

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ SẮT ĐẾN HỆ SỐ MA SÁT CỦA VẬT LIỆU MA SÁT THIÊU KẾT TRÊN CƠ SỞ ĐỒNG TẠO HÌNH BẰNG ÉP NÓNG

STUDY EFFECT OF Fe CONTENT TO FRICTION COEFFICIENT  
OF HOT PRESSED BRONZE SINTERED FRICTION MATERIAL

Nguyễn Văn Giáp<sup>1</sup>, Vũ Lai Hoàng<sup>2</sup>, Hoàng Ánh Quang<sup>2</sup>, Nguyễn Hà Tuấn<sup>3</sup>, Hà Minh Hùng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông Thái Nguyên

<sup>2</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

<sup>3</sup>Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

## TÓM TẮT

*Bài báo trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của thành phần đến hệ số ma sát của vật liệu ma sát thiêu kết trên cơ sở đồng tạo hình bằng ép nóng. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi tỉ lệ thành phần các hạt cứng trong nền tăng, hệ số ma sát của vật liệu tăng.*

**Từ khóa:** Vật liệu ma sát; Ép nóng; Hệ số ma sát.

## ABSTRACT

*This paper present effect of Fe percentage hot pressed bronze sintered friction material. Result shown that, increase of Fe weight percentage lead to increase of friction coefficient of material.*

**Keywords:** Friction material; Hot press sintering; Friction Coefficient.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên các phương tiện cơ giới, cụm ly hợp là bộ phận thường được dùng để truyền và cắt chuyển động quay giữa động cơ và hộp số. Cặp vật liệu được dùng trong ly hợp thường là đĩa ma sát - đĩa đối tiếp. Vật liệu dùng để chế tạo đĩa ma sát được chế tạo từ vật liệu tổ hợp với nền thường gồm, polyme, sắt hoặc đồng với một số hạt cứng tạo ma sát như  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC... và chất bôi trơn rắn. Ngoài ra, một số vật liệu dạng sợi và hạt nano cũng được dùng để nâng cao độ bền, hệ số ma sát và khả năng chịu mòn. Trong các bộ ly hợp ma sát ướt, vật liệu ma sát thiêu kết nền đồng được sử dụng phổ biến vì khả năng dẫn nhiệt tốt, khả năng chịu mòn và độ bền tương đối tốt so với các vật liệu ma sát khác.

Hiện nay, đã có một số nghiên cứu về vật liệu ma sát luyện kim bột nền đồng tạo hình bằng phương pháp ép nguội - thiêu kết [1,3,4,5,8]; trong đó đáng chú ý nhất là các nghiên cứu về ảnh hưởng của thành phần vật liệu và chế độ làm việc của loại vật liệu này.

Theo tài liệu [6], Al hoà tan hết vào Cu tạo dung dịch rắn Al - Cu. Đặc tính cơ lý vật liệu ma sát thiêu kết nền đồng tăng lên đáng kể khi hợp kim hóa bổ sung nhôm với hàm lượng khác nhau và đạt giá trị tối ưu ở một hàm lượng nhất định. Đặc biệt, có những thông số tăng gấp 2 đến 2.5 lần so với khi chưa bổ sung thêm Al.

Theo kết quả nghiên cứu được công bố bởi trong tài liệu [10] để tăng hệ số ma sát, bột sắt được đưa vào trong thành phần của vật liệu ma sát nền đồng. Sắt có độ bền và độ cứng cao hơn nền đồng, do đó trong quá trình làm việc bề mặt của nền đồng sẽ mòn trước làm các hạt sắt nhỏ lên trên nền và làm tăng độ nhám của bề mặt dẫn đến tăng hệ số ma sát, đồng dính ướt tốt hơn với sắt và quá trình khuếch tán của giữa hai vật liệu mạnh hơn làm tăng liên kết giữa sắt và nền đồng.  $\text{SiO}_2$  được là thành phần có tính trợ so với vật liệu nền đồng và có liên kết yếu với nền do tính dính ướt thấp. Ở tốc độ trượt thấp, lớp màng oxy hóa còn mỏng, các hạt  $\text{SiO}_2$  nhỏ lên khỏi bề mặt vật liệu ma sát, ngăn cản quá trình trượt tương đối giữa hai bề mặt đối tiếp và tạo ra hệ số ma sát cao hơn so với các mẫu có hạt thép. Ở tốc độ trượt cao,  $\text{SiO}_2$  làm giảm mức độ mòn của vật liệu ma sát do nằm chen giữa lớp oxit và duy trì sự tồn tại của lớp này. Ngược lại, lớp oxit lại giảm hiện tượng vỡ của các hạt  $\text{SiO}_2$  và giảm nhẹ mức độ cào xước của các hạt cứng đối với các bề mặt đối tiếp.

