

TỔNG HỢP VẬT LIỆU Fe-Cu-Al BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỢP KIM HÓA CƠ HỌC**Hò Ký Thanh^{1,*}, Nguyễn Đặng Thủy²**¹*Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên,*²*Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội***TÓM TẮT**

Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu tổng hợp hệ vật liệu Fe-Cu-Al với mục đích ứng dụng trong chế tạo bạc lót chịu tải trọng lớn bằng phương pháp hợp kim hóa cơ học. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X hỗn hợp cho thấy, dung dịch rắn Cu-Al đã được hình thành trong quá trình hợp kim hóa. Với áp lực ép trong phạm vi 312÷390 MPa, nhiệt độ thiêu kết trong khoảng 850÷950°C và thời gian thiêu kết trong 1,0 giờ thì các mẫu vật liệu nhận được có tổng độ xốp trong khoảng 20÷27%. Độ xốp của các mẫu vật liệu giảm khi áp lực ép và nhiệt độ thiêu kết tăng. Tỷ lệ lỗ xốp hở của hầu hết các mẫu đạt trên 80%. Độ cứng của mẫu vật liệu nhận được trong phạm vi từ 47 đến 63,4 HRC và tăng khi thời gian hợp kim hóa cơ học tăng. Hệ vật liệu Fe-Cu-Al hứa hẹn sẽ đáp ứng tốt các yêu cầu đối với vật liệu làm bạc lót chịu tải trọng lớn.

Từ khóa: vật liệu ổ trượt; hợp kim hóa cơ học; dung dịch rắn; luyện kim bột; xốp; độ cứng.

ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu trên cơ sở đồng (Cu-base) được biết đến là vật liệu cơ bản để chế tạo các loại bạc lót do chúng có cơ tính tương đối cao, hệ số ma sát trượt khi làm việc với các trục thép tương đối nhỏ (trong khoảng 0,2 – 0,3) [1], có khả năng tự bôi trơn và có thể tạo được độ xốp phù hợp để ngâm dầu bôi trơn trong quá trình làm việc lâu dài. Do đó, vật liệu bạc lót trên cơ sở đồng được sử dụng trong cả trường hợp tải trọng nhỏ và trường hợp tải trọng lớn [1]. Tuy nhiên, trong thực tế các bạc lót sử dụng vật liệu này thường có cấu tạo gồm hai lớp, lớp bên trong là vật liệu trên cơ sở đồng và là lớp vỏ ngoài là thép. Do vậy, việc chế tạo các bạc lót dạng này là tương đối phức tạp và đắt đỏ, đặc biệt là trong trường hợp chịu tải trọng lớn. Do đó trong thời gian gần đây, trên thế giới đã có một số công trình nghiên cứu chế tạo các loại vật liệu mới trên cơ sở nền thép ứng dụng làm các bạc lót chịu tải trọng cao, chẳng hạn hệ Fe-Cu-C, Fe-Cu-Al, Fe-Cu-Al-MoS₂,... [2-5]. Các vật liệu mới này đảm bảo bạc lót được chế tạo là một khối duy nhất [2,3,5]. Dung dịch rắn Cu-Al có độ cứng và độ bền cao, chịu mài mòn tốt, ma sát với thép nhỏ. Sự xuất hiện của dung dịch rắn Cu-Al trong nền Fe sẽ giúp vật liệu nhận

được có hệ số ma sát với thép nhỏ, đóng vai trò là nhân tố gia cố để nâng cao độ bền và cải thiện độ cứng của vật liệu nền Fe... [6-9].

Bài báo này sẽ trình bày một số nghiên cứu về tổng hợp hệ vật liệu Fe-Cu-Al bằng phương pháp hợp kim hóa cơ học và một số kết quả đánh giá về tổng độ xốp, khả năng thấm dầu, độ cứng của vật liệu này.

