

## ẢNH HƯỞNG CỦA XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN TỔ CHỨC VÀ ĐỘ CỨNG HỢP KIM CuAl9Fe4Ni2

### INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CuAl9Fe4Ni2 ALLOY

TRẦN THẾ NAM<sup>1</sup>, VŨ ANH TUẤN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: anhtuan.cscb@vimaru.edu.vn

#### Tóm tắt

Trong công trình này trình bày các kết quả nghiên cứu về sự biến đổi tổ chức tế vi của hợp kim CuAl9Fe4Ni2 sau các trạng thái đúc; tôi và ram. Tổ chức tế vi được tìm thấy là các pha mactenxit; pha  $\alpha$  còn dư và pha liên kim của Fe và Al. Bằng tối ưu hóa, công trình đã chỉ ra quy trình xử lý nhiệt tối ưu về độ cứng của hợp kim là ủ đồng đều hóa và tôi ở 850°C trong 02 giờ sau đó ram ở 350°C trong 02 giờ cho giá trị độ cứng cao nhất.

**Từ khóa:** Hợp kim đồng, pha liên kim, xử lý nhiệt.

#### Abstract

In this article, the results were presented on changing of microstructure of CuAl9Fe4Ni2 alloy after casting; quenching and tempering. The microstructure were found to be martensitic phases; residual  $\alpha$  phase and the intermetallic phase of Fe and Al. By OM, the article has shown that the heat treatment process for alloy hardness is uniform annealing at 850°C for 02 hours and cooling in water, then tempering at 350°C for 02 hours which was the highest hardness value.

**Keywords:** Copper alloys, inter-metallic, heat treatment.

#### 1. Mở đầu

Brong nhôm được hợp kim hóa thêm Fe và Ni là hợp kim quan trọng và phổ biến trong lĩnh vực hàng hải và công nghiệp đóng tàu. Hợp kim này, theo như các nghiên cứu trên thế giới nếu được xử lý nhiệt phù hợp sẽ có đặc tính chịu mài mòn tốt. Các nghiên cứu cũng chỉ ra đặc tính về sự hình thành pha của hợp kim [1]-[3].

Hai nguyên tố có ảnh hưởng lớn đến tổ chức và tính chất của hợp kim này là sắt và Niken. Theo như nghiên cứu của một số nhà khoa học trên thế giới cũng chỉ ra vai trò và sự hình thành các pha liên kim như  $\alpha$ ;  $\beta$ ;  $\gamma_2$  và  $\kappa$  khi tiến hành xử lý nhiệt hợp kim này. Tương tự như vậy nghiên cứu của J. Hájek cũng đã chỉ ra về

quá trình chuyển biến pha của hợp kim này trong quá trình xử lý nhiệt và sự hình thành mactenxit.

Đối với sắt khi được hợp kim hóa vào Brong nhôm sẽ hình thành nên pha liên kim của chúng với nhôm như Fe<sub>3</sub>Al có kích thước nhỏ mịn và phân tán đều trong nền do vậy sẽ cải thiện được cơ tính của hợp kim này; những pha liên kim này được hình thành bao quanh hạt  $\alpha$ ; bên trong hạt  $\beta$ . Pha liên kim của Fe cũng sẽ làm cho các hạt  $\gamma_2$  được sinh ra ở quá trình xử lý nhiệt trở nên nhỏ mịn. Ngoài ra, sắt khi hợp kim hóa vào brong nhôm sẽ làm nhỏ mịn hạt trong quá trình kết tinh. Đây là nguyên nhân tăng cơ tính của brong nhôm ngay từ giai đoạn nấu đúc. Theo như các công trình công bố trên thế giới, thì sắt nằm trong khoảng 3-5% sẽ cải thiện được cả độ bền và giới hạn chảy [4], [5].

