

ẢNH HƯỞNG XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN TỔ CHỨC VÀ CƠ TÍNH CỦA HỢP KIM CU-15Ni-8Sn

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL
PROPERTIES OF CU-15Ni-8Sn ALLOY

Sái Mạnh Thắng¹, Lê Thị Chiêu², Phạm Huy Tùng³, Nguyễn Dương Nam³

¹Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

²Viện Nghiên cứu Phát triển và Ứng dụng Công nghệ mới

³Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Trên cơ sở vận dụng lý thuyết spinodal, sử dụng nhiều phương pháp phân tích và xác định cơ tính, các tác giả bài báo đã nghiên cứu sự thay đổi tổ chức của hợp kim Cu-15Ni-8Sn trong quá trình xử lý nhiệt. Các tác giả đã chứng minh sự có mặt của tổ chức spinodal làm tăng bền mạnh mẽ cho nền và sự xuất hiện của pha γ có độ cứng thấp làm tăng tính bôi trơn cho hợp kim, từ đó tìm ra quy trình xử lý thích hợp để hợp kim, đáp ứng yêu cầu vật liệu làm ổ trục tải trọng nặng: Nung hợp kim ở 850°C trong 3h, làm nguội nhanh trong nước, sau đó hóa già ở 350 - 450°C trong 2h.

Từ khóa: Spinodal, đồng đàn hồi, cơ tính, xử lý nhiệt.

ABSTRACT

Based on spinodal decomposition theory, using various analytical and determination of properties methods, the authors of the article studied the changes in the microstructure and hardness of the alloy Cu-15Ni-8Sn during heat treatment. The authors have demonstrated that the strongly increase of strength the of solid solution matrix may take place via spinodal mechanism. The presence of γ phase with lower hardness during aging increases the lubrication of alloy. The authors suggested the heat treatment for alloy to meet requirement as bearing heavy loads material: Heating the alloy at 850°C in 3h, quenching, then aging at 350 - 450°C in 2 hours.

Keywords: Spinodal, elastic copper alloy, mechanical properties, heat treatment.

1. GIỚI THIỆU

Với rất nhiều ưu điểm về độ dẫn nhiệt, khả năng chống ăn mòn, độ bền, độ dẻo, tính bôi trơn, chống ma sát tốt, hợp kim đồng thường được sử dụng trong nhiều thiết bị để làm bạc lót, cốc xoay... Tuy nhiên, bạc lót bằng hợp kim đồng thông thường khi làm việc trong điều kiện tải trọng nặng, chịu mài mòn, ăn mòn và bôi trơn kém (như chi tiết cốc xoay trong máy khoan mỏ), làm việc sau một thời gian ngắn thường bị hư hỏng, phải thay thế. Các chi tiết này thường được nhập khẩu với giá thành rất đắt hoặc sản xuất trong nước nhưng chất lượng không được đảm bảo.

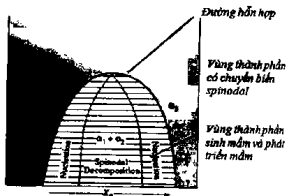
Vì vậy, nghiên cứu chế tạo các loại hợp kim đồng có cơ tính tốt, độ bền, khả năng bôi trơn chịu ăn mòn, mài mòn cao để chế bạc lót chịu tải trọng nặng là rất cần thiết.

Một trong những yêu cầu quan trọng của hợp kim bạc trực làm việc tải trọng lớn là phải có tổ chức, bao gồm: Các pha có độ bền, độ cứng cao để chịu tải, xen kẽ với pha có độ cứng thấp, có thể mòn đi trong quá trình làm việc để thành điểm chứa dầu bôi trơn.

Các tác giả bài báo tiến hành nghiên cứu hệ hợp kim đồng hợp kim hóa bởi 15%Ni và 8% Sn, xử lý nhiệt để hợp kim có tính năng thỏa mãn các yêu cầu đó. Cơ sở của quá trình tạo hợp kim đồng độ bền cao làm việc trong điều kiện tải trọng nặng là ứng dụng hệ quả của phân hóa spinodal và chuyển pha trong hệ hợp kim khi xử lý nhiệt.

Phân hóa Spinodal là một cơ chế mà ở đó một dung dịch rắn đồng nhất của hai hay nhiều cấu tử trong những điều kiện nhất định bị phân hóa thành các vùng nhỏ, có cùng cấu trúc như pha mẹ nhưng khác về thành phần hóa học và cơ tính.

