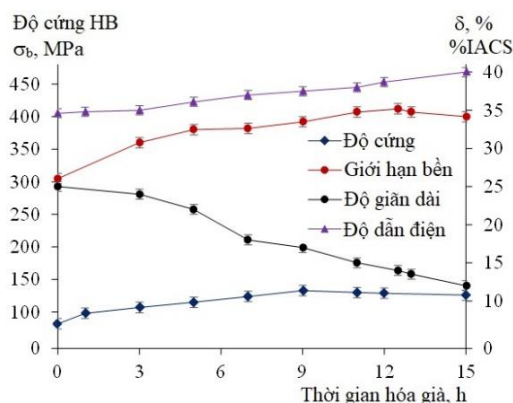
Hình 3. Độ cứng (a) và độ dẫn điện (b) của hợp kim nhôm AK6 sau sau hóa già nhân tạo

Các mẫu sau tôi được hóa già liên tục ở các nhiệt độ khác nhau 150°C, 165°C và 195°C. Sự phụ thuộc của độ cứng HV5, độ dẫn điện của các hợp kim vào thời gian hóa già được cho trong Hình 3. Dựa vào các giản đồ có thể thấy, ngay sau khi tôi, ở trạng thái quá bão hòa các nguyên tố hợp kim, độ cứng và độ dẫn điện của mẫu hợp kim AK6 đạt giá trị thấp. Tăng thời gian hóa già, độ cứng tăng dần và độ dẫn điện tăng dần do dung dịch rắn quá bão hòa tiết ra các pha hóa bền phân tán trên nền dung dịch rắn Al. Độ cứng của hợp kim AK6 tăng lên và đạt giá trị cực đại, sau đó giảm xuống. Ở nhiệt độ hóa già 150°C, độ cứng đạt

cực đại 138HV5 sau 11h hóa già. Tăng nhiệt độ hóa già lên 165°C và 195°C, độ cứng đạt cực đại 134HV5 và 122HV5 sau 9h và 7h hóa già tương ứng. Rõ ràng tăng nhiệt độ hóa già, cực đại độ cứng đạt sớm hơn nhưng giá trị cực đại lại nhỏ hơn (Hình 3a).

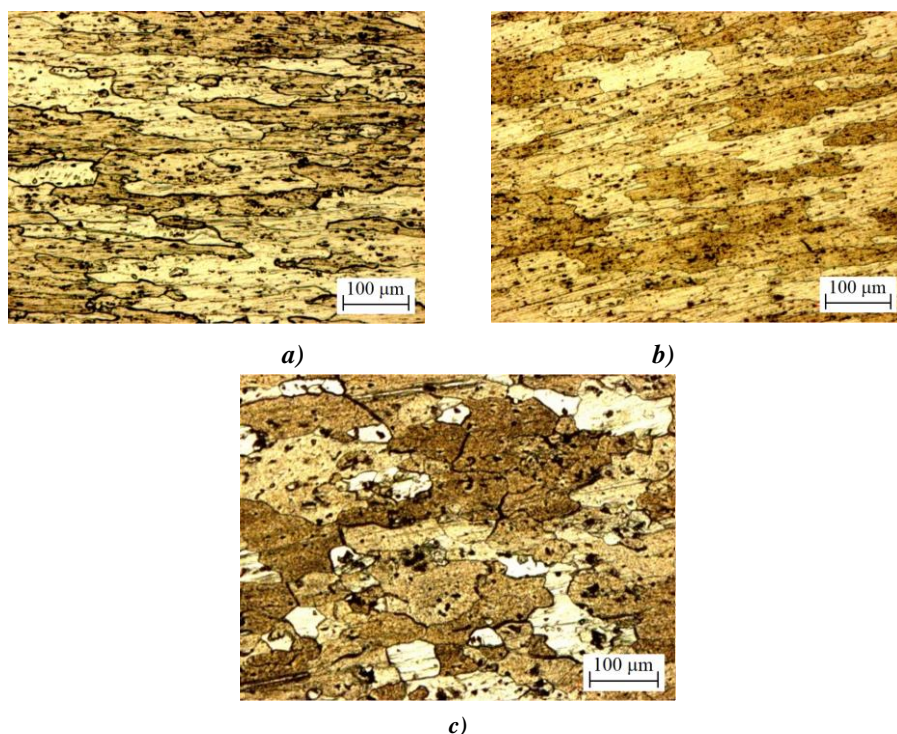
Trong khi đó, độ dẫn điện của hợp kim liên quan chặt chẽ đến độ tinh khiết của nền dung dịch rắn. Giá trị độ dẫn điện tăng dần trong quá trình hóa già do quá trình tiết pha từ dung dịch rắn. Theo giản đồ Hình 3b, ở trạng thái quá bão hòa ngay sau tôi, độ dẫn điện của hợp kim AK6 đạt 34,6% IACS. Tăng thời gian hóa già, độ dẫn điện của hợp kim tăng dần do dung dịch rắn liên tục tiết ra các pha hóa bền [13-16]. Khi nhiệt độ hóa già tăng lên, độ dẫn điện vẫn tiếp tục tăng bởi quá trình tiết pha xảy ra nhanh hơn. Tuy nhiên, để vẫn duy trì cơ tính cao, độ dẫn điện vẫn đủ cao, nhiệt độ hóa già hợp kim AK6 được lựa chọn là 165°C, với thời gian hóa già tương đối ngắn.