Ảnh hưởng của oxit nhôm cỡ hạt 5-120  $\mu\text{m}$  đối với vật liệu ma sát nền đồng đã được công bố trong tài liệu [1]. Sự có mặt của oxit nhôm làm giảm mật độ của các mẫu và cải thiện khả

năng chống biến dạng. Theo tác giả, các mẫu có 2%-4% oxit nhôm duy trì tốt nhất hệ số ma sát ở nhiệt độ cao và cho lượng mòn nhỏ nhất với cơ chế mòn là hàn dính.

Theo [2], mẫu vật liệu ma sát có chứa hạt cứng kích thước nano có hệ số ma sát cao hơn so với các mẫu có chứa hạt cứng kích thước micro. Hơn nữa, khả năng làm việc ở điều kiện trượt khác nghiệt, tải và tốc độ thay đổi hệ số ma sát và sự ổn định của đặc tính ma sát cũng được cải thiện.

Tài liệu [9], trình bày ảnh hưởng của chất bôi trơn rắn có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính ma sát của, chất bôi trơn rắn giúp hình thành lớp tribo tương đối bền làm tăng khả năng chịu mòn ở tốc độ trượt 2,6 m/s. Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương cũng triển khai nghiên cứu chế tạo thử nghiệm ép nóng vật liệu ma sát làm đĩa ly hợp.

Hiện nay, một số cơ sở đã đầu tư xây dựng quy mô nhỏ sản xuất đĩa ly hợp ma sát sửa chữa thay thế, nhưng sản lượng của các hoạt động này rất thấp và chất lượng sản phẩm không đáp ứng được yêu cầu của đĩa ly hợp sử dụng trong hộp số tự động của xe ô tô du lịch, trong khi nhu cầu thị trường đĩa ly hợp ma sát ướt dùng cho hộp số tự động cần hàng chục triệu sản phẩm/năm. Để đáp ứng phần nào nhu cầu của xã hội trong vấn đề này, đặc tính ma sát của vật liệu luyện kim bột trên cơ sở đồng được lựa chọn nghiên cứu.

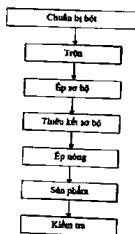
## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp thường dùng nhất để chế tạo vật liệu tổ hợp nền kim loại từ hỗn hợp bột là ép và thiêu kết. Để tăng mật độ của vật liệu tổ hợp cần phải tăng lực ép và nhiệt độ thiêu kết.

Tăng nhiệt độ thiêu kết là biện pháp hiệu quả để tăng mật độ của vật liệu tổ hợp, tuy nhiên, cách này chỉ thích hợp với bột có nhiệt độ nóng chảy thấp, hơn nữa khi nhiệt độ thiêu kết quá cao, sự co ngót quá lớn sẽ làm thay đổi hẳn hình dạng, kích thước của viên ép như mong muốn, đặc biệt là khi thiêu kết có sự tham gia của pha lỏng, nếu lượng pha lỏng quá lớn có thể gây ra thiên tích do pha lỏng có xu hướng chảy xuống.

Để chế tạo vật liệu tổ hợp với mật độ cao cần kết hợp ép và thiêu kết vào một công đoạn (ép nóng). Khi ép nóng có hai quá trình song song xảy ra, đó là quá trình biến dạng dẻo, lèn chặt của các hạt bột dẫn đến biến cứng hạt bột và quá trình kết tinh lại. Hai quá trình này có tác dụng tương hỗ lẫn nhau. Biến dạng dẻo làm xô lệch mạng tinh thể (năng lượng tự do lớn, không ổn định) làm quá trình kết tinh lại xảy ra nhanh hơn, các hạt tinh thể mới được hình thành có kích thước nhỏ hơn và liên kết chặt chẽ với nhau. Ngược lại, kết tinh lại tạo ra các hạt mịn hơn, mềm hơn nên quá trình ép được tiếp tục mà không cần phải tăng lực ép.