KỸ THUẬT THỰC NGHIỆM

Để tạo vật liệu bạc lót, tỉ lệ giữa các loại bột Fe:Cu:Al được lựa chọn tương ứng là 0,6:0,35:0,05 tính theo trọng lượng. Trước tiên các loại bột thương mại Cu (99,97%) và Al (99,2%) được phối trộn theo tỉ lệ 27gr Cu : 6gr Al và được hợp kim hóa cơ học trong khoảng từ 0h đến 8h bằng máy nghiền cánh khuấy đứng trong môi trường bảo vệ là khí Ar. Tang nghiền bằng thép được làm mát bằng nước tuần hoàn. Bi nghiền bằng thép tôi cứng có đường kính từ 8÷10mm, tỉ lệ bi : bột được lựa chọn là 10 : 1. Sau đó, hỗn hợp bột Cu-Al được phối trộn thêm bột thương mại Fe (99,9%) với tỉ lệ 2 (Cu-Al) : 3 (Fe) và được trộn đồng đều hóa thành phần bằng máy nghiền bi dạng tang trống. Tiếp đó, hỗn hợp bột Fe-Cu-Al được ép thành các mẫu hình trụ có đường kính $d = 16$ mm và chiều cao $h = 15$ mm bằng máy ép thủy lực STENHØJ với áp lực ép trong phạm vi từ 234 MPa đến 390

*Tel: 0984 194198, Email: hkythanh@tnut.edu.vn

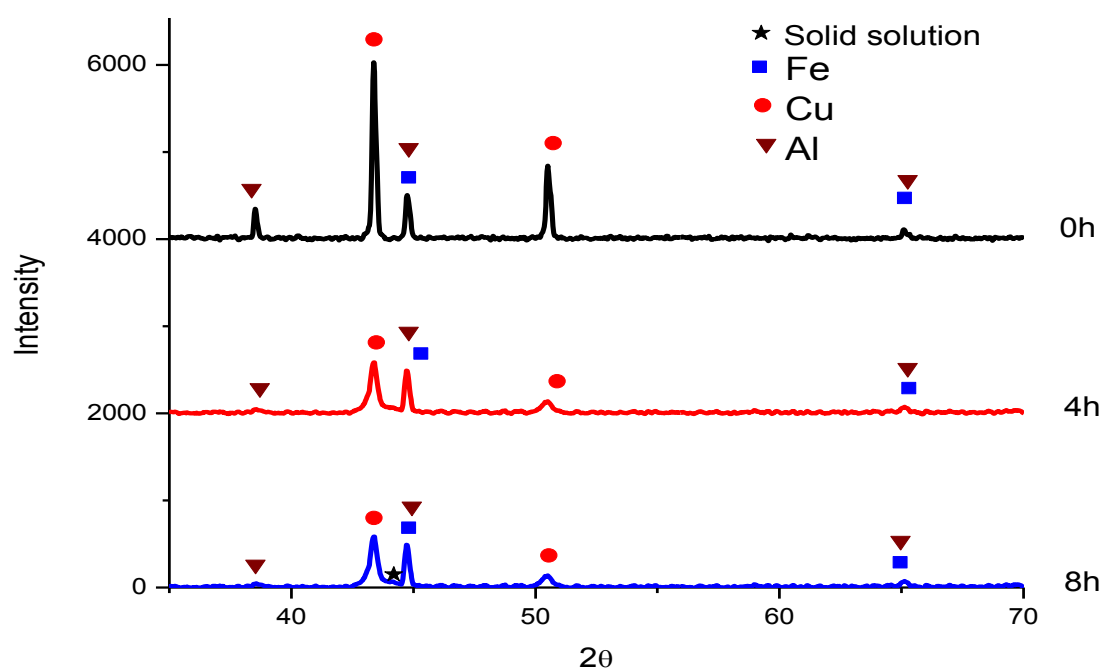
MPa. Tiếp đó, các mẫu ép được thiêu kết trong lò điện trở Linn 1300 ở các nhiệt độ 850°C, 900°C và 950°C trong cùng khoảng thời gian là 1,0 giờ đối với tất cả các mẫu. Trong quá trình thực nghiệm, phương pháp nhiễu xạ tia X được sử dụng để đánh giá quá trình hợp kim hóa cơ học giữa Cu và Al. Độ xốp tổng của mẫu được xác định bằng phương pháp Ác-si-mét, tỉ lệ lỗ xốp hở được xác định bằng cách ngâm mẫu trong nước và so sánh với mẫu khi khô, thiết bị được sử dụng là cân điện tử Scientech có độ chính xác đến 10^{-3} gam. Mật cắt của mẫu vật liệu nhận được sau khi thiêu kết được xác định bằng phương pháp SEM trên kính hiển vi điện tử quét Tescan. Độ cứng của mẫu được xác định bằng máy đo độ cứng Duramin Struers, sử dụng thang đo HRB.

KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Phổ nhiễu xạ tia X của hỗn hợp bột sau khi hợp kim hóa cơ học và nghiền trộn đồng đều thành phần

Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X trên hình 1 cho thấy, sau khi hợp kim hóa một khoảng thời gian xác định, cường độ của các peak Cu

và Al giảm, thậm chí một vài peak bị biến mất khi tăng thời gian nghiền. Từ đó có thể kết luận là quá trình hợp kim hóa đã xảy ra trong quá trình nghiền. Sau 4h nghiền, bắt đầu có sự chồng lên nhau của hai peak mạnh nhất. Điều này cho thấy sự di chuyển của các peak Al bởi vì Fe không liên quan đến quá trình hợp kim hóa cơ học do đó các peak của Fe vẫn giữ nguyên vị trí. Điều này phù hợp với các kết quả công bố trước đây về khả năng hình thành dung dịch rắn Cu(Al) bằng phương pháp hợp kim hóa cơ học [6]. Dễ dàng nhận thấy có sự thay đổi nhất định của các peak Cu-Al. Rõ ràng, có một peak Al thay đổi vị trí. Hiện tượng này có thể được giải thích do nhận được năng lượng cao từ quá trình nghiền hợp kim hóa, các nguyên tử Al đã khuếch tán vào trong nền Cu để tạo nên dung dịch rắn β -Cu(Al). Pha mới này sẽ có tác dụng hóa bền các mẫu, giúp cho chúng có độ cứng cao hơn. Ngoài ra, có thể dễ dàng nhận thấy rằng các peak Fe không thay đổi giữa các mẫu, nguyên nhân bởi Fe không bị hợp kim hóa trong quá trình nghiền.



Hình 1. Phổ nhiễu xạ tia X của hỗn hợp bột Fe-Cu-Al ở các thời gian hợp kim hóa khác nhau

Kết quả xác định tổng độ xốp và tỉ lệ lỗ xốp hở của vật liệu

Độ xốp là thông số quan trọng của vật liệu làm bạc lót. Các lỗ xốp đóng vai trò như các vị trí chứa dầu bôi trơn, trong quá trình chịu tải, dầu từ các lỗ xốp sẽ được tiết ra trên bề mặt tiếp xúc giữa bạc lót và trục giúp giảm hệ số ma sát, giảm mòn và tăng tuổi thọ của sản phẩm bạc lót. Kết quả xác định tổng độ xốp bằng phương pháp được liệt kê trong bảng 1. Có thể nhận thấy, ở cùng một nhiệt độ thiêu kết, khi tăng áp lực ép đóng khối thì tổng độ xốp của mẫu nhận được sau khi thiêu kết giảm. Điều này là hiển nhiên vì khi tăng áp lực đóng khối, các hạt bột bị biến dạng nhiều hơn và sắp xếp chặt chẽ hơn, mật độ khối ép lớn hơn và do đó độ xốp của mẫu vật liệu Fe-Cu-Al nhận được sẽ nhỏ hơn.

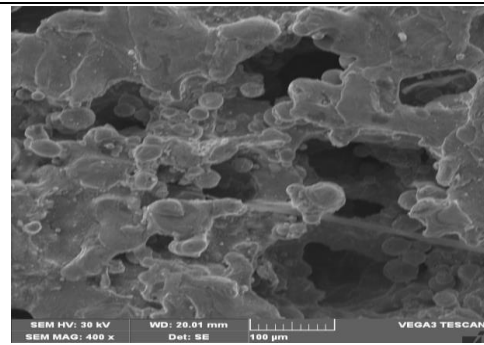
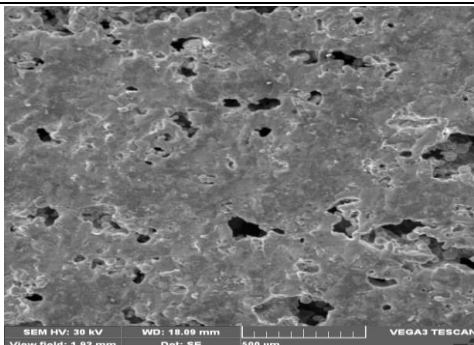
Cũng từ bảng 1 có thể nhận thấy, với cùng một áp lực ép, nhiệt độ thiêu kết càng cao thì mẫu vật liệu Fe-Cu-Al nhận được có độ xốp càng giảm. Rõ ràng là trong bản thân khối ép khi thiêu kết ngoài vật liệu cơ sở nền Fe còn có sự xuất hiện của Cu, Al dư và dung dịch

rắn Cu-Al. Tương ứng với khoảng nhiệt độ thiêu kết được lựa chọn ($850 \div 900^\circ\text{C}$) thì bản thân Cu dễ bị biến mềm, dung dịch rắn Cu-Al và bản thân Al đã ở trên nhiệt độ nóng chảy vì vậy chúng sẽ điền đầy vào các lỗ xốp sẵn có giữa các hạt bột Fe của mẫu sau khi ép đóng khối. Nhiệt độ thiêu kết càng cao thì ngoài việc Al, dung dịch rắn Cu-Al chảy lỏng thì Cu cũng bị biến mềm, thậm chí có khả năng chảy lỏng một phần vì vậy độ xốp của mẫu nhận được sau khi thiêu kết giảm.