Kết quả thử kéo xác định cơ tính của hợp kim nhôm AK6 sau hóa già nhân tạo ở 165°C với các thời gian giữ nhiệt khác nhau được cho trên Hình 4. Giới hạn bền của hợp kim tăng dần từ 305MPa ở trạng thái mới tôi đến giá trị cực đại 414MPa sau 9h hóa già. Độ giãn dài tương đối giảm dần từ 24% ở trạng thái quá bão hòa sau tôi và đạt 16% sau 9h hóa già, ứng với độ dẫn điện đạt 37,5% IACS. Nếu tiếp tục giữ thời gian hóa già sau 9h, mặc dù độ dẫn điện vẫn tiếp tục tăng, xong độ bền bắt đầu giảm xuống và độ giãn dài tiếp tục giảm mạnh.



Hình 4. Sự thay đổi tính chất của hợp kim nhôm AK6 sau hóa già nhân tạo ở 165°C

Tổ chức tế vi của hợp kim AK6 sau tôi ở nhiệt độ 515°C và hóa già ở 165°C được cho trên Hình 5. Tổ chức tế vi của hợp kim vẫn còn bị kéo dài theo phương ép chảy và có xu hướng kết tinh lại khi thời gian hóa già vượt quá 20h. So sánh với các ảnh tổ chức tế vi trong các công trình [4-6], trên tổ chức của hợp kim



Hình 5. Tổ chức tế vi của các mẫu hợp kim AK6 sau tôi ở 515°C và hóa già nhân tạo ở 165°C với thời gian hóa già 5h (a); 9h (b); 20h (c)

tồn tại các pha tiết ra dưới dạng các liên kim loại CuAl_2 và Mg_2Si . Đây là các pha hóa bền làm tăng độ bền và độ dẫn điện cho hợp kim AK6.