Khác với chuyển pha cổ điển, chuyển biến spinodal xảy ra đồng thời và đồng nhất trên toàn khối vật liệu, không chỉ tại các vị trí chuyển pha riêng biệt. Cấu trúc spinodal nhỏ, mịn. Độ nhỏ mịn của cấu trúc spinodal được đặc trưng bởi khoảng cách giữa các vùng có thành phần xác định, kích thước khoảng 50-1000Å. Nhờ tổ chức hết sức nhỏ mịn và phân bố đồng đều, chuyển biến spinodal gây xô lệch mạng lớn, tăng bền mạnh mẽ cho hợp kim. So với quá trình tiết pha cổ điển, chuyển biến spinodal không đòi hỏi năng lượng lớn. Cấu trúc spinodal khó phát hiện hơn nhiều so với cấu trúc tiết pha...



Hình 1: Vùng thành phần có chuyển biến spinodal

Với hợp kim Cu-15Ni-8Sn, nhiều nghiên cứu đã đưa ra mô hình tổ chức và tìm hiểu cơ chế tăng bền và tiết pha trong quá trình hoá già. Tác giả J.-C. Zhao, M.R. Notis đã quan sát được sáu dạng pha được hình thành trong quá trình xử lý nhiệt: Trên biển hạt và trong các hạt dạng γ (DO_2); Dạng γ không liên tục (dạng cột); Cấu trúc trật tự hóa dạng DO_{22} (Cu_xNi_{1-x})₃Sn; Cấu trúc trật tự hóa dạng L_{12} (Cu_xNi_{1-x})₃Sn; Kiểu modun, kết quả từ sự phân hóa spinodal và pha δ hệ trực giao (dạng β -Cu₃Ti) với $a = 0.451$, $b = 0.538$, $c = 0.427$ nm. Các cấu trúc được quan sát trong các hợp kim có thành phần khác nhau. Phần lớn các tác giả nhận định rằng, trong các hợp kim Cu-Ni-Sn được nghiên cứu, sự tăng bền là do sự đóng góp của quá trình phân hóa spinodal; Trong nhiều hợp kim, dấu hiệu của tổ chức

spinodal được tìm thấy ngay trong dung dịch rắn. Thậm chí, một vài nghiên cứu còn tìm thấy dấu vết phân hóa spinodal hình thành trước khi tạo thành dung dịch rắn và tổ chức spinodal được hình thành ngay trong quá trình tôi. Tuy nhiên, cũng có tác giả như Miki và Ogino đã kết luận rằng, phân hủy spinodal không làm tăng mạnh độ cứng cho các hợp kim Cu-20Ni-8Sn và Cu-15Ni-8Sn, mà vai trò chính của sự tăng bền là tổ chức liên mạng giữa vùng spinodal và pha mới tạo ra.

2. THỰC NGHIỆM

Hợp kim nghiên cứu có thành phần như bảng 1.

Bảng 1: Thành phần chính hợp kim nghiên cứu

Cu	Ni	Sn	Fe	Khác
75.2	15.4	8.95	0.28	Còn lại

Sau khi đúc, hợp kim được nung đến nhiệt độ 850°C, giữ nhiệt 3h và làm nguội trong nước. Tiếp theo, được hóa già ở các nhiệt độ khác nhau 250°C; 300°C; 350°C; 400°C; 450°C và 500°C và trong các khoảng thời gian khác nhau. Các mẫu sau khi thực hiện đều được đo độ cứng, soi tổ chức tế vi, chụp ảnh trên kính hiển vi quang học, phân tích trên máy SEM, phân tích nhiệt và phân tích rơnghen.

Các thí nghiệm được thực hiện tại Viện Khoa học Việt Nam và Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 2: Tổ chức tế vi sau đúc x50

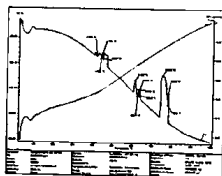


Hình 3: Ảnh tổ chức tế vi sau ủ và nguội nhanh

Ảnh tổ chức cho thấy, ở trạng thái sau đúc (hình 2) hợp kim bị thiên tích nhánh cây mạnh mẽ. Tổ chức nhánh cây thô không chỉ là phân giữa các hạt mà ngay cả trong hạt. Rõ ràng là sự phân bố thành phần rất không đồng đều. Độ cứng hợp kim đo được ở trạng thái đúc là: 110HB.

