

ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ HÓA GIÀ ĐẾN TỔ CHỨC TẾ VI VÀ CƠ TÍNH HỢP KIM ĐỒNG BERILI C17200

EFFECTS OF AGING PROCESS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BERYLLIUM COPPER ALLOY C17200

SÁI MẠNH THĂNG^{1*}, NGUYỄN DƯƠNG NAM²

¹Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: saimanhthang@gmail.com

Tóm tắt

Hợp kim đồng berili là hợp kim có tính dẫn điện tốt và có giới hạn bền, giới hạn đàn hồi cao thường được ứng dụng chế tạo trong lò xo, tiếp điểm điện. Bài báo nghiên cứu xử lý nhiệt hợp kim đồng berili C17200 gồm tôi 780°C-0,5h, hóa già ở 350°C-0,5h, 1h, 2h, sau đó tiến hành phân tích mẫu tổ chức tế vi có được để đánh giá ảnh hưởng của thời gian hóa già đến sự tiết pha γ trong hợp kim, yếu tố làm thay đổi cơ tính và độ dẫn điện của hợp kim. Khi tôi ở 780°C-0,5h, hợp kim có độ cứng khoảng 120HB và độ bền khoảng 290MPa. Mẫu sau tôi và hóa già ở 350°C-1h có độ cứng cao tới 380HB và độ bền lên tới 1100MPa, cả độ cứng và độ bền sau hóa già gấp hơn 3 lần so với mẫu sau tôi.

Từ khóa: Đồng C17200, hợp kim đồng berili, xử lý nhiệt hợp kim C17200.

Abstract

Beryllium copper alloy is an alloy with good electrical conductivity, high yield strength, and high strength, often used in springs and electrical contacts. This article studies the heat treatment of beryllium copper alloy C17200 including quenching at 780°C-0.5h, aging at 350°C-0.5h, 1h, 2h, different time, analysis of microstructure of samples to evaluate the influence of time aging to the precipitation phase γ in alloys, factors that change the mechanical properties and electrical conductivity of the alloy. When quenching at 780°C-0.5h, the alloy has a hardness of about 120HB and a strength of about 290MPa. The sample after aging at 350°C-1h has hardness as high as 380HB and strength up to 1100MPa, both the hardness and strength after aging are more than 3 times higher than the sample after quenching.

Keywords: C17200, Copper beryllium alloys, heat treatment C17200.

1. Mở đầu

Các hợp kim đồng Cu - Be là hợp kim độ bền cao và dẫn điện tốt được sử dụng cho các ứng dụng đặc biệt yêu cầu kết hợp cả độ bền, tính đàn hồi, dẫn điện, khả năng chống ăn mòn và ở một nhiệt độ nhất định như cho lò xo điện, màng ngăn, vòng bi và các dụng cụ không phát ra tia lửa.

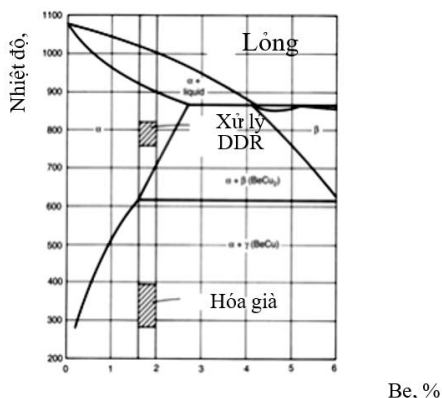
Các hợp kim Cu - Be biến dạng độ bền cao chứa 1,6%±2,0% berili và khoảng 0,3% coban. Các hợp kim đúc độ bền cao có nồng độ Be lên đến 2,7%. Các hợp kim dẫn điện cao chứa 0,2%±0,7% berili và ngoài ra còn chứa thêm một lượng niken và coban cao hơn. Ký hiệu theo tiêu chuẩn UNS (Mỹ) cho các hợp kim biến dạng là C17200 tới C17400 và các hợp kim đúc là C82000 tới C82800 [1].