4. Kết luận

Từ các kết quả thực nghiệm có thể thấy, công nghệ nhiệt luyện sau gia công biến dạng có ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của hợp kim nhôm AK6. Sau tôi ở nhiệt độ 515°C và hóa già ở vùng nhiệt độ (150-195)°C, nếu nhiệt độ hóa già tăng lên, cực đại độ cứng đạt sớm nhưng giá trị độ cứng giảm đi, còn độ dẫn điện vẫn tiếp tục tăng lên. Tuy nhiên, nếu chọn nhiệt độ hóa già thấp, thời gian hóa già sẽ dài, còn nếu chọn nhiệt độ hóa già cao, độ bền cực đại lại không cao. Do vậy, lựa chọn chế độ hóa già ở 165°C là phù hợp. Với chế độ tôi ở nhiệt độ 515°C, hóa già ở nhiệt độ 165°C trong thời gian 9h, độ cứng của hợp kim AK6 đạt 134HV5, giới hạn bền đạt 412MPa, độ dẫn dài tương đối đạt 16% và độ dẫn điện đạt 37,5% IACS. Các kết quả này là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo đối với hợp kim nhôm AK6 nói riêng và hợp kim trên cơ sở hệ Al-Cu-Mg-Si-Mn nói chung, đáp ứng nhu cầu sản xuất mang tính lưỡng dụng, đặc biệt là trong lĩnh vực sản xuất quốc phòng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Beletsky, V.M. and G.A. Krivov, *Aluminum alloys (Composition, properties, technology, application). Handbook*. 2005: Kiev: Komintech.
- [2] G.A., M., *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnyh splavov*. 2012: Publisher: Siberian Federal University.
- [3] Kvasov, F.I. and I.N. Fridlyander, *Handbook of Industrial Aluminium Alloys*. 1984: M.: Metallurgy.
- [4] Kalachev, B.A., V.R. Livanov, and V.I. Elagin, *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnyh metallov i splavov*. 2005: M.: MISiS.
- [5] Mal'tsev, M.V., *Metallography of Industrial Nonferrous Metals and Alloys*. 1970: M.: Metallurgy.
- [6] Mondolfo, L.F., *Aluminium Alloys: Structure and Properties*, 1979: London: Butterworth & Co Publishers.
- [7] Trifonov, V., *Influence of superplastic deformation on kinetics of aging for aluminum alloys*. J Rev. Adv. Mater. Sci, Vol. 11: pp.174-177, 2006.
- [8] Belov, N. and N. Avksent'eva, *Quantitative Analysis of the Al-Cu-Mg-Mn-Si Phase Diagram as Applied to Commercial Aluminum Alloys of Series 2xxx*. Metal Science Heat Treatment, Vol. 55(7-8): pp.358-363, 2013.

- [9] Konstantinov, I., et al., *Simulation of die forging of an AK6 aluminum alloy forged piece*. J Russian Journal of Non-Ferrous Metals, Vol. 56(2): pp. 177-180, 2015.
- [10] Shanyavskii, A., *Development of semi-elliptic fatigue cracks in AK6 aluminium alloy under biaxial loading*. Fatigue Fracture of Engineering Materials Structures, Vol. 19(12): pp.1445-1458, 1996.
- [11] Reznik, P., V. Zamyatin, and V. Mushnikov, *Thermal analysis and electron probe microanalysis of the AK6 aluminum alloy*. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, Vol. 54(1): pp.62-65, 2013.
- [12] Kalinina, N.Y., et al., *Material choice and blanks operation technology of AK6 aluminium alloy*. Vol. 3 (51): pp.75-83, 2014.
- [13] Khan, A. and J. Robinson, *Effect of cold compression on precipitation and conductivity of an Al-Li-Cu alloy*. Journal of microscopy, Vol. 232(3): pp.534-538, 2008.
- [14] Lipińska, M., P. Bazarnik, and M. Lewandowska, *The influence of severe plastic deformation processes on electrical conductivity of commercially pure aluminium and 5483 aluminium alloy*. Archives of Civil Mechanical Engineering, Vol.16(4): pp.717-723, 2016.
- [15] Uliasz, P., et al., *The influence of heat treatment parameters on the electrical conductivity of AlSi7Mg and AlSi10Mg aluminum cast alloys*, in *ICAA13 Pittsburgh*. Springer. pp. 129-135, 2012.
- [16] Lee, J., et al., *Materials Processing Fundamentals 2020*. 2020: Springer Nature.

Ngày nhận bài:	10/8/2020
Ngày nhận bản sửa:	23/9/2020
Ngày duyệt đăng:	01/10/2020