Hợp kim Cu-Ni-Sn được đồng đều hóa bằng cách ủ ở 850°C (hình 3).

Sau khi ủ 3h ở 850°C, tổ chức nhánh cây đã được khử bỏ, hợp kim có tổ chức hoàn toàn một pha đồng nhất, có kích thước hạt bé hơn so với tổ chức đúc. Đây là tổ chức phù hợp cho bước hóa già chuyển biến spinodal tiếp theo. Độ cứng sau tôi: 98HB.



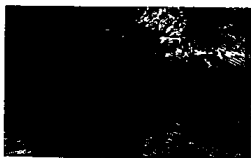
Hình 4: Giản đồ phân tích DSC

Để nghiên cứu sự thay đổi năng lượng, biểu hiện cho các chuyển biến khi thay đổi nhiệt độ, hợp kim sau khi tôi được phân tích nhiệt tại Phòng Thí nghiệm Công nghệ Vật liệu Kim loại, thu được kết quả như sau:

Từ giản đồ phân tích nhiệt nhận thấy, tại các vùng nhiệt độ: 50°C; 418-482°C; 750-800°C có sự xuất hiện của các peak trên đường nhiệt động học.

Có thể nhận thấy là, từ nhiệt độ dưới 50°C bắt đầu có dấu hiệu chuyển biến, có lẽ đây là phân hoá spinodal. Các peak trong khoảng 418°C đến 482°C tương ứng với sự xuất hiện cấu trúc dạng DO_{22} và I.1, trong hợp kim, dạng cấu trúc được tạo ra khi Sn tiết ra khỏi vùng spinodal, chuẩn bị hình thành pha mới. Điều này phù hợp với lý thuyết, phù hợp với các kết quả phân tích rơnghen và các kết quả về sự thay đổi độ cứng theo nhiệt độ như sẽ trình bày ở phần sau.

Tại 750-800°C có quá trình tạo pha không liên tục y có cấu trúc kiểu DO_3 ,



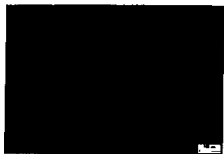
Hình 5: Ảnh chụp trên máy SEM tổ mẫu chức tế vi hoá già 450°C x13000



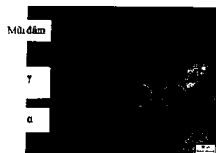
Hình 6: Ảnh chụp trên máy SEM tổ mẫu chức tế vi hoá già 450°C x20000

Ảnh SEM ở độ phóng đại thấp 13.000 lần (hình 5), mẫu hóa già 450°C cho thấy, có hiện tượng tách pha, tương ứng với ảnh tổ chức tế vi quang học (x500). Ảnh tổ chức cũng (hình 6)

cho thấy, bên trong hạt có cấu trúc mịn phân tán đều, biểu hiện rằng, đó là cấu trúc của phân hóa spinodal (hình 5) còn vùng biên giới hạt có cấu trúc theo lớp.



Hình 7: Ảnh tổ chức tế vi sau hóa già 450°C - 2h



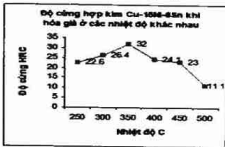
Hình 8: Ảnh vết đậm từng pha của hợp kim Cu15Ni8Sn tôi 850°C-2,5h; hóa già 450°C-2h

Hóa già ở thời gian dài hơn và nhiệt độ cao hơn cho thấy, có xuất hiện các pha đen ở biên giới hạt. Pha này là pha γ (hình 8), có độ cứng thấp hơn so với pha nền. Tiến hành đo độ cứng từng pha: Pha nền (màu sáng có độ cứng cao còn pha γ (màu đen có độ cứng thấp hơn nhiều (bảng 2).

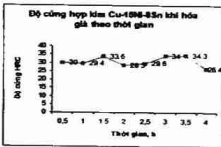
Bảng 2: Độ cứng các pha

Pha	Độ cứng (HV)	
α Nền (màu sáng)	390	Ave
	382	387
	387	
γ (màu đen)	238	Ave
	230	235
	237	

Có thể thấy rằng, độ cứng của pha α nền rất cao trung bình 387 HV, cao hơn nhiều so với nền α sau khi tôi. Điều này, chứng tỏ rằng có thể có quá trình phân hóa Spinodal xảy ra trong nền, làm cho độ cứng của nền tăng mạnh.