Độ bền cao của các hợp kim đồng berili đạt được bằng cách hoá già hóa bền hay tiết pha hóa bền. Hoá già hóa bền hay tiết pha hóa bền là kết quả từ sự tiết pha của pha chứa berili từ một dung dịch rắn quá bão hòa của đồng gần như là tinh khiết. Tiết pha xảy ra trong thời gian làm nguội chậm của hợp kim vì độ hòa tan của berili trong đồng alpha giảm khi nhiệt độ giảm. Thông thường các hợp kim được nhanh chóng làm nguội từ ủ, nên berili được giữ lại trong dung dịch rắn với đồng. Sau đó, hợp kim được tiết pha hoặc hóa già hóa bền khoảng một giờ hoặc nhiều hơn ở nhiệt độ từ 200°C÷460°C. Sau khi hóa già, các pha chứa berili tiết ra, gọi là berilit tiết ra trong dung dịch.

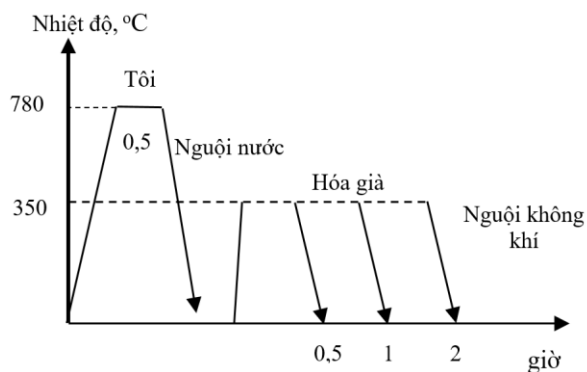
Trong giai đoạn đầu tiên của tiết pha khi hóa già tạo ra những mầm đồng thể của vùng Guinier - Preston (GP). Các vùng GP là những miền tiết pha nhỏ trong một dung dịch rắn bão hòa đồng alpha (pha α). Các vùng GP không được xác định rõ tổ chức tinh thể của riêng mình và chúng có nồng độ nguyên tử berili cao. Sự hình thành vùng GP thường trùng với sự thay đổi tính chất làm tăng độ bền. Khi hóa già hóa bền, ban đầu pha giả ổn gamma (pha γ) bán liên mạng dạng kép tiết pha từ các vùng GP. Tiếp theo là sự tiết pha chính của γ . Độ bền hợp kim tăng là kết quả của biến

Bảng 1. Kết quả phân tích thành phần mẫu Cu - Be

Nguyên tố	Cu	Zn	Sn	Mn	Fe	Ni
%	97,7	0,142	0,060	0,014	0,198	0,592
Si	Cr	Al	Be	Ag	Co	Cu
0,077	0,013	0,060	1,83	0,018	0,12	Còn lại



Hình 1. Thành phần và khoảng nhiệt độ xử lý nhiệt Cu - Be [1, 2]
 DDR - dung dịch rắn



Hình 2. Sơ đồ xử lý nhiệt

dạng liên mạng được tạo ra tại các bề mặt giao giữa nền và sự phát triển của các pha tiết ra.