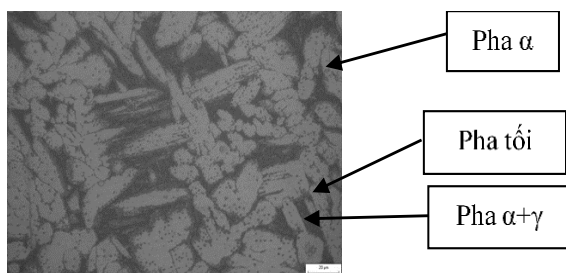
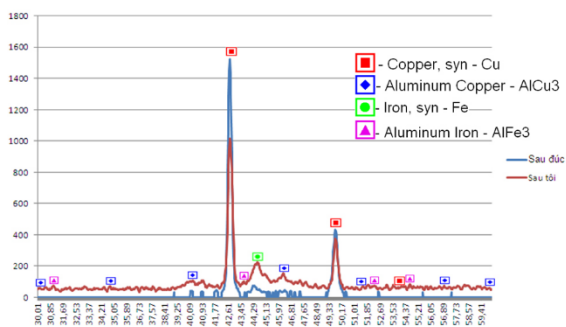
Đối với Niken một nguyên tố hòa tan vô hạn trong đồng nhưng hòa tan rất ít trong Nhôm. Nguyên tố này sẽ cải thiện được cơ tính của Đồng thanh Nhôm là tăng khả năng chống mài mòn; ăn mòn. Ngoài ra, Niken còn làm tăng tính chảy loãng của hợp kim khiến hợp kim dễ đúc hơn. Nghiên cứu của Wharton đã cho thấy được vai trò của Ni trong việc tăng khả năng chống ăn mòn nước biển của hợp kim nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu của Li [6] đã chỉ ra khi hợp kim đồng nhôm được hợp kim hóa thêm các nguyên tố như Fe và Ni có sự hình thành các pha liên kim kappa sau khi xử lý nhiệt. Các kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra cấu trúc và giá trị độ cứng tế vi của hệ hợp kim nghiên cứu.

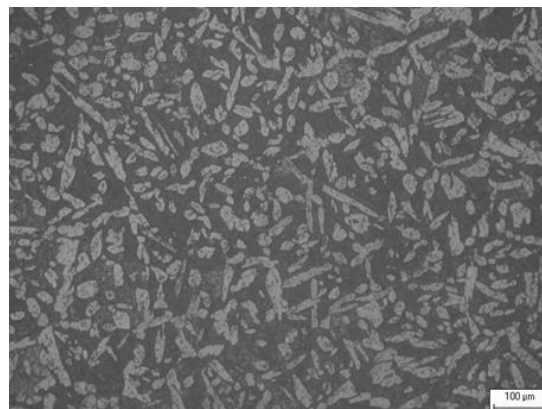
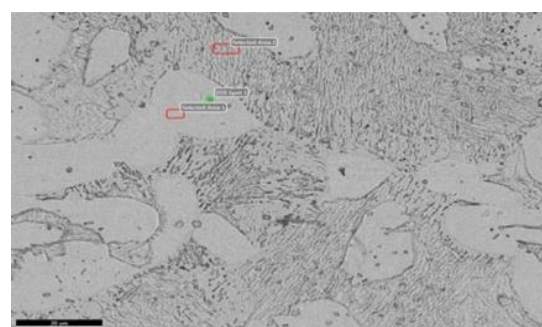
Có khá nhiều nghiên cứu về hợp kim Cu-Al nhưng các nghiên cứu này hiện đang tập trung vào sự hình thành pha ở các giai đoạn khác nhau chưa có nghiên cứu về ảnh hưởng của xử lý nhiệt tới tổ chức và độ cứng của hợp kim Cu-Al-Fe-Ni với cụ thể là mác CuAl9Fe4Ni2 là chưa có nhiều công bố. Trong công trình này trình bày những kết quả nghiên cứu về quá trình chuyển pha của hợp kim nghiên cứu cũng như đưa ra được chế độ tối ưu về độ cứng cho hợp kim nghiên cứu.