Kết quả xác định tỉ lệ lỗ xốp hở của các mẫu vật liệu (là các lỗ xốp liên thông với nhau) thông qua việc đánh giá khả năng ngậm nước cho thấy, tỉ lệ xốp hở đạt trên 80% đối với hầu hết các mẫu. Với cùng một áp lực ép thì tỉ lệ lỗ xốp liên thông của vật liệu giảm khi tăng nhiệt độ thiêu kết và tương tự, với cùng một nhiệt độ thiêu kết thì tỉ lệ lỗ xốp liên thông cũng giảm khi áp lực ép đóng bánh tăng. Điều này được giải thích tương tự như đối với tổng độ xốp của các mẫu vật liệu nhận được sau khi thiêu kết.

Bảng 1. Độ xốp tổng và độ cứng của mẫu vật liệu Fe-Cu-Al nhận được sau khi thiêu kết tương ứng với áp lực ép và nhiệt độ thiêu kết khác nhau

Thứ tự	Thời gian hợp kim hóa (h)	Áp lực ép (MPa)	Nhiệt độ thiêu kết ($^\circ\text{C}$)	Tổng độ xốp (%)	Độ cứng (HRB)
01	0	234	850	27	48.5
02	0	390	850	23	56.0
03	0	234	950	25	52.8
04	0	390	950	27	57.0
05	4	312	900	23	57.1
06	4	312	900	24	57.2
07	4	312	900	24	53.0
08	8	234	850	26	50.0
09	8	390	850	20	63.1
10	8	234	950	27	59.0
11	8	390	950	22	60.0



Hình 2. Ảnh SEM mặt cắt dọc một mẫu vật liệu Fe-Cu-Al sau khi thiêu kết ở 900°C với thời gian hợp kim hóa cơ học 8h

Kết quả ảnh chụp mặt mẫu vật liệu

Hình 2 là mặt cắt dọc của một mẫu vật liệu Fe-Cu-Al được ép với áp lực 312MPa và thiêu kết ở 850°C trong thời gian 1.0h. Có thể dễ dàng nhận thấy các lỗ xốp có dạng đa cạnh, kích thước các lỗ xốp lớn trong khoảng 100÷200µm, phần lớn chúng được liên thông với nhau bởi các lỗ xốp nhỏ hơn. Đây là một minh chứng cho các kết quả xác định tỉ lệ lỗ xốp hở của vật liệu nhận được sau khi thiêu kết. Điều này hứa hẹn vật liệu Fe-Cu-Al có khả năng thấm và giữ được dầu bôi trơn để tự bôi trơn trong quá trình làm việc.

Kết quả xác định độ cứng của vật liệu

Kết quả xác định độ cứng đối với mỗi mẫu vật liệu được thể hiện trên bảng 1 là giá trị trung bình của độ cứng đo được tại ba điểm khác nhau trên bề mặt mẫu (hình 3).



Hình 3. Ảnh chụp mẫu được đo độ cứng

Từ kết quả đo độ cứng trong bảng có thể nhận thấy, độ cứng của các mẫu vật liệu Fe-Cu-Al có xu hướng tăng khi tăng thời gian hoạt hóa. Điều này có thể được giải thích bởi sự tạo thành dung dịch rắn Cu-Al, pha này có độ cứng và độ bền cao, trong nền Fe giúp cải thiện độ cứng của vật liệu nền. Kết quả đo độ cứng của hệ vật liệu này tương đối phù hợp với các công bố trước đây về độ cứng của các loại vật liệu ứng dụng làm bạc lót chịu tải trọng lớn.