Hóa già sau tôi từ xử lý dung dịch rắn làm tăng cứng đáng kể hợp kim. Trình tự tiết pha trong hợp kim này đã được nghiên cứu rộng rãi và có thể tóm tắt như sau: Dung dịch rắn quá bão hòa $\alpha \rightarrow$ vùng G.P $\rightarrow \gamma'' \rightarrow \gamma' \rightarrow \gamma$ (CuBe). Các vùng G.P là các tấm đơn lớp hình thành liên mạng với với nền mặt $\{100\}$ và được biểu hiện dưới dạng các vết dọc theo hướng $\langle 200 \rangle$ của pha α , γ'' là pha giả ổn với cấu trúc mạng đơn tà xuất hiện khi xử lý hóa già [3]. Với sự hóa già xa hơn cho thấy sự tiết pha của pha γ' , pha này là giả ổn với cấu trúc mạng lập phương tâm khối (bcc). Pha γ ổn định có trạng thái cấu trúc cân bằng bcc. Pha berilit thứ cấp hình thành sau khi đông đặc có hình thái mạng lưới nhánh cây gồm hỗn hợp pha α và γ . Sự hiện diện của hóa già tiết pha hóa bền trong các hợp kim độ bền cao có thể được quan sát thấy bởi các vân sọc xuất hiện trong các hạt. Các vân sọc là kết quả từ sự chùng chéo của biến dạng liên mạng tại bề mặt giao giữa các pha tiết ra và nền. Pha γ cân bằng xuất hiện trong hạt ở dạng các nốt màu tối trên một nền Cu - α sáng hơn, pha γ tiết ra tại biên giới hạt có hình thái dạng trên nền Cu - α hóa già. Quá

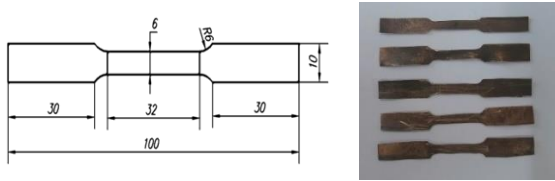
trình quá già của các hợp kim Cu - Be nên tránh vì các dạng pha γ cân bằng phát triển thô to là nguyên nhân gây giảm bền. Tiết pha γ cân bằng làm cạn kiệt các pha γ giả ổn tăng bền, làm mềm hợp kim [1, 3, 4, 5, 6, 7].

Bài báo này thực hiện chế độ xử lý nhiệt cho hợp kim Cu- Be C17200, thông qua xử lý nhiệt gồm tôi hợp kim ở nhiệt độ 780°C-0,5h, hóa già ở 350°C với thời gian khác nhau 0,5h, 1h, 2h, nghiên cứu phân tích mẫu tổ chức tế vi có được để đánh giá ảnh hưởng của thời gian hóa già đến sự tiết pha hóa bền trong hợp kim, yếu tố làm thay đổi cơ tính và độ dẫn điện của hợp kim.

2. Thục nghiệm

Thành phần hóa học phối tấm hợp kim đồng berili như ở Bảng 1. Đây là mác đồng berili C17200 (theo UNS).

Căn cứ trên các tài liệu và giản đồ pha Hình 1. Để khảo sát ảnh hưởng của xử lý nhiệt tới tổ chức hợp kim. Mẫu nghiên cứu được xử lý nhiệt bằng tôi ở nhiệt độ 780°C thời gian giữ nhiệt 0,5h, mẫu sau tôi được hóa già ở nhiệt độ 350°C với thời gian giữ nhiệt 0,5h; 1h; 2h. Quy trình xử lý nhiệt gồm tôi và hóa già như ở Hình 2.



Hình 3. Mẫu đo bền kéo

Mẫu được chế tạo từ phôi tấm có chiều dày 0,3mm. Đo độ cứng, mẫu thử bền kéo có diện tích mặt cắt ngang khoảng 1,8mm² như Hình 3.

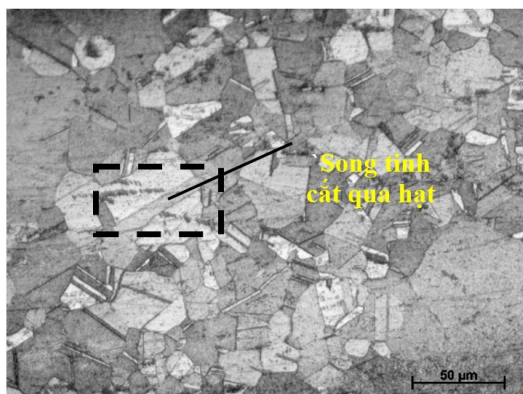
Mẫu được phân tích thành phần hóa học trên máy phân tích thành phần bằng quang phổ phát xạ Foudry master. Mẫu được đánh bóng và tẩm thực bằng dung dịch 2g (NH₄)₂S₂O₈+1g NH₄OH trong 100ml H₂O. Tiến hành quan sát tổ chức tế vi trên hiển vi quang học Axiovert 40MAT, quan sát tổ chức và phân tích EDX thành phần điểm trên pha và nền trên kính hiển vi điện tử quét (SEM) JEOL JSM-6510LV. Mẫu kéo kiểm bền thực hiện trên máy kéo nén đa năng XFT-150.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khảo sát về tổ chức tế vi bằng hiển vi quang học