Mục đích của nghiên cứu này là ảnh hưởng của thành phần vật liệu chế tạo vật liệu tổ hợp ma sát trên cơ sở đồng được thực hiện theo quy trình công nghệ như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ công nghệ chế tạo vật liệu ma sát thiêu kết nền đồng

Ép sơ bộ, nhằm tạo hình ban đầu cho vật liệu tổ hợp, còn thiêu kết sơ bộ nhằm tạo mật độ nhất định cho vật liệu tổ hợp tạo thuận lợi cho quá trình ép nóng tiếp theo, hơn nữa trong quá trình thiêu kết sơ bộ, màng oxit trên các hạt đồng được hoàn nguyên cũng góp phần thúc đẩy quá trình ép nóng.

Bài báo trình bày ảnh hưởng của thành phần Fe,  $Al_2O_3$  siêu mịn đến hệ số ma sát của vật liệu được khảo sát.

Bột đồng 663 cỡ hạt 75  $\mu m$  được sử dụng làm nền với thành phần 6% Zn, 6% Sn, 3% Pb, với cấu trúc dung dịch rắn  $\alpha$ , eutectic  $\alpha+\delta$  và pha Pb. Các hạt rời rạc dạng cầu trong nền của Pb cùng với dung dịch rắn Cu - Sn có hệ số ma sát thấp, cải thiện khả năng tự bôi trơn của nền. Dung dịch rắn  $\alpha$ , bao gồm: Cu-Zn tăng khả năng dẫn dầu ra khỏi bề mặt tiếp xúc của cặp ma sát qua các rỗ xốp trong khi vẫn đảm bảo độ bền của nền.



Hình 2. Khuôn và sản phẩm nhận được sau khi ép nóng

Quá trình trộn được tiến hành trong máy trộn, thời gian trộn hỗn hợp bột 2 giờ với tỷ lệ bi/bột là 3/1, tốc độ quay 60 vòng/phút, môi trường bảo vệ là cồn nhằm tránh sự ôxi hoá bột. Vật liệu ma sát thiêu kết nền đồng có thành phần như trong bảng 1 và 2.

Sau khi trộn đều, hỗn hợp bột vật liệu được ép và thiêu kết đồng thời với nhiệt độ 950  $^{\circ}C$  trong môi trường hoàn nguyên (hỗn hợp bột graphit và than hoa), thời gian thiêu kết 2ph.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mẫu sau ép nóng được phân tích cấu trúc tế vi và xác định tính cơ lý, trong đó có độ bền nén, tính chất ma sát và khả năng chịu mòn. Trong bài báo này, quan hệ giữa hệ số ma sát và tỉ lệ của bột sắt được xem xét và thảo luận.

Bảng 1. Tỉ lệ nghiền trộn bột nguyên liệu đầu vào với tỉ lệ Fe khác nhau

Tên mẫu	% Khối lượng	Bột đồng 663	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>gr</sub>
		1-1	Nén	4	3
1-2		Nén	5	3	7
1-3		Nén	6	3	7



Hình 3. Cấu trúc tế vi của vật liệu tổ hợp ma sát thiêu kết nền đồng 5% Fe, 3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

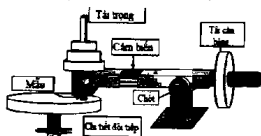
Qua ảnh chụp tế vi ta thấy, các vùng cấu trúc màu đen trên hình 4a có kích thước nhỏ hơn đáng kể so với mẫu trên hình 4b; Ở mẫu này tổ chức tế vi vật liệu có các vùng cấu trúc màu đen còn tương đối lớn, với các hình dạng khác nhau. Đặc biệt là trong các vùng màu đen đó, lại có thể phát hiện được những tiểu vùng màu hơi sáng hơn hoặc màu xanh nhạt. Có thể giải thích hiện tượng này là do sự chênh lệch của tỉ lệ graphit (C<sub>gr</sub>) giữa hai mẫu.