Bảng 1. Thành phần hóa học của  $CuAl_9Fe_4Ni_2$ 

| Hợp kim          | Al   | Fe   | Mn   | Ni   | Sn   | Zn   | Pb   | Si   | Cu      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| $CuAl_9Fe_4Ni_2$ | 9,41 | 4,98 | 0,15 | 2,44 | 0,04 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | Còn lại |

Hình 1. Ảnh tổ chức tế vi  $CuAl_9Fe_4Ni_2$  sau đúc

Hình 3. Kết quả phân tích XRD mẫu sau đúc và tôi

Hình 2. Ảnh tổ chức tế vi  $CuAl_9Fe_4Ni_2$  sau tôiHình 4. Tổ chức tế vi hợp kim  $CuAl_9Fe_4Ni_2$  sau ram ở 350°C trong 02 giờ

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Thành phần hợp kim nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 1. Hợp kim được nấu trong lò trung tần và được tiến hành khử khí. Hợp kim sau khi nấu chảy được tiến hành rót trong khuôn kim loại; trung bình 01 mẻ nấu có khối lượng khoảng 10kg. Mẫu sau khi nấu xong được tiến hành gia công và cắt mẫu có kích thước 10x10x10 (mm) để tiến hành thực hiện xử lý nhiệt và các phân tích về tổ chức và cơ tính. Thành phần hợp kim được phân tích bằng phương pháp quang phổ phát xạ.

Hợp kim sau khi được ủ và đồng đều hóa ở 850°C rồi nguội nhanh trong môi trường nước; sau đó hợp kim được tiến hành ram ở các nhiệt độ và thời gian ram khác nhau. Nhiệt độ ram tiến hành trong khoảng từ 250 °C đến 550°C và trong khoảng thời gian thay đổi từ 01-03 (giờ).

Ở các giai đoạn khác nhau hợp kim được phân tích bằng hiển vi quang học; nhiễu xạ X-ray; SEM và EDS.

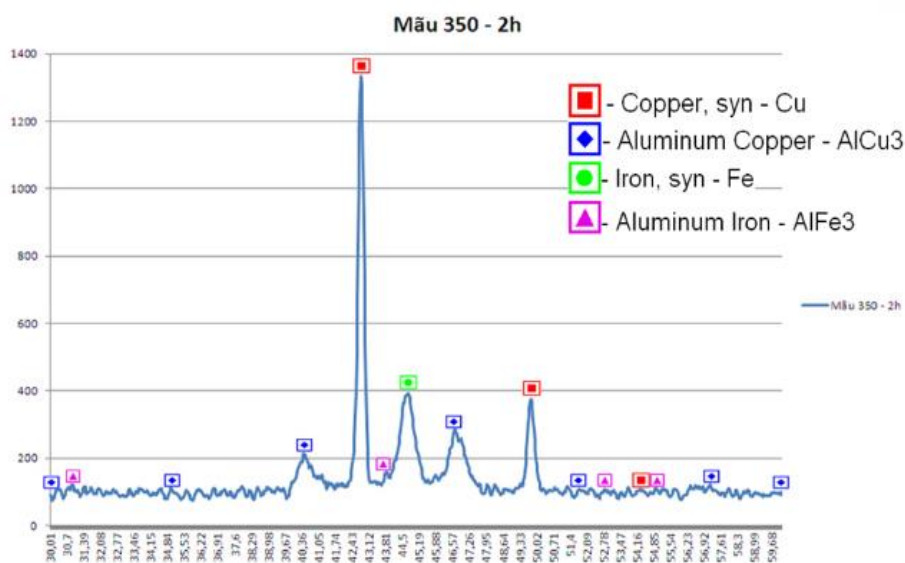
Các nghiên cứu này được thực hiện tại Đại học Bách khoa Hà Nội.