3.1.1. Tổ chức tế vi Cu - Be C17200 sau tôi

Trên Hình 4 là tổ chức kim loại của hợp kim đồng berili C17200 được tôi ở nhiệt độ 780°C giữ nhiệt 0,5h. Tổ chức tế vi chủ yếu bao gồm pha dung dịch rắn quá bão hòa, là dung dịch rắn Be trong Cu - α với kích thước hạt không đồng đều và có màu sáng, với sự hiện diện của song tinh có kích thước lớn nằm trong hạt, trên biên hạt và cắt qua hạt. Tuy nhiên, vẫn phát hiện một số pha γ (màu đậm) rải rác nằm ở biên hạt và bên trong hạt chưa hòa tan hết.



Hình 4. Tổ chức tế vi phôi sau tôi

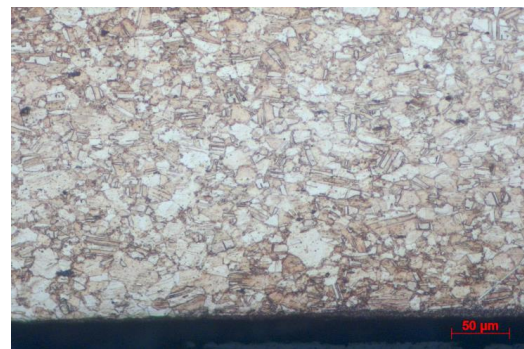
3.1.2. Khảo sát về tổ chức tế vi mẫu sau hóa già

Đối với mẫu sau tôi tổ chức được đồng đều hóa, ảnh hưởng của tiết pha được xác định theo nhiệt độ

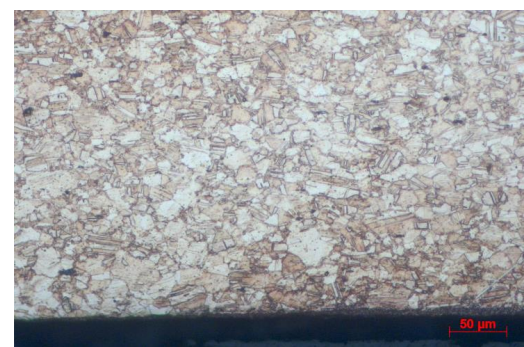
và thời gian hóa già.

Hình 5a, 5b cho thấy tổ chức tế vi của hợp kim hóa già ở 350°C-0,5h. Tổ chức tế vi của mẫu bao gồm nền Cu là các hạt pha α , các song tinh tạo ra sau tôi vẫn được giữ lại, có kích thước khác nhau nằm trong hạt và cắt qua hạt Cu- α , các song tinh có những biến đổi nhất định từ ảnh hưởng của nhiệt hóa già. Pha γ được tiết ra từ dung dịch rắn α ở nhiệt độ hóa già, có lượng nhỏ phân tán (pha màu tối) trong hạt, có dạng hình cầu nằm rải rác trong hạt và ở biên giới hạt. Có thể quan sát thấy mật độ phân bố của pha γ còn ít, kích thước cầu γ còn nhỏ.