KẾT LUẬN

Hệ vật liệu Fe-Cu-Al với mục đích ứng dụng trong chế tạo bạc lót chịu tải trọng lớn đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp hợp kim hóa cơ học. Dưới tác dụng của năng lượng va đập từ bi trong quá trình nghiền, dung dịch rắn Cu-Al đã được hình thành sau

khoảng 8 giờ. Các mẫu vật liệu Fe-Cu-Al nhận được có tổng độ xốp trong khoảng 20÷27% với áp lực ép trong phạm vi 312÷390 MPa, nhiệt độ thiêu kết trong khoảng 850÷950°C và thời gian thiêu kết trong 1,0 giờ thì tổng độ xốp giảm khi tăng áp lực ép đồng bánh và tăng nhiệt độ thiêu kết. Tỉ lệ các lỗ xốp liên thông của hầu hết các mẫu đạt trên 80%. Tương tự tổng độ xốp, khi tăng áp lực ép đồng bánh và tăng nhiệt độ thiêu kết thì tỉ lệ lỗ xốp liên thông giảm. Độ cứng của mẫu vật liệu đạt được trong phạm vi từ 47÷63,4 HRB. Hệ vật liệu Fe-Cu-Al hứa hẹn sẽ đáp ứng tốt các yêu cầu đối với vật liệu làm bạc lót chịu tải trọng lớn.

LỜI CẢM ƠN

Kết quả trình bày trong bài báo là một phần nghiên cứu của đề tài Khoa học và Công nghệ cấp trường, mã số T2016-64, tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp (Đại học Thái Nguyên) hỗ trợ về mặt thủ tục, tài chính để thực hiện công trình này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. S Dhanasekaran and R Gnanamoorthy (12/2004); *Development of self lubricating sintered steels for tribological applications*; International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering, Chennai, India.
2. T. Küçükömeroğlu, G. Pürçek, O. Saray, L. Kara (10/2008); *Investigation of friction and wear behaviours of CuSn10 alloy in vacuum*; J. Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 30, Issue 2, pp. 172–176.
3. Yoshikiyo Tanaka, Masanori Ueyama, Takemori Takayama (2003); *Development of New Materials for Special Oil-Impregnated Bearings*; Komat'su Technical Report, Vol. 49, No.152, pp. 1-5;
4. W.A. Glaeser (1983); *Wear properties of heavy loaded copper-base bearing alloys*, J. Metals, Metallurgical Society of Aime, pp. 1–5.
5. Trent S. Ward, Wenliang Chen, Mirko Schoenitz, Rajesh N. Dave, Edward L. Dreizin (2005); *A study of mechanical alloying processes using reactive milling and discrete element modeling*; Acta Materialia 53, pp. 2909–2918.
6. C. Suryanarayana (2001); *Mechanical alloying and milling*; Progress in Materials Science 46, pp. 1-184.

7. Tianmin Shao, Xiankun Cao, Eric Fleury, Do-Hyang Kim, Meng Hua, Dao Se (2004); *Tribological behavior of plasma sprayed Al-Cu-Fe+Sn quasicrystalline composite coatings*; J. Non-Crystalline Solids 334&335, pp. 466–470.
8. Jean-Marie Dubois (2000); *New prospects from potential applications of quasicrystalline materials*; Materials Science and Engineering 294–296, pp. 4–9.
9. Yuji Enomoto and Takashi Yamamoto (1998); *New materials in automotive tribology*; Tribology Letters 5, pp. 13–24.
10. Yong-Suk KimU, Yong-Hwan Kim (1998); *Sliding wear behavior of Fe₃Al based alloys*; Materials Science and Engineering A258, pp. 319–324.

SUMMARY

FABRICATION OF THE Fe-Cu-Al ALLOY BY MECHANICAL ALLOYING

Ho Ky Thanh^{1*}, Nguyen Dang Thuy^{2*}

¹University of Technology - TNU

²Hanoi University of Science and Technology

This paper presents some results from synthesizing the Fe-Cu-Al alloy system to apply in high load bearings by mechanical alloying. XRD pattern results showed that solid solution Cu-Al was formed during milling. Most material samples had total porosity in range of 20÷27% when the compress pressure in range of 312÷390 MPa, the sintering temperature in range of 850÷950°C and sintering time in 1.0 hour. The total porosity decreased when compress pressure and sintering temperature increased. Most samples had open-pore ratio higher than 80%. The hardness of samples were in range of 47÷63.4HRB and increasing when milling time increased. The Fe-Cu-Al alloy system promise to satisfy the demand of high load bearing materials.

Keywords: bearing material; mechanical alloying; solid solution; metallurgy; porous; hardness

Ngày nhận bài: 01/11/2017; Ngày phản biện: 19/11/2017; Ngày duyệt đăng: 05/01/2018

*Tel: 0984 194198, Email: hkythanh@tnut.edu.vn