## 3. Kết quả và bàn luận

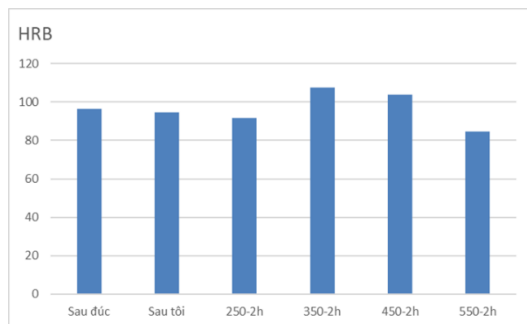
### 3.1. Phân tích tổ chức tế vi

Ảnh hiển vi quang học mẫu sau đúc (Hình 1) cho thấy tổ chức bao gồm hai pha: Pha sáng  $\alpha$  (dạng nhánh) kích thước còn rất thô, vùng tối là pha  $(\alpha+\gamma)$  cứng và giòn, ngoài ra còn có sự xuất hiện các chấm đen tiết ra trên nền pha sáng, biên giới hạt và pha tối rất có thể là các pha giàu sắt  $Fe(\delta)$  - pha liên kim trên cơ sở hợp chất điện tử  $Fe_3Al$  có kiểu cấu trúc kiểu mạng FCC hoặc BCC tương đồng với pha nền  $\alpha$ ;  $\beta$ ;  $\gamma_2$  cũng có kiểu cấu trúc lập phương. Pha  $\alpha$  có kiểu mạng lập phương tâm mặt; pha  $\beta$  là lập phương tâm khối và  $\gamma_2$  có kiểu mạng chính phương tâm khối. Do hợp kim có sự bổ sung thêm Ni cho thấy vùng  $\alpha$  được thu hẹp lại nhiều hơn, mịn và phân tán đều hơn

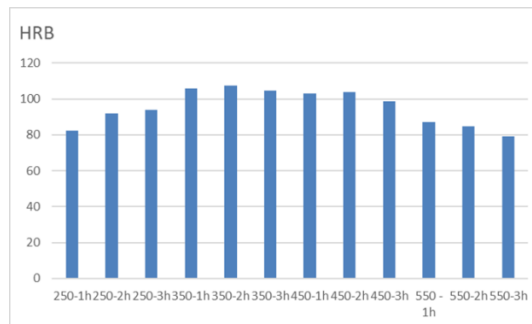
So với hợp kim ở trạng thái đúc, khi nung nóng và



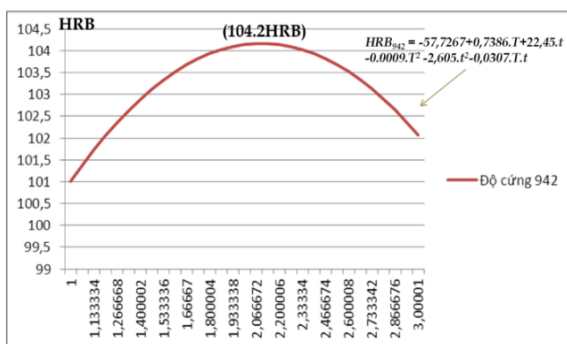
Hình 5. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X mẫu hợp kim sau ram ở 350°C trong 02 giờ



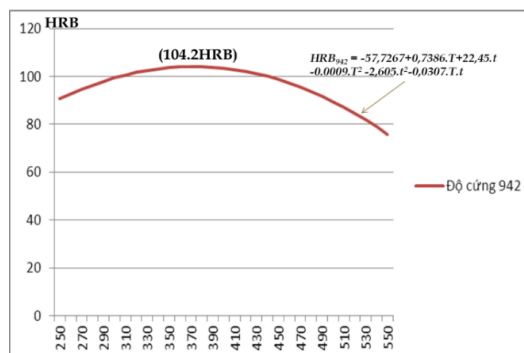
Hình 6. Biểu đồ độ cứng của hợp kim ở các trạng thái khác nhau



Hình 7. Thay đổi độ cứng ở các nhiệt độ và thời gian ram khác nhau



Hình 8. Biểu diễn giá trị độ cứng của CuAl9Fe4Ni2 khi thay đổi thời gian ram ở 350°C