Hình 9: Sự thay đổi độ cứng hợp kim Cu-15Ni-8Sn theo nhiệt độ xử lý



Hình 10: Sự thay đổi độ cứng hợp kim Cu -15Ni-8Sn theo thời gian xử lý

Khi hoá già tại các nhiệt độ khác nhau, kết quả đo độ cứng cho thấy: Độ cứng sau hoá già của hợp kim ở các nhiệt độ 250°C và 450°C là khá cao trên 20HRC. Độ cứng đạt cao nhất ở khoảng nhiệt độ 350°C là 32HRC, tương đương với độ cứng thép C45 ở trạng thái nhiệt luyện hoá tốt, suy tương đương, độ bền đạt tới 900MPa. Giá trị độ cứng này khá cao so với các hợp kim đồng nói chung. Phải chăng tại nhiệt độ đó tổ chức hợp kim có cấu trúc liên mạng giữa vùng spinodal và pha mới tạo ra.

Hoá già ở nhiệt độ cao hơn, đồng thời với sự xuất hiện pha γ (màu đen), độ cứng hợp kim giảm mạnh.

Diễn biến của đường cong độ cứng khi tăng thời gian hoá già tương tự như khi thay đổi nhiệt độ.

Cố định nhiệt độ hoá già ở 350°C, hợp kim Cu-15Ni-8Sn, được thử nghiệm hoá già với thời gian: 0,5h đã cho độ cứng cao 30HRC.

Thời gian hoá già 1,5h, độ cứng khoảng 34HRC khá cao, phù hợp cho nhiều ứng dụng chịu mài mòn và độ đàn hồi cao. Hoá già khoảng từ 2-3h, độ cứng hơi giảm đi nhưng ở khoảng 3-3,5h độ cứng lại tăng lên và sau đó giảm mạnh.

Trong giai đoạn đầu, từ dung dịch rắn phân hóa thành những vùng tổ chức spinodal nhỏ mịn làm tăng độ cứng. Thời gian tăng, vùng spinodal nhiều hơn, độ cứng tăng lên. Nhưng nếu kéo dài thời gian hoá già, khi xuất hiện các pha mới, độ cứng giảm. Trên cơ sở kết hợp giữa nhiệt độ và thời gian xử lý, thấy rằng, nhiệt độ hoá già ở 350°C và thời gian hoá già từ 1,5h-2h hợp kim cho độ cứng cao nhất.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả phân tích ở trên có thể kết luận như sau:

- Theo nhiệt độ và thời gian hoá già, tổ chức và cơ hợp kim thay đổi, lúc đầu cơ tính tăng lên tương ứng với giai đoạn phân hóa spinodal. Cơ chế tăng bền chủ yếu của hợp kim là cơ chế phân hóa spinodal. Khi nhiệt độ hoá già qua cao, hoặc thời gian quá dài, pha mới được tạo ra làm độ cứng giảm.

Thực hiện hoá già ở nhiệt độ 350- 450°C trong khoảng 2h, nhận được tổ chức, bao gồm nền có độ cứng cao, xen với pha mềm là γ , phù hợp với yêu cầu của hợp kim bạc lót, làm việc trong điều kiện tải trọng nặng. ❖

Ngày nhận bài: 12/5/2016

Ngày phản biện: 18/6/2016

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Metallography and microstructures. ASM Handbook volume 9, 1992 page 1406-1411.
- [2]. http://en.wikipedia.org/wiki/Spinodal_decomposition.
- [3]. W. Raymond. Cribb Copper Spinodal alloys for aerospace, Advanced materials & processes, 6/2006.
- [4]. CHEN Ding, WU Wei, CHEN Zhen-hua, FU Ding-fa, CHEN Gang. Preparation for intermetallic powders of Cu-Sn and Cu-Ni-Sn systems via solid-liquid reaction milling technique. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007 5594-5598.
- [5]. Alloys phase diagram, ASM Handbooks Volume 3, 1992.
- [6]. J.-C. Zhao, M.R. Notis. Spinodal decomposition, ordering transformation, and discontinuous precipitation in a Cu-15Ni-8Sn alloy, Acta mater Vol.46, No 12, pp4203 - 4218, 1998.