Việc tăng thời gian hóa già ở 350°C-1h, tổ chức tế vi cho ở Hình 6a, 6b, quan sát thấy có sự phân bố nhiều và đều hơn của pha γ so với các mẫu 350°C-0,5h. Pha γ tạo ra có mật độ cao hơn, dạng hình cầu có kích thước lớn hơn trong hạt, không đều và có pha phát triển nhanh hơn. Các song tinh vẫn được duy trì và phát triển, tại biên giới song tinh quan sát thấy các dải pha γ được hình thành.



a)



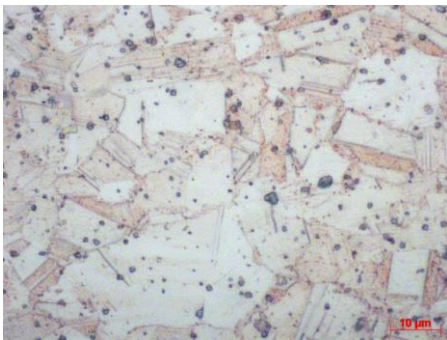
b)

Hình 5. Ảnh hiển vi quang học mẫu hóa già 350°C-0,5h

Khi hóa già ở 350°C-2h (Hình 7a, 7b), có thể quan sát thấy tổ chức tế vi có hạt lớn hơn so với được hóa già ở các nhiệt độ 350°C-0,5h và 350°C-1h, sự hiện diện của pha γ bên trong hạt dạng cầu phát triển không đều và mật độ nhiều hơn và kích thước lớn



a)

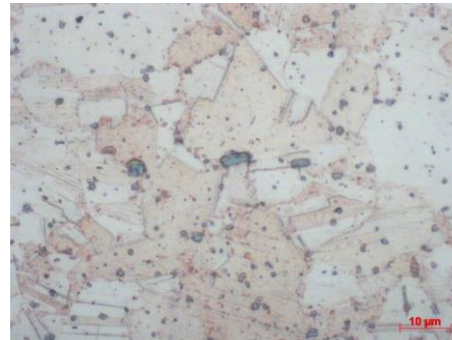


b)

Hình 6. Ảnh hiển vi quang học mẫu hóa già 350°C-1h



a)



b)

Hình 7. Ảnh hiển vi quang học mẫu hóa già 350°C-2h

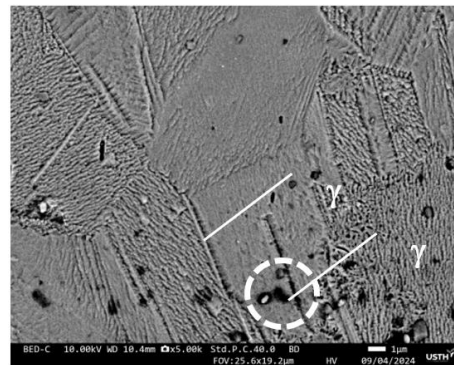
hơn, pha γ lớn lên và giàu nguyên tố hợp kim hơn qua quá trình hóa già, theo quan sát ta thấy pha γ phân bố trong hạt và ở biên giới hạt có kích thước khác nhau, song tinh vẫn được duy trì và tạo ra các miền có biên giới phân cách và có hướng khác nhau trong nền. Hóa già ở 350°C-2h tạo ra các đám pha γ có kích thước lớn hơn, làm hạt lớn hơn. Biên pha mỏng hơn do pha giảm kích thước dài γ ở biên hạt.

3.2. Khảo sát tổ chức bằng ảnh SEM

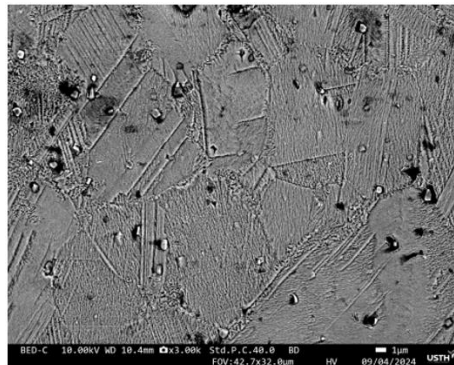
Để khảo sát rõ hơn tổ chức hạt và tổ chức pha γ tiết ra ở các chế độ hóa già khác nhau với độ phóng đại lớn hơn, tiến hành quan sát tổ chức tế vi trên kính hiển vi điện tử quét ở như ở các Hình 8, 9 và 10.