Hình 9. Biểu diễn giá trị độ cứng của hợp kim khi nhiệt độ ram thay đổi

giữ nhiệt tại 850°C hợp kim tổ chức  $\alpha + (\alpha + \gamma)$  chuyển sang vùng hai pha  $(\alpha + \beta)$ , pha sáng  $\alpha$  đã được thu hẹp lại, biên giới hạt sắc cạnh, xuất hiện các tấm hình kim đan xen trên mặt cắt ngang để lại các vạch theo cùng một hướng hay đa hướng, trong đó các vạch tối mỏng là  $\beta$  mactenxit (Cu<sub>3</sub>Al) còn các vạch sáng dày là  $\alpha$ , các chấm đen thì mịn hơn. Phân tích tổ chức tế vi của

hợp kim này (Hình 2) nhận thấy: Kích thước pha  $\alpha$  nhỏ mịn hơn so với hợp kim khi không được hợp kim hóa Ni (kích thước pha  $\alpha$  là khoảng 20μm); kết quả này là phù hợp với tổ chức đã phân tích ở trạng thái đúc. Ngoài ra, đối với hợp kim này thì còn có sự xuất hiện của bốn dạng pha  $\kappa$ .

Phân tích đồ thị XRD của mẫu sau đúc và sau tôi

nhận thấy. Đối với đồ thị XRD sau tôi thấy xuất hiện đỉnh peak của pha liên kim một cách rõ rệt hơn và đỉnh peak của pha mactenxit  $\text{Cu}_3\text{Al}$ . Các vị trí đỉnh peak của dung dịch đồng có sự dịch chuyển sang bên phải so với trạng thái sau đúc.

Phân tích ảnh SEM được thể hiện trên Hình 4 cho thấy sự hình thành cùng tích ( $\alpha + \gamma_2$ ) trong đó có các pha  $\gamma_2$  ở dạng nhỏ mịn, phân tán nguyên nhân là do sự hình thành pha liên kim  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ,  $\text{NiAl}$  trên nền và trên biên giới các tấm mactenxit. Các pha liên kim tiết ra cũng có hình thái nhỏ hơn. Kết quả này được giải thích do ảnh hưởng của Ni đã cản trở sự phát triển kích thước của các pha; đây là nguyên nhân chính nâng cao khả năng chống mài mòn của hợp kim. Kích thước pha nhỏ mịn cũng là nguyên nhân tăng khả năng chịu mài mòn đối với hệ hợp kim khi được hợp kim hóa thêm Ni.

Phân tích XRD mẫu sau ram nhận thấy: Pha giàu đồng  $\alpha$  và pha  $\beta$  mactenxit ( $\text{Cu}_3\text{Al}$ ). Do Fe hoà tan rất ít trong nhôm, nên lượng nhôm còn lại sẽ kết hợp Ni để tạo thành  $\text{NiAl}$  và đi vào trong đồng tạo thành pha  $\beta$  mactenxit ( $\text{Cu}_3\text{Al}$ ). Vì kích thước quá nhỏ nên trên X-ray này ko thể phát hiện ra được chỉ kết luận được rằng sau khi tôi và ram cho ta thấy hầu hết các peak là của pha  $\beta$  mactenxit ( $\text{Cu}_3\text{Al}$ ) cho ra với các giá trị  $d$  khác nhau.

### 3.2. Phân tích giá trị độ cứng

Từ Hình 6 cho thấy kết quả độ cứng của hợp kim ở các trạng thái khác nhau: Giá trị độ cứng cao nhất được thể hiện đối với mẫu sau tôi và ram ở  $350^\circ\text{C}$  trong 02 giờ. Kết quả độ cứng thấp nhất là sau tôi và ram ở  $550^\circ\text{C}$  trong 02 giờ và sau khi tôi.

Phân tích giá trị độ cứng sau khi ram ở các nhiệt độ và thời gian khác nhau cho thấy: Giá trị độ cứng cao nhất là mẫu sau ram ở  $350^\circ\text{C}$  trong 01 giờ đạt được khoảng 106HRB còn đối với mẫu sau ram ở  $350^\circ\text{C}$  trong 02h cho giá trị độ cứng vào khoảng 105HRB. Tăng thời gian ram hoặc nhiệt độ ram giá trị độ cứng giảm xuống, điều này là hoàn toàn phù hợp với những kết quả phân tích về tổ chức ở trên.