Để xác định hệ số ma sát, cảm biến lực 9257BA của hãng Kislser được sử dụng với các thông số trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số cơ bản của cảm biến lực

Giới hạn đo				Độ nhạy	Px, Py	mV/N	10
Dải 1	Px, Py	kN	-0,5+0,5	Độ tuyến tính	Pz	%FSO	≤ ±1
Pz			-1+1				
Dải 2	Px, Py		-1-1	Độ trễ		%FSO	≤ 0,5
			Pz				
			-5-5	Cross talk		%	≤ ±3
Dải 3	Px, Py		-2-2	Độ cung ứng	Cx, Cy	kN/µm	>1
Pz			-5-5	Cz			>2
Dải 4	Px, Py		-5-5	Đao động ngang	L(x, y)	kHz	≈ 2,0
			Pz				-5-10
Qua tải cho phép	Px, Py, kN		-7,5 7,5	N độ làm việc		°C	0 ± 60
			Pz				-7,5 15

Hệ số ma sát của mẫu được đo theo sơ đồ chốt trên đĩa theo tiêu chuẩn tiêu chuẩn ASTM G115-10 -2013 (Standard Guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients);

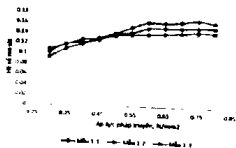


Hình 4. Sơ đồ đo hệ số ma sát



Hình 5. Đo hệ số ma sát theo sơ đồ pin-on-disk; Tiêu chuẩn ASTM G115-10 -2013 (Standard Guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients)

Trong các tài liệu hướng dẫn thiết kế tính toán ly hợp, đối với cặp ly hợp làm việc trong môi trường dầu, hệ số ma sát khuyến cáo sử dụng là 0,1 và áp lực làm việc tối đa đối với vật liệu ma sát luyện kim bột là 0,8 N/mm<sup>2</sup>; Giá trị lực ma sát được lấy tương đương với áp lực pháp tuyến từ 0,3 đến 0,8 với độ phân giải 0,05 N/mm<sup>2</sup>.



Hình 6. Quan hệ giữa hệ số ma sát và tỉ lệ Fc trong vật liệu ma sát tạo hình bằng phương pháp ép nóng

Trong thí nghiệm này ta nhận thấy, trong khoảng làm việc thiết kế, hệ số ma sát tăng khi áp lực pháp tuyến tăng, tuy nhiên, hệ số ma sát không tăng và có giảm xuống thấp khi áp lực tiếp xúc tiến tới giới hạn làm việc. Nguyên nhân là ở áp lực lớn xảy ra quá trình mòn khốc liệt và làm hình thành lớp oxit + kim loại nóng chảy có tính bôi trơn giữa hai bề mặt đối tiếp.

Tương tự như vật liệu ma sát thiêu kết bằng phương pháp ép nguội - thiêu kết, sắt làm tăng hệ số ma sát khi tỉ lệ tăng trong vật liệu ma sát, lý do là đồng dính ướt tốt hơn với sắt và quá trình khuếch tán của giữa hai vật liệu mạnh hơn làm tăng liên kết giữa sắt và nền đồng, đồng thời sắt có độ bền và độ cứng cao hơn nền Cu, do đó, trong quá trình làm việc bề mặt của nền đồng sẽ mòn trước, làm các hạt sắt nhỏ lên trên nền và làm tăng độ nhám của bề mặt dẫn đến tăng hệ số ma sát. Thứ hai, mức độ dính của sắt và bề mặt đối tiếp - thường là thép và gang đúc cao hơn do đó các hạt sắt có xu hướng hàn dính vào vật liệu đối tiếp dưới tác động của tải và nhiệt ma sát dẫn đến tăng hệ số ma sát. Tuy nhiên, khi tốc độ trượt cao, nhiệt độ làm việc cao, tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành lớp oxit ngăn sự tiếp xúc giữa hai bề mặt đối tiếp, dẫn đến hệ số ma sát giảm. Hệ số ma sát của các mẫu thí nghiệm cao hơn so với thông số cho trong các tài liệu chuẩn, vì phương pháp ép và thiêu kết đồng thời thúc đẩy quá trình khuếch tán giữa các hạt kim loại nền, giữa các hạt kim loại có độ cứng khác nhau như đồng và sắt, cũng như làm tăng độ bền liên kết giữa hạt cứng vô cơ với nền.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong khoảng làm việc thiết kế, hệ số ma sát tăng khi áp lực pháp tuyến tăng, tuy nhiên, hệ số ma sát giảm xuống thấp khi áp lực quá lớn.