Có thể nhận thấy việc hình thành và phát triển của pha γ khi hóa già là quá trình tiết pha đa dạng với các hình thái khác nhau tùy vị trí hình thành và phát triển. Trên nền dung dịch rắn α quá bão hòa sẽ tạo thành các hạt cầu γ , trên biên giới song tinh và biên giới hạt γ tiết ra có dạng dải. Khi hóa già tiết pha ở 350°C, cùng với quá trình tiết pha là có sự kết tinh lại làm biến đổi tổ chức hạt theo hướng sát nhập thô to ra và có cả sự hình thành các hạt mới, có sự phát triển co cụm thành các đám pha γ lớn hơn và hình dạng đa dạng hơn.

Sự hình thành các hình thái tổ chức khác nhau

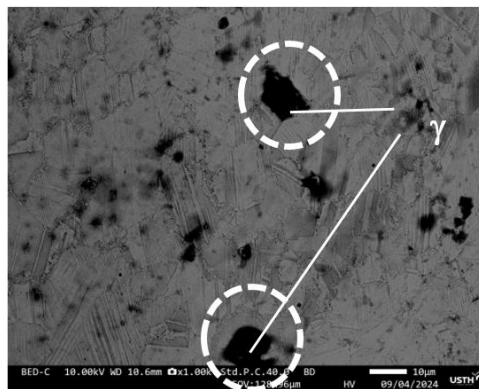


a)

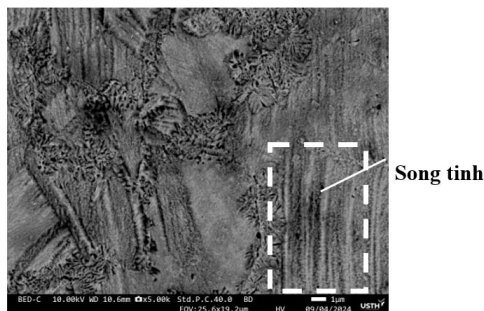


b)

Hình 8. Ảnh SEM tổ chức hóa già 350°C-0,5h

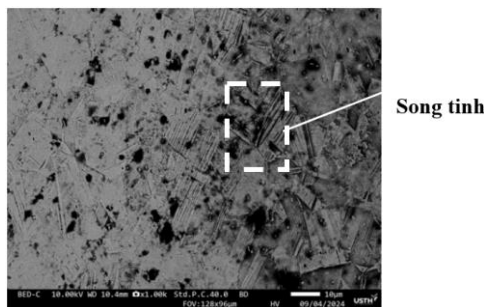


a)

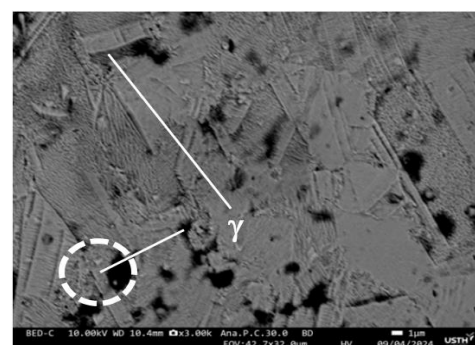


b)

Hình 9. Ảnh SEM tổ chức hóa già 350°C-1h



a)



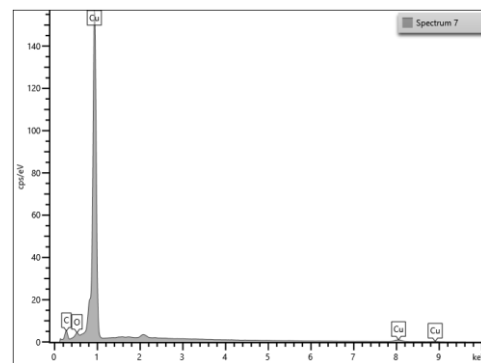
b)