Từ các giá trị về sự thay đổi nhiệt độ và thời gian ram; sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã xác định được sự biến thiên của độ cứng theo nhiệt độ và thời gian; đồng thời xây dựng được hàm mô tả về sự biến thiên này được thể hiện trên Hình 8 và Hình 9.

Từ hàm mô tả xác định sự biến đổi của độ cứng theo nhiệt độ và thời gian xác định được điểm cực trị của hàm là ở nhiệt độ  $374^\circ\text{C}$  và thời gian tương ứng là 2,1 giờ.

Từ hàm biến thiên đó khi cố định nhiệt độ ram là  $350^\circ\text{C}$  thì xác định được sự phụ thuộc của độ cứng theo thời gian được mô tả qua đồ thị dưới đây. Từ kết

quả phân tích đồ thị nhận được giá trị độ cứng đạt được là 104,2HRB tại khoảng 2,1 giờ. Kết quả này phản ánh đúng giá trị thực nghiệm mà nghiên cứu thu được.

Từ các kết quả phân tích về sự biến thiên độ cứng hợp kim ở các chế độ xử lý nhiệt khác nhau đã xác định được nhiệt độ ram tối ưu là  $350^\circ\text{C}$  trong thời gian 02 giờ cho kết quả độ cứng đạt cao nhất 104,2HRB.

### 4. Kết luận

Phân tích được sự thay đổi cấu trúc của hợp kim ở trạng thái đúc; xử lý nhiệt. Qua đó đã xác định được quá trình chuyển biến pha; xác định được cấu trúc mactenxit cũng nhưng cấu trúc của các pha liên kim được hình thành trong quá trình xử lý nhiệt. Xác định được các pha  $\beta'$  sau ram đối với các hệ hợp kim. Các pha liên kim loại  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ;  $\text{NiAl}$  đối với các hệ hợp kim trên.

Về cơ tính công trình đã xác định và tối ưu được nhiệt độ và thời gian ram của hợp kim  $\text{CuAl}_9\text{Fe}_4\text{Ni}_2$  như sau: Đồng đều hóa và tôi ở  $850^\circ\text{C}$  sau đó ram ở  $350^\circ\text{C}$  trong 02 giờ cho giá trị độ cứng cao nhất.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Böhm, P. Linhardt, S. Strobl, R. Haubner, and M. V. Biezma (2016), *Microstructure of a Heat Treated Nickel-Aluminum Bronze and Its Corrosion Behavior in Simulated Fresh and Sea Water*, Mater. Perform. Charact., Vol.5, No.5, p. MPC20160029.
- [2] Z. DOĞAN, F. KAHRIMAN, and Ş. A. And (2018), *Microstructural and Thermal Characterization of Aluminum Bronzes*, KOcaeli J. Sci. Eng., Vol.1, No.1, pp.6-10.
- [3] X. Chen, Z. Han, and K. Lu (2014), *Wear mechanism transition dominated by subsurface recrystallization structure in Cu-Al alloys*, Wear, Vol.320, No.1, pp.41-50.
- [4] A. S. M. Handbook (1992), *Alloy Phase Diagram*, Vol.3.
- [5] N. N. Myuller and A. V. Agafonova (1979), *Mechanical properties of Cu-Al-Fe alloys*, Met. Sci. Heat Treat., Vol.21, No.3, pp.217-220.
- [6] W. S. Li, Z. P. Wang, Y. Lu, Y. H. Jin, L. H. Yuan, and F. Wang (2006), *Mechanical and tribological properties of a novel aluminum bronze material for drawing dies*, Wear, Vol.261, No.2, pp.155-163.

|                    |            |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài:     | 11/08/2023 |
| Ngày nhận bản sửa: | 21/08/2023 |
| Ngày duyệt đăng:   | 28/08/2023 |