Tăng tỉ lệ hạt sắt trong vật liệu tổ hợp ma sát thiêu kết làm tăng hệ số ma sát. Tuy nhiên, khi áp lực làm việc tăng, nhiệt độ làm việc cao tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành lớp oxit ngăn sự tiếp xúc giữa hai bề mặt đối tiếp dẫn đến hệ số ma sát giảm.

Hệ số ma sát của các mẫu thí nghiệm cao hơn so với thông số cho trong các tài liệu chuẩn, vì phương pháp ép và thiêu kết đồng thời thúc đẩy quá trình khuếch tán giữa các hạt thành phần trong vật liệu. ❖

Ngày nhận bài: 23/4/2016

Ngày phản biện: 04/6/2016

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Giáp, Đặng Văn Tuấn (2012); *Nghiên cứu vật liệu ma sát bộ ly hợp máy động lực ô tô vận tải hạng nặng trong ngành Khai thác khoáng sản*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 11/2012, trang 114 – 124.
- [2]. Trần Quốc Lập, Phạm Thảo, Vũ Lai Hoàng (2008); *Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu ma sát trên cơ sở nền sắt – mangan ΦMK- 11*, Đại học Thái Nguyên: Hội thảo Toàn quốc về Công nghệ Vật liệu và bề mặt, số 48, Tập 2, trang 68-72.
- [3]. Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Giáp (2008); *Vật liệu ma sát luyện kim bột trong chế tạo máy*, Đại học Thái Nguyên: Hội thảo Toàn quốc về Công nghệ Vật liệu và bề mặt VIMATECH-2008 29/11/ 2008, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 48, Tập 2, trang 37-44.
- [4]. J. Bijwe, et al., 2012, *Nano-abrasives in friction materials-influence on tribological properties*, *Wear* (2012), [http:// dx.doi.org/10.1016/j.wear.2012.07.023](http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2012.07.023).
- [5]. Xavier Banquy, Daniel D. Lowrey, Nataly Belman, Younjin Min, Gregory Mordukhovich, Jacob N. Israelachvili, 2011, *Measurement and Characterization of "Resonance Friction" at High Sliding Speeds in a Model Automotive Wet Clutch*. *Tribology Letter* 43 (2011): 185–195.
- [6]. Vipin Jain, M. Saravanan, R.C. Anandani, Rajiv Sikand and Anil Kumar Gupta, 2010, *Effect of sizing on friction and wear properties of copper-iron based sintered composites based sintered composites*. *Transactions of The Indian Institute of Metals*.
- [7]. Viseslava Rajkovic, Dusan Bozic, Milan T. Jovanovic, 2010, *Effects of copper and  $Al_2O_3$  particles on characteristics of Cu- $Al_2O_3$* , *Materials and Design* 31: 1962–1970.
- [8]. Tich Nguyen Van, 2009, *Vietnam-Thai Science Corporation Project on Development of Sintered Friction Materials through Powder Metallurgy Technique*. Material Science Institute.
- [9]. Baiming Chen, Qinling Bi, Jun Yang, Yanqiu Xia, Jingcheng Hao, 2008, *Tribological properties of solid lubricants (graphite, h-BN) for Cu-based P/M friction composites* *Tribology International* 41 (2008): 1145–1151.
- [10]. Xiang Xiong, Jie Chen, Pingping Yao, Shipeng Li, Baiyun Huang, 2007, *Friction and wear behaviors and mechanisms of Fe and  $SiO_2$  in Cu-based P/M friction materials*. *Wear* 262: 1182–1186.