Hình 10. Ảnh SEM tổ chức hóa già 35°C-2h

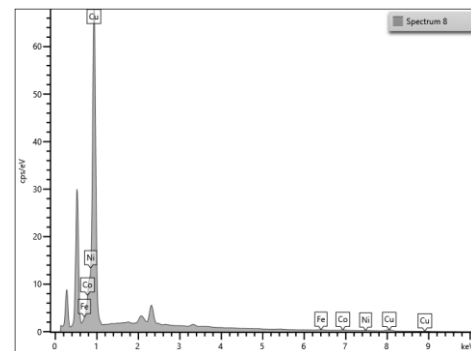
của pha γ cứng và giòn hơn trên nền pha α của Cu là nhân tố tăng bền mạnh mẽ cho hợp kim đồng berili và làm thay đổi độ dẫn điện của hợp kim.

3.3. Kết quả phân tích thành phần nền và phay

Hình 10 là kết quả phân tích EDX điểm thành phần nguyên tố cho mẫu hóa già 350°C-1h cho pha nền α (Hình 10a) và pha γ (Hình 10b) từ kết quả phân tích cho thấy các ở pha α chỉ phát hiện ra nguyên tố Cu không phát hiện các nguyên tố khác. Kết quả phân tích các điểm pha γ ngoài Cu còn có các nguyên tố Co, Ni, Fe. Các kết quả về thành phần pha phù hợp với nghiên cứu chỉ ra rằng khi hóa già các nguyên tố hợp kim Co, Ni, Fe khuếch tán tập trung hình thành pha berilit - các pha liên kim. Berili là nguyên tố nhẹ không phát hiện được trên máy phân tích. Quá trình hóa già làm suy giảm và cạn kiệt các nguyên tố hợp kim trong dung dịch rắn α , hình thành pha γ giàu các nguyên tố hợp kim, đây là nguyên nhân làm tăng độ dẫn điện của hợp kim khi hóa già so với trạng thái dung dịch rắn sau tôi.



a)



b)

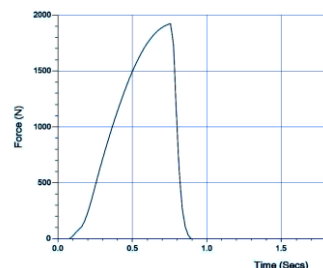
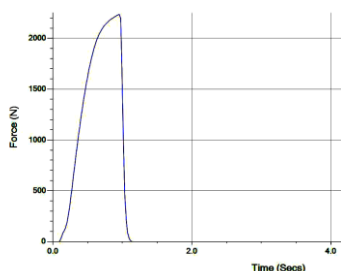
Hình 10. Phân tích thành phần pha hóa già ở 350°C-1h

a - Pha α ; b - pha γ

3.4. Đo độ cứng và giới hạn bền kéo

Mẫu sau tôi có độ cứng từ 100HB÷110HB. Độ bền mẫu sau tôi có giá trị từ 297MPa÷309MPa.

Đo độ cứng mẫu hóa già 350°C-0,5h cho độ cứng 330HB÷350HB, 350°C-1h cho độ cứng khoảng 360HB÷380HB, 350°C-2h cho độ cứng khoảng 360HB÷380 HB, Hóa già ở 350°C-2h tạo ra các đám



Hình 11. Đo giới hạn bền kéo mẫu sau hóa già ở 350°C-1h

pha γ có kích thước lớn hơn, làm hạt lớn hơn. Biên pha mỏng hơn do pha giảm kích thước dải γ ở biên hạt, đây là tổ chức bắt đầu chuyển sang quá già. Do vậy nhóm tác giả chọn mẫu sau tôi và sau hóa già 350°C-1h để khảo sát độ bền kéo, thử bền kéo trên mẫu kéo có diện tích mặt cắt ngang 1,8mm² như Hình 3, kết quả đo như sau: Đo giới hạn bền kéo 2 mẫu như ở Hình 11 có giá trị 1102MPa và 1068MPa. Giá trị giới hạn bền kéo sau hóa già gấp hơn 3 lần mẫu sau tôi cho thấy vai trò hóa bền mạnh mẽ của pha γ được tiết ra trong nền Cu - α của hợp kim Cu - Be khi được xử lý nhiệt.

4. Kết luận

Hợp kim đồng berili C17200 được tôi ở 780°C-0,5h sau đó hóa già ở nhiệt độ 350°C trong thời gian 0,5h; 1h và 2h. Quan sát sự thay đổi tổ chức tế vi khi hóa già tiết pha γ hóa bền hợp kim, cụ thể là ở hình thái, mật độ, phân bố và kích thước pha γ tiết ra.

Khi xử lý hóa già theo nhiệt độ và thời gian, tiết pha γ được phát triển không đều ở các vị trí khác nhau gồm tạo pha dạng hạt trong nền, tại biên giới hạt và tạo thành các dải mỏng tại biên giới song tinh và trên biên hạt, các nguyên tố hợp kim khuếch tán tích tụ trong pha γ theo thời gian hóa già, đây là nhân tố hóa bền mạnh mẽ cho hợp kim. Hình thái tổ chức dạng tiết pha γ đóng một vai trò quyết định đến sự thay đổi độ bền của hợp kim C17200 khi xử lý hóa già.

Khi tôi ở 780°C-0,5h, hợp kim có độ cứng khoảng 110 HB và độ bền khoảng 290MPa. Mẫu sau tôi hóa già ở 350°C-1h có độ cứng cao tới 380HB và độ bền lên tới 1100MPa, cả độ cứng và độ bền sau hóa già gấp hơn 3 lần so với mẫu sau tôi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sái Mạnh Thắng, Lê Thị Chiều (2017), *Hợp kim đồng*, Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội, tr.372-376.
- [2] Guide to Copper Beryllium, Brush Wellman Inc.Cleveland, Ohio, © 2002, pp 4.
- [3] W. Heller (1976). *Copper-beryllium alloys for*

technical applications, 9 February 1976 CERN european organization for nuclear research, CERN 76-01, Proton Synchrotron Division, Geneva 1976.

- [4] Fuqiang Lai, Kun Mao , Changsheng Cao , Anqiong Hu, Junxiang Tu, Youxi Lin (2023), *Bending Fatigue Behaviors of C17200 Beryllium Copper Alloy at High Temperatures*. Materials Vol.16, 815p.
- [5] Ivan Lomakin, Migue Castillo-Rodríguez and Xavier Sauvage (2019), *Microstructure, Mechanical Properties and Aging Behaviour of Nanocrystalline Copper - Beryllium alloy*, Materials Science and Engineering: A, Vol.744, pp.206-214.
- [6] EnriqueRocha Rangel*, José A.Rodríguez García, Constantin A.Hernández Bocanegra (2014), *Precipitation hardening of Cu-Be alloys*, ChemXpress, Vol.5(4), pp.132-136.
- [7] Masoud Ibrahim Mohamed (2019), *Effects of Cold Rolling and Aging Treatment on the Properties of Cu-Be Alloy*, Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol.9, No.4, pp.4500-4503.
- [8] Yahya Altunpak (2010), *Wear behaviour of aged Cu-Be alloy under electrical sliding*, Scientific Research and Essays Vol.5(19), pp.2997-3002.
- [9] Oscar Fabián Higuera Cobos et al (2018), *Wear Behaviour of Copper-Beryllium Alloy Under Abrasive Conditions*, Contemporary Engineering Sciences, Vol.11, No.59, pp.2903-2910.

Ngày nhận bài:	15/11/2024
Ngày nhận bản sửa:	26/11/2024
Ngày duyệt đăng:	16/12/2024